ISSN 1346－7328
国総研資料 第 471 号
平 成 ２０ 年 ８ 月

国土技術政策総合研究所資料
共同研究報告書

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 471 August 2008

鋼部材の耐久性向上策に関する共同研究
―実態調査に基づく鋼床版の点検手法に関する検討―

Cooperative Research on durability of the Steel members on bridges
―Survey on the inspection method of the Orthotropic Steel Decks―

国土交通省 国土技術政策総合研究所
社団法人 日 本 橋 梁 建 設 協 会

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan
Japan Association of Steel Bridge Construction

国土技術政策総合研究所資料
第 471 号　　2008 年 8 月

Technical Note of NILIM
No.471 August 2008

鋼部材の耐久性向上策に関する共同研究

―実態調査に基づく鋼床版の点検手法に関する検討―

Cooperative Research on durability of the Steel members on bridges

―Survey on the inspection method of the Orthotropic Steel Decks―

国土交通省 国土技術政策総合研究所

社団法人　日 本 橋 梁 建 設 協 会

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan
Japan Association of Steel Bridge Construction

概要

近年，供用後20年程度を経過した鋼床版橋梁において，トラフリブの溶接ルート部からデッキプレートを貫通する方向へ進展する疲労損傷が報告されている。この損傷は、数例しかないものの，外側からの発見が困難である上，路面の陥没など走行安全性に問題を引き起こす可能性がある。そのため，損傷メカニズムの解明や点検手法の確立は緊急の課題となっている。

本研究では，主として鋼床版のデッキプレートを貫通する疲労き裂を対象として，き裂が発生する可能性の高い橋梁条件（架橋条件，橋梁諸元，供用中の舗装及び橋梁の状態など）を検討するための損傷橋梁の分析，鋼床版のパネル剛性に着目した FEM 解析、実橋調査を行うとともに，その点検手法について適用性を検証したものである。

キーワード：鋼床版、疲労、耐久性

Synopsis

Fatigue cracks of orthotropic steel deck plate have been observed, recently. It stems from root of fillet weld of U-shaped ribs, propagates into deck plate to upper side and finally penetrates it. The crack is urgent problems because they are very difficult to find out and the traffic accident may occur by local subsidence of the pavement.

In this study, we developed inspection method against check penetrate cracks and verified for by FEM analysis, research for existing bridges and so on.

Key Words : Orthotropic Deck Plate, Fatigue Crack, Field Investigation

共同研究参加機関および担当者名簿

（平成 20 年 8 月現在　順不同）

国土交通省国土技術政策総合研究所
道路研究部　道路構造物管理研究室
　元 道路研究部　橋梁研究室（～H17.3）

玉越　隆史
渡辺　陽太　（～H19.4)
川端　　淳　（～H16.3）
中洲　啓太（～H19.7)
石尾　真理
水津　紀陽　（～H17.3）
木内　耕治　（H17.4～H19.3）
平塚　慶達　（H17.4～H19.3)

(社)日本橋梁建設協会
　　鋼床版検討特別委員会（現　小委員会）
○川畑　篤敬
○井口　進
○内田　大介（鈴木　康宏）
○松下　裕明
○宮下　敏　（大倉　誠）
○中西　崇　（田谷　光，原　直人）
　矢ケ部　彰
　小林　岳彦（山地　守）
　廣中　修
　齊藤　史朗
　佐藤　昌義
　亀山　隆志
　清水　弘　（横山　薫）
　鹿島　孝之（鈴木　大也）
　家田　敏昭

　○　執筆者
（）内は前委員

協力者名簿

共同研究担当者の他に，本研究において下記の方々のご協力を得た。ここに，感謝の意を示す。

(独)土木研究所　寒地土木研究所　　寒地基礎技術研究グループ　寒地構造チーム
　　寒地道路研究グループ　寒地道路保全チーム
　元　(独)北海道開発土木研究所　　構造部　構造研究室
　　道路部　維持管理研究室

NEC Avio 赤外線テクノロジー株式会社
　元　ＮＥＣ三栄株式会社
　元　日本アビオニクス株式会社

ま え が き

道路橋に用いられる鋼床版は，比較的薄い鋼板を溶接により組立てた構造である。また一般には舗装を介して直接的に自動車の輪荷重の影響を受ける部材でもある。そのため自動車荷重の通過に伴って溶接部で複雑に大きな応力変動が繰り返される特徴を有しており，疲労の影響を受けやすい部材である。

道路橋の鋼床版の場合，主げたや床組部材と異なり，その一部にき裂損傷が生じたとしても橋全体の耐荷力への影響は小さく，直ちに構造安全性に深刻な悪影響が生じる可能性は少ないといえる。ただし，き裂損傷の発生と進展は，舗装劣化の促進や路面平坦性の低下のみにとどまらず路面陥没に至ると車両の走行安全性を損なうことも考えられ，供用性への影響が懸念される事態に至る可能性がある。

道路橋の鋼床版では過去より様々なき裂損傷が確認されてきている。しかしそれらの多くは鋼床版下面に開口するき裂損傷であり，下面からの目視点検によって異常を確認できるものも多い。しかし近年になって，一部の重交通路線にある道路橋において，これまで報告事例がなかった閉断面縦リブ（以下「トラフリブ」という。）とデッキプレートとの溶接部から，デッキプレート内部を上方へ進展してデッキプレートを貫通させるき裂（以下「デッキプレート貫通き裂」という。）の発生が報告された。このき裂は現在のところ報告事例は多くないものの，鋼床版下面側からの目視可能な位置に開口しないことから通常の点検では発見が困難である上，舗装下で貫通き裂長さが大きくなると供用中にデッキプレートが陥没する危険性もがあることから，供用安全性確保の観点からはできるだけ早期に発見して必要な対策が行われることが求められている。

一方，多数の溶接線がある道路橋の鋼床版に対して，疲労によるき裂損傷を効率的に検出できる調査点検手法については，十分に確立していないのが現状である。特に，路面の舗装を撤去しない限り外観目視での検出が不可能なデッキプレート貫通き裂については超音波探傷などの非破壊検査手法を活用するにしても，き裂損傷を生じている可能性の高い径間やトラフリブ（の溶接線）をいかに効率よく絞り込めるかが，維持管理上重要な課題となっている。

このような背景から，平成15年より3カ年にわたり，国土交通省国土技術政策総合研究所と(社)日本橋梁建設協会の 2 者で，主として鋼床版のデッキプレート貫通き裂の起こりやすいと考えられる点検や調査の対象橋梁の絞り込み手法を提案するとともに，デッキプレート貫通き裂が疑われる部位に対する有効な調査手法を確立することを目的として共同研究を実施した。本報告書は，その成果についてとりまとめたものである。

目次

第 1 章　研究の概要
1.1　研究の背景と目的 ----------1-1
1.2　共同研究の流れ ----------1-5
1.3　デッキプレート貫通き裂の発生事例 ----------1-7
1.4　鋼床版の使用実績調査 ----------1-25

第 2 章 鋼床版の構造諸元とデッキプレート貫通き裂との関係に対する解析的検討
2.1　はじめに ----------2-1
2.2　解析方法 ----------2-3
2.3　鋼床版の構造諸元に着目した数値解析 ----------2-8
2.4　まとめ ----------2-29

第 3 章　デッキプレート貫通き裂に着目した鋼床版の段階的調査手法
3.1　はじめに ----------3-1
3.2　机上調査（Step1） ----------3-3
3.3　概略調査（Step2） ----------3-4
3.4　簡易調査（Step3） ----------3-21
3.5　詳細調査（目視調査）（Step4） ----------3-28
3.6　詳細調査（磁粉探傷試験（MT））（Step4） ----------3-44
3.7　詳細調査（超音波探傷試験（UT））（Step4） ----------3-56
3.8　詳細調査（打音調査）（Step4） ----------3-63
3.9　詳細調査（赤外線サーモグラフィ）（Step4） ----------3-72
3.10　その他の調査 ----------3-81
3.11　まとめ ----------3-88

第 4 章　鋼床版現地調査
4.1　はじめに ----------4-1
4.2　調査の流れ ----------4-1
4.3　調査結果 ----------4-9
4.4　まとめ ----------4-52

第 5 章　鋼床版の応力測定
5.1　応力測定橋梁の選定 ----------5-1
5.2　応力測定条件 ----------5-3
5.3　各橋梁の計測結果 ----------5-4
5.4　まとめ ----------5-46

第 6 章 総括
（鋼道路橋のトラフリブを有する鋼床版を対象としたデッキプレート貫通型き裂の検出のための調査要領（案））

付属資料
鋼床版舗装の損傷事例集

第１章　研究の概要

1.1　研究の背景と目的

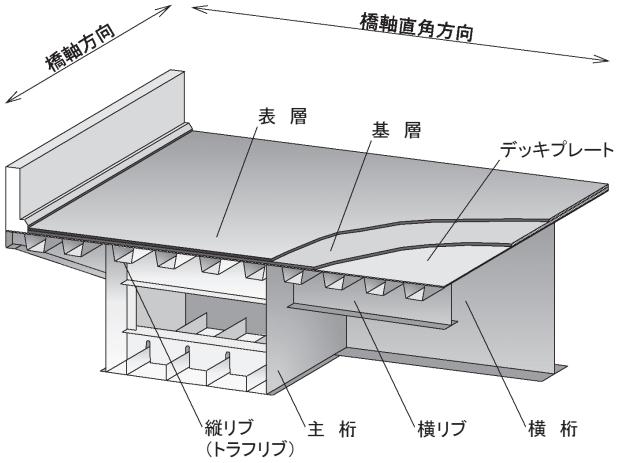


図1.1-1　鋼床版の構造の例

鋼床版は**図 1.1-1** に示すように，デッキプレートを裏面から縦リブと横リブで補剛した床版であり，道路橋の場合，さらにこれを縦桁，横桁，主げたなどと一体化したものが橋梁本体構造になる。

鋼床版はコンクリート系床版と比較して舗装も含めた自重が 1/2 程度と軽量にできるため，長支間の橋梁や，例えば地盤の悪い沿岸地域の橋梁，架設上の制約から部材重量を小さくしたい場合，あるいは桁高が著しく制限される箇所などに比較的優位性が発揮される形式である。**図 1.1-2** に全国における使用実績を示す。

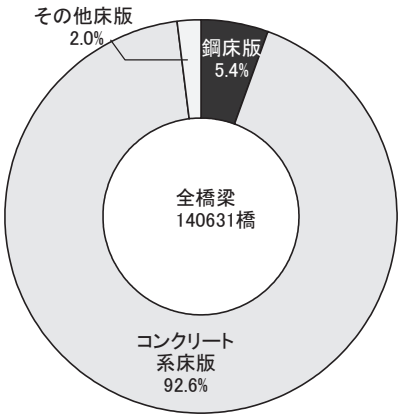


図 1.1-2　鋼床版の使用実績
（2004 年道路現況調査より）

鋼床版を用いた橋梁については，1980 年代より，**図 1.1-3** に示すような疲労損傷が重交通路線を中心に顕在化していた。平成 14 年 3 月の道路橋示方書 [1.1)] の改訂では，疲労耐久性向上の観点から疲労について考慮するべきことが条文として盛り込まれた。それにあわせて「鋼道路橋の疲労設計指針」[1.2)] を発刊し，具体的な道路橋に対する疲労設計の方法について示された。

ここでは，鋼床版のように通常の設計計算では応力範囲を基にした定量的な疲労耐久性の照査が困難な部材や構造については，過去の実績等も参考に最新の知見に基づいて，所要の疲労耐久性が確保できるとみなしてよい細部構造等の構造詳細に関する事項を示し，これによることで具体の設計が行えるようにしたものもある。（**表 1.1-1**, **図 1.1-4**, **図 1.1-5** 参照）。

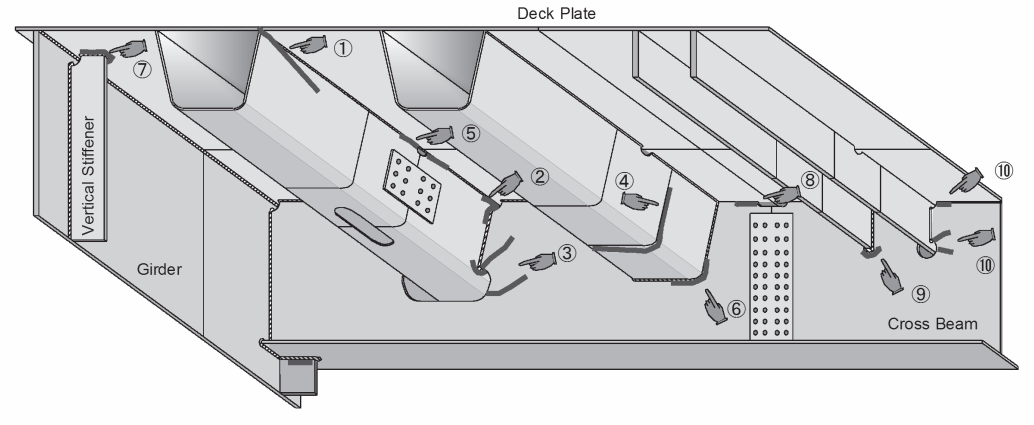
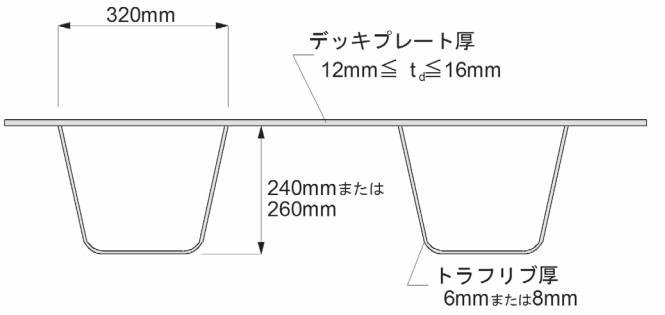


図 1.1-3　鋼床版の疲労損傷例

次の 1)から 3)までの条件を満足する鋼床版構造

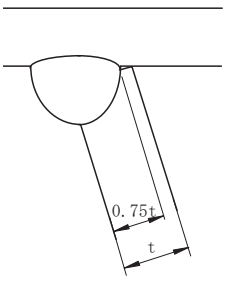
1)縦リブ支間 L≦2.5m

2)縦リブが，バルブプレートリブ，平面リブまたは以下に示す閉断面リブ。



3)デッキプレートの板厚 12mm≦t_d≦16mm

図 1.1-4　疲労設計指針における鋼床版の適用の範囲 [1.2)]



75%溶込み確保の溶接

図 1.1-5 閉断面リブとデッキプレートの溶接に対する規定 [1.2)]

一方，2000 年頃より，閉断面リブの一形式である U 型の縦リブ（以下「トラフリブ」という。）を有する鋼床版において，デッキプレートとトラフリブの溶接ルート部を起点として，デッキプレート上面側に向かって進展していくき裂（**図 1.1-6** 参照。）の発生が報告されてきている。このき裂の報告事例は現在まで決して多くはないものの，トラフリブの内側からデッキプレート方向に向かって進展し舗装のある表面部に達して貫通するため，通常の定期点検等では見つけることができず実際の発生状況は不明である。過去のデッキプレート貫通き裂の発見も，路面陥没の発生や舗装の更新時にデッキ表面を観察してはじめて見つけるに至っている。

デッキプレート貫通型のき裂は，損傷が床版部分にとどまることから落橋に至るなどの橋全体の耐荷力に深刻な悪影響を及ぼす危険性は少ないと考えられるが，突然の路面陥没や舗装の破損にもつながることから車両の走行安全性には深刻な悪影響を及ぼす危険性がある。

このため供用安全性確保の観点からは，デッキを貫通したき裂の発生の速やかな検出やデッキプレートが貫通に至る危険性のあるき裂の発生の有無やその進展状況，さらにはデッキプレート貫通型き裂を生じる危険性の高い橋の抽出を可能とする方法の確立が急務となっている。

以上のことから，国土交通省国土技術政策総合研究所と(社)日本橋梁建設協会は，デッキプレート貫通き裂の合理的な検出を実現するために，き裂発生の危険性の高い橋梁の抽出手法，膨大なトラフリブ溶接線から危険性の高い対象部位を効率的に絞り込む手法，実際にデッキプレート貫通き裂の発生の有無を確認するための調査手法について，共同で研究を実施した。

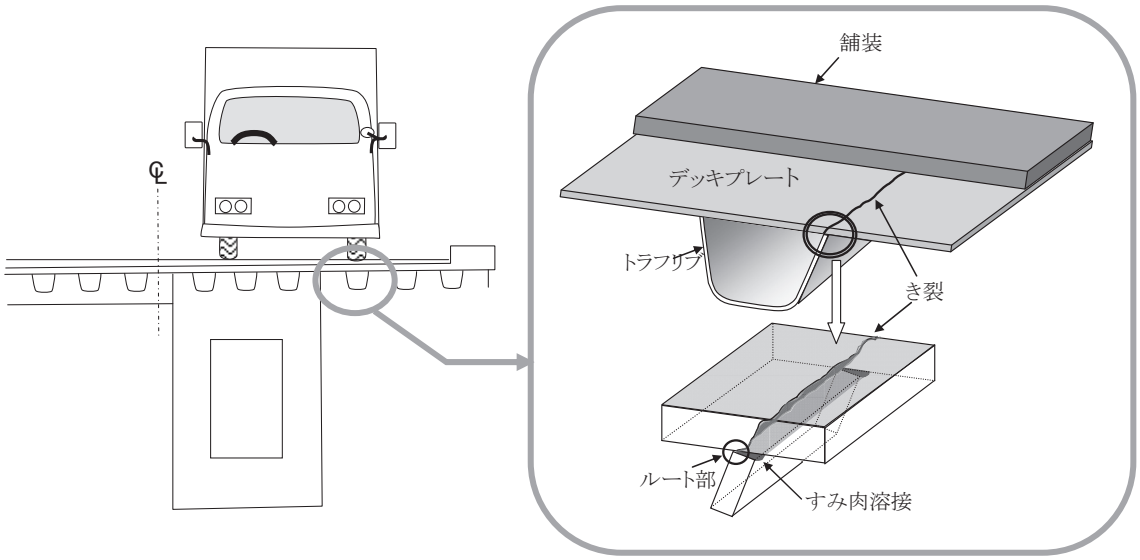


図 1.1-6　デッキプレート貫通き裂のイメージ

表 1.1-1　道路橋示方書における鋼床版規定の変遷

	昭和３９(1964)年 (溶接鋼道路橋示方書)	昭和４８(1974)年	昭和５５(1980)年	平成２(1990)年	平成６(1994)年	平成８(1996)年	平成１４(2002)年
設計活荷重	(1)主げた作用 ①L荷重(L-20,L-14) ②衝撃係数:桁と同じ (2)床組作用 ①T荷重(T-20,T-14) ②衝撃係数:0.4	(1)同左 (2)①同左 ②衝撃係数 縦リブ:0.4 横リブ:支間による ③大型車両1日1方向1000台以上の場合の割増し係数	同左	同左	(1)主げた作用 ①L荷重(A活荷重, B活荷重) ②衝撃係数:桁と同じ (2)床組作用 ①T荷重(A活荷重, B活荷重) ②衝撃係数　縦リブ:0.4 横リブ:支間による ③B活荷重の割増し係数 ④A活荷重の荷重低減	同左	同左
舗装による分布荷重	考慮してはならない	同左	同左	同左	同左	同左	同左
デッキプレートの有効幅	(1)主げた作用:支間と主桁間隔の比から規定 (2)床組作用:支間とリブ間隔の比から規定	同左 (算出式規定)	同左	同左	同左	同左	同左
デッキプレートの最小板厚	(1)　車道 t≧0.035L, 12 ㎜以上 (2)　歩道 10 ㎜以上が望ましい	(1)　同左 (2)歩道 ①主げたの一部として作用する歩道t≧0.025b, 10 ㎜以上	(1)同左 (2)歩道 ①同左 ②主げたの一部として作用しない歩道:最小厚8 ㎜	同左	同左	(1)　車道部 B 活荷重t≧0.037b, 12 ㎜以上 A 活荷重t≧0.035b, 12 ㎜以上 (2)　歩道部:同左	同左
縦リブの最小板厚	なし	なし	8 ㎜(腐食配慮の閉断面縦リブは6 ㎜)	同左	同左	同左	同左
許容応力度	主げた作用と床組作用の同時考慮の許容値	同左(鋼種追加)	同左(高強度鋼追加) 縦リブの許容値規定	同左(鋼種追加) 連結部規定	同左	同左(板厚に準じた許容値)	同左
疲労の影響	なし	大型車両1日1方向1000台以上の場合の割増し係数	同左	同左	B活荷重の割増し係数 A活荷重の荷重低減	同左	5.3　疲労設計 「鋼道路橋の疲労設計指針」
構造細目	溶接ひずみの少ない構造とする	同左, 縦リブを連続させる	同左	同左	同左	同左, 腹板上の舗装ひびわれ抑制に配慮	同左, 縦リブはボルト継手, ボルト等突出物の舗装への影響, 施工の章を充実
舗装厚	5～8 cm	同左	6～8 cm	同左	同左	同左	同左

1.2　共同研究の流れ

本研究では，**図 1.2-1** に示すフローに従い検討を行った。また，各項における検討概要を以下に示す。

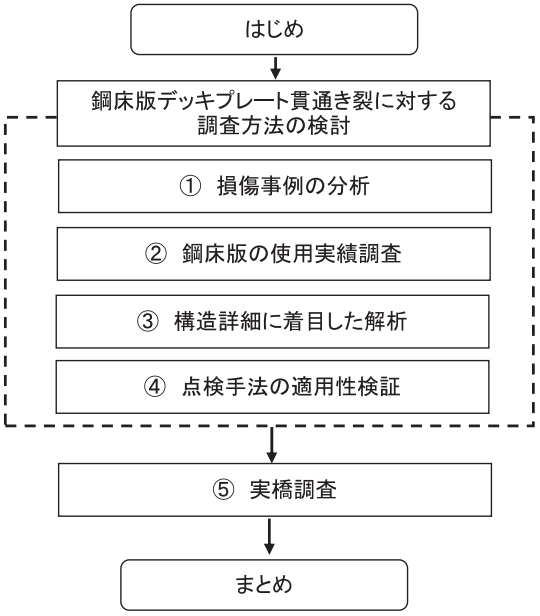


図 1.2-1　共同研究のながれ

①②鋼床版のデッキプレート貫通き裂の発生事例の分析と使用実績の調査【1 章】

デッキプレート貫通き裂の発生する可能性の有無あるいはその大小について，橋梁形式が床組構造などのマクロ的な視点で差別化できる可能性のある条件を見いだすために，デッキプレート貫通き裂が実際に発生している事例について，橋梁構造や架橋環境等の様々な条件について整理して比較検討を行った。

調査箇所を合理的に抽出するため，国土交通省直轄国道における鋼床版の使用実績，使用状況，構造諸元を把握し，1.3 節の損傷事例との比較検討を行った。

③鋼床版の構造力学的特徴に着目したき裂発生要因の分析【2 章】

デッキプレート貫通き裂の発生する可能性の有無あるいはその大小について，鋼部材の疲労現象として，その構造的特徴や発生応力の状態などとの関係を見いだすために，輪荷重の載荷に対する応答の観点からの鋼床版の力学的特性を数値解析により検討した。

④調査，点検手法の適用性検証【3 章】

1 章及び 2 章の分析結果をふまえ，通常の外観目視のみによる点検では検出が困難なデッキプレート貫通き裂の発生を，効率的に発見するための点検・調査の方法について検討する。

⑤鋼床版現地調査【4 章，5 章】

④で提案した，点検調査方法の有効性を検証するために実橋に対して実際に点検・調査を行った結果について示す。

1.3　デッキプレート貫通き裂の発生事例

鋼床版のデッキプレート貫通き裂は，デッキプレートとトラフリブの溶接ルート部を起点としてデッキプレート上面に向かって進展するき裂であるため，外観目視のみで発見することはできない。一方，デッキプレート貫通き裂の発生の有無を確認するために，超音波探傷試験などの非破壊検査手法を用いて，トラフリブとデッキプレートとの溶接線の全てを，網羅的に調査することは非効率で膨大な作業となる。

そこで，デッキプレート貫通き裂の発生する可能性の有無あるいはその大小について，マクロ的な視点で差別化できる可能性のある条件を見いだすために，デッキプレート貫通き裂が実際に発生している４橋の事例について，橋梁構造や架橋環境等から以下の項目に着目して情報を収集整理した。

①構造諸元

疲労損傷の原因は，一般には応力集中による高い応力範囲の発生とその繰返しである。そこで，自動車荷重の移動に伴ってデッキプレート貫通き裂の起点となるデッキプレートとトラフリブの接合部の発生応力や応力振幅に関係の大きいと考えられる構造諸元に着目した。

②荷重履歴

大型車交通量が多く，かつ，長期間供用されている橋梁ほど疲労きれつの発生につながる応力範囲の発生回数とその大きさは大きくなるものと考えられる。そのため大型車交通量及び供用年数に着目した。

③き裂の発生位置

鋼床版橋では，デッキプレート貫通き裂は確認されない一方でビードや横リブとの交差部などデッキプレート貫通以外の様々なき裂が生じているものもある。このように発生するき裂の特徴には橋によって異なる傾向があり，これらを明らかにすることでき裂の効果的な検出手法の確立につながる可能性もあるものと考えられる。そこでき裂の位置やその方向，車両走行位置との関係に着目した。

④路面状況

デッキプレート貫通き裂が発生した場合，き裂部位でデッキプレートが不連続な挙動を示すことになるため当該部位とその近傍では舗装が損傷しやすくなることが考えられた。そのため舗装にあらわれる変状の特徴からデッキプレート貫通き裂の発生の有無やその部位の特定につながる可能性があると考えられる。そこで舗装の材質や補修履歴，変状の状況について着目した。

⑤溶接形状

溶接部に生じる疲労き裂では，き裂の原因となる局部の応力状態は溶接ビードの形状や仕上げ状態，きづの有無などの局部の形状にも大きく依存する。そのため溶接形状やとけ込み量などの溶接品質がき裂発生に大きく関わっている可能性もある。

そのため溶接ビード形状や溶接不良などの溶接品質について着目した。

1.3.1　M2 橋

(1) 構造諸元

橋梁形式　　：鋼床版箱桁橋（山側）（単純＋３径間連続＋単純）
橋長(支間)　：405.8 m（①62.45m，②280.09m（90m+100m+90m），③62.45m）
幅員　　：15.0 m（ 2.5（歩道）＋10.75（車道）m）
車線数　　：片側 3 車線
主げた間隔　：箱内 2.6m，箱間 5.6m
横リブ間隔　：3.0m
デッキプレート厚　：12mm
縦リブ形状　：U340×288×8 (**図 1.3-1** 参照)

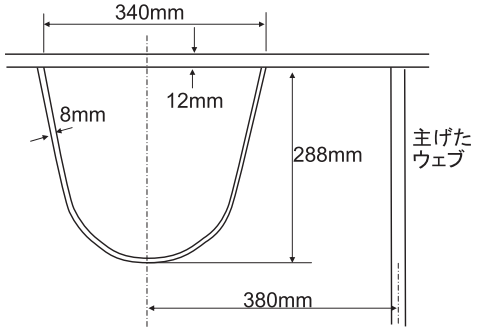


図 1.3-1　縦リブ形状

(2) 荷重履歴

本橋の交通状況を**写真 1.3-1** に示す。

当該橋は，湾岸部かつ工業地帯にあり産業道路としての性格を有するものと考えられ，大型車交通量が多いものと思われる。

交通荷重履歴の参考となる供用年と大型車交通量は次の通り。

供用年　　：1980 年 12 月
大型車交通量：3,798（台/12 時間/車線）（平成 11 年度道路交通センサスより）



写真 1.3-1　交通状況

(3) き裂の発生位置と状況

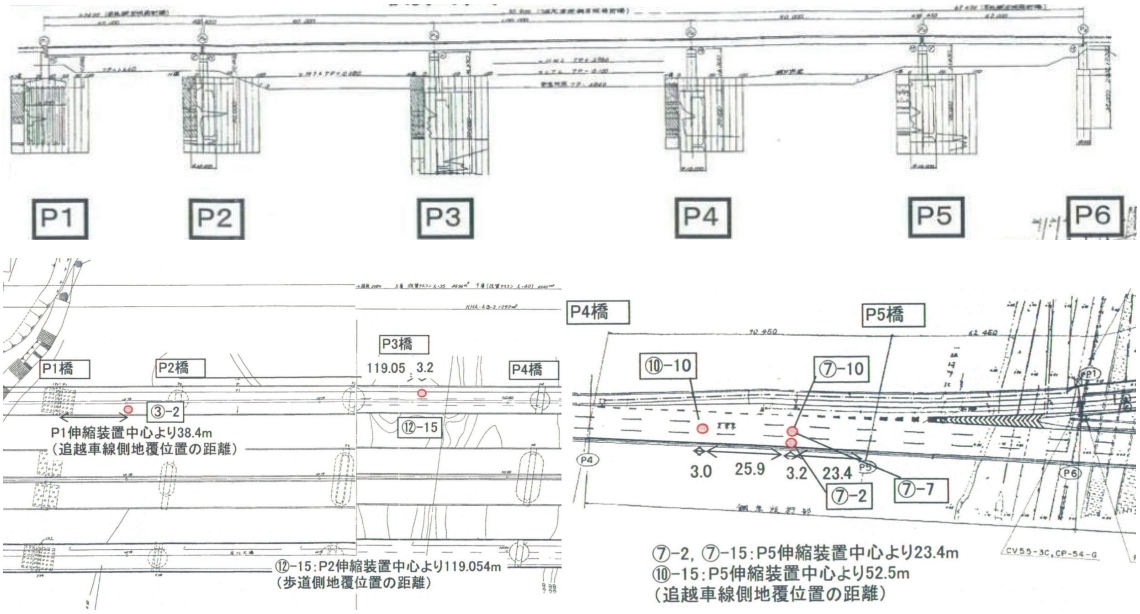
図 1.3-2，写真 1.3-2 に確認されたき裂発生位置と状況の例を示す。

・3 径間のうち，P1~P2,P3～P4,P4～P5 間の全ての径間。

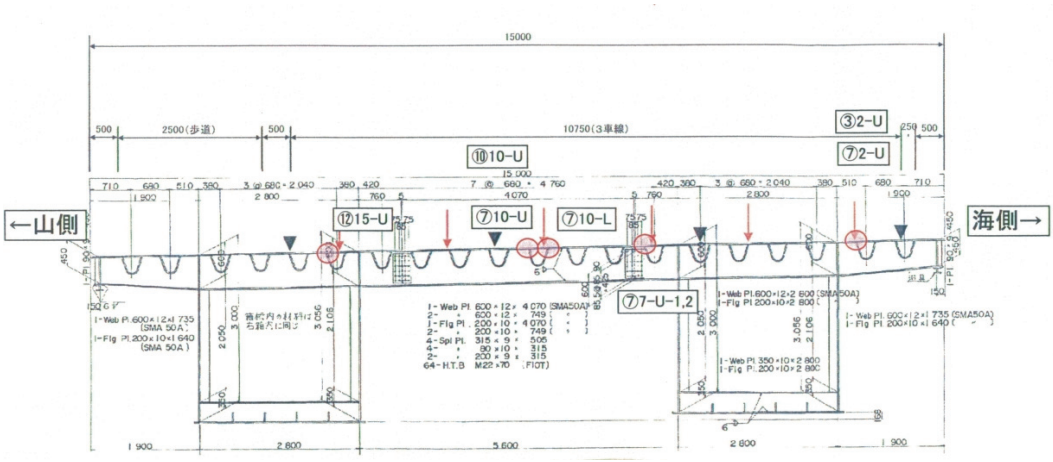
・箱げたウェブ直近のトラフリブ，及び，箱桁支間中央のトラフリブ。

・大型車の車輪走行位置直下。

・損傷は，一つのトラフリブの両側で生じていた（図 1.3-2 き裂番号⑦-10）。

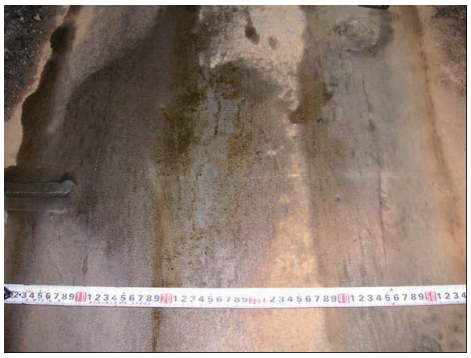


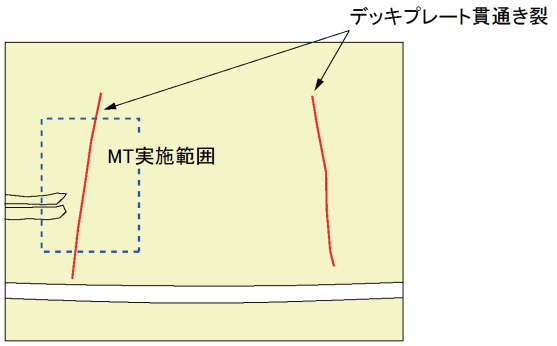
(a) 平面図



(b) 断面図

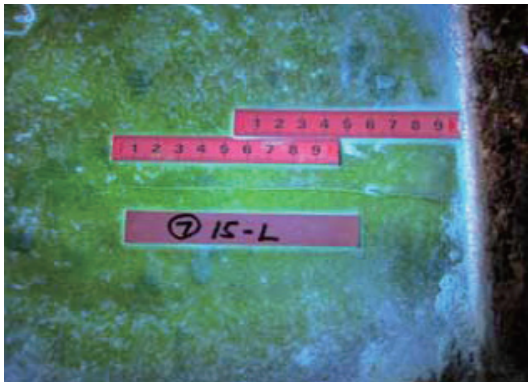
図 1.3-2　き裂発生位置





(a) き裂⑦10-U, ⑦10-L





(b) き裂⑦15-L

写真 1.3-2　デッキプレート貫通型き裂

(4) 路面状況

舗装は，全厚が改質アスファルト舗装（75㎜）であり，一般に当初施工で用いられることの多いグースアスファルト舗装の基層がない。そのため補修履歴の記録がないものの，過去に基層から舗装が補修された可能性があると考えられる。また，桁端部の伸縮装置付近ではオーバーレイによる打ち替えが行われている（**写真 1.3-3(b)**）。

舗装の主な損傷状況は以下の通りである。

・縦方向のひびわれが多数発生している（**写真 1.3-3(a)**）。ひびわれは大型車の車輪通過位置で特に顕著であるが，それ以外の位置でも発生している。

・縦横に細かく，蜘蛛の巣状にひびわれている箇所が確認された（**写真 1.3-3(c)**）。



(a)縦方向の損傷



(b)オーバーレイ



(c)蜘蛛の巣状の損傷

写真 1.3-3　舗装劣化状態

(5)溶接形状

デッキプレート貫通き裂の発生箇所のデッキプレートとトラフリブの溶接線を調査した結果は以下の通り。

・脚長ゲージによる計測結果では，デッキプレートとトラフリブ溶接部の溶接脚長はデッキプレート側が８㎜程度，トラフリブ側が７㎜程度と標準的といえる範囲の大きさが確保されている。(図 1.3-3)

・特段の溶接ビード形状の不整や溶接欠陥は認められない。

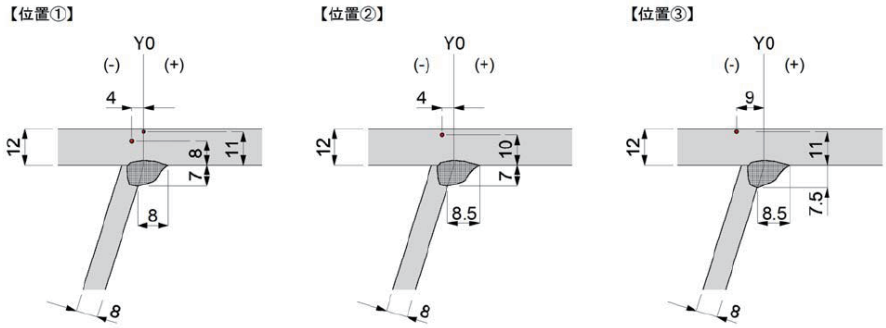


図 1.3-3　溶接ビード形状（き裂位置は①）

1.3.2　M3 橋

(1) 構造諸元

橋梁形式　　：3 径間連続箱桁橋（3 箱桁）
橋長(支間)　　：210m（65.0m+80.0m+65.0m）
幅員　　：24.0 m（2.5(歩道)+3.0(車道)+3.25(車道)+3.25(車道)m）
車線数　　：片側 3 車線
主げた間隔　　：箱内 2.79m，箱間 5.27m
横リブ間隔　　：端部より 1.2,1.6,2.2,2.5m　(以下，等間隔に配置)
デッキプレート厚：12mm
縦リブ形状　　：310×274×8－124 (図 1.3-4 参照)

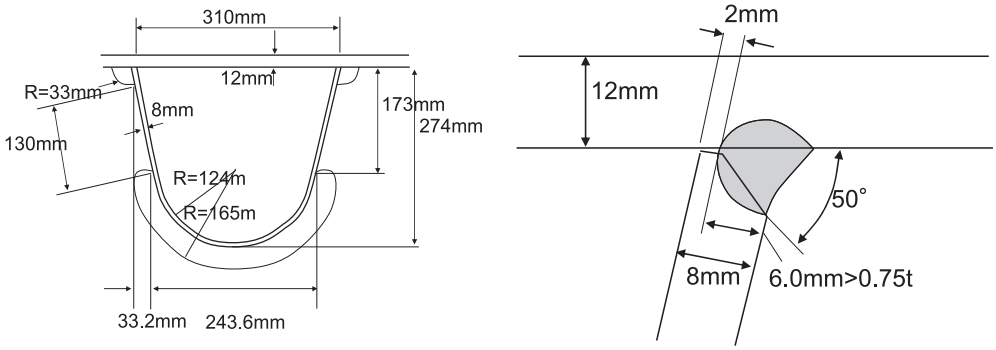


図 1.3-4　M3 橋の縦リブ形状と溶込み（設計図面より）

(2) 荷重履歴

供用年，大型車交通量は以下の通りである。交通状況について写真 1.3-4 に示す。

当該橋は，湾岸部かつ工業地帯に位置しており，特に重量が大きいと思われる大型車が多く見られた。

供用年　　：1980 年 1 月
大型車交通量　　：3,798（台/12 時間/車線）（平成 11 年度道路交通センサスより）

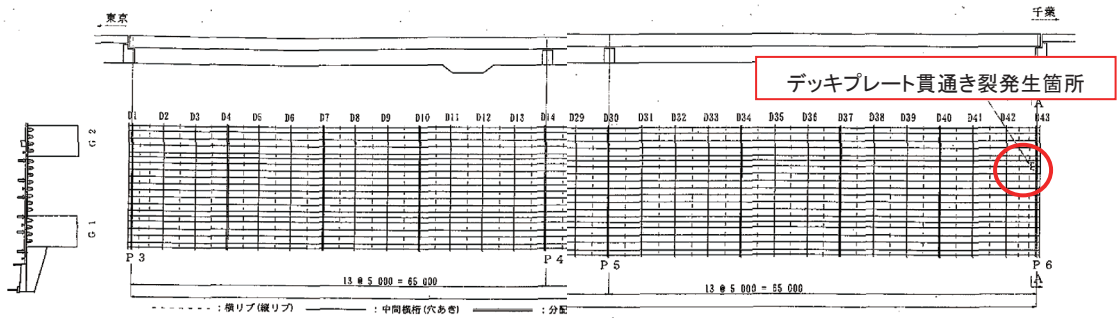


写真 1.3-4　交通状況

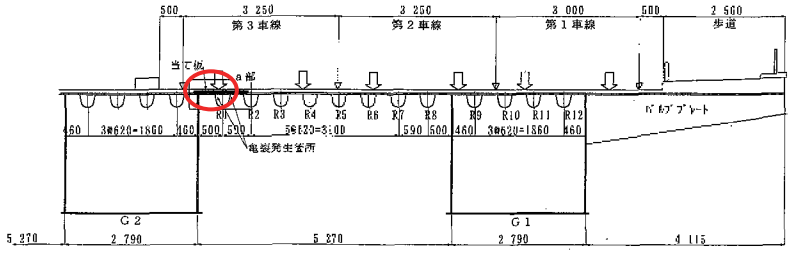
(3) き裂の発生位置と状況

図 1.3-5，**写真 1.3-5** から，き裂が発生した位置と状況についてまとめると，以下のとおりである。

- 3 径間のうち，端径間の支点付近。
- 箱桁ウェブ直近のトラフリブとデッキプレートの溶接部。
- 進行方向最初のパネルの端部。
- 大型車の車輪走行位置直下。
- デッキプレート厚は 12mm であるが，デッキプレート上面は腐食しており，減厚している可能性がある。
- 損傷は，ひとつのトラフリブの左右の溶接線に生じていた（**写真 1.3-5**）。



(a) 平面図



(b) 断面図

図 1.3-5　き裂発生位置



写真 1.3-5　き裂発生状況

(4)路面状況

き裂が発生した橋梁の現地調査で，舗装の材質や補修履歴，変状と損傷位置との関係などを分析した結果は，以下のとおりである。

・過去に 3 回の補修修繕工事が行われており，表層は改質アスファルト舗装である。1997 年にオーバーレイ実績記録がある。しかしながら，過去の補修時に基層まで補修あるいは更新されているかなど，その他の補修内容の詳細は不明（**写真 1.3-6(a)，(b)**）。

・疲労損傷発生直前まで，舗装にポットホールが度々発生し，緊急補修が行われている（**写真 1.3-6(b)**）。

・舗装の劣化は著しく，全線にわたり舗装の縦方向損傷（**写真 1.3-6(c)**）及び，蜘蛛の巣状の損傷（**写真 1.3-6(a)，(b)，(d)**）が多数発生している。



(a)補修痕・蜘蛛の巣状の損傷（き裂発生箇所の舗装）



(b)補修痕



(c)縦方向損傷，蜘蛛の巣状の損傷



(d)縦方向損傷，蜘蛛の巣状の損傷

写真 1.3-6　舗装劣化状態

(5)溶接形状

- トラフリブ溶接部は開先をとっており，溶け込み量は比較的大きいと予想される。
- トラフリブ溶接部の実際の脚長やのど厚は不明である。

1.3.3　M10 橋

(1) 構造諸元

橋梁形式　　：3 径間連続箱桁橋 2 連（3 箱桁）
橋長(支間)　：265m（①88.5m(RC 床版)② 88m(鋼床版)③88.5m(鋼床版)）
幅員　　：12.5 m(3.5(歩道)+3.75+4.25m)
車線数　　：片側 1 車線
主げた間隔　：箱内 2.0m，箱間 3.5m
横リブ間隔　：2.75m
デッキプレート厚　：12～20mm
縦リブ形状　：U-320×250×8 (**図 1.3-6** 参照)

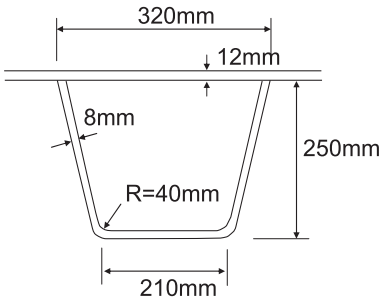


図 1.3-6　縦リブ形状

(2) 荷重履歴

供用年，大型車交通量は以下の通りである。交通状況について**写真 1.3-7** に示す。

当該橋は，湾岸部に位置しており，大型車混入率は高いと考えられる。また，片側 1 車線で車線変更箇所もないため，大型車が走行する際の輪の位置が比較的固定的となる条件である。

供用年　　：1986 年 10 月
大型車交通量：2,023（台/12 時間/車線）（平成 11 年度道路交通センサスより）

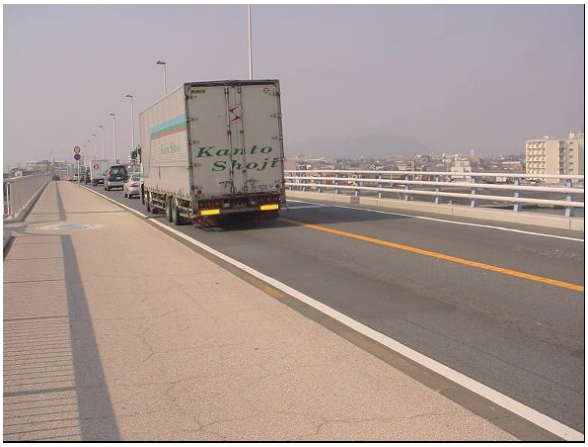
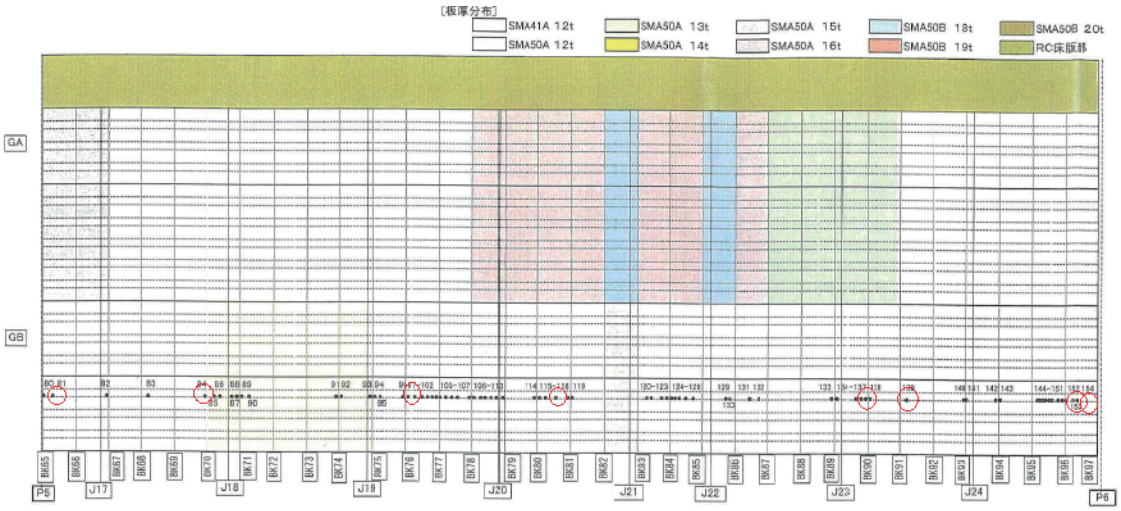


写真 1.3-7　交通状況

(3) き裂の発生位置

M10 橋は，デッキプレート貫通き裂が発生した位置のトラフリブの溶接線を対象に全線にわたって，超音波探傷試験による調査が行われた。その結果の例を**図 1.3-7,8** に示す。M10 橋は，鋼重を抑えるために，異なるデッキプレート厚を用いている。デッキプレート厚ごとに溶接当たりのき裂長をまとめた結果を**図-1.3.9** に示す。

- 3 径間の全てで超音波探傷試験によりデッキプレート貫通き裂が発生しているものと考えられる。（なお，直接き裂を上面から確認したものはデッキプレート厚 12mm の部位のみであり，その他の板厚の部位での直接視認はしていない。）
- 大型車の輪位置とも一致する箱桁ウェブ直近のトラフリブにき裂の発生は集中している（**図 1.3-8(b)** 参照）。
- 橋軸方向の発生状況に，横げた位置や支点近傍などの傾向は見られない（**図 1.3-8** 参照）。



● き裂発生位置　　○貫通位置

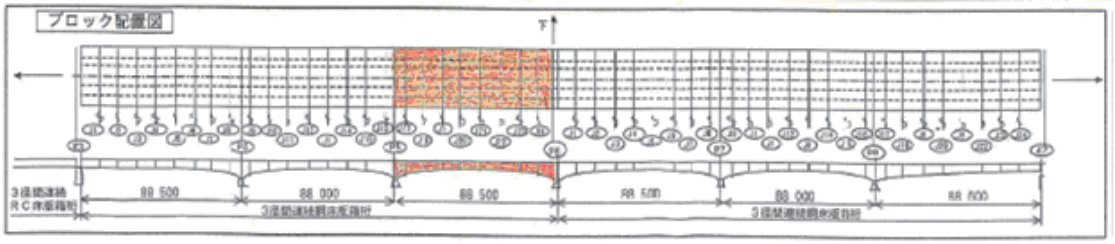


図 1.3-7(a)　き裂発生位置（平面図の一例 P5～P6）

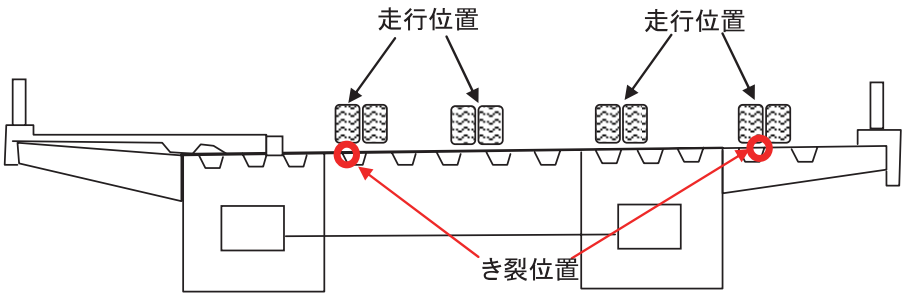
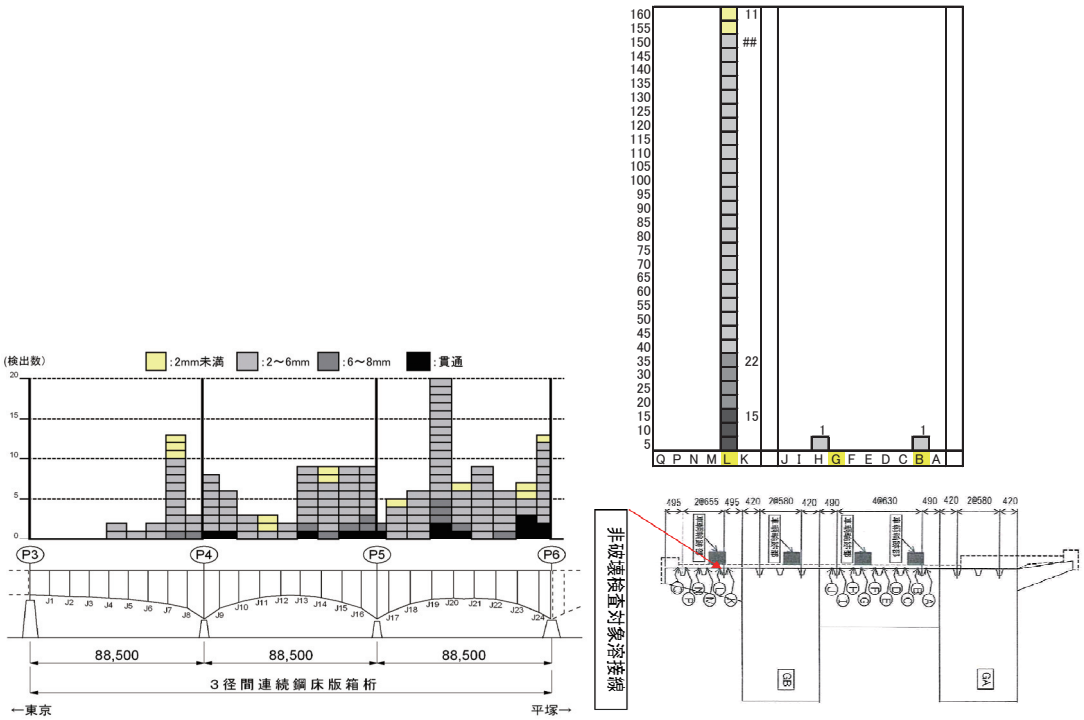


図 1.3-7(b)　き裂発生位置（断面）



（a）　橋軸方向　　（b）橋軸直角方向（一般部の例）

図 1.3-8　き裂検出数分析結果

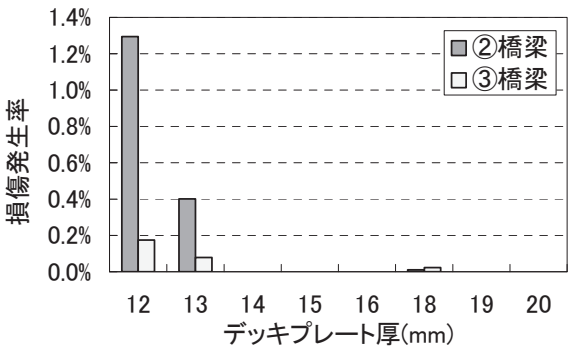


図 1.3-9　デッキプレート厚ごとの溶接長あたりの損傷発生率

(4)路面状況

き裂が発生した橋梁の現地調査で，舗装の材質や補修履歴，変状と損傷位置との関係などを分析した結果は，以下のとおりである。

・舗装は，改質アスファルト舗装であった。改質アスファルトは鋼床版で一般的に用いられるグースアスファルトと比較して一般的に施工性がよいため，補修の際に用いられることが多い。したがって，M10 橋において補修履歴はないものの，過去に舗装が補修された可能性があると考えられる。

・車両の輪位置に，舗装の補修痕が多く確認された（**写真 1.3-8**）。

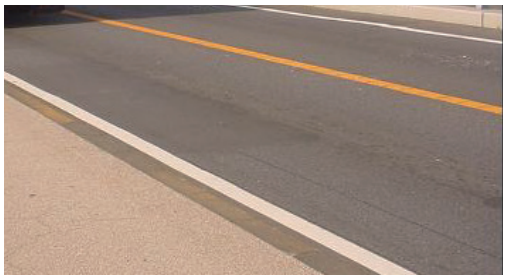


写真 1.3-8　路面の補修痕

（５）溶接形状

M10 橋の溶接形状を**図-1.3-10** に示す。疲労設計指針で規定している 75%溶込み以上が確保されていた。また，デッキプレート貫通き裂が確認された②，③橋それぞれの断面を写真 1.3-9 に示す。超音波探傷の結果，溶接線当たりのき裂長が長い②橋の方が，③橋と比較して溶接サイズが大きい。したがって，溶接サイズが大きい場合でもデッキプレート貫通き裂が発生していることが確認できた。

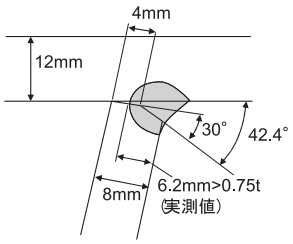
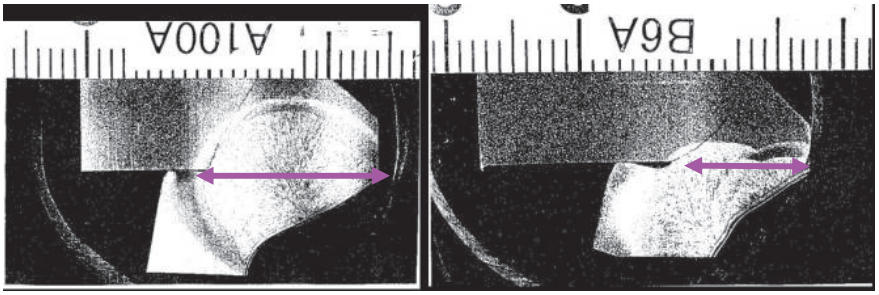


図-1.3-10　溶接形状



②橋梁（溶接サイズ 12～15mm）　　③橋梁（溶接サイズ 6～8mm）

写真 1.3-9　溶接サイズの比較

1.3.4　C1 橋

(1) 構造諸元

橋梁形式　　：3 径間連続箱桁橋（2 箱桁）
橋長(支間)　：　265m（59.0m+74.0m+59.0m）
幅員　　：　12.5 m（3.5(歩道)+3.75+4.25m）
車線数　　：3 車線
主げた間隔　：箱内 2.0m，箱間 5.1m
横リブ間隔　：2.95m
デッキプレート厚　：12mm
縦リブ形状　：U-340×280×8 (図 1.3-11 参照)

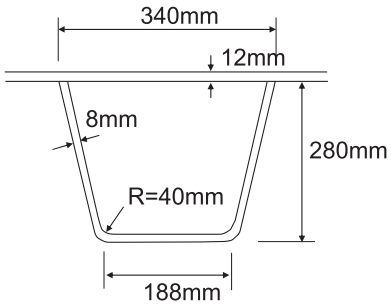


図 1.3-11　縦リブ形状

(2) 荷重履歴

供用年，大型車交通量は以下の通りである。交通状況について写真 1.3-10,11 に示す。

当該橋は湾岸部かつ工業地帯に位置しており，特に重量が大きいと思われる大型車が多く通行していた。

供用年　　：1979 年
大型車交通量：1,220（台/12 時間/車線）（平成 11 年度道路交通センサスより）



写真 1.3-10 交通状況(1)

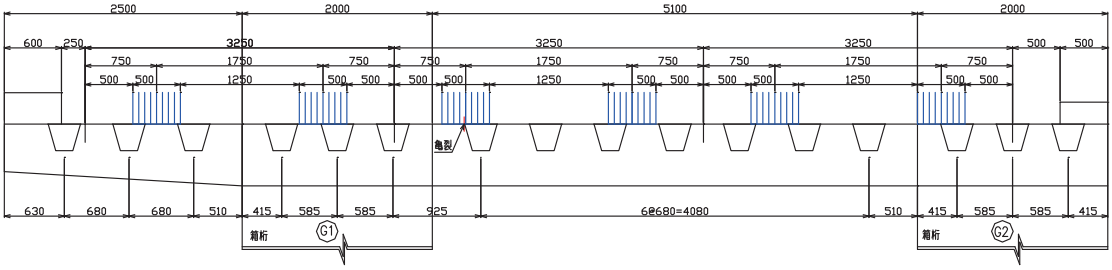


写真 1.3-11　交通状況(2)

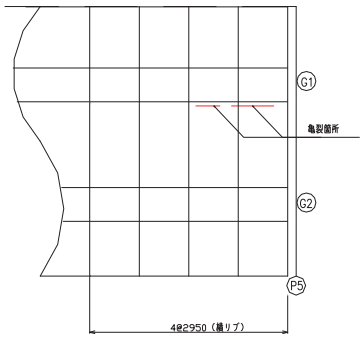
(3) き裂の発生位置

図 1.3-12 から，き裂が発生した位置についてまとめると，以下のとおりである。

- 3 径間のうち，端径間の橋脚付近，桁端から約 6mの範囲（橋軸方向)。
- 箱桁ウェブ直近。
- 大型車の車輪走行位置直下。



(a) 断面図



(b) 平面図

図 1.3-12　き裂発生位置

(4)路面状況

き裂が発生した橋梁の現地調査で，舗装の材質や補修履歴，変状と損傷位置との関係などを分析した結果は，以下のとおりである。

・舗装の全面補修を供用開始 16 年後の 1995 年に実施。その 8 年後の 2003 年より舗装損傷が頻発している（**写真 1.3-12(a)**）。舗装は改質アスファルトである。

・舗装の劣化は著しく，全線にわたり，舗装の縦方向損傷が多数発生している（**写真 1.3-12(d)，(e)，(f)**）。

・蜘蛛の巣状の損傷（**写真 1.3-12(c)**）が発生しておりポットホール（**写真 1.3-12(d)**も生じている。



(a)補修痕



(d)縦方向損傷



(c)蜘蛛の巣状の損傷



(d)ポットホール



(e)縦方向損傷



(f)縦方向損傷

写真 1.3-12　舗装劣化状態

(5)その他

写真 1.3-13, 14 に示すようにトラフリブ内部にはき裂箇所から浸透した雨水が滞水し，き裂から路面に溢れて舗装の劣化要因になっている。



写真 1.3-13　疲労損傷発生部位と調査用マンホール開口

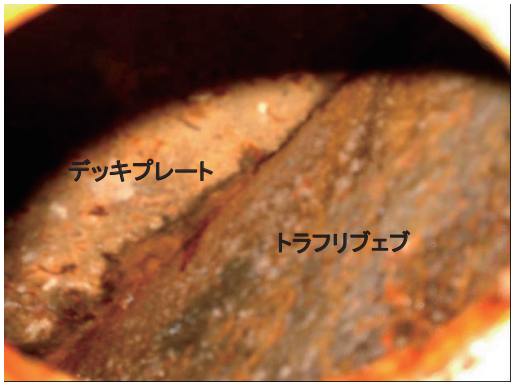


写真 1.3-14　リブ･デッキプレート溶接部のき裂

1.3.5　まとめ

デッキプレート貫通き裂を生じた橋梁 4 橋の状況等について分析した結果を以下に示す。

（1）構造諸元

･いずれの橋梁もトラフリブを有する鋼床版箱桁橋で，デッキプレート貫通き裂が確認された箇所のデッキプレート厚は 12mm，トラフリブ厚は 8mm である。

（2）荷重履歴

・いずれの橋梁も湾岸部に位置する比較的重交通の路線であり，大型車交通量が概ね 6,000 台/日となっている。

・なお，デッキプレート貫通き裂発見時の供用年数が 13 年と極めて短いものもある。

（3）き裂の発生位置

・き裂は，大型車の車輪走行位置直下の近傍で発生している。

・き裂は主げた（箱げたのウエブ）に近い位置でより多く発生している。

・橋軸方向のき裂発生位置には，共通的な特徴はない。

（4）路面状況

・いずれの橋梁も舗装の劣化が顕著であり，補修歴も多い。

・舗装の損傷では，特に以下のものが見られる

①トラフリブの位置に合致する縦（橋軸）方向のひびわれ。
（錆汁によると見られる変色を伴うものもある）

②車輪通過位置に一致する特定のライン上での補修痕の連続（ポットホールの発生）

③蜘蛛の巣状（あるいは細かい格子状）のひびわれ。

（５）溶接形状

・トラフリブとデッキプレートの縦方向溶接は，溶け込み量，溶接脚長ともに明らかな不足などの不良や傾向はない。またビードの外観についても著しい形状不整やアンダーカット，オーバーラップなど特定の不良についての特徴はなかった。

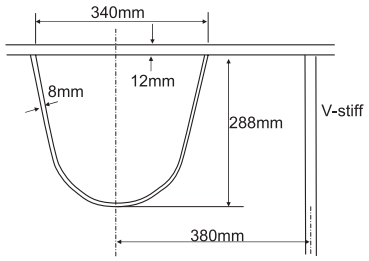
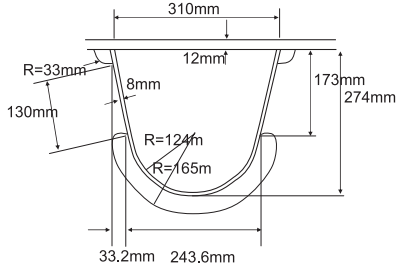
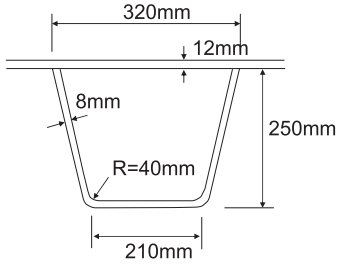
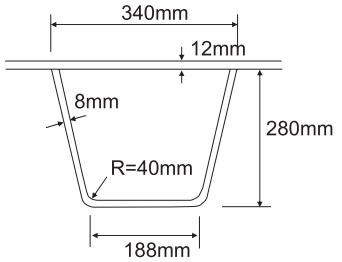
以上，限られた数例ではあるが，デッキプレート貫通き裂が実際に生じた橋梁の状況等を調査した結果，及びこれまで報告されている知見から考えると，次の条件により多く合致するものについては，相対的にき裂が発生しやすいか，すでにき裂が発生している疑いがあることから，デッキプレート貫通き裂の検出を目的とした調査の優先的な対象として抽出することが合理的となる可能性が高いと考えられる。

①デッキプレート厚 12㎜（以下）の箱げた橋
②供用後の大型車交通量が，累計 2 千万台以上（10 年×365 日×6000 台≒2000 万台）
③舗装の状態に以下の特徴が該当する
- トラフリブの位置に合致する縦（橋軸）方向のひびわれの発生。
  （錆汁によることが疑われる変色を伴うものはより優先度が高い）
- 車輪通過位置に一致する特定のライン上でのポットホール等の損傷の多発
  （複数箇所または連続しての発生，またはそれらの補修歴）
- 蜘蛛の巣状（あるいは細かい格子状）のひびわれの発生

また，調査にあたっては，次の条件により多く合致する部位について優先的に調査することが効率的となる可能性がある。

①大型車の車輪位置近傍のトラフリブ
②箱げた（主げた）のウエブに近いトラフリブ
③上記の特徴的な舗装の損傷部位

表 1.3-1 デッキプレート貫通き裂の発生事例一覧

橋梁名	M2	M3	M10	C1
橋梁形式	鋼床版箱桁 (①単純+②3 径間連続+③単純)	3 径間連続鋼床版箱桁	3 径間連続鋼床版箱桁 (①RC 床版,②③鋼床版)	3 径間連続鋼床版箱桁
橋長(m)	405.8	210.0	265.0	265.0
支間長(m)	①62.45 ②280.09(90+100+90) ③62.45	65.0+80.0+65.0	①88.5m ②88.0m ③88.5m	59.0+74.0+59.0
縦リブ形状	U340×288×8 	U310×274×8 	U320×250×8 	U340×280×8 
デッキプレート厚(mm)	12	12	12～20	12
横リブ間隔(m)	3.00	1.20,1.60,2.20,2.50	2.75	2.95
供用年	昭和 55(1980) 年	昭和 55(1980) 年	昭和 62 年（1986）	昭和 54 年（1979）
大型車交通量	3,798 台/12 時間/車線	3,798 台/12 時間/車線	2,023 台/12 時間/車線	1,220 台/12 時間/車線
損傷位置	・大型車の輪直下 ・主げた近傍のトラフリブ,床版支間中央付近のトラフリブ	・大型車の輪直下 ・主げた近傍のトラフリブ	・大型車の輪直下 ・主げた近傍のトラフリブ	・大型車の輪直下 ・主げた近傍のトラフリブ
舗装の状況	損傷が著しい 補修箇所がある	損傷が著しい 補修箇所がある	補修箇所がある	損傷が著しい 補修箇所がある
溶接形状	溶込み量 75%以上確保	溶込み量 75%以上確保	溶込み量 75%以上確保	―

1.4　鋼床版の使用実績調査

1.4.1　概要

前項においてデッキプレート貫通き裂の実際に発生した橋梁の状況を調査することにより，き裂発生危険性に関する要因について考察したが，き裂の特徴から現在までにすでにき裂が発生しているにもかかわらず点検等で発見されていないものや，今後デッキプレート貫通き裂を生じる可能性が高い橋梁については把握できていない。今後既設橋梁の調査を効率的に進めるためには調査対象として絞り込む可能性のある条件に該当する橋梁の数や経年数などの実態を把握しておくことが必要と考えられる。そのため，ここでは 1.3 の分析結果もふまえ，国土交通省直轄国道における鋼床版の使用実績について構造的特徴等による資産の状況について整理した。

調査概要は表 1.4-1 に示すとおり。

表 1.4-1　調査概要

調査時期と方法	平成 15 年 9 月時点，北海道開発局及び各地方整備局へのアンケート調査
調査対象	直轄国道における鋼床版を有する橋梁（全 250 橋）
調査項目	桁形式，床版種類，床版厚さ，材料，架設工法，架設竣工年，径間，橋長など
調査結果の処理方法	・ 1 つの橋梁で複数の種類の縦リブが用いられている場合には，個別に計上。 ・ 上下線分離構造については個別に計上。 ・ 1つの橋でデッキプレートの板厚が異なる場合には，薄い方をカウントし，12mm を下回る場合は，全てを「その他」とした。

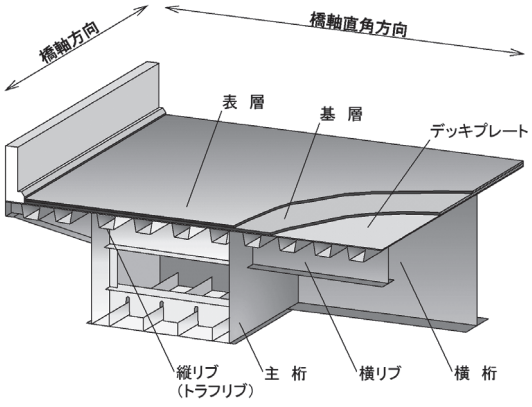


図 1.4-1　鋼床版構造の例

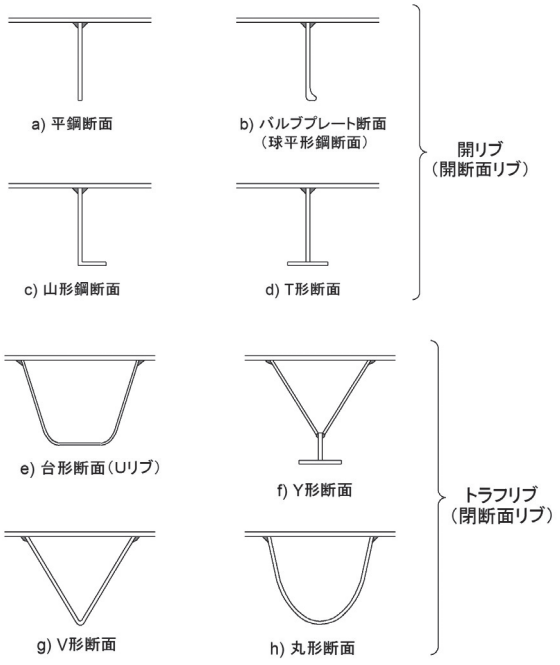
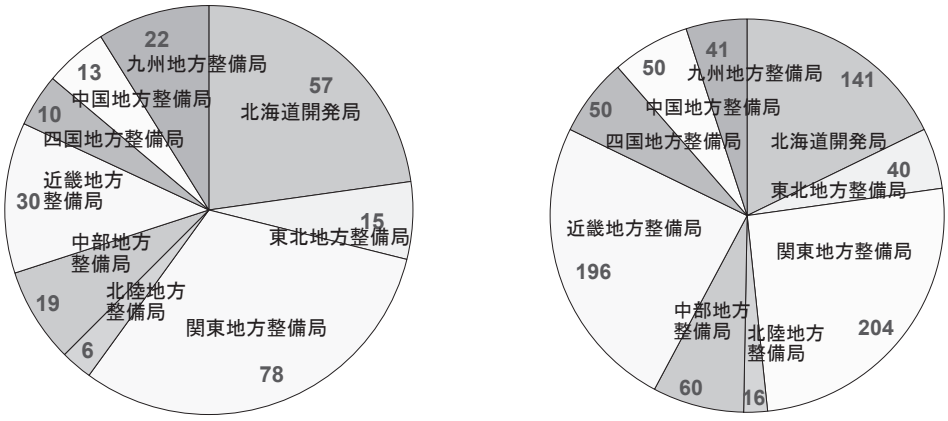


図 1.4-2　縦リブ形状の例

1.4.2 調査結果

(1)橋梁数及び径間数

調査した直轄国道の鋼床版橋梁について，地方整備局別の橋梁数及び径間数を**図 1.4-3** に示す。橋梁数で最も多いのは関東地方整備局，次いで北海道開発局，近畿地方整備局の順である。主に湾岸部や軟弱地盤と思われる箇所に多く架設されており，平均して 3 径間程度の連続桁が多い。これは，**図 1.4-3(a)**の橋梁数を 3 倍するとおおよそ**図 1.4-3(b)** の径間数と一致することからも分かる。ただし，近畿地方においては，径間数が橋梁数の約 6.5 倍となることから平均して 6 ないしは 7 径間以上の多径間連続高架橋が相対的に用い傾向がある。



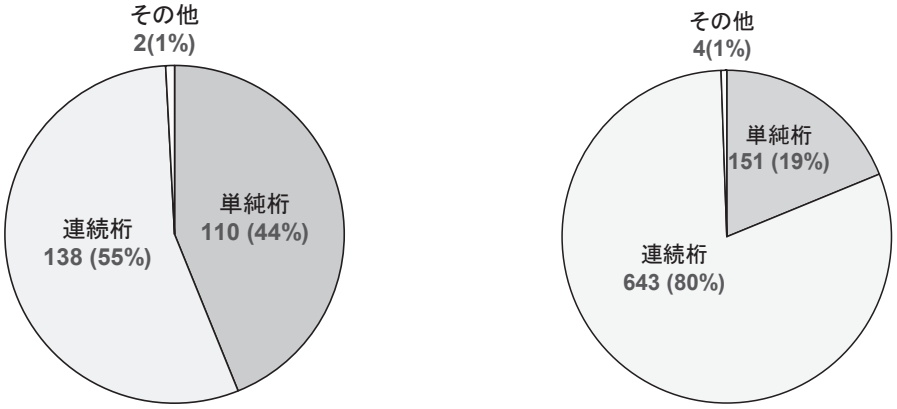
(a) 橋梁数　　(b) 径間数

図 1.4-3 地方整備局別橋梁数及び径間数

(2)連続・単純桁区分

鋼床版橋梁における連続桁，単純桁の割合について，**図 1.4-4** に示す。

(1)でも考察したように，単純と連続では橋数に大きな差がないことから，結果的に径間数では連続桁が圧倒的に多い傾向となる。

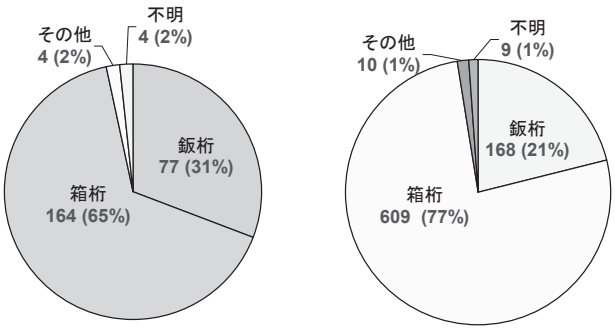


(a) 橋梁数　　(b) 径間数

図 1.4-4 連続・単純桁区分

(3) 主桁形式

主桁形式の違いについて，**図 1.4-5** に示す。トラフリブ形式を用いることの有利性の一つとして床版の剛性が桁の剛性にも寄与し，桁高が抑えられることがある。そのため長支間で死荷重を軽減し，さらに桁高を抑制するには箱桁形式にトラフリブ形式の鋼床版の組み合わせが効果的となる。これらのことが橋梁数・径間数ともに箱げた形式の割合が大きくなった原因と考えられる。



(a) 橋梁数　　(b) 径間数

図 1.4-5 連続・単純桁区分

(4) デッキプレート厚

デッキプレート厚の違いについて，**図 1.4-6** に示す。鋼床版の最小板厚は，舗装への影響や鋼床版の施工性等などの観点から一般に 12mm が採用される。その一方，鋼床版は床版及び床組構造としての作用と主げた構造の一部としての作用をそれぞれ独立に考えて設計することが一般的であり，デッキプレートの厚さは主げた作用に対する必要厚さが確保される。分析の結果，最小板厚である 12mm が 74%と支配的となっており，これらの中には主げた作用などの耐荷力的観点からの必要厚さが 12mm 未満であるものの，それ以外の影響を考慮して最小板厚が選定されたものも含まれているものと考えられる。すなわちデッキプレート厚が 12mm の鋼床版で，主げたや床組としての耐荷力の観点からは 12mm を越えるデッキプレート厚のものに比べて想定的に安全余裕が多く確保されているものが相当数含まれる可能性がある。

なお，一つの橋梁でデッキプレートの板厚が異なる場合は，薄い板厚をカウントし，12mmを下回る場合は，規定にない板厚であり，入力ミスの可能性が高いと判断し，「不明」とした。

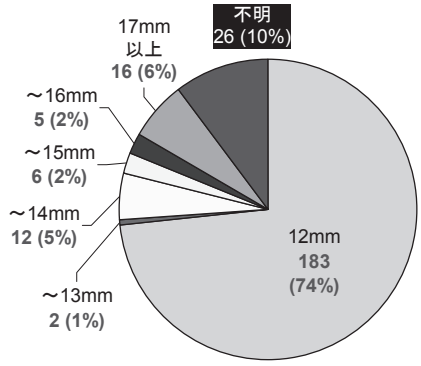


図 1.4-6 デッキプレートの厚さ（橋梁数）

(5) 縦リブの種類と厚さと竣工年度

縦リブの種類と厚さについて，**図 1.4-7** に，鋼床版を有する橋梁の竣工年度を**図 1.4-8** 示す。既存の全体数としては開断面リブがトラフリブと比較して若干多い。また近年はトラフリブの採用比率が増加する傾向がある。

トラフリブのリブ厚さを分析すると，75%が 6mm，その他はほとんどが 8mm であった。経年で見ると 1975～1984 年度にかけては，リブ厚 6mm よりも 8mm の方が使用実績は多かったが，1985 年以降においては 8mm よりも 6mm を使用する橋数の方が増加していることが分かる。これは，道路橋示方書に防食性の観点から耐久性が確保される場合には鋼部材の最小板厚を 6mm とすることができる旨が明記されたことに関連しているものと考えられる。

なお，デッキプレート貫通き裂を確認した損傷事例の 4 橋はいずれもリブ厚は 8mm であった。

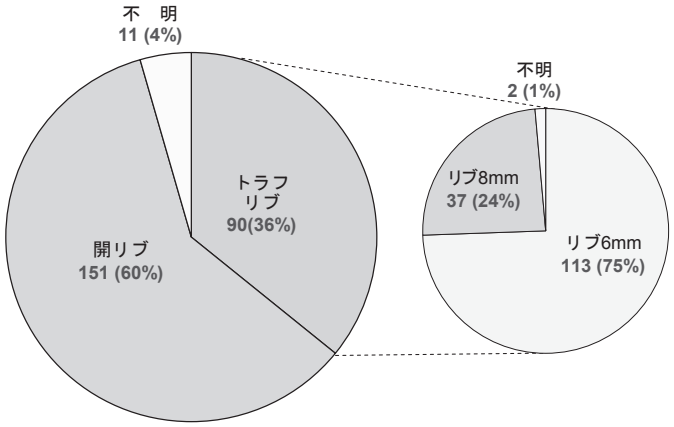
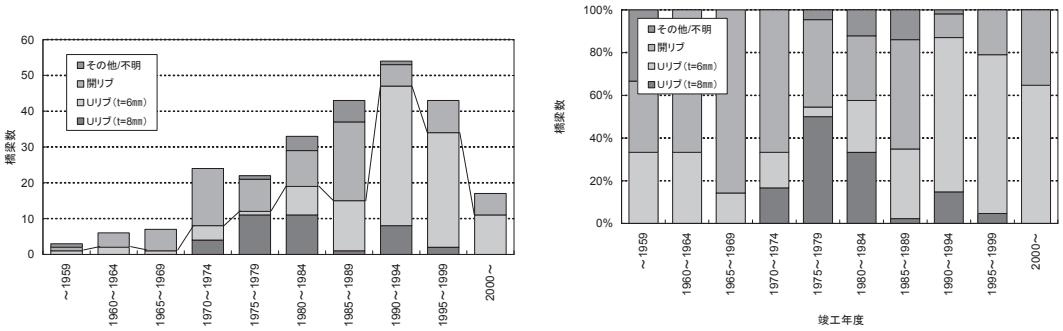


図 1.4-7　縦リブの種類とリブの厚さ（橋梁数）



(a) 橋梁数　　(b) 割合（橋梁数）

図 1.4-8　鋼床版を有する橋梁の竣工年度

(6)まとめ

国土交通省直轄国道における鋼床版の使用実績について構造諸元等の調査を行った。その結果，明らかになった主な事項は次の通りである。

①主げた形式では，箱げたとそれ以外で概ね同数の使用実績となっている。
②連続・単純の別では，橋梁数は大きな差はない。(その結果，径間数では連続げた形式が単純桁形式を大きく上回る。)
③デッキプレート厚では，基準による最小板厚である 12㎜ のものが支配的であり，主げたや床組としての耐荷力には余裕があるものが相当する含まれる可能性がある。
④デッキプレート厚は 12㎜～16㎜ まででほぼ全体数の 80%をしめ，それを越えるものは少ない。
⑤トラフリブの板厚はほぼ 6mm と 8mm の 2 種類であり，それ以外のものはほとんどない。

【参考文献】

1.1)（社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ，平成 14 年 3 月
1.2)（社）日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，平成 14 年 3 月

第２章　鋼床版の構造諸元とデッキプレート貫通き裂との関係に対する解析的検討

2.1　はじめに

外観からの目視点検では検出が困難な鋼床版のデッキプレートとトラフリブの縦溶接部に生じるデッキプレート貫通き裂の調査を膨大な数の鋼床版橋梁に対して効率的に行うためには，その緊急性や発生の可能性について何らかの条件で差別化して優先度を絞り込むことが不可欠である。

前章では，実際にデッキプレート貫通き裂を生じた橋梁の構造諸元やき裂と何らかの関係がある可能性のある交通量や舗装の損傷状況などについて整理するとともに，既設の鋼床版橋梁に構造的な特徴の観点からどのような種類があり，それぞれの使用実績について主として量的な観点から整理を行った。その結果，種々の構造的条件等を特定することで調査対象をある程度絞り込める可能性があることがわかった。

本章では，構造条件の差異に着目して鋼床版の主として応力的な観点からその特徴について明らかにするために FEM 解析を実施した。

デッキプレート貫通き裂を生じさせる可能性のある応力性状とそれらを左右する鋼床版橋梁の構造的条件との関係が特定できれば，具体的に調査対象橋梁の絞り込みと合理的な調査方法の検討に資するものと考えられる。

鋼床版のデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接部の応力性状に着目した場合，この部位は以下の 3 つの異なる構造部材としての機能に対応した作用を受け持ち，結果として複雑な応力性状となっているものと考えられる。

①橋梁の主げたの上フランジとしての作用（以下「Ⅰ系」という）

②剛な主げたに支持された床版部材（床版直交異方性版）としての作用（以下「Ⅱ系」という）

③トラフリブ，横リブ，デッキプレートからなる梁部材として直上あるいは直近に載荷される輪荷重の影響による作用（以下「Ⅲ系」という）

Ⅰ系やⅡ系による影響は，通常の鋼床版橋梁の耐荷力に対する設計計算では，骨組みモデルと FSM 解析等の組み合わせなどの一般的な方法によって算出され，トラフリブとデッキプレートおよびその接合部などの局部的な応力性状については詳細に考慮されることなく主げた断面としての板厚決定や床版全体としての部材耐荷力を満足するデッキプレート厚さやトラフリブの寸法諸元等に反映される。

一方，鋼床版のデッキプレート周りの溶接部（横リブとデッキプレートの接合部，トラフリブとデッキプレートの縦方向溶接継ぎ手部）の疲労耐久性上支配的となるのは，Ⅱ系やⅢ系の作用によって複雑に変化する溶接線各部の局部的な応力性状であると考えられる。

しかし，これらについては通常の設計計算では個別に考慮することが困難であることなどから算出されることなく，道路橋示方書においても経験的に疲労耐久性により優れると考えられる構造細目を規定している。

ここでは，Ⅱ系とⅢ系の作用に着目して，デッキプレート周りの溶接部に生じる応力性状について FEM 解析を行い，輪荷重の条件や板厚など鋼床版の構造諸元等との関係について把握することとした。

なお，この部位の発生応力には，鋼床版の構造諸元以外に溶接形状，季節によるアスファルト舗装剛性の変化や輪荷重の大きさ，輪荷重の設置面積とその形状，走行位置，など極めて多岐にわたる要因が関連し，さらにそのそれぞれが実構造物では大きなばらつきをもっている。そのため本検討ではそれらについては標準的な条件を設定して検討を行っている。

2.2　解析方法

(1)概要

鋼床版の諸元に着目した解析に先立ち，解析モデルの妥当性の確認と載荷条件の設定のために事前解析を行った。

図 2.2-1 に示すような一般的な鋼床版鈑げた橋の２パネル分（橋軸方向に５m）を取り出したモデルで，構造詳細は疲労指針[2.1)]の適用の範囲を満足するように設定し，デッキプレート厚 12mm,横リブ間隔 2500mm,主げた間隔は横断面にトラフリブを５本配置した 3280mm,主げたウェブと隣接するトラフリブの間隔については 200mm とした。事前解析は，トラフリブ板厚６mm(U320×240×6)のＧ２,Ｇ３間を対象に検討した。

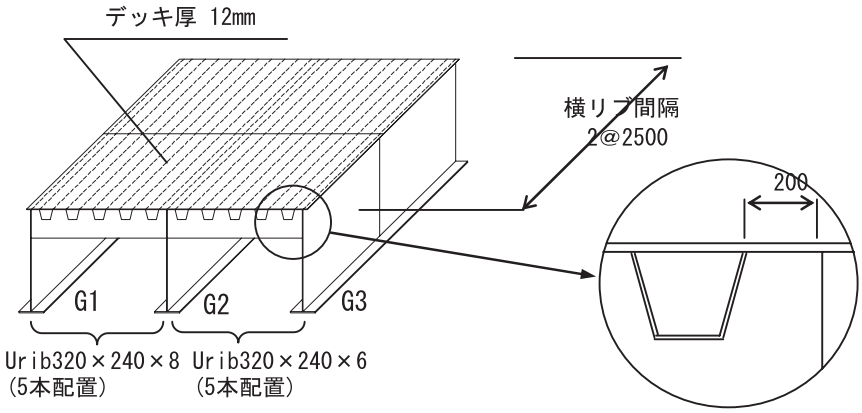


図 2.2-1　解析モデル概要図

(2)解析モデル

解析モデルは，輪荷重によるデッキプレートの面外曲げ変形やトラフリブの断面変形などに起因する変動応力（主に面外曲げ応力）を評価できるように，対象構造をシェル要素によりモデル化（以下「鋼床版パネルモデル」という。）して有限要素解析（以下「ＦＥＭ解析」という。）を行った。**図 2.2-2～2.2-3** に解析モデル図を示す。ＦＥM解析には汎用ＦＥM解析プログラム COSMOSM Ver2.9 を使用する。

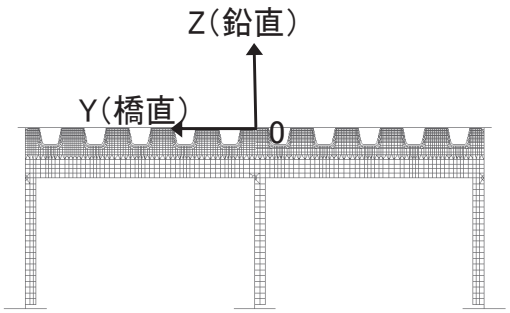


図 2.2-2　解析モデル

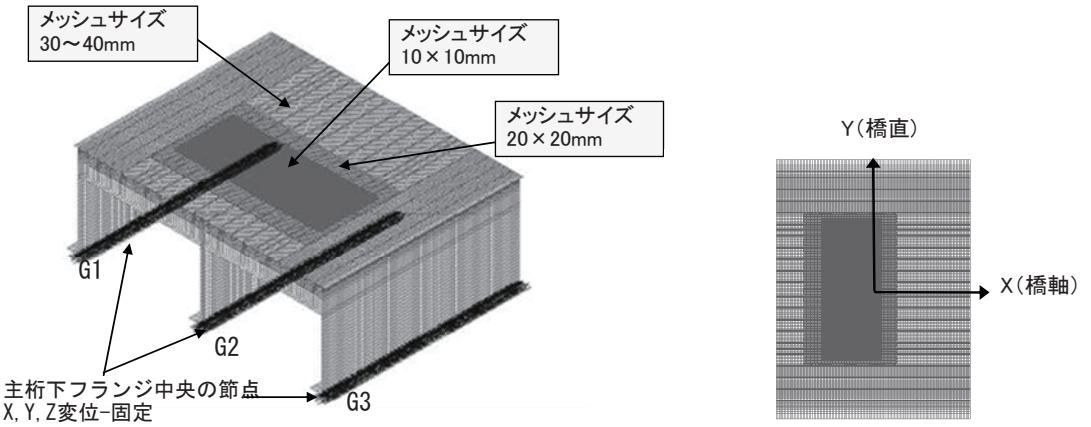


図 2.2-3　メッシュサイズと支持条件

(3)載荷荷重

載荷荷重は，本研究の主たる着目が，デッキプレートとトラフリブの縦方向溶接であることから，図 2.2-4 に示すとおりダブルタイヤを想定した輪荷重を設定する。荷重強度は 100kN(＝2×50kN)とした。

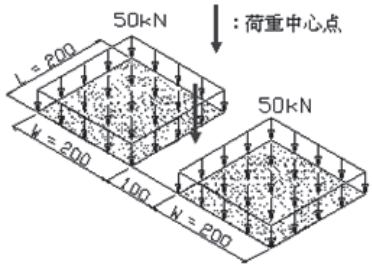
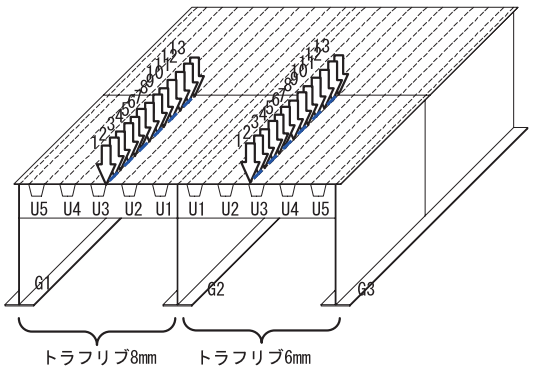


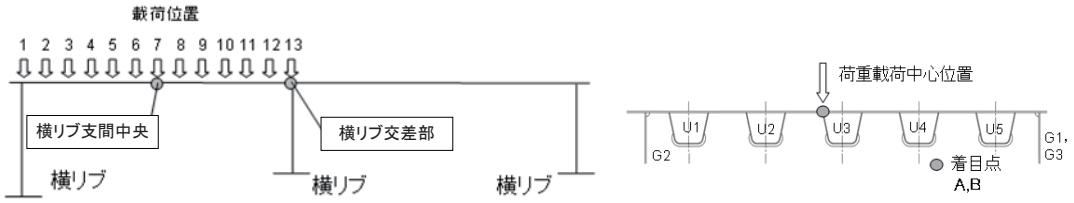
図 2.2-4　載荷荷重

(4) 荷重載荷位置と着目点

橋軸方向の載荷位置及び着目点を，図 2.2-5 に示す。橋軸方向の載荷位置は，矢印の 1～13 とし，着目点は図 2.2-6 に示す。トラフリブ支間中央 A とトラフリブ横リブの交差部 B の２箇所とした。橋軸直角方向については，図 2.2-5(c)に示す。載荷位置，着目位置ともにＵ３リブ左側とした。



(a)荷重中心位置



(b) 橋軸方向断面　　(c) 橋軸直角方向断面

図 2.2-5　荷重載荷位置

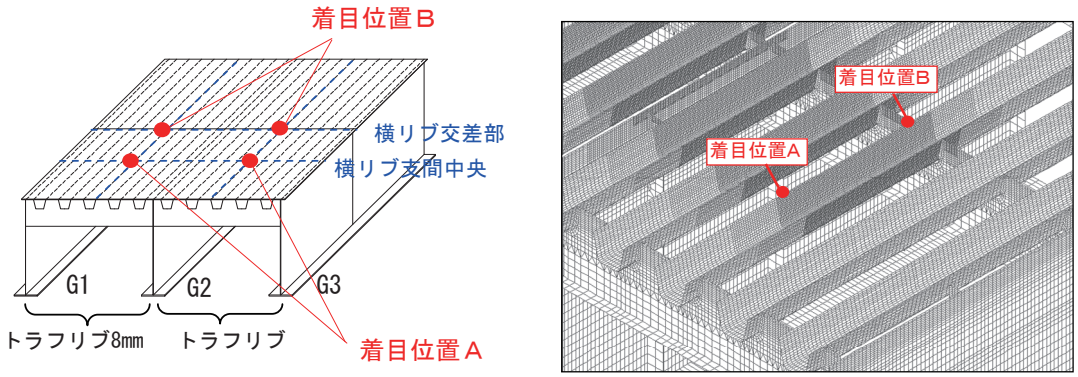


図 2.2-6　着目位置

(5) 応力照査位置

FEM 解析を行い，デッキプレートとトラフリブの溶接部近傍における応力 σ_y（橋軸直角方向直応力）を照査する。着目位置は，図 2.2-7 に示すように，デッキ側溶接止端，ルート部，トラフリブ側溶接止端とする。応力はシェル要素の応力を線形補完して算出する。溶接部近傍における各部位の名称及び応力照査位置を図 2.2-8 に示す。

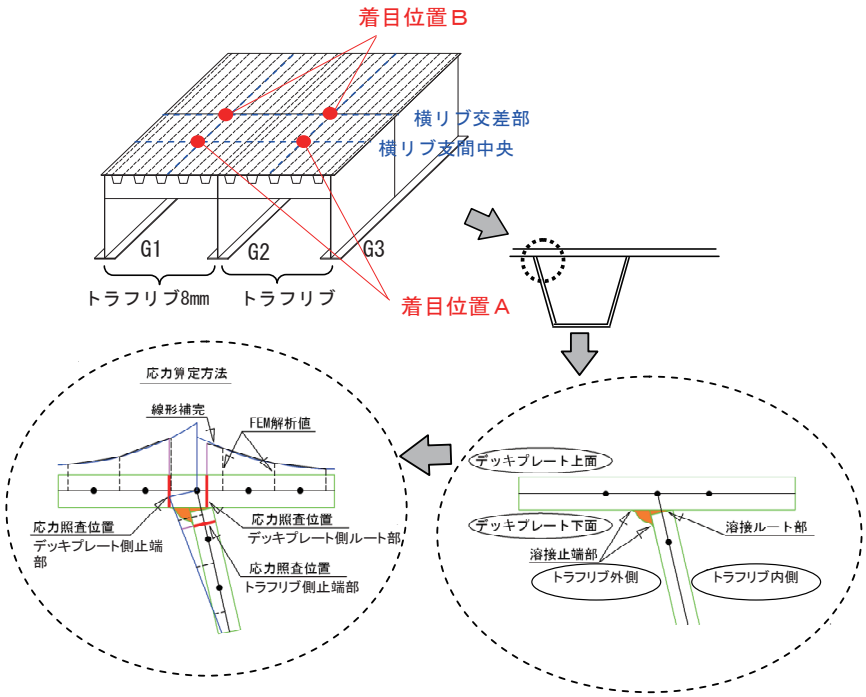


図 2.2-7 応力照査位置

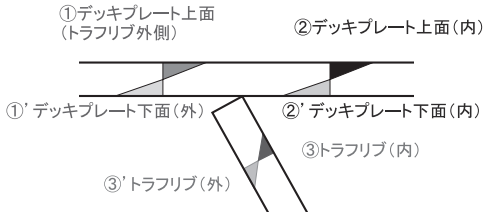


図 2.2-8　応力照査位置の名称

(6)解析結果

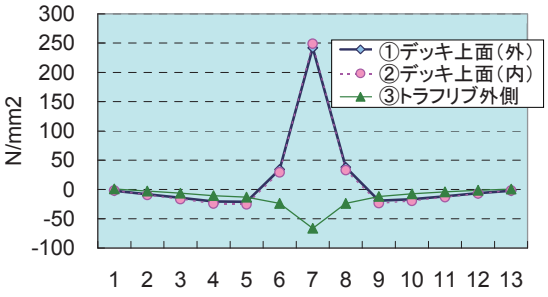
図 2.2-9 及び図 2.2-10 に解析結果を示す。

デッキプレートやトラフリブの応力変化の状況は，設定した載荷位置に応じて把握できており，応力振幅の算出に必要な変動のピーク値も得られていると考えられ，モデル化と荷重載荷方法については概ね適切なものと考えられる。

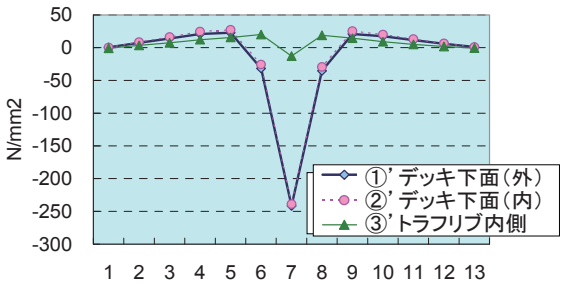
一般部（着目点 A）について，デッキプレートの上面・下面及びトラフリブは，載荷荷重が 7 を通過した際の応力が卓越しており，着目位置 5,9（支間 1/4 地点あたり）から正負交番していることがわかる。また，デッキプレート上下面平均応力については，ほとんど応力が発生していないことから，骨組解析では算出困難な大きな板曲げが生じていることがわかる。

横リブ交差部（着目点 B）については，デッキプレートの内側の応力の方が，外側の応力よりも大きく，その絶対値についても着目点 A より大きい。また，トラフリブについては，特に内側で応力を負担している。

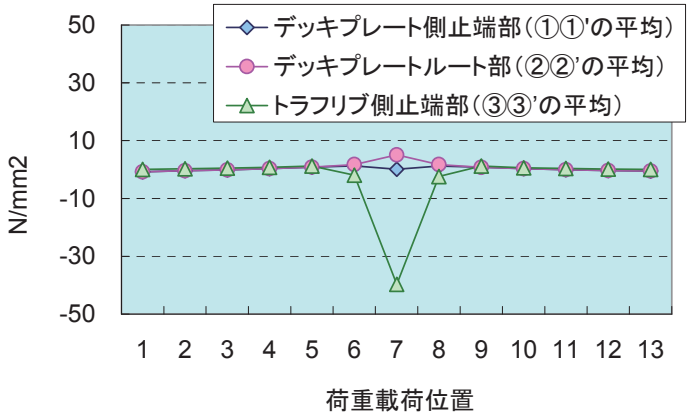
このように，本解析モデルによってトラフリブとデッキプレートの変形の状況や応力変動が概ね適切に把握できると考えられることから，次節以下の検討ではこの解析モデルを用い，橋軸方向の載荷位置は 7 に着目することを基本とした。



（a）デッキプレート上面・トラフ内側

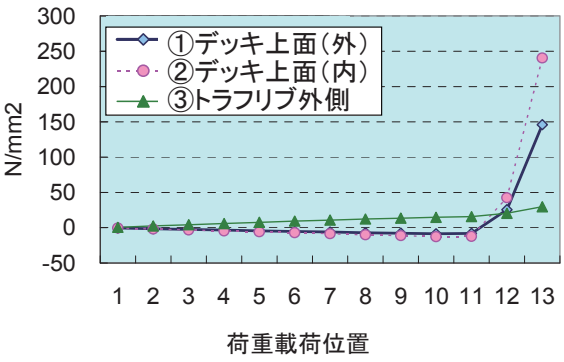


（b）デッキプレート下面・トラフ外側

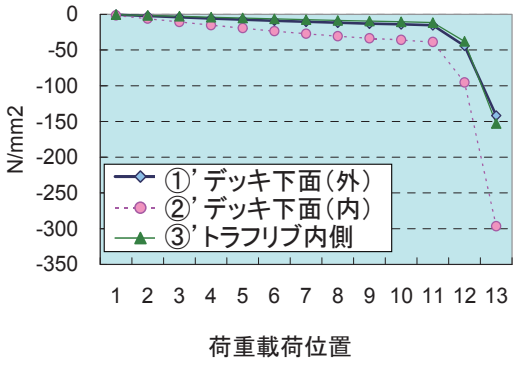


(c)デッキプレート（上下面平均）・トラフリブ（内外面平均）

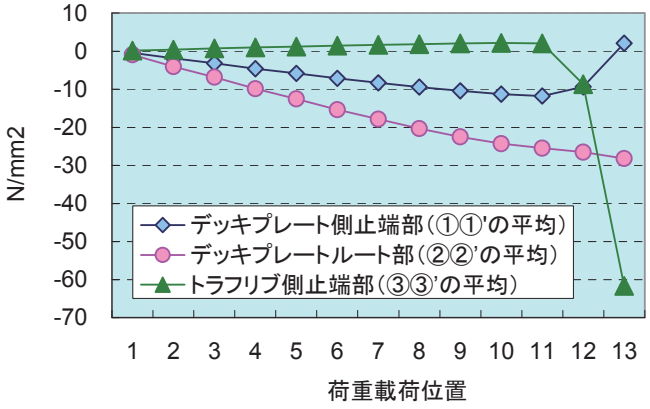
図 2.2-9　着目点 A



（a） デッキプレート上面・トラフ内側



（b） デッキプレート下面・トラフ外側



(c)デッキプレート（上下面平均）・トラフリブ（内外面平均）

図 2.2-10　着目点 B

2.3　鋼床版の構造諸元に着目した数値解析

2.3.1　概要

(1)解析ケース

2.1節をふまえ，鋼床版の構造諸元の相違が橋梁の主げたの一部としての作用を除く，床版部材としての挙動やデッキプレート周りの溶接線の局部的な応力性状にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする。そのため床版を支持する横リブと主げたの条件のみ固定し，その他の構造諸元を変化させた**表 2.3-1** の解析ケースについて FEM 解析を実施し，デッキプレートとトラフリブの溶接線近傍の応力性状に与える影響を確認した。

表 2.3-1　解析ケース

ケース	デッキプレート板厚 mm	トラフリブ板厚 mm	床版支間		縦リブ支間 mm	備考
			トラフリブ本数 本	間隔 mm		
1	12	6,8	5	3280	2500	基準ケース
2	14	6,8	5	3280	2500	
3	16	6,8	5	3280	2500	
4	19	6,8	5	3280	2500	
5	22	6,8	5	3280	2500	
6	12	6,8	4	2640	2500	
7	12	6,8	6	3920	2500	
8	12	6,8	5	3280	3000	
9	12	6,8	5	3280	1500	

(2)解析モデル

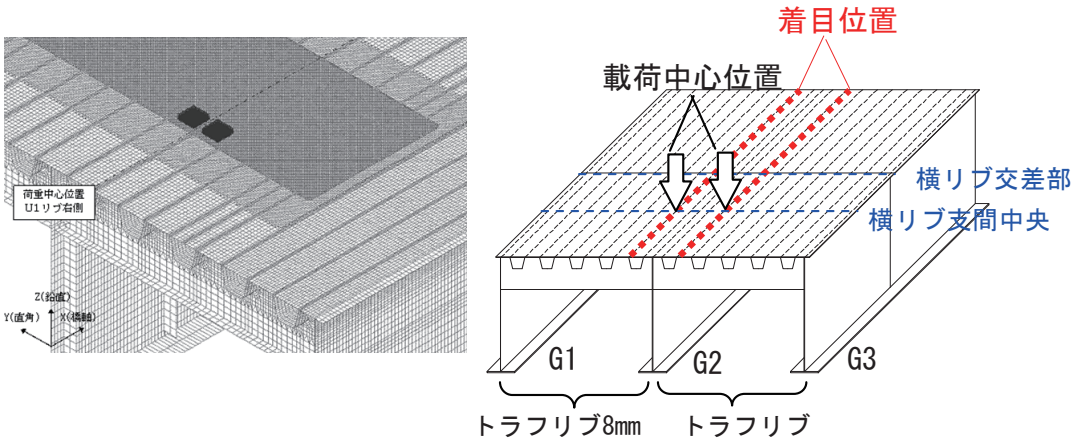
解析モデルは，2.2 と同様，鋼床版パネルモデルとした。

(3)載荷荷重

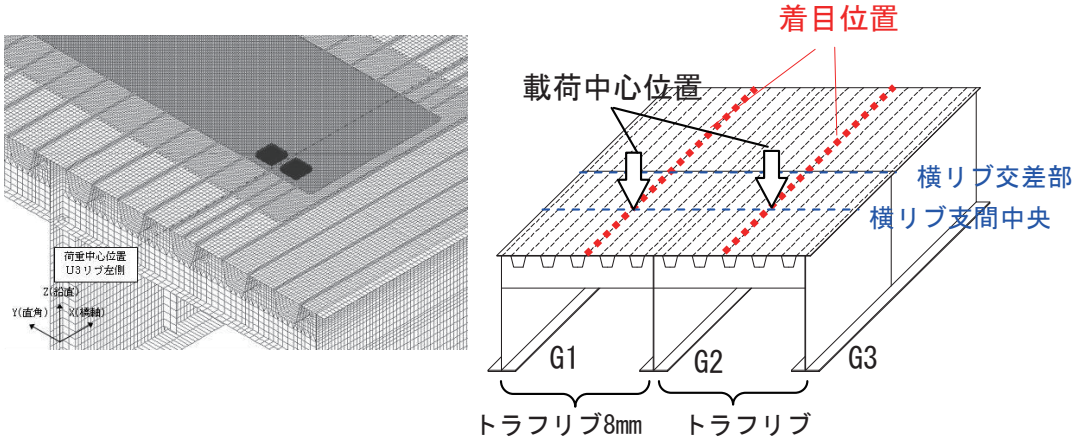
載荷荷重は，2.2 と同様ダブルタイヤを想定した荷重とした。

(4) 載荷位置と着目点

橋軸方向の載荷位置は，2.3 の検討結果をふまえ 7 とした。橋軸方向の着目点は，**図 2.3-1** のとおり，トラフリブ支間中央 A とした。また，橋軸直角方向については，2つの載荷ケースを設定した。「載荷ケースⅠ」はU1リブ左側への載荷，「載荷ケースⅡ」はU3リブ左側への載荷である。



（a）載荷ケースⅠ



（ｂ）載荷ケースⅡ

図 2.3-1　橋軸方向着目点と載荷位置

(5)着目する応力

着目する応力は，図 2.3-2 に示すとおり，トラフリブ外側のデッキプレート下面要素の，橋軸方向，橋軸直角方向及びその合成応力について評価する。ここで，合成応力（Y）とは，荷重位置 7 に載荷した際に、着目ラインに発生する最大圧縮応力と最大引張応力の差について橋軸方向及び橋軸直角方向の平均としたものである。合成応力の算出方法を式 2.3-1 に示す。

$$Y = \sqrt{(\sigma_{x\max} - \sigma_{x\min})^2 + (\sigma_{y\max} - \sigma_{y\min})^2} \quad \cdots\cdots (式\ 2.3\text{-}1)$$

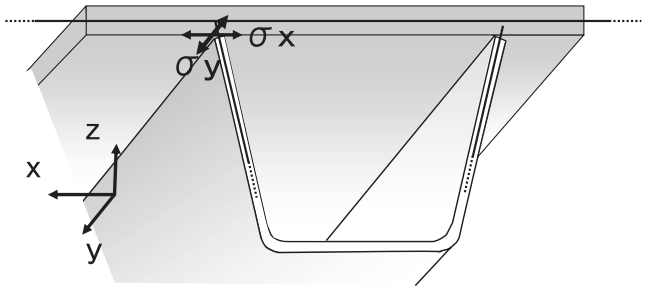
ここで，　Y　：合成応力

$\sigma_{x\max}$：着目ライン上のデッキプレート下面橋軸直角方向の最大引張応力

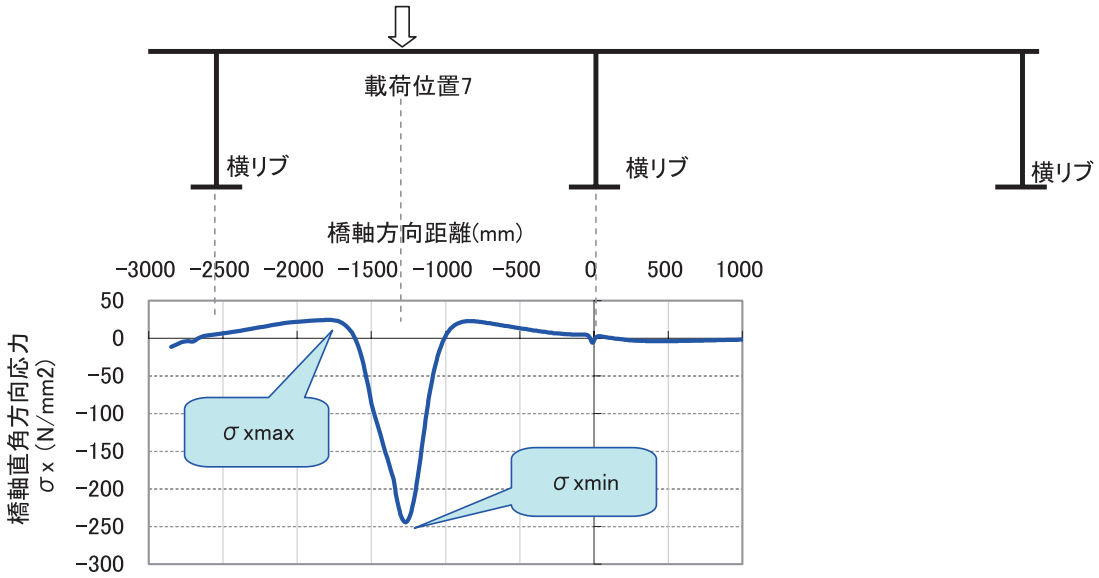
$\sigma_{x\min}$：着目ライン上のデッキプレート下面橋軸直角方向の最大圧縮応力

$\sigma_{y\max}$：着目ライン上のデッキプレート下面橋軸方向の最大引張応力

$\sigma_{y\min}$：着目ライン上のデッキプレート下面橋軸方向の最大圧縮応力



(a)　着目する応力



(b)　最大値、最小値の取り方の例

図 2.3-2　着目する応力

2.3.2　デッキプレートとトラフリブの板厚の影響

(1)概要

デッキプレートとトラフリブの板厚が溶接部近傍の応力性状に与える影響について検討する。デッキプレートの板厚は，道路橋示方書の最小板厚（12mm）を基本として，それより厚く，採用されることが比較的多いと考えられる 14mm，16mm，19mm，22mm を検討対象とした。トラフリブの板厚は採用実績のほとんどを占める 6mm と 8mm の両方についてデッキプレートのそれぞれの板厚に組み合わせる。

(2)解析ケース

デッキプレート厚の影響のみを比較するため，床版支間，縦リブ支間は固定する。本項の比較検討に用いた解析ケースは**表 2.3-2** のとおり。

表 2.3-2　解析ケース（デッキプレートとトラフリブの板厚の影響）

ケース	デッキプレート板厚 mm	トラフリブ板厚 mm	床版支間 トラフリブ本数 本	床版支間 間隔 mm	縦リブ支間 mm	備考
1	12	6,8	5	3280	2500	基準ケース
2	14	6,8	5	3280	2500	
3	16	6,8	5	3280	2500	
4	19	6,8	5	3280	2500	
5	22	6,8	5	3280	2500	

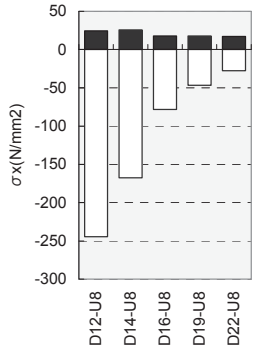
(3)解析結果

1)載荷ケース I

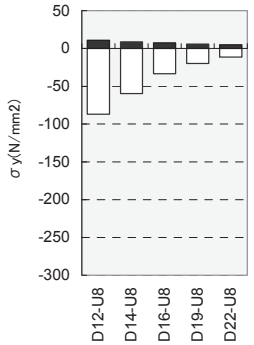
載荷ケース I における引張応力及び圧縮応力の最大値を**図 2.3-3** 及び**図 2.3-4** に，デッキプレート下面の応力分布を**図 2.3-5** に示す。

橋軸直角方向の直応力については，トラフリブの厚さ 6mm，8mm ともに，板厚が厚くなるほど応力範囲が減少している。橋軸方向の直応力についても，トラフリブの厚さ 6mm，8mm ともにデッキプレートの厚さを厚くするほど応力範囲が減少している。

また，応力振幅についてデッキプレート厚 12mm を 1 としたときの比率を**図 2.3-6** 及び**図 2.3-7** に，橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力における比率を**図 2.3-8** に示す。これらの結果についてもデッキプレートの厚さの影響は大きいといえる。

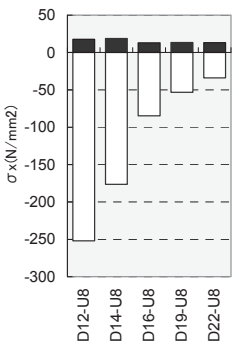


(a)橋軸直角方向

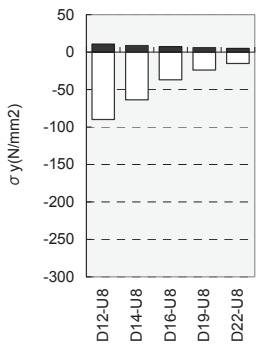


(b)橋軸方向

図 2.3-3　トラフリブ 6mm 直応力



(a)橋軸直角方向



(b)橋軸方向

図 2.3-4　トラフリブ 8mm 直応力

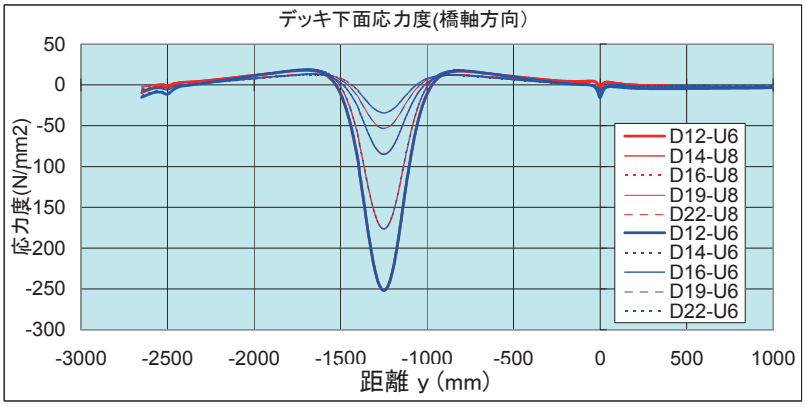
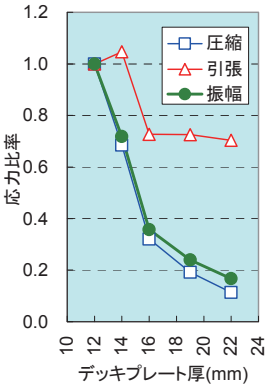
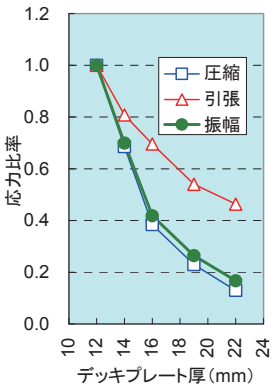


図 2.3-5　デッキプレート下面の応力分布

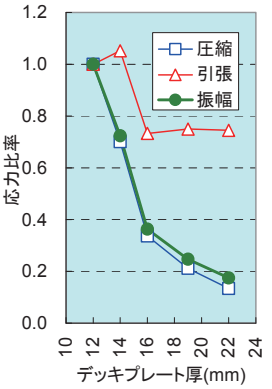


(a) 橋軸直角方向

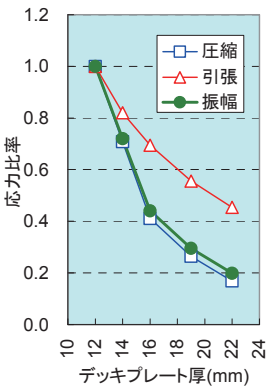


(b) 橋軸方向

図 2.3-6　トラフリブ 6mm 比率

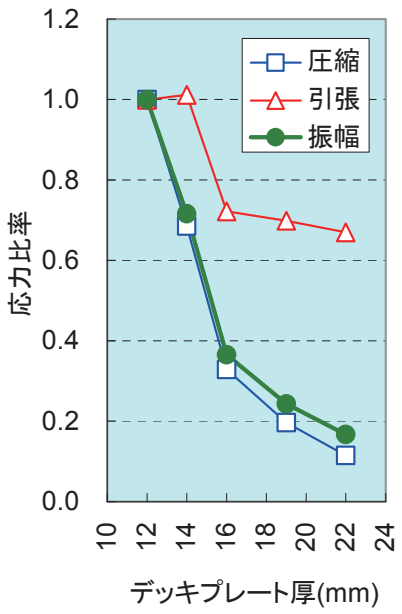


(a) 橋軸直角方向

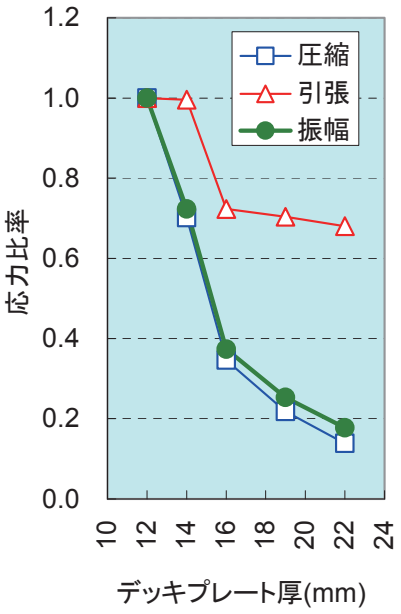


(b) 橋軸方向

図 2.3-7　トラフリブ 8mm 比率



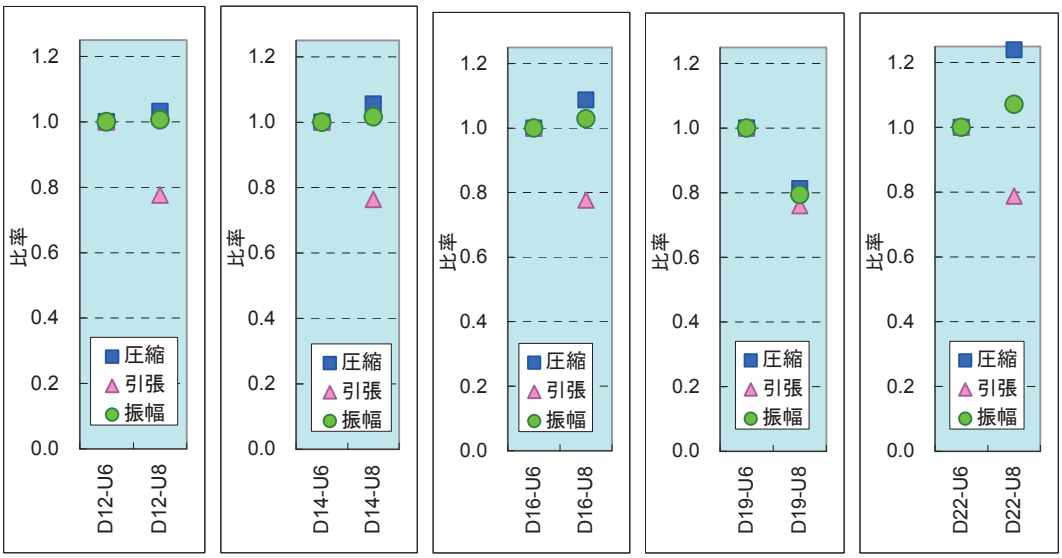
(a) トラフリブ 6mm



(b) トラフリブ 8mm

図 2.3-8　合成応力の比率

トラフリブの厚さ 6mm と 8mm について橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力を，6mm を 1 としたときの比率で比較した結果を**図 2.3-9** に示す。引張応力や圧縮応力ともに，デッキプレートの厚さが厚くなるほどトラフリブの影響が大きくなるが，デッキプレートが厚いほど絶対値は小さい。



(a)D12　(b)D14　(c)D16　(d)D19　(e)D22

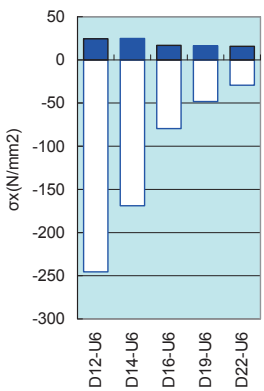
図 2.3-9　載荷ケースⅠ；トラフリブ厚さ 6mm と 8mm の比較（合成応力の比率）

2)載荷ケースⅡ

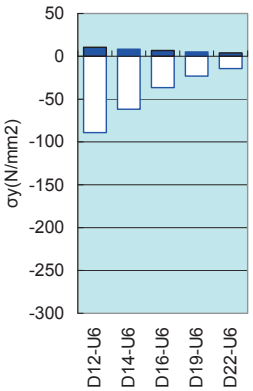
載荷ケースⅡにおける直応力の算出結果を**図 2.3-10** 及び**図 2.3-11** に，デッキプレート下面の応力分布を**図 2.3-12** に示す。

橋軸直角方向の直応力については，トラフリブの厚さ 6mm，8mm ともに，板厚が厚くなるほど応力範囲が減少している。橋軸方向の直応力についても，トラフリブの厚さ 6mm，8mm ともにデッキプレートの厚さを厚くするほど応力範囲が減少している。

また，応力振幅についてデッキプレート厚 12mm を 1 としたときの比率を**図 2.3-13** 及び**図 2.3-14** に，橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力における比率を**図 2.3-15** に示す。これらの結果についてもデッキプレートの厚さの影響は大きいといえる。

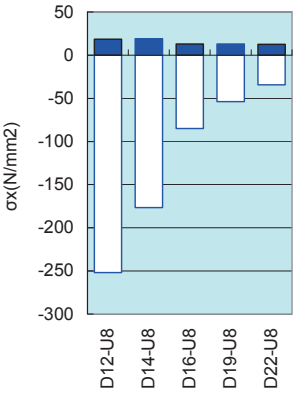


(a)橋軸直角方向

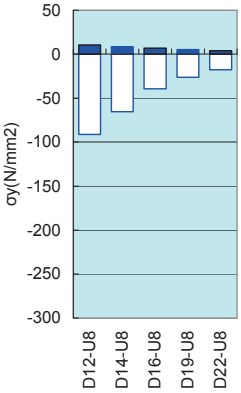


(b)橋軸方向

図 2.3-10　トラフリブ 6mm 直応力



(a)橋軸直角方向



(b)橋軸方向

図 2.3-11　トラフリブ 8mm 直応力

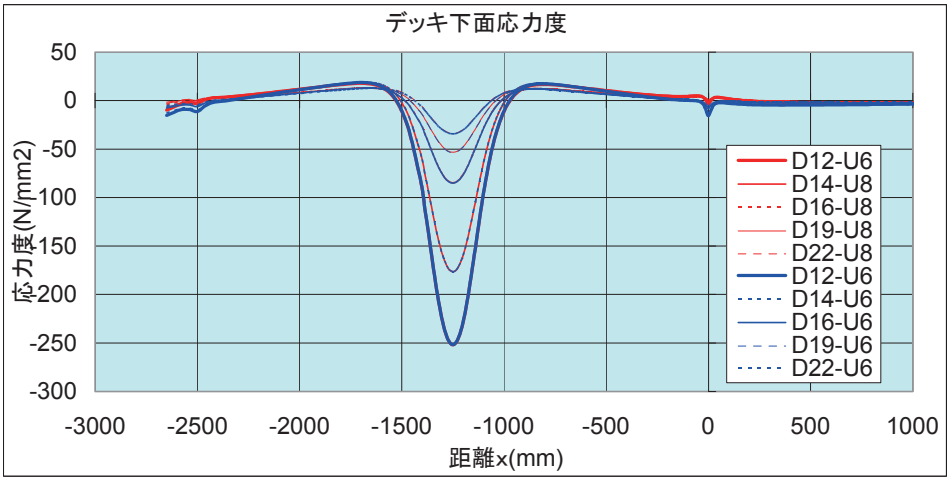
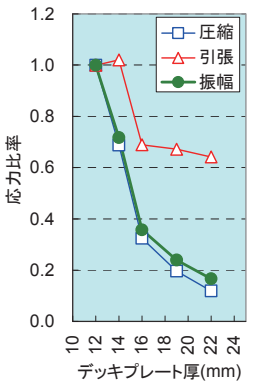
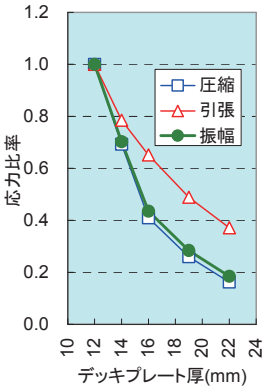


図 2.3-12　デッキプレート下面の応力分布

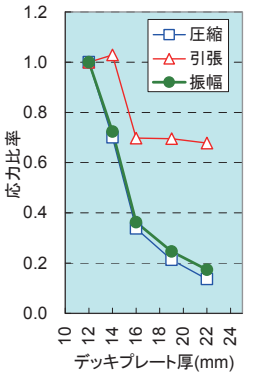


(a)橋軸直角方向

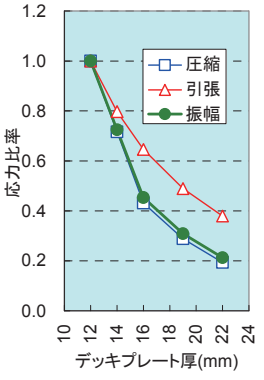


(b)橋軸方向

図 2.3-13　トラフリブ 6mm 比率

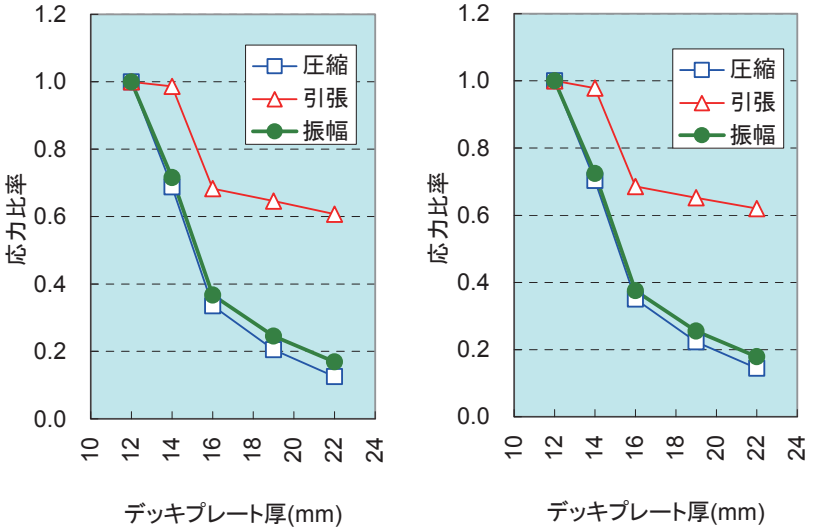


(a)橋軸直角方向



(b)橋軸方向

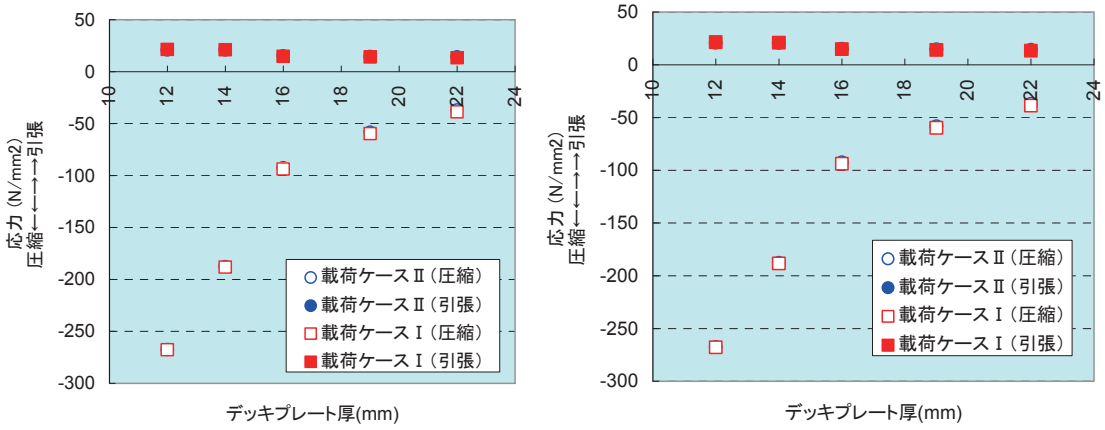
図 2.3-14　トラフリブ 8mm 比率



(a) トラフリブ 6mm　　(b) トラフリブ 8mm

図 2.3-15　合成応力の比率

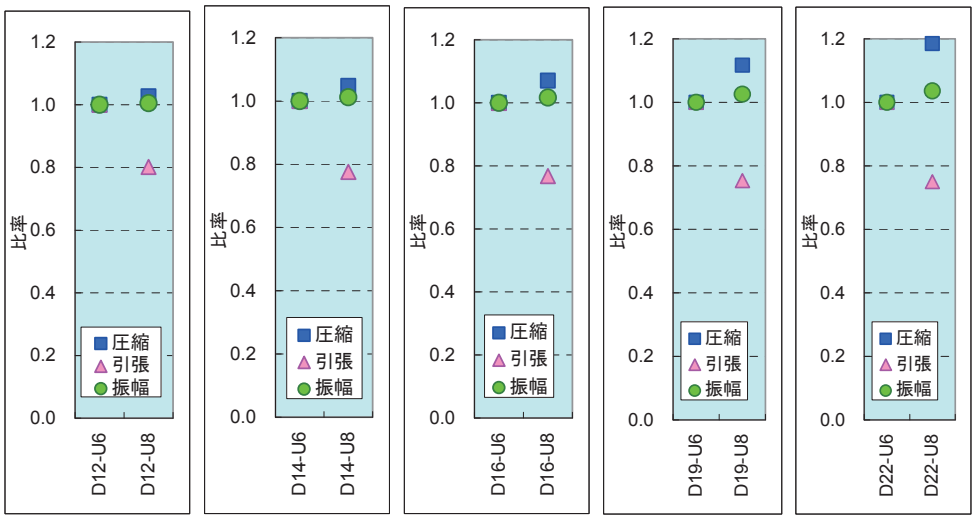
載荷ケースⅠとⅢについて，橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力を，デッキプレート厚 6mm を 1 としたときの比率で比較した結果を図 2.3-16 に示す。トラフリブ厚 6mm,8mm ともに載荷ケースによって応力に差がないことがわかる。



(a) トラフリブ 6mm　　(b) トラフリブ 8mm

図 2.3-16　載荷ケースの比較（合成応力）

トラフリブの厚さ 6mm と 8mm について橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力を，6mm を 1 としたときの比率で比較した結果を図 2.3-17 に示す。引張応力や圧縮応力ともに，デッキプレートの厚さが厚くなるほどトラフリブの影響が大きくなるが，デッキプレートが厚いほど絶対値は小さい。



(a)D12　(b)D14　(c)D16　(d)D19　(e)D22

図 2.3-17　載荷ケースⅡ；トラフリブ厚さ 6mm と 8mm の比較（合成応力の比率）

3)まとめ

以上より，載荷ケースⅠ，Ⅱともに，応力に大きな差はなく，主げたとの離れの影響はトラフリブとデッキプレートの縦方向溶接部直近に発生する局部的な応力性状には大きな差となって現れないことがわかった。また，輪荷重の移動に伴うトラフリブとデッキプレートの縦方向溶接部の直近の応力振幅に及ぼす影響は，デッキプレート厚の差の影響がトラフリブ厚の差の影響と比べてかなり大きくなることがわかった。

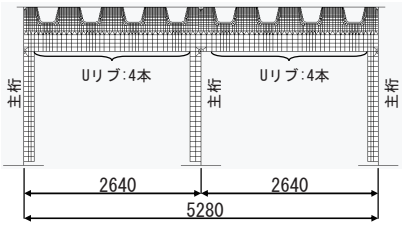
2.3.4　床版支間（主げた間隔）の影響

(1)概要

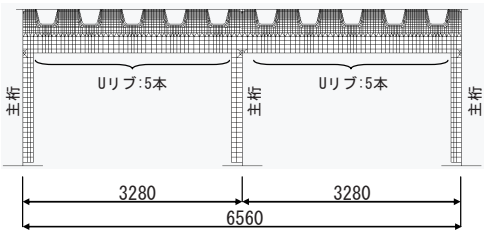
床版部材としての剛性の差異が溶接部近傍の応力性状に与える影響について着目し，床版支間を変化させたケースについて比較を行う。デッキプレートの板厚は実際にデッキプレート貫通き裂が多く確認されている 12mm に固定する。縦リブ支間についても代表的な 2500mm に固定する。トラフリブの板厚は採用実績のほとんどを占める 6mm と 8mm の両方について床版支間（トラフリブ本数）の異なる条件に組み合わせる。

(2)解析ケース

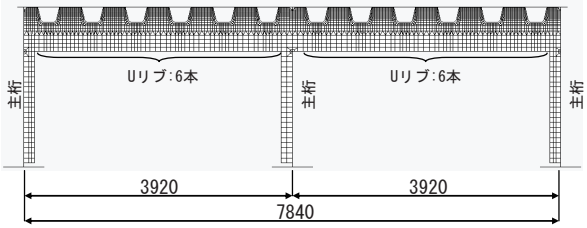
床版支間の差異は，横断面にトラフリブを 5 本配置した主げた間隔（3280mm）を基本として，横断面に配置されるトラフリブ本数を 4,6 本と増減させた床版支間 2640mm,3920mm を検討対象として設定した。



4：トラフリブ 4 本分（2640mm）



5：トラフリブ 5 本分（3280mm）



6：トラフリブ 6 本分（3920mm）

図 2.3-18 主げた間隔

本項の比較検討に用いた解析ケースは表 2.3-3 のとおり。

表 2.3-3　載荷ケース（主げた間隔）

ケース	デッキプレート板厚 mm	主げた間隔 Uリブ本数 本	主げた間隔 間隔 mm	横リブ間隔 mm	主げたとトラフリブの間隔 mm	備考	図中表記
1	12	5	3280	2500	200	基準ケース	5(2380)-U6,U8
6	12	4	2640	2500	200		4(2640)-U6,U8
7	12	6	3920	2500	200		6(3920)-U6,U8

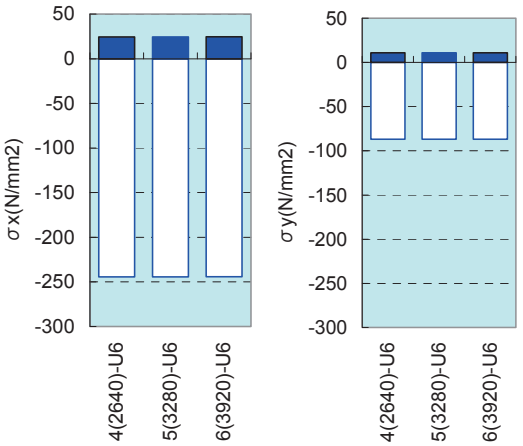
(3)解析結果

1)載荷ケースⅠ

載荷ケースⅠにおける引張応力及び圧縮応力の最大値を図 2.3-19 及び図 2.3-20 に，デッキプレート下面の応力分布を図 2.3-21 に示す。

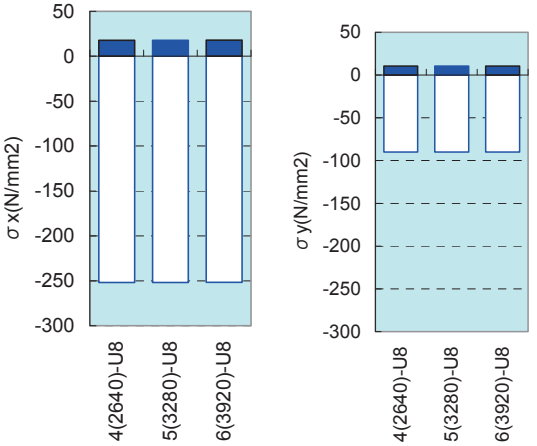
橋軸直角方向，橋軸方向の直応力いずれにおいて，主げた間隔の影響は小さい。

また，応力振幅について主げた間隔最大のケース 7（トラフリブ 5 本分(3920mm)）を 1 としたときの比率を図 2.3-22 及び図 2.3-23 に，橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力における比率を図 2.3-24, 25 に示す。これらの結果も同様に主げた間隔の影響は小さいといえる。



(a)橋軸直角方向　(b)橋軸方向

図 2.3-19　トラフリブ 6mm 直応力



(a)橋軸直角方向　(b)橋軸方向

図 2.3-20　トラフリブ 8mm 直応力

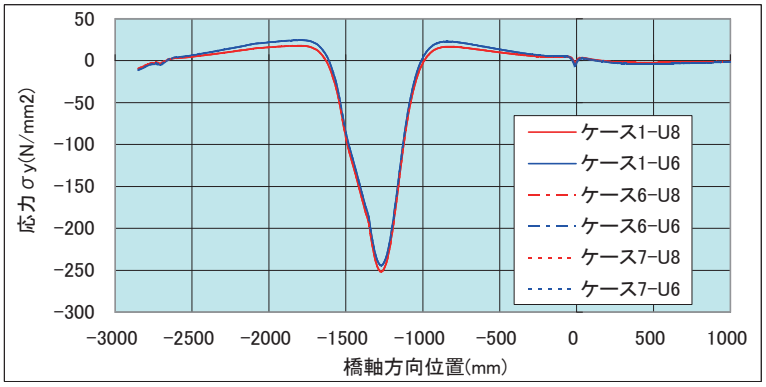
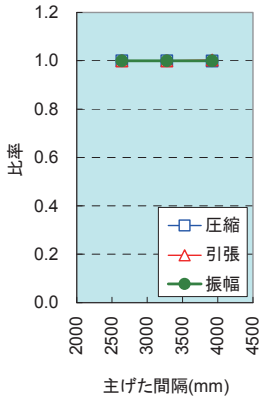
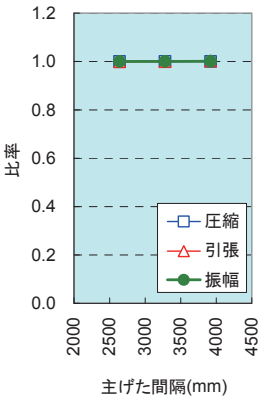


図 2.3-21　トラフリブ厚さ 6mm と 8mm の比較

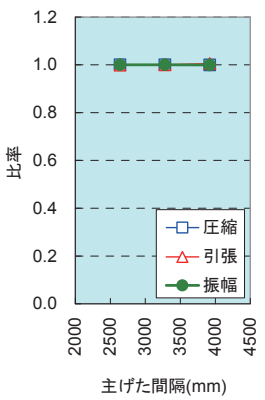


(a) 橋軸直角方向

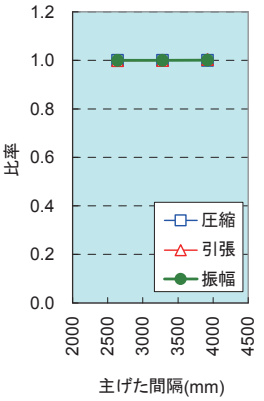


(b) 橋軸方向

図 2.3-22　トラフリブ 6mm 比率

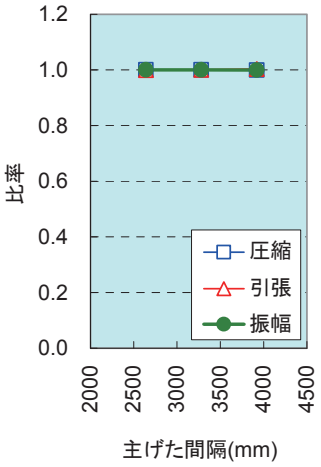


(a) 橋軸直角方向

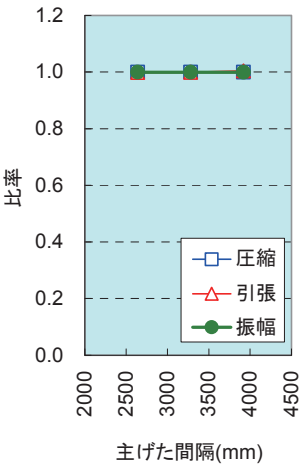


(b) 橋軸方向

図 2.3-23　トラフリブ 8mm 比率

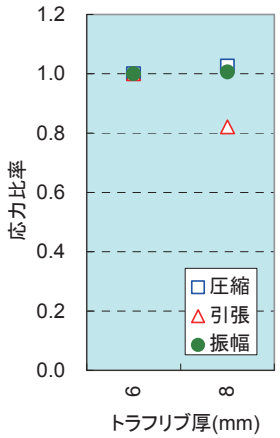


(a) トラフリブ 6mm

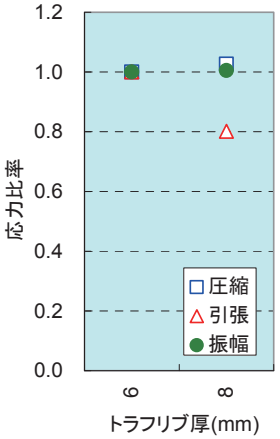


(b) トラフリブ 8mm

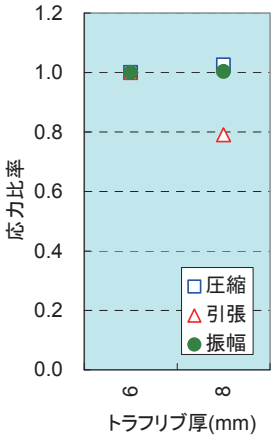
図 2.3-24　合成応力の比率



(a) 主げた間隔 2640mm



(b) 主げた間隔 3280mm



(c) 主げた間隔 3920 mm

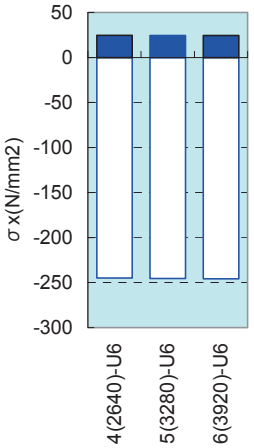
図 2.3-25　載荷ケースⅠ；トラフリブ厚さ 6mm と 8mm の比較（合成応力の比率）

2)載荷ケースⅡ

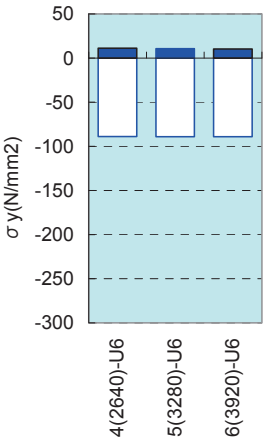
載荷ケースⅡにおける直応力の算出結果を図 2.3-26 及び図 2.3-27 に，デッキプレート下面の応力分布を図 2.3-28 に示す。

橋軸直角方向，橋軸方向の直応力いずれにおいて，主げた間隔の影響は小さい。

また，応力振幅について主げた間隔 5（トラフリブ 5 本分(3920m)）を 1 としたときの比率を図 2.3-29 及び図 2.3-30 に，橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力における比率を図 2.3-31～33 に示す。これらの結果も同様に主げた間隔の影響は小さいといえる。

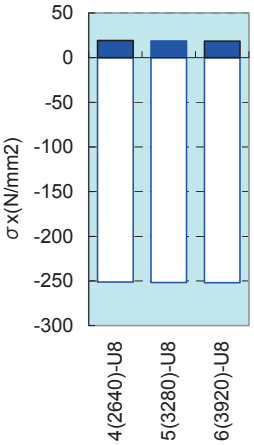


(a)橋軸直角方向

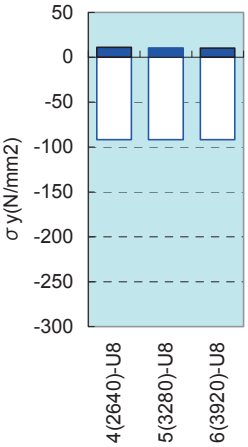


(b)橋軸方向

図 2.3-26　トラフリブ 6mm 直応力



(a)橋軸直角方向



(b)橋軸方向

図 2.3-27　トラフリブ 8mm 直応力

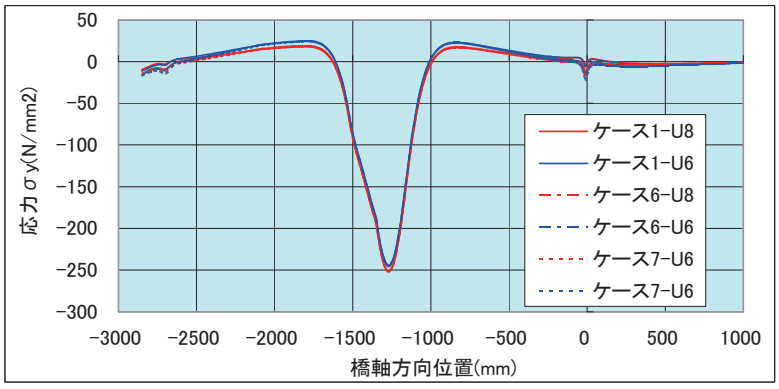
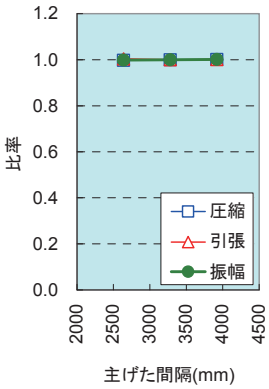
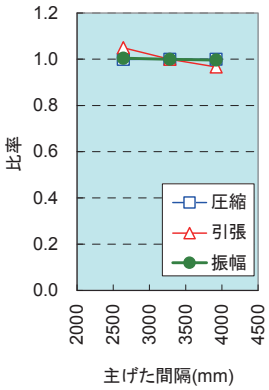


図 2.3-28　トラフリブ厚さ 6mm と 8mm の比較

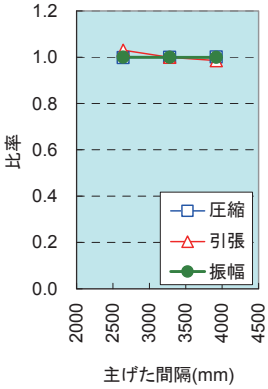


(a) 橋軸直角方向

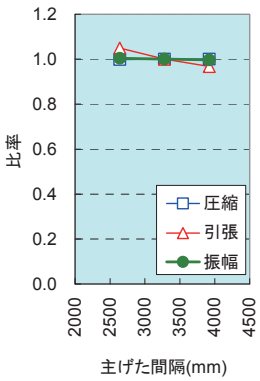


(b) 橋軸方向

図 2.3-29　トラフリブ 6mm 比率

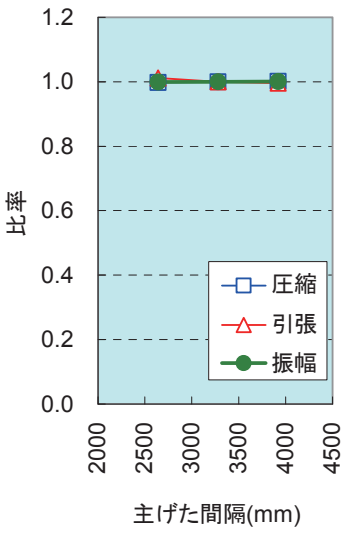


(a) 橋軸直角方向

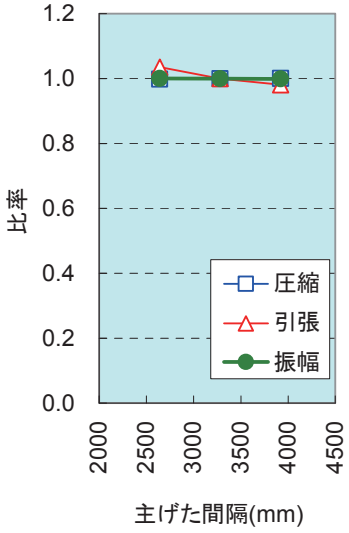


(b) 橋軸方向

図 2.3-30　トラフリブ 8mm 比率

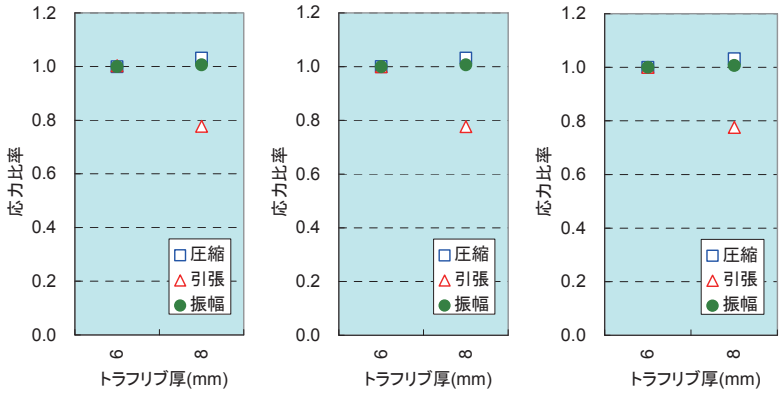


(a) トラフリブ 6mm



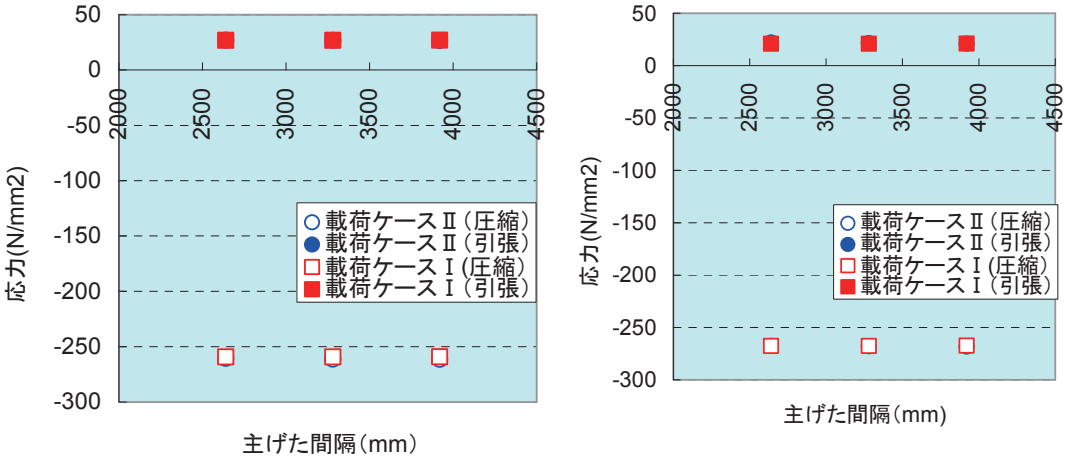
(b) トラフリブ 8mm

図 2.3-31　合成応力の比率



(a) 主げた間隔 2640mm　(b) 主げた間隔 3280mm　(c) 主げた間隔 3920 mm

図 2.3-32　載荷ケースⅡ；トラフリブ厚さ 6mm と 8mm の比較（合成応力の比率）



(a) トラフリブ 6mm　　(b) トラフリブ 8mm

図 2.3-33　載荷ケースの比較（合成応力）

3) まとめ

以上より，載荷ケースⅠ，Ⅱともに，応力に大きな差はなく，一般的な床版支間（2.5m～4.0m）で設計される場合，デッキプレート厚と縦リブ支間が同じであれば，床版支間（トラフリブ本数）の差の影響は，トラフリブとデッキプレートの縦方向溶接部直近に発生する局部的な応力性状には大きな差となりやすいいことがわかった。また，トラフリブ 8mm と 6mm の比較では，トラフリブ厚さの差による影響は小さいといえる。

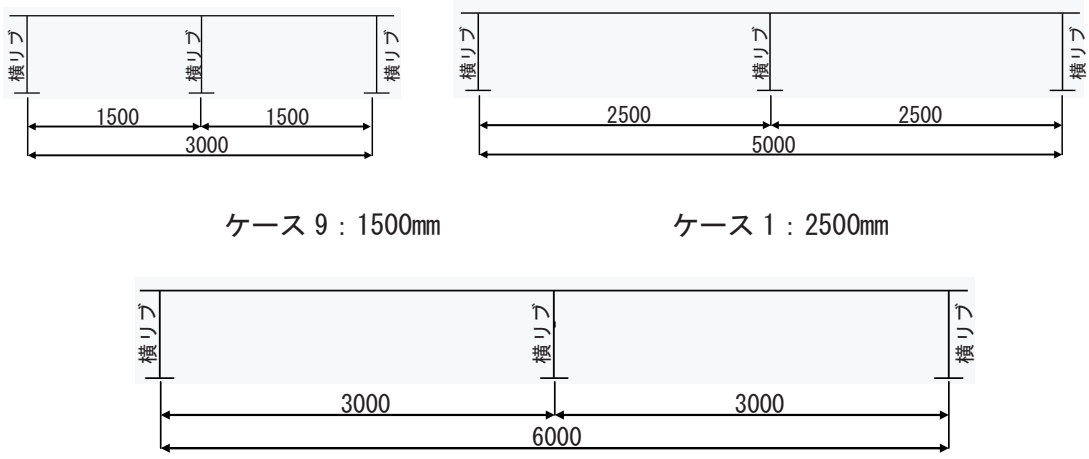
2.3.5　トラフリブ支間（横リブ間隔）の影響

(1)概要

床版部材としての剛性の差異が溶接部近傍の応力性状に与える影響について着目し，縦リブ（トラフリブ）支間を変化させたケースについて比較を行う。デッキプレートの板厚は実際にデッキプレート貫通き裂が多く確認されている 12mm に固定する。トラフリブの板厚は採用実績のほとんどを占める 6mm と 8mm の両方についてトラフリブ支間の異なる条件に組み合わせる。

(2)解析ケース

トラフリブ支間は，**図 2.5-34** に示すとおりトラフリブ支間標準のケース 1(2500mm)を基準として，桁端部を想定したケース 9(1500mm)，一般的に用いられる最大間隔を想定したケース 8(3000mm)を検討対象とした。



ケース 9：1500mm　　ケース 1：2500mm

ケース 8：3000mm

図 2.3-34　トラフリブ支間

本項の比較検討に用いた解析ケースは表 2.3-4 のとおり。

表 2.3-4　解析ケース（トラフリブ支間（横リブ間隔）の影響）

ケース	横リブ間隔 mm	主桁間隔		主桁とUリブの間隔 mm	デッキプレート板厚 mm	備考	図中標記
		Uリブ本数 本	間隔 mm				
1	2500	5	3280	200	12	基準ケース	C2500-U6,U8
8	3000	5	3280	200	12		C3000-U6,U8
9	1500	5	3280	200	12		C1500-U6,U8

(3)解析結果

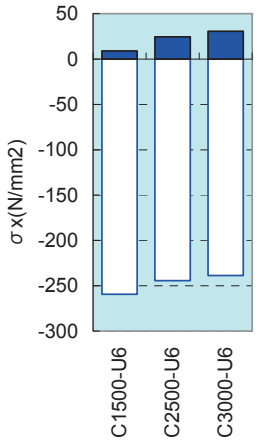
1)載荷ケースⅠ

載荷ケースⅠにおける引張応力及び圧縮応力の最大値を**図 2.3-35** 及び**図 2.3-36** に，デッキプレート下面の応力分布を**図 2.3-37** に示す。

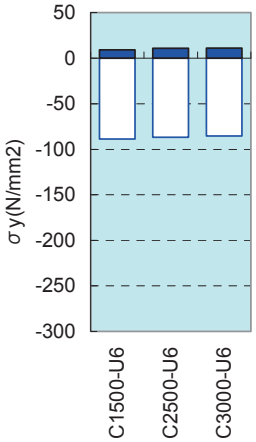
橋軸直角方向，橋軸方向の直応力いずれにおいて，トラフリブ支間の影響は小さい。

また，応力振幅についてトラフリブ支間（横リブ間隔）が最大の 2500mm を 1 としたときの比率を**図 2.3-38** 及び**図 2.3-39** に，橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力における比率を**図 2.3-40,41** に示す。これらの結果も直応力の比較と同様にトラフリブ支間の影響は小さいといえる。

なお，引張応力の変化率が圧縮応力，応力振幅に比べて卓越しているが，絶対値が小さいことの影響であり，着目部の溶接継手の疲労耐久性の評価には大きな意味をもたない。

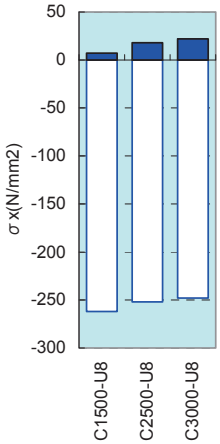


(a)橋軸直角方向

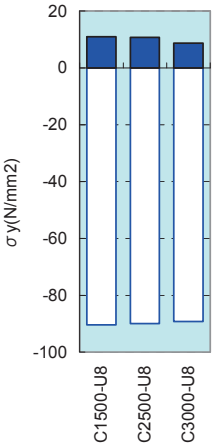


(b)橋軸方向

図 2.3-35　トラフリブ 6mm 直応力



(a)橋軸直角方向



(b)橋軸方向

図 2.3-36　トラフリブ 8mm 直応力

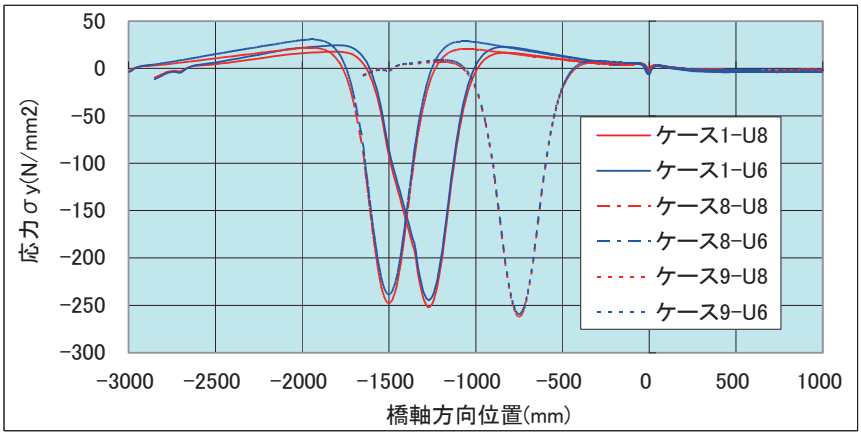
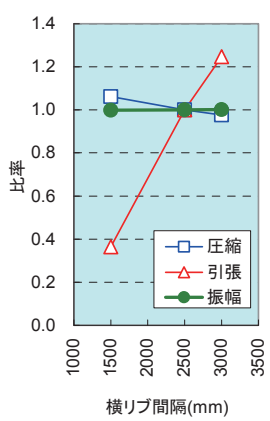
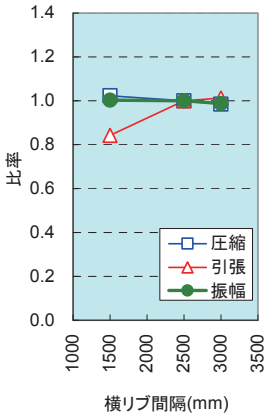


図 2.3-37　デッキプレート下面の応力分布

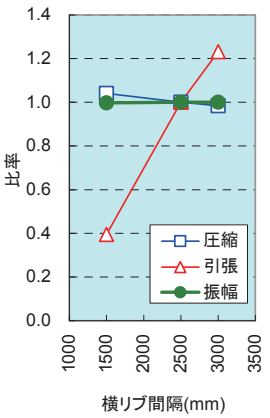


(a) 橋軸直角方向

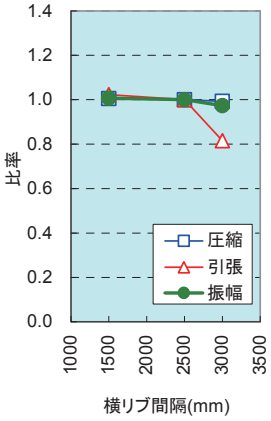


(b) 橋軸方向

図 2.3-38　トラフリブ 6mm 比率

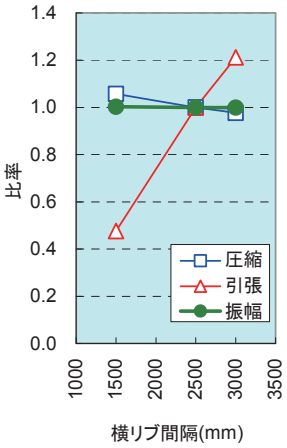


(a) 橋軸直角方向

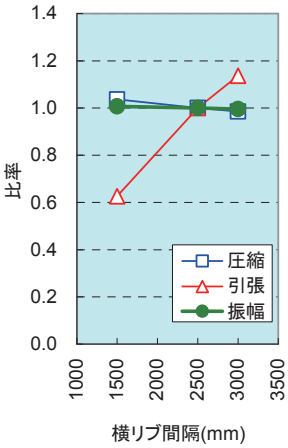


(b) 橋軸方向

図 2.3-39　トラフリブ 8mm 比率

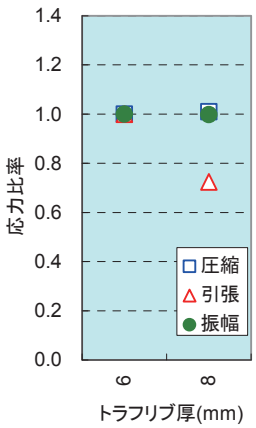


(a) トラフリブ 6mm

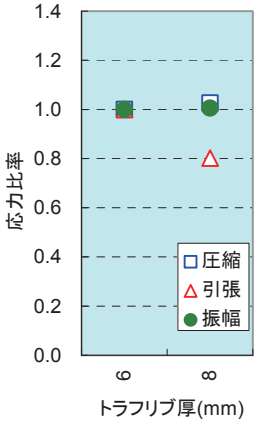


(b)　トラフリブ 8mm

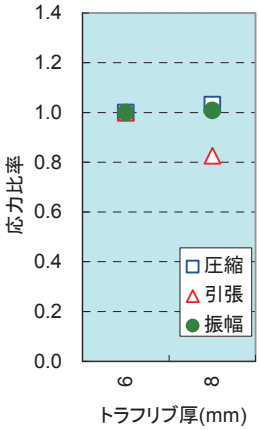
図 2.3-40　合成応力の比率



(a) 横リブ間隔 1500mm



(b) 横リブ間隔 2500mm



(c) 横リブ間隔 3000mm

図 2.3-41　載荷ケース Ⅰ ; トラフリブ厚さ 6mm と 8mm の比較（合成応力の比率）

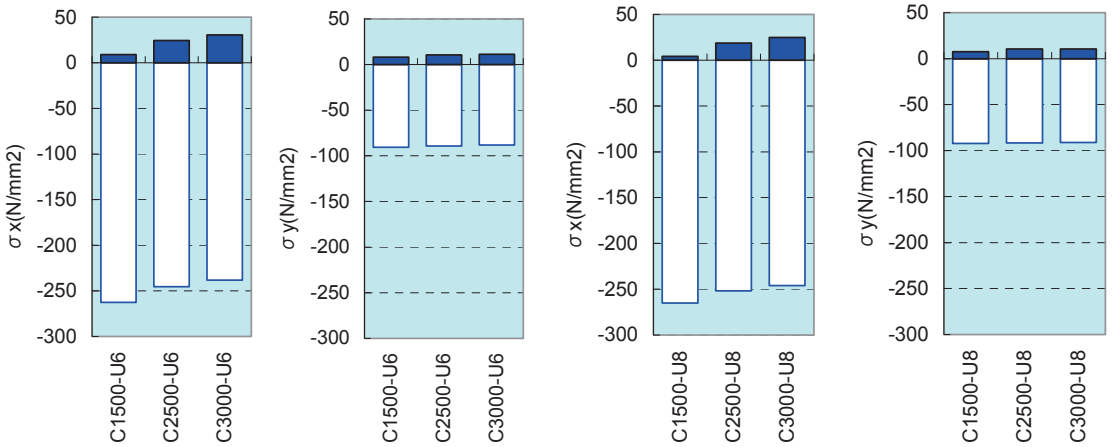
2)載荷ケースⅡ

載荷ケースⅡにおける引張応力及び圧縮応力の最大値を図 2.3-42 及び図 2.3-43 に，デッキプレート下面の応力分布を図 2.3-44 に示す。

橋軸直角方向，橋軸方向の直応力いずれにおいて，トラフリブ支間の影響は小さい。

また，応力振幅についてトラフリブ支間 2500mm を 1 としたときの比率を図 2.3-45 及び図 2.3-46 に，橋軸直角方向と橋軸方向の合成応力における比率を図 2.3-47～49 に示す。これらの結果も直応力での比較と同様にトラフリブ支間の影響は小さいといえる。

なお，引張応力の変化率が圧縮応力，応力振幅に比べて卓越しているが，絶対値が小さいことの影響であり，着目部の溶接継手の疲労耐久性の評価には大きな意味をもたない。



(a)橋軸直角方向　(b)橋軸方向

図 2.3-42　トラフリブ 6mm 直応力

(a)橋軸直角方向　(b)橋軸方向

図 2.3-43　トラフリブ 8mm 直応力

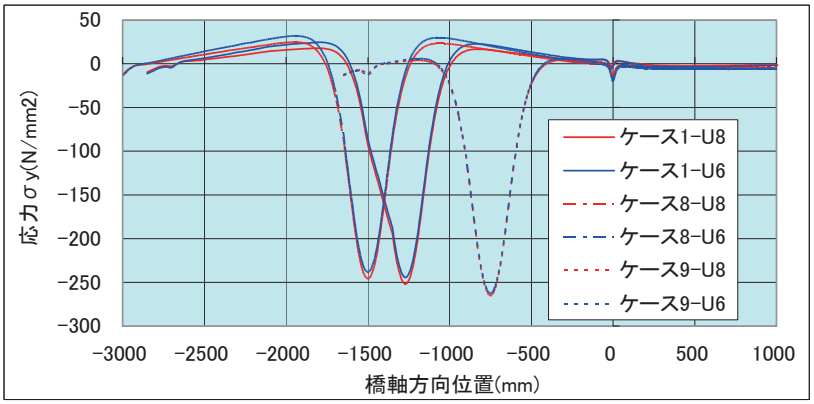
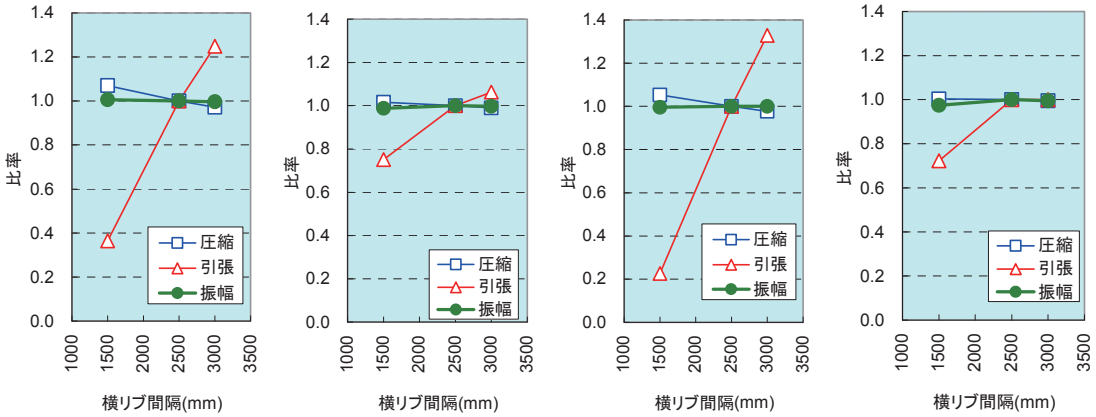


図 2.3-44　デッキプレート下面の応力分布



(a)橋軸直角方向　(b)橋軸方向　(a)橋軸直角方向　(b)橋軸方向

図 2.3-45　トラフリブ 6mm 比率　図 2.3-46　トラフリブ 8mm 比率

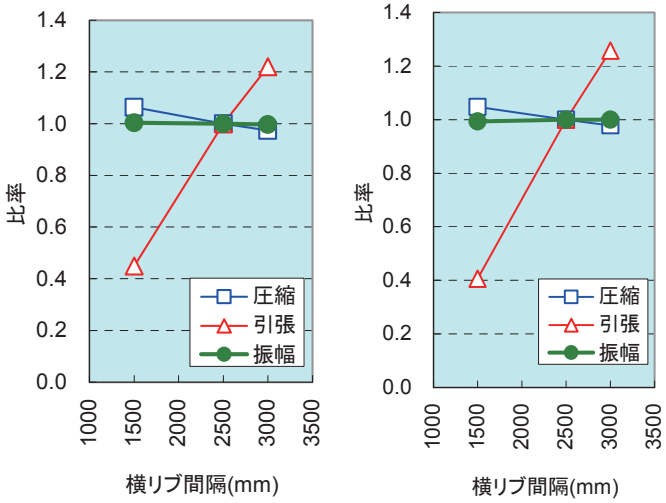
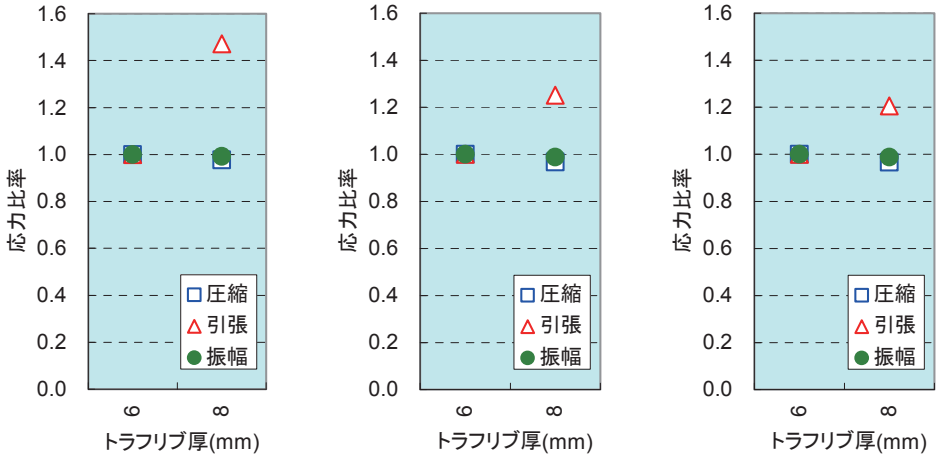
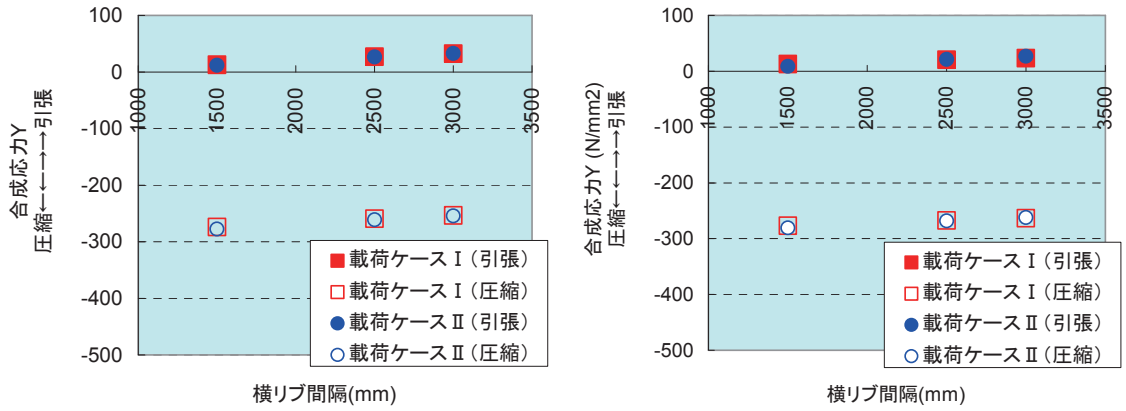


図 2.3-47　合成応力の比率



(a)横リブ間隔 1500mm　(b)横リブ間隔 2500mm　(c)横リブ間隔 3000mm

図 2.3-48　載荷ケースⅠ；トラフリブ厚さ 6mm と 8mm の比較（合成応力の比率）



(a) トラフリブ 6mm　　(b) トラフリブ 8mm

図 2.3-49　載荷ケースの比較（合成応力）

3) まとめ

以上より，載荷ケースⅠ，Ⅱともに，トラフリブ支間長が一般的な 1500mm～3000mm の範囲では，支間長の差がトラフリブとデッキプレートの縦方向溶接の直近の局部的な応力性状に及ぼす影響は大きくない。また，トラフリブの板厚が 6mm と 8mm では支間長の差がトラフリブとデッキプレートの縦方向溶接の直近の局部的な応力性状に及ぼす影響は小さい。

2.4　まとめ

ここでは，Ⅱ系とⅢ系の作用に着目して，デッキプレート周りの溶接部に生じる応力性状について FEM 解析を行い，輪荷重の条件や板厚など鋼床版の構造諸元等との関係について把握を試みた。

車両の載荷による直応力の性状をふまえた上で，鋼床版のパネル剛性（デッキプレート厚，床版支間（主げた間隔），トラフリブ支間（横リブ間隔）をパラメータとしてシェル要素を用いたＦＥＭ解析を実施し，デッキプレートとトラフリブの溶接線近傍の応力性状に与える影響について評価した結果，トラフリブの板厚，床版支間，縦リブ（トラフリブ）支間の相違による影響は小さく，デッキプレート板厚の影響がこれらの影響に対して卓越した。

このことから，デッキプレート貫通き裂の発生に支配的な影響があると考えられる，輪荷重の載荷に伴うデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接線の応力性状には，床版パネルとしてのⅡ系の作用よりも，デッキプレート板厚に大きく左右される個々のトラフリブとその直上のデッキプレートの狭い範囲の局所的な現象が支配的にかかわっているものと考えられる。また，デッキプレートの板厚の影響が，トラフリブの板厚の影響より支配的となると考えられる。

【２章参考文献】

2.1)（社）日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，平成 14 年 3 月

第３章　デッキプレート貫通き裂に着目した鋼床版の段階的調査手法

3.1　はじめに

前述したように，デッキプレート貫通き裂は，外観目視で発見ができない上，超音波探傷試験などの非破壊検査を用いても，膨大な数の橋梁，さらにそのトラフリブの溶接線全てを網羅的に調査することは非効率で膨大な作業となる。

そのためデッキプレート貫通き裂の検出を目的とした鋼床版橋梁の点検調査手法について，ある程度の信頼性を維持しつつ効率的に行うことができる段階的調査手法について検討する。

本研究では，第 1 章及び第 2 章でデッキプレート貫通き裂の発生と密接に関連があると思われる事項（損傷形態や構造的条件など）について実際にき裂を生じた実橋の調査と FEM モデルによる数値解析からその抽出について検討を行った。

本章では，これらの結果をふまえてデッキプレート貫通き裂に着目した鋼床版橋梁の段階的調査方法について検討する。段階的調査方法の手順は一般に道路橋で行われる定期点検から詳細調査に至る手順を参考に以下の段階を基本にその具体的な内容について検討する。

①Step1（机上調査）

膨大な数の鋼床版橋梁から，過去にデッキプレート貫通き裂の発生が報告されている橋梁との比較において構造諸元（縦リブの構造，デッキプレート，トラフリブの厚さ）及び，使用条件（供用年数，交通量，架橋状況），損傷実態（舗装の補修履歴など）などが類似あるいはデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接線の応力変動振幅の観点から同程度以上に厳しいと考えられるものを抽出する。

②Step2（概略調査）

実際にデッキプレート貫通き裂を生じた橋梁に対する現地調査結果を考慮し，現地の交通実態や舗装の損傷等を外観目視で確認し，きれつ発生の可能性の高い橋梁や径間を抽出する。

③Step3（簡易調査）

概略調査でき裂発生の可能性が高い状態であると抽出された橋(あるいは径間)について，実際の車両走行位置，及び，舗装の損傷位置，並びに，トラフリブ，及び，主げたの位置との関係を確認し，桁下からのより詳細な調査を行う対象箇所の絞り込みを行う。

なお，この段階では次の段階で行う非破壊検査や塗膜除去・復旧の方法，調査や作業のための各部位への具体的な近接手段，資機材や電源の確保などの実施計画の作成に必要な情報の把握も行うことになる。

④Step4（詳細調査）

デッキプレート貫通き裂の発生の有無，位置等の特定を行うために，非破壊検査機器による調査や必要に応じて部分的な舗装の除去による上面からのき裂確認など詳細な調査を行う。

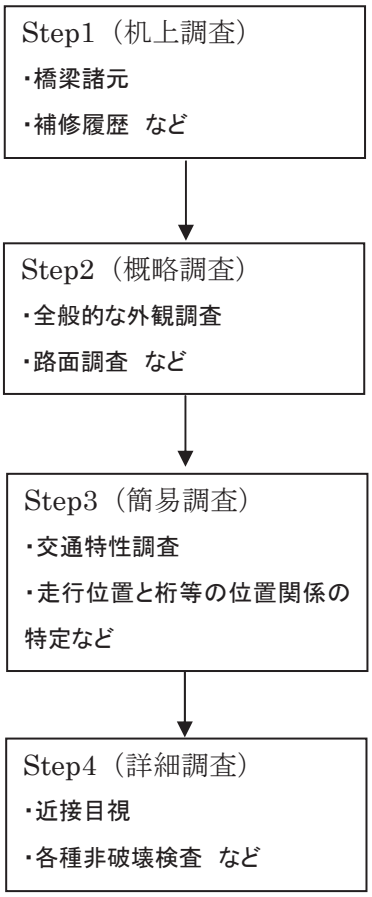


図 3.1-1　段階的調査手法のイメージ

3.2 机上調査(Step1)

机上調査は，実際の橋梁に対する現地調査を行う前に，以下の観点から点検調書や橋梁台帳などのデータや設計図書，工事記録などの文書等から，デッキプレート貫通き裂を生じる可能性が相対的に高いと考えられる橋梁を絞り込むことを目的とする。

主な絞り込みの観点は，前章までの検討結果を踏まえて以下のものが考えられる。

①鋼床版の構造諸元に次の条件に合致するものが用いられている。

・デッキプレート厚 12㎜

・トラフリブの厚さ 6㎜ または 8㎜

②供用開始以来の 1 車線あたりの累積大型車交通量が 2000 万台以上であること。

③舗装の更新履歴があるか，または舗装の補修履歴が多いこと。

（特に特定の位置の車線方向にポットホールの発生や連続的なひびわれが報告されている場合は優先度が高い）

なお，この段階では個別の径間までの特定は行わず，上記条件により多く合致する橋梁を絞り込むにとどめる。これは，デッキプレート厚が 12mm を超えるものについても非破壊検査（超音波探傷試験）によってデッキプレート方向へのき裂が検出された事例があることと，多径間連続の橋梁においてデッキプレート貫通き裂の発生位置について橋軸方向に特段の傾向が見い出せていないことによる。

3.3 概略調査(Step2)

3.3.1 概要

概略調査は，Step1 で抽出された調査対象橋梁に対して，実際に現地における現況の確認を行い,その結果からデッキプレート貫通き裂の発生の可能性の高い橋梁や径間を抽出することを目的とする。

デッキプレート貫通き裂の発生の有無を確認するためには,最終的にはデッキプレートとトラフリブの溶接部に近接しての超音波探傷試験などの非破壊検査,あるいは舗装の部分撤去など，いずれも足場や電源等の資機材の準備や交通規制などが必要となる。そのため比較的大規模な橋梁が多い供用中の鋼床版橋梁に対して,これらの調査を行うためにはあらかじめ調査対象径間などをより限定した領域に対象部位を絞り込むことが効率的,経済的に調査を行うためには不可欠である。

ここでは，主に全般的な外観目視による，現地の交通実態や舗装の損傷等の把握によってデッキプレート貫通き裂発生の可能性の高い径間を絞り込む方法について検討する。

3.3.2　舗装調査

(1)概要

デッキプレート貫通き裂が生じている橋梁の実態調査ではいずれも舗装の損傷が著しいことから，舗装の損傷実態の傾向と特徴について分析し，Step2 としてのデッキプレート貫通き裂に関する調査・点検のスクリーニングが行える手法について検討する。

薄肉であるデッキプレートに施工される鋼床版舗装は,デッキプレートと合成状態が十分に保持されていれば，鋼床版の変形に追従して変形する。したがって，鋼床版の変形状態そのものを映し出していると言える。つまり，鋼床版に疲労損傷が発生しその変形状態が健全な場合と異なったものとなった場合には橋面舗装の変状に現れる可能性がある。例えば，文献 3.1）では，縦リブ（トラフリブ）とデッキプレート溶接部に発生した鋼床版のき裂損傷が鋼床版のたわみや応力，路面の走行性に与える影響を考察している。また，橋面舗装の劣化が鋼床版の疲労損傷を促進する可能性もある。文献 3.2）では，縦リブ（トラフリブ）ウェブ上の舗装表面に人為的に橋軸方向のひび割れ（Saw Cut）を導入した場合の，トラフリブとデッキプレート溶接部近傍の応力状態について検討しており,舗装のひび割れによってデッキプレートの応力は位置によっては舗装が健全な場合の約 1.5 倍になることが示されている（**図 3.3-1**）。

これらのことから，舗装の劣化や損傷の状況を路面上から観察することで，デッキプレート貫通き裂またはそれ以外の鋼床版のデッキプレートとの溶接線などにき裂損傷が生じている可能性が高いことを推定できる可能性がある。

ここでは,鋼床版舗装に見られる損傷形態と鋼床版の疲労き裂との関係について考察を行い,デッキプレート貫通き裂またはそれ以外の鋼床版のデッキプレートとの溶接線などに生じるき裂発生の可能性の有無を推定する方法について提案する。

なお，特に交通実態が厳しい橋梁では，**写真 3.3-1** に示すように，頻繁に舗装補修が行われている場合があり，舗装の補修痕についても鋼床版の損傷との関係について考察する。

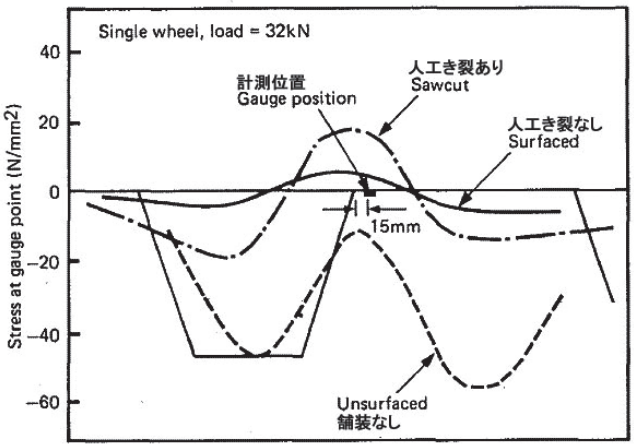


図 3.3-1　舗装に人工き裂を導入した場合の鋼床版の応力（文献 3.2 を和訳）



a)　部分補修の例 1(M10 橋)　　b)　部分補修の例(M7-1)

写真 3.3-1　舗装の部分補修が頻繁に行われている鋼床版橋梁

(2)舗装の損傷形態と鋼床版の損傷の関係

第 4 章で述べるのべ 50 橋（うちデッキプレート貫通き裂事例は 3 橋）の実橋調査結果から，鋼床版の損傷形態と舗装の状態との関係を整理する。なお，舗装の劣化のほか，伸縮装置や排水装置，高欄などの付属物の機能が十分に発揮できているかという点にも注意した。

1)デッキプレート貫通き裂

デッキプレートとトラフリブの縦方向溶接継手部でルートからデッキプレート上面方向にき裂するデッキプレート貫通き裂が進展した場合，トラフリブの内面にあたるデッキプレートに局所的な鉛直変位が発生し，中には路面の陥没に至るものもある。

このようなデッキプレート上面の不整では輪荷重による作用もあり，舗装はその部位で下方に撓むような変形を生じさせられることから，**図 3.3-2** に示すような蜘蛛の巣状の舗装のき裂や楕円状の凹みが発生する。**写真 3.3-2** の例では，デッキプレート貫通き裂が 1 本のトラフリブの両側の溶接部で発生し，その箇所では蜘蛛の巣状の舗装ひび割れがあったことが

確認されている。

また，舗装面の部分的な陥没に至らない場合でも，デッキプレート貫通き裂によってデッキプレート表面に橋軸方向に不連続な部分が生じると，輪荷重の載荷などの影響に対してき裂を挟んだ両側でデッキプレート表面の変位が不連続になるため舗装面には橋軸方向のひびわれが生じることが考えられる。

写真 3.3-3 に，実際にデッキプレートに貫通き裂が確認された箇所での舗装のひび割れ事例を示す。

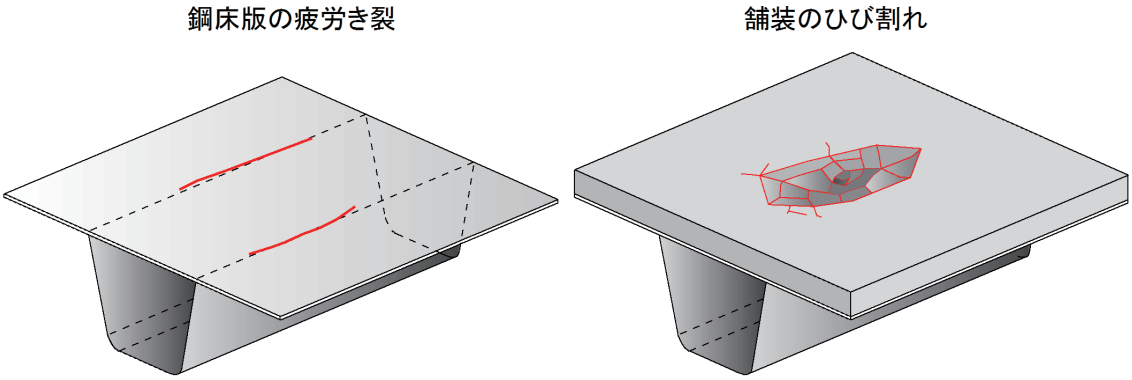
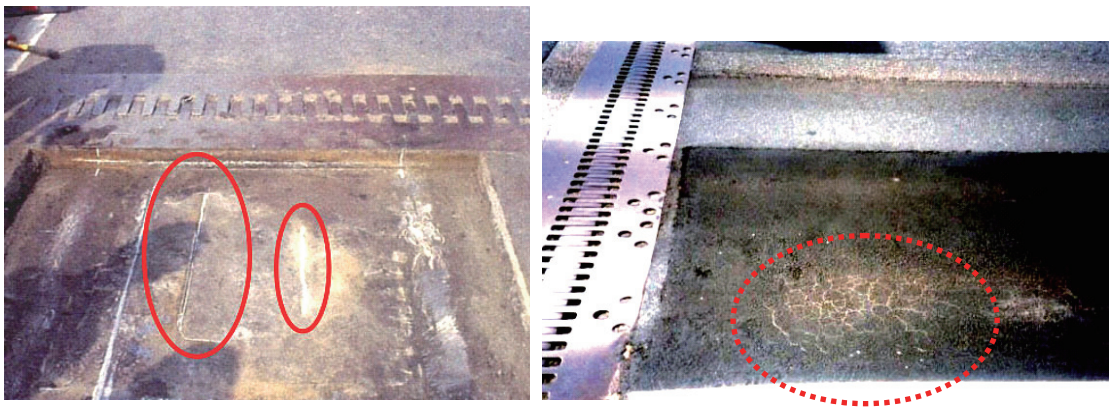


図 3.3-2　デッキプレート貫通き裂と舗装のひび割れ



a)　鋼床版の疲労き裂　　b)　蜘蛛の巣状のひび割れの例 1

写真 3.3-2　デッキプレート貫通き裂と舗装のひび割れ



写真 3.3-3　デッキプレート貫通き裂上に確認された舗装のひび割れの事例

2) ビード貫通き裂

例えば,デッキプレートとトラフリブ溶接部のルートから溶接ビード方向に疲労き裂が進展した場合,疲労き裂が発生した溶接線上に橋軸方向の舗装ひび割れが発生している場合が多い（**図 3.3-3**)。

疲労き裂の発生と舗装ひび割れの発生の前後関係は明らかでないが，前出の文献 3.2）に示されるように，溶接線上の橋軸方向ひび割れが発生している場合，溶接部近傍の応力が高くなることが確認されている。**写真 3.3-4** に，実際に確認されたビード貫通き裂と，そのき裂発生箇所上の舗装ひび割れを示す。なお，舗装のひびわれは，**写真 3.3-5** のようにトラフリブのウェブ間隔よりも狭い幅で複数並行して生じるものもあり,必ずしもトラフリブのウェブ位置と完全には一致しない位置で現れる場合があるものと考えられる。

また,**写真 3.3-6** に示すようにデッキプレート貫通き裂が生じた場合にも現れる舗装のひびわれと特段の相違はなく,デッキプレート貫通き裂か否かを舗装のひびわれだけで特定することは困難であるので注意が必要である。

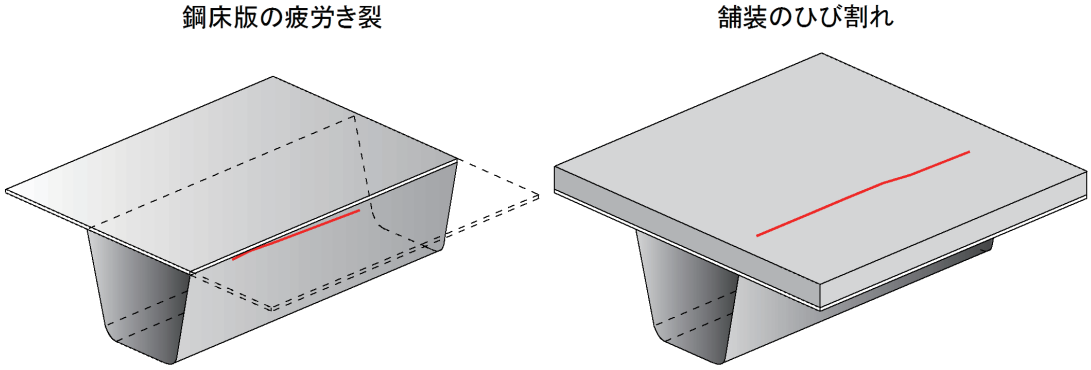
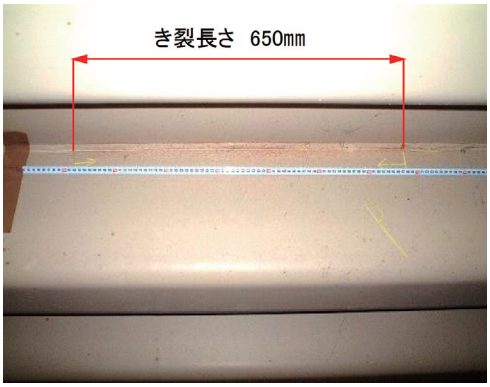


図 3.3-3　ビード貫通き裂と舗装のひび割れ





a) 鋼床版のビード貫通き裂　　b) 舗装のひび割れの例

写真 3.3-4　ビード貫通き裂と舗装のひび割れ



写真 3.3-5　舗装のひび割れ



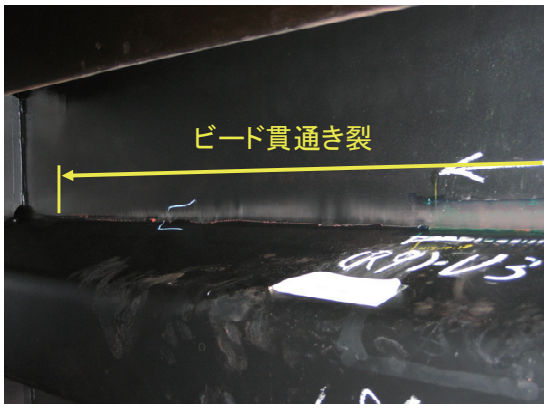


写真 3.3-6　ビード貫通き裂と舗装のひび割れ

3) 主桁垂直補剛材上端部におけるデッキプレート貫通き裂

主桁垂直補剛材上端部とデッキプレート溶接部における疲労き裂は,補剛材側の溶接止端に沿って進展するものと,デッキプレート側に進展するものに分類される。このうち後者は,

デッキプレートの板厚方向に進展し，場合によってはデッキプレート貫通き裂となる。この場合，輪荷重の直上載荷によってデッキプレートが局部的に変形するため，(1)と同様に局部的に蜘蛛の巣状の舗装ひび割れが発生する場合があることが確認されている。

図 3.3-4 に，実際に確認された垂直補剛材上端部におけるデッキプレート貫通き裂と，そのき裂発生箇所上の舗装ひび割れを示す。この損傷事例では，疲労き裂はデッキプレートを貫通し，路面からの雨水がデッキプレート下面側に浸透していた。

なお,デッキプレートとトラフリブの縦方向溶接から生じるデッキプレート貫通き裂とは桁内の部材位置を確認することで容易に区別できるが,概略調査の段階では正確な桁内の部材位置との関係が明らかでないことが多く、概略調査の段階でも図面等が容易に入手できる場合には用意しておくことでより確実なスクリーニングができる。

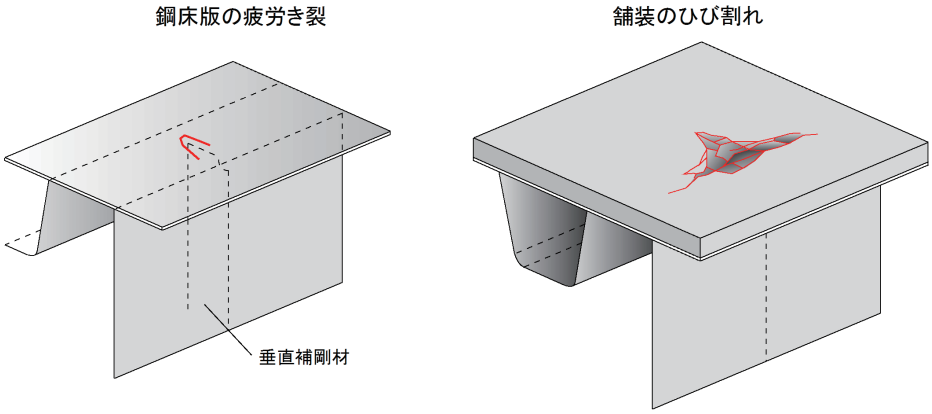


図 3.3-4　デッキプレート貫通き裂と舗装のひび割れ



a)　鋼床版の疲労き裂　　b)　舗装のひび割れ

写真 3.3-4　デッキプレート貫通き裂と舗装のひび割れ（C7 橋の事例）

4) 主桁垂直補剛材上端部におけるビードき裂

主桁垂直補剛材上端部とデッキプレート溶接部における疲労き裂のうち,補剛材側の溶接止端に沿って進展した事例では,補剛材の位置に一致する舗装のひび割れが発生する場合が多い（**図 3.3-5**)。

垂直補剛材上端部での疲労損傷は，輪荷重が垂直補剛材の直上を移動することによるものであり，輪荷重の通過位置が主桁ウェブと一致することが要因の一つと考えられる。

写真 3.3-5 に，実際に確認された垂直補剛材上端部におけるビードき裂と，そのき裂発生箇所上の舗装ひび割れを示す。

舗装ひび割れの向きや長さは必ずしも垂直補剛材のデッキプレートとの溶接の方向や長さとは一致しないものもあるが，その発生位置が，桁内の垂直補剛材の間隔に概ね一致する位置毎に規則的に現れる傾向がある。このように、橋軸方向に規則的に生じるひび割れは、橋の構造的要因が深く関わっている場合が多いため、注意する必要がある。

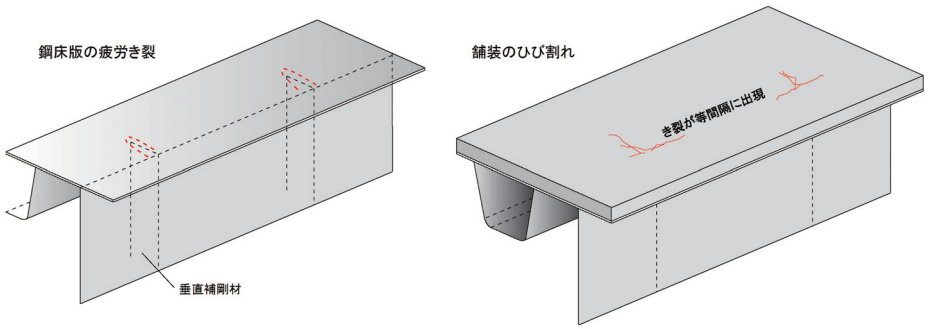
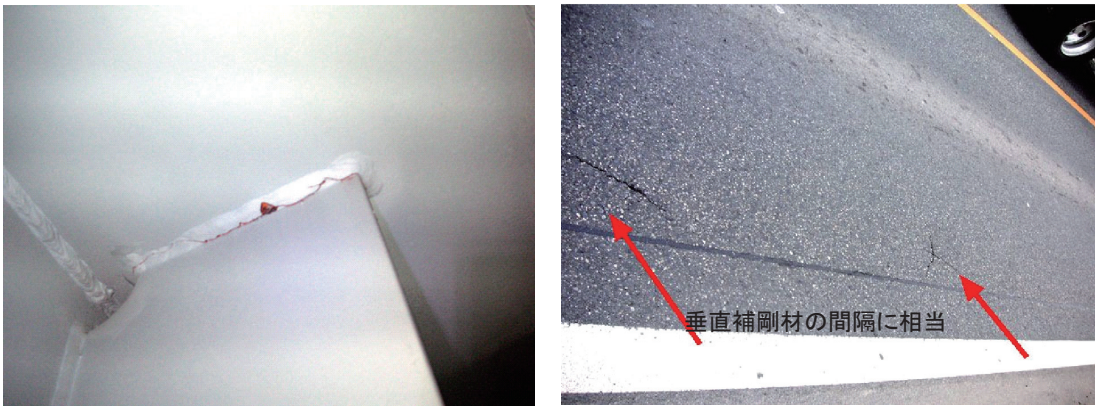


図 3.3-5　ビードき裂と舗装のひび割れ



a)　鋼床版の疲労き裂　　b)　舗装のひび割れ

写真 3.3-5　ビードき裂と舗装のひび割れ

5) その他

写真 3.3-6 は，桁端部における舗装劣化状況を示しているが，舗装の劣化箇所のほか，伸縮装置の背面から雨水が浸透し，桁端部のデッキプレート上に滞水している可能性が指摘される。実際，舗装のひび割れには錆状の粉体が堆積しており，デッキプレートの発錆が懸念される。**写真 3.3-7** は，舗装打換え工事において確認された，伸縮装置背面（コバ面）の発錆状況である。伸縮装置の背面から雨水が浸透し滞水していることを示している。

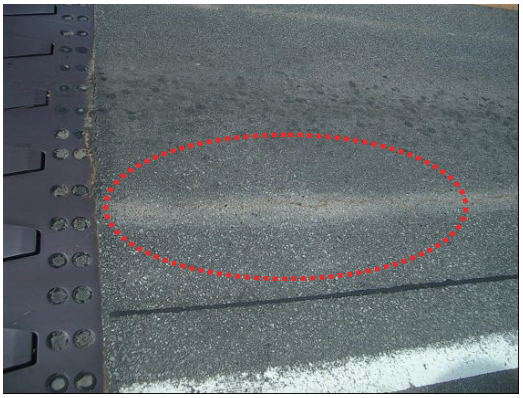


写真 3.3-6　伸縮装置付近の舗装劣化事例

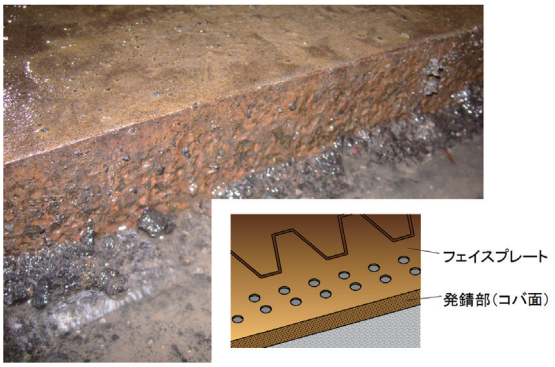


写真 3.3-7　伸縮装置コバ面の発錆

6)その他の舗装の損傷

(a) 桁端部での局部的な舗装面の劣化

写真 3.3-8 は，桁端部における舗装劣化状況の例である。この位置は，右上から左下方向に縦断勾配があり，同じ方向に車両が通行する。トラフリブ位置での舗装ひび割れのほか，車両の制動力によると思われる舗装のずれが確認できる。桁端部では伸縮装置部の路面の段差に起因して輪荷重による衝撃の影響が卓越する部位でもあり，鋼床版の疲労環境としても相対的に厳しい条件でもある。

このような場合，舗装本体による防水機能の低下が生じている可能性があり，その場合には舗装と鋼床版のデッキプレート上面にまで水が到達して，舗装付着力低下による鋼床版の一体性の低下や一般に一次防錆しかされない鋼床版の母材鋼板に腐食が生じる可能性もある。また，デッキプレート貫通き裂が生じているとトラフリブ内への滞水が生じることもあり，床版の劣化が急速に進展することも考えられる。そのため，このような変状が確認された場合には舗装のみならず，舗装と鋼床版の一体性，当該部位の鋼床版の健全性について確認し補修等の適切な対応を速やかに実施することが必要と考えられる。

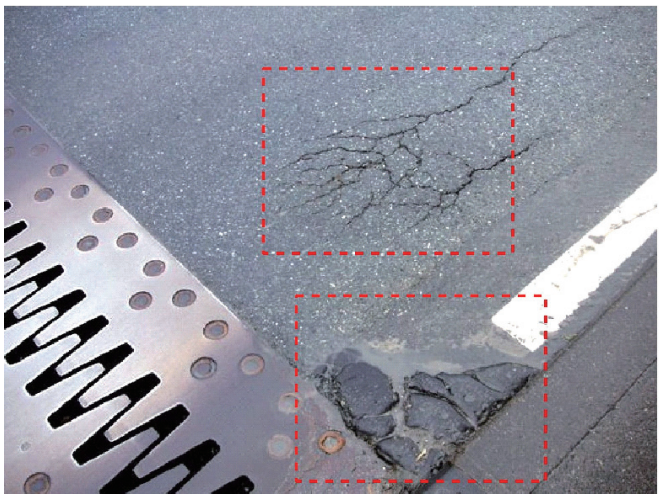


写真 3.3-8　伸縮装置付近の舗装劣化事例

(b) 橋軸直角方向（トラフリブと直交する方向）の舗装のひびわれ

写真 3.3-9 および**写真 3.3-10** は，舗装に発生した横断方向（橋軸直角方向，あるいはトラフリブと直交する方向）の断続的なひび割れの例である。

構造的に負曲げが卓越するなどの特殊な条件がなく，このような車線方向と直交する方向に長く連続的に顕著なひびわれが生じる場合，主げたウェブやトラフリブの存在など鋼床版構造，あるいはその上を通過する輪荷重による鋼床版の変形等の挙動とは位置や方向が一致しないため関連性は少ないと考えられる。

写真 3.3-9 の例は，縦断勾配の厳しい斜張橋の例であり，車両の制動力に起因する舗装のずれ挙動が関わっていることが疑われる。

写真 3.3-10 の例は，縦断勾配はさほど厳しいものではない。そのため車両の制動力に加えてデッキプレートと舗装との付着力の不足も要因となっている可能性がある。このように車両進行方向に一致する方向にトラフリブが配置された鋼床版における，車両進行方向とは直交する舗装のひびわれは鋼床版のき裂等の損傷とは異なる理由であることが多い。なお，このような舗装面の大きなひびわれは，舗装内部への雨水等の浸入を生じることから(a)に示した桁端部の局部劣化の場合と同様に，鋼床版の劣化につながる可能性がある。

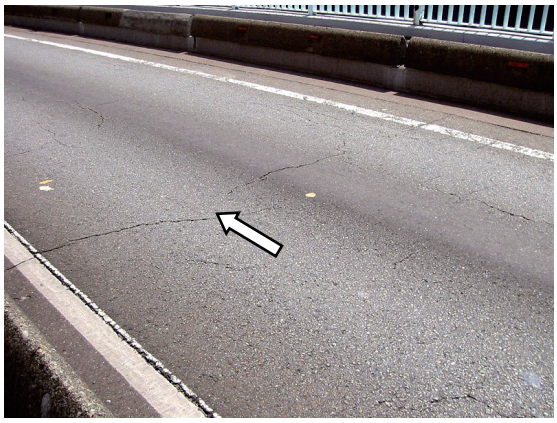


写真 3.3-9　横断方向の舗装ひび割れ



写真 3.3-10　横断方向の舗装ひび割れ

(c) 舗装の部分的な剥離（ポットホール）

写真3.3-11 は，デッキプレート貫通き裂が発生したC1橋における舗装の劣化状況である。車輪通過位置近傍に位置する舗装（表層）が一部剥離しており，車線方向にその前後の舗装で著しいひびわれが発生している。

過去にデッキプレート貫通き裂が同一のトラフリブの両ウェブで同時に発生して路面陥没に至った橋梁においても，過去の補修履歴から，特定の位置の車線方向に何度もポットホールや舗装のひびわれを生じ，補修を繰り返していた事実が確認されたものもある。

このように，車線方向に舗装のひびわれやポットホールの発生が多発する場合には，少なくともその車線位置の鋼床版は厳しい荷重環境になっていることから，デッキプレート貫通き裂がすでに発生しているか，相対的に発生の可能性が高い条件であると考えられ，き裂調査の優先度は相対的に高いといえる。



写真 3.3-11　舗装の剥離によるポットホール（右は矢印部分の拡大）

(d) 著しいわだち（轍）ぼれ

写真 3.3-12 は,デッキプレート貫通き裂が発生した橋梁における舗装の劣化状況である。この路線は,大型車交通量が多く車両走行位置で顕著なわだち掘れが発生しているのが確認された。わだち掘れは，大型車の後輪（ダブルタイヤ）に一致する形状を呈しており，大型車の後輪がわだち掘れに沿うようにほぼ同じ位置を走行する条件となっていることが疑われる。

このような著しいわだち掘れを生じると，舗装の輪荷重の分散効果が損なわれ，鋼床版にとってはより厳しい疲労環境となる。また大型車の車輪通過位置が分散せず，ほぼ同じ位置に載荷が繰り返されることも疲労環境の厳しさを増す要因となる。

そのため，大型車混入率が高い重交通路線において，大型車の車輪位置に一致する著しいわだち掘れが生じている場合には,少なくともその車線位置の鋼床版は厳しい荷重環境になっていることから，デッキプレート貫通き裂がすでに発生しているか，相対的に発生の可能性が高い条件であると考えられ，き裂調査の優先度は相対的に高いといえる。

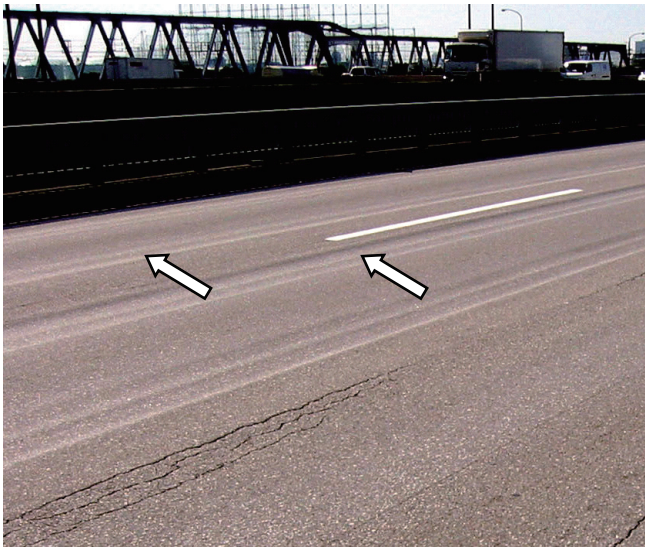


写真 3.3-12　走行位置のわだち掘れ

(e) 主げたウェブ位置に一致する舗装のひびわれ

写真 3.3-13 は，箱桁の主げたウェブ位置に一致する位置に車線方向に連続的に舗装のひびわれが発生した例である。鋼床版路面では車輪通過位置がトラフリブのない位置である場合でもこのような主げたウェブに一致する位置で舗装のひびわれが生じることがある。

主げたウェブの近傍を車線が通過する場合には，主げたウェブの存在によりトラフリブのウェブ近傍を車輪が通過する場合同様に，舗装に局部的な変形が生じることでひびわれが発生しやすいものと考えられる。

このような場合，主げたウェブは通常両側からの連続溶接でデッキプレートと接合されているためき裂は生じにくい。しかし主げたウェブに設けられている垂直補剛材では輪荷重の通過に伴いその上端で大きな応力変化が生じることから垂直補剛材上端部とデッキプレート下面との溶接部で疲労損傷の発生が懸念される。

過去には，斜めウェブを有する主げた位置で鋼床版の補剛リブをかねてコーナープレートタイプの閉断面構造を設けた橋梁が作られたことがあった。コーナープレートとデッキプレートの溶接は片側からの溶接となり疲労耐久性に劣る溶接構造となることから，現在では用いない方がよい構造とされており，このような構造が用いられている橋梁では主げた位置の近傍でコーナープレートの溶接に関わるき裂損傷の発生も懸念されるため注意が必要である。（写真 3.3-14）



写真 3.3-13　主げたウェブ上のひび割れ



写真 3.3-14　コーナープレート部の疲労損傷（補修跡）

3.3.3 舗装以外の変状の調査

本研究で実施した路面からの実橋の状況調査では,舗装の劣化状況を把握することのほかに，伸縮装置や排水装置，高欄などの状態についても調査を実施した。その結果，これらの舗装面から確認できる伸縮装置や排水装置,高欄などの変状の中には間接的に舗装の劣化やさらには鋼床版の劣化と関連をもつ可能性のあるものもあることが確認できた。 ここでは,本研究の調査で確認された代表的な事例について鋼床版の耐久性への影響の観点から整理する。

(1) 伸縮装置

桁の伸縮量が大きい鋼床版では，フィンガージョイントやビーム型の伸縮装置が多く，フェイスプレートなど伸縮措置本体と鋼床版とが高力ボルトに連結されているのが一般的である。伸縮装置部では装置そのものの段差に加え，橋台側のパラペットと一般部の境界部など構造的な段差が生じやすい。またそれらを通過する車輪の衝撃の影響も大きくなることから床版への輪荷重が一般部に比べて大きくなるだけでなく,その前後の舗装の劣化が一般部より促進されやすく,同じ位置で集中的に負荷されることもあって鋼床版への荷重の影響がさらに大きくなるという悪循環となりやすい。

段差通過による輪荷重の拡大の程度については車両のサスペンションの条件や段差の形状，タイヤの空気圧など様々な要因が関わるため一概ではないが，図 3.3-6 に示すように 9 車種の車両が 10,20,30㎜ の段差を時速 40㎞ 及び 80㎞ で通過した際の軸重変動を車軸から算出した結果[3.3)]から段差の通過に起因する動的倍率が大きくなることが分かる。また、**図 3.3-7** に示すとおり、多軸車では同じ車両のいずれかの車軸が大きく変動した場合に、他の車軸にも影響を与える。

段差通過による輪荷重の拡大の程度については車両のサスペンションの条件や段差の形状，タイヤの空気圧など様々な要因が関わるため一概ではないが，段差が通過した当該軸変動が直接影響する範囲よりも広い範囲で平滑な一般部を走行する条件に比べて大きな輪荷重が路面に作用するものと考えられる。

このように，伸縮装置部の段差やその前後の路面不陸の影響は，それによってさらなる段差の拡大を招くとともに，その結果として舗装の劣化を促進することとなる。また輪荷重の動的影響が大きくなり鋼床版にとって相対的に厳しい環境となるため,伸縮装置部に著しい段差が生じている場合や伸縮装置部前後に顕著な不陸がある場合で桁端部の舗装にひび割れ等の劣化が生じている場合には,少なくともその近傍では鋼床版は厳しい疲労荷重となっている可能性があり，き裂調査の優先度は相対的に高いといえる。また疲労損傷が生じていない場合にも疲労耐久性確保の観点からはできるだけ段差や不陸が小さくなるよう早期に是正することが望ましいといえる。

写真 3.3-15～写真 3.3-17 に伸縮装置の損傷事例と不具合事例を示す。

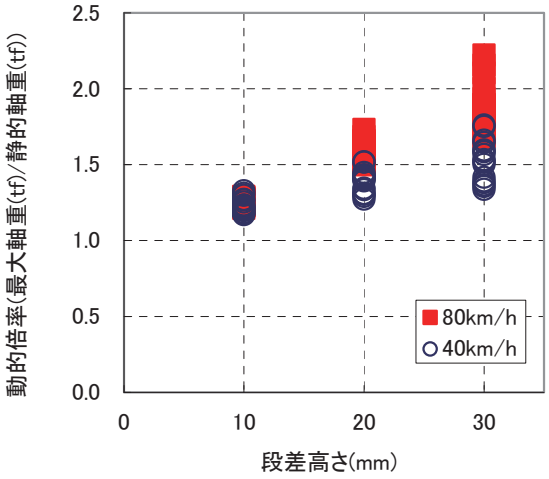


図 3.3-6 動的軸重に及ぼす段差量の影響 [3.7)]

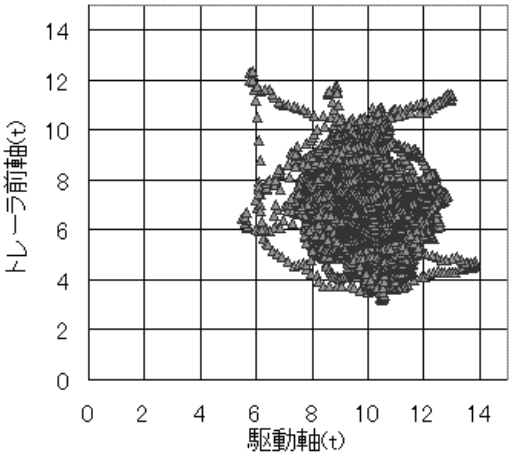


図 3.3-7 車両の軸同士の軸重の関係 [3.7)]



写真 3.3-15 フェイスプレート取付けボルトの脱落



写真 3.3-16 ビーム型伸縮装置の破損事例



写真 3.3-17 段差の生じた伸縮装置

(2) 排水機能

排水桝に土砂が流入するなどにより，排水機能が著しく低下している例が多く見られる（**写真 3.3-18**）。

舗装面での滞水を生じるなど円滑な路面の排水が行われない場合は，舗装そのものの劣化を促進させるだけでなく，舗装下面に雨水が侵入する危険性が増大し、結果的にデッキプレート上で滞水を生じると舗装の著しい劣化の促進、鋼床版デッキプレートの腐食促進、デッキプレート貫通き裂を生じた場合にトラフリブ内部への滞水と腐食促進など様々な橋梁の劣化の誘発・促進につながることになるので注意が必要である。

(3) その他の損傷

路面調査では，鋼床版の疲労耐久性の観点からは直接的には関係がないと思われるものの，橋全体として耐久性の低下など性能に悪影響を及ぼす可能性があると考えられる多くの損傷や変状がみられた。また桁内への鳥類の侵入・営巣・排泄物の堆積などでは鋼床版をはじめ桁内からの点検作業にも支障を及ぼす可能性があり注意が必要であると考えられた。

代表的なものを以下に示す。

1) 鋼部材の局部的な変形，座屈
2) 排水管など付属物の損傷（**写真－3.3.19**）
3) 標識柱や照明柱，壁高欄などの損傷（**写真－3.3.20**）。
4) 支承の腐食，損傷
5) 鳥等の排泄物による害
6) 土砂の堆積
7) 火災による熱損傷



写真 3.3-18　土砂の流入により閉塞した排水桝



写真 3.3-19 凍結防止剤により腐食した排水管



写真 3.3-20 高欄の腐食

3.3.4 まとめ

本節では，概略調査は，Step1 で抽出された調査対象橋梁に対して，実際に現地における現況の確認を行い，その結果からデッキプレート貫通き裂の発生の可能性の高い橋梁や径間を抽出するための方法について検討を行った。

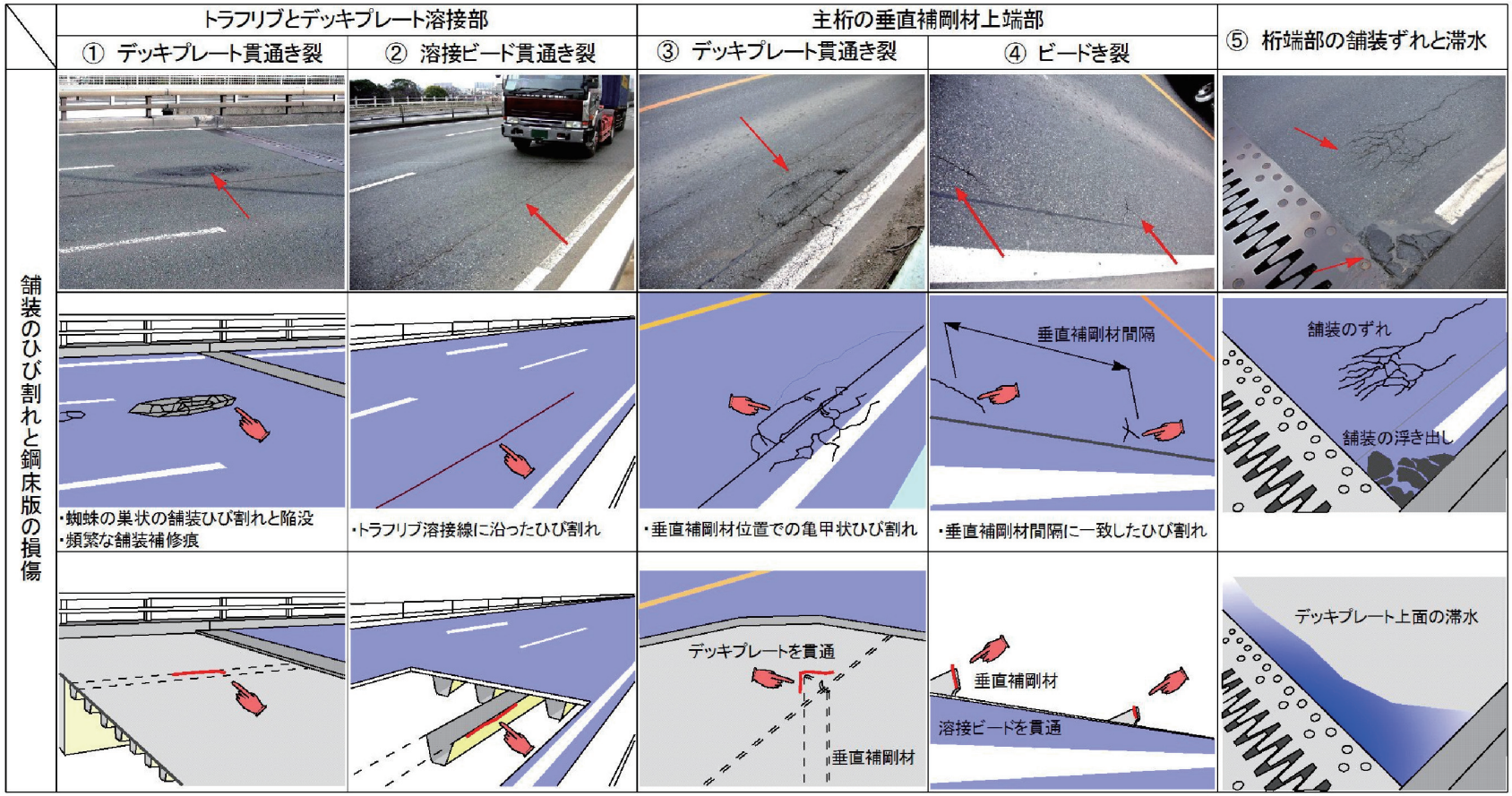
現地で比較的容易にできる一次スクリーニングの観点から，主に橋面舗装を対象とした路面調査に着目してそれらの結果からデッキプレート貫通き裂の可能性の高い橋梁の絞り込みが行えるかどうかを，実橋調査をもとに検討した。

結果をまとめると，**表 3.3-1** のようになる。鋼床版舗装は，デッキプレート上面に直接施工され一体化されているため，舗装の変状から鋼床版の交通荷重実態，鋼床版そのもののき裂等の異常の有無を推定することのできる様々な情報が得られる可能性が高いことがわかった。特に，デッキプレート近傍に発生したき裂損傷に対しては，デッキプレートの挙動の変化や変形状態を反映して舗装のひびわれという形で路面に現れる場合が多い。

以上のことから，概略調査で把握される構造諸元や過去の点検記録など様々な情報に現地での外観目視による舗装面の調査結果を組み合わせて考察することは，デッキプレート貫通き裂のみならずデッキプレート近傍の鋼床版の疲労き裂といった損傷が発生している可能性の高い橋梁および径間を絞り込む手法として有効のものであると考えられる。

ただし，厳しい交通状況下にある場合などでは鋼床版の変状とは関係なく，舗装に様々なひびわれなどの変状が顕著に現れる場合も多い。そのため，実際にデッキプレート貫通き裂の検出のための非破壊検査の実施や一部舗装撤去を行うためには，このステップで主に舗装変状から絞り込んだ橋梁や径間のなかからさらに鋼床版の損傷との関連がある可能性が高い箇所を絞り込む必要がある。

表 3.3-1　舗装の劣化とその箇所で確認された鋼床版の損傷



3.4　簡易調査（Step3）

3.4.1　概要

デッキプレートの膨大な溶接線の中から,桁下からの外観調査では視認不能なデッキプレート貫通き裂を確認するには,非破壊検査による検出あるいは橋面舗装の一部撤去による確認等，詳細調査（Step4）で示すような作業が必要となるため，調査対象とする部位をできるだけ正確に絞り込む必要がある。そのため簡易調査（Step3)として，概略調査（Step2）までで，き裂発生の可能性が高い状態であると抽出された橋（あるいは径間）について，実際の交通状況，車両走行位置，舗装の損傷位置，トラフリブや主げたなどの構造部材の位置などの関係を確認し,デッキプレート貫通き裂の発生する可能性の高い箇所をより詳細に絞り込む。

なお，この段階では次の段階で行う非破壊検査や塗膜除去・復旧の方法，調査や作業のための各部位への具体的なアプローチの方法，資機材の搬入や電源の確保など，点検計画の作成に必要な情報の把握も行うことになる。

3.4.2 交通特性の把握

(1)概要

デッキプレート貫通き裂には,これまでの検討において車輪通過位置近傍におけるトラフリブとデッキプレートの溶接部における局部的な応力変動が支配的に影響している可能性が高いものと考えられ,その発生によって舗装面にひび割れ等の変状を生じることが多いと考えられる。一方，舗装のひび割れ等の変状には鋼床版の変状と関わりなく発生するものも多く,ここでは交通状況を把握することで鋼床版の変状が生じている可能性が高いものを絞り込む手法について検討する。

道路橋の交通環境については,全国で道路交通センサスが行われており路線やある距離区間の単位では大型車混入率なども把握されている場合が多い。しかし必ずしも調査地点が該当橋で調査された結果でなく,交差点による分合流などもあり交通状況が一致しない場合もある。また，車種タイプ毎の交通量や走行位置の特徴などの詳細は把握されないことから，鋼床版の疲労の観点からより危険性の高い部位を抽出するためには，重交通の程度，重車両の走行位置の偏りの有無などの交通特性を実地に把握することが有効であると考えられる。

一方，道路橋上を通行する車両の重量を計測する手法として，埋設型重量計やマット式重量計を路面に設置して直接的に測定する方法がある。しかしながら，この方法はコストや交通への影響といった点で課題が多い。そこで，橋梁部材の応答を介して間接的に重量を推定する手法（Bridge Weigh-in-Motion System。以下「BWIM」という。）が数多く開発されており，比較的正確な荷重実態の把握には有効である[3.5),3.6)]。

しかしここでは，デッキプレートの膨大な溶接線の中から，調査対象とする部位をできるだけ簡易に絞り込む目的から,特別な機器等を要せず供用中道路で交通流に支障をきたすことなく簡易な交通量と通行車両の種類，積載物，走行車線・位置などについて，簡便に把握できる手法について検討する。

(2) 簡易交通実態調査の方法

1) 調査項目

鋼床版の疲労耐久性に関わる要因として，簡易調査では以下の交通特性に関する項目についてできるだけ簡易に把握できる手法を検討する。

①大型車交通量（供用からの履歴）

②大型車重量特性（重車両の混入割合など車種特性）

③大型車走行特性（走行位置，車線変更の有無）

2) 調査方法

鋼床版の疲労き裂の発生には，履歴荷重による変動応力振幅とその繰り返し回数が支配的な影響を及ぼすと考えられる。一方，疲労現象の特徴と鋼床版のデッキプレートに施される溶接線の品質のばらつきや荷重のばらつき等を考慮すると，厳密な交通荷重やそれによる応力履歴との対比は困難かつ本質的ではないと考えられる。

そのため，本調査の位置づけから，ここでは特別な機器等を要せず供用中道路で交通流に支障を来たすことなく１日程度で概略の交通特性を把握する方法を検討した。

大型車の混入率や車種構成の把握には，現地での調査員によるカウンターによる計量が行われることが多く有効である。一方，カウンターによる読み取りでは走行位置のばらつきや車線変更などの走行特性は別途調査することが必要となる。そのため本研究では，簡易に長時間録画が可能な小型ビデオ機器による定点での一定時間の動画撮影と目視による読み取りを平行して行い，事後にそれらの動画から車両台数や車種構成など様々なデータをとりだすこととした（**写真 3.4-1**）（**写真 3.4-2**）。

交通特性を短時間の計測で推定することから，昼夜率やどのような物流特性なのかの情報を別途補うことが不可欠であるが，その際，**写真 3.4-3～写真 3.4-5**，**表 3.4-1** を参考にして積載物の推定を行なうことは，路線特性や超重車両の混入の程度を推定するための重要な情報となる。交通量調査の結果は（３）に述べる。



写真 3.4-1　ビデオカメラによる調査

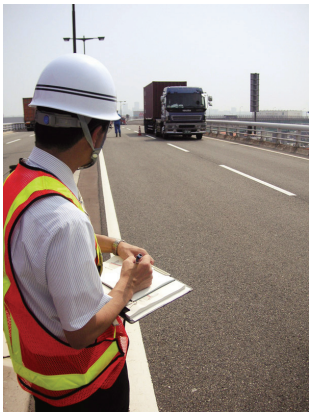


写真 3.4-2　目視による簡易交通量調査



写真 3.4-3　港湾荷役の多い交通状況例



写真 3.4-4　鉄鋼荷役の多い交通状況例

表 3.4-1　コンテナ１つあたりの積載量（参考）

分類	12フィートコンテナ	20フィートコンテナ	40フィートコンテナ
積載量	5,000kg	24,000kg	32,000kg
			



(a)鉄鋼コイル(最大約 450kN)



(b)超重量車両

写真 3.4-5　車両積載物の例

3)調査対象

本研究で簡易調査を試みた橋梁を**表 3.4-2** に示す。これらに対しては 15 分間の目視による調査と動画の撮影を行った。

(3)調査結果

車両走行位置については，第 1 章の**図 1.3-5** あるいは**図 1.3-7** に示すように，デッキプレート貫通き裂の生じた橋梁においても，特に車線位置直下に一致した部位での発生が突出していることから，車線位置を特定し，トラフリブや箱桁との位置関係を把握しておくことが重要であり，点検箇所の抽出にも活用することができる。輪荷重の走行位置は，目視やビデ

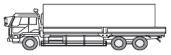
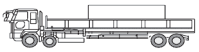
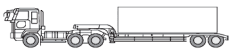
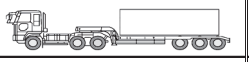
オによる車線内の分布解析等により行うことも可能であるが,本研究においては目視による簡易調査を行い，地覆から舗装のわだち掘れまでの距離を確認することで，トラフリブや箱桁と輪荷重走行位置の関係を把握することができることがわかった。

表 3.4-2 に交通量調査結果を示す。車種別に走行台数とその割合を示している。交通状況を把握するための指標として大型車混入率(中型トラック以上の車両②～⑥が全車両に占める割合)が挙げられるが,表には簡易調査により得られた大型車混入率と,比較検討のため,交通センサスにより得られた大型車混入率（平日昼間 12 時間）も併記している。

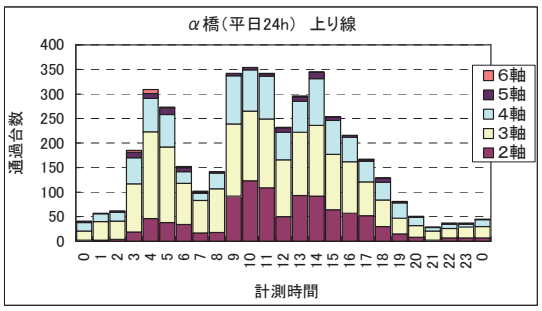
簡易調査と交通センサスの結果を比較すると,いずれのケースも簡易調査結果の値が高めに出ていることがわかる。**表 3.4-2** 中の橋梁記号 H7,03,014 の 3 ケースは簡易調査と交通センサスの結果に大きな差が見られるが,それ以外のケースでは両者が大きく乖離することはなく，C3 のように交通センサスの結果に対してよい精度で大型車混入率を推定できているケースもある。H7 で交通センサスの値と比較して調査結果が大きく異なった原因として，計測時に調査地点の周辺で工事が実施されておりダンプトラックが計測地点を頻繁に通過していたこと,また計測時間が日中のため通退勤等の乗用車が少なかったことが考えられる。03,014 で差が生じた原因を具体的に特定することはできないが，計測時に通常の交通状態とは異なる周辺状況があったことが推察される。また，交通センサスの値は観測地点直近の国土交通省直轄国道の値であるため，これも両者の差の要因として考えられる。

図 3.4-1 は，国土交通省管内の別の路線に位置するα橋，β橋の平日 1 日間の時間別交通量の測定結果である。この 2 橋の交通量分布を比較すると，交通量が多い時間帯，少ない時間帯が橋梁によって様々であることがわかる。一方，α橋の 1 日ごとの交通量分布を示した **図 3.4-2** から，平日に限っては比較的似たような分布形状を示していることがわかる。以上のことから，対象とする路線の時間帯ごとの概略交通特性を把握した上で 15 分間の調査を実施することは，交通車両の概況を把握するためには有効な手段であると考えられる。

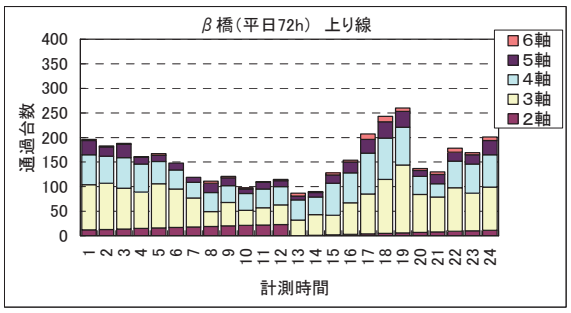
表 3.4-2　目視による簡易交通量調査の結果

	橋梁記号		H7	M8-2	C3	03	012	014	Q2
調査データ	調査年月日		2005/8/10	2006/3/30	2006/3/7	2006/6/14	2006/3/31	2006/8/3	2005/12/2
	調査時刻		14:13-14:28	14:30-14:45	10:00-10:15	14:05-14:20	13:30-13:45	14:10-14:25	12:45-13:00
計測結果	車種	代表車両モデル	走行台数　() 内は割合						
	①乗用車		198 (47%)	125 (43%)	454 (62%)	106 (48%)	469 (52%)	128 (42%)	311 (79%)
	②中型トラック（バス含む）		101 (24%)	98 (34%)	125 (17%)	31 (14%)	192 (21%)	65 (21%)	40 (10%)
	③大型トラック(3軸車)（ダンプトラック含む）		93 (22%)	22 (8%)	96 (13%)	8 (4%)	108 (12%)	29 (10%)	43 (11%)
	④大型トラック（4軸車）（ダンプトラック含む）		26 (6%)	27 (9%)	38 (5%)	59 (27%)	99 (11%)	74 (24%)	0 (0%)
	⑤大型トレーラ（5軸車）		1 (0%)	17 (6%)	15 (2%)	18 (8%)	27 (3%)	8 (3%)	1 (0%)
	⑥大型トレーラ（6軸車）		1 (0%)	2 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
	合計		420 (100%)	291 (100%)	728 (100%)	222 (100%)	900 (100%)	304 (100%)	395 (100%)
	大型車混入率*)	15分簡易調査	49.7%	57.0%	37.6%	52.3%	47.9%	57.9%	21.3%
		交通センサス	25.2%	49.0%	34.2%	21.1%	38.5%	21.2%	15.1%

＊大型車とは車種（②～⑥）を示す。

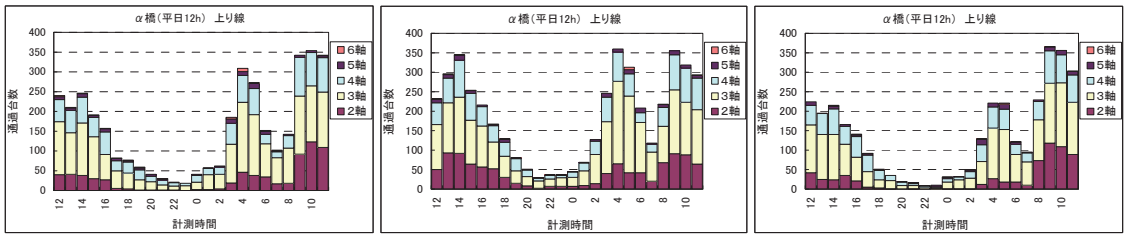


(a) α橋



(b) β橋

図 3.4-1　国総研 BWIM による 24 時間計測（異なる橋梁の時刻別交通量の比較）[3.5)3.6)]



(a)1 日目　　(b)2 日目　　(c)3 日目

図 3.4-2　国総研 BWIM による α 橋の 72 時間計測（日ごとの時刻別交通量分布の比較）[3.5)3.6)]

(3) 留意事項

橋梁の前後の道路事情によっては，大型車が必ずしも第一車線に多くみられるとは限らないことがあるため，対象橋梁が複数の車線を有する場合や合流，分岐などの車線がある場合などに，鋼床版上での車両の走行傾向を把握する必要があることがわかった（**図 3.4-2**，**写真 3.4-6**，**写真 3.4-7**）。また，5 章「鋼床版の応力測定」で詳述するが，交通実態とともに車両の走行速度についても，鋼床版の発生応力との間には関係があることが指摘されており，渋滞や車両の停留が多い場合は，鋼床版への疲労損傷度もより大きくなると考えられるため同時に把握を行うべきである。

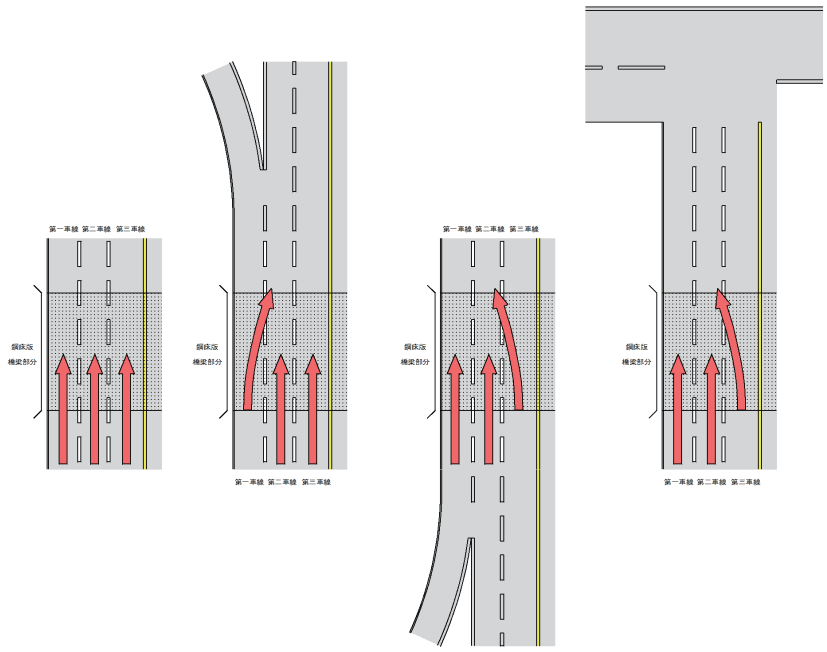


図 3.4-2　橋梁の前後での道路事情にみる大型車走行の傾向の一例

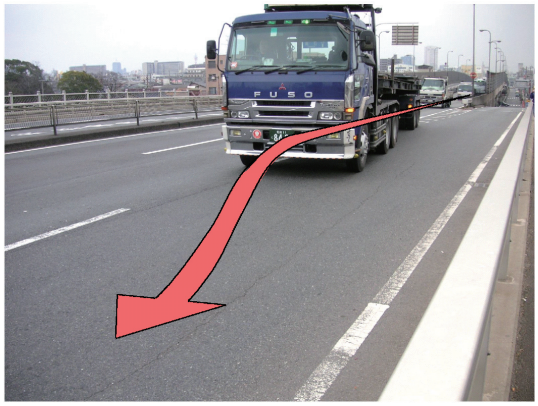


写真 3.4-6　橋梁の後方に合流がある場合の大型車の車線変更例



写真 3.4-7　橋梁の前方に交差点がある場合の第二車線への大型車の集中例

3.4.3　まとめ

本節では，デッキプレート貫通き裂の一要因であり，調査箇所の抽出にも活用できる大型車の交通状況，及び，車線位置の特定方法について検討した。結果を以下に示す。

①車線位置の特定

輪荷重の走行位置は，目視やビデオによる車線内の分布解析等により行うことができる。目視による簡易調査では，舗装のわだち掘れから，路肩の地覆までの距離を確認することで，トラフリブや箱桁と輪荷重走行位置の関係を把握することができることがわかった。

②交通状況・特性の把握

実橋について簡易交通量調査法について検討した結果，対象とする路線の時間帯ごとの交通特性をふまえた上で調査を実施することで，15 分間と簡易な調査でも，交通車両の概況を把握することが可能であることが分かった。

また，橋梁の前後の道路事情によっては，大型車が必ずしも第一車線に多くみられるとは限らないことがあるため，対象橋梁が複数の車線を有する場合や，合流分岐などの車線がある場合などに，鋼床版上での車両の走行傾向を把握する必要があることがわかった。

3.5　詳細調査（目視調査）(Step4)

3.5.1　概要

前節の簡易調査までで概ね特定した,デッキプレート貫通き裂が既に発生しているかその可能性が高いと考えられる部位に着目して,き裂の検出およびその状況を把握するために詳細調査を行う。

調査は,けた内外からの近接目視,種々の非破壊検査機器による調査を組み合わせて行い,き裂位置の特定，その進行状況など今後の維持管理に必要な情報を取得する。

既にデッキプレート貫通き裂を生じている可能性が極めて高いと考えられる場合には,デッキプレートの上面から舗装を切削して直接き裂の有無やその状況を調査することが最も確実な方法である。

しかし，舗装を一部撤去して行う調査には，①交通規制を伴うこと，②接着層の存在などからデッキプレートを損傷せずかつ短期間で舗装の撤去を行うことが困難であること,③デッキプレート面に向かっていてもまだ上面に開口していないき裂は視認できないこと,などの問題がある。

ここでは前段階までに対象部位として径間や部位に対して,鋼床版下面側からの調査を行って，デッキプレート貫通き裂に限らず鋼床版関連の様々な変状を把握するとともに，簡易調査で把握した交通状況と実際のトラフリブや主げたの位置の照合を行い,非破壊検査部位の特定と検査の実施,さらには必要に応じて舗装を一部撤去して鋼床版上面側のき裂確認を行う部位の特定と調査の実施を行うこととなる。

3.5.2　目視調査（鋼床版下面）

(1)調査方法

鋼床版下面からの目視調査ではデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接のルート部からデッキプレート上面に向かう貫通き裂は検出できない。

一方,デッキプレートと主げたウェブの垂直補剛材上端部との溶接からのき裂が進展してデッキプレート上面に貫通するき裂はデッキプレート下面にも疲労き裂が生じている可能性が高いと考えられること,またデッキプレート下面から視認できる塗膜割れや錆汁の漏出,開口き裂などの変状,溶接ビードの形状などの溶接品質を詳細に把握することで鋼床版全体の疲労耐久性の良悪や疲労環境がある程度推定可能と考えられることなどから，a.箱げた内部からの調査（**写真 3.5-1**），b.検査路からの調査（**写真 3.5-2**），c.高所作業車からの調査(**写真 3.5-3**)，d.双眼鏡による調査(**写真 3.5-4**)，e.仮設足場からの調査(**写真 3.5-5**)などを実施した。



写真 3.5-1　箱げた内部からの調査状況



写真 3.5-2　検査路からの調査状況



写真 3.5-3　高所作業車からの調査状況

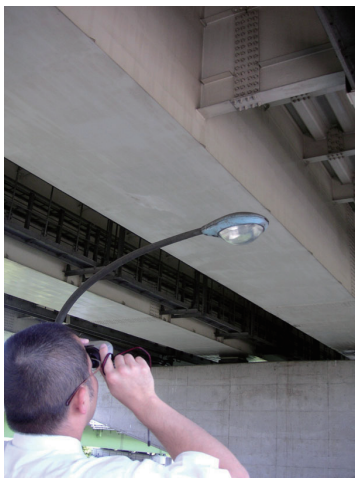


写真 3.5-4　双眼鏡による調査状況



写真 3.5-5　仮設足場からの調査状況

(2) 調査対象

デッキプレート下面から確認可能なき裂全般を目視で確認する（図 3.5-1）。

特に下記の損傷部位に着目し，塗膜割れ，錆の発生などが近接の程度と着目部位に応じて目視でどの程度把握できるかを調査するとともに，き裂検出の観点からの問題点，調査にあたっての留意点について検討した。

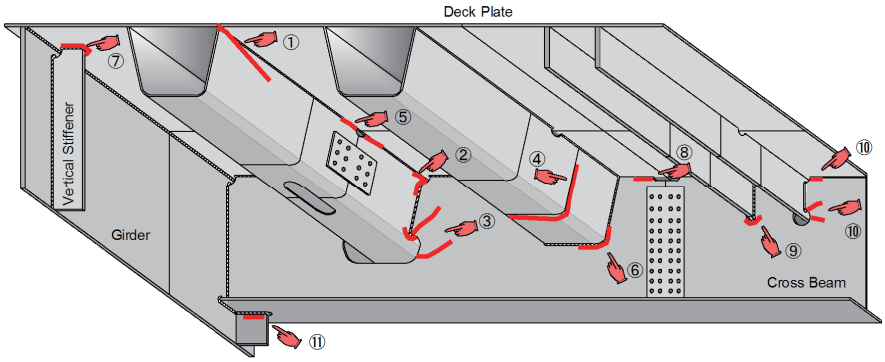


図 3.5-1　主な鋼床版の疲労損傷

(3) 調査結果

1) トラフリブとデッキプレートの溶接部

輪荷重直下に位置するトラフリブとデッキプレートの溶接部に発生することの多いき裂である。塗膜割れ（**写真 3.5-6**）や錆の発生（**写真 3.5-7**）によってき裂の発生を疑うことができる。しかし錆汁を伴わないような塗膜割れでは開口き裂の有無の断定は困難であり，スクレーパーなどによる塗膜の部分的な除去により確認することも必要である。

（**写真 3.5-8, 写真 3.5-9**）

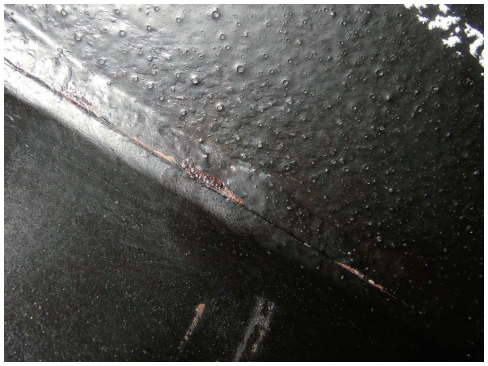


写真 3.5-6　トラフリブ・デッキプレート溶接部の塗膜割れ



写真 3.5-7　トラフリブ・デッキプレート溶接部の発錆

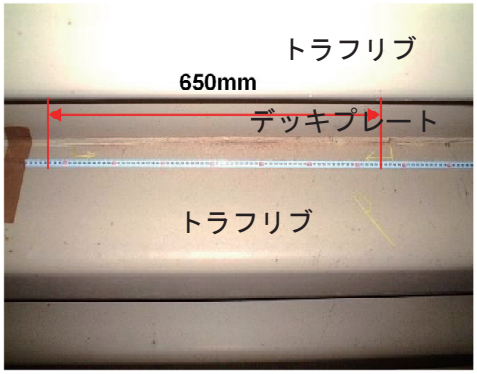


写真 3.5-8 トラフリブ・デッキプレート溶接部の塗膜割れ

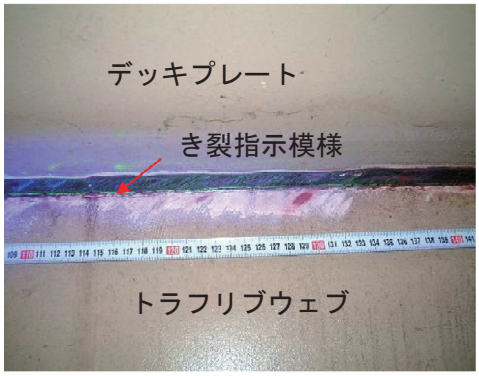


写真 3.5-9 塗膜の部分的な除去（除去後に磁粉探傷試験実施）

2) トラフリブと横リブ交差部の上側スカラップ周辺

輪荷重直下のトラフリブと横リブ（または横げた）交差部を中心に調査を行った（**写真 3.5-10**）。本調査ではき裂は確認されなかった。なお，この位置のき裂の目視調査では，トラフリブとデッキプレートの縦方向溶接のビードと異なり，狭隘部で陰となるスカラップの内面の詳細な確認が必要となるため，十分な近接を行う必要がある。（**写真 3.5-11**）



写真 3.5-10　交差部の発錆



写真 3.5-11　スカラップ周辺の塗膜割れ

3) トラフリブと横リブ交差部の下側スリット周辺

損傷 2) と同様に，き裂や塗膜割れは輪荷重直下のトラフリブと横リブ交差部に多くみられる（**写真 3.5-12**, **写真 3.5-13**）。この位置のき裂の目視調査も損傷 2) と同様に狭隘部で陰となるスリットのコバやまわし溶接の止端部を詳細に確認する必要があるため，調査においては十分に近接する必要がある。

なお，この種の疲労損傷のうち，トラフリブ側の溶接止端部に発生する疲労き裂は，トラフリブの現場高力ボルト接合部に設けられる防錆用の密閉ダイアフラムの拘束が大きな影響を与える可能性が指摘されており，本調査においてもトラフリブの現場高力ボルト接合部に隣接する交差部について特に注意して確認を行った。



写真 3.5-12　トラフリブ・横リブ交差部の塗膜割れ




写真 3.5-13　トラフリブ・横リブ交差部の発錆

4) トラフリブ現場溶接継手部

輪荷重直下に位置するトラフリブどうしの突合せ溶接に発生することの多いき裂である（写真 3.5-14）。

デッキプレートとトラフリブの縦方向溶接のビードへの調査と同様に下面から容易に視認できるが,上向きや横向きで施工された現場溶接となっていることが多く溶接ビードに著しい不整が見られることが多い。そのため塗膜割れやき裂をそれらと誤認したり見落とす危険性があり十分な近接により慎重に調査する必要があると考えられた。





写真 3.5-14　トラフリブ現場溶接継手部の発錆の例

5) トラフリブ現場高力ボルト継手部のスカラップ周辺

主に輪荷重直下にスカラップの存在の影響から局部的な応力集中が生じやすく，き裂が生じやすい条件にある。スカラップ長が大きい場合には，局部的な応力がより大きくなると考えられることから本研究の現地調査においても調査を行った。(**写真 3.5-15**)。

トラフリブの内面側も溶接されるため，まわし溶接の止端部を詳細に確認するためには十分に近接する必要がある。

本研究の現地調査においては対象箇所にき裂の発生は確認されなかった。実橋におけるき裂発生事例については文献 3.4) を参照されたい。



写真 3.5-15　トラフリブ現場高力ボルト継手部

6) トラフリブと端横リブ（または端横げた）の溶接部

対象箇所はけた端部に限られることから少ない。本研究の調査においても対象橋梁の対象箇所すべての確認を行った(**写真 3.5-16**)。トラフリブが横リブを貫通している構造では製作時において端横リブの拘束による溶接割れが発生していた可能性もあるため，き裂が確認された場合でも発生原因の調査が必要である。



写真 3.5-16　トラフリブ・端横リブ（または端横げた）溶接部の塗膜割れ

7) 主げた垂直補剛材上端部とデッキプレート下面との溶接部

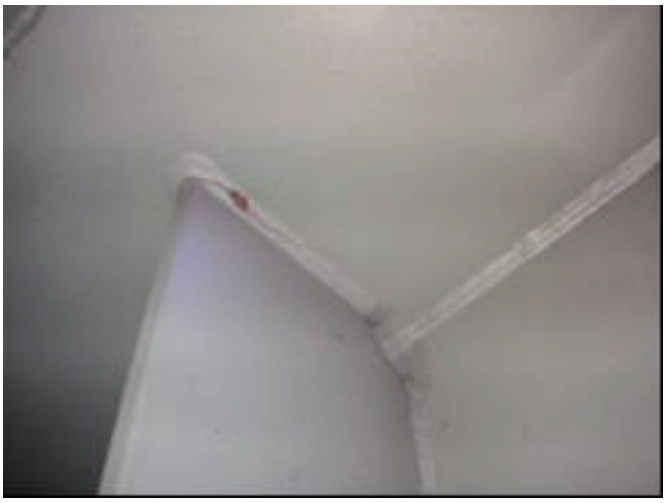
主げたウェブ位置と輪荷重位置が一致している場合に発生することが多く，前段階の調査で鋼床版構造と路面の交通状況調査から調査優先度の高い位置の特定は容易である。

本研究における調査でも，概略調査で舗装のひび割れの有無を確認することにより，損傷発生の可能性がある程度判断できた。

主げたウェブ位置と輪荷重位置が一致している場合には,該当箇所の荷重条件と構造条件が同じであるため,橋梁の全長にわたってすべて同様にき裂が発生することが多いと考えられるが，実調査においても塗膜割れや一部のき裂の確認によって裏付けられた（**写真 3.5-17**)。

なお，き裂は溶接ビードに沿って進展するものが多いが，途中から進展方向が橋軸方向に変わってデッキプレート貫通型となるものが確認できた。

なお垂直補剛材の先端付近の溶接ビードが起点のものが多くみられ,比較的視認しやすい塗膜割れによってき裂の発生を疑うことができるものが多い。



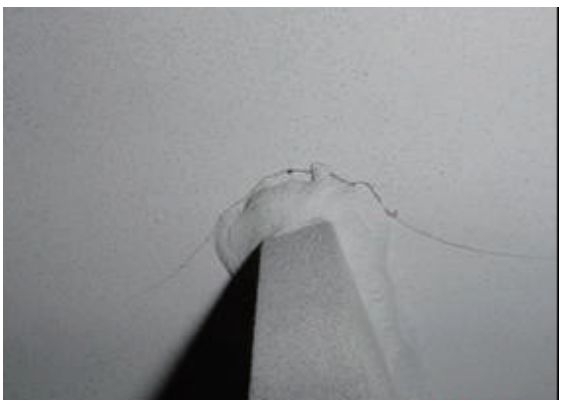




写真 3.5-17　主げた垂直補剛材上端部・デッキプレート下面溶接部の塗膜割れ

8)横リブ現場継手部のスカラップ周辺

損傷 5)と同様に，主に輪荷重直下にスカラップが位置する場合に発生の可能性がある。特にスカラップ長が大きい場合については注意して調査を行った。

本研究の現地調査においては対象箇所にき裂の発生は確認されなかった。実橋におけるき裂発生事例については文献 3.4）を参照されたい。

9)開断面リブと端横リブ（または端横げた）の溶接部

損傷 6)と同様に対象箇所が少ないため，調査対象橋梁の開断面リブと端横リブ（または端横げた）との溶接部の全数について目視で調査を行った。

本研究の現地調査においては対象箇所にき裂の発生は確認されなかった。実橋におけるき裂発生事例については文献 3.4）を参照されたい。

10)開断面リブと横リブの交差部

輪荷重直下の開断面リブに多く見られるため，閉断面のトラフリブと同様，あらかじめ輪荷重の載荷位置を確認した上で重点的な調査を行った。

本研究の現地調査においては対象箇所にき裂の発生は確認されなかった。実橋におけるき裂発生事例については文献 3.4）を参照されたい。

11)横リブ（または横げた）下フランジと主げたリブプレートの溶接部

直接輪荷重を受ける箇所ではないが，損傷事例もあり調査を行った。特に拘束が大きい箇所や荷重を受ける箇所はあわせて調査するのがよい。**写真 3.5-18** では塗膜割れは確認されたが，き裂は確認されなかった。

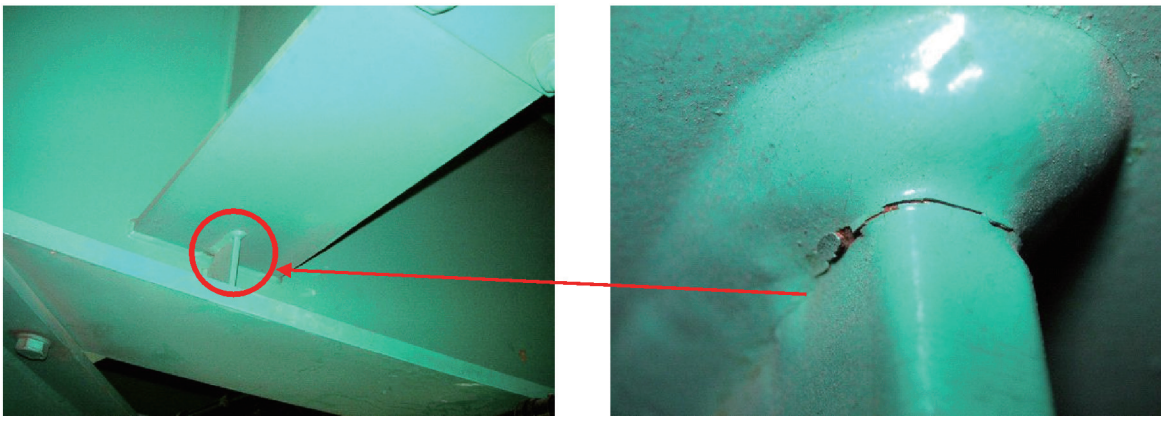


写真 3.5-18　横げた下フランジ・主げたリブプレート溶接部の塗膜割れ

12)その他の付属物・架設治具の溶接部

現地調査によって，デッキプレート下面には様々な付属物が溶接によって設置されているものや溶接施工された架設治具がそのまま残置されている場合があることがわかった。（**写真 3.5-19**）

これらの多くは，設計や施工において疲労耐久性に対する検討や配慮が行われていないものであると考えられ，溶接品質の点からも疲労耐久性が著しく劣る可能性もあり調査においては慎重に状況の把握が行われる必要があるものと考えられた。



写真 3.5-19　デッキプレート下面に溶接施工された付属物および架設治具の例

13) その他の機能劣化等

鋼床版のき裂損傷には直接関係がないものの,けた内や鋼床版下面からの詳細な調査において様々な損傷や変状が確認された。

これらの中には橋梁全体の健全性に深刻な悪影響を及ぼしている可能性があるものもあり,本研究で主たる対象としているデッキプレート貫通き裂を始め鋼床版のき裂損傷に対する補修・補強等の対応策の検討にあたってはこれらもあわせて考慮した検討を行うことが必要となる。

また,鳥害による劣悪なけた内環境などは,詳細な鋼床版のき裂調査にも悪影響を及ぼすことにもなる。

ここでは,鋼床版のき裂調査の過程で把握された様々な損傷や変状についてまとめた。

①箱げた内の滞水や腐食

鋼箱げた内に滞水している事例を**写真 3.5-20** に示す。箱げた内に滞水すると(a)や(b)に示すように下フランジやボルトの断面が欠損し,橋全体の耐荷力が損なわれるおそれがある。ここでの原因は,(c),(d)に示すように箱げた内に引き込まれた排水管の排水機能の不全や排水管のはずれにより生じたものであった。また,(e)のように湿気で箱げた内に滞水した場合にも,(f)に示すように水抜き孔の不設置によりうまく排水されなかった例もあった。



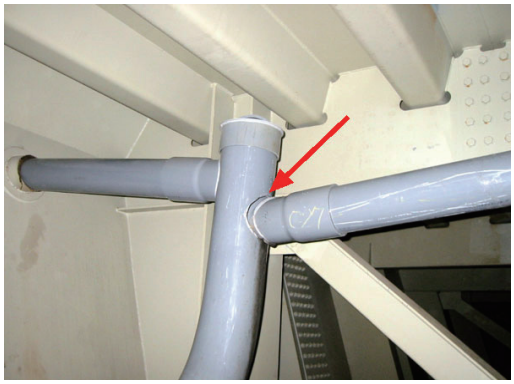
(a) 箱げた内の滞水



(b) 箱げた内の腐食



(c)箱げた内に引き込まれた排水管の不全



(d) 排水管のはずれ



(e)湿気による水痕



(f)水抜き孔の不設置

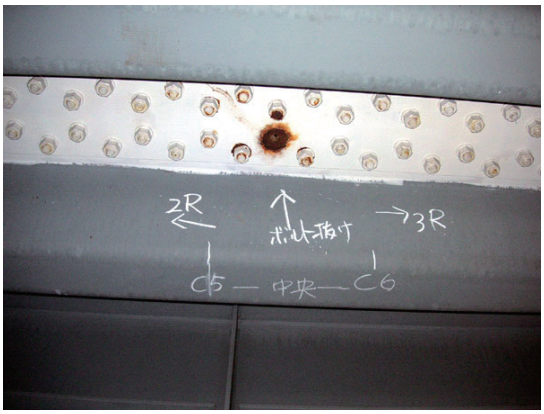
写真 3.5-20 箱げた内の滞水や腐食の事例

②高力ボルトの不具合

高力ボルト連結部の不具合の事例を**写真 3.5-21** に示す。(a)は遅れ破壊により破断していたことが見つかった例である。このような高力ボルトは軸力が期待できないため，同様のボルトが使用さている箇所について調査が必要である。また，(b)はデッキプレートの連結部のボルトが腐食して破断していた例である。このような箇所で腐食が生じた場合，路面の排水機能の不全により，デッキプレート上面も腐食している可能性がある。



(a) 遅れ破壊

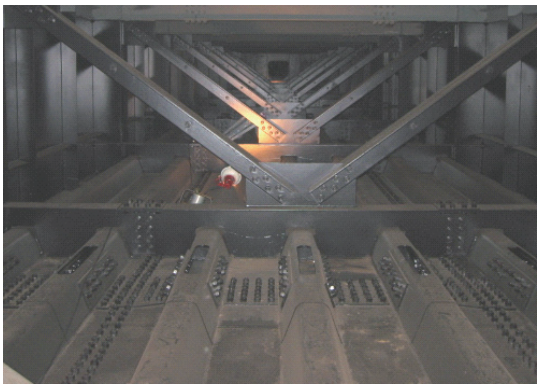


(b) デッキプレート連結部の
高力ボルトの脱落

写真 3.5-21　高力ボルトの不具合の事例

③鳥の糞等による被害・損傷

写真 3.5-22 は，開いた状態で放置された箱げたのマンホールの扉から鳥が侵入して，鳥の糞が堆積している状況である。このような状態におかれると，安全な調査ができないだけでなく，塗装が化学的に反応し劣化することもあることから，橋梁全体の健全性にも影響がある。



(a) 健全な状態



(b) 鳥の糞が著しく堆積した状態

写真 3.5-22　鳥の糞害

3.5.3　目視調査（鋼床版上面）

(1)概要

相対的に疲労き裂が生じる可能性が高い重交通路線で鋼床版上面側から直接デッキプレート表面のき裂の調査を行うには舗装の撤去が必要になるため,一般的に交通規制を伴うことから時間的制約も大きい。

そのため，舗装の劣化状態や交通状況調査，鋼床版下面からの調査などの結果も考慮してできるだけ調査すべき箇所の絞り込みを行う。

また舗装の打替えや補修工事が予定されている場合には,それらと時期を調整することで比較的容易に調査できる場合もあるため,それらの情報も考慮することで調査全体が合理的なものになるよう配慮することが重要である。

ここでは舗装の全面撤去や全線通行止めなどの特殊な条件ではなく,一部車線規制を行って短時間で一部舗装撤去とき裂の確認を行う方法について,実際の工事の状況や既往の施工事例等を調査して鋼床版上面側からの目視調査までの手順について検討を行った。

(2)調査方法についての検討

本研究にて行った鋼床版上面側からの調査の対象箇所は，以下の条件から選定した。

・重交通路線であり，累積大型車交通量が多いこと
・舗装劣化が著しく，蜘蛛の巣状の損傷や陥没が発生していること
・鋼床版下面からの調査より，デッキプレート貫通き裂が生じている可能性があること
・鋼床版下面の着目部位へのアプローチ手段がなく，十分な近接による調査が困難であること
・調査のための交通規制が可能であること

【手順１】舗装撤去範囲の設定

本研究にて調査した一例の橋では，鋼床版舗装に著しいひび割れが生じており，その一部は蜘蛛の巣状に損傷していた（**写真 3.5-23**）。

設計図面から舗装の損傷箇所がトラフリブと横リブとの交差部付近であることが確認できたが，けた下からのアプローチ手段が検査路のみであったため，調査可能な範囲が限定されてしまい，鋼床版下面から損傷箇所の非破壊検査や近接した目視調査はできなかった。そのため,舗装の損傷が著しいトラフリブと横リブとの交差部付近を中心に撤去範囲を設定して，鋼床版上面側からの調査を行った。

撤去範囲の特定にあたっては,舗装の損傷箇所と鋼床版や主げた構造との位置関係の把握が重要であり,架設時に溶接にて設置された部材など設計図面に記録されていないものをけた下からの目視調査により把握することも有効である。また，部分供用しながら舗装撤去および鋼床版上面側からの調査を行う場合は,供用する車線の舗装に損傷を生じさせてはならないため，撤去範囲の設定には十分な注意が必要である。



写真 3.5-23　舗装撤去前

【手順２】舗装の撤去

舗装の撤去は,まず撤去範囲の境界となる位置のアスファルトにカッターで切り込みをいれる。

このときデッキプレートをカッターで傷付けないようにする必要があるが,実際の舗装厚さは轍掘れ等もあり図面とは異なることが多く,施工前に現地で確認を行う必要がある。(**写真 3.5-24**)。

つぎに,撤去範囲の舗装の破砕を行うが,削岩機を用いる場合にもデッキプレートを傷付けないように注意が必要である（**写真 3.5-25**)。また鋼床版上面にはボルト継手や施工時のマンホール開口に伴うダブリングプレートの突出など必ずしも平滑でなく様々な凹凸があり施工時に障害となりうる。(**写真 3.5-26**, **写真 3.5-27**)

これまで舗装の撤去を行って鋼床版上面を確認した事例では,削岩機等のパワーツールによる舗装および接着層の撤去に伴って鋼床版上面に多数の打撃跡等の傷を生じさせたものがあるが,これらが新たに鋼床版の疲労耐久性低下要因となることも否定できないため施工にあたっては舗装構成なども考慮して事前に手順や施工管理基準を十分検討し周知徹底することも重要である。



写真 3.5-24　アスファルト切断状況



写真 3.5-25　アスファルト破砕状況

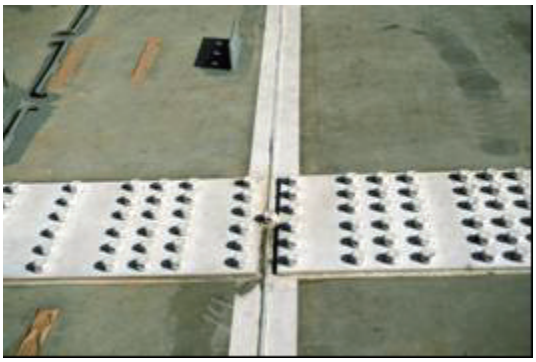


写真 3.5-26　鋼床版上面のボルト継手部



写真 3.5-27　マンホールダブリングの突出

【手順３】デッキプレート表面の清掃と目視観察

デッキプレートに傷を付けない範囲で慎重にアスファルトを撤去しつつ，舗装構成や基層・表層の厚さ計測，接着層や防水層の状況の確認を行う（**写真 3.5-28, 29**）。

接着層や防水層（グースアスファルト以外の場合）が残存する場合，無理にパワーツールで除去するとデッキプレートに傷を付けることが懸念されるため，最終段階では手工具による慎重な施工が必要になるが，調査した事例では灯油等を浸透させてスクレーパーを用いて除去すると，比較的容易に除去できることがわかった。

ガスバーナーを用いて加熱することも考えられるが，デッキプレートおよび塗装への影響を考慮すると表面温度で 200℃程度を上限に管理することが適当と考えられる。

ディスクサンダーによる仕上げ段階の施工は，効率的であるが慎重に施工しないとデッキプレート表面に傷を付ける場合があり，ワイヤブラシなども併用し個々の施工箇所の状態に応じて適切な施工方法を使い分けるなどの配慮が必要である。



写真 3.5-28　アスファルト撤去



写真 3.5-29　防水層除去



写真 3.5-30　表面清掃



写真 3.5-31　目視調査状況

3.5.4　まとめ

デッキプレート貫通き裂は，デッキプレート下面からは直接視認できないが，下面からの調査によって舗装の変状と鋼床版や主げた構造との位置関係の対応が正確に把握できるだけでなく，様々なデッキプレート貫通き裂以外の損傷や変状を把握することで，デッキプレート貫通き裂検出のための非破壊検査位置の設定や舗装を撤去しての上面からの調査位置の範囲の絞り込みが合理的に行えることがわかった。

車線と構造物との関係については事前に設計図面等を準備しておき，現地の車両走行状況や舗装の損傷位置との照らし合わせを行うが，架設治具の残置，架設時の補強，付属物の設置など必ずしも図面に詳細が記録されていない溶接がデッキプレートにあることも多く，それらを把握するためにも非破壊検査や舗装の撤去を行う前に鋼床版下面からの詳細な目視調査を行うことは有効である。(**図 3.5-2**, **図 3.5-3**, **写真 3.5-32**)

デッキプレート上面からの調査は，対象位置が大型車の車輪通過位置近傍となるため一般的には交通制限を伴うこととなる。また夜間のみの作業となるなど時間的制約も厳しい。さらに部分供用しながらの調査や舗装撤去となる場合には供用する車線の舗装に損傷を生じさせることができないため，舗装撤去範囲を事前に特定しておくことが重要である。

撤去工事にあたって，デッキプレート表面に傷等の損傷を生じさせないためには，舗装厚さやデッキプレート上面の突起物の存在など不明な点が多くあるため事前に書類等で十分な確認をとるだけでなく，施工段階でその都度確認を行いながら施工することが必要であった。接着層や防水層（グースアスファルト以外の場合）が残存する場合，灯油等を浸透させてスクレーパーを用いると，除去しやすいことなどがわかった。

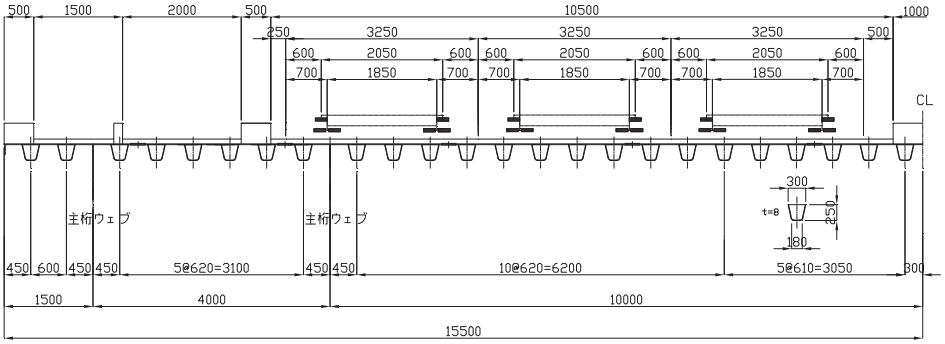


図 3.5-2 幅員構成から推定される大型車走行位置

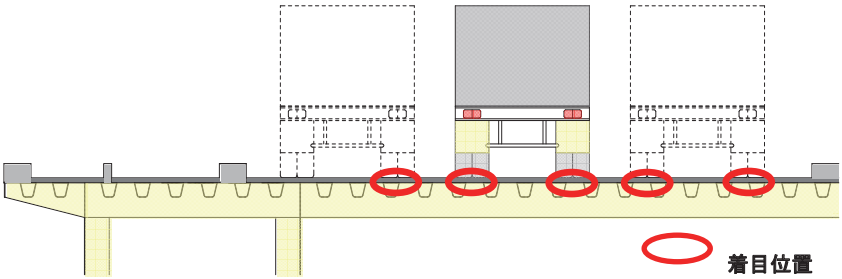


図 3.5-3 トラフリブとデッキプレートの溶接部における疲労損傷の調査着目位置の例

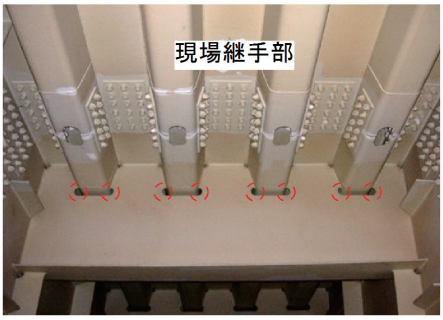


写真 3.5-32 トラフリブと横リブ交差部の調査重点部

3.6　詳細調査（磁粉探傷試験（MT））(Step4)

3.6.1　概要

鋼材の疲労き裂の検出では，塗膜の有無にかかわらず，目視点検により開口しているき裂の発見を試みることが基本である。しかし，塗膜上からの目視のみでき裂か単なる塗膜割れかの判断が難しい場合も多く，また，き裂が発見された場合にはその進展性の監視や補修・補強のためには正確にき裂の先端位置を把握しなければならない。よって，表面に開口しているき裂に対しては，いずれかの段階で磁粉探傷試験（MT）を適用することが一般的である。

磁粉探傷試験は，き裂を含む鋼材母材を磁化し，き裂部に形成される局部的な磁界に磁粉を付着させ，その性状から視覚的にき裂の有無，長さなどを把握するものである。

鋼橋のき裂の検出には通常，湿式の磁粉探傷試験が用いられる。この手法はき裂検出性がよく，鋼道路橋のき裂の様に正確な先端位置の捕捉が必要な場合には優れる方法である。しかし，検査部位の著しい凹凸など表面性状によってはき裂かどうかの判断が難しくなる場合もあるなど，良好な検出性が保証されるためには良好な検査条件が満足されることも重要である。

以上のことから，本研究ではデッキプレート上面からデッキプレート貫通き裂を直接探査する場合，及び，デッキプレート下面から，その他の鋼床版のき裂に対して磁粉探傷試験をする場合のそれぞれについて，実際に検査を行ってその特徴と適用条件等について検討を行った。

調査は**図 3.6-1** に示す手順で実施した。

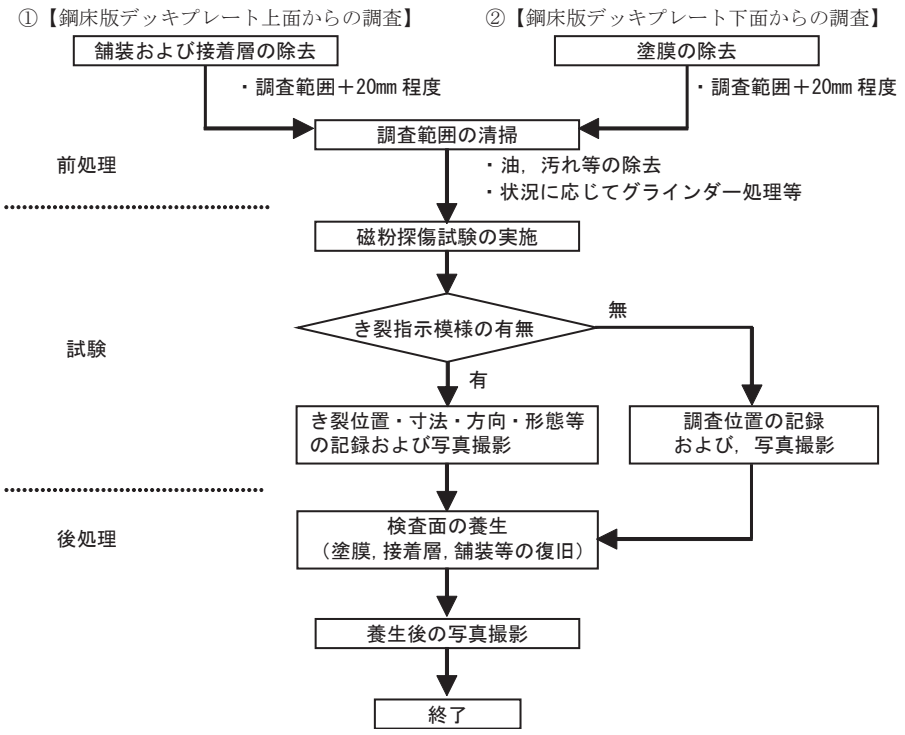


図 3.6-1 磁紛探傷試験による調査の手順

3.6.2　デッキプレート上面からの調査とその結果

デッキプレート貫通き裂は，舗装を剥離して路面から目視点検する方法が直接的に確認することのできる唯一の方法である。しかしながら，舗装撤去後の鋼床版表面の様に様々な傷等がある条件では，目視のみで鋼材表面の傷とき裂を確実に判別することは難しい。

実際にデッキプレート上面からデッキプレート貫通き裂を含む鋼床版表面を目視した状況の例を**写真 3.6-1** に示す。この例ではデッキプレート上面に長さ 250mm 程度のき裂と考えられる２本の線が確認出来る。**図 3.6-2** に示す範囲で磁紛探傷試験を行った結果を**写真 3.6-2** に示す。他のきず等に対してき裂のみが明確な指示模様として確認することができ，舗装撤去後のデッキプレート上面の条件ではき裂検出性に特に問題がないことがわかった。また，この例は夜間に舗装撤去を行った事例であるが，蛍光磁粉によってき裂位置が明瞭に確認でき，短時間での正確なき裂の把握に特に有効であることがわかった。

なお日中に検査を行う場合，鋼床版表面は直射日光にさらされる特に明るい環境となるためそのままでは蛍光磁粉模様の観察がし難く検出性の低下が考えられたため，簡易な天蓋を用いた調査を行った（**写真 3.6-3**）。その結果，この程度の簡易な装備で僅かな陰を検査部につくることでき裂は十分確認できることがわかった。



写真 3.6-1 デッキプレート上面　舗装剥離後

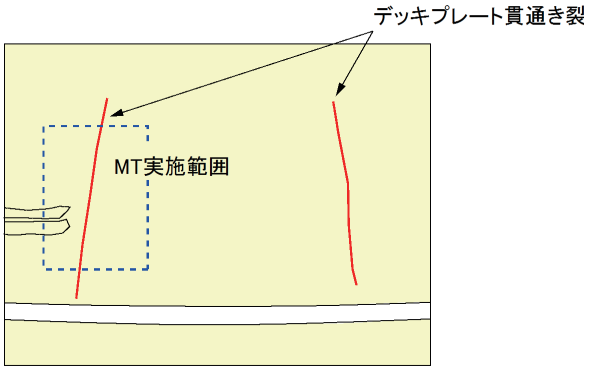


図 3.6-2 損傷位置と磁粉探傷位置

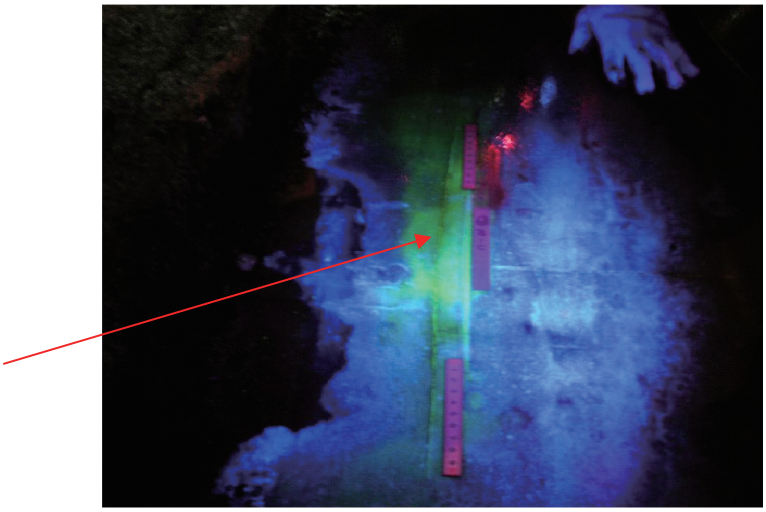


写真 3.6-2 き裂指示模様の例



写真 3.6-3 磁粉探傷試験実施状況(日中の場合)

3.6.3　デッキプレート下面からの調査とその結果

磁粉探傷試験では塗膜の除去が必要になるため，鋼床版のデッキプレート下面側で**図 3.6-3** に示す様な位置で塗膜割れが多数検出された場合にその全てに対して一律塗膜を除去して磁粉探傷試験をすることは合理的でない。これまで報告されている事例や本研究で調査した橋梁においても，デッキプレート下面の溶接部で見つかる塗膜割れの多くがき裂を伴わないものである。これはスカーラップ部をはじめ鋼床版下面の溶接線では，表面のビードの凹凸の存在や塗装条件から塗膜が厚く施工されやすいことも原因の一つと考えられる。

したがって本研究では，デッキプレート下面に見つかるどの様な塗膜割れ等の変状が，き裂を伴う可能性が高く，塗膜を除去しての磁粉探傷試験の優先度が高いかを判断するための知見を得るために，実橋で塗膜除去前の性状を確認するとともに磁粉探傷試験を実際に実施して指示模様が検出されたケースと検出されなかったケースについて整理した。

(1)デッキプレートとトラフリブの縦方向継手（溶接ビード貫通き裂）

図 3.6-3 に示す輪荷重直下のトラフリブの縦方向溶接継手部において発見した，溶接ビードに沿って約 650mm の長さの塗膜割れ（**写真 3.6-4**）の例を示す。

磁紛探傷試験を行った結果，**写真 3.6-5** に示すき裂指示模様を確認した。

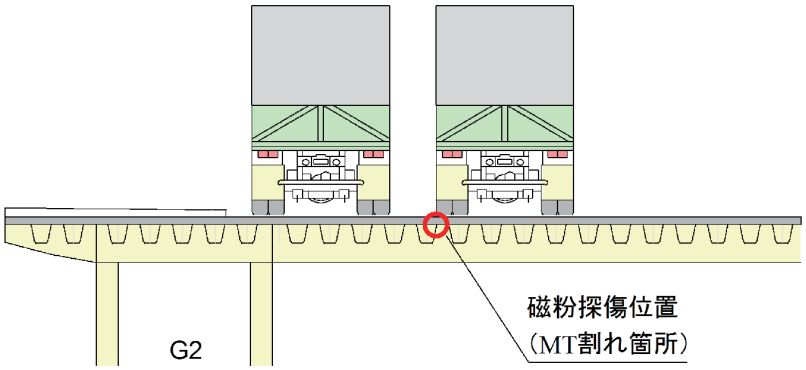


図 3.6-3 橋梁断面図（磁粉探傷位置）

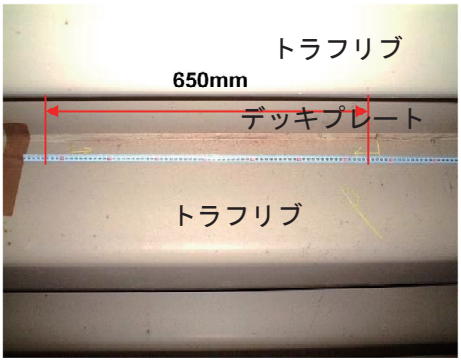


写真 3.6-4 目視による塗膜割れ範囲

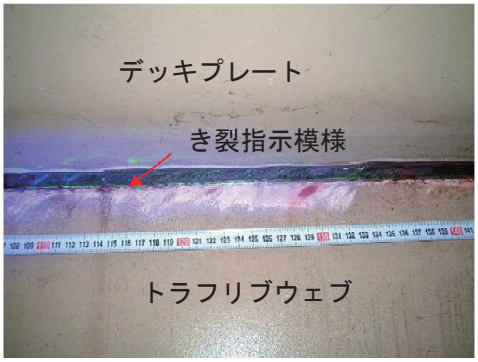


写真 3.6-5 き裂指示模様

図 3.6-4 の例は，図に示す輪荷重直下のデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接継手部において，目視調査においてき裂の疑いのある塗膜割れを確認し，磁紛探傷試験を行った結果である。試験の結果，**写真 3.6-6** に示すき裂指示模様を確認した。

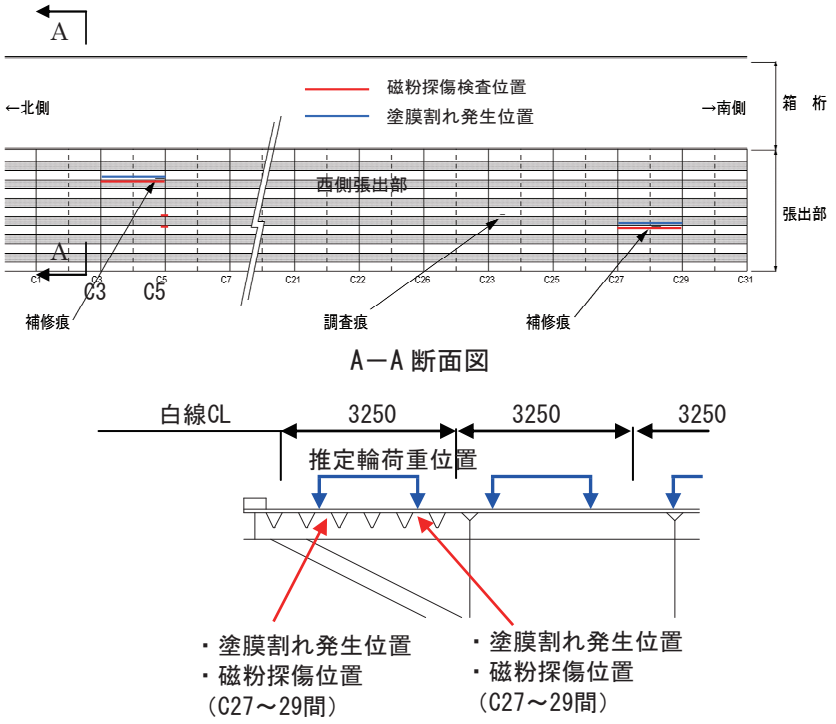


図 3.6-4 塗膜割れ位置（磁粉探傷位置）



写真 3.6-6 C4-C5 間　き裂指示模様

これらの例の様に，この溶接線ではビード中央に直線状に長く延びる塗膜割れが見つかることがあるが，止端部の様な塗膜の不連続部や屈曲部でないことからもこの様な塗膜割れではその下に開口したき裂の存在が疑われる。

一方，**写真 3.6-7** にデッキプレートとトラフリブの縦方向継手部の近接写真を示す例では，同じ様に溶接ビードの中央に塗膜割れが確認できるが磁粉探傷試験の結果からき裂指示模様は確認されなかった。

この例は塗装塗り重ね部のマスキングテープ跡の可能性が疑われたが詳細は不明である。しかし，この部位の塗装では施工上マスキングが行われることがあり，き裂によるものとの区別が困難な場合があるので注意が必要と考えられる。

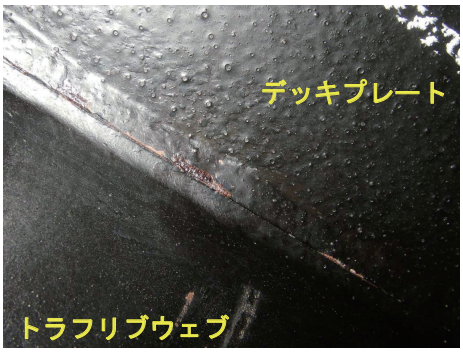


写真 3.6-7 目視による塗膜割れ状況

図 3.6-5 および**図 3.6-6** に示したデッキプレートとトラフリブ溶接部の塗膜の剥がれ状況を**写真 3.6-8**，および**写真 3.6-9** に示す。いずれも磁粉探傷試験ではき裂指示模様は確認されなかった。細い筋状に塗膜割れが確認されるケースに比べ，本ケースの様に塗膜が広い範囲ではがれているケースでは，き裂指示模様が確認されない場合も多い。

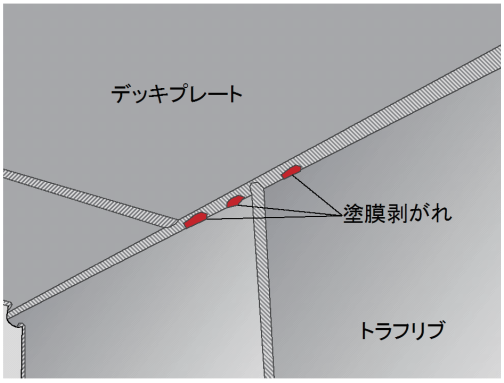


図 3.6-5 磁粉探傷位置

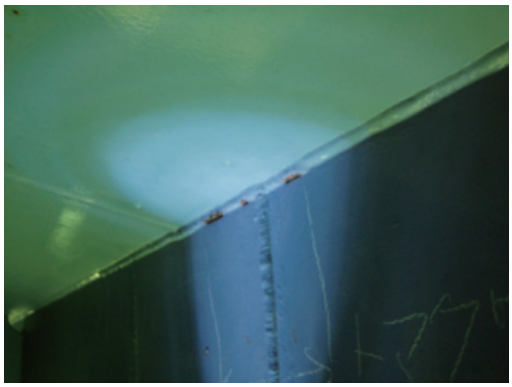


写真 3.6-8 左図位置の塗膜剥がれ状況

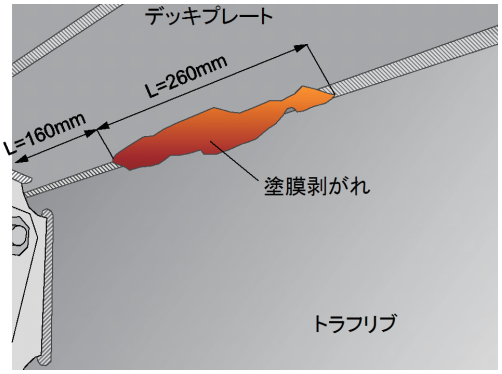


図 3.6-6 磁粉探傷位置



写真 3.6-9 左図位置の塗膜はがれ状況

(2) デッキプレートと垂直補剛材のまわし溶接部

図 3.6-7 に示すデッキプレートと垂直補剛材のまわし溶接部の磁紛探傷試験結果を**写真 3.6-10** および**写真 3.6-11** に示す。き裂指示模様はデッキプレート側止端のみ，垂直補剛材側止端のみ，あるいはその両方に確認される場合があった。

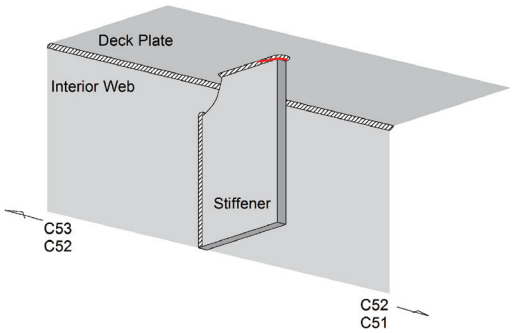


図 3.6-7 磁粉探傷位置

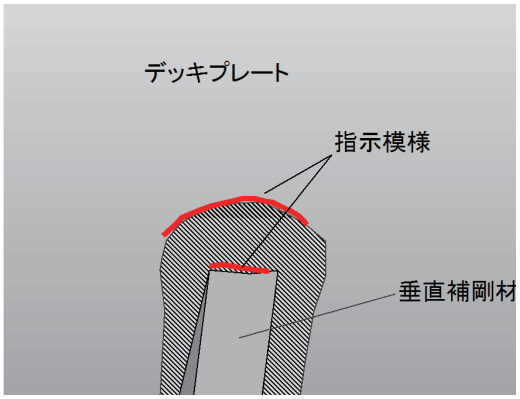


図 3.6-8 C51～C52 間の磁粉探傷位置

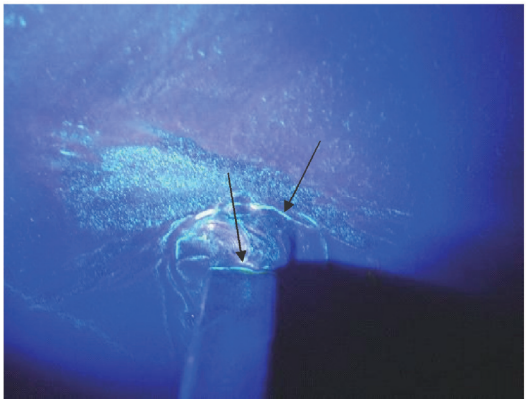


写真 3.6-10 左図位置のき裂指示模様

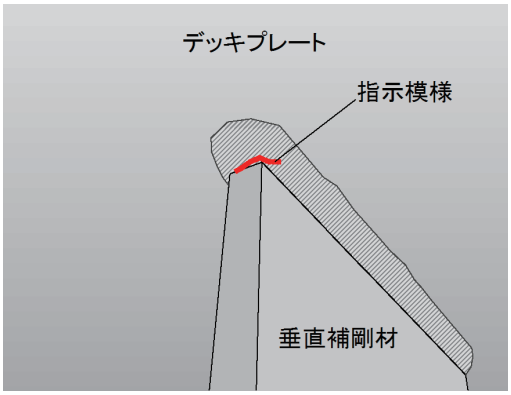


図 3.6-9 C52～C53 間の磁粉探傷位置

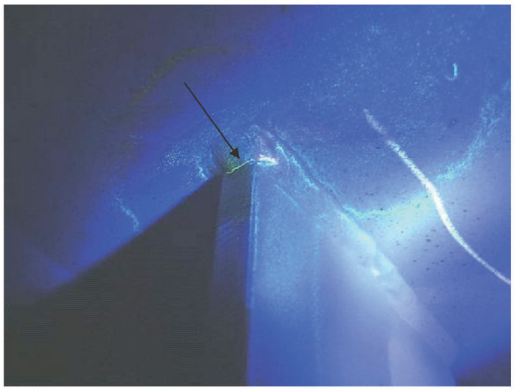


写真 3.6-11 左図位置のき裂指示模様

この部位の塗装は形状からも比較的厚い塗膜が形成されていることが多く，き裂を伴わない小さな塗膜割れも多く見られる。そのため単純に塗膜割れの性状だけからはき裂の有無を判断することが困難である。

一方，一般にこの溶接継手は同じ橋梁の中に同条件で同じ構造が車線方向に多数あることから，それらを調査して多発している場合には特に顕著なものや疲労環境がより厳しいと考えられるものから優先的に調査を行うことが有効であると考えられる。

具体的には，輪荷重直下に位置する部位，舗装の劣化がより顕著な部位など，これまでの調査において損傷事例が多く発見された部位に着目するとともに，主桁ブロック単位など構造の違いや製作ロットの違いなどに着目して区分し，各区分の中から代表的な箇所を抽出して調査する方法などがある。

逆に数が少ない場合には，この位置のき裂は進行方向によってはデッキプレート貫通き裂となる可能性もあることからも，それらの全てを磁粉探傷調査の対象として当該部位および全橋の疲労状態の推定を行うことが予防保全の観点からも合理的であると考えられる。

(3) トラフリブと横リブ交差部

図 3.6-10 に示すトラフリブと横リブ交差部の上側スカーラップ部において，デッキプレートとトラフリブ溶接部の塗膜割れは，磁紛探傷試験の結果，**写真 3.6-12** に示すようき裂指示模様を確認した。

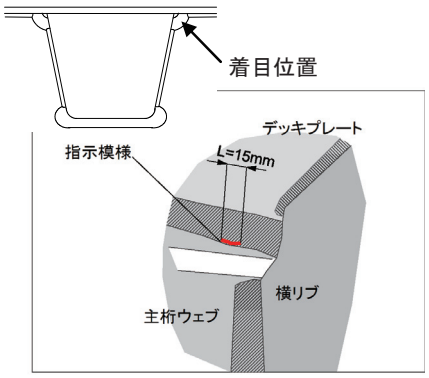


図 3.6-10 磁粉探傷位置

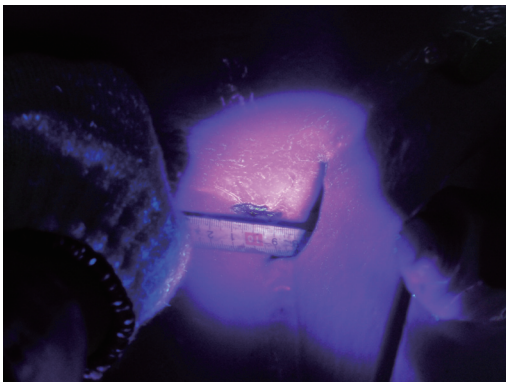


写真 3.6-12 左図位置でのき裂指示模様

図 3.6-11 に示すトラフリブと横リブ交差部の下側スカーラップ部の塗膜割れ部において，磁紛探傷試験の結果，**写真 3.6-13** に示すき裂指示模様が確認されなかった。**写真 3.6-14** に示す塗膜割れにおいても，磁紛探傷試験の結果き裂指示模様は確認されなかった。

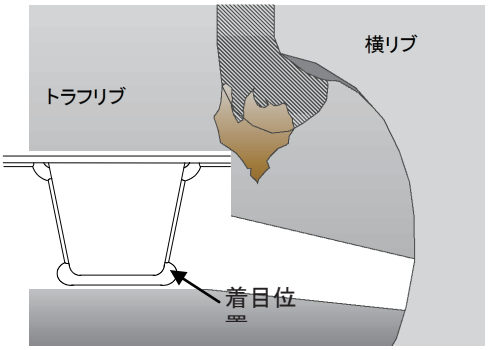


図 3.6-11　磁粉探傷位置

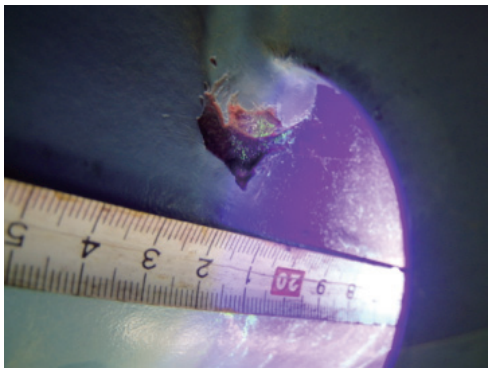


写真 3.6-13 左図位置での磁粉探傷結果

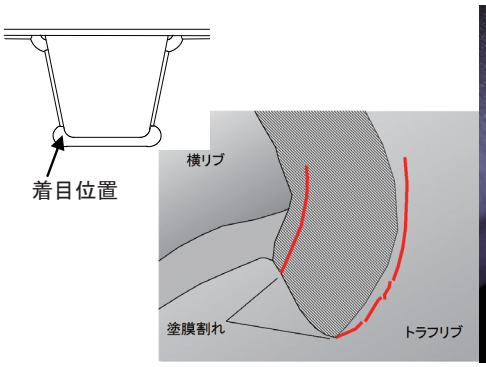


図 3.6-12　磁粉探傷位置

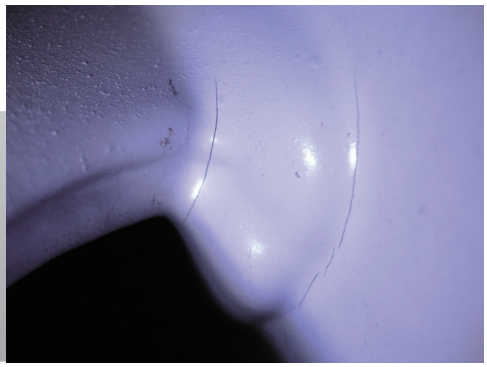


写真 3.6-14 左図位置の目視による塗膜割れ状況

デッキプレートと垂直補剛材のまわし溶接部と同様，一般にこの溶接継手は同じ橋梁の中に同条件で同じ構造が多数ある。よって，これらを調査して多発している場合には，特に顕著なものや疲労環境がより厳しいと考えられるものから優先的に調査を行うことが有効であると考えられる。

例えば，上側スカーラップの場合，デッキプレートとトラフリブの縦方向継手の疲労き裂が横リブ交差部に発生したケースと考えられる。よって，輪荷重直下を優先するとともに，デッキプレートとトラフリブ縦方向継手の塗膜割れ，あるいは疲労き裂が確認された溶接ラインや，その付近の部位を優先するなどが考えられる。

一方，下側スカーラップは，一般部に比べてトラフリブ現場添接部付近の損傷が多く見つかっていることから，トラフリブ現場添接部付近の塗膜割れを優先することなどが考えられる。

(4) 主桁ウェブコーナープレート継手部

写真 3.6-15 に示す主桁ウェブのコーナープレート継手部において，塗膜割れを確認した。塗膜割れ部の磁紛探傷試験の結果，**写真 3.6-16** に示すき裂指示模様を確認した。



写真 3.6-15 主桁ウェブコーナープレート継手部
（目視点検後の塗膜除去状況）

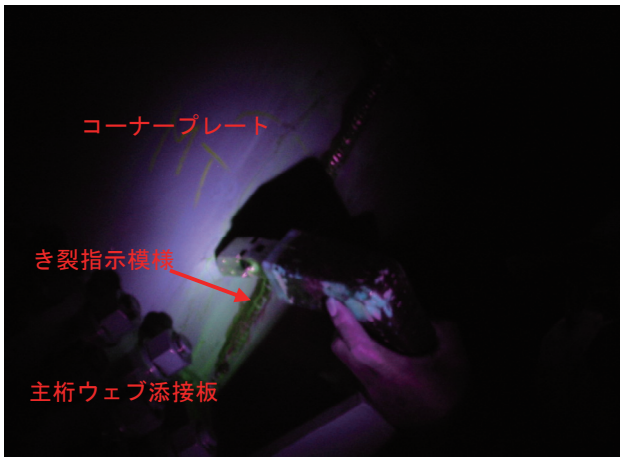


写真 3.6-16 磁粉指示模様

コーナープレートにおいて，デッキプレートとの縦方向溶接にビード中央に直線状に長く延びる塗膜割れがある場合には，デッキプレートとトラフリブの縦方向溶接と同様に，止端部の様な塗膜の不連続部や屈曲部でないことから塗膜割れの下に開口したき裂の存在が疑われる。またコーナープレート構造の様に溶接品質や溶接継手の疲労強度の観点から疲労耐久性に劣ると考えられている部位では，特に交通量が少ないなどの特段の条件がない限り早期に疲労き裂を生じる可能性があるため塗膜割れが確認された場合にはその下のき裂の有無を確実に調査しておくことが必要と考えられる。

本損傷の場合でも，コーナープレートのデッキプレートとの溶接継手ではき裂は確認されなかったものの，疲労強度が劣ると考えられるコーナープレートどうしの継手でき裂が確認された。本損傷例以外にも疲労強度に劣る裏当て金を用いた片面からの突き合わせ溶接や主げたウェブに重ね継ぎ手で取り付けられたダブリングプレート部からき裂が生じた事例が報告されている。

3.6.4 まとめ

実橋での磁粉探傷試験によるき裂検出の結果，次のことが明らかになった。

（1）デッキプレート上面からの調査

目視調査では発見し難いデッキプレート貫通き裂でも確実に検出できることがわかった。

（2）デッキプレート下面からの調査

① デッキプレートとトラフリブの縦方向継手（溶接ビード貫通き裂）

止端部の様な塗膜の不連続部や屈曲部でなく，溶接ビード中央に直線状に伸びている塗膜割れでは，その下に開口したき裂の存在が疑われるため，優先的に磁紛探傷試験を行う必要がある。ただし，塗装塗り重ねのためのマスキング跡が残っているケースなど塗膜割れのみでは疲労き裂によるものとの区分が困難な場合があるため，注意する必要がある。

② デッキプレートと垂直補剛材のまわし溶接部

き裂を伴わない小さな塗膜割れも見られ，かつ，同条件で同じ構造が多数あるため，塗膜割れが多発している場合には，特に顕著なものや，輪荷重直下，あるいは舗装の劣化が顕著なものなど疲労環境がより厳しい場所を優先的に調査することが有効である。また，桁端・支間中央・支点部などの主桁応力特性，あるいは主桁ブロック単位などの製作ロットに区分し，各区分の中から代表的な箇所を抽出して調査する方法なども考えられる。

③ トラフリブと横リブの交差部

同一橋梁の中に同条件で同じ構造が多数あるため，塗膜割れが多発している場合には，特に顕著なものや疲労環境がより厳しいと考えられるものから優先的に調査を行うことが有効であると考えられる。

上側スカーラップ部は，上述①の損傷が横リブ交差部に発生したケースと考えられるため，①の塗膜割れ部位と同じ溶接線や，その付近の調査を優先するなどが考えられる。一方，下側スカーラップ部は，トラフリブ現場添接部付近で損傷が多いことから，トラフリブ現場添接部付近の塗膜割れを優先することなどが考えられる。

④ コーナープレート継手部

溶接ビード中央に直線状に長く延びる塗膜割れがある場合には，塗膜割れの下に開口したき裂の存在が疑われる。本構造は他の構造に比べて疲労耐久性に劣ると考えられるため，特に交通量が少ないなどの条件がない限り早期に疲労き裂を生じる可能性があるため塗膜割れが確認された場合には，き裂の有無を確実に調査しておくことが必要と考えられる。

調査事例においても，コーナープレートのデッキプレートとの溶接継手ではき裂は確認されなかったものの，コーナープレートどうしの継手でき裂が確認された場合があった。また，本損傷例以外にも疲労強度に劣る裏当て金を用いた片面からの突き合わせ溶接や主げたウェブに重ね継ぎ手で取り付けられたダブリングプレート部からき裂が生じた事例などもあるため，注意する必要がある。

（3）その他適用上の留意点

磁粉探傷試験を，実橋に適用するに当たって留意すべき点を以下に示す。

- 磁粉探傷試験は磁化や紫外線照査のための機器を使用するため，事前に調査位置への搬入経路や電源ついて確認しておく必要がある。なお，最近では**写真 3.6-17，写真 3.6-18** に示すバッテリー型磁化装置や懐中電灯型紫外線照査装置など小型化･軽量化された機器を選定して持参することが有効であった。
- 疲労き裂の発生状態を正確に把握するためには，舗装や接着層，あるいは塗膜をき裂先端が十分確認できる範囲まで除去しなければならないが，その際，検査箇所表面に付着している汚れや油などを除去するなど，適切な方法による前処理を行なう必要があった。
- 蛍光磁粉模様を撮影する場合，適切な光学フィルターを用いて適切な色調の磁粉模様が得られる様にする必要があった。
- 磁粉探傷試験によってき裂が認められた場合は，以後のき裂進展調査のためき裂両端に印をつけ，検査日を明記しておくことで，き裂の進展など，後の検証をしやすいことがわかった。

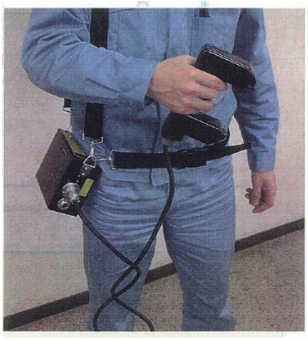


写真 3.6-17 バッテリータイプ小型磁化装置の例



写真 3.6-18 懐中電灯型紫外線照査装置の例

（4）まとめ

磁紛探傷試験を用いた鋼床版の疲労き裂検出方法に関して，実際に検査を行い構造着目部位ごとの特徴や適用条件，留意点を具体的に示した。

磁紛探傷試験は，表面き裂の有無，き裂長さ等の検出性に優れているが，一方で塗膜を除去しないと精度の高い検査が出来ない試験方法である。よって，一般的な点検業務では，まず，上述した構造着目部位ごと特徴を踏まえ，塗膜の損傷が鋭利で長いものなどを優先して検査を行い，橋梁全体の損傷状況を把握した上で，詳細な点検計画（点検範囲，部位，設備等）を作成することが合理的と考えられる。

3.7　詳細調査（超音波探傷試験）(Step4)

3.7.1　目的

デッキプレート貫通き裂は，3.5，3.6 で検討した舗装を除去しデッキプレート上面からの直接視認および磁粉探傷試験で確認することが最も確実な方法である。しかしこれらの方法の実施には，供用中道路の舗装除去のための交通規制，舗装除去範囲の厳密な絞り込みが不可欠であるなどの課題がある。そこで，本研究では，一般的な超音波探傷試験による場合の，デッキプレート下面側からのき裂を検出性について検討した。

3.7.2　調査に用いる機器と評価法の検討

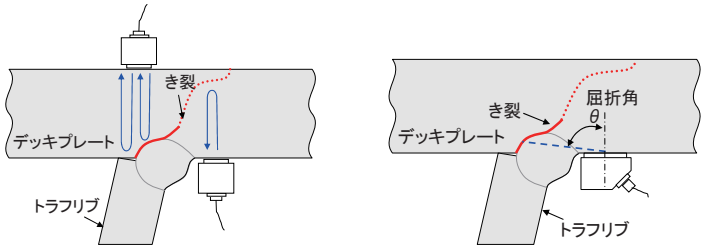
(1)超音波探傷試験の種類

超音波探傷試験は，周波数 1～10MHz 程度の超音波を用いて，超音波が異質の材料の境界で反射，散乱することを利用して板厚の測定や材料中のきず等を検出する非破壊検査方法である。超音波のモードには，縦波（疎密波），横波（せん断波），表面波，板波があり，横波に関しては，振動方向によって SV 波，SH 波がある。超音波探傷試験は，超音波の進行方向や超音波のモードにより垂直法，斜角法，表面波，板波法に分類される。

表 3.7.1 に，超音波探傷試験の分類を示し，**図 3.7-1** に，垂直法と斜角法によるき裂の検出要領を示す。

表 3.7-1　超音波探傷試験の分類

探傷法	超音波の進行方向	主な用途
垂直法	探傷面に垂直方向	・厚さ測定 ・横波音速測定
斜角法	探傷面に斜め方向	・SV 波，SH 波の 2 種類があり，通常は SV 波を用いることが多い ・鋼溶接部の探傷には，45°～70°程度の屈折角で用いられることが多い ・縦波を用いた斜角法は，SUS 溶接部などの探傷
表面波法	表面に沿ってあるいは表面近傍を直進	・表面近傍のきずの探傷 ・SV 表面波：SV 波斜角探触子の横波臨界角で発生する波 （JISZ2350 では，上記のみ表面波として分類される） ・SH 表面波：SH 波斜角探触子の横波臨界角で発生する波 ・クリーピング波：SV 波斜角探触子の縦波臨界角で発生する波 （縦波表面波もしくは 90°縦波斜角探触子と呼称する場合もある） （JIS Z 2350 では　L(縦波)／A(斜角)／90(角度)　と表記）
板波法	板に沿って直進	・薄板の探傷



(a) 垂直法　　(b) 斜角法

図 3.7-1　垂直法と斜角法

(2) 探傷法の選定

トラフリブの溶接ルート部からデッキプレートを貫通する方向に発生するき裂を発生の初期に近い段階から検出するためには，表面波法，または，屈折角の大きな斜角探傷法の適用が効果的である。しかしながら，**表 3.7-1** に分類したように，SV 表面波（SV 波斜角探触子の横波臨界角で発生する波）は表面状態の影響を受け易く，また，SH 表面波（SH 波斜角探触子の横波臨界角で発生する波）は粘性の高い接触媒質が必要で，探触子の滑らかな走査が難しく接触の安定性を得るまでに時間を要するため，実際の橋梁での探傷は不向きである。また，横波斜角法では屈折角が 75 度前後を超えると急激に強度が低下するという問題がある。そこで，屈折角ができるだけ 90 度に近い物としてクリーピング波を適用することとした。クリーピング波は斜角法で縦波臨界角（縦波の屈折角が理論上 90 度になる入射角）で超音波を入射した場合に発生する波であり，距離による減衰は比較的大きいが，表面近傍の欠陥の探傷には有利といわれている。

クリーピング波は，表面を伝搬する波であるため，ある程度進展したき裂に対しては深さを評価することが困難であるため，70 度斜角探触子（**図 3.7-2**）を併用することとした。

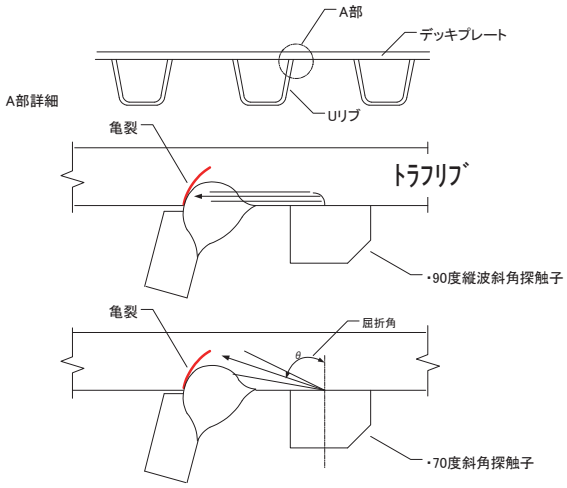


図 3.7-2　超音波探傷調査

クリーピング波：縦波臨界角で入射した場合に発生し，試験体の表面に沿って直進する縦波（JIS Z 2300 番号 2038）

JIS Z 2350 による探触子の表示記号は，LA90　　L(縦波)／A(斜角)／90(角度)

3.7.3　試験条件

本検討では，クリーピング探触子（以降，JIS Z 2350 の表記に基づき 90 度縦波斜角探触子と称する）と 70 度斜角探触子を用いた超音波探傷試験の適用性について確認試験を行った。

(1)試験機材

試験に用いた機材を以下に示す

①超音波探傷器

JIZ Z 3060-2002 附属書１(規定)「超音波探傷装置の機能及び性能」　に示す性能を満足するもので,90 度縦波斜角探傷及び 70 度斜角探傷に適した超音波探傷器とする。

②探触子

90 度縦波斜角探触子　：　５Ｃ１０×５ＬＡＤ９０（二振動子形）

70 度斜角探触子　　：　５Ｃ１０×１０Ａ７０　（接近限界距離：8㎜ 以下）

③接触媒質　ＣＭＣペーストもしくはグリセリンペースト

(2)感度の調整

鋼床版デッキプレートき裂を調査する場合の基準感度調整には，**図 3.7-3** に示す深さが異なるスリット (0.5/1.0/1.5/2.0/4.0/6.0㎜) を加工した特別な対比試験片を使用した。

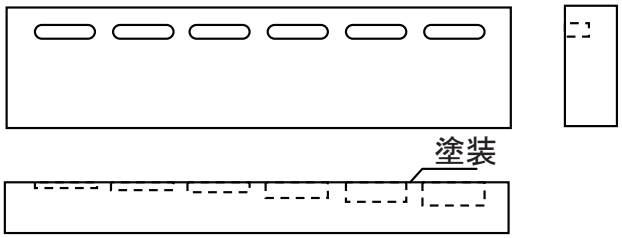


図 3.7-3　対比試験片

90 度縦波斜角探触子は，ＳＴＢ－Ｎ１（もしくはＳＴＢ－Ａ１）標準試験片 (25㎜ 板厚)，70 度斜角探触子はＳＴＢ－Ａ３（もしくはＳＴＢ－Ａ１）標準試験片を用いて，それぞれ時間軸を 50㎜ に調整した。

90度縦波斜角探触子

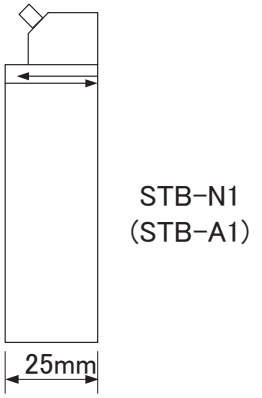


図 3.7-4　標準試験片

90 度縦波斜角探触子の基準感度は，対比試験片の塗装面側に探触子を置き，対比試験片 1.5mm のスリットから探触子前面までの距離が 15mm となる探触子位置において，エコー高さが 50%になるように調整した。スリットと探触子前面距離の 15mm は，溶接線止端と溶接部ルートまでの距離と同等になるように選定した。

70 度斜角探触子の基準感度は，対比試験片の塗装面側に探触子を置き，直射法でエコー高さが 100%になるように調整した。

探傷感度の調整はスリットを加工した対比試験片を使用しているが，塗装の仕様や塗膜厚によってエコー高さが大きく異なる場合があることに配慮し，対比試験片は対象部位の塗装仕様，塗膜厚に準じた塗装を施した。さらに，検査対象部位の塗膜厚さを測定し，探傷感度に差異がある場合には，V 透過法によって探傷感度を補正した。

(3) 試験の方法

①走査方法

走査方法には，**図 3.7-5** に示すように様々な手法がある。ここでは首振り走査，ジグザグ走査および横方向走査法とした。

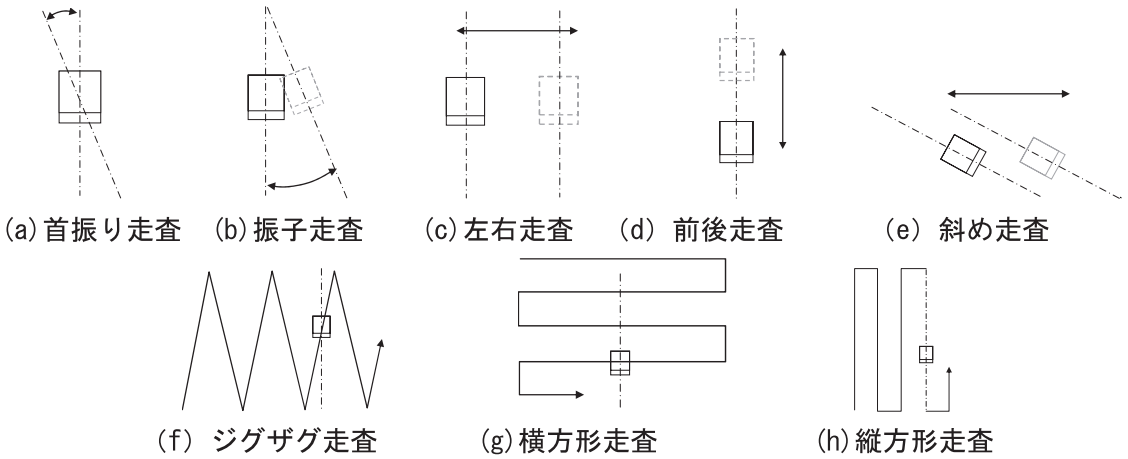


図 3.7-5　探触子の走査方法

②走査位置（90 度縦波斜角探触子）

探触子走査位置は，探触子前面が溶接線止端に沿うようにして溶接線方向へ走査した。(**図 3.7-6**)

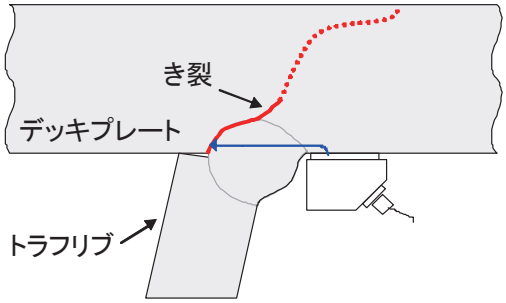


図 3.7-6　走査位置

③検出レベル（90 度縦波斜角探触子）

エコー高さが 50%を越え，指示長さが 10㎜ 以上のものをき裂評価の対象とした。なお，エコー高さはビーム路程が 15㎜ となる探触子位置において測定する。

④指示長さの測定（90 度縦波斜角探触子）

ビーム路程が 15㎜ となる探触子位置において探触子を左右走査し，50%を越えるエコー高さの探触子の移動距離を 1㎜ 単位で測定した。

(4) 評価の方法

①デッキプレート下面より 90 度縦波斜角探触子を用いて探傷し，検出したエコー高さに応じて，**表 3.7-2** によりき裂深さを評価した（き裂の有無を評価）。

表 3.7-2　90 度縦波斜角探傷結果の評価

エコー高さ	き裂深さ
５０%未満	き裂なし
５０～８０%	２mm未満
８０%以上	２mm以上

②90 度縦波斜角探触子のエコー高さが 80%以上の場合は，70 度斜角探触子を用いて探傷した（き裂の深さを評価，**表 3.7-3**）。

表 3.7-3　70 度縦波斜角探傷結果の評価

エコー高さ	き裂深さ
２０%未満	２mm以上～６mm未満
２０～５０%	６mm以上～８mm未満
５０%以上	８mm以上

3.7.4　デッキプレートき裂への適用結果

実橋のデッキプレートき裂に対して，超音波探傷を実施した後，鋼床版リブ溶接部をコア抜きし，断面マクロ及び破面観察によりき裂深さを測定し，超音波探傷によってき裂があると判断した 9 箇所について，実際のき裂深さと超音波探傷による測定値を比較した結果を，**表 3.7-4** に示す。実際のき裂の破面観察例を**図 3.7-7** に示す。

表 3.7-4 実際のき裂深さと超音波探傷（UT）による測定値の対応及び評価まとめ

番号	実際のきずの種類と深さ		UT による測定結果
	種類	深さ(mm)	深さ(mm)
1	き裂	2.1	2 未満
2	き裂	2.1	2 未満
3	き裂	2.2	2～6
4	き裂	2.2	2～6
5	き裂	2.2	2～6
6	き裂	4.2	2～6
7	き裂	5.4 以上	2～6
8	き裂	4.6	2～6
9	き裂	5.3	6～8

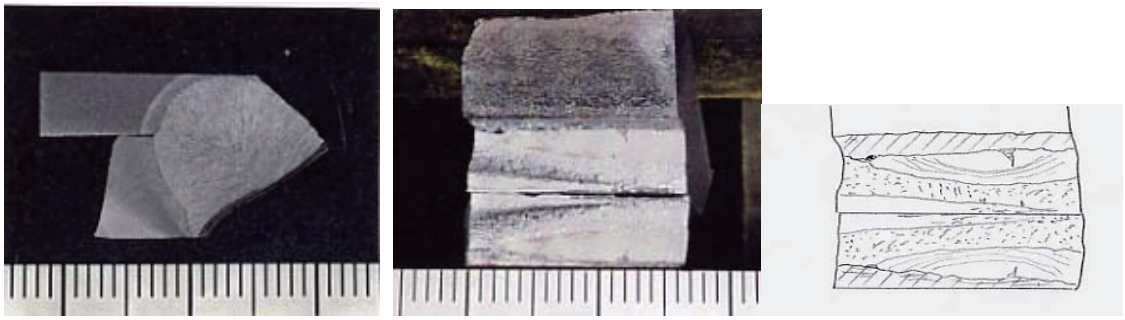


図 3.7-7　き裂深さの確認（試験体３）

3.7.5　まとめ

表面から確認できない鋼床版のデッキプレートき裂について，デッキプレート下面から，超音波探傷試験を用いた調査方法の検討を行った。その結果得られた知見は以下の通りである。

① 一般的な超音波探傷装置による試験によって，デッキプレート下面からある程度進展したデッキプレート上面に向かう（デッキプレート貫通き裂となる可能性の高い）き裂について，少なくとも 2㎜ 程度以上の深さの大きく進展したき裂について検出が可能であることが実橋調査からわかった。

② デッキプレート内部を進展するき裂の方向や深さが不明な状態での検査を行うこととなるため，以下のようにき裂の有無の確認，深さの推定の２段階での調査を行うことが有効であると考えられる。

・第一段階（有無の推定）：90 度縦波斜角探触子による超音波探傷試験
・第二段階（深さ，進展方向の推定）：70 度斜角探触子による超音波探傷試験

3.8　詳細調査（打音調査）(Step4)

3.8.1　目的

鋼床版にデッキプレートを貫通するき裂が存在し，舗装にもひび割れを生じるなどによって雨水がきれつのあるデッキプレート上面まで到達すると**図 3.8-1** に示すように，き裂部から雨水やアスファルト成分が浸入し，トラフリブ内に堆積する場合がある。

トラフリブ内へ滞水や堆積物が大量に存在すると，トラフリブの振動特性に影響が生じハンマーによる打音によっても健全なものとの差によって検出可能であることが知られている。

そこで本研究では，デッキプレート貫通きれつを生じトラフリブ内部に滞水やアスファルトや土砂等の堆積物が生じた場合を想定して，打音調査によりどの程度の滞水や堆積に対してこれらの手法が有効な検出手法となりうるのかについて調査を行った。

ここでは試験体を用いて，トラフリブ内部に水，粘土などを入れ，超音波を用いた計測，可聴音を用いた計測を適用した。

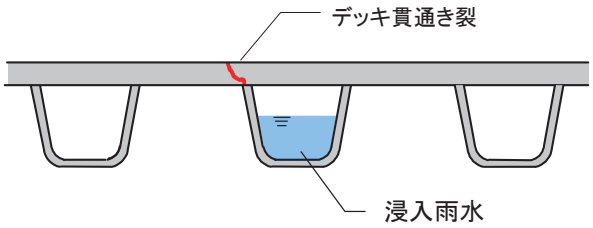


図 3.8-1 雨水やアスファルト成分の浸入

3.8.2　試験体

図 3.8-2 および**写真 3.8-1** に，試験体形状と外観写真を示す。トラフリブは R1～R4 の 4 本あり，R1 と R2 は板厚 8mm，R3 と R4 は板厚 6mm である。

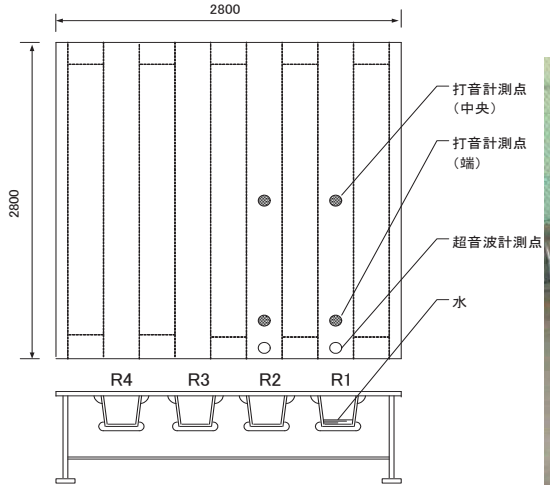


図 3.8-2 試験体形状



写真 3.8-1 試験体外観

トラフリブ内には，**写真 3.8-2** および**写真 3.8-3** に示すように，水および堆積物を想定した粘土を入れた。滞水させた水の量は深さ 5mm 程度であるが，この程度の滞水量では，

ハンマーを用いた打音で音の違いを認識することはできなかった。



写真 3.8-2　トラフリブ内に水あり

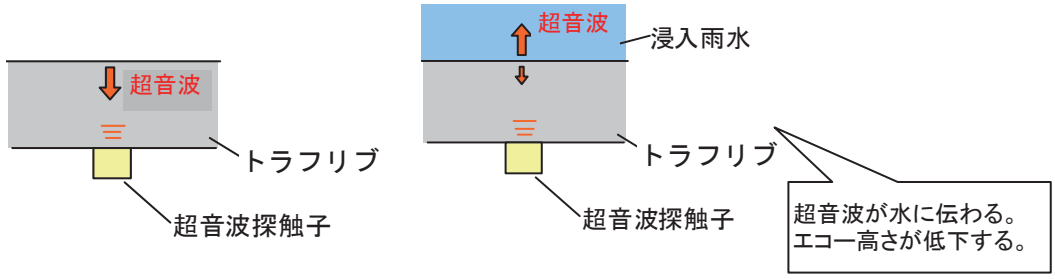


写真 3.8-3 トラフリブ内に堆積物（粘土）あり

3.8.3　超音波を用いた計測

(1) 超音波による測定原理

検査対象箇所に超音波探触子をあて，底面エコーの減衰によって水溜まりの有無を評価する。**図 3.8-3 (a)** に示すようにトラフリブ内部に水が存在しない場合，鋼材内部での超音波の反射率は 100%であるが，**図 3.8-3 (b)** に示すように水が存在すると反射率が低下し，底面エコーの高さが低下する。



(a) トラフ内部に水が存在しない場合　　(b) トラフリブ内部に水が存在する場合

図 3.8-3 超音波による測定原理

(2) 超音波による計測・評価

図 3.8-4 に示すように，超音波探触子をトラフリブ中央に設置して底面多重エコーを観察する。水がある場合，**図 3.8-5** に示すように，超音波は水中にも通過し，鋼中および水中で反射を繰り返す。**図 3.8-6** に示すように，鋼が水に接していると，音響インピーダンスの関係から，水への音圧通過率は約 6%であり，音圧反射率は約 94% となり，水に接している鋼中で反射を繰り返す度に，水が無い場合に比較して底面エコー高さが低下する。**図 3.8-7** に，鋼中および水中での A スコープ波形の模式図を示す。実際に観察される A スコープ波形は，これらのエコーが重畳した波形となる [3.9)]。

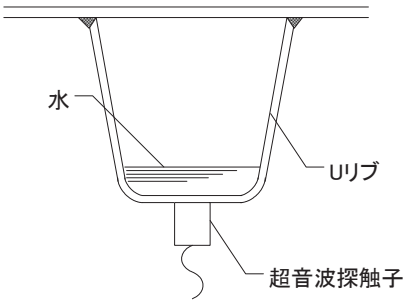


図 3.8-4 超音波探触子の設置

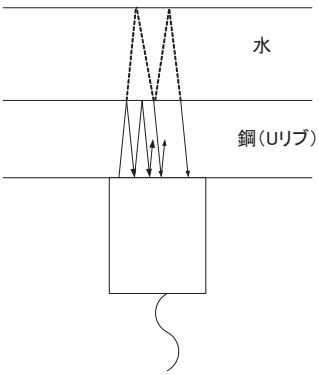


図 3.8-5 鋼中および水中での多重エコー

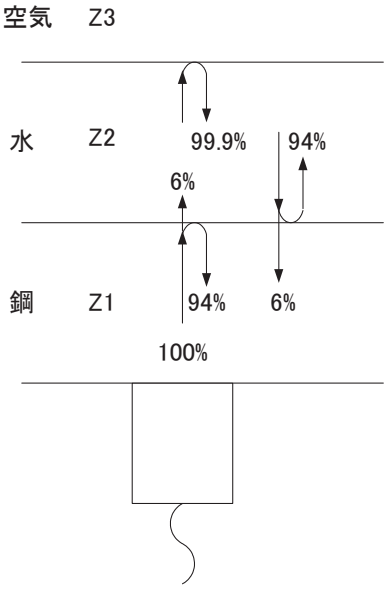


図 3.8-6 音圧通過率および反射率

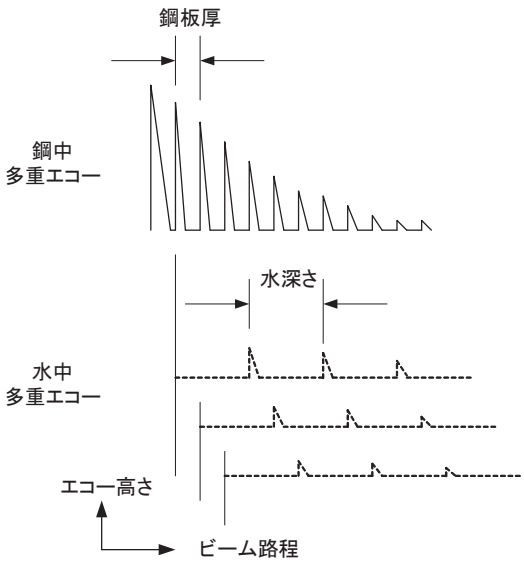


図 3.8-7 A スコープ波形

超音波による計測には，下記の装置を用いた。

- 超音波探傷器：パナメトリクス　EPOCH 4
- 超音波探触子：
  - ① 10C10N　KGK
  - ② 5C10N　KGK
  - ③ 2.25C12N　パナメトリクス A534S 1/2in.
- 接触媒質：ソニコート
- 時間軸設定：100mm（鋼音速 5900m/s で校正）

写真 3.8-4 に，超音波法の適用状況を示す。

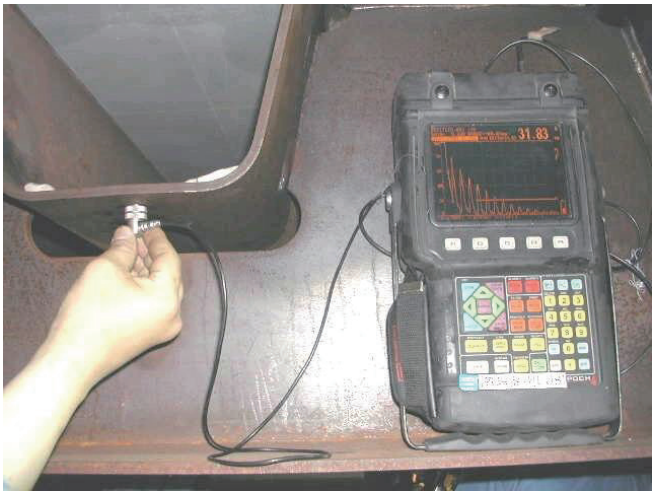


図 3.8-4 超音波の適用状況

(3) 超音波による計測結果

表 3.8-1 に，第 1 回底面エコーを 80%になるように感度を調整して測定した超音波探傷波形を示す。横軸はビーム路程を示し，フルスケールを 100mm（鋼音速 5900m/s）に設定した。縦軸はエコー高さ（%）を示す。また，表 3.7.2 に，水による超音波の減衰を評価する一つの手法として，第 4 番目の底面エコー（B4）高さを示す。鋼が水に接している場合の音圧反射率を 94%とすると，4 回の反射によってエコー高さは，水の無い場合に比較して，約 78%低下すると想定される。

表 3.8-1 および表 3.8-2 の試験結果から，水のある場合，底面エコーの減衰が大きくなることが分かる。超音波探触子の周波数が高い方が，板厚の分解能が高く，減衰の評価が容易である。この現象は，水の深さが浅いほど水中での多重エコーの間隔が短くなり，鋼中での多重エコーと重畳するために生じるものと考えられる。

なお，トラフリブ内に堆積物を想定して紙粘土を入れた場合には，超音波の減衰に差異が生じなかった。

表 3.8-1 超音波探傷波形

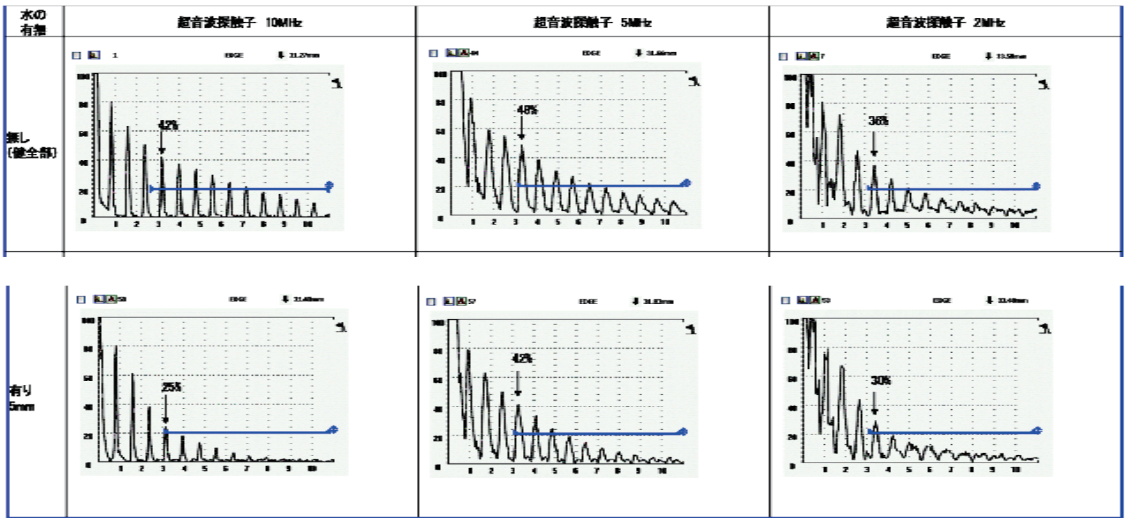


表 3.8-2　第 4 番目の底面エコー（B4）高さ

水の有無	超音波探触子 10MHz	超音波探触子 5MHz	超音波探触子 2MHz
無し（健全部）	42%	48%	36%
有り（5mm）	25%	42%	30%

3.8.4　可聴音を用いた計測

(1) 打音による測定原理

検査対象箇所をインパルスハンマで叩き，発生する音波の減衰や共振周波数の違いによって水溜まりの有無を評価する。(図 3.8-8)

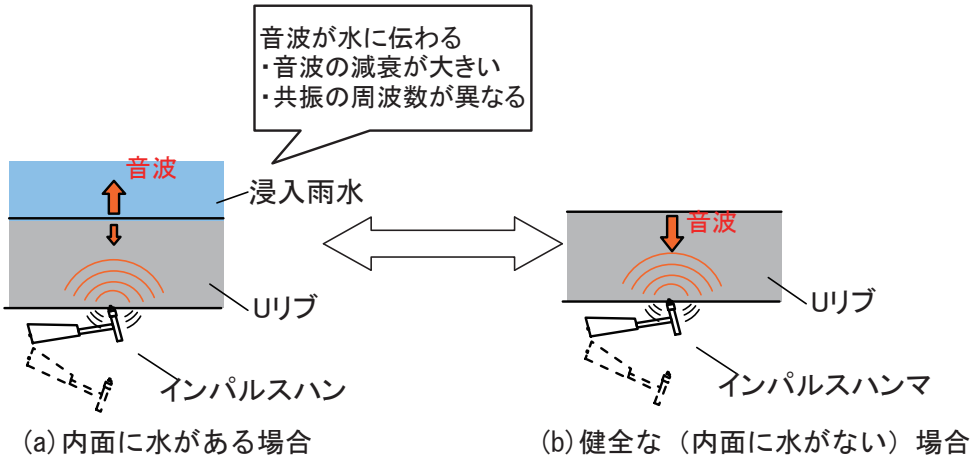


図 3.8-8　打音による測定原理

(2) 打音による計測・評価要領

今回は客観的な計測を行うために，図 3.8-9 に示すように，受信センサを検査対象箇所に固定した上で，試験体の表面をインパルスハンマで叩き，その振動をセンサで受信した。センサが受信した音波を周波数解析（ウェブレット解析）し，解析結果からトラフリブ内面側の状況を評価した。

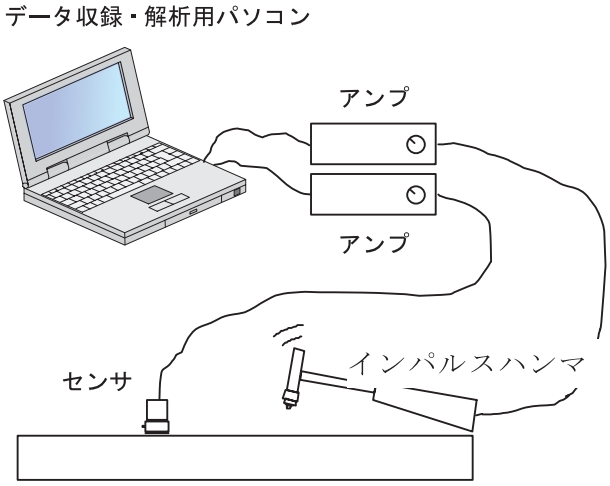


図 3.8-9　計測要領

写真 3.8-5 および写真 3.8-6 に，インパルスハンマ，センサおよび解析用パソコン等の打音試験装置を示す。



写真 3.8-5　打音計測装置

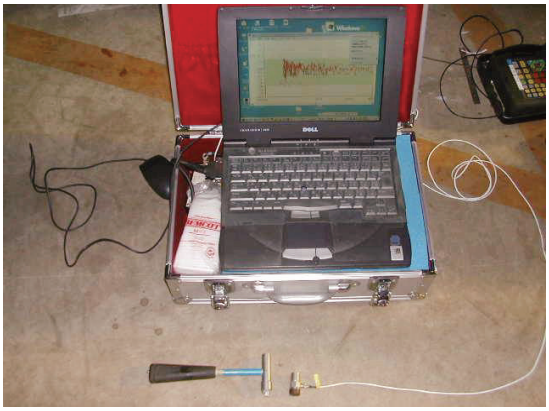


写真 3.8-6　解析用パソコン

(3) 打音による計測結果

表 3.8-3～**表 3.8-4** にセンサの受信波を周波数解析（ウェブレット解析）した試験結果を示す。表中のグラフは 3 次元グラフであり，X 軸（横軸）に時間（フルスケール：1000msec.），Y 軸に周波数，Z 軸に振幅を示す。

表 3.8-3 は，リブ No.1 の中央部での試験結果を示し，**表 3.8-4** は，周辺拘束条件の異なる端部の横リブ近傍での試験結果を示している。水深は 5mm とした。また，打音試験では，インパルスハンマでの打撃の強さが一定でないため，ばらつきを考慮して 3 回の試験データを収集した。

水の有無の評価は，1) 音波の減衰と 2) 共振周波数に着目して評価した。**表 3.8-3** より，水の無い場合，板厚方向で 18msec（55Hz）で共振が得られる。水深 5mm の場合，この共振が，30msec（30Hz）に変化するため，水の有無を評価することができる。

表 3.8-3 と**表 3.8-4** を比較すると，端部の横リブ近傍（**表 3.8-4**）では，音波の減衰や共振の周波数に明瞭な差異は見られない。このことから，横リブの拘束によって水の有無の評価が難しくなると考えられる。したがって，打音計測は縦リブ支間中央付近のようなトラフリブ以外の部材や継手部が近くにない条件において，明らかに滞水を生じていない部位での結果との相対比較によることで，滞水を検出できる可能性があることがわかった。

表 3.8-3　打音試験結果（リブ No.1　中央部）

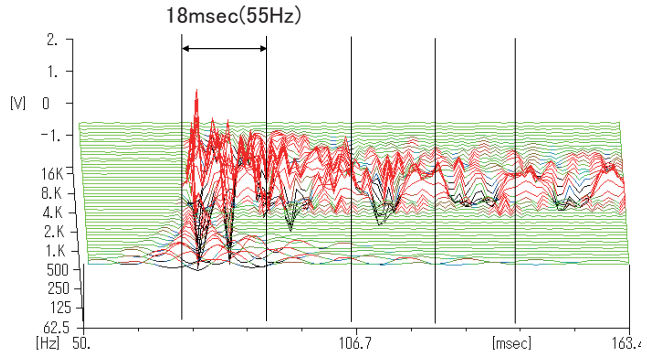
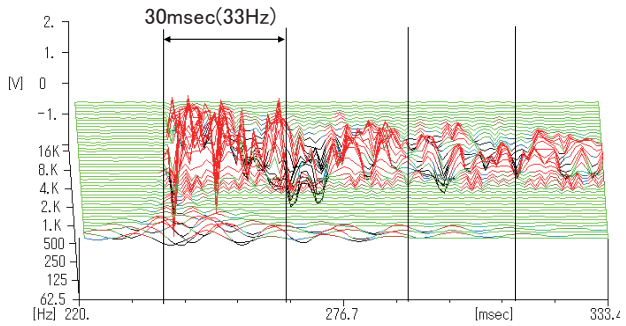
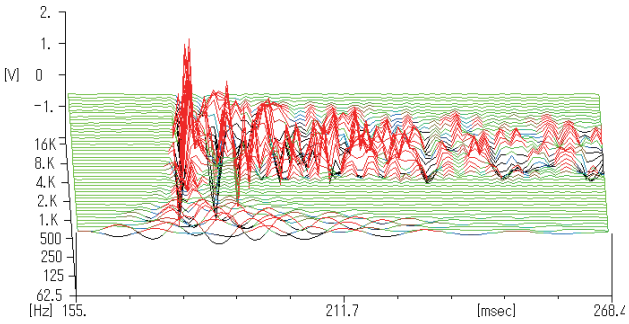
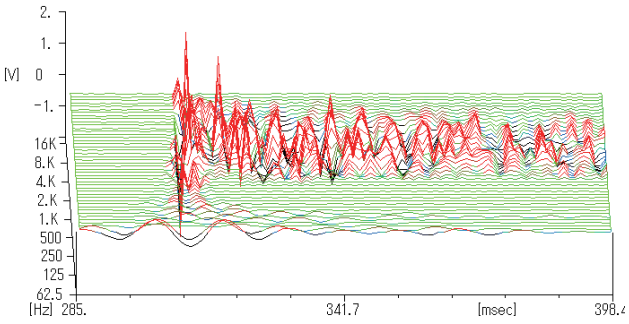
	位置	水	Data No.1
R1	中央	無し	
		有り (5mm)	

表 3.8-4　打音試験結果（リブ No.1 横リブ近傍）

	位置	水	Data No.1
R1	端部	無し	
		有り (5mm)	

3.8.5　まとめ

①超音波による評価

ⅰ) 水に接している鋼中で反射を繰り返す度に，水が無い場合に比較して底面エコー高さが低下する現象を利用することで，滞水の有無を評価できることがわかった。

ⅱ) 超音波探触子の周波数が高い方が，板厚の分解能が高く，検出性はよい。

②打音による評価

ⅰ) 音波の減衰と共振周波数に着目して，水溜りの有無を評価することが可能である。

ⅱ) 滞水による共振周波数が低下するため、明らかに水のない部位との比較やあらかじめ共振周波数が計測されている場合にはそれとの対比によって，水の有無を評価できる可能性がある。

ⅲ) 横リブの拘束によって水の有無の評価が難しくなる傾向にあるため，横リブから数100mm 程度離れた位置など他の部材や継手による影響のない位置で打音試験を実施することが望ましい。

③超音波探傷検査と打音検査の比較

少量の水溜まりの有無を定量的に評価する場合には，打音によるよりも超音波探傷による方が精度良く評価することができ，また評価に要する時間も短い。ただし，堆積物の量が多い場合には，打音試験でも調査員が判断できる程度の音の違いが生じるため，特別の器具等が必要でなく簡便に実施可能な打音による調査は適宜組みあわせて実施することが有効であると考えられる。なお，超音波探傷では探触子を接地する表面の塗膜厚さの影響を受けやすい場合があるため適用に際しては注意が必要である。

3. 9 詳細調査（赤外線サーモグラフィ）(Step4)

3.9.1 目的

赤外線サーモグラフィは，対象物から出ている赤外線放射エネルギーを検出し，相対的な温度分布を画像表示する方法であり，その特徴としては以下の点があげられる。

①面の温度分布として捉え，可視化情報として表示できる。

②対象物から離れたところから，非接触で温度測定ができる。

③リアルタイムで温度計測ができる。

④画像をデジタルファイルとしてメモリーカードに保存し，パソコンでの処理ができる。

赤外線サーモグラフィは，検出器の赤外線検出波長が長波長であるため屋外での計測においても太陽光の反射の影響を受けにくいことや，小型・軽量化，及び低価格化が進んだことによりコンクリート構造物の剥離の分野においては広く適用されつつある。

例えば，鋼床版のデッキプレート貫通き裂の事例においても，き裂から雨水等が進入しトラフリブに溜まる例があった。雨水等が溜まった鋼床版とその他の鋼床版との相対的な温度変化を捉えることができれば，全てのデッキプレート貫通き裂を検知することは出来ないが，現地調査時においてデッキプレート貫通き裂の有無を効率的に判断することができる。また，き裂を境としたときの熱の伝わり方を捉えることによって，直接探傷できる可能性もある。

以上のことから，本項では，雨水等が進入したトラフリブと進入していないトラフリブとの温度差を用いて検知する方法，及びき裂発生による温度の伝わり方を直接探傷する方法について，輪荷重走行試験によりデッキプレート貫通き裂を発生させた試験体及び実橋について検討した。

3.9.2 使用機材

検討に用いた赤外線サーモグラフィの仕様は以下のとおりである。なおき裂部での熱の伝導状況による探傷では，加熱ヒータ(ハロゲンランプ)による加熱も行った。

表 3.9-1 赤外線サーモグラフィ

赤外線サーモグラフィ	A社	B 社
最小温度分解能	0.05℃以下（S／N 改善時）	0.02℃（S／N 改善時）
測定温度範囲	-40℃～120℃	-20～100℃（第一レンジ）
フレームタイム	1/60秒	1/60 秒
画素数	320×240	320×240
空間分解能	1.68mrad	1.2mrad



(a) 赤外線サーモグラフィ



(b) 加熱ヒータ（ハロゲンランプ）

写真 3.9-1　計測機器と試験状況（加熱の状況）の例

3.9.3　き裂から進入した雨水等の検知

(1) 概要

鋼床版のデッキプレート貫通き裂の事例においても，き裂から雨水等が進入しトラフリブに溜まる例があった。雨水等が溜まった鋼床版とその他の鋼床版との相対的な温度変化を捉えられることによって，デッキプレート貫通き裂を非接触で検知し，効率的な調査を行うことが可能である。

そこで，輪荷重走行試験によりデッキプレート貫通き裂を発生させた試験体及び実橋において検討した。

貫通き裂あり　→　雨水が浸入　→　雨水の水溜り存在

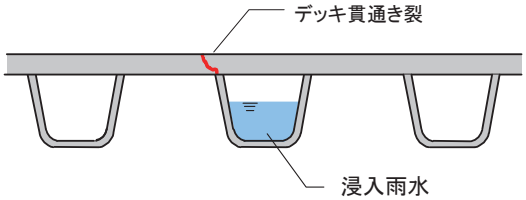


図 3.9-1　トラフリブ内部のイメージ

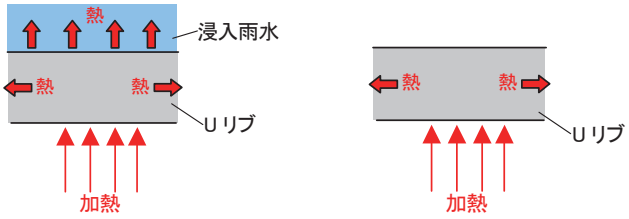
(2) 検討方法

①雨水の水溜り

トラフリブ内に雨水が溜まっている場合，比熱の大きい水の熱交換によって温度が上がりづらく，温度低下も早いことから，鋼床版を下面から加熱し，下記の 2 項目について確認する。

a. 加熱後の周辺トラフリブとの温度差　(加熱後の温度が低いと水がある)

b.加熱後の温度低下速度(加熱後の温度低下が速いと水がある)



(a) 内面に水がある場合　　(b) 健全な（内面に水がない）場合

図 3.9-2　雨水の水溜り検証方法イメージ

② 雨水と共に流入する堆積物

デッキプレート貫通き裂が発生した鋼床版では，縦リブ内面に滞水や汚泥の堆積が確認されている(**写真 3.9-2** 参照)。熱容量が大きな水や泥などが堆積している場合，健全な縦リブに比べて熱容量が大きくなり，「熱しにくく，冷めにくい」構造となることが考えられる。この場合，周辺の健全な縦リブとは加熱や除熱によって温度差が生じることが考えられることから，次の 2 つの観点で確認を行った。

a.加熱後の周辺トラフリブとの温度差 （加熱後の温度が低いと堆積物がある）

b.加熱後の温度低下速度（加熱後の温度低下が遅いと堆積物がある）

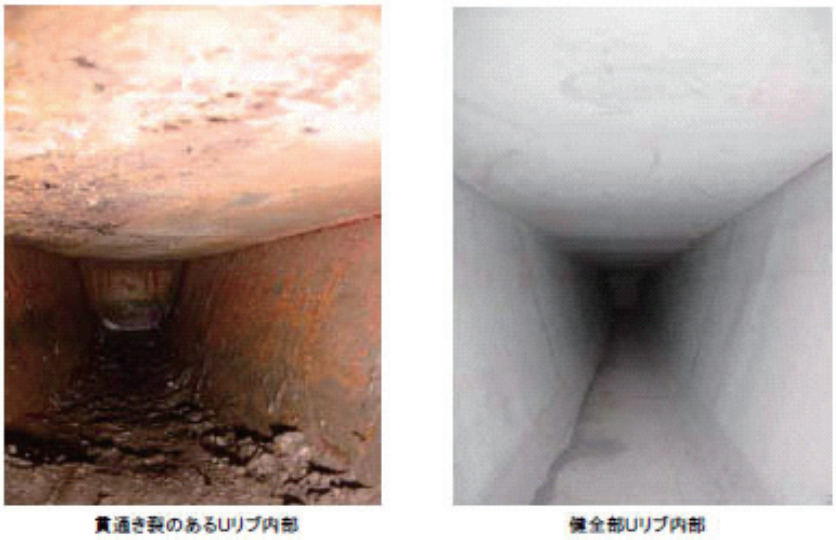
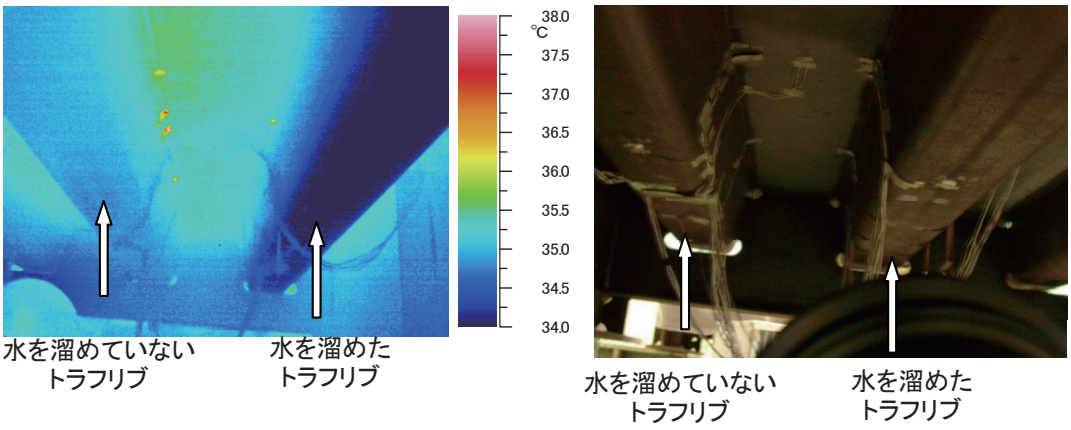


写真 3.9-2 縦リブ内部の堆積物

(3) 試験体による検討

①雨水の水溜り

輪荷重載荷試験によりデッキプレート貫通き裂を発生させた試験体に，深さ 1cm の水を貯め，3 時間経過した後に撮影した結果を**写真 3.9-3** に示す。健全なトラフリブと水を溜めたトラフリブを比較したところ差があることがわかる。



(a) 赤外線画像　　(b) 可視画像

写真 3.9-3 赤外線撮影結果の例

② 雨水と共に流入する堆積物

トラフリブ内に粘土を置き，送風してリブを冷却した結果を**写真 3.9-4** に示す。粘土が置いてある部分が他に比べ冷却されにくくなっている為，何も置いていない部分よりも高温になっている。このようにトラフリブ内にトラフリブに密着してしめった土砂等が堆積している状態は，赤外線サーモグラフィで検知できる可能性が高いことが分かった。ただし，堆積物の物性やトラフリブとの密着の状況，堆積量などとの関係によって検出可能性は左右されるものと考えられることから今後検出精度についてはさらに検討を行い適用性を見極めた上で活用することが必要である。

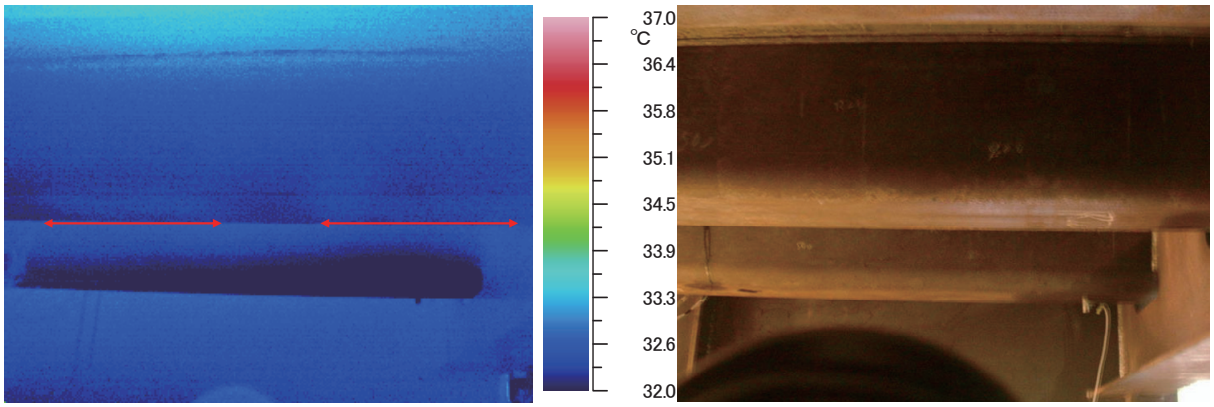
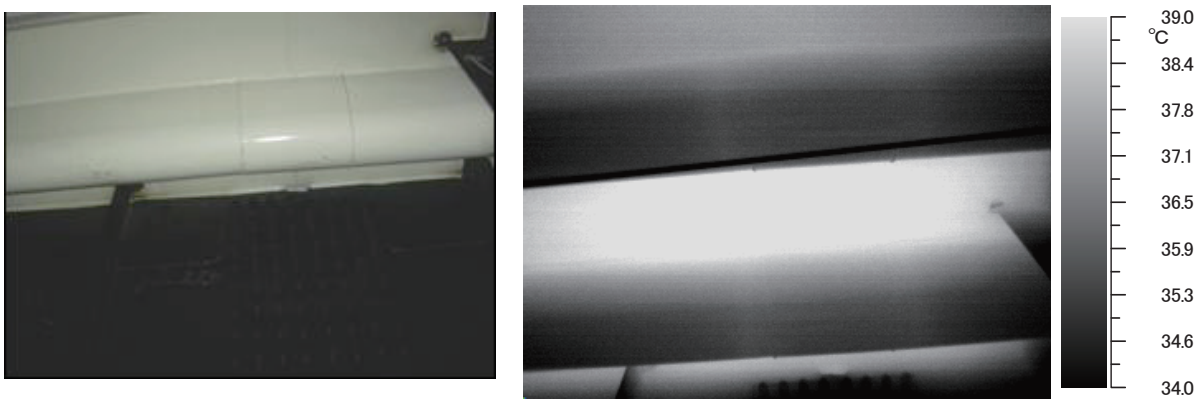


写真 3.9-4　赤外線撮影結果

(3) 実橋における適用性

トラフリブ内に滞水した場合，密閉ダイヤを挟んで隣接する空間の温度差が分かるように撮影した(**写真 3.8-5**)。ここでは，滞水が確認できなかったものの，密閉ダイヤの位置がわかる。

雨水等の進入によるトラフリブ内の状況が変化を捉える場合，狭い箱桁内であっても，隣接するトラフリブや密閉ダイヤを挟んで調査することにより，相対的な温度比較の可能性があると考えられる。



(a) 赤外線画像　　(b) 可視画像

写真 3.8-5　赤外線撮影結果

鋼床版の箱桁間及び張出床版などの，足場が必要な箇所における遠方からの調査の可能性について検討した。

写真 3.9-6 に示した鋼床版について，デッキプレートの温度が著しく異なることが分かる。これは，版厚が厚い歩道部や，高欄によって陰になる部分は，周りの床版と比較して温度が低く，一般部との温度差は気温の上昇する午後の方が大きいことがわかった。また，縦リブ表面の温度がほぼ一様であることがわかった。

写真 3.8-7 は，周辺のトラフリブの温度と著しく異なっており，雨水等の滞留が疑われた。後の調査により，同じ箇所でデッキプレート貫通き裂によりトラフリブ内の滞水が確認された。

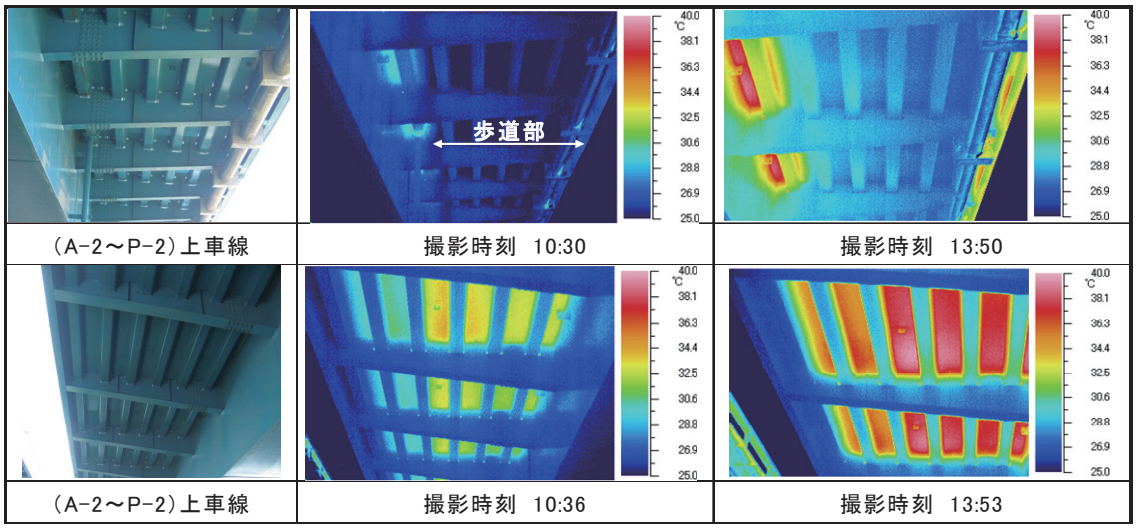


写真-3.9-6 異なる時間帯での測定結果

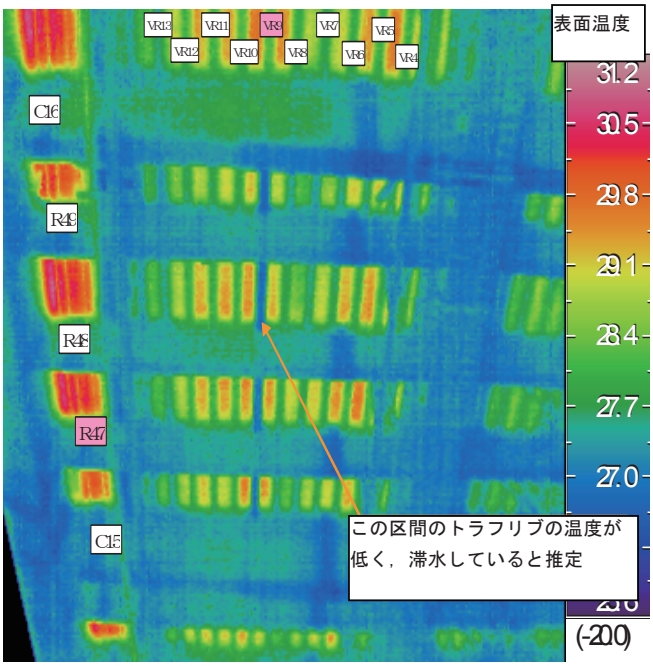


写真 3.9-7　滞水している橋梁の場合（写真提供：阪神高速道路㈱）

3.9.5　き裂の探傷

き裂を境としたときの熱の伝わり方を捉えることにより，塗装を除去することなくき裂を検知し，効率的な調査を行うための検討を行う。ここでは，加熱方式を用いてアクティブに検知する手法についてもその可能性について検討した。

想定した現象は以下のとおりである。

1)基準とするデータと加熱直後温度，または，加熱終了後の温度変化が同じ（健全）

2)基準データと加熱直後温度，または，加熱終了後の温度変化が異なる（貫通き裂あり）

(1)加熱方法を用いない探傷

輪荷重載荷試験によりデッキプレート貫通き裂を発生させた試験体の，損傷箇所を高解像度レンズで加熱せずに撮影した例を写真 3.9-8 に示す。この例ではデッキプレート貫通き裂について検出することは出来なかった。

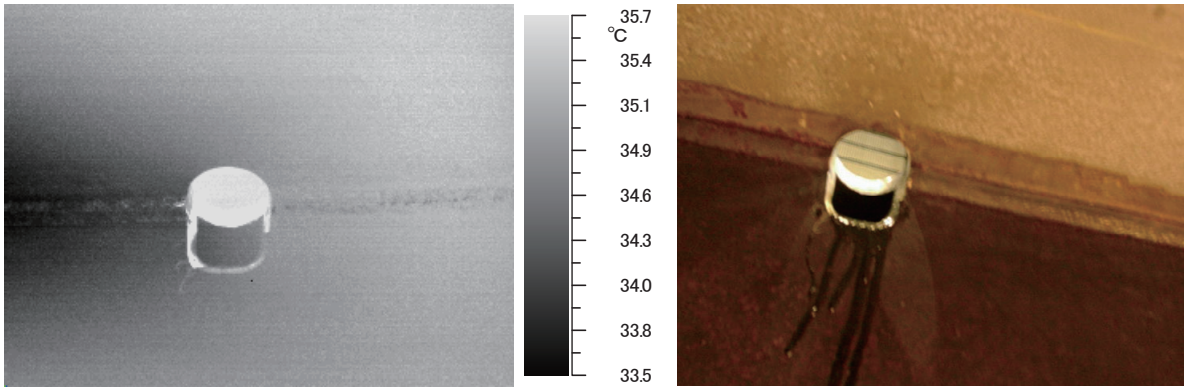


写真 3.9-8 リブ溶接部（約５μm幅のき裂あり）を加熱せずに撮影

(2)加熱方法を用いた探傷に関する検討

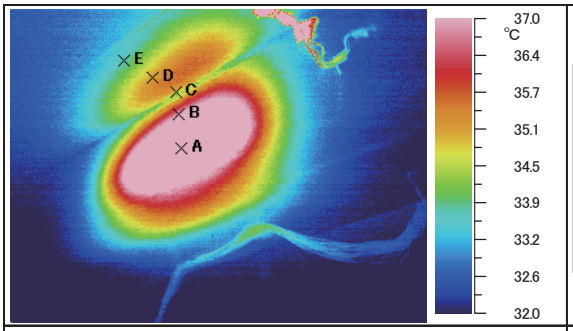
輪荷重載荷試験によりデッキプレート貫通き裂を発生させた試験体を，上記手順で加熱し，加熱終了後 45 秒後，90 秒後の温度変化を比較した。その結果，健全な鋼床版のデッキプレート厚の温度変化と比較して，画像からはその違いについて明確な差はなく，グラフからもその違いが読み取りにくいことが分かった。結果の例を**表 3.9-2,3** に示す。また，加熱方法を用いた調査方法については，下記のような誤差が含まれていること考えられる。

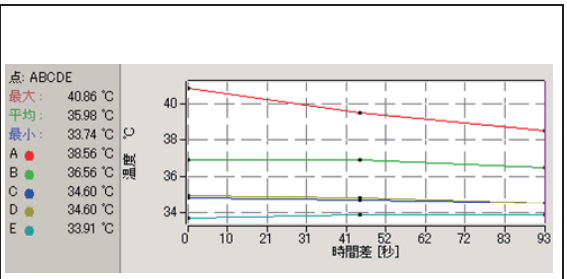
①構造が均一でないと温度分布が乱れる（検査対象面のある程度の均一性が必要）

②加熱方法の問題（加熱時間，加熱量の均一性の確保）

③検査機器の配置の均一化（赤外線サーモグラフィと検査面の距離，角度などの条件を常に一定にする）

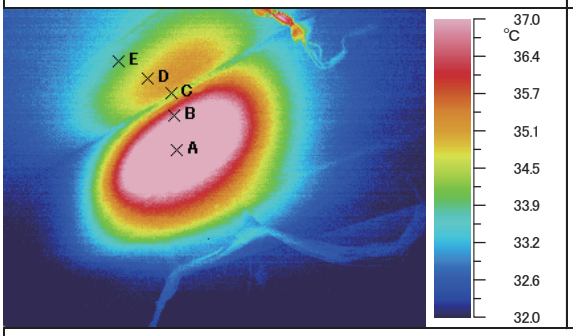
表-3.9-2　健全部の加熱撮影（トラフリブを加熱）結果の例

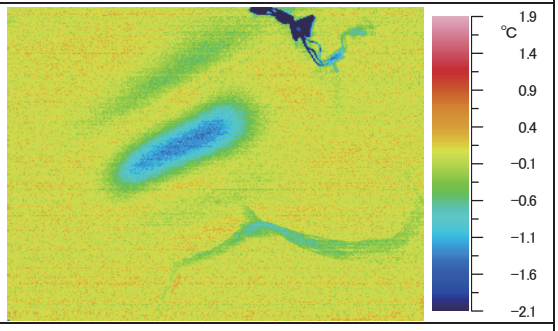




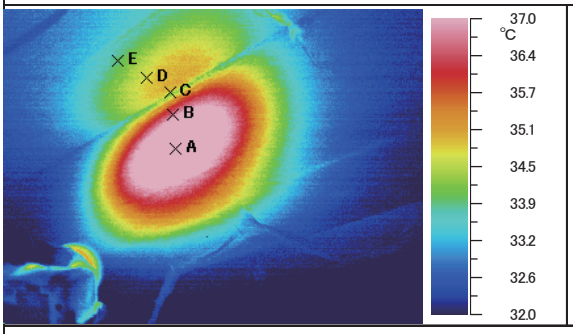
加熱直後

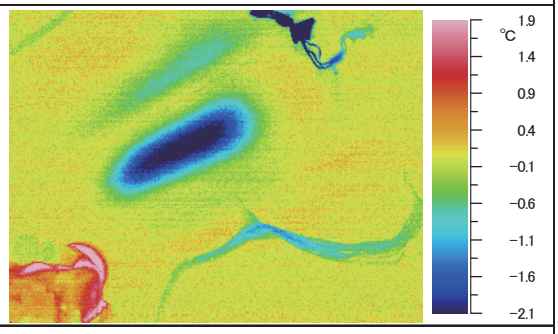
加熱直後の画像を基にし、画像減算処理により温度の変化量を抽出





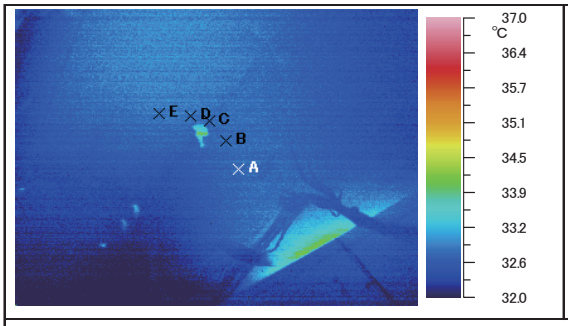
加熱終了後45秒後

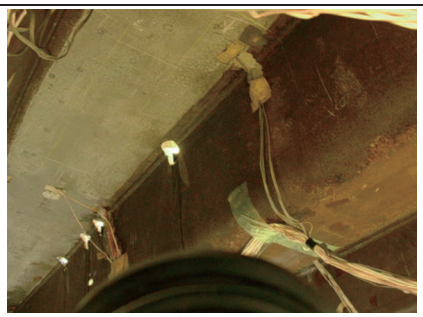




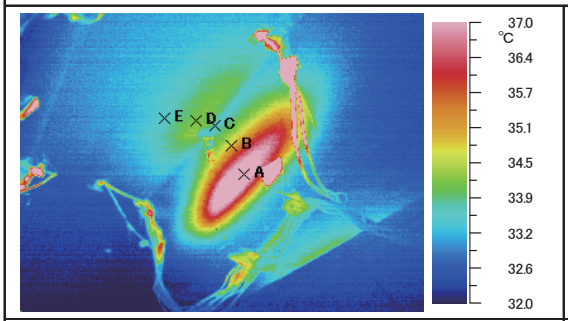
加熱終了後90秒後

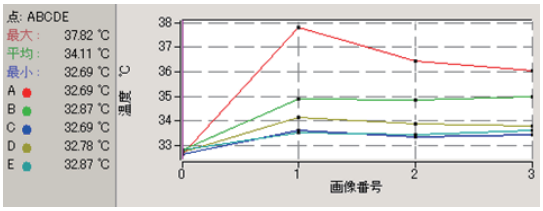
表-3.9-3　デッキプレート貫通き裂発生部（トラフリブを加熱時）結果の例





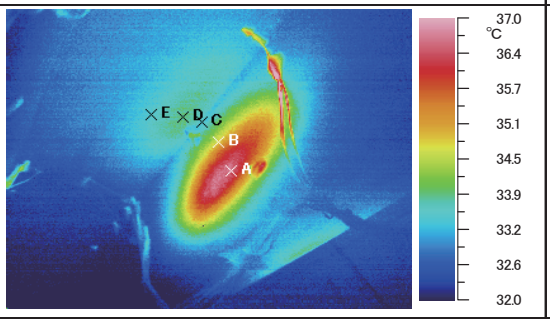
加熱前

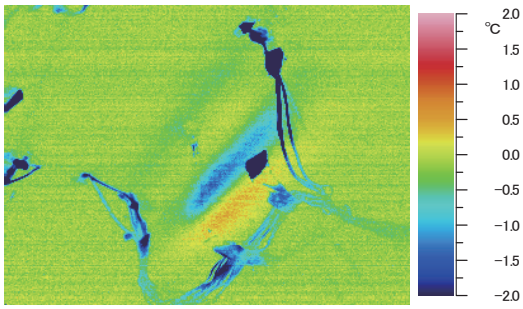




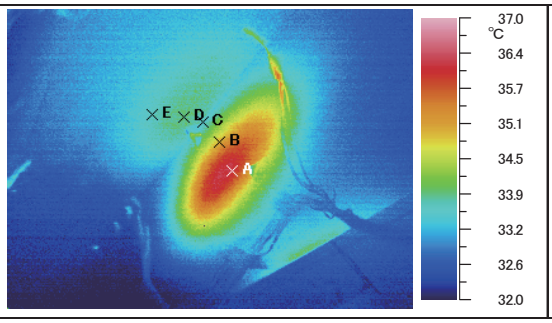
加熱直後

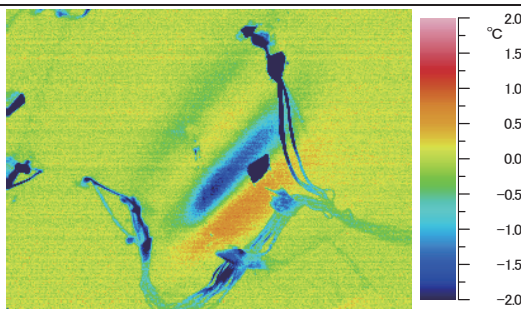
加熱直後の画像を基にし、画像減算処理により温度の変化量を抽出





加熱終了後30秒後





加熱終了後90秒後

3.9.6 まとめ

隣接するトラフリブまたは密閉ダイヤフラムの前後を比較対象部として測定することで，トラフリブ内の異物を検知することが可能であることがわかった。必ずしも足場を設置する必要がないため，桁間部，桁高のある箱桁内部の調査において有効である。

なお，比較対象とする箇所と赤外線サーモグラフィの距離は可能な限り，一定にする必要がある。また，歩道部や路面に日陰を作る高欄の近くなどを調査するなどの場合には，下面においても温度が低くなるので注意が必要である。

3.10 その他の調査

3.10.1　概要

デッキプレート貫通きれつの検出を行う場合，補修補強方法や今後の維持管理方法の検討が並行して行われることとなるが，その場合に対象となる鋼床版の健全度についてきれつの有無や長さ以外にも様々な鋼床版の状態について評価することが必要となる。

ここでは，デッキプレート貫通きれつが疑われる鋼床版に対して，その健全性等の評価のために必要となる主な項目に対する調査方法について整理した。

3.10.2　板厚計測

舗装の防水が機能していない場合，鋼床版のデッキプレートの腐食による減肉により応力が増加し，損傷要因のひとつとなる可能性がある。鋼床版を構性する鋼材の腐食が懸念される場合には，超音波板厚計等により板厚を確認し，腐食損傷の有無を確認する方法が適用できる（**図 3.10-1、写真 3.10-1**）。この方法は，鋼板や形鋼の製作時に実施される検査と同一のものであり一般的な方法である。計測の際には校正履歴を確認する必要がある。



写真 3.10-1　超音波板厚計測状況

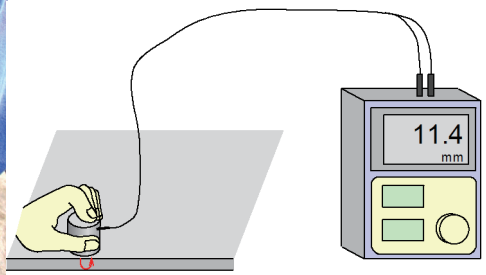


図 3.10-1　超音波板厚計測

3.10.3 溶接形状の採取

溶接ビード部に損傷が確認された場合，溶接部のど厚は，疲労耐久性に影響すると考えられる。

採取方法は，印象材を用いて溶接部の形状を採取する。印象材は 2 材料を混合することで硬化し，溶接ビード形状を写し取ることが可能である（**図 3.10-2**）。採取した印象材は，スライスし溶接ビード形状やビード止端部の形状を計測することができる。また，採取した印象材を型材として，**写真 3.10-2** に示すように溶接ビード形状を再現して相互に比較することも可能である。

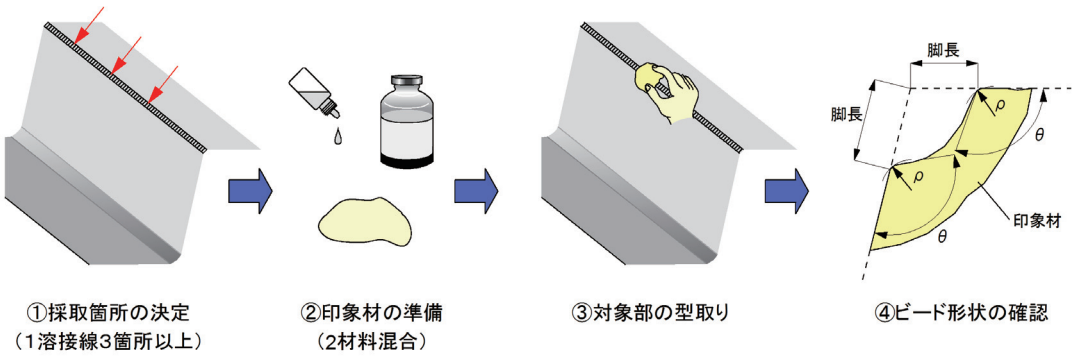
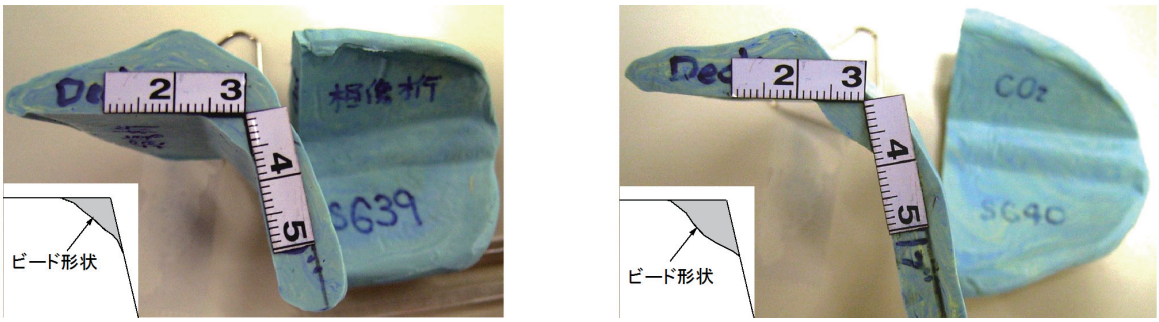


図 3.10-2　印象材採取要領



a)　ビード貫通き裂が発生した溶接部　　b)　疲労損傷が見られない溶接部

写真 3.10-2　印象材によるビード形状の比較

3.10.4 溶接脚長の実測

溶接脚長は，継手強度に影響すると考えられるため，**写真 3.10-3** に示すように，き裂発生箇所の溶接サイズ等を現地にて計測し，設計図書と比較することで，脚長不足等の溶接ビード異状の有無を確認する。



写真 3.10-3　溶接ゲージによる形状計測

3.10.5　応力測定

鋼床版の疲労損傷は，従来の設計では考慮されていない輪荷重による局部的な変形挙動に起因する。そして，この局部的な挙動は路線の交通事情のほか，当該橋梁の幅員構成や前後の道路事情等の影響を受けるため，路線の交通量や図面のみから鋼床版の局部応力を予測するには限りがある。よって，当該橋梁の疲労損傷が発見された場合の原因推定や，疲労損傷が発見されていない場合でこれまでに受けた，あるいは今後受ける疲労被害を予測する際の精度を上げるためには応力測定の実施が有効な手段の一つとなる。

応力測定は軸重が既知な荷重車による荷重車載荷試験（動的載荷試験），および日常交通下での応力頻度測定の２種類が一般的である。それぞれの試験の目的は次のとおりである。

①荷重車載荷試験
・実橋における輪荷重載荷位置や走行速度と鋼床版の発生応力度の関係を把握する。
・応力頻度測定から得られる発生応力度と，荷重条件の関係を把握するためのキャリブレーション資料とする。
②応力頻度測定
・着目橋梁の鋼床版の発生応力度の実態・特徴を把握し，疲労被害予測のための基礎資料を蓄積する。

以下にトラフリブとデッキプレート近傍に発生する疲労損傷に着目した場合の応力測定方法について示す。

(1) 計測項目

計測項目は，トラフリブとデッキプレート溶接部近傍とトラフリブ下フランジのひずみ，舗装の温度である。トラフリブとデッキプレート溶接部近傍のひずみは局部応力を把握するために必要である。

トラフリブの下フランジについては，その橋軸方向応力が，従来の設計においても考慮されているものであり，鋼床版の床組としての応力として，鋼床版に関する種々の検討でも計測されていることが多い。また，①荷重車による応力状態と頻度計測結果を比較することで，走行車両の重量をある程度推測ができる，②舗装の剛性について考察できる，③設計応力と実応力との比率（構造解析係数）について考察できる，など，得られるデータは非常に有効である。なお，トラフリブの下フランジの応力は，鋼床版の構造諸元に影響されるため，変状を確認できる可能性もある。トラフリブ支間や板厚，トラフリブの配置などをあらかじめ把握しておく必要がある。

舗装の温度は舗装（特にアスファルト舗装）の剛性を把握するために計測する。舗装の剛性は温度によって変化するが，この剛性の変化は輪荷重による鋼床版の発生応力に大きな影響を与えることが指摘されており，夏期と冬季に同一の条件で実施された載荷試験でも，発生応力に大きな差が認められている。そこで，詳細調査における応力測定では，熱電対を用いて経時的に舗装温度を測定することとする。しかしながら，車両走行時に舗装温度を直接測定するのは困難な場合が多いため，デッキプレート下面の温度で代用するのがよいと考えられる。

(2) 計測方法

鋼床版の実橋応力測定は，これまでにも数多く実施されているが，各々の試験目的や載荷方法，載荷時期等が異なっており相互の成果を直接比較することが困難である。また，トラフリブとデッキプレート溶接部の疲労損傷を対象とした実橋における応力測定事例は少ない。相互に比較することで異常の有無などを推定することができる場合も多いことから，できるだけ統一的な方法に寄ることが望ましい。

1) 調査の種類

応力測定は，荷重車による動的載荷試験と一般車両による応力頻度測定を行うことを標準とする。

2) 測定位置

測定点数は多いほど望ましいが，現場計測の制約を最大限考慮して決定する。各着目部の測定箇所は，以下に示すものを標準とする（**図 3.10-3**，**写真 3.10-4** 参照)。輪荷重により発生するひずみは局所的であるため，車の走行位置とゲージを貼付する位置の対応を間違えないよう注意が必要である。間違いを防ぐためには，ひずみゲージの貼付位置図面にレーンマークの位置を落としこんでおくことも有効である。なお，ひずみゲージ長は，3㎜ を基本とする。

ⅰ） トラフリブとデッキプレート溶接部

輪荷重直下の溶接部を対象に，トラフリブ側とデッキプレート側の溶接止端から 5㎜ 位置における横断方向応力を測定する。

ⅱ） トラフリブ下フランジ

輪荷重直下および隣接するトラフリブを対象に，下フランジ中央位置での橋軸方向応力を測定する。

ⅲ） その他

ⅰ)およびⅱ)に示した以外の着目部については，既往の研究成果などを参考にしてひずみゲージを貼付する。

ⅳ） 舗装またはデッキプレート下面の温度

舗装またはデッキプレート下面に熱電対を貼付し，温度計測を行う。

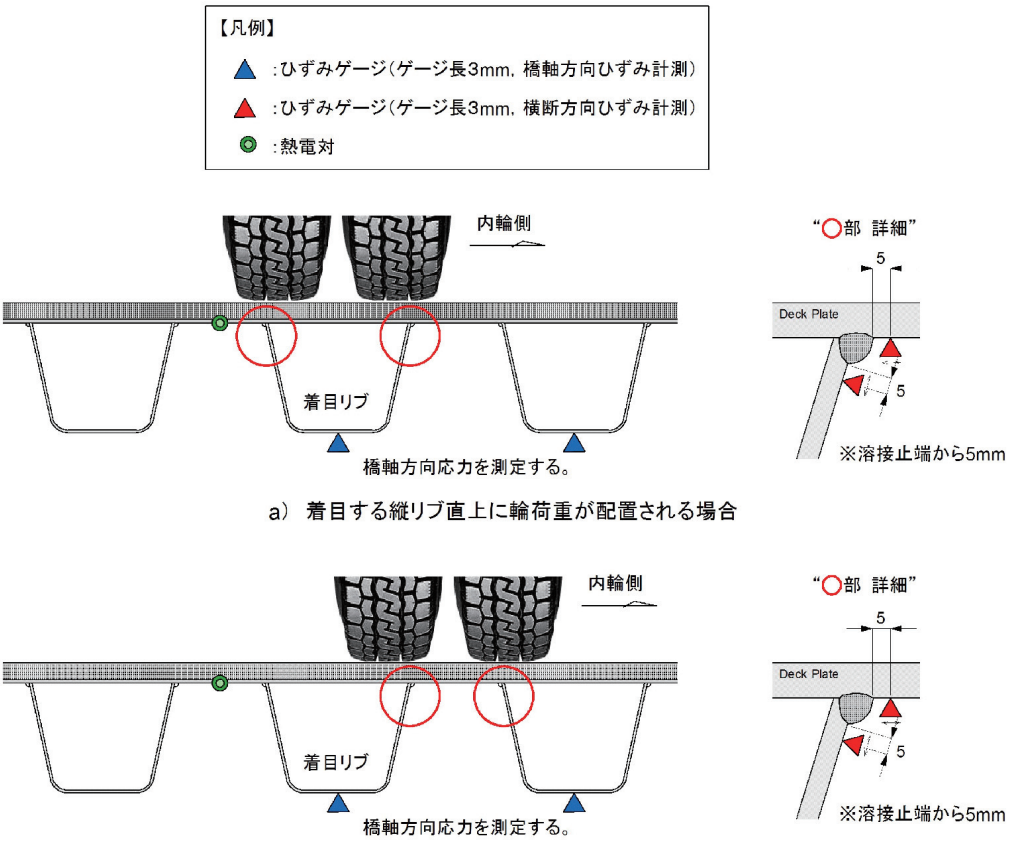


図 3.10-3　ひずみゲージと熱電対の設置位置

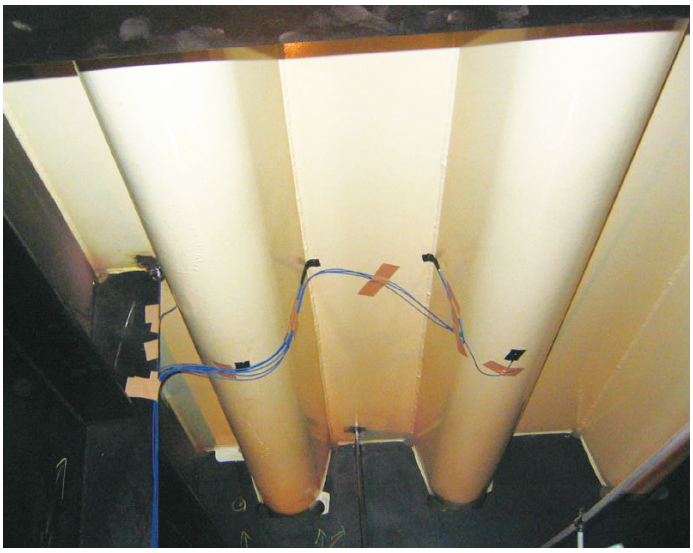
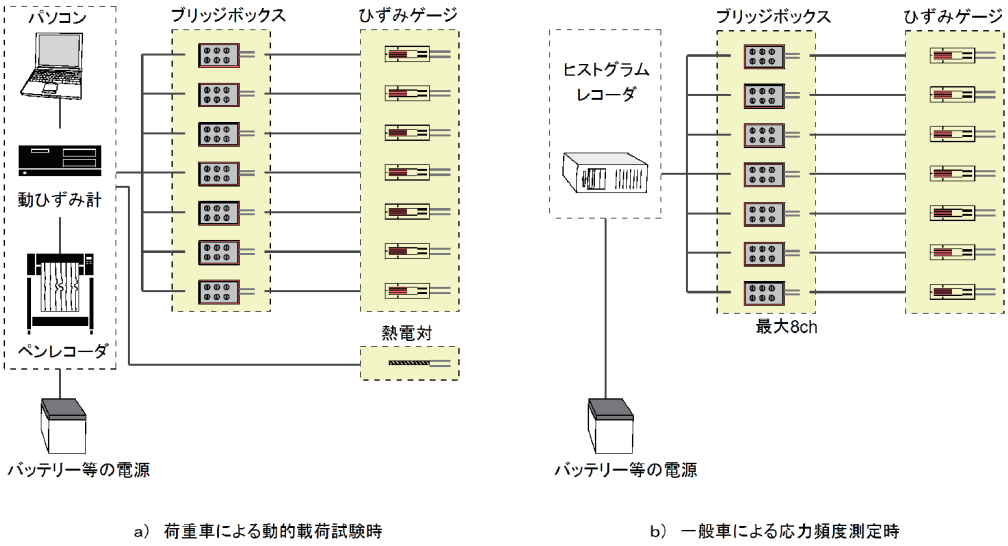


写真 3.10-4　ひずみゲージ設置位置の例

3) 測定方法

応力測定は，動的波形を計測することを基本とする。サンプリング周波数は，着目する応力の影響線長さや荷重車の速度などを十分に考慮して設定する必要がある。例えば，トラフリブとデッキプレート溶接部の応力については，1kHz 以上のサンプリング周波数が必要であると考えられる。また，応力頻度測定は，各々レンジ毎に求められて記録されるため，レンジオーバーとならないよう十分注意しなければならない。**図 3.10-4** に計測システムの一例を示す。計測を実施するためには電源を確保する必要がある。



a） 荷重車による動的載荷試験時　　b） 一般車による応力頻度測定時

図 3.10-4　応力測定における計測システムの一例

4) 荷重車載荷試験について

荷重車計測では，荷重車の走行位置（横断方向載荷位置），走行速度，載荷試験時の路面温度などに着目し，これらのパラメータと着目部の発生応力度の相関を検討する。また，応力頻度測定のレンジを決めるためのデータともなる。

荷重車は，載荷試験に際して軸重を計測しておかなければならない。荷重車の重量は発生応力が最大限となるよう，カウンターウェイト等を積載させて法定荷重近くまでに調整したダンプトラック，あるいは大型トラックを用いる。荷重車はトラックスケール，あるいは現地においてマット式軸重計などで軸重を計測する。また，同一橋梁で異なる時期に載荷試験を行う場合は，同一車両を使用することを原則とする。

図 3.10-5 に荷重車載荷試験時の測定体制図を示す。計測手順は以下のとおりである。1)荷重車の接近にともない助手席①から路上の②に連絡し，③が写真撮影の準備を行う。2)②は，箱桁内部の④に連絡し，④は⑤に計測開始の指示を行う。3)③は，荷重車の通過時の写真撮影を行う。②は，荷重車が計測地点を通過したことを④に伝え，⑤は計測を終了する。

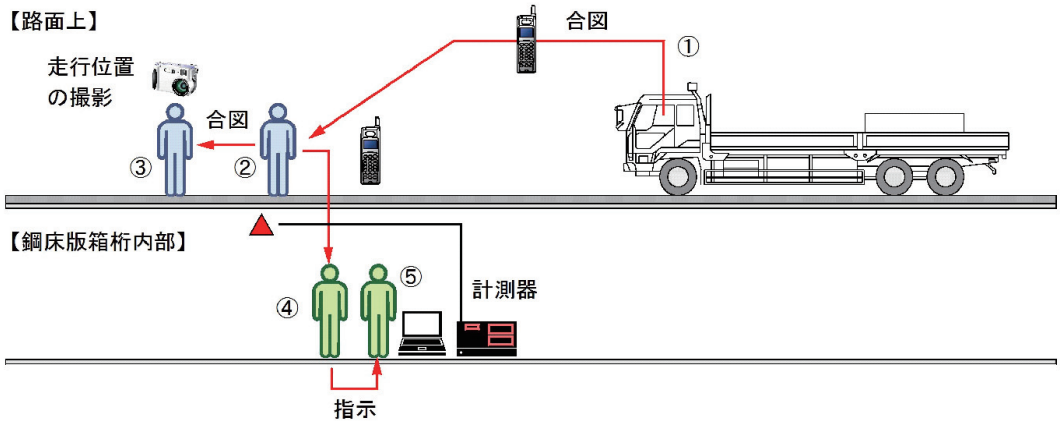


図 3.10-5　荷重車載荷試験時の測定体制図

(3) 応力頻度測定について

応力頻度測定は，交通量の日変動が大きいため，計測機関については十分に検討しなければならないが，一般には 1 週間の連続計測を行うのが望ましい。これが不可能な場合は，平日に 24, 48, 72 時間のいずれかで連続計測を行うのがよい。応力頻度測定のレンジは荷重車計測で得られた最大値を参考として上限値を決定し，50 分割程度とする。

応力頻度測定より得られる生データは複雑な変動波形であり，検討に使用できるよう，データを解析する必要がある。ここではレインフロー法とピークバレー法による解析を行うことを基本とする。前者からは応力範囲頻度分布とその頻度分布より算出される等価応力範囲，後者からは応力変動波形の極大値と極小値の計数の分布が得られ，これらを分析することより対象橋梁毎の荷重実態（特に軸重の実態）を考察し，鋼床版疲労損傷の発生要因の解明に役立たせることができる。

以上，荷重車載荷試験と応力頻度測定について示したが現場計測には様々な制約がある。そのため，応力測定の要否や，ここに示した測定方法，測定内容については，現場の測定条件を事前に十分に確認しておく必要がある。

本研究では上記の方法で 5 種類の橋梁を対象として応力測定を実施して発生応力を把握するとともに，各橋梁での測定結果を比較することにより発生応力度と疲労損傷の関係について考察を行った。これらの詳細については **5 章**で述べる。

3.11　まとめ

本章では，デッキプレート貫通き裂に着目した鋼床版橋梁の段階的調査方について検討した。段階的調査法は、デッキプレート貫通き裂の検出を目的とした鋼床版橋梁の点検調査手法について、ある程度の信頼性を維持しつつ効率的に行うことを目標とした。その結果、一般に道路橋で行われる定期点検から詳細調査に至る手順を参考にしつつも、鋼床版のデッキプレート貫通型き裂を生じている可能性の高い径間や部位を段階的スクリーニングで絞り込んでゆく手法が合理的な調査方法となりうることがわかった。また同じ段階的調査の過程でデッキプレート貫通き裂以外の鋼床版に発生する疲労き裂の多くが検出できうる。調査の適用条件について**表 3.11-1** に整理した。

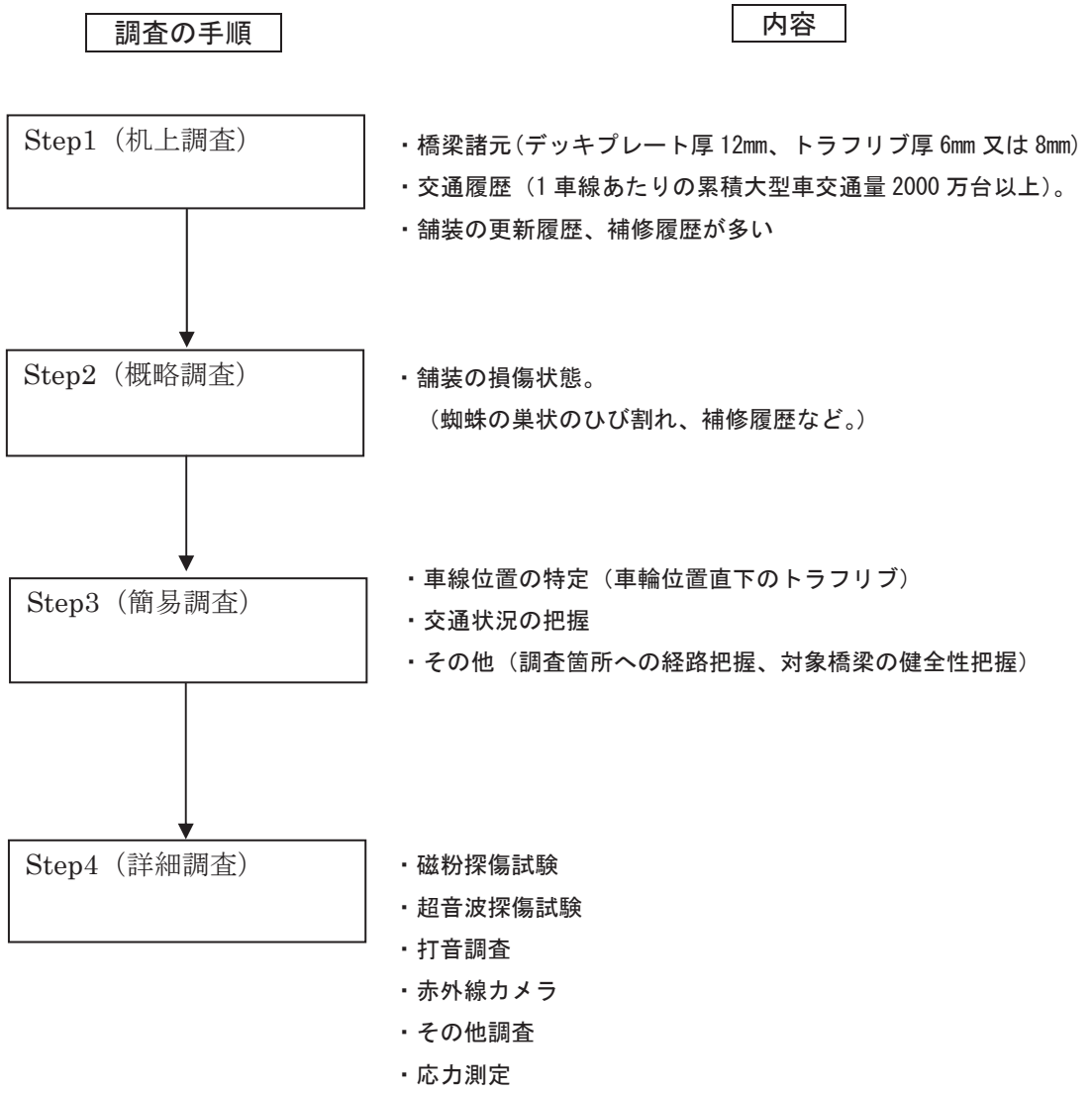


図 3,11-1　段階的調査のフロー

表 3.11-1　鋼床版検査手法と適用

検査手法		対象き裂				適用条件		
		デッキプレートとトラフリブ溶接部		垂直補剛材上端部	縦リブ横リブの交差部			
		デッキプレート貫通き裂	溶接ビード貫通き裂			足場	橋面検査時舗装除去	検査時塗膜除去
舗装状況観察		蜘蛛の巣（格子）状の舗装ひび割れ	トラフリブウェブ上の舗装縦ひび割れ	主桁ウェブ上のわだちと舗装ひび割れ	－	不要	不要	不要
交通状況観察		大型車荷重混入率・大型車高頻度通行車線						
損傷部観察	目視	き裂有無	塗膜割れ有無	塗膜割れ有無	塗膜割れ有無	必要（箱桁内部は桁高さによる）	必要	必要
	計測	位置・長さ	ビード形状・長さ	ビード形状・長さ	長さ			
MT（PT）		き裂有無・長さ	き裂有無・長さ	き裂有無・長さ	き裂有無・長さ			
UT	クリーピング	き裂有無	溶接溶込み深さ	－	－			望ましい
	直射	－	き裂有無	－	－			
	斜角	き裂深さ	－	き裂深さ	き裂深さ			
	表面SH	き裂有無	溶接溶込み深さ	－	－			
（渦流探傷）		き裂有無	－	－	－		不要	不要
打音試験		リブ内滞水有無	－	－	－			
赤外線カメラ		リブ内滞水有無	－	－	－	不要		
荷重車載荷試験		デッキ下面ひずみ	トラフリブ側面ひずみ	溶接止端部ひずみ	溶接止端部ひずみ	必要（箱桁内部は桁高さによる）	不要だが温度計測必要	必要
応力頻度測定		応力頻度	応力頻度	応力頻度	応力頻度			

PT：Liguid Penetrant Testing
MT：Magnetic Particle Testing
UT：Ultrasonic Testing]

【参考文献】

3.1) 貝沼重信，山田健太郎，上仙靖，岩崎雅紀，西川武宏：縦リブの疲労き裂が鋼床版に及ぼす影響の実測と解析，構造工学論文集　Vol.42A，pp.927-936，1996.3
3.2) T. Gurney: Fatigue of Steel Bridge Decks, Transport Research Laboratory, State-of-the-art review8, 1992
3.3) 岩崎雅紀，永田考，西川武宏，小塩達也，山田健太郎：アスファルト舗装が鋼床版の疲労に及ぼす影響，土木学会論文集　No.563／I-39，pp.161-171，1997.4
3.4) 例えば，日本道路協会：鋼橋の疲労，1997.5
3.5) 国総研資料第188号　道路橋の交通特性評価手法に関する研究　平成16年7月
3.6) 国総研資料第295号　道路橋の設計荷重に関する試験調査報告書　平成18年1月
3.7) 国総研資料第180号　大型車の振動特性が橋梁に及ぼす影響に関する研究（Ⅱ）平成16年5月
3.8) 例えば，平林，牛越，木ノ本：首都高速道路における鋼床版疲労損傷，鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集Vol.10，2007.8
3.9) 日本非破壊検査協会　超音波探傷試験Ⅰ，1999

第４章　鋼床版現地調査

4.1　はじめに

１章から３章の検討に並行して，鋼床版の段階的スクリーニング調査手法及び点検技術の適用性について実橋での調査を行って検討した。

4.2　調査の流れ

ここでは，調査点検をその内容によって**表 4.2-1** に示す 4 段階で行った。本章では現地調査を行っている当時の想定で様々な調査の内容を便宜上４段階に区分しているが，本研究で最終的に提案している調査段階のフローとは必ずしも一致していない。本章で区分してあつかう調査の段階を**表 4.2-1** に示す。

表 4.2-1　調査点検の種類

ステップ	目的と内容		方法	
机上調査 （Step-1）	調査橋梁の選定	図面の収集分析 交通センサス等のデータ分析	----	----
簡易調査 （Step-2）	現地情報の収集 損傷度合の予測	現地調査 （交通実態，舗装の劣化など）	目視，体感， 計数	主に橋面からの目視調査
桁内調査 （Step-3）	損傷調査	桁内部調査を含む本格調査	目視， 非破壊検査	鋼床版裏面，箱桁内部から の調査，足場からの調査
詳細調査 （Step-4）	損傷調査 損傷要因調査	桁内部調査を含む本格調査	非破壊検査， 応力頻度測定	鋼床版裏面，箱桁内部から の調査，足場からの調査

(1)机上検討

机上検討は，橋梁台帳などの橋梁リストから，点検・調査対象としてスクリーニングを行う橋梁を選定する。

1） 調査対象地域の選定

「地域」とは，阪神湾岸地域というような広域地域や，特定の路線を意味する。調査対象地域の選定にあたっては，その地域で予想される交通実態や地域特性を考慮した。本共同研究では，鋼床版の疲労損傷が主に都市部で報告されていることを鑑み，**図 4.2-1** に示す全国 10 地区のうち，北海道地区，関東地区，名古屋地区，阪神地区，北九州地区の 5 地区を抽出した。**図 4.2-1** は，(社)日本橋梁建設協会のデータベース[4.1)]より，1961 年～2004 年に完成した鋼床版橋梁の所在を調査し計数したものである。これら５地区に該当しない橋梁は，「その他の地区」として分類することとしたが，この場合，その橋梁のおかれている地理的条件等を十分に把握した。

2） 調査対象地域における鋼床版橋梁リストの作成

調査対象地域を選定した後，橋梁台帳や橋建協などのデータベースから地域内の全ての鋼床版橋梁リストを作成した。

3） 調査対象橋梁の選定

橋梁リストの全橋について，以下に示す項目をチェックし，あらかじめ設定したスクリーニング条件により，簡易調査対象橋梁の選定を行った。ここでは，本研究において設定したスクリーニング条件を示す。

①供用年数

データベースや参考図書などから供用年数を確認した。本研究では，10 年～19 年，20 年～29 年，30 年以上の 3 つにおおよそ分類した。

②鋼床版の構造諸元

完成図書から，鋼床版構造を確認した。例として，縦リブの種類（デッキプレート貫通き裂が発生する閉断面の縦リブを優先），縦リブ支間（2,500mm を超えるものを優先），主桁と輪荷重位置（一致しているものを優先），縦リブの現場継手形式(突合せ溶接継手を優先),などを確認項目とし,調査の優先順位を決めた。

③交通実態

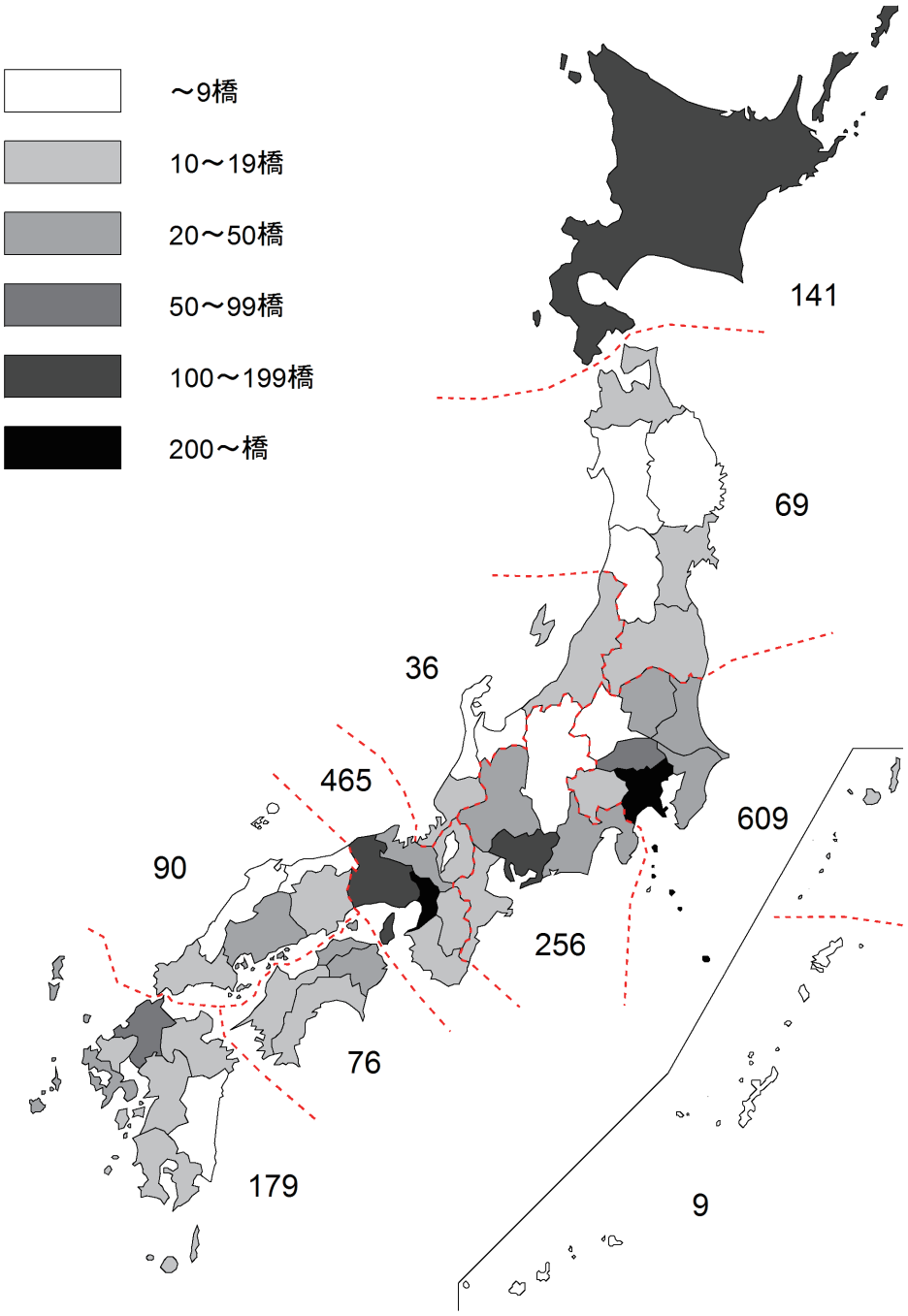
過去の交通センサスデータなどから，各路線の大型車交通量と混入率を概略把握した。また，過去の交通センサスデータを利用して，累積大型車交通量を推定した。この場合， 1 車線あたりの大型車交通量として把握した。

④地域特性

選定した地域の特性を把握することで，各橋梁における交通実態を推測した。地域特性とは，地理，土地利用，産業，交通網など，いわゆる交通計画学的な視点が必要となる。具体的には，一般に交通量が少ないと思われた田園地区の橋梁が，実際には大型車の抜け道になっていた事例や，重量物の製作工場からの大型車の日常的な通行路線になっていた事例などがあった。

以上の条件を考慮し，調査対象橋梁の優先度を設定した。本研究では，これまで疲労損傷の報告がなされている橋梁が位置する地域特性を考察し，特に港湾，重工業地区の重交通路線に位置する橋梁に重点を置いた。また，対象橋梁が河川の最も河口側（下流側）に位置する場合は，交通の要衝となっている可能性が高く，重要性も高いと判断した。

以上の手順により 1 次スクリーニングを行った。その結果，次の段階で行う簡易調査の対象とした計 49 橋（延べ 50 橋）のリストを**表 4.2-2** に，それぞれの所在位置を**図 4.2-2** に示す。



注：延べ数には，直轄以外の道路管理者による鋼床版橋梁を含む。

図 4.2-1　机上検討の対象とした橋梁の延べ数

表 4.2-2　机上検討で抽出された橋梁一覧

地区	記号	完成（年）	所在	路線	発注者 道路管理者	橋梁形式	橋長（m）	縦リブ種類と形状（mm） 形状※2	板厚	寸法	床版厚（mm）	大型車交通量※3
北海道	H1	1975	北海道石狩市	国道231号	札幌開建	斜張橋ほか	1,413	U	6	330×250	12	402
	H2	1983	札幌市・石狩市	国道231号	札幌開建	2径間連続鈑桁橋	127	U	6	320×240	12	616
	H3	1984	札幌市厚別区	市道（山本線）	札幌市	3径間連続箱桁橋	93	U	6	300×220	12	128
	H4	1986	札幌市中央区	市道（南郷線）	札幌市	ニールセンローゼ橋	150	U	6	320×260	12	データなし
	H5	1988	札幌市・当別町	国道337号	札幌開建	3径間連続箱桁／2主鈑桁橋	985	U	6	320×240	12,16	1,211
	H6	1990	北海道石狩市	国道337号	札幌開建	2径間連続斜張橋	230	U	6	320×260	12	1,941
	H7	1993	札幌市・石狩市	国道337号	札幌開建	3径間連続箱桁橋	281	U	6	320×240	12	1,520
	H8	2005	北海道江別市	国道337号	北海道開発局	3径間連続斜張橋ほか	972	U	6	320×240	12	169
関東	M1	1973	千葉県船橋市	国道357号	関東地整	連続箱桁橋	612	B	11	230×11	14	2,535
	M2	1980	千葉県市川市	国道357号	関東地整	3径間連続箱桁橋ほか	408	U	8	340×288	12	3,798
	M3	1980	千葉県市川市	国道357号	関東地整	3径間連続箱桁橋	210	U	8	310×274	12	3,798
	M4	1989	東京都江戸川区	国道357号	関東地整	連続箱桁橋	1,036	U	8	340×274	12	3,169
	M5	1980	東京都江戸川区	環状7号	東京都	連続箱桁橋	267	B	11	230×11	12	データなし
	M6	1989	東京都品川区	都道	東京都	3径間連続箱桁橋	310	U	6	320×240	12	データなし
	M7-1	1972	東京都品川区	都道	東京都	3径間連続箱桁橋	268.2	B	10	200×10	12	データなし
	M7-2	1983					268.2	U	8	310×220	16	
	M8-1	1974	東京都品川区	国道357号	関東地整	3径間連続箱桁橋	392	U	8	337×217	12	2,572
	M8-2	1984					392	U	8	337×217	12	
	M9	1974	横浜市鶴見区	市道	横浜市	斜張橋	678	U	6	300×200	12	データなし
	M10	1979	神奈川県平塚市	国道134号	神奈川県	3径間連続箱桁橋	698	U	8	320×250	12~20	2,023
	M11	1982（I期）	栃木県小山市	国道50号	関東地整	連続箱桁橋	※1	U	8	320×200	12	3,690
	M12	1978	茨城県猿島郡	国道4号	関東地整	単純箱桁橋	58.8	U	8	310×246	12	2,009
名古屋	C1	1978	名古屋市南区	地方道55号	名古屋市	3径間連続箱桁橋	192	U	8	348×280	12	1,220
	C2-1	1966	名古屋市南区	国道247号	愛知県	4径間連続箱桁橋	180	B	9.5	180×9.5	12	データなし
	C2-2	1983				4径間連続鈑桁橋	180	B	9.5	180×9.5	12	
	C3	1987	名古屋市南区	国道23号	中部地整	単純箱桁	71.6	U	6	320×240	12	3,310
	C4	1990	名古屋市瑞穂区	環状線	名古屋市	単純鈑桁	32	B	10,19	200×10(19)	12	608
	C5	1989	名古屋市守山区	国道19号	中部地整	単純箱桁	33.4	U	6	320×240	12	データなし
	C6	1991	名古屋市守山区	国道19号	中部地整	単純箱桁	33.4	U	6	320×240	12	データなし
	C7	1983	愛知県立田村	地方道125号	愛知県	3径間連続箱桁橋	240.3	U	8	320×230	12	1,912
	C8	1980	三重県四日市市	国道23号	四日市市	単純箱桁	32	不明				688
	C9	1990	静岡県静岡市	国道1号	中部地整	3径間連続箱桁橋	191	U	8	320×240	12	919
阪神	O1	1982~1985	神戸市中央区ほか	国道2号	近畿地整	2層連続高架橋	※1	U	不明			2,053
	O2	1966	神戸市中央区	市道	神戸市（港）	斜張橋	210	B	11	230×11	12	3,053
	O3	1975	神戸市中央区	神戸ハーバーハイウェイ	神戸市（港）	3径間連続箱桁橋	360	U	8	768x8	12～26	1,376
	O4	1982	兵庫県西宮市	市道	兵庫県	3径間連続箱桁橋	590	B	11	230×11	12	データなし
	O5	1987	兵庫県西宮市	県道	兵庫県	3径間連続箱桁橋	143	U	6	320x240	12	461
	O6	1972	大阪市大正区	市道	大阪市	連続箱桁橋	323.5	U	6	320x250	12～16	1,723
	O7	1993	大阪市大正区	市道	大阪市	連続アーチ橋	305	不明				1,680
	O8	1975	大阪市住之江区	府道	大阪市	連続箱桁橋	205	B	9.5	180×9.5	12	1,680
	O9-1	1964	大阪市住之江区	府道	大阪市	3径間連続ゲルバー箱桁橋	275	V	8	300×300	12	825
	O9-2	1974				3径間連続ゲルバー箱桁橋	275	U	8	300×250	12	825
	O10	1975	大阪市住之江区	市道	大阪市	斜張橋	442	不明				データなし
	O11	1983	大阪市住之江区	市道	大阪市	単純鈑桁	45.2	B	10	200×10	12	1,519
	O12	1984	大阪市・堺市	市道	大阪市	3径間連続箱桁橋	224	U	8	320×250	12	2,118
	O13	1981	兵庫県市川町	播但道	兵庫県	3径間連続箱桁橋	272	U	8	320×250	12	データなし
	O14	1992	神戸市	神戸ハーバーハイウェイ	神戸市（港）	5径間連続V脚ラーメン橋	400	U	6	320x240	12	2,752
北九州	Q1	1962	北九州市	有料道路	道路公団	吊橋	680.3	B			12	データなし
	Q2	1975	福岡県岡垣町	国道3号	九州地整	3径間連続箱桁橋他	380	U	6	320x6x240	12	2,033
	Q3	1984	太宰府市	国道3号	九州地整	単純箱桁	42.0	U	6	320x6x240	12	データなし
	Q4	1988	福岡市東区	市道	福岡市	3径間連続箱桁橋	226	U	6	320x6x240	12	151
	Q5	1990	北九州市	市道	北九州市	2径間連続箱桁橋	79.2	U	6	320x6x240	12	137
	Q6	1993	福岡市東区	市道	運輸省	3径間連続箱桁橋	510	U	6	320x6x240	12	データなし
	Q7	1994	北九州市門司区	市道	北九州市	単純箱桁	82.0	U	6	324x6x242	12	データなし

【注意】
※1：連続高架橋のため鋼床版部分の橋長が不明。
※2：縦リブ形状のうち，UまたはV：Uリブ等の閉断面リブ，B：バルブプレートを用いた閉断面リブを表す。
※3：大型車交通量は平成11年度交通センサスデータより，1車線あたりの12時間大型車交通量を表す。

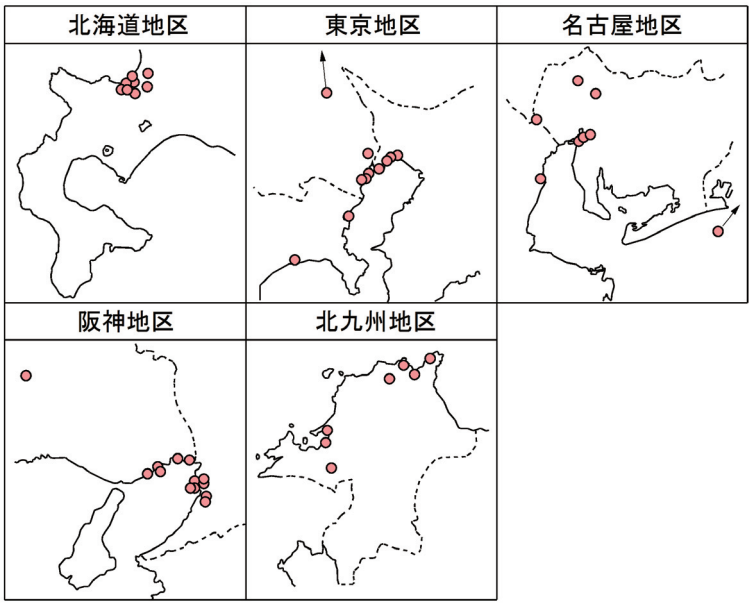


図 4.2-2　机上検討で１次スクリーニングされた橋梁の位置
（図中矢印は欄外であることを示す。）

(2)簡易調査

簡易調査は，机上検討で作成した対象橋梁リストに基づき，現地情報の収集を目的として現地に赴いて調査するものである。簡易調査にあたっては，調査員は以下に示す調査項目を事前に確認し，調査に赴くこととした。

①　完成図書との整合性の確認

机上検討で確認した完成図書と,現地の状況が大きく異なっている場合があるため,両者の整合性を確認した。両者が異なるような事例として，供用開始からの車線数の増減やレーンマーク位置の変更，橋梁本体の改造などが例として挙げられる。

②　舗装劣化状況の確認

鋼床版の舗装は，その路線の交通実態や，鋼床版の健全性を把握する重要なバロメータといえる。また，部分的な補修が頻繁になされている場合は，鋼床版の疲労の危険性が高いといえる。なお，舗装の劣化と鋼床版の疲労との関係については，3.3 節において詳述する。

③　交通実態の把握

交通実態を把握するために，路線交通量，大型車交通量，大型車の種類や荷物の種類，走行速度などのパラメータを調査した。この場合，簡易な交通量実態調査（車輌台数，車種，軸数等）を行うのが有効である。本共同研究では，簡易調査において，歩道部などからの目視による簡易交通量調査を実施している。3.4 節において詳述する。

④　交通状況の把握

交通状況とは，各車線が実際にどのような使用をされているか把握した。これは，

橋梁の完成図書のみで把握することは困難であり，現地で確認することでのみ把握できることである。現地で把握した特異な交通状況の例を，3.4 節において示している。

⑤　輪荷重走行位置の確認

舗装のわだち掘れなどの状態や目視調査から，大型車の輪荷重走行位置を確認した。路面の幅員が狭い場合や，片側 1 車線の対面交通の場合（**写真 4.2-1**），さらに簡易の壁高欄やガードレールが設置されている場合など，ドライバーの心理的に狭隘な印象を与え，走行位置のばらつきを小さくし，これが鋼床版の疲労に大きく影響するような場合も考えられた（**写真 4.2-2**）。

⑥　その他

現地で確認された事項については，全て調査事項とした。例としては，伸縮装置や高欄の損傷，塗装の劣化，桁の振動などが挙げられた。また，桁内調査の実施に向けて，マンホールの位置の確認など桁内へのアプローチ方法についても検討した。



写真 4.2-1　大型車の対面交通の状況



写真 4.2-2　路肩のガードレール設置例

(3) 桁内調査

桁内調査は，簡易調査の結果，疲労損傷の発生が懸念される橋梁を対象に，疲労損傷の有無の確認を目的として実施するものである。具体的には，箱桁内部や検査路などから鋼床版下面の損傷の有無を目視により調査した。

①　目視調査の留意点

目視調査を行うにあたって，調査員は鋼床版の疲労損傷の種類と，その発生位置や損傷の要因について理解し，重点的な調査位置を把握しておく必要がある。例えば，デッキプレート貫通き裂の場合，簡易調査において舗装に異常が認められた部分を調査重点部として，超音波探傷試験を行った。また，ビード貫通型クラックは，輪荷重直下の溶接線を中心に目視調査することを基本とした。また，縦リブと横リブ交差部のスリット周辺の損傷については，縦リブ内部に設けられる密閉ダイアフラムによる拘束が交差部の応力に与える影響 [4.2),4.3)] を考慮して，縦リブのボルト現場継手部に隣

接する交差部を重点的に調査した。

② 溶接部の調査

デッキプレートと縦リブの溶接部などにおけるビード形状を把握するため，印象材などによる型取りや，超音波探傷法を利用した溶込み量の確認を行った。これらの技術については，3.10 節において説明する。

③ 橋梁本体の健全性の確認

塗装の健全性や排水機能の確認，高力ボルト接合部の不具合など，疲労損傷の確認とともに橋梁本体の健全性についても確認した。

④ 超音波探傷試験

超音波探傷試験は，目視調査によって塗膜割れなど，疲労損傷の可能性がある部位はもちろんのこと，デッキプレート貫通き裂の発生の可能性を把握することを目的に実施した。しかし，溶接線全長を対象に超音波探傷試験を実施することは極めて困難であり，あらかじめ探傷箇所を絞り込む必要がある。具体的には，簡易調査において，舗装劣化が激しい箇所を中心に実施するのが効率的である。超音波探傷試験については，3.7 節に詳細を示す。

⑤ 打音検査と赤外線カメラによる調査

デッキプレート貫通き裂が発生した場合，き裂部分から縦リブ内部に路面の雨水およびアスファルト成分を含んだ泥分が流入し，これが堆積している場合が多い（**写真 4.2-3**）。本共同研究では，デッキプレート貫通き裂による縦リブ内部への堆積物の有無を確認することを目的に，縦リブの打音検査や，アプローチが困難な箇所については赤外線サーモトレーサによる遠隔撮影による調査を行い，その適用性の検討を行った。赤外線サーモトレーサを用いた非破壊検査については，3.9 節において詳述する。



写真 4.2-3　トラフリブ内部に堆積した土砂

(4) 詳細調査と応力測定

詳細調査は，実橋で応力測定を実施し，疲労損傷が確認された鋼床版の応力状態を把握するとともに，今後の点検調査の優先度を定める基本資料を得るものである。

本共同研究においても，デッキプレート貫通き裂が発生した鋼床版を中心に 6 橋（橋梁記号：H2，H7，M2，C1，C7，O12）で応力測定を行った。また，これまでの疲労損傷事例を整理することで，デッキプレート貫通き裂の発生した鋼床版の特性について考察した。詳細は，第 5 章に述べる。

4.3　調査結果

4.3.1　各調査段階における対象橋梁

各調査段階における調査対象橋梁の推移を，**表 4.3-1** に示す。記号は，**表 4.2-2** で示した橋梁を表している。

（1） 北海道地区

北海道地区は，平成 17 年 6 月に 8 橋を対象に簡易調査を実施した。その後，交通量の多い路線に位置した橋梁（H5，H7）や，舗装の劣化が見られた橋梁（H2）を対象に桁内調査を実施した。この 3 橋のうち，比較的交通量の多い H7 橋梁で荷重車載荷試験・応力頻度測定を実施し，H2 橋梁では，舗装の劣化と鋼床版の局部応力との関係を把握する荷重車載荷試験を実施した。

（2） 関東地区

北海道地区は，平成 16 年 10 月に 8 橋を対象に簡易調査を実施した。このうち，M2 橋で後にデッキプレートき裂が確認された。そこで，平成 17 年 8 月に M2 橋を対象に桁内調査および荷重車載荷試験・応力頻度測定を実施した。同様に，デッキプレート貫通型クラックが発生した M3 橋では，舗装の切削調査を行った。M10 橋は，共同研究範囲外での調査が実施されている。

（3） 名古屋地区

名古屋地区は，平成 16 年 6 月に 9 橋を対象に簡易調査を実施した。うち，C8 橋は，所在が確認できなかった。このうち，C7 橋では，舗装の損傷がみられたため，同年 8 月に桁内調査をした結果，疲労損傷が確認された。そこで，平成 18 年 3 月に，荷重車載荷試験・応力頻度測定を実施した。なお，デッキプレート貫通型クラックが発生した C1 橋は，共同研究範囲外での応力測定が実施されている。

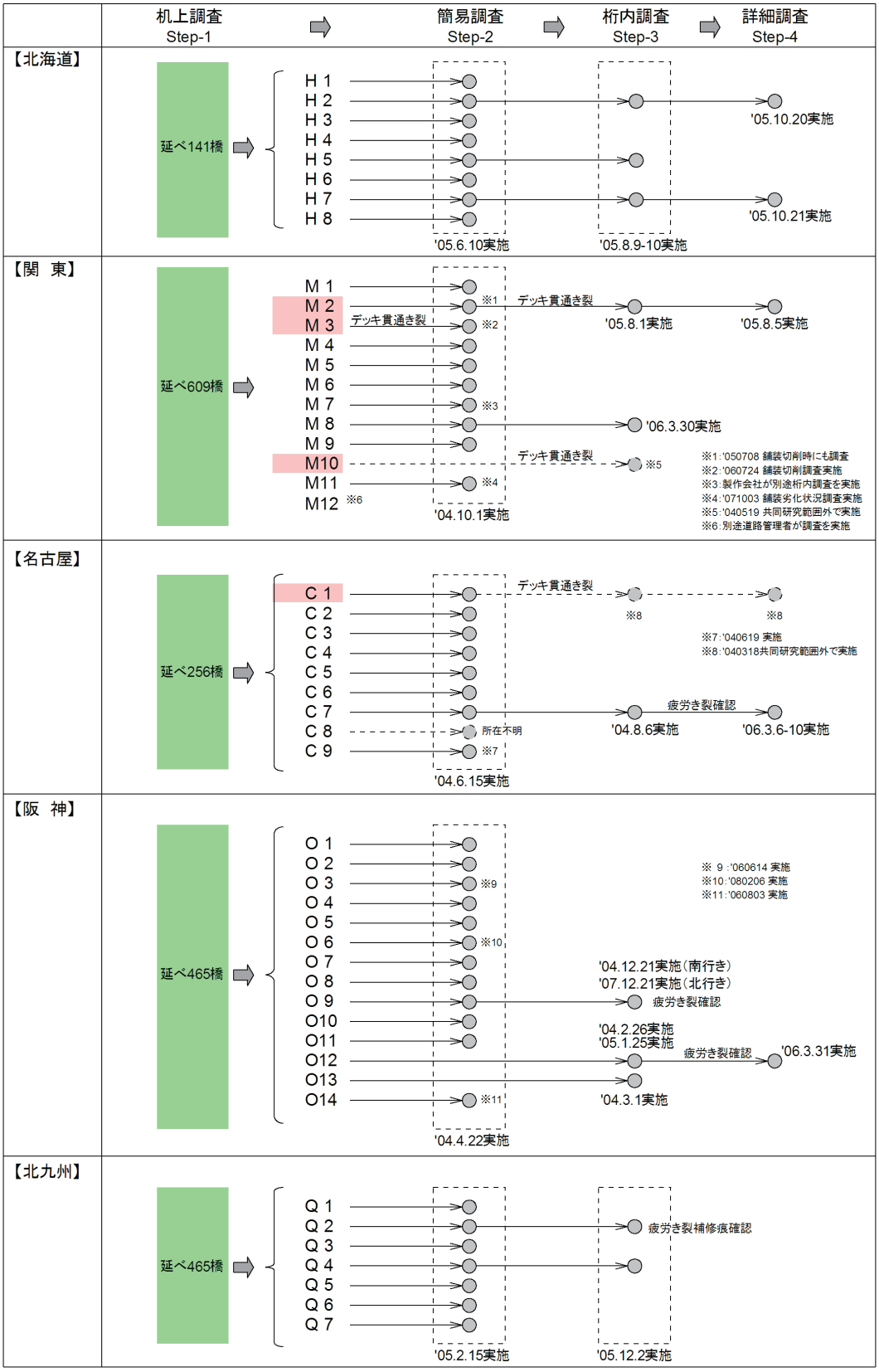
（4） 阪神地区

阪神地区は，平成 16 年 4 月に 10 橋を対象に簡易調査を実施した。このうち，交通実態が特に厳しいと判断された O9 橋について，平成 16 年と平成 19 年に桁内調査を実施した。その結果，多くの疲労損傷を確認した。一方，トラフリブ厚が 8 ㎜である O12 橋についても，平成 16 年，17 年に桁内調査を実施し，疲労損傷を確認した。この O12 橋では，平成 18 年に荷重車載荷試験・応力頻度測定を実施した。

（5） 北九州地区

北九州地区は，平成 17 年 2 月に 7 橋を対象に簡易調査を実施した。このうち，舗装の損傷が見られた Q2 橋と，港湾地区に位置する Q4 橋の桁内調査を実施した。結果，Q2 橋の縦リブ・横リブ交差部において溶接補修の痕と思われる箇所を確認した。

表 4.3-1　各調査段階における調査対象橋梁の推移



4.3.2　各橋梁の調査結果概要

(1) 北海道地区

①H1 橋

H1 橋は，国道 231 号に位置し一級河川の河口に架かる斜張橋である（**写真 4.3-1**）。簡易調査の結果，交通量は多くはないが，大型車の混入率は高く感じられた。路面観察の結果，主桁ウェブ位置に舗装ひび割れが確認された（**写真 4.3-2**）。本橋は，過去にトラフリブ突き合わせ溶接部などにおいて疲労損傷が報告[4.4]されており，補強がなされている。



写真 4.3-1　H1 橋全景



写真 4.3-2　舗装ひび割れ

②H2 橋

H2 橋は，国道 231 号に位置し一級河川に架かる鈑桁橋である（**写真 4.3-3**）。簡易調査において路面調査を行った結果，ほぼ全長にわたって舗装の劣化や損傷が見られた。そこで，桁内調査（点検通路からの調査）を実施したが，縦リブと横リブ交差部などにおいて塗膜割れはあったものの，疲労き裂は確認されなかった。H2 橋は，舗装の損傷が多く見られたため，舗装の劣化が鋼床版の局部応力に与える影響を検討する荷重車載荷試験を実施した。詳細は，第 5 章において示す。



写真 4.3-3　H2 橋全景



写真 4.3-4　超音波探傷試験

③H3 橋

H3 橋は，市道が JR を跨ぐ位置に架けられた耐候性橋梁である（**写真 4.3-5**）。ダンプトラックの交通量が多い。簡易調査の結果，舗装の劣化は特に認められなかったが，排水桝の閉塞や凍結防止剤の影響と思われる排水管の腐食（**写真 4.3-6**）が見られた。また，内桁側の鋼材表面では十分に安定した保護性さびとはなっていなかった。



写真 4.3-5　H3 橋全景



写真 4.3-6　排水管の腐食

④H4 橋

H4 橋は，都市内の河川に架けられたニールセンローゼ橋である（**写真 4.3-7**）。大型車の交通量は少なく，ほとんどが乗用車である。簡易調査の結果，舗装の大きな劣化は認められなかったが，排水桝が閉塞し機能が低下していた。また，横構と主桁との取り合いに一箇所，塗膜割れが認められた（**写真 4.3-8**）。



写真 4.3-7　H4 橋全景



写真 4.3-8　塗膜割れ

⑤H5 橋

H5 橋は，国道 337 号の一級河川上に架けられた，橋長 1km 近い長大橋である（**写真 4.3-9**）。都市間の連絡道として使われる一方，ダンプトラックの交通量が多い（**写真 4.3-10**）。また，片側 1 車線のため，車両の通行が連続する。

簡易調査では，舗装の損傷が複数箇所でみられたほか，伸縮装置の損傷や地覆コンクリートの凍害も確認された。また，簡易調査に引き続いて，桁内調査を実施した。その結果，縦リブと横リブの交差部において塗膜割れが多数確認されたが，磁粉探傷試験の結果，疲労き裂は確認されなかった。しかし，本橋の交通実態を考慮すると，今後も継続的な点検・調査が必要であると考えられる。



写真 4.3-9　H5 橋全景



写真 4.3-10　交通実態



写真 4.3-11　伸縮装置の腐食



写真 4.3-12　舗装の損傷

⑥H6 橋

H6 橋は，国道 337 号に位置する斜張橋である（**写真 4.3-13**）。国道 231 号と合流する部分にあり，交通量も多く，ダンプトラックやトレーラなどの大型車も多い（**写真 4.3-14**）。

簡易調査の結果，主桁位置と思われる箇所に舗装の縦ひび割れがあり，ダイアフラム位置と思われる箇所に横方向のひび割れが確認された（**写真 4.3-15**）。また，中央分離帯の鋼製高欄に腐食や車両衝突痕が認められるとともに，箱桁下フランジのボルト添接部が腐食していることから，箱桁内部が滞水している可能性がある（**写真 4.3-16**）。



写真 4.3-13　H6 橋全景



写真 4.3-14　交通実態



写真 4.3-15　縦方向の舗装ひび割れ

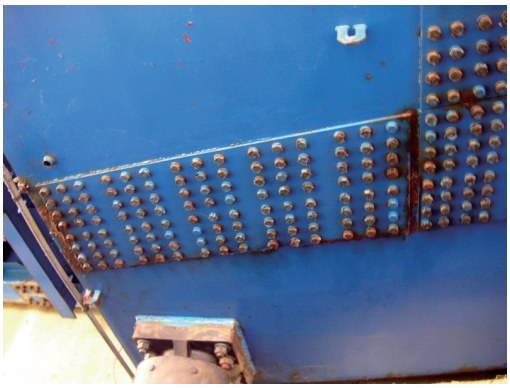


写真 4.3-16　ボルト添接部の腐食

⑦H7 橋

H7 橋は，国道 337 号に位置する上下線分離の 3 径間連続箱桁橋である（**写真 4.3-17**）。国道 337 号は，都市間を結ぶ道路で，ダンプトラックやトレーラなどの大型車も多い。簡易調査において路面調査を行った結果，ほぼ全長にわたって主桁位置の舗装のひび割れが見られた（**写真 4.3-18**）。引き続き，桁内調査を実施したが，供用年数が浅いこともあり，目視調査や超音波探傷試験で疲労き裂は確認されなかった。ただし，H7 橋は，交通実態が厳しいこともあり，荷重車載荷試験と応力頻度測定を実施した。詳細は，第 5 章において示す。



写真 4.3-17　H7 橋全景



写真 4.3-18　舗装のひび割れと損傷

⑧H8 橋

H8 橋は，江別市に位置し，2005 年に供用を開始した斜張橋である（**写真 4.3-19**）。本橋では，鋼床版の疲労耐久性向上を目的とした ECC（HPFRCC）舗装が採用されている[4.5]。簡易調査当時，本橋の前後区間が未開通であったこともあり，交通量は極めて少なく，路面状況も良好であった（**写真 4.3-20**）。



写真 4.3-19　H8 橋全景



写真 4.3-20　交通実態と路面の状況

(2) 関東地区

①M1 橋

M1 橋は，国道 357 号に位置するバルブプレートを縦リブとする鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-21**）。国道 357 号は，東京湾に沿う形で延びる湾岸道路であり，交通実態は極めて厳しい。簡易調査を実施した結果，舗装の打ち換えがなされているためか舗装の状態は良好であったが（**写真 4.3-22**），一部の排水桝が機能していないことを確認した。本橋は，重交通路線に位置していることから，今後も継続的な調査・点検が必要であると考えられる。



写真 4.3-21　M1 橋全景



写真 4.3-22　交通実態と路面の状況

②M2 橋

M2 橋は，国道 357 号が一級河川を渡る箇所に架かる鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-23**）。当該路線の交通実態は，大型トレーラなどの通行も多く極めて厳しい。平成 16 年 10 月に簡易調査を実施した結果，舗装のわだち掘れやひび割れなどの損傷も著しく，疲労損傷の発生が懸念されていた（**写真 4.3-24**）。そして，M2 橋では翌年 6 月にデッキプレート貫通き裂が発生した。これを受けて，同年 7 月に路面切削調査，8 月に桁内調査および荷重車載荷試験，応力頻度測定を行った。荷重車載荷試験と応力頻度測定の詳細は，第 5 章において示す。なお，本橋では，主桁垂直補剛材上端部にも疲労き裂が多数確認されている。



写真 4.3-23　M2 橋全景



写真 4.3-24　路面の状況

③M3 橋

M3 橋は，M2 橋に近接する国道 357 号の鋼床版箱桁橋であり，国内で 2 例目となるデッキプレート貫通き裂が確認された橋梁である(**写真 4.3-25**, **写真 4.3-26**)。本共同研究では，調査等の実施はないが，平成 18 年 7 月に，桁端部の舗装の損傷部分について舗装切削調査を実施し，新たなデッキプレート貫通き裂が発生していないことを確認した（**写真 4.3-27**)。



写真 4.3-25　M3 橋の交通状況

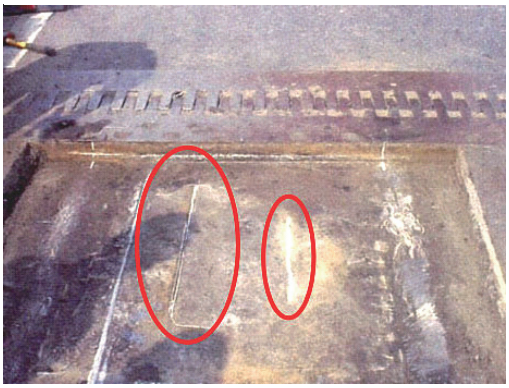


写真 4.3-26　疲労き裂の発生状況



写真 4.3-27　舗装切削調査状況

④M4 橋

M4 橋は，M1 橋，M2 橋と同一路線である国道 357 号の鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-28**)。簡易調査で路面の確認をした結果，舗装の状態は良好であったが，打ち換え工事がなされている可能性もある（**写真 4.3-29**)。本橋は，M2 橋と同じ重交通路線上に位置しているため，今後も継続的な調査・点検の実施が必要であると考えられる。



写真 4.3-28　M4 橋全景



写真 4.3-29　路面の状況

⑤M5 橋

M5 橋は，東京環状 7 号線に位置する陸橋で，バルブプレートを縦リブとする鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-30**）。簡易調査では，歩道部がないため桁下からの目視調査のみの実施となったが，特に変状は認められなかった（**写真 4.3-31**）。



写真 4.3-30　M5 橋全景



写真 4.3-31　鋼床版の状況

⑥M6 橋

M6 橋は，東京湾岸の埋め立て地に架かる 3 径間連続鋼床版箱桁橋である。架橋地点が港湾地区であり，コンテナトレーラなど大型車の交通量は多い（**写真 4.3-32**）。簡易調査の結果，舗装の補修痕が点在しており，交通実態の厳しさを鑑みると，疲労損傷の発生の可能性は相対的に高い橋であると考えられる（**写真 4.3-33**）。



写真 4.3-32　M6 橋全景



写真 4.3-33　舗装の補修痕と劣化箇所

⑦M7 橋

M7 橋は，M6 橋に隣接しており，同様に 3 径間連続鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-34**）。架橋地点が港湾地区であり，コンテナトレーラやダンプトラックなど大型車の交通量は多い。簡易調査の結果，舗装の劣化箇所が点在しており，疲労損傷の発生の可能性が指摘された（**写真 4.3-35**）。そこで後日，製作会社による桁内調査が実施されたが，疲労損傷は確認されなかったと報告されている。

なお，本橋は上下線分離構造で，縦リブ形状など両者の鋼床版構造は異なっている。



写真 4.3-34　M7 橋の全景



写真 4.3-35　舗装の補修痕

⑧M8 橋

M8 橋は，M1～M4 橋と同じ，国道 357 号に位置する 3 径間連続箱桁橋であるが，国道 357 号が途中で分断されていることから，交通実態は若干異なり，先述の 4 橋に比べると厳しくはないと考えられる（**写真 4.3-36～写真 4.3-37**）。しかし，湾岸

路線特有の地域特性や荷重条件が予想されたため，路面調査を含む桁内調査を実施することとした。

路面調査では，亀甲状の舗装ひび割れなどが複数箇所確認されたため，鋼床版の疲労損傷の発生が懸念された（**写真 4.3-38**）。引き続いて実施した桁内調査では，縦リブと横リブ交差部やトラフリブ突き合わせ溶接部などに塗膜割れが確認された（**写真 4.3-39**）。しかしながら，物理的な都合により，当該部位の非破壊検査の実施を行うことができなかったため，これらの塗膜割れが疲労き裂かどうかの判定をすることができなかった。

M8 橋における桁内調査の結果では，本橋は比較的健全であると考えられたが，供用年数や交通実態，舗装の損傷を鑑みる限り，今後の疲労損傷の発生の可能性も否定できないことから，継続的な調査・点検の実施が必要であると考えられる。



写真 4.3-36　M8 橋の全景



写真 4.3-37　交通状況

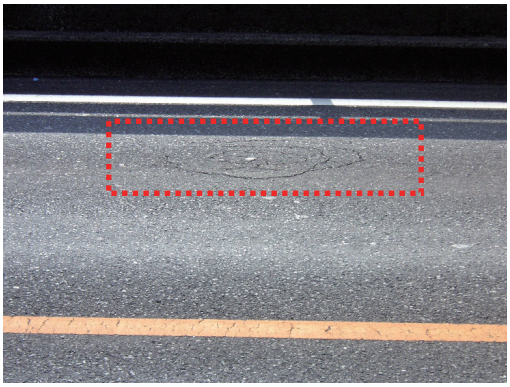


写真 4.3-38　舗装損傷の一例

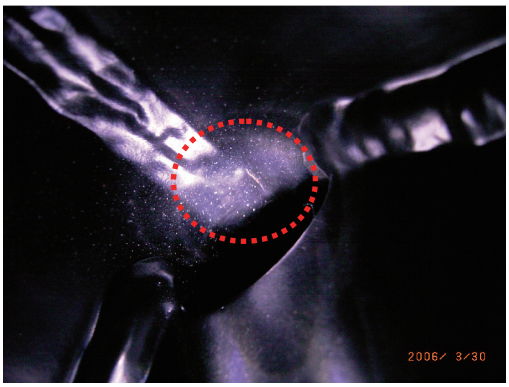


写真 4.3-39　塗膜割れの一例

⑨M9 橋

M9 橋は，Y 港内に位置する斜張橋である（**写真 4.3-40**）。簡易調査の結果，舗装の剥離やひび割れ，ずれ等の劣化・損傷が著しく，鋼床版の疲労損傷も懸念される（**写真 4.3-41**）。また，橋台周辺の地盤沈下も確認された。本橋の交通実態は厳しいことが予想されるため，今後も継続的な調査・点検の実施が必要であると考えられる。



写真 4.3-40　M9 橋全景



写真 4.3-41　舗装の劣化状況

⑩M10 橋

M10 橋は，国道 134 号にあり一級河川の河口に架けられた鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-42**）。本橋では，ビード貫通き裂のほかに，国内で初めてデッキプレート貫通き裂が発生した橋梁であり，これまでにも他機関によって種種の検討がなされている（**写真 4.3-43**）。

本共同研究の範囲での調査は行っていないが，（社）日本橋梁建設協会では路面調査や現地調査（ブラケット部のみの目視調査）を実施している（**写真 4.3-44**）。なお，本橋は平成 17 年に，鋼床版の疲労耐久性向上を目的に，ＳＦＲＣ（鋼繊維補強コンクリート）舗装が施工されている（**写真 4.3-45**）。



写真 4.3-42　M10 橋全景

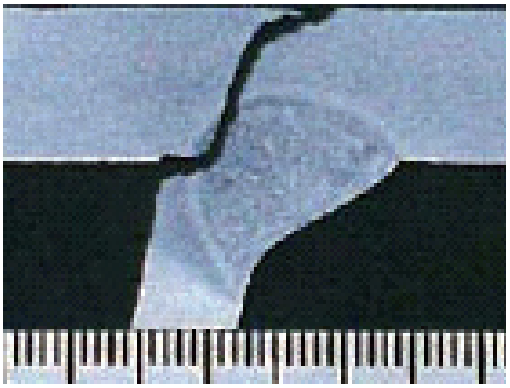


写真 4.3-43　疲労き裂のマクロ写真



写真 4.3-44　現地調査の状況



写真 4.3-45　ＳＦＲＣ舗装

⑪M11 橋

M11 橋は，栃木県の国道 50 号にある高架橋の一部を構成する鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-46**）。トラフリブとデッキプレート溶接部におけるビード貫通き裂の報告があり，その補強として鋼板のあて板の施工とＳＦＲＣ舗装が施工された。

本共同研究では，ＳＦＲＣ舗装の施工前に，鋼床版の疲労損傷と舗装ひび割れとの関係を把握する現地調査を実施した（**写真 4.3-47**）。



写真 4.3-46　M11 橋全景



写真 4.3-47　路面調査状況



写真 4.3-48 ビード貫通き裂



写真 4.3-49　ストップホール

⑫M12 橋

M12 橋は，茨城県の一般国道 4 号にある高架橋の一部を構成する鋼床版箱桁橋である（写真 4.3-50）。トラフリブとデッキプレート溶接部におけるビード貫通き裂があり，その補強として実施したデッキプレート上面のあて板とデッキプレートとを接合するボルト孔からさらにき裂が生じるという報告（写真 4.3-54）があった。

その他の箇所においてもビード貫通き裂（写真 4.3-55）が多数見つかっているほか，垂直補剛材上端部の疲労き裂（写真 4.3-56），トラフリブの突き合わせ溶接部（写真 4.3-57）においても疲労き裂が発見されている。

補強として，デッキプレートの上面のあて板，ストップホール，H形鋼による補強など（写真 4.3-58～写真 4.3-59）を実施している。



写真 4.3-50　M12 橋全景



写真 4.3-51　交通状況



写真 4.3-52　路面損傷状況



写真 4.3-53　路面損傷状況



写真 4.3-54　トラフリブ継手部からのき裂

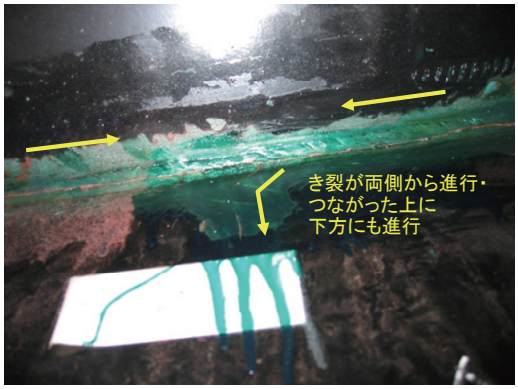


写真 4.3-55　ビード貫通き裂

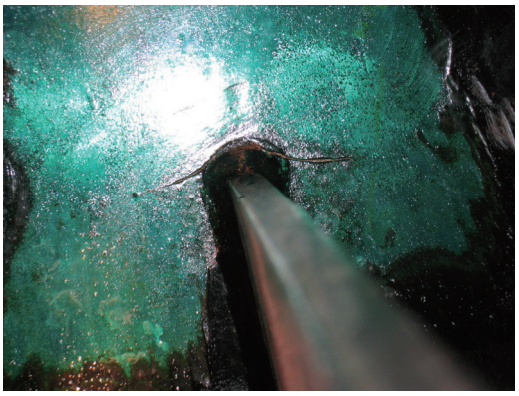


写真 4.3-56　垂直補剛材上端部のき裂



写真 4.3-57　ビード貫通き裂



写真 4.3-58　H型鋼による補強



写真 4.3-59　突き合わせ部の補強

(3) 中部地区

⑬C1 橋

C1 橋は，名古屋市南部の市道に位置する 3 径間連続鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-60**）。本橋では，平成 15 年に国内 3 例目となるデッキプレート貫通き裂が確認された（**写真 4.3-61**）。（社）日本橋梁建設協会では，平成 16 年 3 月に荷重車載荷試験と応力頻度測定を実施している。これらの詳細は，第 5 章にて示す。

一方，本共同研究では，疲労損傷の発生後に簡易調査を実施しており，本橋の交通実態や舗装の損傷実態を観察した。本橋は，工業地帯に近い臨海地区に位置していることから通行する車両は鉄鋼関係の荷役が多く，またそれらの多くが疲労損傷の発生した第二車線に集中していることが確認された（**写真 4.3-62**）。また，この第二車線の路面では，舗装のひび割れやポットホールなどの損傷が進んでおり，新たな疲労損傷の発生が懸念される（**写真 4.3-63**）。



写真 4.3-60　C1 橋全景

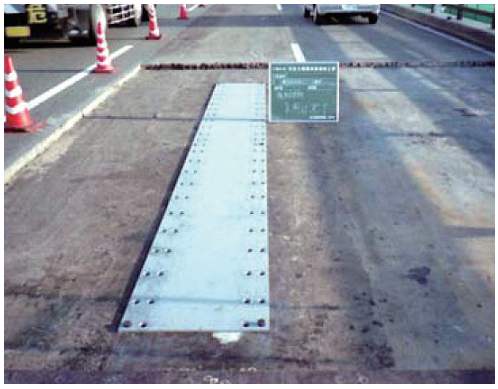


写真 4.3-61　疲労き裂の補強状況 [4.6)]



写真 4.3-62　交通状況



写真 4.3-63　舗装の損傷状況

⑭C2 橋

C2 橋は，名古屋市南区の国道 247 号に位置する 4 径間連続の箱桁および鈑桁橋でバルブプレートあるいは板リブを縦リブとした鋼床版橋である（**写真 4.3-64**）。簡易調査を実施した結果，通行車両は乗用車が多く，荷重実態は厳しくないと考えられた。舗装端部に，わずかな舗装ひび割れが確認された程度で，大きな損傷は見られなかった（**写真 4.3-65**）。



写真 4.3-64　C2 橋全景



写真 4.3-65　路面の状況

⑮C3 橋

C3 橋は，名古屋市南区の重交通路線である国道 23 号に位置する単純箱桁橋である（**写真 4.3-66**）。簡易調査の結果，当該路線は大型車の交通量が多く，かつ渋滞していることが明らかになるとともに，主桁位置の舗装の縦ひび割れが多数確認された（**写真 4.3-67～写真 4.3-68**）。これを受け，引き続き平成 18 年 3 月に桁内調査を実施した。桁内調査の結果，トラフリブと横リブ交差部に塗膜割れが確認されたほか，磁粉探傷試験により主桁垂直補剛材上端部に疲労き裂を確認した（**写真 4.3-69**）。

国道 23 号は，国内有数の重交通路線であることから，今後も継続的な調査・点検が必要であると考えられる。



写真 4.3-66　C3 橋全景



写真 4.3-67　交通状況



写真 4.3-68　主桁位置の舗装ひび割れ

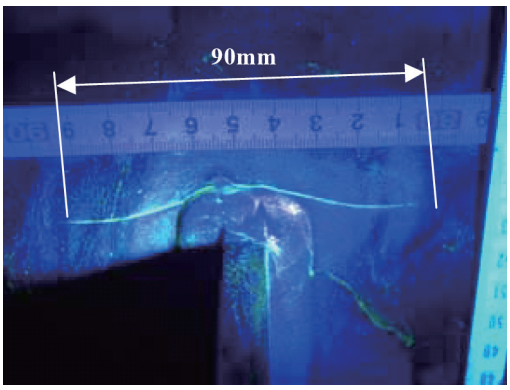


写真 4.3-69　垂直補剛材部の疲労き裂

⑯C4 橋

C4 橋は，名古屋市瑞穂区の市街地に位置する単純鈑桁橋で，バルブプレートを縦リブとする鋼床版橋である（**写真 4.3-70**）。簡易調査の結果，通行車両のほとんどが乗用車であり，交通荷重の実態は厳しい状況にはないと考えられた。また，路面の状態も良く，舗装の損傷などはみられなかった（**写真 4.3-71**）。



写真 4.3-70　C4 橋全景



写真 4.3-71　路面の状況

⑰C5 橋，C6 橋

C5，C6 橋は，名古屋市瑞穂区の市街地に位置する単純鈑桁橋で，トラフリブを縦リブとする鋼床版橋である（**写真 4.3-72**）。上下線分離構造で，それぞれ供用年が異なる。簡易調査の結果，C5 橋と同様に通行車両のほとんどが乗用車であり，交通荷重の実態は厳しい状況にはないと考えられた。また，路面の状態も良く，舗装の損傷などはみられなかった（**写真 4.3-73**）。



写真 4.3-72　C5 橋全景



写真 4.3-73　路面の状況

⑱C7 橋

C7 橋は，県道 125 号が木曽川を渡る位置に架かる 3 径間連続鋼床版箱桁 4 連の長大橋である。トラフリブの板厚 8 ㎜，横リブ間隔が 4,450 ㎜の鋼床版構造である（**写真 4.3-74～写真 4.3-75**）。1 箱主桁で，片側 1 車線の対面交通であるが，両車線ともに輪荷重の走行位置と主桁位置とが一致している。

本共同研究では，平成 16 年 6 月に簡易調査を行った結果，本橋は周辺国道の抜け道として使用されており，交通量は多く，大型車の混入率も高いことが判明した（**写真 4.3-76**）。さらに，輪荷重位置（右輪）が主桁位置と一致していることから，輪荷重直下の鋼床版の疲労損傷の発生が懸念された。そこで，同年 8 月に桁内調査を実施することとした。

桁内調査に先だって実施した路面調査により，舗装の劣化が簡易調査実施時に比べて進行していることが明らかとなった（**写真 4.3-77**）。続いて，桁内調査を実施したが，鳥害の影響により橋長の 1/2 程度を調査することが不可能となった。しかし，この調査において，主桁垂直補剛材上端部に多数の疲労損傷が確認された（**写真 4.3-78**）。これは，主桁直上を輪荷重が通過していることと，その交通荷重実態が厳しいことが疲労損傷の原因の一つであると考えられた。鳥害の影響で，桁内調査が十分にできなかったことから，道路管理者により，桁内の清掃が行われることとなり，平成 17 年 2 月に実施された。

この桁内の清掃の際に，前回の桁内調査未実施区間において，トラフリブの突合せ溶接で疲労き裂と，垂直補剛材上端部の疲労き裂がデッキプレート側に進展し，土砂が流入している箇所が発見された（**写真 4.3-79**）。後者の疲労損傷に対しては，既に補修・補強工事がなされている。本共同研究では，本橋の荷重実態や鋼床版の応力状態を把握するために，荷重車載荷試験と応力頻度測定を実施した。これらの結果については，第 5 章において詳細を示す。



写真 4.3-74　C7 橋全景



写真 4.3-75　ブラケット部の鋼床版



写真 4.3-76　交通状況



写真 4.3-77　舗装の損傷状況

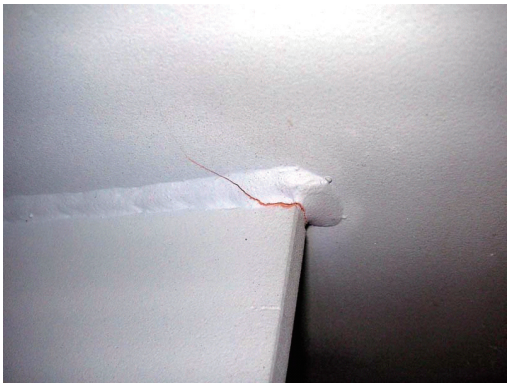


写真 4.3-78　垂直補剛材部の疲労き裂



写真 4.3-79　垂直補剛材部の疲労き裂

⑲C8 橋

C8 橋は，データベース上では，三重県四日市市の国道 23 号にあるとされていたが，簡易調査では時間的な制約もあり，その所在を確認することができなかった。

⑳C9 橋

C9 橋は，静岡市内の国道 1 号線に位置する 3 径間連続鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-80**）。平成 16 年 6 月に，(社) 日本橋梁建設協会による簡易調査が行われた。

簡易調査の結果，本路線が国道 1 号線のバイパスであるため，その交通量は昼夜問わず多いものと考えられた（**写真 4.3-81**）。また，舗装の損傷がみられたものの，鋼床版の裏面の目視では変状は確認されなかった（**写真 4.3-82～写真 4.3-83**）。



写真 4.3-80　C9 橋全景



写真 4.3-81　交通状況

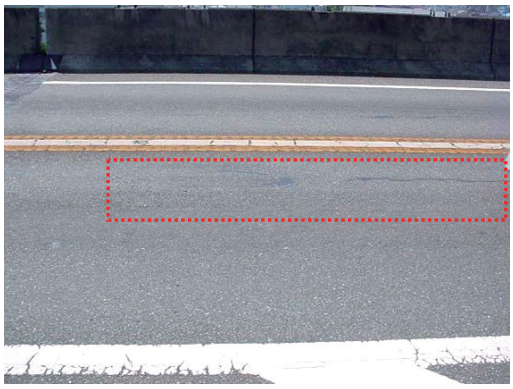


写真 4.3-82　舗装損傷の一例

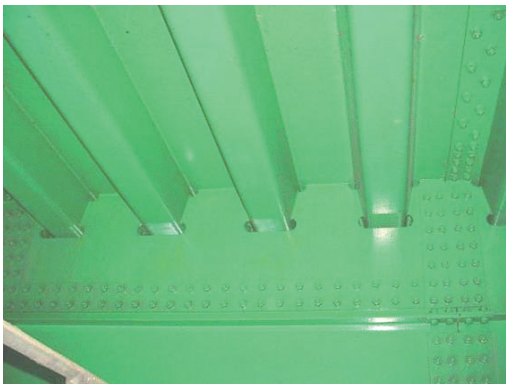


写真 4.3-83　鋼床版の状況

(4) 近畿地区

①O1 橋

O1 橋は，神戸市内に位置する国道 2 号のバイパス高架橋であり，縦リブにはトラフリブの他，場所によってバルブプレートを用いている（**写真 4.3-84**）。幹線国道であることから，大型車交通量も多く，簡易調査では，主桁位置と思われる箇所に舗装ひび割れを確認した（**写真 4.3-85**）。

本橋は，供用後 25 年程度経過しており，交通実態を考えると鋼床版の疲労損傷の発生が懸念される。



写真 4.3-84　01 橋

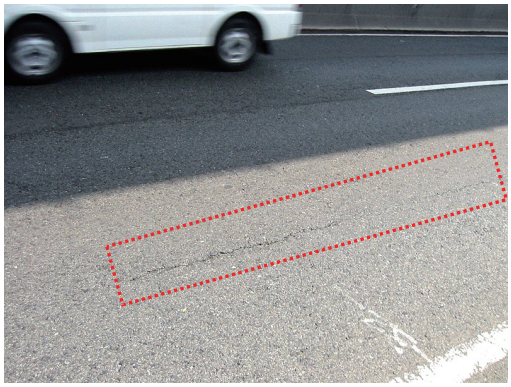


写真 4.3-85　舗装のひび割れ状況

②O2 橋

O2 橋は，神戸港湾部に位置する斜張橋で，バルブプレートを縦リブとしている（**写真 4.3-86～写真 4.3-87**）。1966 年（昭和 41 年）完成の初期の斜張橋である。

簡易調査の結果，本橋の交通実態はかなり厳しい状況にあった。本橋は，コンテナ埠頭どうしを連結している形となっているため，**写真 4.3-88** に示すように，コンテナトレーラの混入率が極めて高い。また，大型車が通行するたびに，桁が上下に振動している。一方，路面の調査の結果，舗装の劣化が進んでおり，横断方向のひび割れのほか，亀甲状のひび割れやポットホールが確認された（**写真 4.3-89**）。

本橋は，バルブプレートを縦リブとする鋼床版のため，桁内調査は実施していないが，交通実態や舗装の損傷を鑑みると，鋼床版の疲労損傷の発生が懸念される。



写真 4.3-86　O2 橋全景



写真 4.3-87　ブラケット部鋼床版



写真 4.3-88　交通状況



写真 4.3-89　舗装損傷の一例

③03 橋

O3 橋は，O2 橋に平行して架かる 3 径間連続鋼床版箱桁橋（有料道路）であり，国内で初めて中央支間が 200m を超えた箱桁橋でもある（**写真 4.3-90**）。本橋は，経済設計がなされており，トラフリブの板厚は 8 ㎜であるが，デッキプレートは場所によって段階的に 12 ㎜から最大 26 ㎜の板厚のものを使用している。

本共同研究では，　平成 18 年 6 月に，交通規制下での路面調査を実施した。その結果，O3 橋は O2 橋と同様に，交通量そのものに加え，大型コンテナトレーラの通行が多く，交通実態は厳しい状態にあることがわかった（**写真 4.3-91**）。また，路面調査を行い，**図 4.3-1** の①～⑧に示すような様々な舗装の損傷を確認した。

本共同研究では，桁内調査を実施していないが，本橋には，複数種の板厚のデッキプレートが使用されていることから，デッキプレートの板厚をパラメータとした鋼床版の疲労検討を行う場合には，最適な鋼床版橋梁であると言える。



写真 4.3-90　03 橋全景



写真 4.3-91　交通状況

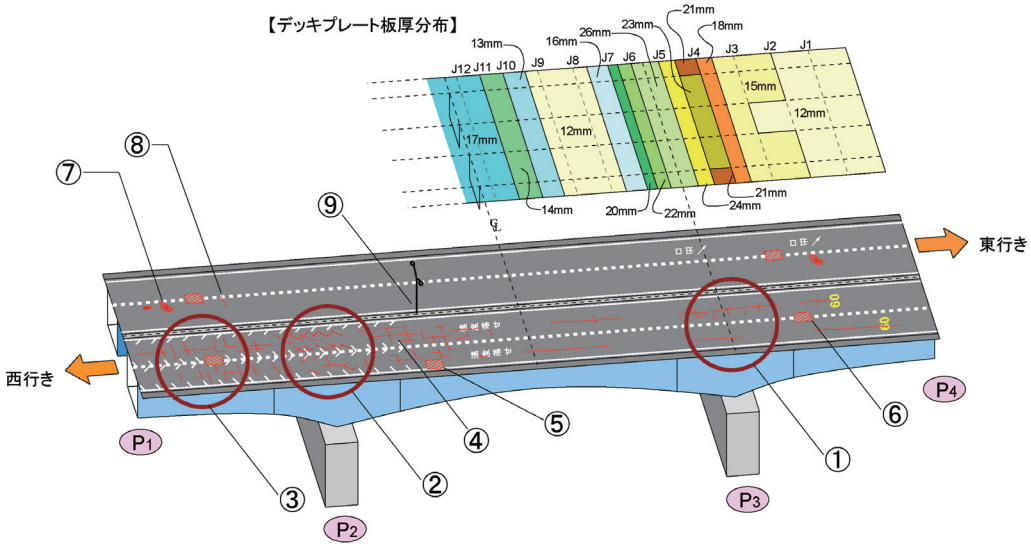


図 4.3-1　03 橋における路面調査結果（①～⑧が舗装の損傷）

④04 橋

O4 橋は，西宮市の港湾部に架かる 3 径間連続鋼床版箱桁橋であり，バルブプレートを縦リブとする鋼床版橋である（**写真 4.3-92**）。簡易調査の結果，本橋は，比較的交通量が多いものの，舗装の損傷も少なく，大きな問題はみられなかった（**写真 4.3-93**）。なお，桁端部で漏水が発生しており，防水および排水機能の向上などの対策が必要であると考えられる（**写真 4.3-94**）。



写真 4.3-92　04 橋全景



写真 4.3-93　路面の状況



写真 4.3-94　桁端部における漏水と遊離石灰

⑤05 橋

O5 橋は，兵庫県が管理する 3 径間連続鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-95**）。簡易調査の結果，伸縮装置の破損はみられるものの，本橋の交通量は少なく，鋼床版の疲労上の問題は少ないと考えられた（**写真 4.3-96**）。



写真 4.3-95　05 橋全景



写真 4.3-96　伸縮装置の破損

⑥06 橋

O6 橋は，大阪の臨海地区の一級河川上に架けられた連続箱桁橋である（**写真 4.3-97**）。本共同研究での簡易調査は未実施であるが，平成 20 年 2 月に（社）日本橋梁建設協会による簡易調査が行われた。

本橋は，ループ橋のアプローチ部分を有する橋梁であるが，大型車の交通量は多く，交通実態は比較的厳しいものと考えられる（**写真 4.3-98**）。路面観察の結果，トラフリブに沿っていると思われる舗装ひび割れが確認されたほか，地覆コンクリートブロックの破損などがみられた（**写真 4.3-99～写真 4.3.100**）



写真 4.3-97　06 橋全景



写真 4.3-98　交通状況

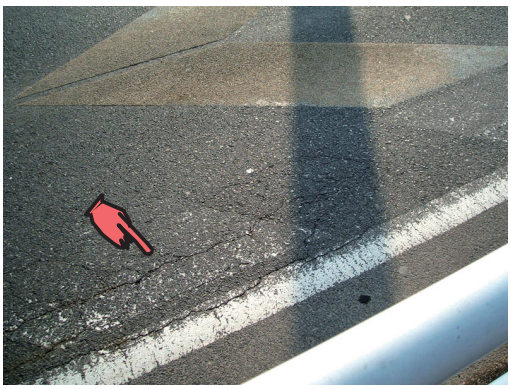


写真 4.3-99　舗装ひび割れの状況



写真 4.3-100　地覆コンクリートの破損

⑦07 橋

O7 橋は，大阪の臨海地区に位置するアーチ橋である（**写真 4.3-101**）。簡易調査を実施したが，本橋には歩道部がないため，車内から路面の調査を行うこととした。**写真 4.3-102** に示すように，輪荷重走行位置に舗装の縦ひび割れが確認された。本橋は，鉄鋼関係が中心の工業地帯に位置していることから，交通荷重が厳しいと予想されるため，詳細な点検・調査を行うことが必要であると考えられる。



写真 4.3-101　07 橋全景 [4.1)]

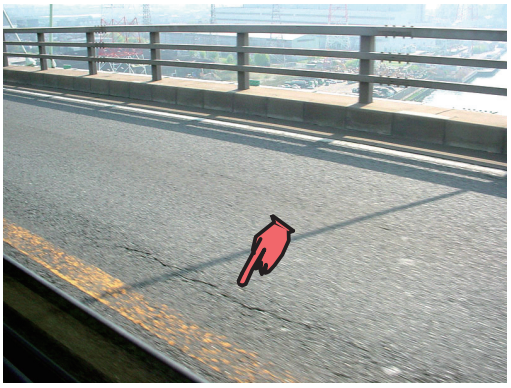


写真 4.3-102　舗装の損傷

⑧08 橋

O8 橋は，大阪の臨港地区に位置するバルブプレートを縦リブとする連続箱桁橋である（**写真 4.3-103**）。簡易調査を実施した結果，主桁位置と思われる箇所に舗装の縦ひび割れ（**写真 4.3-104**）のほか，舗装の流動なども確認された。また，一部の排水桝が閉塞していた（**写真 4.3-105**）。交通車両は大型車も多く，臨港道路の特徴を表している。

O8 の前後に RC 床版を有するアプローチ橋があり，RC 床版の裏面よりその状態を確認した。その結果，多数のひび割れや補修痕を確認した（**写真 4.3-106**）。このように，本橋における交通実態は，鋼床版や RC 床版にも厳しいものと考えられる。



写真 4.3-103　08 橋全景

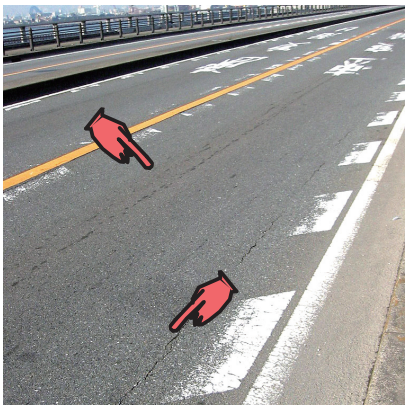


写真 4.3-104　舗装ひび割れの状況



写真 4.3-105　排水桝の閉塞



写真 4.3-106　RC 床版の補修痕

⑨O9-1 橋

O9-1 橋は，08 橋に近い 09 橋の I 期工事分で，大阪市道の臨港地区に位置する 3 径間連続箱桁橋である（**写真 4.3-107**）。1964 年（昭和 41 年）完成で，板厚 8 ㎜の V リブを縦リブとしているのが特徴である。簡易調査を実施したところ，当該路線の交通実態が極めて厳しいことが判明したため，供用年数も 40 年以上経過していることから，平成 16 年 12 月に桁内調査を実施することとなった（**写真 4.3-108～写真 4.3-109**）。

桁内調査の結果，本橋では，多数の溶接補修の痕跡を確認した。主なものを列挙すると，①V リブとダイアフラムのウェブの突合せ溶接部（**写真 4.3-110**），②V リブとデッキプレートのすみ肉溶接部（一般部）（**写真 4.3-111**），③V リブとデッキプレートのすみ肉溶接部（交差部）（**写真 4.3-102**），などが確認された。しかし，②の溶接補修をした箇所において，磁粉探傷試験により，その先端から疲労き裂が再度進展していることを確認したことから，溶接補修にあたっては，き裂の除去方法などに関して十分な検討を行う必要があることを示唆している。なお，溶接補修ついての詳細は不明である。



写真 4.3-107　09-1 橋全景（左）

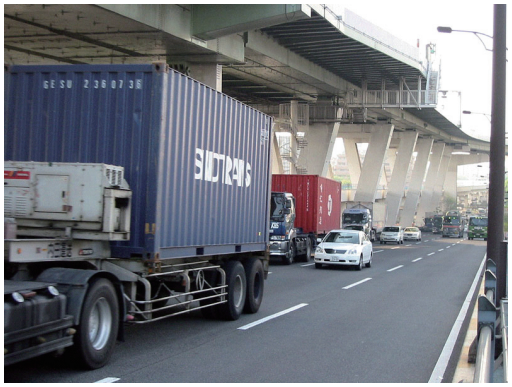


写真 4.3-108　交通状況



写真 4.3-109　桁内調査状況

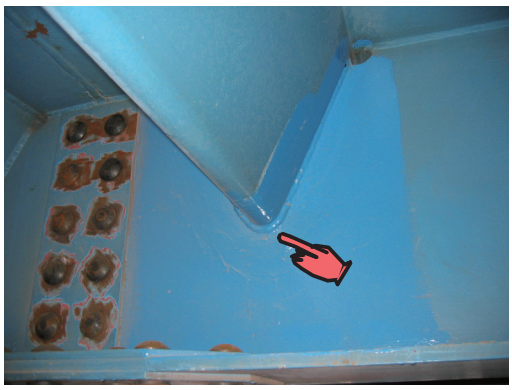


写真 4.3-110　溶接補修の痕跡

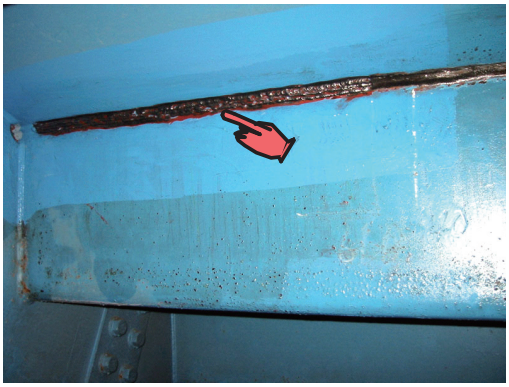


写真 4.3-111　溶接補修の痕跡



写真 4.3-112　溶接補修の痕跡

⑩O9-2 橋

O9-2 橋は，09 橋のⅡ期工事分で，Ⅰ期（09-1 橋）の 10 年後に架けられた 3 径間連続箱桁橋である（**写真 4.3-113**）。Ⅰ期とは異なり，縦リブには板厚 8 ㎜のトラフリブを使用している。Ⅰ期（09-1 橋）において，多数の溶接補修痕を確認したため，平成 19 年 12 月に，本橋についても桁内調査を実施することとした（**写真 4.3-114**）。

桁内調査の結果，Ⅰ期（09-1 橋）と同様に多数の溶接補修痕や疲労損傷を確認した。主なものを列挙すると，以下のとおりである。

1) トラフリブ突き合わせ溶接部（**写真 4.3-115**）
2) トラフリブとダイアフラムとの交差部（**写真 4.3-116**）
3) コーナープレートとダイアフラムの溶接部（**写真 4.3-117**）
4) 主桁水平補剛材とダイアフラムの溶接部（**写真 4.3-118**）
5) ダイアフラムボルト添接部のスカラップ近傍（**写真 4.3-119**）

6) デッキプレート突合せ溶接部（**写真 4.3-120**）

このうち，2)～6)については，溶接補修をしたと思われる痕跡を確認している。

本橋のおかれている荷重実態は相当厳しいものと予想されるため，今後も継続的な調査・点検の実施が必要であると考えられる。



写真 4.3-113　09-2 橋全景



写真 4.3-114　桁内調査状況



写真 4.3-115　疲労き裂の一例



写真 4.3-116　疲労き裂の一例



写真 4.3-117　溶接補修の痕跡



写真 4.3-118　溶接補修の痕跡

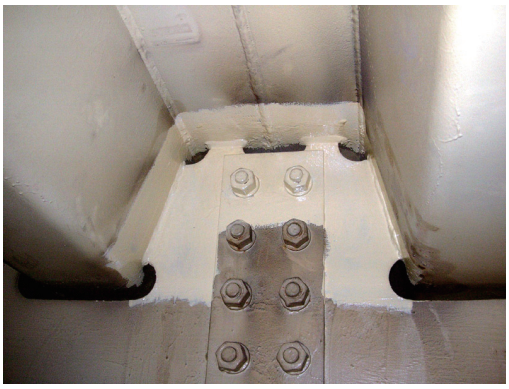


写真 4.3-119　溶接補修の痕跡

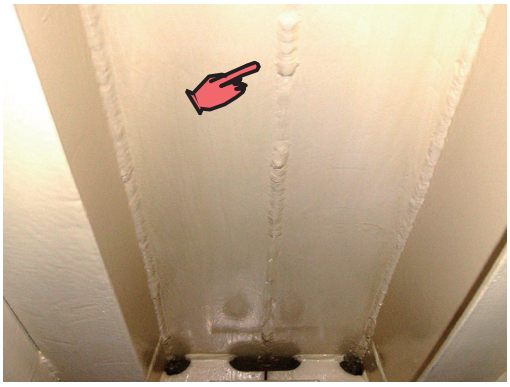


写真 4.3-120　溶接補修の痕跡

⑪O10 橋

O10 橋は，港湾地区に位置する斜張橋である（**写真 4.3-121**）。簡易調査では，車上からの路面観察のみ実施したが，主桁位置に若干の舗装ひび割れを確認したが，大きな損傷はみられなかった（**写真 4.3-122**）。



写真 4.3-121　O10 橋全景 [4.1)]



写真 4.3-122　路面の状況

⑫O11 橋

O11 橋は，大阪市住之江区の市道に位置する単純鈑桁橋で，バルブプレートを縦リブとする鋼床版橋である（**写真 4.3-123～写真 4.3－124**）。簡易調査では，路面に凹状の舗装陥没箇所が確認されたが，後日，製作会社による調査が行われ，鋼床版側に異常がないことが確認されている（**写真 4.3-125**）。また，当該部位の舗装の補修工事についてもその後行われていることを確認した（**写真 4.3-126**）。



写真 4.3-123　011 橋全景



写真 4.3-124　鋼床版裏面の状況



写真 4.3-125　舗装の凹面の状況



写真 4.3-126　舗装の補修状況

⑬O12 橋

O12 橋は，大阪市南部の一級河川を横断する市道に位置する 3 径間連続箱桁橋である（**写真 4.3-127**）。旧橋からの段階的な架け替えを行った経緯で，中床版の支間長が 20m を超える（**写真 4.3-128**）。本橋の鋼床版は，板厚 8 ㎜のトラフリブを使用していることもあり，本共同研究では，簡易調査を省略し当初より桁内調査を行った。

第 1 回目の桁内調査は，平成 16 年 2 月に実施した。まず，交通状況を確認したところ，本橋は製鉄所やコンテナ埠頭が近いことから，大型車の通行量が特に多いことがわかった（**写真 4.3-129**）。また，舗装の損傷として，主桁近傍の縦ひび割れや**写真 4.3-130** に示すような亀甲状の舗装ひび割れが確認された。また，多くの排水桝が閉塞しており機能が低下していることが指摘された（**写真 4.3-131**）。一方，箱桁内部では，排水管の損傷部からの漏水により，箱桁下フランジに耐水がみられ，ボルト添接部では**写真 4.3-132** に示すように，著しい腐食が進行していた。

このような状況を把握した後，さらに翌年 1 月に，第 2 回目の桁内調査を実施し

た。その結果，機能が低下していた排水桝の取替えが進められており，さらに箱桁下フランジの腐食箇所も補修がおこなわれていることを確認した（**写真 4.3-133～写真 4.3-134**）。これにより，本橋の健全性が向上していると言える。次に，箱桁内部と中床版部の鋼床版の，近接目視による調査を行った。その結果，①主桁垂直補剛材部上端部のき裂，②デッキプレートとトラフリブ溶接部のビード貫通き裂，をそれぞれ２箇所確認した。後者のき裂進展速度は，一般に速いことが知られており，早急な対策が求められる。

本橋のおかれている荷重実態は厳しいものと予想されるため，今後も継続的な調査・点検の実施が必要であると考えられる。また，鋼床版の疲労損傷の全容を把握するために，足場等を設置した上で，中床版部を対象とした詳細調査を実施することが必要であると考えられる。



写真 4.3-127　012 橋全景



写真 4.3-128　中床版の鋼床版状況



写真 4.3-129　交通状況



写真 4.3-130　舗装の損傷



写真 4.3-131　排水桝の機能低下



写真 4.3-132　主桁下フランジの腐食



写真 4.3-133　排水桝の取替え状況



写真 4.3-134　腐食部の補修状況

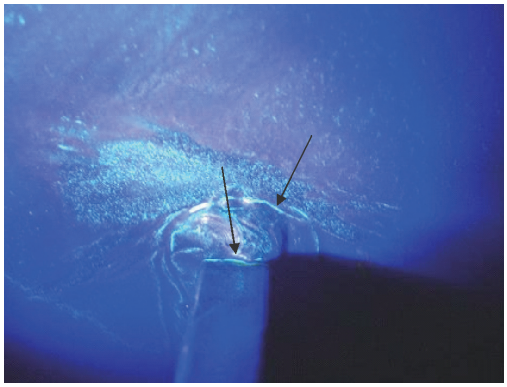


写真 4.3-135　垂直補剛材部の疲労き裂



写真 4.3-136　ビード貫通き裂

⑭013 橋

O13 橋は，兵庫県の播但自動車道に位置する 1 ボックスの 3 径間連続鋼床版箱桁橋である（**写真 4.3-137**）。山間部に近く，交通量は比較的少ない。

本橋の鋼床版で板厚 8 ㎜のトラフリブを用いていることから，本共同研究では，簡易調査を省略し，平成 16 年 3 月に桁内調査を実施した（**写真 4.3-138**）。その結果，①排水管の損傷部からの漏水により箱桁内部に雨水が滞水しており（**写真 4.3-139**），さらに，②コーナープレート溶接部に塗膜割れを確認した。②については，磁粉探傷試験を実施し，溶接部にき裂が発生していることを確認した（**写真 4.3-140**）。ただし，本路線の交通実態や，コーナープレートの構造を考慮すると，このき裂は，製作時の溶接の拘束割れの可能性もあると高いと考えられた。

本橋は，鋼床版の疲労上の問題は少ないと考えられるが，桁内部の滞水については，早急に対処することが必要であると考えられる。



写真 4.3-137　013 橋全景



写真 4.3-138　桁内調査の実施状況

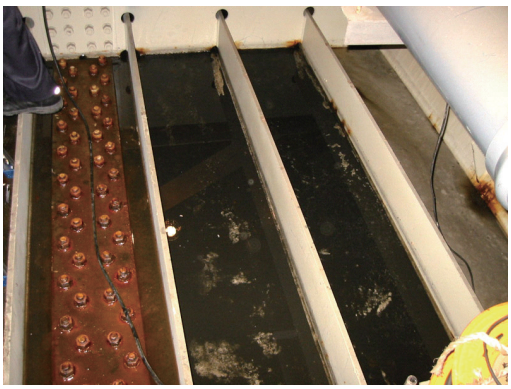


写真 4.3-139　箱桁内部の滞水状況



写真 4.3-140　磁粉探傷試験状況

⑮014 橋

O14 橋は，O3 橋と同一路線に位置する 5 径間連続ラーメン橋である（**写真 4.3-141**）。本橋は，O3 橋と同様に，デッキプレートの板厚が 12 ㎜から最大 20 ㎜まで段階的に変えられている（**図 4.3-2**）。

本共同研究では，平成 18 年 6 月に O3 橋に引き続いて交通規制下での路面調査を実施した（**写真 4.3-142**）。路面の調査結果を**図 4.3-3** に示す。本橋では，図中の①～⑦に示す舗装の損傷と，⑧，⑨に示すその他の劣化，損傷が確認された。このうち，舗装の損傷はデッキプレートの板厚が比較的薄い箇所，あるいは中間支点部に集中していることが分かる。

本共同研究では，桁内調査を実施していないが，本橋は，O3 橋と同様に複数種の板厚のデッキプレートが使用されていることから，デッキプレートの板厚をパラメータとした鋼床版の疲労検討を行う場合には，最適な鋼床版橋梁であると言える。なお，本橋は O3 橋と同様に，重交通路線に位置していることから，詳細な桁内調査の実施が必要であると考えられる。



写真 4.3-141　014 橋全景



写真 4.3-142　路面調査状況

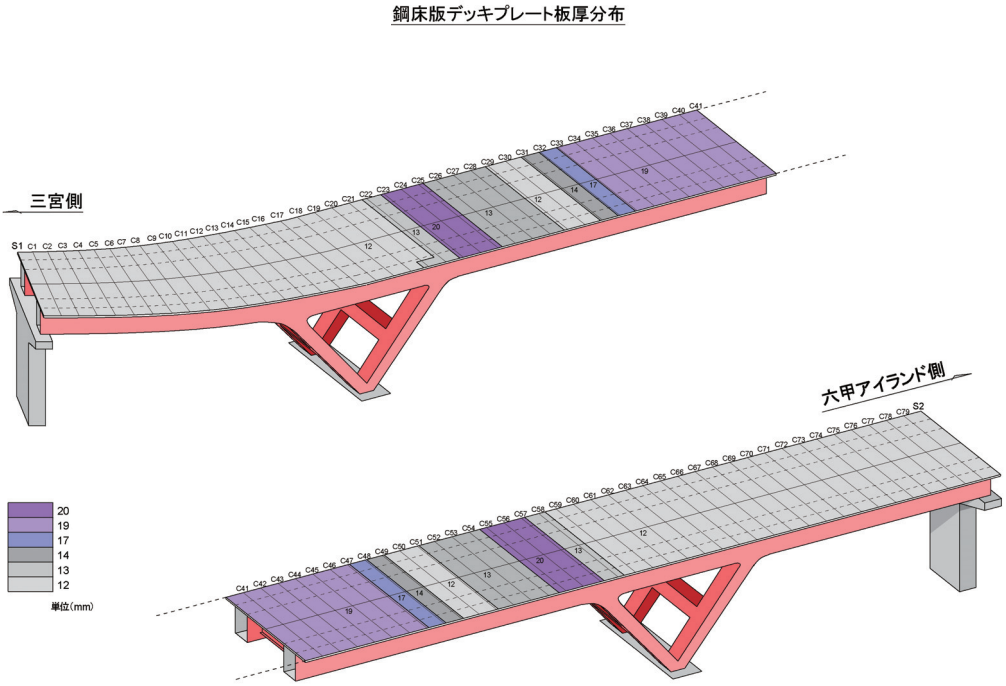


図 4.3-2　014 橋のデッキプレートの板厚分布

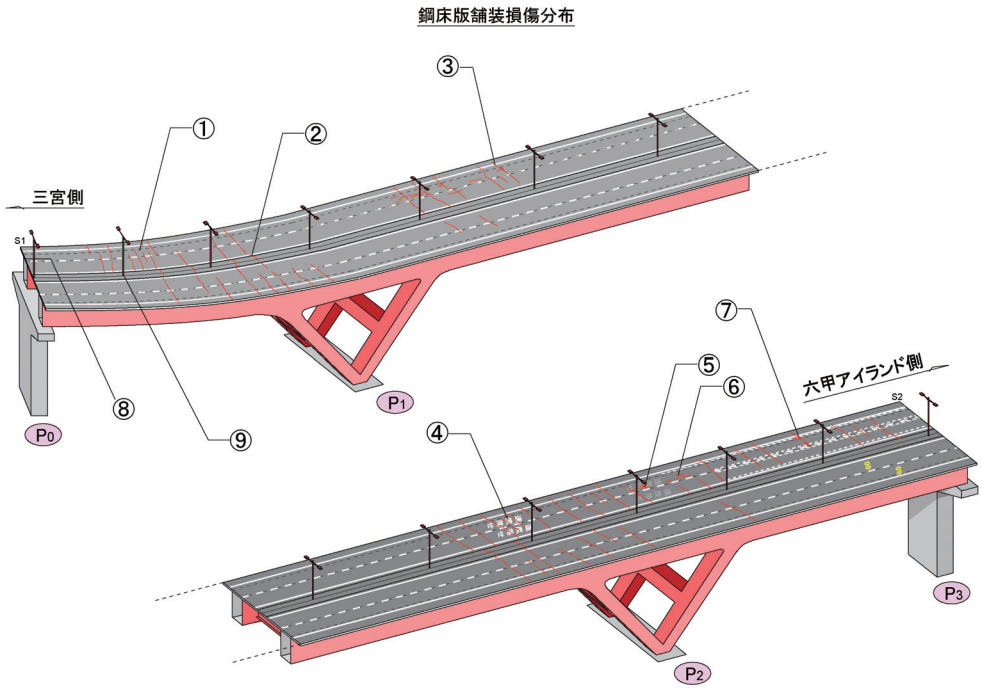


図 4.3-3　014 橋における路面調査結果（①～⑦が舗装の損傷）

(5) 九州地区

① Q1 橋

Q1 橋は，北九州市の港湾部に架かる長大吊橋である（**写真 4.3-143**）。1990 年に RC 床版から鋼床版に取替えられた。歩道部がないため，簡易調査は，車上からの路面観察のみであったが，舗装の大きな損傷や劣化は認められなかった。



写真 4.3-143　Q1 橋全景 [4.1)]

② Q2 橋

Q2 橋は，北九州市近郊に位置し，国道 3 号線が一級河川を横断する箇所に架かる 3 径間連続鋼床版橋である（**写真 4.3-144**）。北九州市と福岡市を結ぶ国道上に位置することから，交通量，大型車混入量も大きい（**写真 4.3-145**）。

簡易調査を実施した結果，主桁位置と輪荷重走行位置とが一致しており，ほぼ全長にわたって舗装の縦ひび割れが確認された。したがって，C7 橋と同様に垂直補剛材上端部の疲労損傷が懸念された。そこで，Q2 橋では，平成 17 年 12 月に桁内調査を実施した。

桁内調査の結果，主桁の垂直補剛材上端部に塗膜割れが確認され，磁粉探傷試験により疲労き裂であると判断された（**写真 4.3-146**）。また，トラフリブとダイアフラムの交差部の下側スリット端部の回し溶接部に，溶接補修と思われる増し盛り溶接の痕跡が複数箇所で認められた（**写真 4.3-147**）。これらは，疲労損傷に対する補修と考えられるため，本橋の交通実態を考慮すれば，引き続いて継続的な点検・調査を実施するのが必要であると考えられる。



写真 4.3-144　Q2 橋全景



写真 4.3-145　交通状況

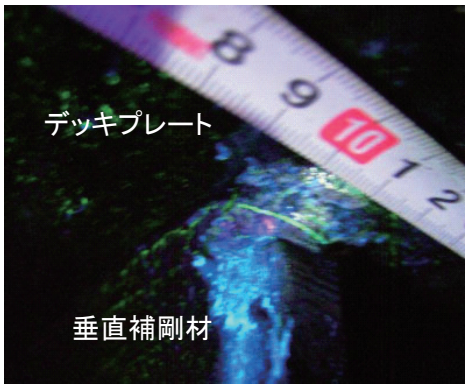


写真 4.3-146　垂直補剛材の疲労き裂

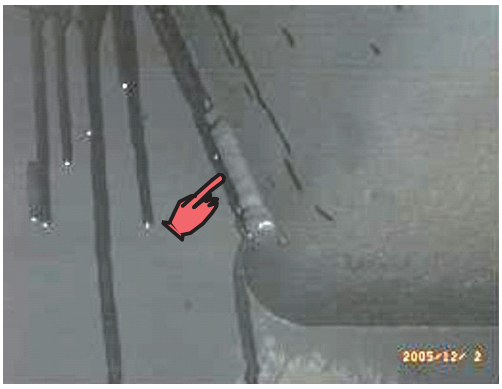


写真 4.3-147　増し盛り溶接部

③　Q3 橋

Q3 橋は，太宰府市の旧国道 3 号線に位置する単純箱桁橋である（**写真 4.3-148**）。高架橋構造のバイパスが開通し交通の切り替えがなされたため，現在では交通量は少なく，そのほとんどが乗用車である。簡易調査の結果，路面の状態は良好であり，また鋼床版下面からの目視調査においても異常は認められなかったことから，本橋は鋼床版の疲労上の問題は少ないと考えられる（**写真 4.3-149**）。



写真 4.3-148　Q3 橋全景



写真 4.3-149　路面の状況

④ Q4 橋

Q4 橋は，博多湾の臨海部に位置する市道の 3 径間連続鋼床版橋である（**写真 4.3-150**）。臨海部に位置していることから，港湾荷役関係の大型車の交通量が多い（**写真 4.3-151**）。簡易調査を実施した結果，東行き車線において舗装のひび割れや流動などの損傷が多数確認された（**写真 4.3-152**）。そこで，平成 17 年 12 月に桁内調査を実施することとした。

桁内調査の結果，部分的な腐食や，トラフリブとダイアフラムの交差部に塗膜割れが認められたものの（**写真 4.3-153**），鋼床版の大きな疲労損傷は認められなかった。しかしながら，本橋の交通実態を考慮すると，今後も継続的な点検・調査を実施することが必要であると考えられる。



写真 4.3-150　Q4 橋全景 [4.1)]



写真 4.3-151　交通状況



写真 4.3-152　舗装ひび割れの例

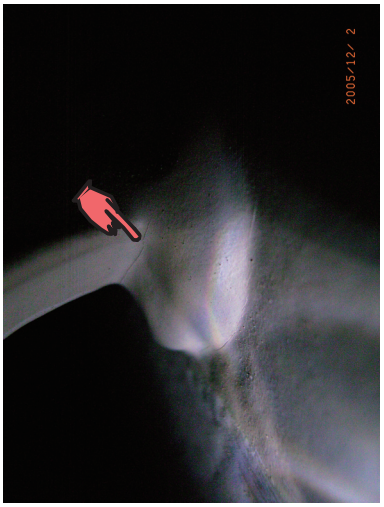


写真 4.3-153　塗膜割れの例

⑤ Q5 橋

Q5 橋は，北九州市内の市街地に位置する 2 径間連続箱桁橋である（**写真 4.3-154**）。市街地に位置することから，通行車両は乗用車がほとんどである（**写真 4.3-155**）。

簡易調査の結果，路面にわずかながら主桁上の舗装ひび割れが確認されたが，舗装の大きな劣化や損傷はみられなかった。また，排水管や排水桝の機能は健全であったが，鋼床版裏面に塗膜劣化が見られた。

本橋の交通実態を考慮すれば，本橋では鋼床版の疲労上の問題は少ないと考えられる。



写真 4.3-154　Q5 橋全景



写真 4.3-155　交通状況

⑥ Q6 橋

Q6 橋は，博多湾に新しく建設された埋め立て地に 1993 年に建設された 3 径間連続箱桁橋である（**写真 4.3-156**）。埠頭間を連絡する橋梁であるため，コンテナトレーラの交通量が多い（**写真 4.3-157**）。

簡易調査の結果，舗装等に大きな損傷は見られなかったものの，実質的に供用され始めた時期が最近であること，これからの交通量の増大が見込まれることなどから，今後は継続的な点検・調査を実施することが必要であると考えられる。



写真 4.3-156　Q6 橋全景



写真 4.3-157　交通状況

⑦ Q7 橋

Q7 橋は，北九州市の市道が JR 鹿児島本線を跨ぐ箇所に位置する単純箱桁橋である（**写真 4.3-158**）。産業道路であるため，トレーラなどの大型車が多い。

簡易調査の結果，路面の状態は良いが，主桁位置にわずかながら舗装ひび割れが見られた。本橋は交差点に位置しているが，交差点の分岐条件のために，第二車線に大型車の通行が集中していた（**写真 4.3-159**）。また，排水桝がモルタル成分の流入により閉塞しており，排水機能が低下している（**写真 4.3-160**）。



写真 4.3-158　Q7 橋全景



写真 4.3-159　第二車線への交通集中



写真 4.3-160　排水桝の閉塞状況

4.4　まとめ

4.3 節で示した調査結果より，対象橋梁の損傷状況等をまとめると**表 4.4-1** となる。

調査対象となった橋ではデッキプレート貫通き裂を含む様々なき裂やその他の損傷，変状が多く確認された。このように厳しい交通環境で供用されてきた鋼床版橋梁では，膨大な溶接線を有する鋼床版構造に経年に従ってさまざまな損傷が生じる可能性も高まってくることが想定され，これらを効率的に発見してできるだけ早期に適切な補修や補強の対策を実施するためには，ここで見当したような段階的なスクリーニングによる調査手法がある程度有効なものと考えられる。

表 4.4-1　調査結果のとりまとめ

地区	記号	判定	備　考
北海道	H1	×	過去の補修補強箇所の再点検が望まれる。
	H2	○	舗装の損傷箇所の補修が望まれる。
	H3	○	防食性能の向上が望まれる。
	H4	○	
	H5	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。
	H6	△	箱桁内（下フランジ）の腐食が懸念される。
	H7	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。
	H8	○	ECC舗装の経過観察が望まれる。
関東	M1	△	
	M2	×	デッキプレート貫通き裂が発生。
	M3	×	デッキプレート貫通き裂が発生。
	M4	△	交通実態は厳しく，疲労損傷が懸念される。
	M5	…	別途，簡易調査の必要あり。
	M6	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。
	M7-1	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。
	M7-2		
	M8-1	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。
	M8-2		
	M9	△	疲労損傷の発生が懸念される。
	M10	×	デッキプレート貫通き裂が発生。
	M11	×	ビード貫通き裂が発生。
名古屋	C1	×	デッキプレート貫通き裂が発生。
	C2-1	○	
	C2-2		
	C3	×	垂直補剛材上端部に疲労損傷を確認。
	C4	○	
	C5	○	
	C6	○	
	C7	×	垂直補剛材上端部などに疲労損傷を確認。
	C8	…	別途，簡易調査の必要あり。
	C9	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。

地区	記号	判定	備　考
阪神	O1	…	別途，簡易調査の必要あり。
	O2	△	桁内調査の実施が望まれる。
	O3	△	桁内調査の実施が望まれる。
	O4	○	
	O5	○	
	O6	…	別途，簡易調査の必要あり。
	O7	…	別途，簡易調査の必要あり。
	O8	△	桁内調査の実施が望まれる。
	O9-1	×	疲労損傷の溶接補修の痕跡が多数あり。
	O9-2		
	O10	…	別途，簡易調査の必要あり。
	O11	○	
	O12	×	ビード貫通き裂などが発生。
	O13	○	箱桁内の滞水対策が課題。
	O14	△	桁内調査の実施が望まれる。
北九州	Q1	○	
	Q2	×	疲労損傷の溶接補修の痕跡あり。
	Q3	○	
	Q4	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。
	Q5	○	
	Q6	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。
	Q7	△	継続的な点検・調査の実施が望まれる。

注）判定結果のうち，○：比較的健全であること，△：経過観察が必要であること，×：損傷が発生していること，をそれぞれ示している。

参考文献

4.1）（社）日本橋梁建設協会ホームページ：http://www.jasbc.or.jp/

4.2）勝俣盛，小笠原照夫，町田文孝，川瀬篤志，溝江慶久：合理化鋼床版のUリブ・横桁交差部の局部応力特性について，構造工学論文集　Vol45A，pp.1047-1054，2001.3

4.3）井口進，寺尾圭史，西野崇史，村越潤：鋼床版ＳＦＲＣ舗装施工前の静的載荷試験，土木学会第 60 回年次学術講演会概要集，CS-10，pp.17-18，　2005.9

4.4）新山惇，佐藤昌志，三田村浩，岩崎雅紀，石井博典：鋼床版縦リブ溶接部の疲労補強対策に関する一検討，構造工学論文集　Vol.47A，pp.1047-1054，2001.3

4.5）三田村浩，坂田昇，赤代恵司，須田久美子，平石剛紀：鋼床版への高靭性繊維補強セメント複合材料 ECC を用いた補強工法の適用－美原大橋における施工－, 橋梁と基礎　2005-8, pp.88-91, 2005.8

4.6）齋藤史朗，後藤良和，倉田幸宏，杉村誠：「天白大橋」鋼床版あて板補強の施工と解析，石川島播磨技報　2007 特集号，pp.95-102，2007

第 5 章　鋼床版の応力測定

ここでは，４章に示した現地調査の一環で実施した鋼床版の実発生応力の調査について示す。

応力測定は軸重が既知な荷重車による荷重車載荷試験，および日常交通下での応力頻度測定の２種類を採用した。さらに，対象橋梁の道路交通センサス（全国道路交通情勢調査）から得られる大型車交通量などの情報と本研究で得られた応力頻度測定結果との相関の有無についても検討した。

5.1　応力測定橋梁の選定

前章に示した橋梁の選定要領をふまえて応力測定対象橋梁を選定した。選定した橋梁の主な特徴を**表 5.1-1** に，各橋梁の構造諸元を**表 5.1-2** に，橋梁の位置と交通状況を**図 5.1-1** に示す。本研究では特にデッキプレートとトラフリブの溶接線の溶接ルート部から発生するデッキプレート貫通型き裂損傷に着目しているため，以下のような理由でこれらの橋梁を選定した。

M2 橋：本研究で着目するデッキプレート貫通型き裂が発生した橋梁である。

O12 橋：事前調査ではデッキプレートとトラフリブの溶接線にデッキプレート貫通型き裂が発見されていないが，溶接ルート部から溶接ビードを切る方向に進展する溶接ビード貫通型のき裂が発生している橋梁であり，M2 橋の比較対象となる。

C7 橋：事前調査ではデッキプレートとトラフリブの溶接線ではなく，デッキプレートと垂直補剛材の溶接部にデッキプレート貫通型き裂が発見されている橋梁である。O12 橋と同様，M2 橋の比較対象となる。

H7 橋：事前調査ではき裂損傷が発見されていないが，トラフリブ厚が 6mm（M2,O12,C7 橋は 8mm）の最も標準的な断面構成を有する一般的な橋梁である。また，M2,O12,C7 橋と同様に舗装の劣化が著しい橋梁であった。

H2 橋：事前調査ではき裂損傷が発見されておらず，また，大型車交通量も比較的少ないが舗装の損傷が激しい。舗装の損傷の有無と鋼床版の発生応力の関係を検討するために選定した。

表 5.1-1　応力測定橋梁の特徴

	橋梁位置	完成年度	大型車交通量（台/車線/12h）	事前調査結果		特　徴
				舗装の損傷	損傷有無	
M2橋	湾岸工業地域産業道路	1980	3798	き裂，くぼみが多数あり	デッキ貫通型	デッキ貫通型き裂が発生した橋梁
O12橋	湾岸工業地域産業道路	1984	2118	き裂多数有り，部分補修跡あり	ビード貫通型	M3橋と同じトラフリブ厚が8mm。デッキ貫通型き裂ではなく，ビード貫通型き裂が発生。
C7橋	都市間の連絡通路	1983	1912	き裂，くぼみが多数有り	垂直補剛材天端他	M3橋と同じトラフリブ厚が8mm。トラフリブ溶接部ではなく，垂直補剛材天端でデッキ貫通型き裂が発生。
H7橋	都市間の連絡通路	1993	1520	き裂，くぼみが多数有り	これまでの調査では未発見	デッキ厚12mm，トラフリブ6mmの標準的な断面構成を有する一般橋梁。
H2橋	都市間の連絡通路	1983	616	き裂，くぼみが多数有り	これまでの調査では未発見	舗装の劣化の有無による影響を把握するため。

1)大型車交通量:交通センサス(平成11年度)より得られた自動車類交通量，大型車混入率から次のように算出した。
大型車交通量(台/車線/12h) ＝ 自動車類交通量(台/12h) × 大型車混入率 ／ 車線数
2)H2橋は，荷重車載荷試験のみを行った。

表 5.1-2　応力測定橋梁の構造詳細

橋梁	橋梁諸元				構造詳細											
	支間割り (m)	車線幅※1 (m)	設計舗装厚 (mm)	橋梁形式	デッキPL厚 (mm)	トラフリブ 形状 (mm)			厚 (mm)	間隔 (mm)	主桁との離れ※2 (mm)	横リブ間隔(mm)	主桁腹板間隔※3 (mm)	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ剛性※4 (cm^4)	パネル剛性※5 (cm^2)	1パネルの面積※6 (m^2)
M2橋	90+100+90	3.50	75	3径間連続箱桁	12	U	340	284	8	680	110(150)	3,100	5600	150391	7.13	17.4
O12橋	62.98+97+62.98	3.25	80	3径間連続箱桁	12	U	300	250	8	620	300	3,650	20,000	110514	4.88	73.0
C7橋	3@80.1	3.50	68(77)	3径間連続箱桁	12	U	320	230	8	640	300	4,450	5,400	88414	3.10	24.0
H7橋	85+109.5+85	3.50	80	3径間連続箱桁	12	U	320	240	6	650	200	3,100	5,470	92472	4.59	17.0
H2橋	2@62.75	3.50	80	2径間連続鈑桁	12	U	320	240	6	640	150	3,000	5100	92472	4.82	15.3

※1：車線幅とは1車線あたりの幅を示す。図面から車線幅が確認されない橋梁は，道路幅員からの推定値とする。
※2：トラフリブと主桁の離れは，主桁腹板からUリブウェブまでの距離とする。主桁外を基本とし，主桁内を()内に示す。
※3：主桁間の腹板間隔（例えば，G1RとG2L等）を示す。
※4：トラフリブ剛性とは，1本のUリブと有効幅（ここでは，トラフリブ間隔とした）内のデッキプレートで構成された断面の剛性を示す。
※5：パネル剛性とは，トラフリブ剛性を横リブ支間およびトラフリブ間隔で除したものを示す。
※6：1パネルの面積　＝　横リブ間隔×主桁腹板間隔とした。

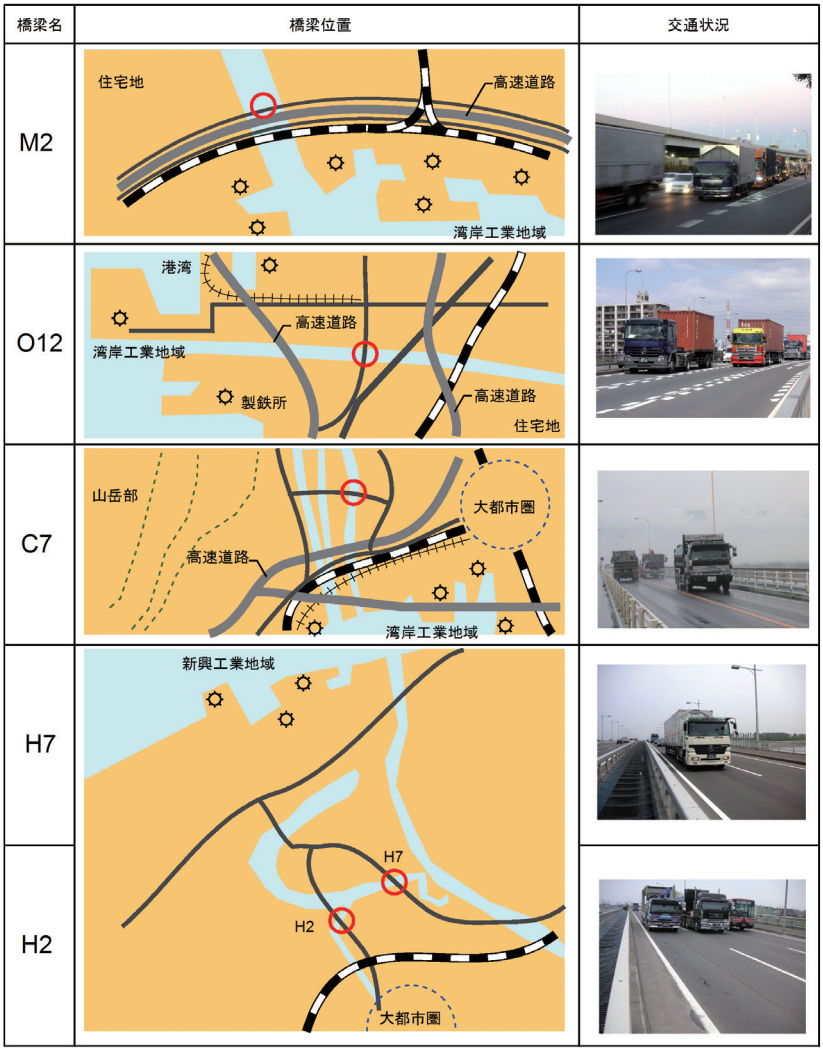


図 5.1-1　橋梁位置と交通状況

5.2　応力測定条件

選定した各橋梁の応力測定試験での測定条件について以下に示す。

5.2.1　荷重車載荷試験

①荷重車諸元

荷重車は，カウンターウェイトにより車輌荷重が法定載荷荷重近くになるように調整したダンプトラック，あるいは大型トラックを用いた。荷重車は出荷時にトラックスケール，または現地においてマット式軸重計などで軸重を計測した。各橋梁の荷重車載荷試験に用いた荷重車のタイプと軸重測定結果に基づく前輪および後輪の軸重算出結果を**表 5.2-1** に示す。

表 5.2-1　各荷重車の軸重計量結果（kN）

車両形式	ダンプトラック（3軸）			
使用橋梁	M2橋	O12橋	H7橋	H3橋
前輪	50.2	50.0	49.8	48.3
後前輪	71.4	76.7	69.5	71.0
後後輪	71.4	76.7	68.1	70.0
計	193.1	203.4	187.4	189.3

車両形式	大型トラック（4軸）
使用橋梁	C7橋
前前輪	43.7
前後輪	43.7
後前輪	55.9
後後輪	55.9
計	199.1

なお，H7 橋と H2 橋は同じ荷重車を用いているため，荷重車の諸元は同じである。各橋梁に用いた荷重車の諸元の詳細については，5.3 節参照のこと。

表 5.2-1 に示すように，ダンプトラックを用いた M2，O12，H7，および H2 橋の後輪 1 軸あたりの軸重は 70kN 前後，大型トラックを用いた C7 橋の後輪 1 軸あたりの軸重は 56kN 程度であることが分かる。

②計測パラメータ

荷重車計測では，荷重車の走行位置（横断方向載荷位置），走行速度，載荷試験時の路面温度などに着目し，これらのパラメータと着目部の発生応力度の相関を検討する。

5.2.2　応力頻度測定

各橋梁の応力測定時期および測定時間を**表 5.2-2** に示す。応力頻度測定で得られたデータは，レインフロー法による解析と，平均応力により応力範囲が圧縮側か引張側かを把握するためにピークバレー法による解析を行った。

表 5.2-2　各橋梁の応力頻度計測時期

橋梁名	計測時期			計測時間
M2橋	H17.8.1(月）	～	H17.8.4(木）	72時間
O12橋	H18.3.27(月）	～	H18.3.30(木）	72時間
C7橋	H18.3.6(月）	～	H18.3.9(木）	72時間
H7橋	H17.10.17(月）	～	H17.10.20(木）	72時間

5.3　各橋梁の測定結果

5.3.1　M2 橋

(1)計測位置

荷重車載荷試験の着目断面は,舗装を撤去しての調査でデッキプレート表面にき裂が確認されたパネルの隣接するパネルとした。着目するトラフリブは，き裂が確認された溶接継手の延長にあるものとした。なお，着目部位にき裂がないことを，事前に非破壊検査で確認した。**図 5.3-1**に，着目断面を示す。

計測項目は，トラフリブ下面の橋軸方向の応力，トラフリブとデッキプレート近傍の横断方向の応力，デッキプレート下面の温度である。計測位置と車両走行位置の関係を**図 5.3-2**に示す。

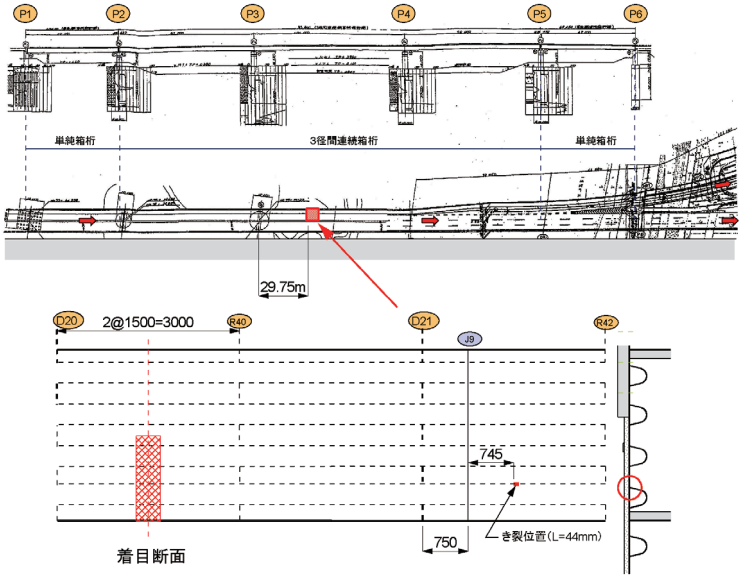


図 5.3-1　応力計測の着目断面

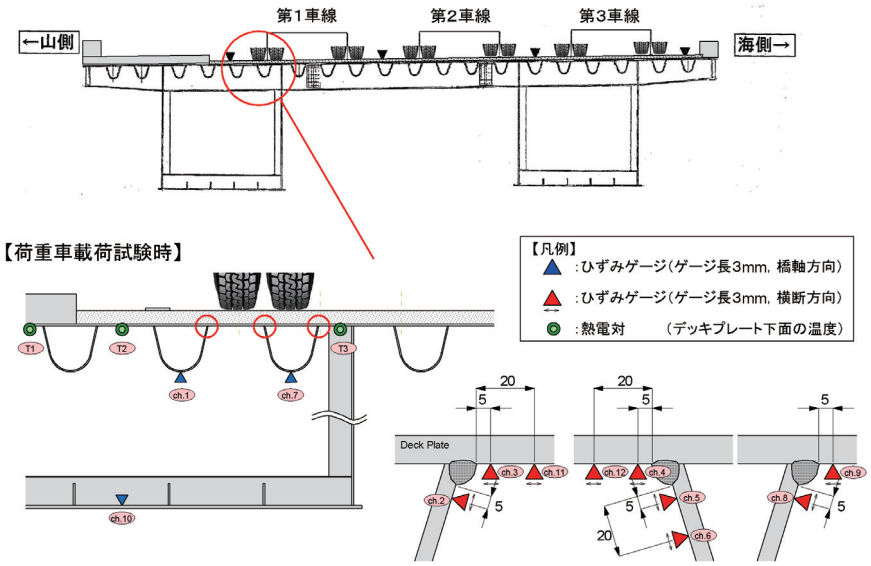


図 5.3-2　計測センサー類設置位置

(2)荷重車計測（実施日：平成 17 年 8 月 5 日（金）天候：晴れ）

①荷重車

荷重車は，３軸（前１軸，後２軸）の大型トラックを用いた。荷重は荷台にカウンターウェイトを積載し，車両総重量が 200kN 程度となるように調整した。荷重車を**写真 5.3-1** に，その諸元を**図 5.3-3** に示す。



写真 5.3-1　荷重車

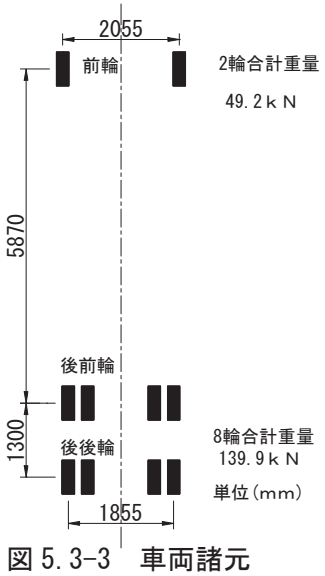


図 5.3-3　車両諸元

②載荷ケース

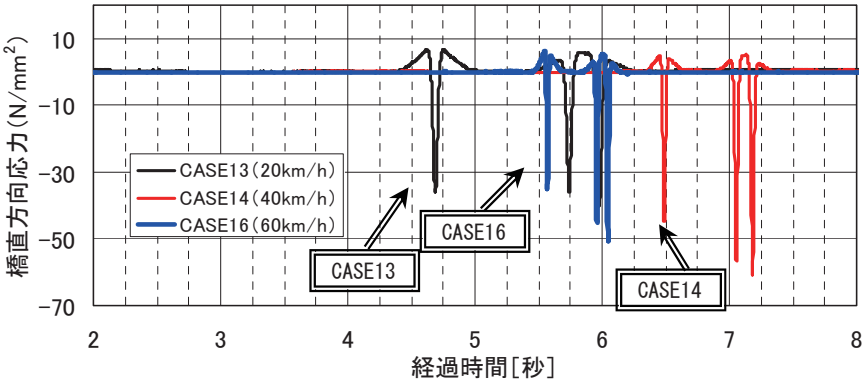
載荷位置および走行速度をパラメータとして，十数ケースの計測を行った。載荷ケースを，**表 5.3-1** に示す。

表 5.3-1　載荷ケース

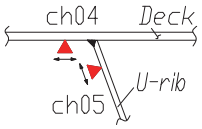
Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
-1	11:21	Test Truck	Left	20
-2	11:45		Normal	20
-3	12:11		Normal	20
-4	13:58		Normal	20
-5	14:02	3-axle Truck		
-6	14:04	3-axle Truck		
-7	14:08	2-axle Truck		
-8	14:10	3-axle Truck		
-9	14:23	Test Truck	Right	20
-10	14:28	4-axle Truck		
-11	14:31	3-axle Truck		
-12	14:33	3-axle Truck		
-13	14:47	Test Truck	Normal	20
-14	15:13		Normal	40
-15	15:36		Normal	40
-16	16:00		Normal	60
-17	16:20		Normal	60

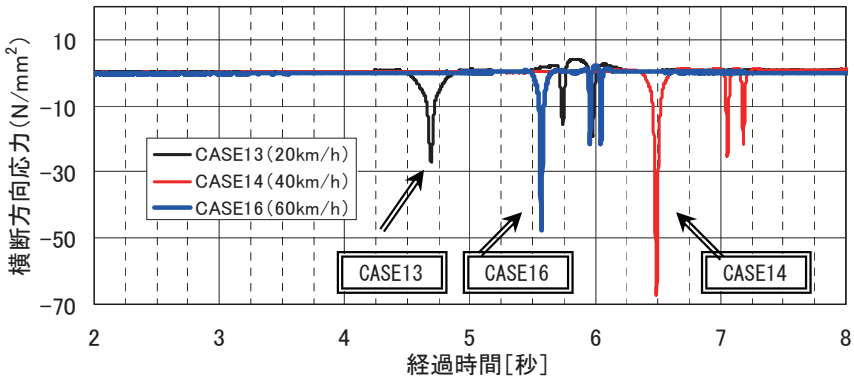
③計測結果

デッキプレート貫通型き裂に対して厳しい応力状態となるように，着目溶接線を荷重車後輪のダブルタイヤが跨ぐように走行した代表的なケースについて，着目溶接線のトラフリブとデッキプレート近傍とトラフリブ下面の応力波形を**図 5.3-4** に示す。また，荷重車計測時のデッキプレート下面の温度変化を**図 5.3-5** に，全ケースの車両通過時の最大・最小応力値の一覧を**表 5-3-2** に示す。

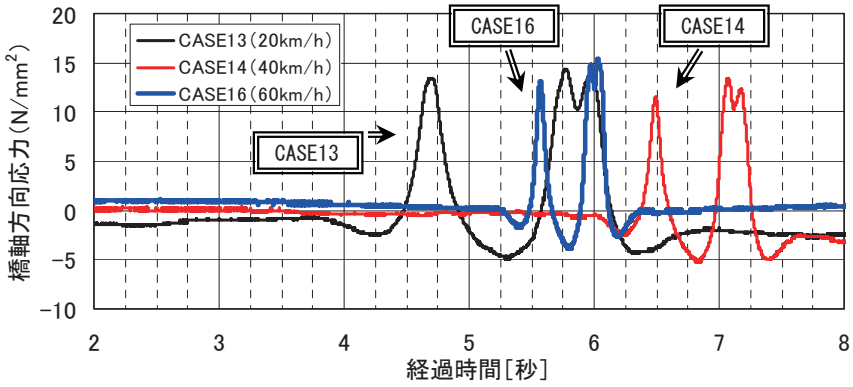


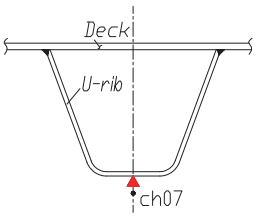
（ａ）デッキプレートートラフリブ溶接部ーデッキ側溶接止端部（ch4）





（ｂ）デッキプレートートラフリブ溶接部ートラフリブ側溶接止端部（ch5）





（ｃ）トラフリブ下面（ch7）

図 5.3-4　代表的なケースの応力波形

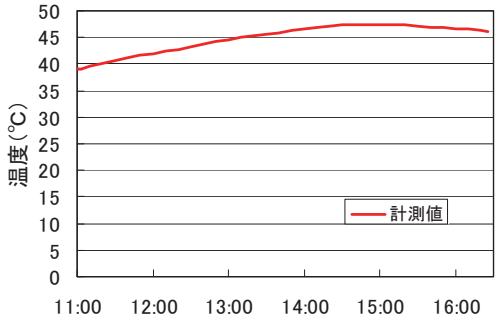


図 5.3-5　温度計測結果

表 5.3-2　各ケースの最大・最小応力値

単位:N/mm²

	CH No.	隣接トラフリブ溶接線データ				着目トラフリブ溶接線データ				
		トラフリブ下面	トラフリブ側止端5mm	デッキ側止端5mm	デッキ側止端20mm	デッキ側止端20mm	デッキ側止端5mm	トラフリブ側止端5mm	トラフリブ側止端20mm	トラフリブ下面
		CH.001	CH.002	CH.003	CH.011	CH.012	CH.004	CH.005	CH.006	CH.007
CASE01	MAX	16.9	1.5	8.1	27.1	2.3	2.5	2.7	2.6	8.1
	MIN	-7.0	-19.1	-44.4	-0.2	-14.0	-33.9	-44.5	-37.6	-2.2
CASE02	MAX	17.4	4.4	7.9	34.6	2.3	2.7	2.5	2.4	8.2
	MIN	-6.7	-16.6	-51.8	-2.5	-16.0	-35.8	-48.3	-40.7	-1.5
CASE03	MAX	16.7	1.5	8.1	25.2	2.2	2.4	2.6	2.4	8.3
	MIN	-6.8	-18.7	-41.3	-0.6	-13.8	-33.2	-43.9	-36.9	-2.1
CASE04	MAX	18.7	34.2	7.8	51.9	3.2	3.4	3.6	3.1	4.4
	MIN	-9.0	-17.7	-67.1	-12.4	-24.5	-39.9	-44.4	-37.3	-2.3
CASE09	MAX	-0.3	0.8	0.9	0.7	0.6	0.8	5.0	4.3	2.7
	MIN	-1.6	-0.5	-1.2	-0.6	-0.9	-1.1	-0.1	-0.1	-1.7
CASE13	MAX	1.1	1.4	1.6	18.6	5.9	6.5	4.2	3.9	14.4
	MIN	-2.6	-14.5	-17.3	-0.1	-19.7	-40.1	-27.0	-23.2	-4.9
CASE14	MAX	4.3	1.5	1.6	51.0	4.9	5.2	1.9	1.8	13.5
	MIN	-3.8	-33.3	-36.5	-0.4	-37.8	-60.6	-67.2	-56.9	-5.2
CASE15	MAX	2.5	2.4	2.3	21.2	5.6	6.4	15.4	12.9	14.9
	MIN	-2.1	-16.3	-18.9	-4.1	-21.9	-43.2	-34.1	-29.2	-3.8
CASE16	MAX	3.5	0.9	1.1	29.5	5.3	6.1	2.3	2.3	15.4
	MIN	-2.0	-20.6	-23.2	-0.4	-28.3	-50.7	-47.6	-40.4	-3.8
CASE17	MAX	3.4	1.0	1.1	29.5	5.4	6.2	2.5	2.5	15.5
	MIN	-2.2	-20.7	-23.2	-0.5	-28.5	-50.6	-47.7	-40.6	-3.9

各部位で計測されたデータの特徴を以下に示す。

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力（ch.4，ch.5）

図 5.3-4（ａ），（ｂ）をみると，軸毎に応力のピークが確認される。発生応力はデッキプレート側溶接止端部では引張側が 7N/mm² 程度，圧縮側が 30～60N/mm² 程度，トラフリブ側溶接止端部では引張側の応力がほとんど発生せず，圧縮側が 20～70N/mm² 程度とかなり大きな応力が発生した。また，速度による影響については，走行位置が微妙に異なるために厳密な比較ではないが，40km/h，60km/h，20 km/h の順で大きな応力が発生した。

・トラフリブ下面の橋軸方向の応力（ch.1，ch.7）

図 5.3-4（ｃ）をみると，軸による影響は小さく，前輪と後輪で応力のピークが分かれており、15～20N/mm² 程度の引張応力が発生している。また，発生応力に対する速度の影響は明確ではない。

・デッキプレート下面の温度

図 5.3-5 より，荷重車計測時の温度は 39～47.5 度と温度変化はあまり大きくないが，かなり高い温度下での計測であったことが分かる。

(3)応力頻度計測：平成 17 年 8 月 1 日（月）23:59～4 日（木）23:59 の平日 72 時間で実施

①計測位置

応力頻度測定における着目断面は，荷重車載荷試験と同じである。なお，着目溶接線は実際にき裂が発生した位置やわだちの位置から判断して決定した。**図 5.3-6** に示す幅員構成から推定される一般的な大型車の走行位置を示す。

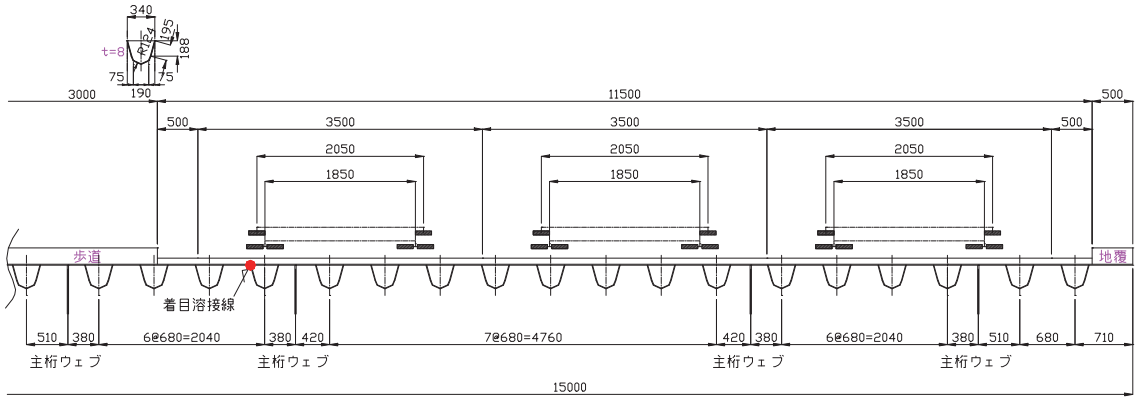


図 5.3-6　幅員構成から推定される大型車走行位置

②計測結果

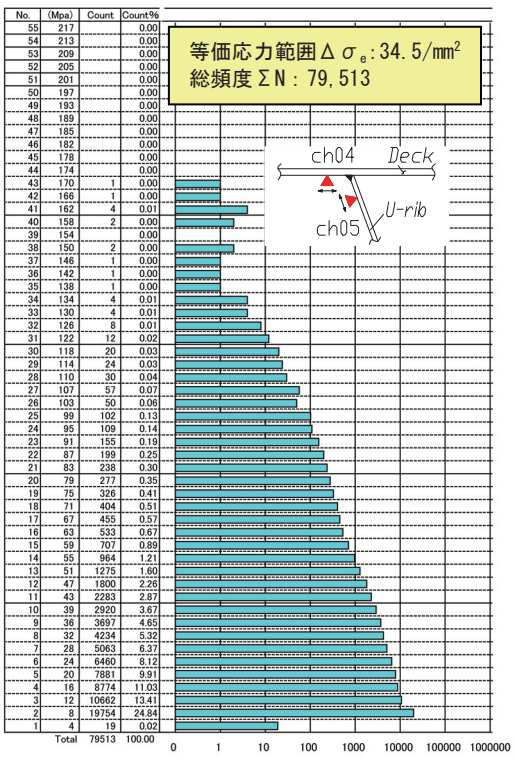
各部位の計測結果の特徴を以下に示す。

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力

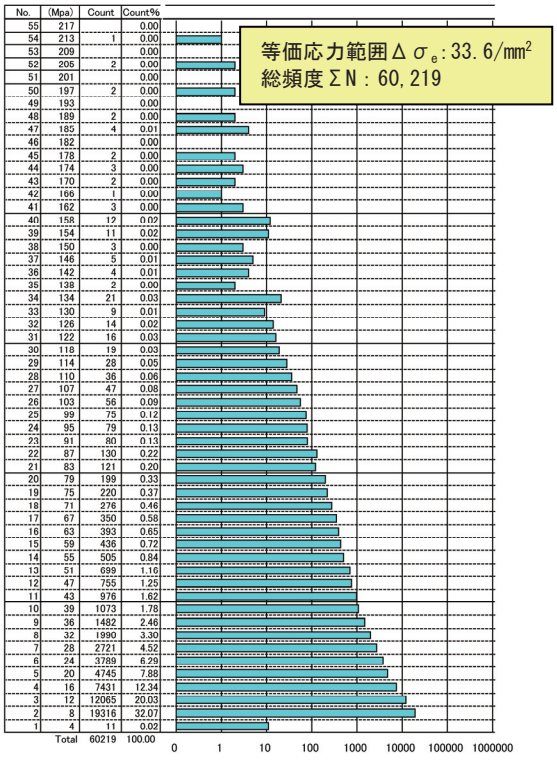
ゲージチャンネル番号４と５について，レインフロー法で整理した結果を**図 5.3-7（ａ），（ｂ）**に，ピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-8（ａ），（ｂ）**に示す。

図 5.3-7（ａ），（ｂ）のデッキプレート側溶接止端部（ゲージ ch 番号４）とトラフリブ側溶接止端部（ゲージ ch 番号５）をみると，打ち切り限界を無視して算出した等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$は，デッキプレート側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝34.5N/mm^2，トラフリブ側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝33.6N/mm^2 とかなり大きな値を示した。また，総頻度 N はそれぞれ 79,513 と 60,219 と，日大型車交通量から算出される車線あたりの大型車車両通過台数が 23,000 台程度であることを考えると，交通量ではなく，軸数による影響が大きいことが分かる。両者の疲労被害度を比較すると，等価応力範囲はほぼ同程度であるが，総頻度 N はデッキプレート側溶接止端部の頻度がトラフリブ側溶接止端部の頻度よりも３割程度大きく，デッキプレート側溶接止端部の疲労被害度が大きいことが分かる。

図 5.3-8（ａ）をみると，デッキプレート側溶接止端部では圧縮側のピーク値は大きく，引張側のピーク値は小さい。圧縮側と引張側のピーク数の割合は圧縮側が引張側の２倍程度あるが，圧縮側で 0N/mm^2 近傍のピーク値も数多く確認されていることから，輪荷重が通過した際の圧縮応力は軸重により異なるが，引張応力はほぼ一定であり，軸重が通過する毎に大きな圧縮応力と小さな引張応力の交番が起きていたとも考えられる。**図 5.3-8（ｂ）**よりとトラフリブ側溶接止端部でもデッキ側溶接止端部と同様の傾向であるが，引張側のピーク値はデッキ側溶接止端部よりも大きめの値を示している。

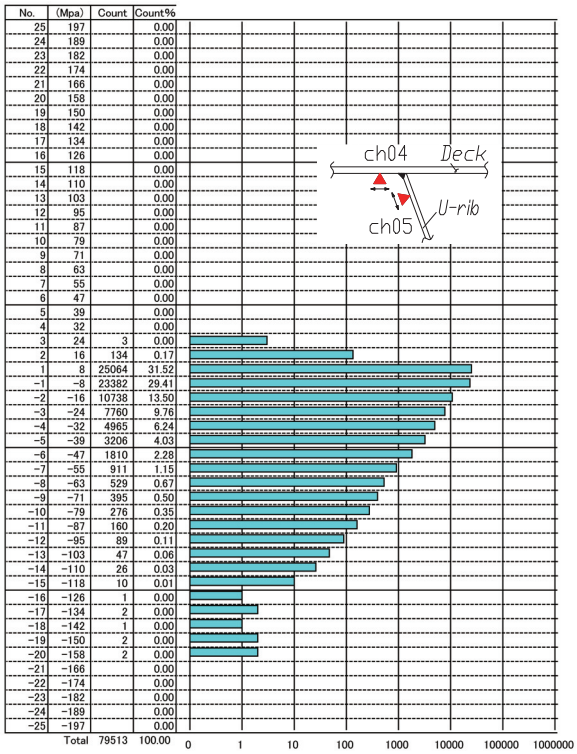


（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch4）

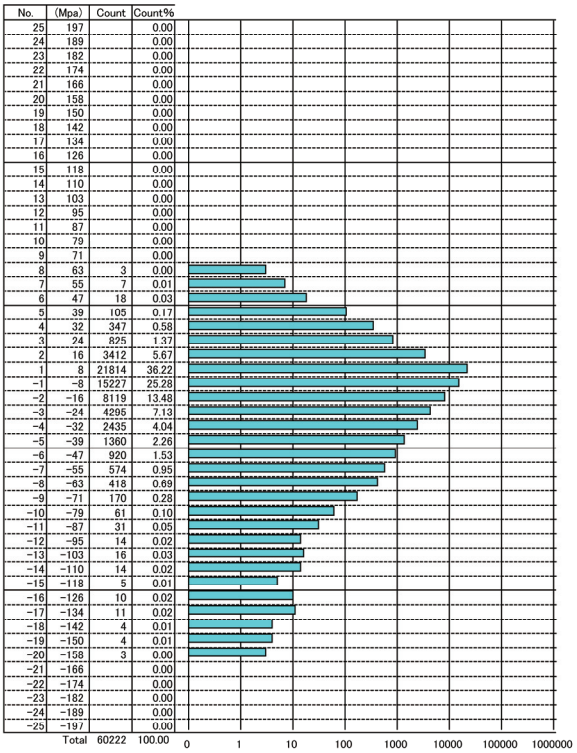


（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch5）

図 5.3-7　レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch4）

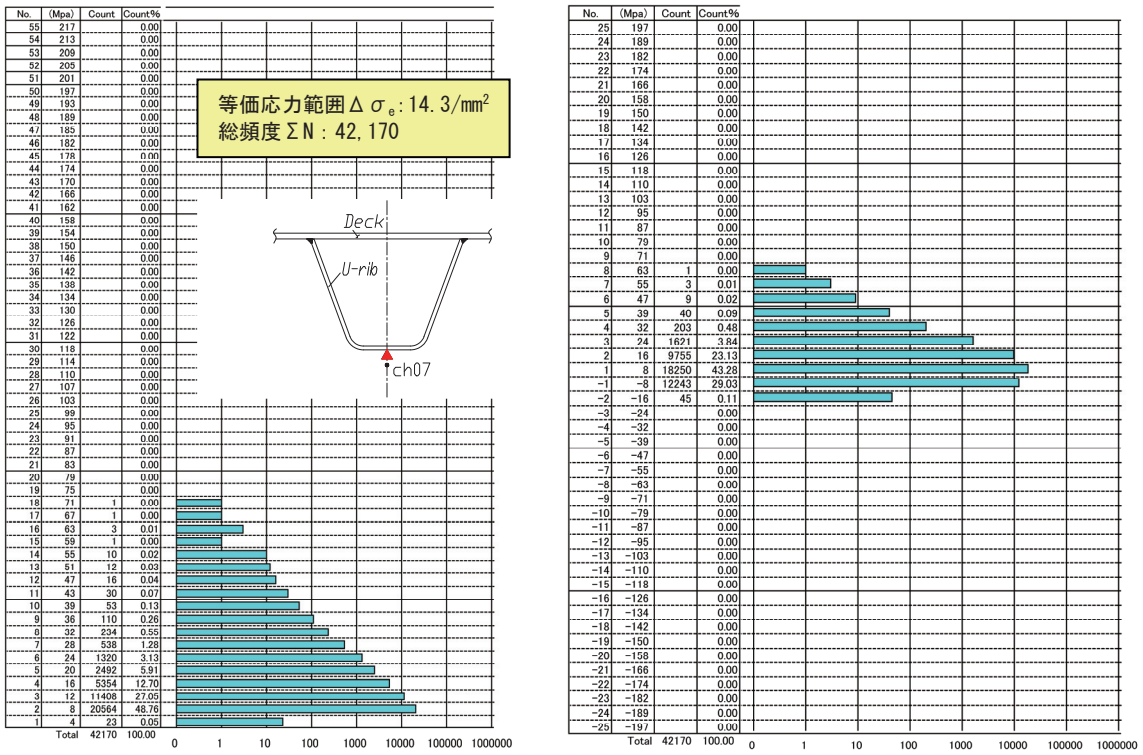


（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch5）

図 5.3-8　ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリブ下面の橋軸方向応力

ゲージチャンネル番号７について，レインフロー法で整理した結果とピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-9（ａ），（ｂ）**に示す。**図 5.3-9（ａ）**で等価応力範囲や総頻度がデッキ側溶接止端部やトラフリブ側溶接止端部よりも小さいこと，**図 5.3-9（ｂ）**で引張側のピーク値が卓越していること等，着目溶接線を大型車のダブルタイヤが跨ぐように載荷した荷重車計測と同様の傾向を示しており，着目溶接線に対して厳しい荷重条件であることがわかる。



（ａ）レインフロー法で整理　　（ｂ）ピークバレー法で整理

図 5.3-9　トラフリブ下面の応力頻度計測結果（ch7）

5.3.2　012 橋

(1)計測位置

図 5.3-10に，着目断面を示す。デッキプレートとトラフリブの溶接線に溶接ビードを切る方向に進展するき裂（ビード貫通き裂）が発見されたU-12リブとその周辺に着目する。なお，き裂損傷部そのものは応力が変化していると考えられるため，主着目部はき裂損傷ラインの橋軸方向の延長線上にある横リブスパン間（着目部Ａ）とした。また，桁端部近傍にあることの影響を確認するために，損傷部から橋軸方向に少しずらした未損傷位置でも計測（着目部Ｂ）を行った。

計測項目は，トラフリブ下面の橋軸方向の応力，トラフリブとデッキプレート近傍の横断方向の応力，デッキプレート下面の温度である。計測位置と車両走行位置の関係を**図 5.3-11**に示す。

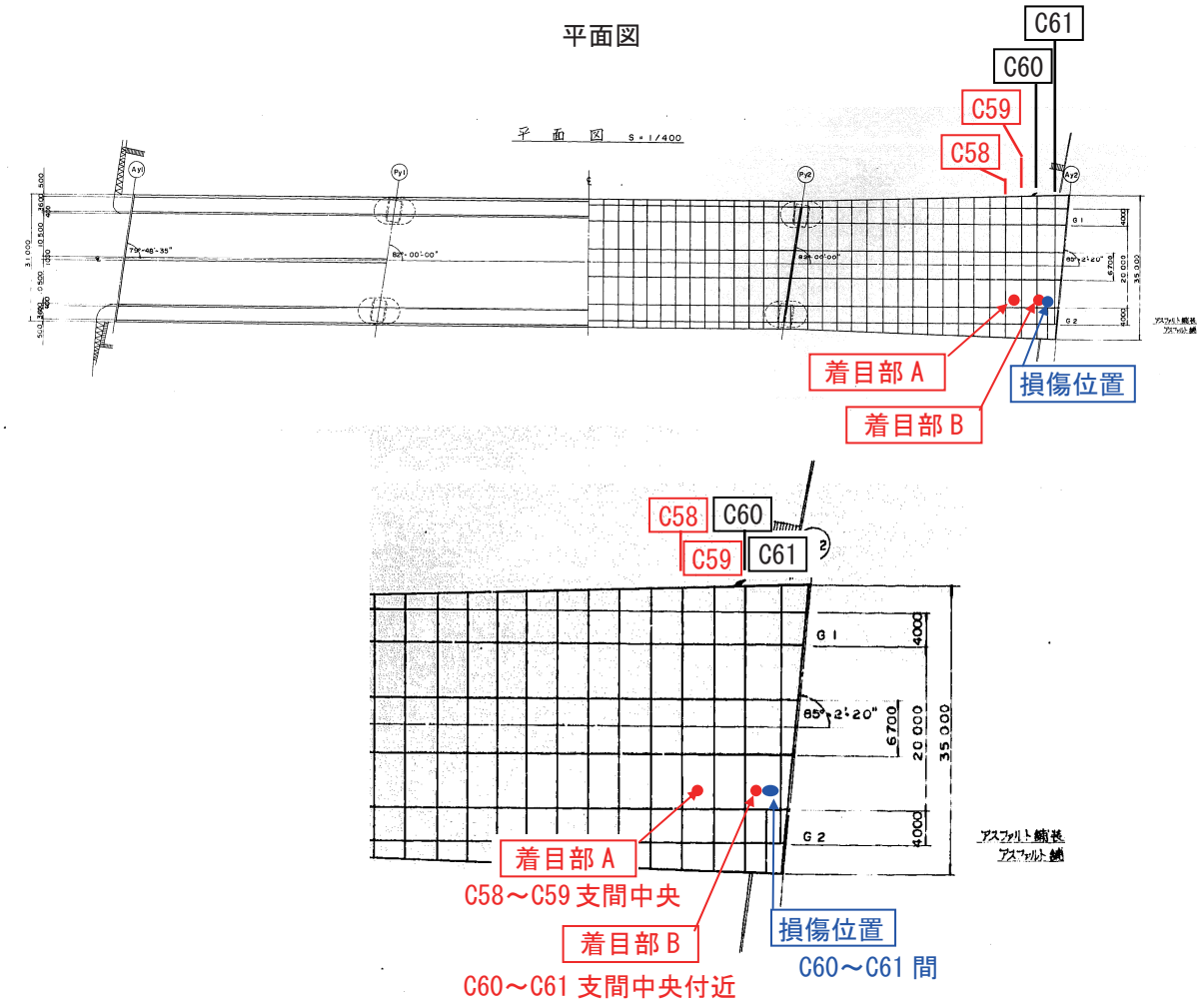
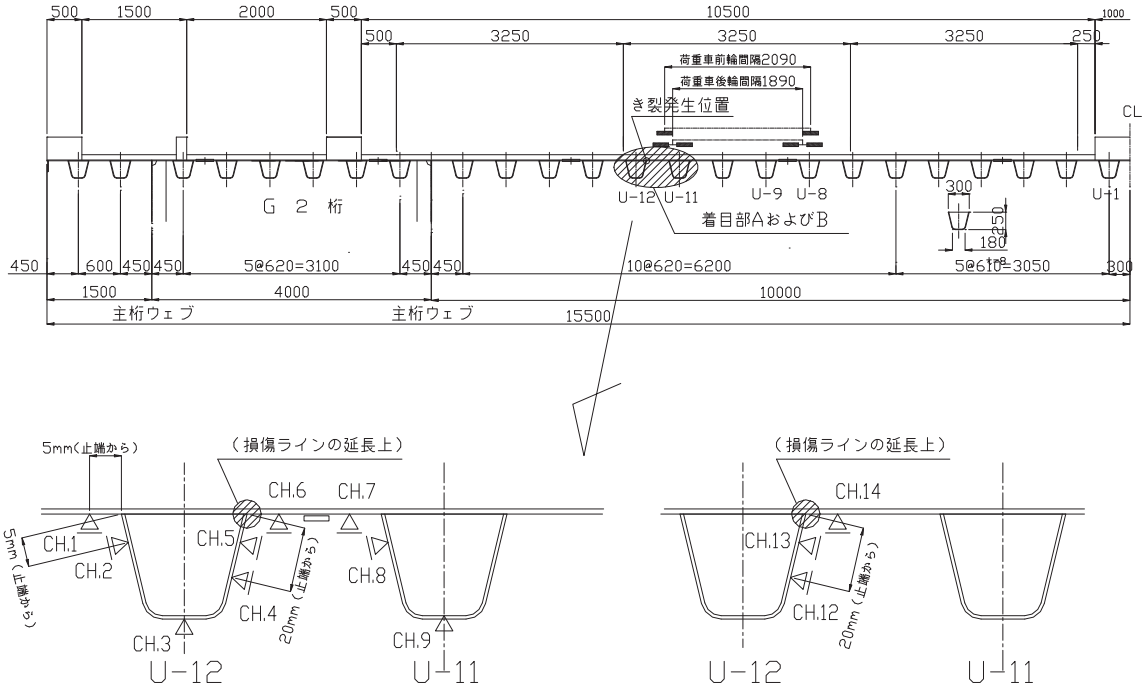


図 5.3-10　応力計測の着目断面



着目部A詳細（横リブC58～C59の支間中央）　着目部B詳細（横リブC60～C61の支間中央付近）

溶接部近傍のゲージは止端から5mmとし，感度方向は橋軸直角方向（ゲージ長3mm）とする。
Uリブ下面のゲージは感度方向を橋軸方向とする。

図 5.3-11　計測センサー類設置位置

(2)荷重車計測（実施日：平成 18 年 3 月 31 日（金）天候：晴れ）

①荷重車

荷重車は，３軸（前１軸，後２軸）のダンプトラックを用いた。荷重は荷台に土砂を積載し，車両総重量が 200kN 程度となるように調整した。荷重車を**写真 5-3.2** に，その諸元を**図 5.3-12** に示す。



写真 5.3-2　荷重車

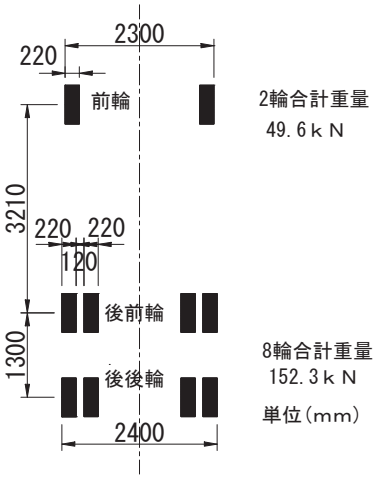


図 5.3-12　車両諸元

②載荷ケース

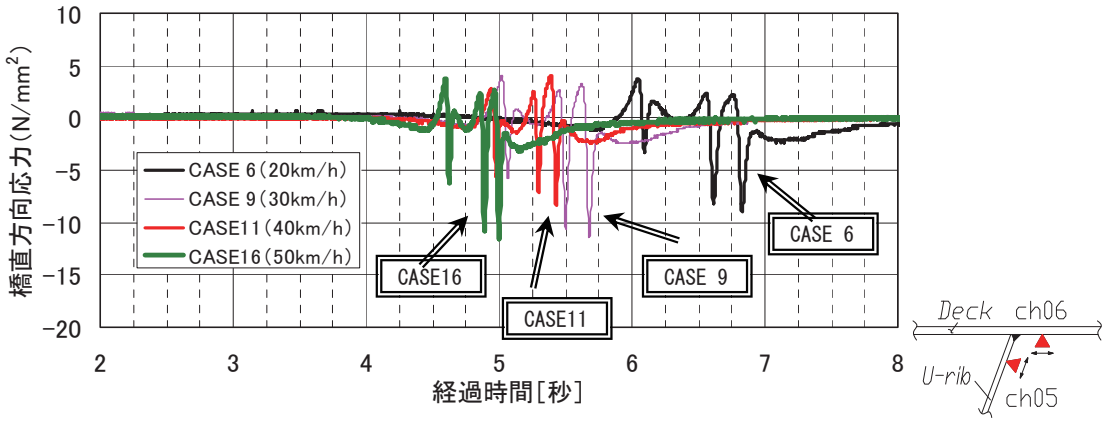
載荷位置および走行速度をパラメータとして，十数ケースの計測を行った。載荷ケースを，**表 5.3-3** に示す。

表 5.3-3　載荷ケース

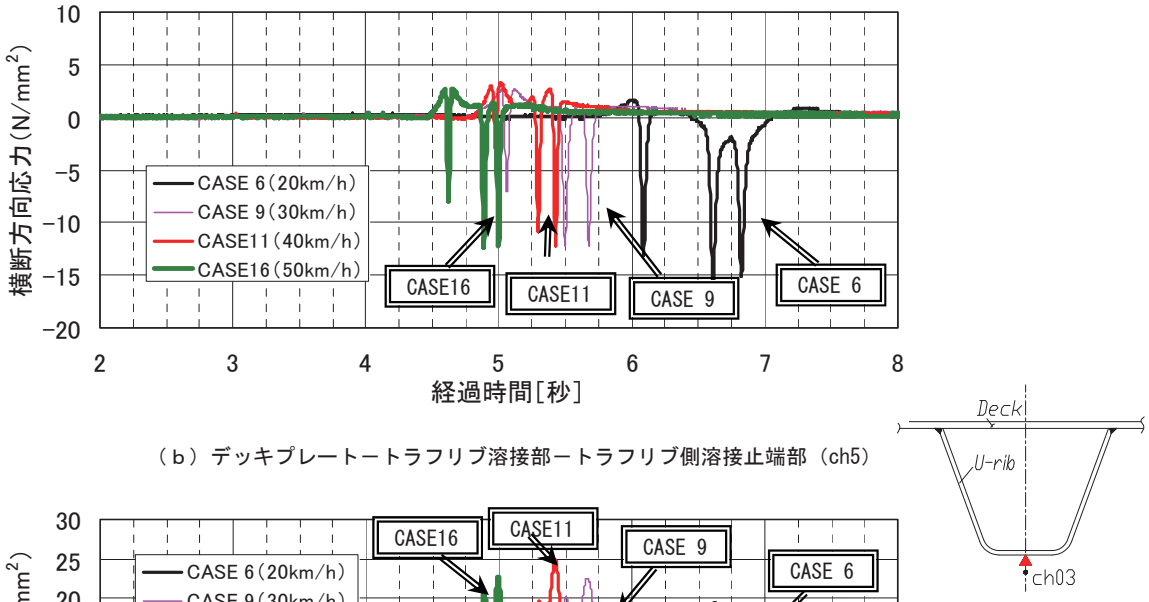
Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
-1	11:12	Test Truck	test	
-2	11:25	Test Truck	Normal	50
-3	11:35		Left	50
-4	11:45		Left	50
-5	11:58		Left	20
-6	12:09		Left	20
-7	12:19		Left	20
-8	13:40		Left	30
-9	13:51		Left	30
-10	14:01		Left	30
-11	14:13		Left	40
-12	14:22		Left	40
-13	miss			
-14	14:37	6-axle Truck	〃	〃
-15	14:44	Test Truck	Left	50
-16	14:53		Left	50
-17	15:02	Test Truck	cross lane	50
-18	15:16	Test Truck	cross lane	50

③計測結果

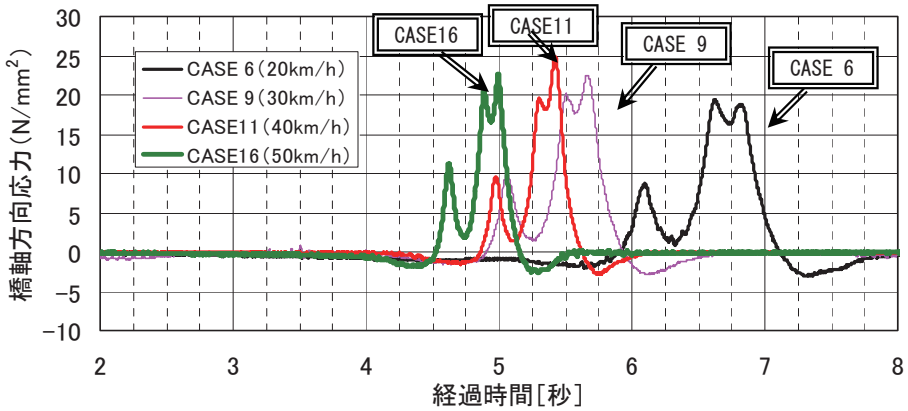
デッキプレート貫通型クラックに対して厳しい応力状態となるように，着目溶接線を荷重車後輪のダブルタイヤが跨ぐように走行した代表的なケースについて，着目溶接線のトラフリブとデッキプレート近傍とトラフリブ下面について，着目部Ａの応力波形を**図 5.3-13** に，着目部Ｂの応力波形を**図 5.3-14** に示す。また，荷重車計測時のデッキプレート下面の温度変化を**図 5.3-15** に，全ケースの車両通過時の最大・最小応力値の一覧を**表 5.3-4** に示す。



（ａ）デッキプレートートラフリブ溶接部－デッキ側溶接止端部（ch6）

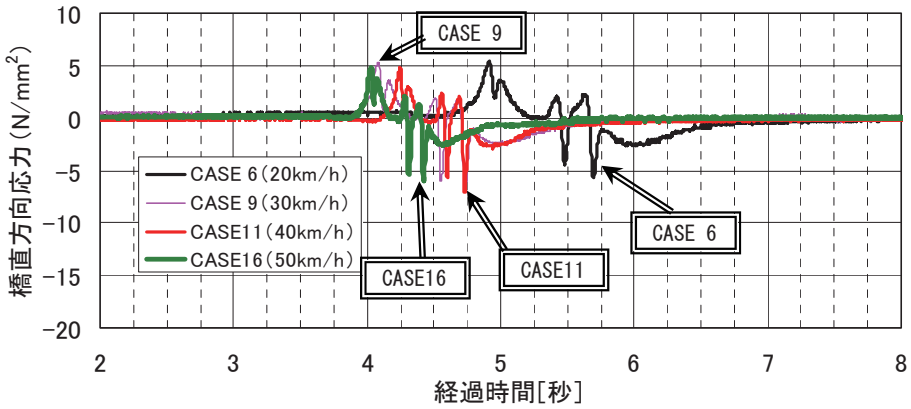


（ｂ）デッキプレートートラフリブ溶接部－トラフリブ側溶接止端部（ch5）

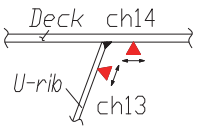


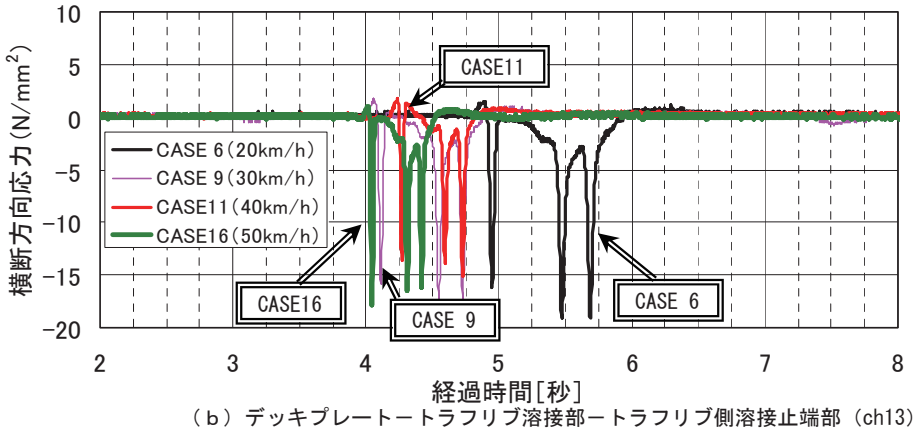
（ｃ）トラフリブ下面（ch3）

図 5.3-13　代表的なケースの応力波形（A 断面）



（ａ）デッキプレートートラフリブ溶接部－デッキ側溶接止端部（ch14）





（ｂ）デッキプレートートラフリブ溶接部－トラフリブ側溶接止端部（ch13）

図 5.3-14　代表的なケースの応力波形（B 断面）

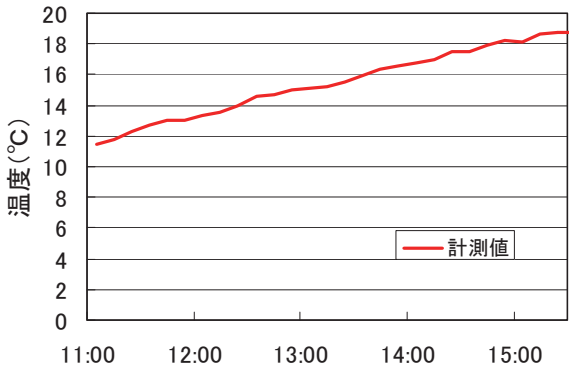


図 5.3-15　温度計測結果

表 5.3-4　各ケースの最大・最小応力値

	CH No.	A断面:着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ逆側溶接線データ		A断面:着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ				A断面:隣接ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ			B断面:着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線	
		ﾃﾞｯｷ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端20mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	ﾃﾞｯｷ側止端5mm	ﾃﾞｯｷ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端20mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm
		CH.001	CH.002	CH.003	CH.004	CH.005	CH.006	CH.007	CH.008	CH.009	CH.012	CH.013
CASE02	MAX	1.1	10.7	9.3	0.8	0.8	0.3	5.4	9.4	21.6	1.0	1.2
	MIN	-0.9	-1.2	-3.0	-8.5	-9.2	-7.5	-3.2	-2.8	-2.1	-8.8	-9.9
CASE03	MAX	5.3	11.1	20.5	2.2	2.3	2.8	0.1	0.7	15.0	1.5	1.6
	MIN	-3.4	-2.0	-2.5	-10.0	-11.3	-4.7	-7.7	-10.1	-4.1	-11.6	-14.0
CASE04	MAX	5.3	10.6	20.1	2.2	2.3	3.1	0.4	0.7	14.3	2.0	2.1
	MIN	-3.6	-3.0	-2.1	-9.9	-11.2	-3.9	-7.2	-8.9	-4.0	-10.8	-13.2
CASE05	MAX	5.1	5.4	22.0	5.9	6.5	3.1	0.2	0.6	12.4	3.4	4.1
	MIN	-6.1	-16.8	-2.7	-2.2	-2.7	-4.5	-7.5	-5.5	-4.7	-10.1	-12.7
CASE06	MAX	5.1	16.1	19.4	1.7	1.6	3.8	0.4	1.3	17.5	1.0	1.5
	MIN	-1.6	-0.3	-3.1	-13.8	-15.7	-9.0	-7.9	-17.9	-4.3	-15.7	-19.1
CASE07	MAX	4.1	16.1	18.8	0.9	0.9	3.3	0.5	1.9	18.5	0.5	0.4
	MIN	-1.8	-0.6	-2.6	-15.6	-17.7	-8.5	-7.2	-18.0	-3.7	-19.6	-23.6
CASE08	MAX	7.3	14.7	24.0	3.3	3.7	3.5	0.1	0.8	15.0	1.5	2.1
	MIN	-5.5	-0.4	-2.9	-9.8	-11.4	-9.3	-12.6	-13.3	-4.9	-13.4	-16.5
CASE09	MAX	6.3	15.6	22.4	2.7	2.8	4.0	0.4	0.8	15.3	1.2	1.7
	MIN	-4.1	-0.3	-2.9	-10.4	-12.2	-11.5	-12.8	-15.9	-4.7	-14.3	-17.3
CASE10	MAX	6.8	15.3	23.6	3.0	3.3	3.6	0.3	0.9	15.1	1.4	1.9
	MIN	-5.0	-0.4	-2.8	-10.3	-12.0	-11.0	-13.1	-14.8	-4.7	-13.5	-16.3
CASE11	MAX	7.3	14.0	25.0	3.0	3.3	4.0	0.1	0.6	15.7	1.4	1.7
	MIN	-5.1	-0.9	-2.9	-10.5	-12.2	-8.3	-12.1	-13.6	-4.7	-12.2	-15.1
CASE12	MAX	6.6	13.7	23.3	3.3	3.4	3.3	0.4	0.7	13.9	1.9	2.3
	MIN	-5.1	-0.4	-3.0	-9.9	-11.4	-8.9	-11.6	-13.1	-4.5	-12.4	-15.2
CASE15	MAX	4.5	15.8	21.2	1.6	1.6	4.2	0.2	0.7	17.7	0.6	0.6
	MIN	-1.6	-0.3	-2.6	-14.7	-16.7	-10.9	-9.2	-19.5	-3.7	-16.1	-20.2
CASE16	MAX	5.9	15.1	22.6	2.5	2.7	3.8	0.2	1.2	14.6	0.8	1.0
	MIN	-3.9	-0.2	-2.7	-10.6	-12.4	-11.6	-12.6	-16.1	-4.5	-14.1	-17.8

各部位で計測されたデータの特徴を以下に示す。

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力（A断面：ch. 6, ch. 5　B断面：ch. 14, ch. 13）

図 5.3-13（ａ），（ｂ）でA断面における計測結果をみると，軸毎に応力のピークが確認される。発生応力はデッキプレート側溶接止端部では引張側が 4N/mm^2 程度，圧縮側が 10N/mm^2 程度，トラフリブ側溶接止端部では引張側が 3N/mm^2 程度，圧縮側が 12N/mm^2 程度とトラフリブ側溶接止端部で若干大きめの圧縮応力が計測された。**図 5.3-14（ａ），（ｂ）**でＢ断面における計測結果をみると，デッキプレート側溶接止端部では圧縮側の発生応力が若干小さくなり，トラフリブ側溶接止端部では引張側の発生応力が小さくなり，圧縮側の応力範囲が大きくなる傾向が確認された。A，B断面の差はパネル合成の差や桁端近傍で有るか否かの差も原因であると考えられるが，構造的要因については別途検証する必要がある．その他，速度による影響については，明確な差を確認することができなかった。

・トラフリブ下面の橋軸方向の応力（ch. 1，ch. 7）

図 5.3-13（ｃ）をみると，軸による影響は小さく，前輪と後輪で応力のピークが分かれており、後輪通過時には 25N/mm^2 弱のやや大きめな引張応力が発生している。また，発生応力に対する速度の影響は明確ではない。

・デッキプレート下面の温度

図 5.3-15 より，荷重車計測時の温度は 11.5～19 度である。**表 5.3-4** を用いて，同じ載荷条件で，計測時の温度が 13 度程度であった CASE3, 4 と 18 度程度であった CASE15, 16 を比較するとこの程度の温度差では温度による明確な差は見られず，微妙な走行位置の差の影響が大きかったと考えられる．

(3)応力頻度計測：平成 18 年 3 月 1 日（月）23:59～4 日（木）23:59 の平日 72 時間で実施

①計測位置

応力頻度測定における着目断面は，荷重車載荷試験と同じである。**図 5.3-16** に示す幅員構成から推定される一般的な大型車の走行位置を示す。着目溶接線は実際にビード貫通き裂が確認された溶接線Ⅰと，デッキプレート貫通型のき裂に対して厳しいと判断される溶接線Ⅱの２本とする。

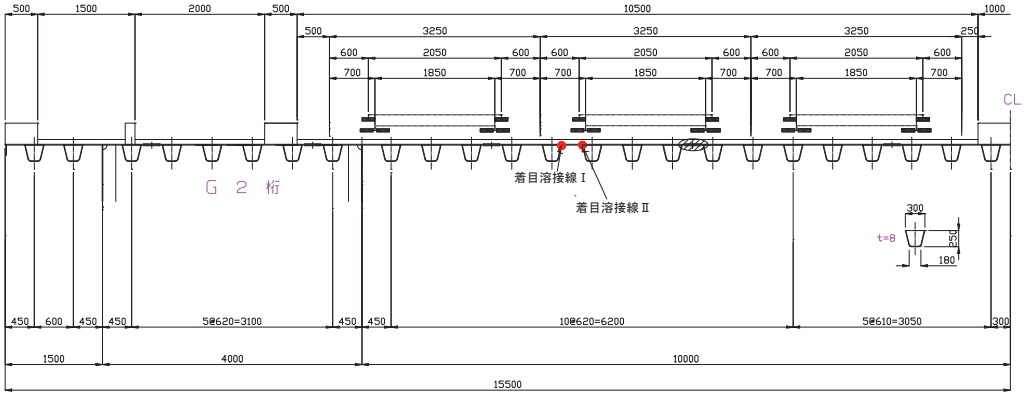


図 5.3-16　幅員構成から推定される大型車走行位置

②計測結果

各部位の計測結果の特徴を以下に示す。

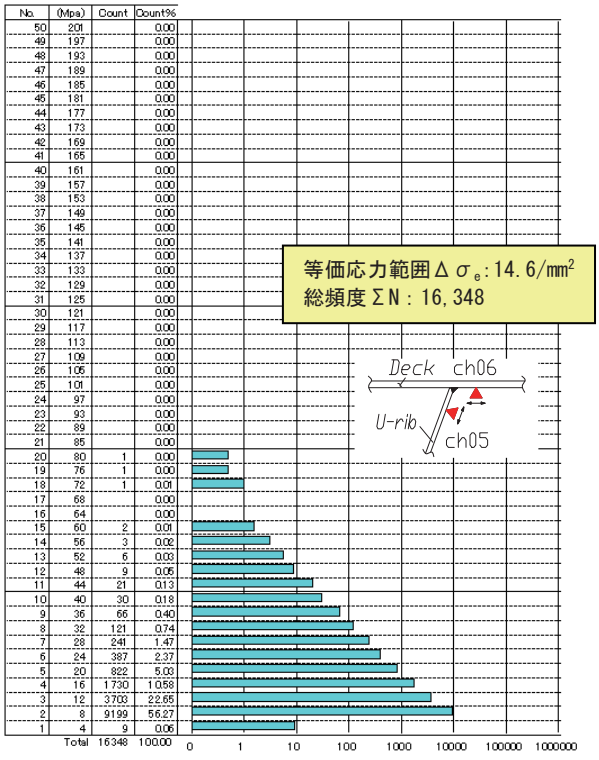
1)着目溶接線Ⅰ

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力

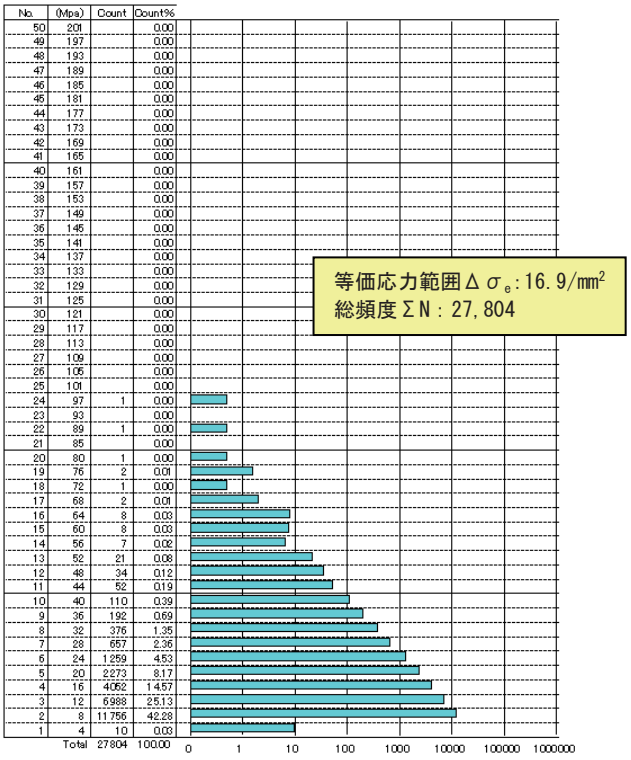
ゲージチャンネル番号６と５について，レインフロー法で整理した結果を**図 5.3-17（ａ）～（ｄ）**に，ピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-18（ａ）～（ｄ）**に示す。

図 5.3-17（ａ），（ｂ）のA断面におけるデッキプレート側溶接止端部（ゲージ ch 番号６）とトラフリブ側溶接止端部（ゲージ ch 番号５）をみると，打ち切り限界を無視して算出した等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ と総頻度 N は，デッキプレート側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝14.6N/mm^2，N＝16,348，トラフリブ側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝16.9N/mm^2，N＝27,408 とトラフリブ側溶接止端部の疲労被害度が大きいことが分かる。また，図 5.3-17（ｃ），（ｄ）でB断面におけるデッキプレート側溶接止端部（ゲージ ch 番号 14）とトラフリブ側溶接止端部（ゲージ ch 番号 13）をみると，等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ と総頻度 N は，デッキプレート側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝13.7N/mm^2，N＝13,252，トラフリブ側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝17.7N/mm^2，N＝32,901 であり，A断面の疲労被害度と比較するとデッキプレート側溶接止端部で小さく，トラフリブ側溶接止端部では大きい。実際にビード貫通型き裂が発見された箇所の近傍のB断面では何らかの構造的要因もあったと考えられる。

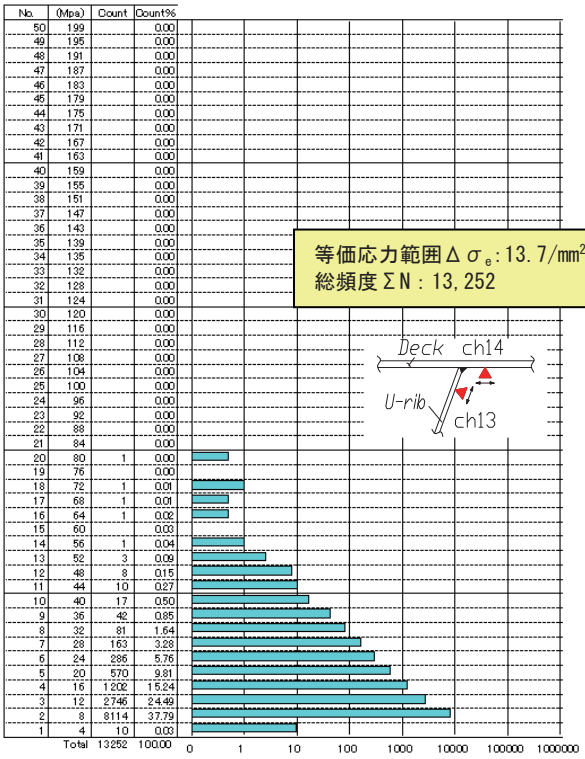
図 5.3-18（ａ）をみると，A断面のデッキ側溶接止端部では圧縮側のピーク値は大きく，引張側のピーク値は小さい。圧縮側と引張側のピーク数の割合はほぼ同程度である。この傾向は**図 5.3-18（ｃ）**の，B断面のデッキ側溶接止端部でも同様である。**図 5.3-18（ｂ），（ｄ）**をみると，トラフリブ側溶接止端部ではデッキプレート側溶接止端部比較してピーク応力値・ピーク応力数ともに若干ではあるが圧縮側にシフトしていること，A断面とB断面は同じような傾向を示していることがわかる。



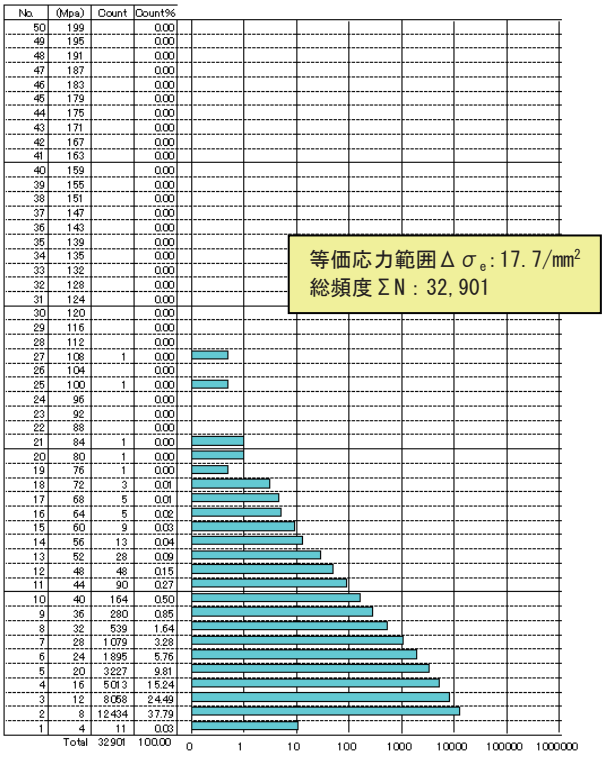
（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch6）



（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch5）

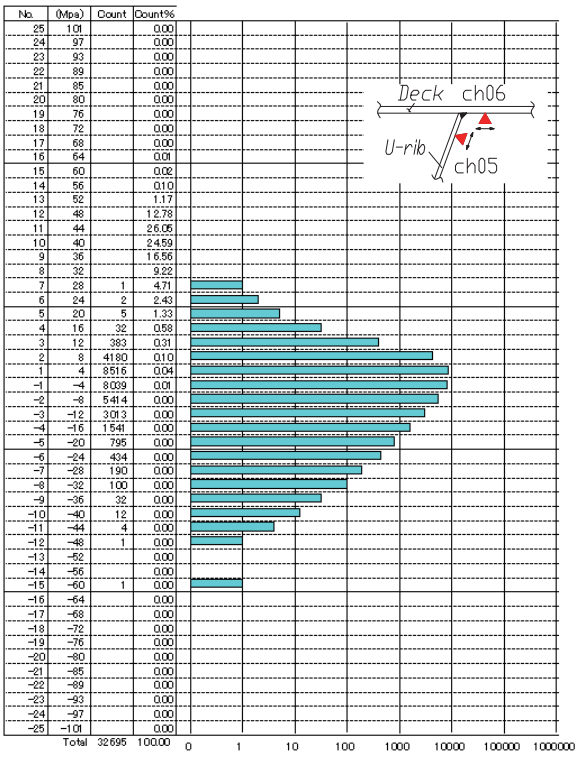


（ｃ）デッキプレート側溶接止端部（ch14）

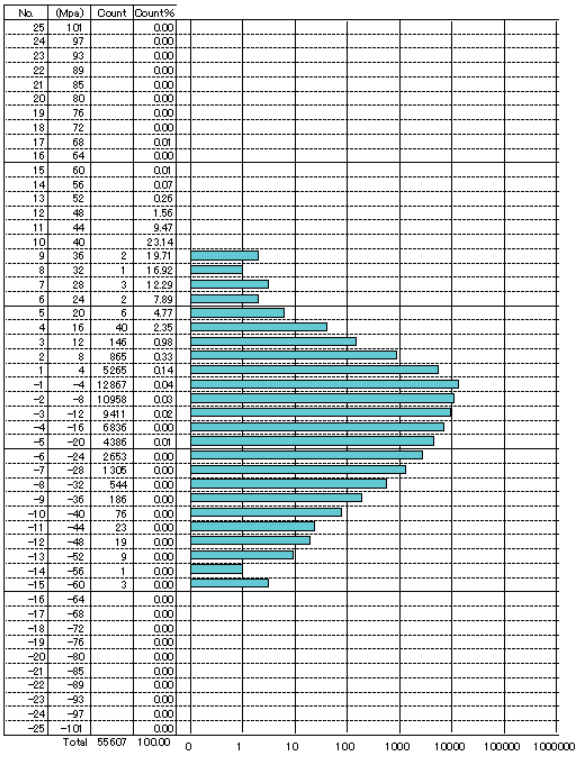


（ｄ）トラフリブ側溶接止端部（ch13）

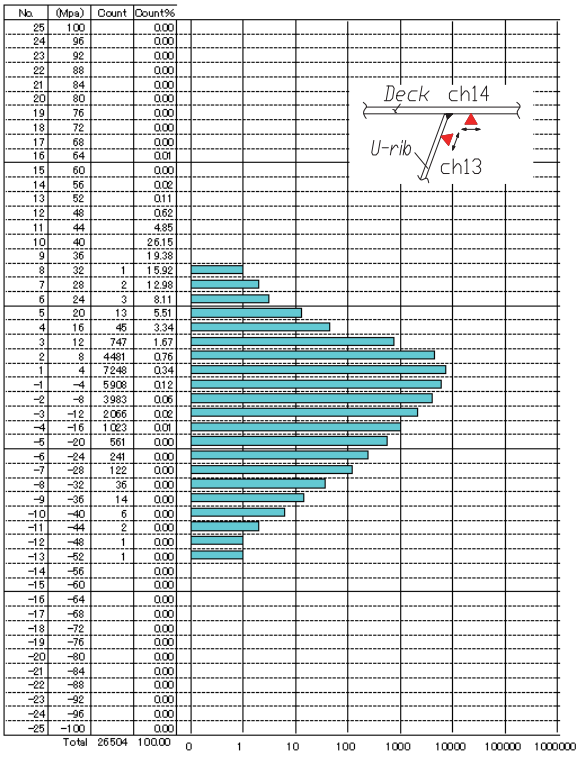
図 5.3-17　レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



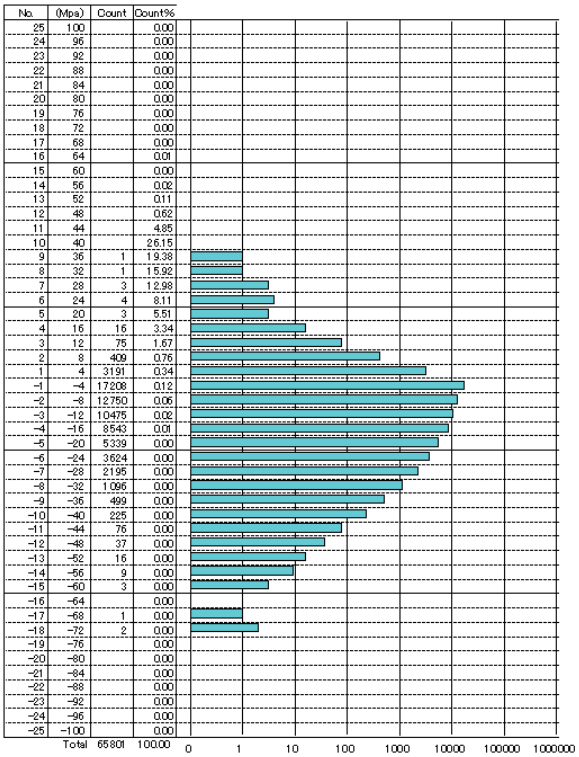
（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch6）



（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch5）



（ｃ）デッキプレート側溶接止端部（ch14）

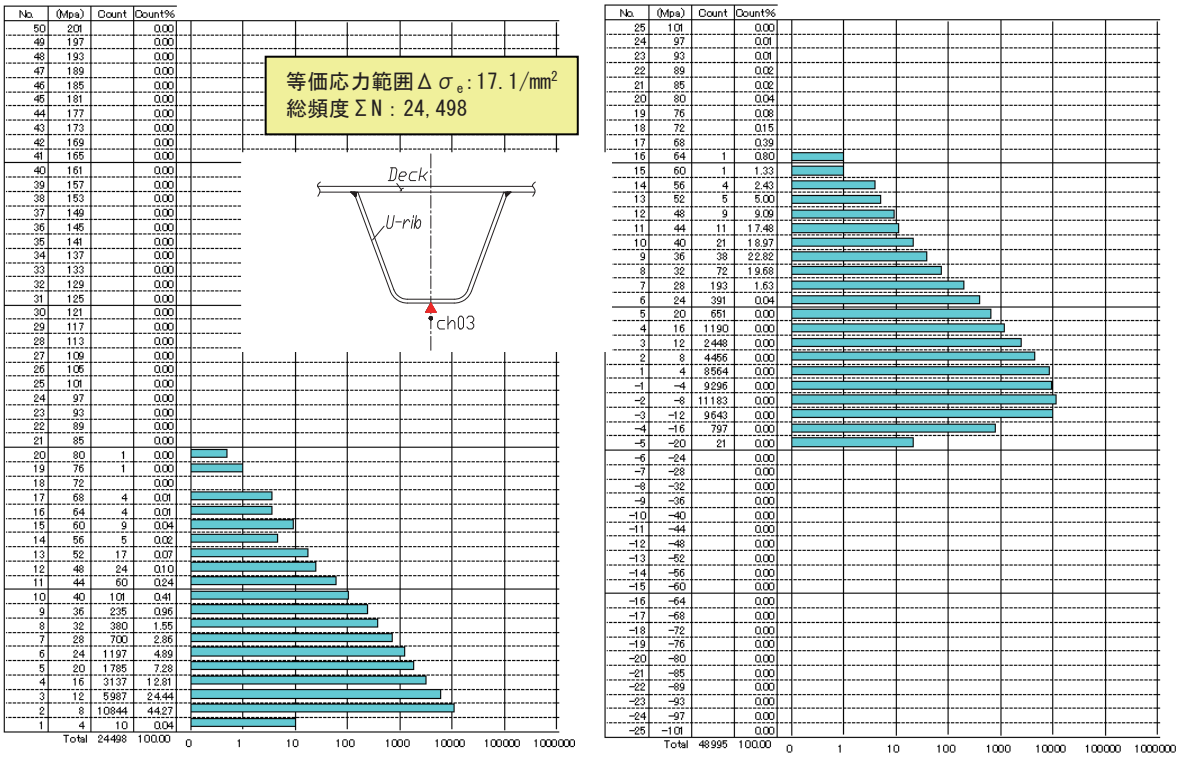


（ｄ）トラフリブ側溶接止端部（ch13）

図 5.3-18　ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリブ下面の橋軸方向応力

ゲージチャンネル番号３について，レインフロー法で整理した結果とピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-19（ａ），（ｂ）**に示す。**図 5.3-19（ａ）**より等価応力範囲や総頻度はトラフリブ側溶接止端部と同じような傾向を示していること，**図 5.3-19（ｂ）**より引張側のピーク値が卓越していること等がわかる。



（ａ）レインフロー法で整理　　（ｂ）ピークバレー法で整理

図 5.3-19　トラフリブ下面の応力頻度計測結果（ch3）

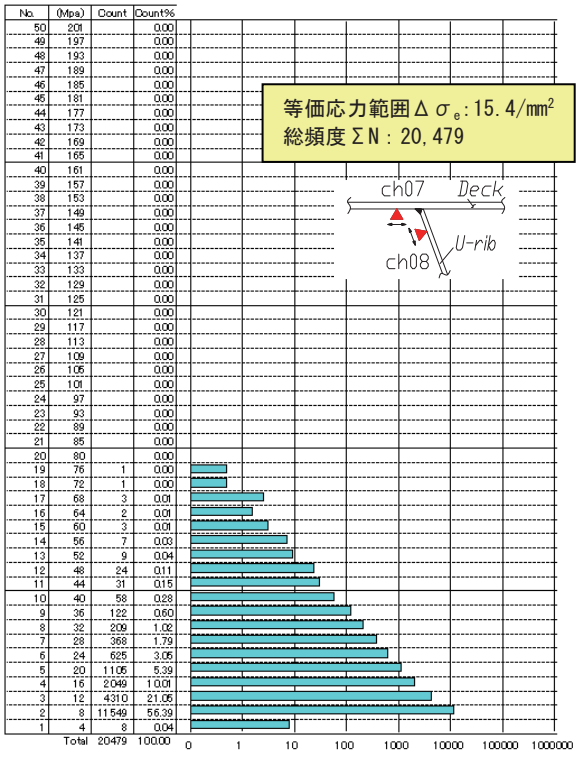
2)着目溶接線Ⅱ

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の橋直方向応力

ゲージチャンネル番号７と８について，レインフロー法で整理した結果を**図 5.3-20（ａ），（ｂ）**に，ピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-21（ａ），（ｂ）**に示す。

図 5.3-20（ａ），（ｂ）のデッキ側溶接止端部（ゲージ ch 番号７）とトラフリブ側溶接止端部（ゲージ ch 番号８）をみると，打ち切り限界を無視して算出した等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ と総頻度 N は，デッキプレート側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝15.4N/mm^2，N＝20,479，トラフリブ側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝15.7N/mm^2，N＝30,930 であり，トラフリブ側溶接止端部の疲労被害度が大きい。溶接線Ⅰと比較するとその傾向は同じであるが，デッキプレート側溶接止端部の疲労被害度が大きめの値を示している。

図 5.3-21（ａ），（ｂ）をみると，デッキ側溶接止端部，トラフリブ側溶接止端部ともに溶接線Ⅰと比較してピーク値の分布が若干引張側にシフトしているが，同様では圧縮側のピーク値は大きく，引張側のピーク値は小さいこと，圧縮側と引張側のピーク数の割合はほぼ同程度あること等の傾向は溶接線Ⅰと同じである。

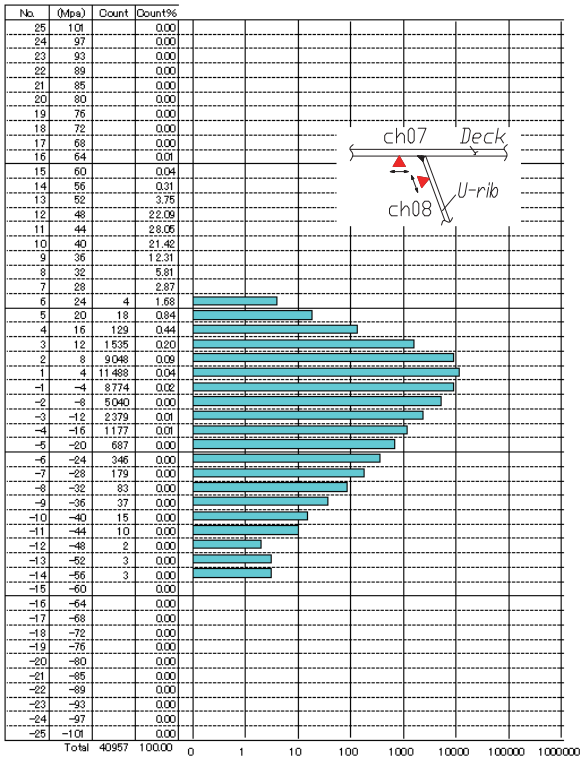


（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch7）

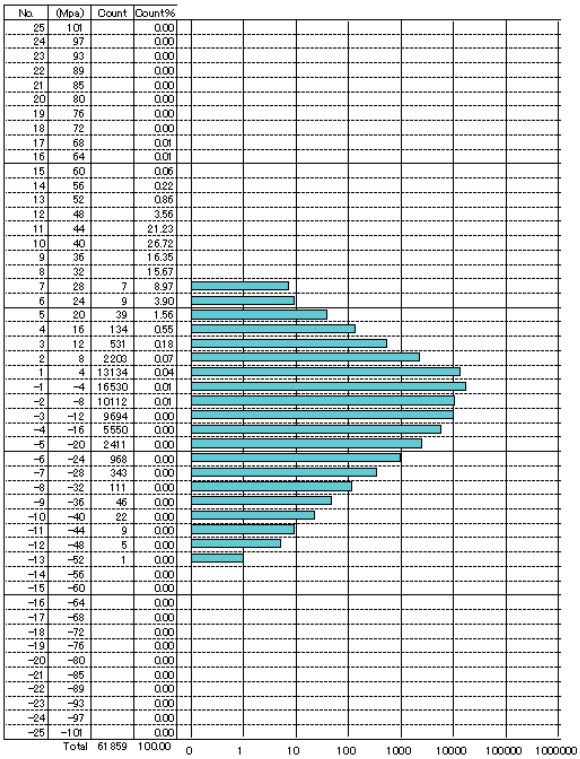


（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch8）

図 5.3-20　レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch7）

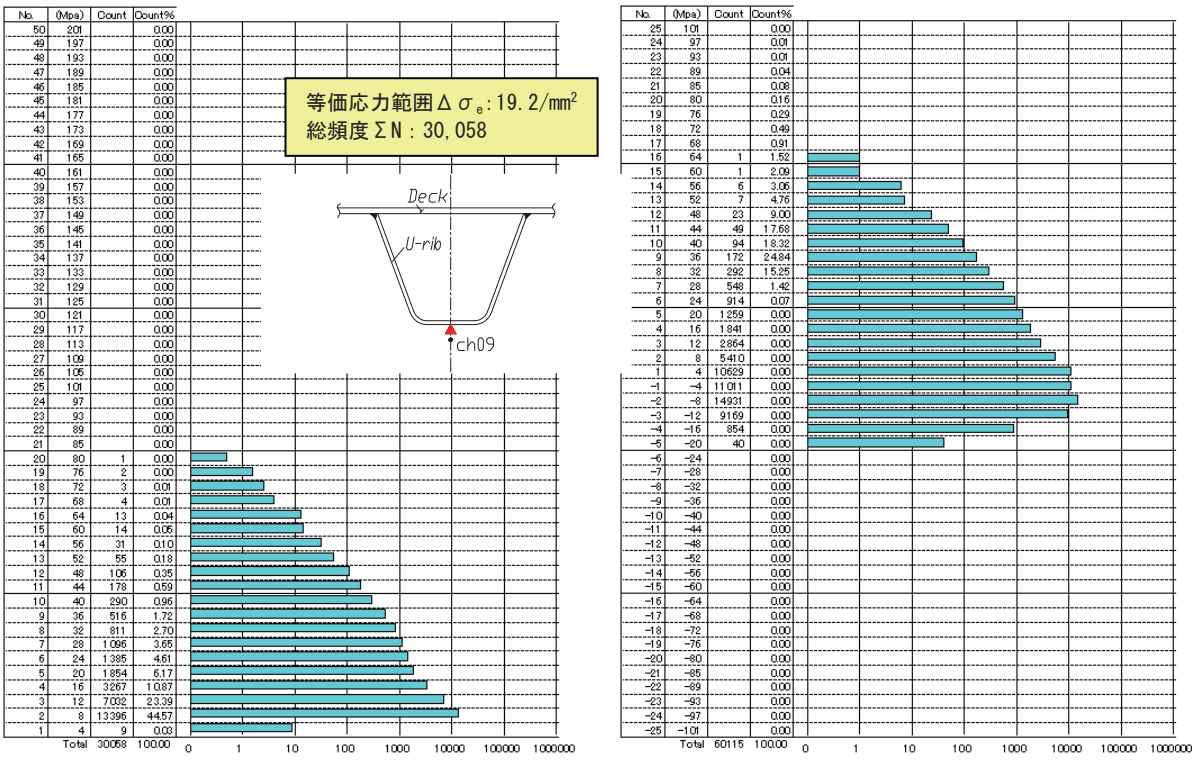


（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch8）

図 5.3-21　ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリブ下面の橋軸方向応力

ゲージチャンネル番号９について，レインフロー法で整理した結果とピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-22（ａ），（ｂ）**に示す。溶接線Ⅰと比較すると，**図 5.3-22（ａ）**より等価応力範囲や総頻度がよりも疲労被害度が大きいこと，**図 5.3-22（ｂ）**よりピーク数が若干増えているがピーク数の分布形状はほぼ同じであることが分かる。本橋ではデッキプレートとトラフリブ溶接部でも着目溶接線Ⅰ，Ⅱが同じような傾向を示したが，この理由としては，現地調査時に確認された第二車線から第一車線への車線変更の多さの影響が挙げられる。



（ａ）レインフロー法で整理　　（ｂ）ピークバレー法で整理

図 5.3-22　トラフリブ下面の応力頻度計測結果（ch9）

5.3.3　C7 橋

(1) 計測位置

計測は桁内への進入が容易な P9-A2 間の橋梁の第 3 径間で実施した。計測断面は桁端部であることの影響が少ないと考えられる，A2 部より 24m 程度離れたパネルの垂直補剛材を有する断面とした。なお，計測断面の垂直補剛材では疲労き裂が確認されていない．**図 5.3-23** に計測断面の位置を示す。

計測項目は，トラフリブ下面の橋軸方向の応力，トラフリブとデッキプレート近傍の横断方向の応力，デッキプレート下面の温度に加え，垂直補剛材とデッキプレート溶接部とした。計測位置と車両走行位置の関係を**図 5.3-24**に示す。

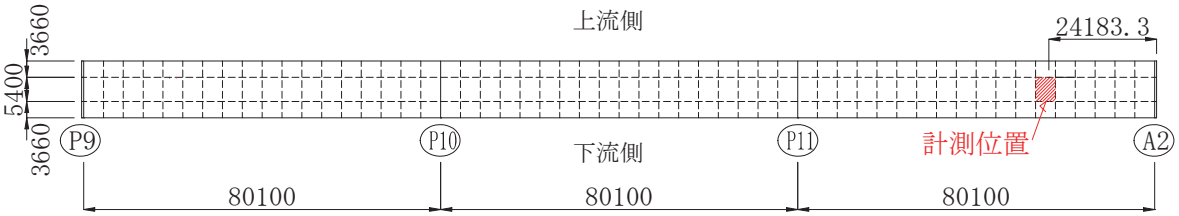


図 5.3-23　応力計測の着目断面

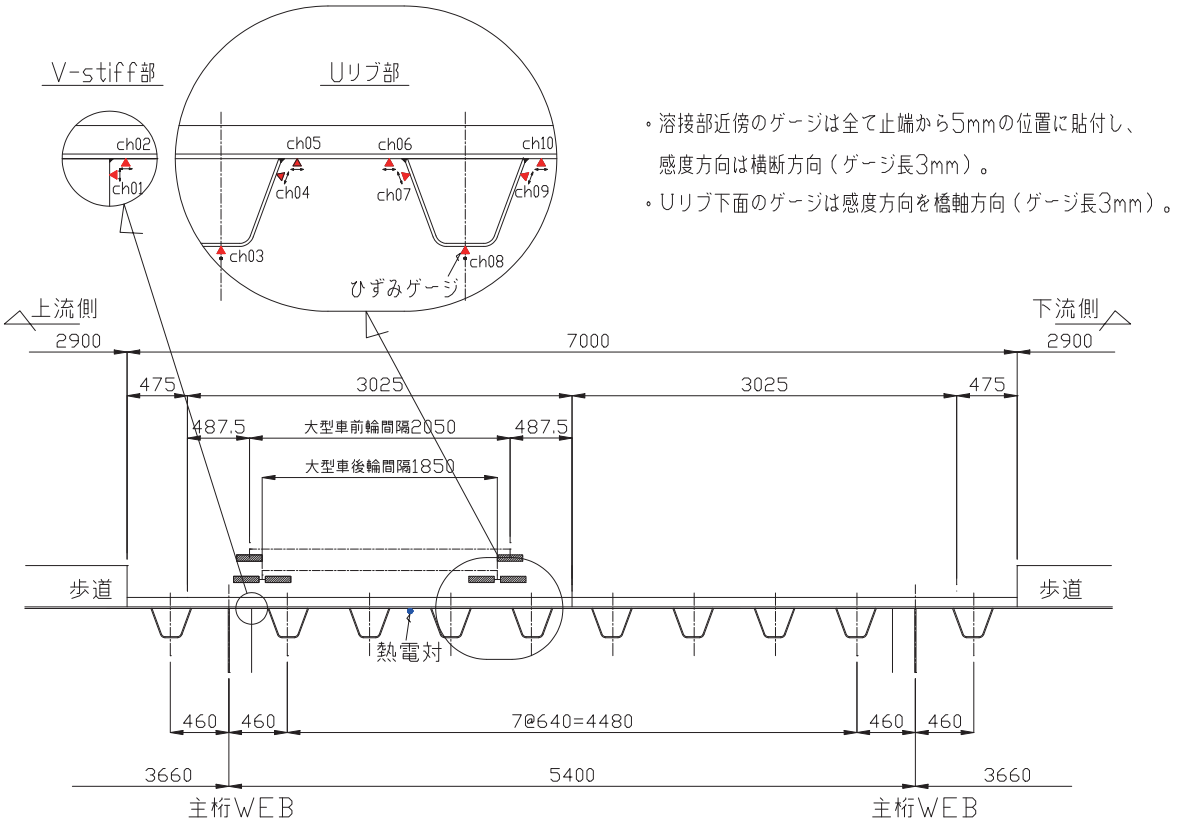


図 5.3-24　計測センサー類設置位置

(2)荷重車計測：(実施日：平成 18 年 3 月 10 日（金）天候：雨のち曇)

①荷重車

荷重車は，４軸（前２軸，後２軸）の大型トラックを用いた。荷重は荷台にカウンターウェイトを積載し，車両総重量が 200kN 程度となるように調整した。荷重車を**写真 5.3-3** に，その諸元を**図 5.3-25** に示す。



写真 5.3-3　荷重車

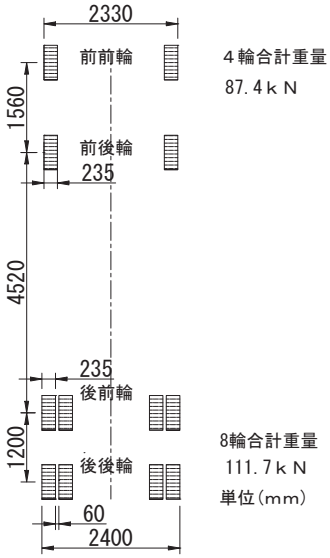


図 5.3-25　車両諸元

②載荷ケース

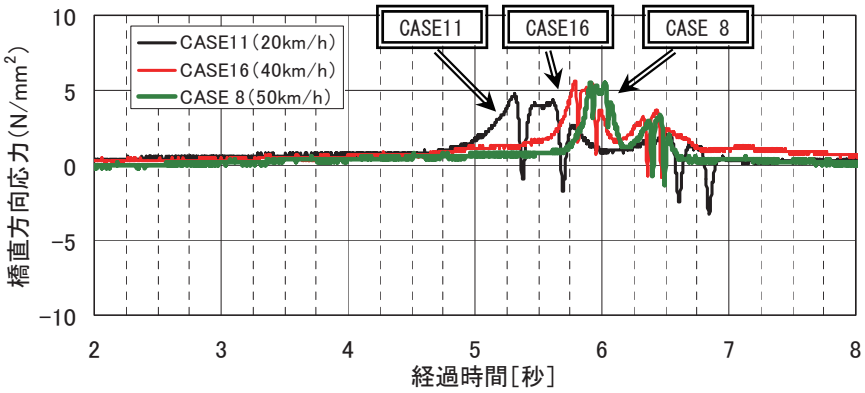
載荷位置および走行速度をパラメータとして，十数ケースの計測を行った。載荷ケースを，**表 5.3-5** に示す。

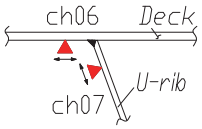
表 5.3-5　載荷ケース

Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
-1	10:54	Test Truck	Normal	40
-2	11:06		Normal	40
-3	11:20		Right	40
-4	11:33		a little Right	40
-5	11:44		a little Right	40
-6	11:57		Normal	40
-7	13:49		Normal	50
-8	14:00		Normal	50
-9	14:10		Normal	50
-10	14:21		Normal	23
-11	14:32		Normal	20
-12	14:45		Normal	40
-13	14:50	3-axle Truck		
-14	14:51	3-axle Truck(dump)		
-15	14:51	3-axle Truck(dump)		
-16	14:58	Test Truck	Normal	40

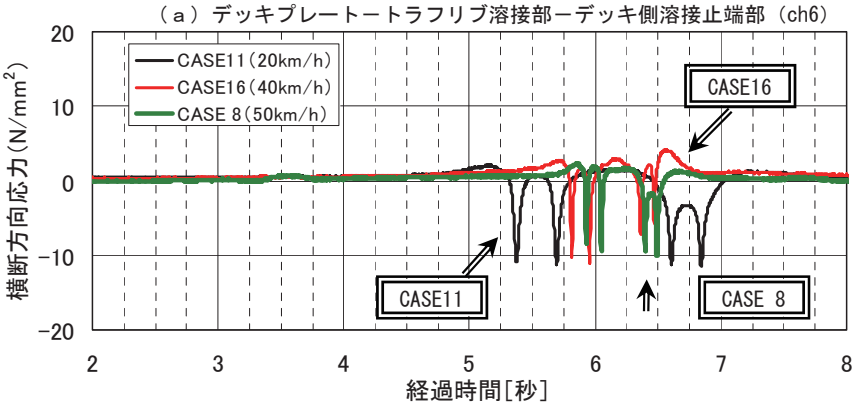
③計測結果

デッキプレート貫通型クラックに対して厳しい応力状態となるように，着目溶接線を荷重車後輪のダブルタイヤが跨ぐように走行した代表的なケースについて，着目溶接線のトラフリブとデッキプレート近傍とトラフリブ下面，垂直補剛材とデッキプレート溶接部の応力波形を**図 5.3-26** に示す。また，荷重車計測時のデッキプレート下面の温度変化を**図 5.3-27** に，全ケースの車両通過時の最大・最小応力値の一覧を**表 5.3-6** に示す。

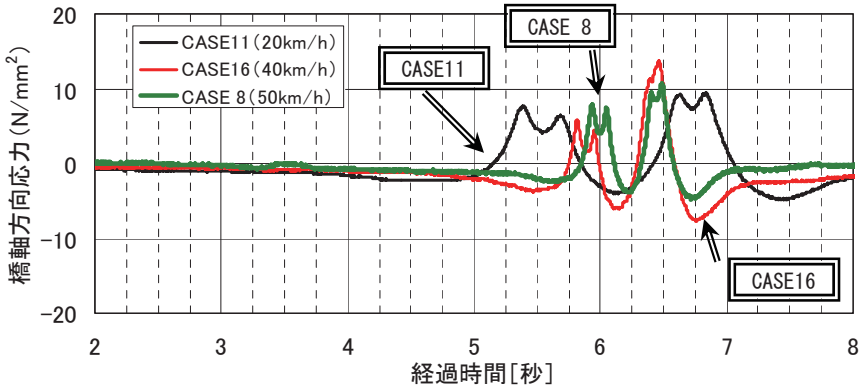


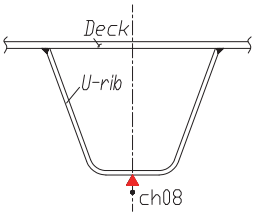


（ａ）デッキプレートートラフリブ溶接部－デッキ側溶接止端部（ch6）

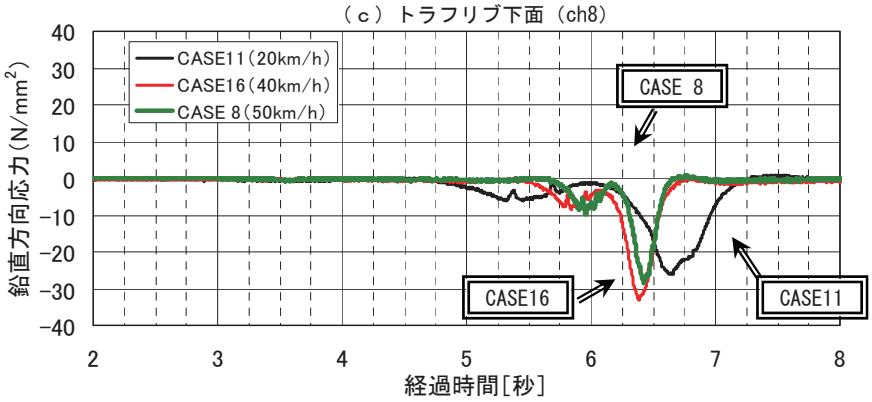


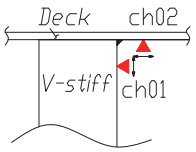
（ｂ）デッキプレートートラフリブ溶接部－トラフリブ側溶接止端部（ch7）





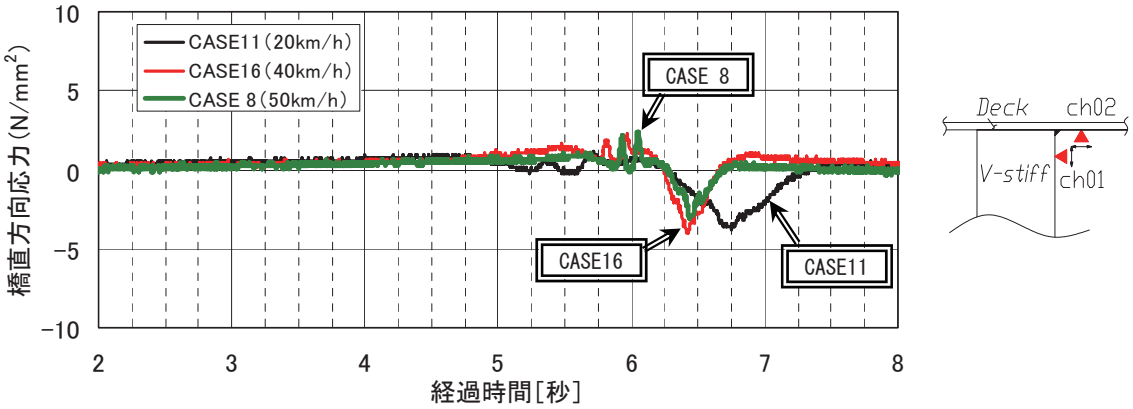
（ｃ）トラフリブ下面（ch8）





（ｄ）デッキプレートー垂直補剛材溶接部－トラフリブ側溶接止端部（ch1）

図 5.3-26　代表的なケースの応力波形



（ｅ）デッキプレートー垂直補剛材溶接部ーデッキ側溶接止端部（ch2）

図 5.3-26　代表的なケースの応力波形

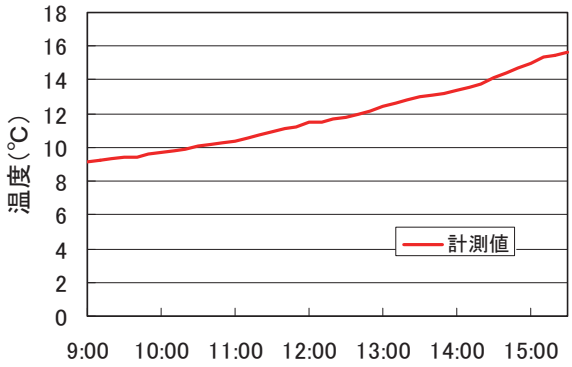


図 5.3-27　温度計測結果

表 5.3-6　各ケースの最大・最小応力値

単位：N/mm²

	No.	垂直補剛材データ		隣接ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ			着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ			着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ逆側溶接線データ	
		補剛材側止端5mm	デッキ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	デッキ側止端5mm	デッキ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	デッキ側止端5mm
		CH.001	CH.002	CH.003	CH.004	CH.005	CH.006	CH.007	CH.008	CH.009	CH.010
CASE01	MAX	0.6	1.0	8.4	1.4	1.0	5.5	3.8	12.2	6.3	5.7
	MIN	-35.5	-3.7	-4.9	-5.9	-3.3	-0.2	-5.1	-4.7	-0.3	-0.2
CASE02	MAX	0.4	3.9	7.1	2.6	3.5	6.7	3.6	8.9	8.1	4.7
	MIN	-29.7	-1.6	-7.0	-13.1	-4.3	-1.4	-12.7	-6.6	-0.1	-0.2
CASE03	MAX	0.6	1.4	7.6	1.3	1.1	5.6	4.9	12.5	5.3	6.4
	MIN	-36.3	-4.5	-5.5	-4.0	-2.7	-0.1	-1.6	-5.3	-5.3	-0.2
CASE04	MAX	0.6	2.7	9.6	2.0	3.4	6.2	2.4	10.0	7.7	3.9
	MIN	-26.7	-2.0	-5.5	-11.7	-2.7	-0.6	-9.4	-5.1	-0.2	-0.2
CASE05	MAX	0.2	3.3	8.4	2.1	3.4	6.2	2.8	9.5	7.7	4.2
	MIN	-27.2	-2.0	-5.7	-11.0	-2.3	-0.5	-8.2	-5.4	-0.2	-0.1
CASE06	MAX	0.4	1.1	9.8	2.3	4.7	4.4	2.2	7.8	7.0	2.9
	MIN	-21.3	-1.4	-5.4	-10.2	-3.7	-1.7	-9.8	-5.3	-0.4	-0.2
CASE07	MAX	0.9	2.6	9.8	1.4	1.7	5.5	3.0	12.4	7.5	4.3
	MIN	-32.3	-4.0	-4.6	-10.6	-4.0	-2.0	-7.4	-4.5	-0.2	-0.2
CASE08	MAX	0.8	2.4	10.5	2.0	3.2	5.5	2.3	10.7	7.6	3.6
	MIN	-28.5	-3.1	-4.9	-12.5	-3.3	-1.3	-10.0	-4.8	-0.3	-0.3
CASE09	MAX	0.6	3.0	9.7	1.9	3.0	6.0	2.7	10.9	7.9	4.1
	MIN	-31.0	-3.5	-5.3	-12.2	-2.9	-1.1	-8.9	-4.8	-0.1	-0.2
CASE10	MAX	0.8	1.2	11.4	1.9	3.9	5.0	2.0	9.7	7.8	3.3
	MIN	-26.3	-3.7	-4.5	-12.0	-4.9	-2.8	-11.2	-4.3	-0.3	-0.2
CASE11	MAX	0.6	1.1	11.4	2.3	4.4	4.8	2.2	9.5	8.0	3.3
	MIN	-26.3	-3.8	-5.3	-12.0	-5.2	-3.3	-11.6	-4.9	0.0	0.0
CASE12	MAX	0.8	3.1	10.7	1.9	3.0	6.3	2.5	10.8	8.4	3.9
	MIN	-33.3	-4.8	-4.8	-12.2	-3.5	-1.9	-9.7	-4.3	-0.7	-0.6
CASE16	MAX	0.2	2.3	11.5	2.6	4.1	5.6	4.2	13.7	7.0	3.9
	MIN	-33.0	-4.0	-7.8	-15.0	-4.4	-0.9	-11.1	-7.7	-0.3	-0.5

各部位で計測されたデータの特徴を以下に示す。

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力（ch.6,7）

図 5.3-26（ａ），（ｂ）をみると，軸毎に応力のピークが確認される。発生応力はデッキプレート側溶接止端部では引張側が 6N/mm^2 程度，圧縮側が 2N/mm^2 程度，トラフリブ側溶接止端部では引張側が 3N/mm^2 程度，圧縮側が 10N/mm^2 程度と非常に小さい。車線幅と車両の幅から走行位置が制約されたことに関係すると思われるが，デッキプレートとトラフリブ溶接部のデッキ側溶接止端部に生じる圧縮応力が引張応力よりも小さいことが特徴として挙げられる。また，走行位置が微妙に異なるために厳密な比較ではないが，速度による明確な差はみられない。

・トラフリブ下面の橋軸方向の応力（ch.8）

図 5.3-26（ｃ）をみると，軸による影響は小さく，前輪と後輪で応力のピークが分かれており、当然ではあるが荷重が大きい後輪のピーク値が大きい。また，発生応力に対する速度の影響は明確ではない。

・デッキプレートと垂直補剛材溶接部の橋直方向応力（ch.1,2）

図 5.3-26（ｄ），（ｅ）をみると，トラフリブ下面の橋軸方向応力と同様，軸による影響は小さく，前輪と後輪で応力のピークが分かれており、後輪のピーク値が大きい。発生応力はデッキプレート側溶接止端部では引張側が 2N/mm^2 程度，圧縮側が 3N/mm^2 程度と非常に小さいが，垂直補剛材側溶接止端部では引張側が 1N/mm^2 程度，圧縮側が 30N/mm^2 程度と他の部位よりも比較的大き目の応力が確認された。この傾向はこの橋梁でデッキプレートと垂直補剛材溶接部で多数の疲労き裂が確認されていることと関連があると思われる．なお，発生応力に対する速度の影響は明確ではない。

・デッキプレート下面の温度

図 5.3-27 より，荷重車計測時の温度は 9～15 度と低めの値で、天候による影響からか温度変化も小さかったことがわかる。

(3)応力頻度計測：平成 18 年 3 月 6 日（月）16:45～9 日（木）16:45 の平日 72 時間で実施

①計測位置

応力頻度測定の着目位置は，荷重車載荷試験と同一である。幅員構成から推定される一般的な大型車の走行位置を**図 5.3-28** に示す。

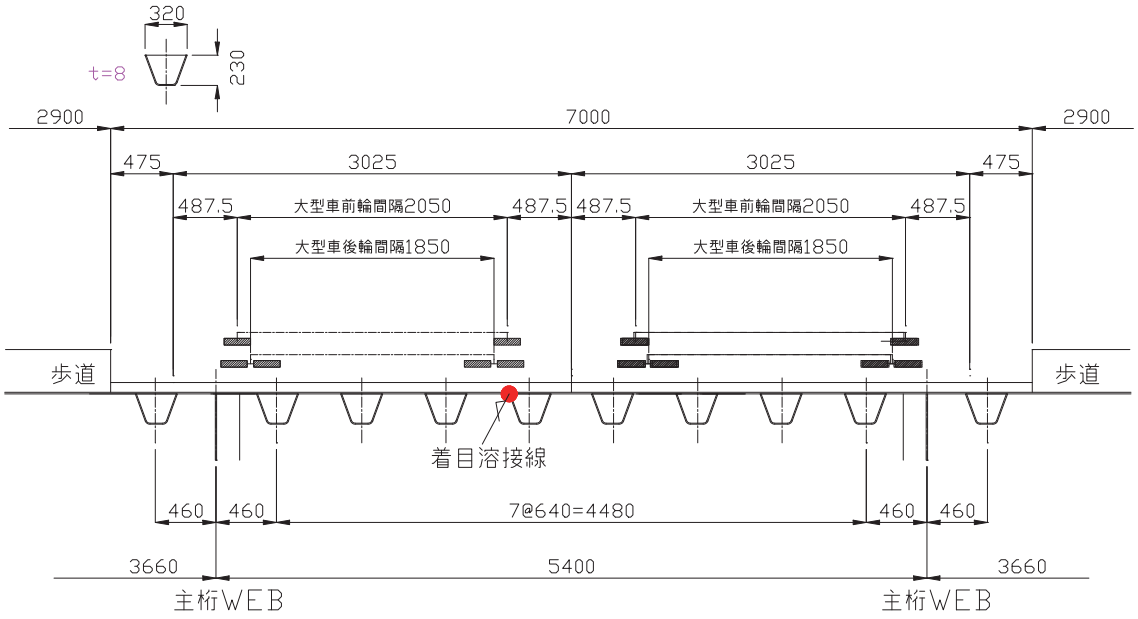


図 5.3-28　一般的な大型車の走行位置

②計測結果

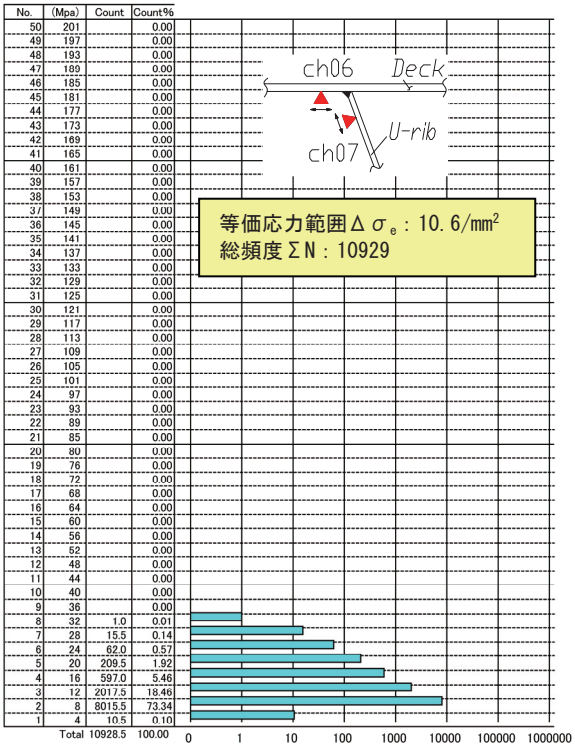
各部位の計測結果の特徴を以下に示す。

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力

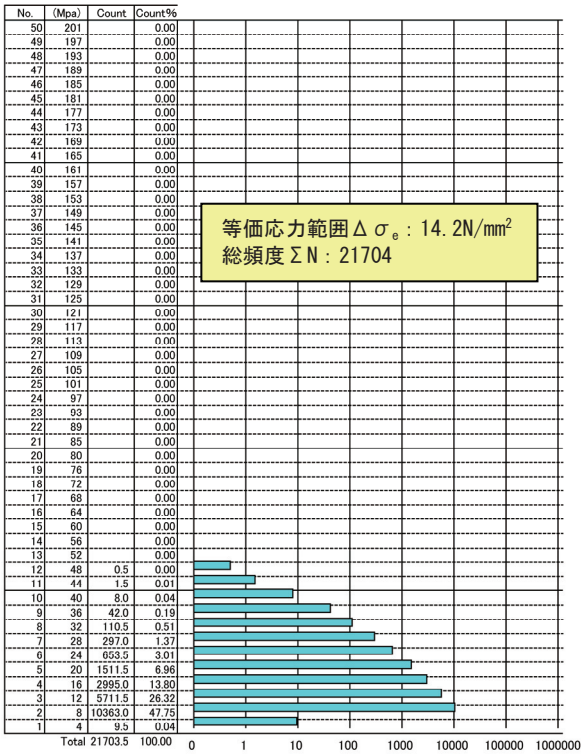
ゲージチャンネル番号６と７について，レインフロー法で整理した結果を**図 5.3-29（ａ），（ｂ）**に，ピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-30（ａ），（ｂ）**に示す。

図 5.3-29（ａ），（ｂ）のデッキプレート側溶接止端部（ゲージ ch 番号６）とトラフリブ側溶接止端部（ゲージ ch 番号７）について，打ち切り限界を無視して算出した等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$は，デッキプレート側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝10.6N/mm^2(総頻度 N=10,929)，トラフリブ側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝14.2N/mm^2(総頻度 N=21,704)であり，トラフリブ側溶接止端部の疲労被害度がデッキプレート側溶接止端部の疲労被害度よりも大きいことが分かる。

図 5.3-30（ａ），（ｂ）よりデッキプレート側溶接止端部とトラフリブ側溶接止端部では共に圧縮側と引張側のピーク数，ピーク値はほぼ同じであり，軸重が通過する毎に同程度の小さな圧縮応力と引張応力の交番が生じていたと類推できる。

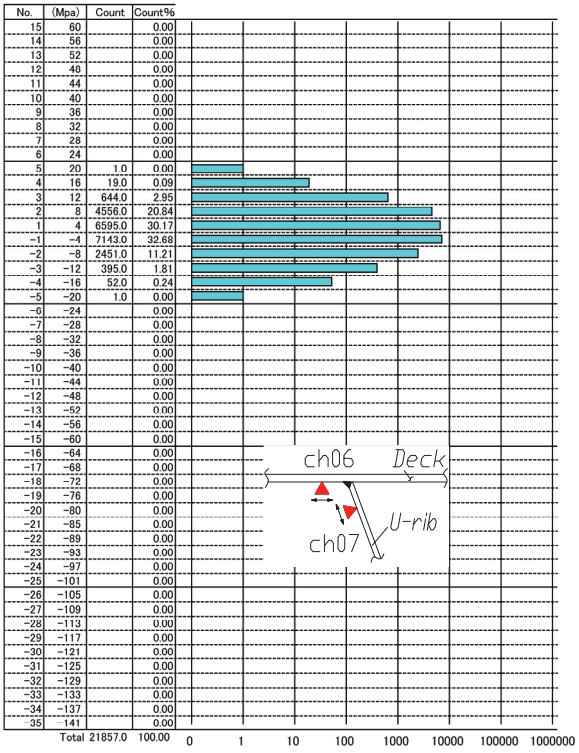


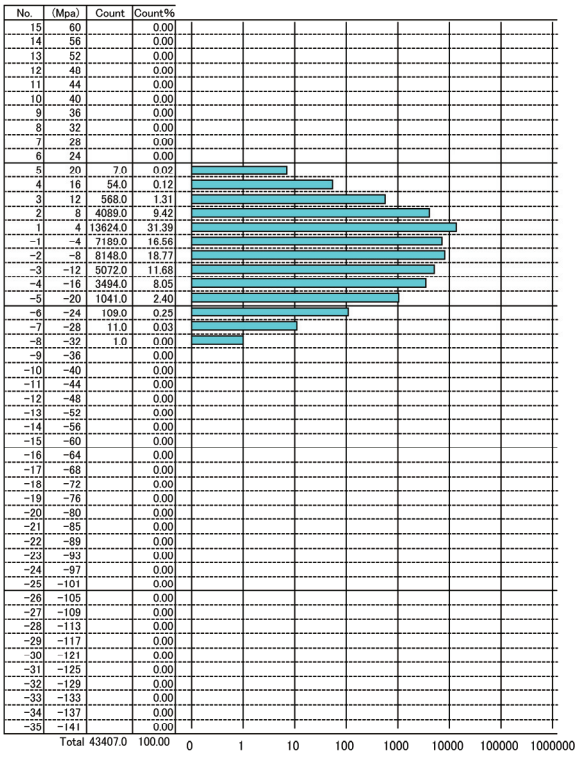
（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch6）



（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch7）

図 5.3-29　レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



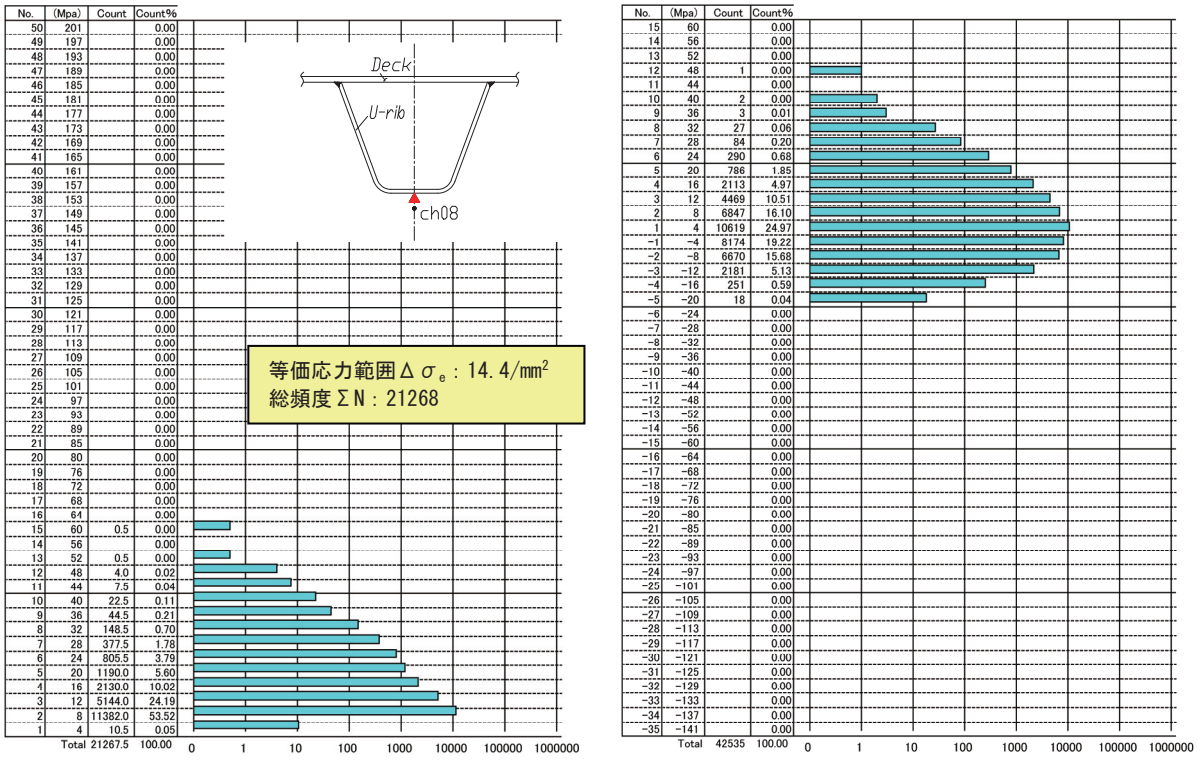


（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch6）

図 5.3-30　ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリブ下面の橋軸方向応力

ゲージチャンネル番号８について，レインフロー法で整理した結果とピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-31（ａ），（ｂ）**に示す。等価応力範囲や総頻度がトラフリブ側溶接止端部とほぼ同じであること，発生応力のピーク数・ピーク値ともに引張側が卓越していることが特徴である。



（ａ）レインフロー法で整理

（ｂ）ピークバレー法で整理

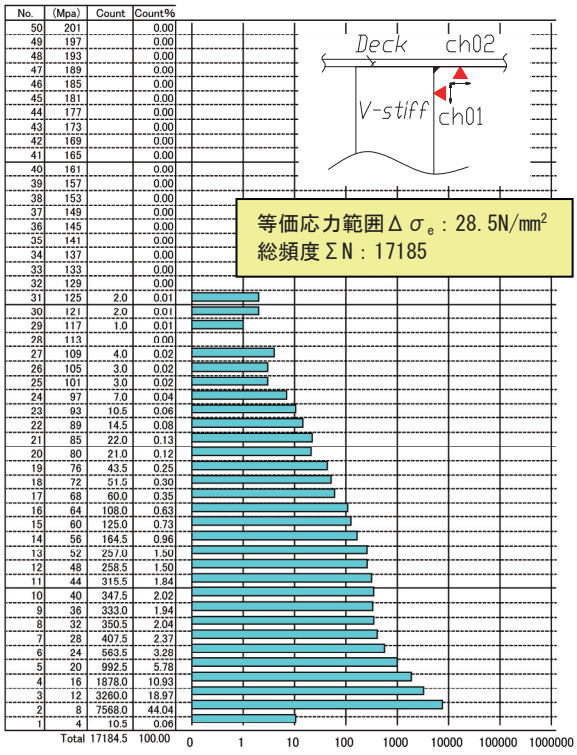
図 5.3-31　トラフリブ下面の応力頻度計測結果（ch8）

・デッキプレートと垂直補剛材溶接部の横断方向応力

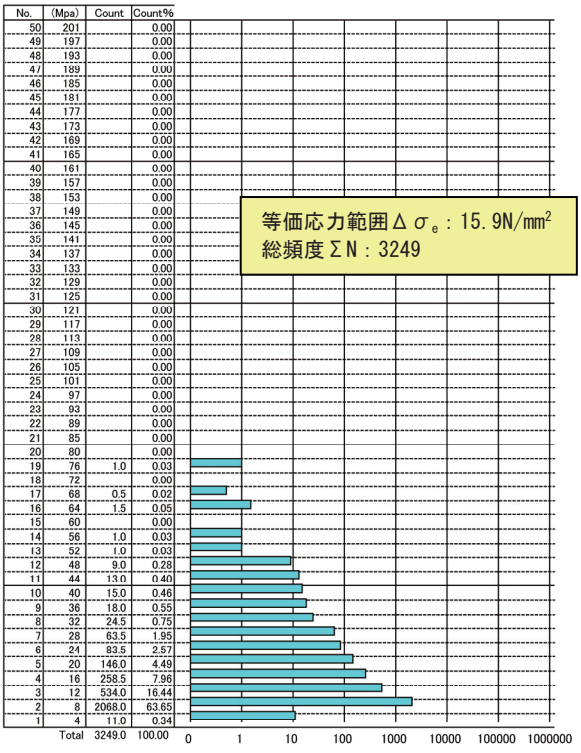
ゲージチャンネル番号１と２について，レインフロー法で整理した結果を**図 5.3-32（ａ），（ｂ）**に，ピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-33（ａ），（ｂ）**に示す。

図 5.3-32（ａ），（ｂ）の垂直補剛材側溶接止端部（ゲージ ch 番号１）とデッキプレート側溶接止端部（ゲージ ch 番号２）について，打ち切り限界を無視して算出した等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ は，垂直補剛材側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝28.5N/mm²(総頻度 N=17,185)，デッキプレート側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝15.9N/mm²(総頻度 N=3,249)であり，垂直補剛材側溶接止端部では投下応力範囲が大きく，車軸にも敏感であったことがわかる．

図 5.3-33（ａ）みると垂直補剛材側溶接止端部では圧縮が卓越していることがわかる。また，**図 5.3-33（ｂ）**をみると引張のピーク値の範囲は小さく，ピーク回数が引張と圧縮でほぼ同じであることから，デッキ側溶接止端部では変動の小さい引張応力と変動の大きい圧縮応力が交番していたと考えられる。

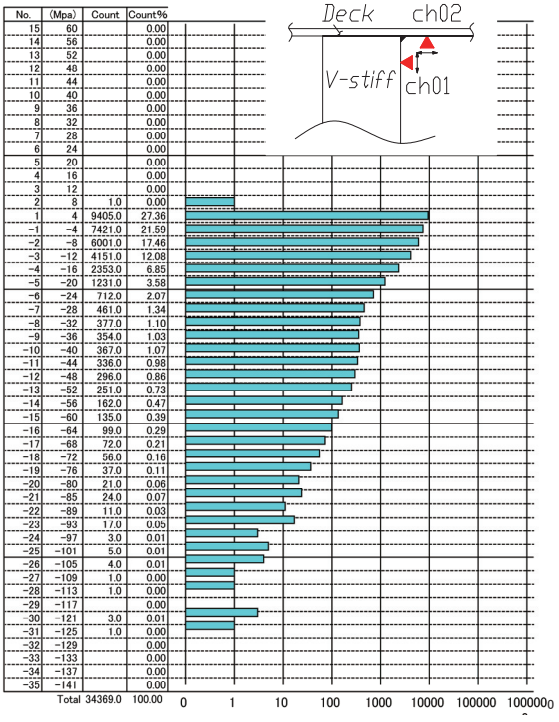


（ａ）垂直補剛材側溶接止端部（ch1）

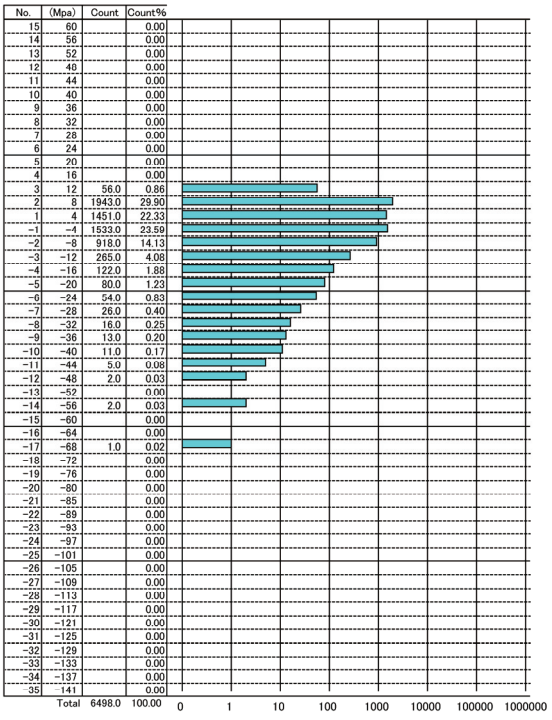


（ｂ）デッキプレート側溶接止端部（ch2）

図 5.3-32　レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



（ａ）垂直補剛材側溶接止端部（ch1）



（ｂ）デッキプレート側溶接止端部（ch2）

図 5.3-33　ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

5.3.4　H7 橋

(1) 計測位置

橋梁の支間中央部は桁高が高く，計測準備が困難であることを考慮し，桁端部から 15m 付近のパネルの縦リブ支間中央断面を着目断面とした。**図 5.3-34** に計測断面の位置を示す。

計測項目は，トラフリブ下面の橋軸方向の応力，トラフリブとデッキプレート近傍の横断方向の応力，デッキプレート下面の温度である。計測位置と車両走行位置の関係を**図 5.3-35**に示す。

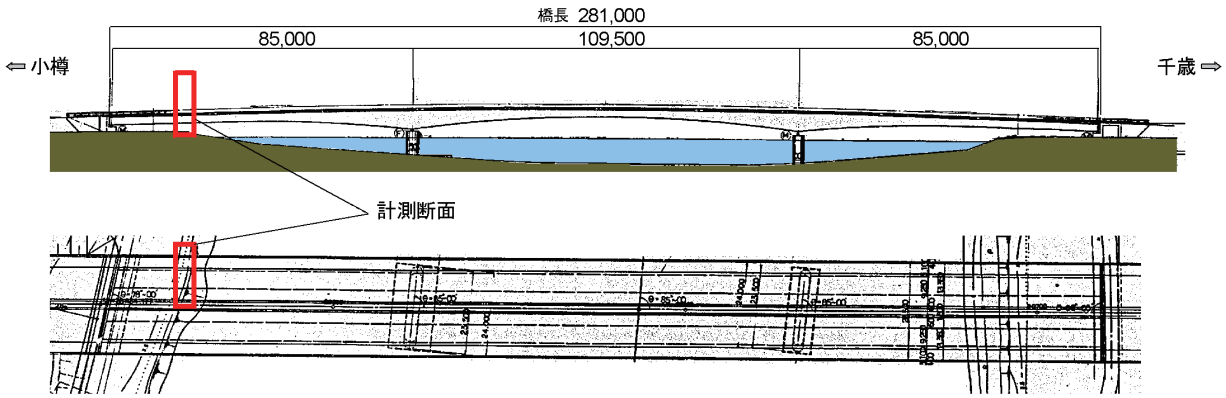


図 5.3-34　応力計測の着目断面

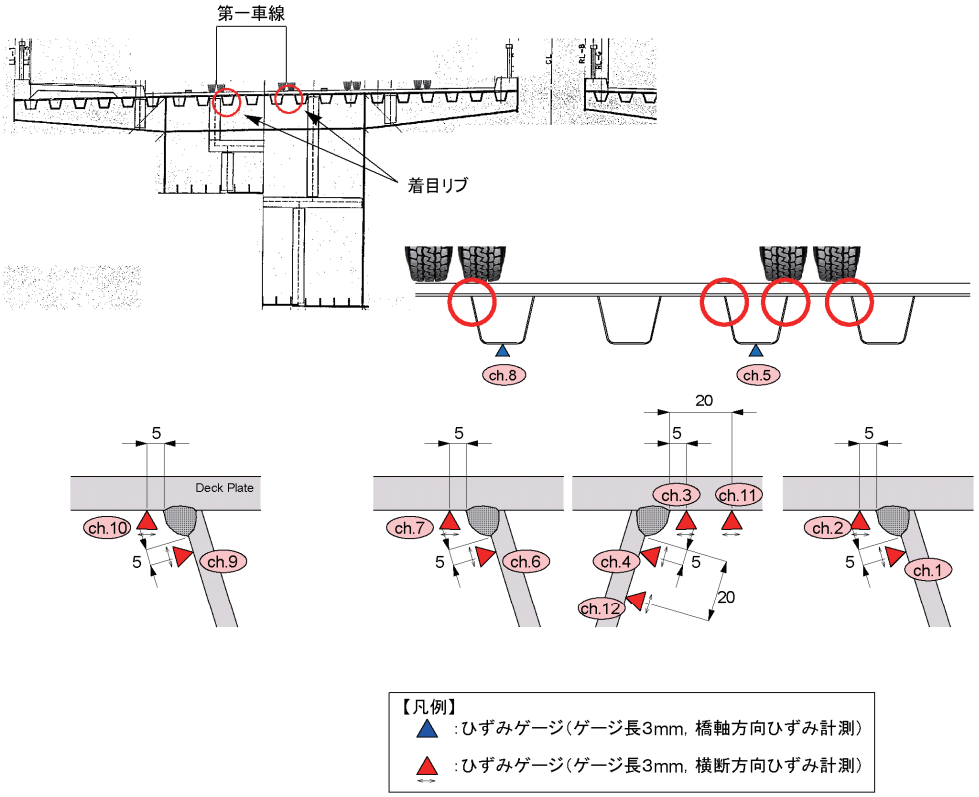


図 5.3-35　計測センサー類設置位置

(2) 荷重車計測：（実施日：平成 17 年 10 月 21 日（金）天候：曇り）

荷重車は，３軸（前１軸，後２軸）のダンプトラックを用いた。荷重は荷台にカウンターウェイトを積載し，車両総重量が 200kN 程度となるように調整した。荷重車を**写真 5.3-4** に，その諸元を**図 5.3-36** に示す。



写真 4.3-4　荷重車

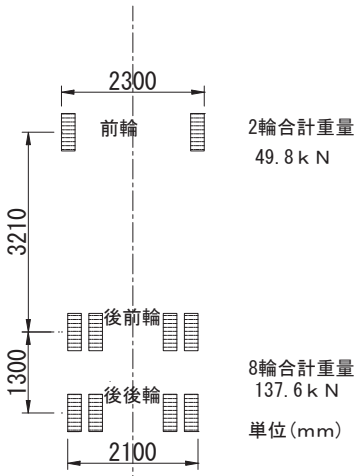


図 4.3-36　車両諸元

②載荷ケース

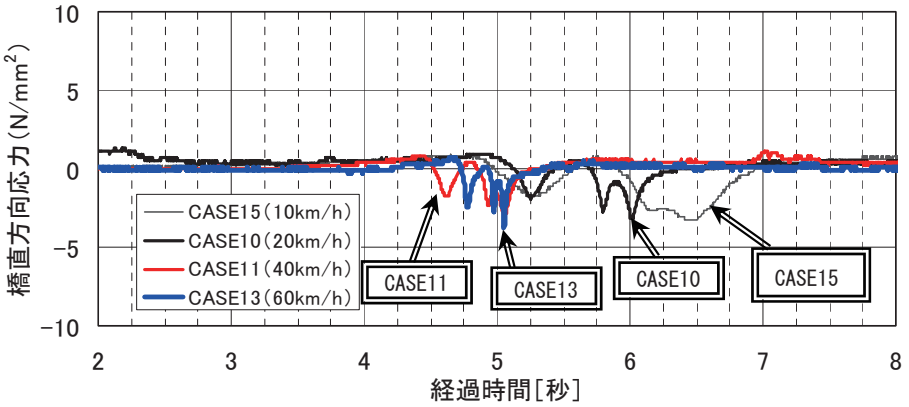
載荷位置および走行速度をパラメータとして，18 ケースの計測を行った。載荷ケースを，**表 5.3-7** に示す。

表 5.3-7　載荷ケース

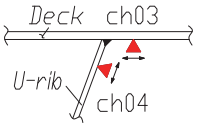
Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
-1	9:07	Test Truck	Normal	20
-2	9:13		Left	20
-3	9:20		Normal	20
-4	9:26		Left	20
-5	9:35		a little Left	20
-6	9:40		a little Right	20
-7	9:48		a little Right	20
-8	10:26		Right	20
-9	10:35		Right	20
-10	10:45		a little Right	20
-11	10:50		a little Right	40
-12	10:56		a little Right	60
-13	11:03		a little Right	60
-14	11:08		a little Right	10
-15	11:14		a little Right	10
-16	11:19		Normal	20
-17	11:31		Normal	20
-18	11:40		Normal	10

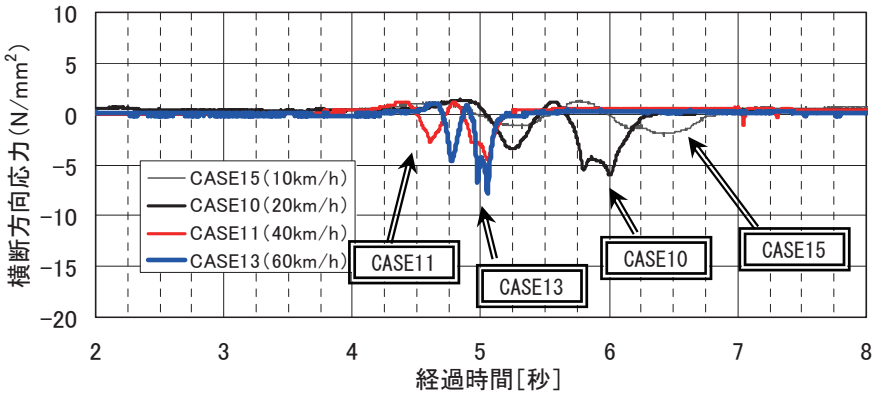
③計測結果

デッキプレート貫通型クラックに対して厳しい応力状態となるように，着目溶接線を荷重車後輪のダブルタイヤが跨ぐように走行した代表的なケースについて，着目溶接線のトラフリブとデッキプレート近傍とトラフリブ下面の応力波形を**図 5.3-37** に示す。また，荷重車計測時のデッキプレート下面の温度変化を**図 5.3-38** に，全ケースの車両通過時の最大・最小応力値の一覧を**表 5.3-8** に示す。

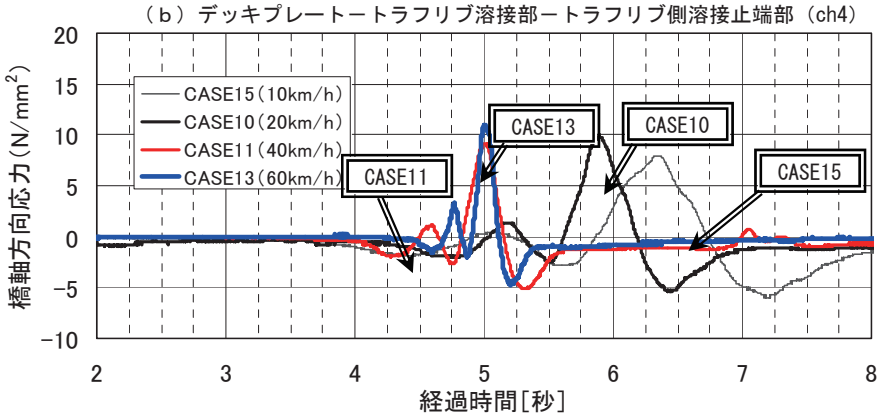


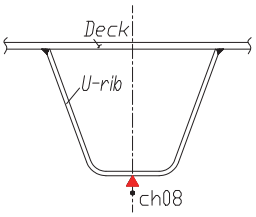
（ａ）デッキプレートートラフリブ溶接部ーデッキ側溶接止端部（ch3）





（ｂ）デッキプレートートラフリブ溶接部ートラフリブ側溶接止端部（ch4）





（ｃ）トラフリブ下面（ch5）

図 5.3-37　代表的なケースの応力波形

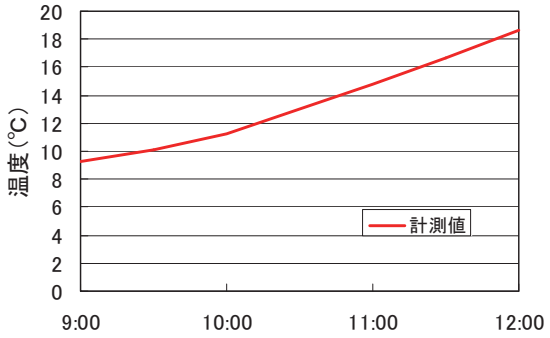


図 5.3-38　温度計測結果

表 5.3-8　各ケースの最大・最小応力値

単位：N/mm²

	No.	着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ逆側溶接線データ		着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ					隣接ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ	
		ﾃﾞｯｷ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端20mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	ﾃﾞｯｷ側止端5mm	ﾃﾞｯｷ側止端20mm	ﾃﾞｯｷ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm
		CH.007	CH.006	CH.005	CH.012	CH.004	CH.003	CH.011	CH.002	CH.001
CASE01	MAX	3.7	5.0	15.8	2.5	2.9	6.2	6.5	1.5	2.3
	MIN	-0.2	-5.0	-4.4	-11.9	-14.1	-0.2	-0.1	-1.7	-11.2
CASE02	MAX	2.6	1.9	8.5	7.1	7.9	1.1	1.0	0.7	2.0
	MIN	-0.3	-11.4	-3.3	-1.2	-1.8	-0.2	-0.2	-1.2	-4.1
CASE03	MAX	5.0	4.9	15.5	4.5	5.4	6.5	6.3	1.0	2.7
	MIN	-0.2	-9.9	-4.5	-10.5	-12.5	-0.1	-0.2	-1.7	-9.3
CASE04	MAX	5.1	2.5	14.1	7.4	8.3	4.2	3.5	0.5	2.5
	MIN	-0.1	-12.9	-3.8	-0.5	-0.8	-0.2	-0.2	-2.0	-8.5
CASE05	MAX	4.6	5.0	16.0	4.4	5.0	6.0	6.2	1.0	2.3
	MIN	-0.2	-10.0	-3.9	-10.4	-12.3	0.0	0.0	-2.3	-9.6
CASE06	MAX	4.9	4.4	16.8	4.9	5.3	5.7	5.7	0.7	2.3
	MIN	-0.3	-10.8	-3.6	-8.7	-10.3	0.0	0.0	-2.4	-9.9
CASE07	MAX	1.7	6.4	13.7	1.5	1.5	5.2	4.8	3.5	1.7
	MIN	-0.8	-0.8	-4.2	-10.4	-11.9	-1.6	-0.2	-0.2	-15.2
CASE08	MAX	2.0	3.7	9.0	1.1	1.3	1.7	1.5	5.3	3.1
	MIN	-1.2	0.0	-6.2	-5.6	-6.0	-2.4	-1.2	-0.5	-8.5
CASE09	MAX	0.8	1.4	9.1	1.1	1.2	0.8	0.8	2.4	5.9
	MIN	-2.0	-2.1	-5.5	-0.6	-0.5	-2.6	-1.9	-1.2	-0.2
CASE10	MAX	1.1	3.7	10.0	1.2	1.5	1.3	1.3	4.9	3.7
	MIN	-1.4	-0.1	-5.4	-5.6	-6.0	-3.1	-1.8	-0.7	-8.3
CASE11	MAX	0.9	2.5	9.1	1.0	1.1	1.2	1.0	4.2	4.4
	MIN	-1.8	-0.2	-5.2	-4.2	-4.5	-3.1	-2.1	-0.4	-5.4
CASE12	MAX	0.9	5.6	11.9	1.2	1.3	1.2	1.7	5.0	1.5
	MIN	-1.4	-0.2	-4.6	-11.2	-12.5	-2.7	-1.3	-1.0	-13.1
CASE14	MAX	0.9	3.8	11.0	0.9	1.0	0.7	0.7	5.0	3.4
	MIN	-1.8	-0.2	-4.8	-7.2	-7.9	-3.8	-1.8	-0.6	-9.7
CASE15	MAX	1.0	1.3	7.9	1.2	1.3	1.0	0.8	3.2	7.4
	MIN	-2.2	-0.8	-6.0	-2.1	-2.1	-3.3	-2.6	-1.7	-0.5
CASE16	MAX	1.9	9.6	15.9	1.5	1.8	5.4	5.0	3.7	1.4
	MIN	-1.6	-0.4	-4.5	-12.9	-14.9	-3.9	-0.4	-1.7	-19.4
CASE17	MAX	1.5	9.8	15.8	1.5	1.8	4.7	4.5	4.5	1.4
	MIN	-1.6	-0.6	-4.4	-14.2	-16.5	-4.8	-1.2	-1.5	-20.2
CASE18	MAX	2.7	10.6	19.2	1.5	1.7	5.6	5.4	2.1	1.9
	MIN	-2.3	-0.8	-4.4	-19.1	-21.7	-5.0	-0.6	-6.5	-21.0

各部位で計測されたデータの特徴を以下に示す。

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力（ch.6,7）

図 5.3-37（ａ），（ｂ）をみると，軸毎に応力のピークが確認されているが，後輪通過時に応力の交番が生じていない。発生応力全体的に小さく，デッキプレート側溶接止端部では引張側が 1N/mm² 程度，圧縮側が 5N/mm² 程度，トラフリブ側溶接止端部では引張側が 1N/mm² 程度，圧縮側が 6N/mm² 程度であった。また，速度による比較では 60km/h 走行時の値が大きいようにも見られるが他の走行速度との差は小さく，走行位置の微妙な差の影響が大きいと考えられる。

・トラフリブ下面の橋軸方向の応力（ch.8）

図 5.3-37（ｃ）をみると，前輪と後輪で応力のピークがあり，当然ではあるが荷重が大きい後輪のピーク値が大きい。また，軸重通過前後には圧縮応力，直上通過時には引張応力が生じている。その他，発生応力に対する速度の影響は明確ではない。

・デッキプレート下面の温度

図 5.3-38 より，荷重車計測時の温度は 9～19 度であったことがわかるが表 5.3-8 で同じ荷重条件の計測結果を比較しても温度による明確な差は確認できず，微妙な走行位置の差の方が大きいと考えられる。

(3)応力頻度計測：平成 17 年 10 月 17 日（月）15:00～20 日（木）15:00 の平日 72 時間で実施

①計測位置

応力頻度測定の着目位置は，荷重車載荷試験と同一である。なお，着目溶接線はわだちの位置から判断して決定したため，**図 5.3-39** に示す幅員構成から推定される一般的な大型車の走行位置は位置から厳しいと判断される溶接線から１本分歩道側の溶接線である。

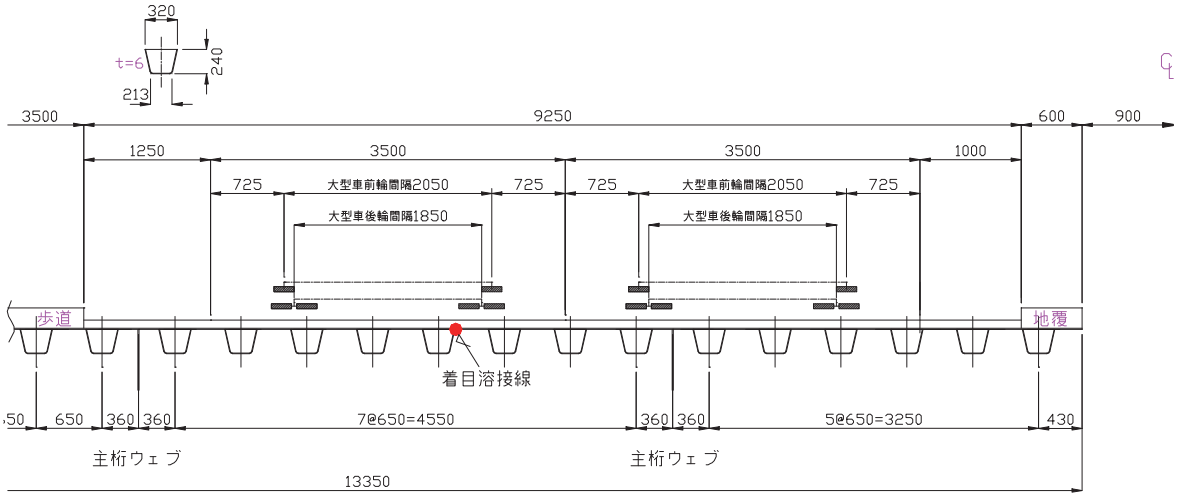


図 5.3-39　幅員構成から推定される大型車走行位置

②計測結果

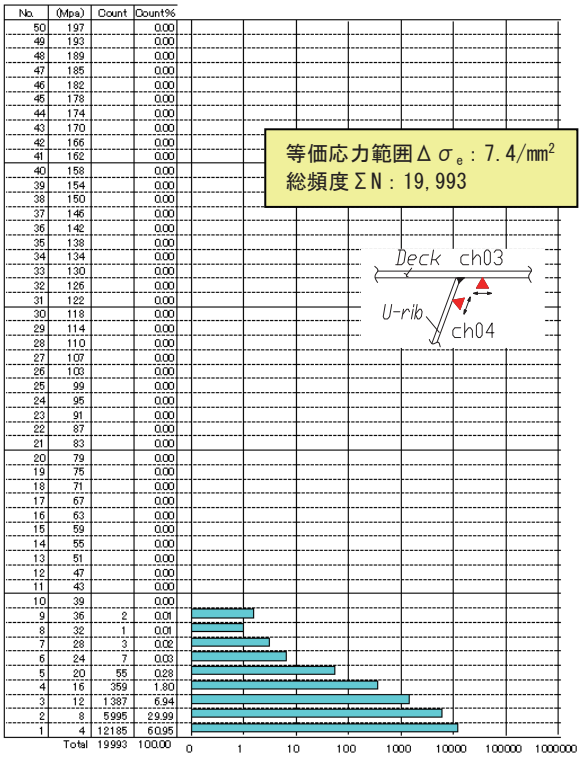
各部位の計測結果の特徴を以下に示す。

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力

ゲージチャンネル番号３と４について，レインフロー法で整理した結果を**図 5.3-40（ａ），（ｂ）**に，ピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-41（ａ），（ｂ）**に示す。

図 5.3-40（ａ），（ｂ）のデッキプレート側溶接止端部（ゲージ ch 番号３）とトラフリブ側溶接止端部（ゲージ ch 番号４）について，打ち切り限界を無視して算出した等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ は，デッキプレート側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝7.4N/mm^2(総頻度 N=19,993)，トラフリブ側溶接止端部で $\Delta\sigma_e$＝14.9N/mm^2(総頻度 N=26,988)であり，トラフリブ側溶接止端部の疲労被害度がデッキプレート側溶接止端部の疲労被害度よりも大きいことが分かる。

図 5.3-41（ａ）をみると，デッキプレート側溶接止端部では圧縮側のピーク値は大きく，引張側のピーク値は小さい。圧縮側と引張側のピーク数の割合は圧縮側が引張側の３倍程度あるが，圧縮側で 0N/mm^2 近傍のピーク値も数多く確認されていることから，軸重が通過する毎に大きな圧縮応力と小さな引張応力の交番が起きていたとも考えられる。**図 5.3-41（ｂ）**よりとトラフリブ側溶接止端部でもデッキ側溶接止端部とほぼ同様の傾向である。

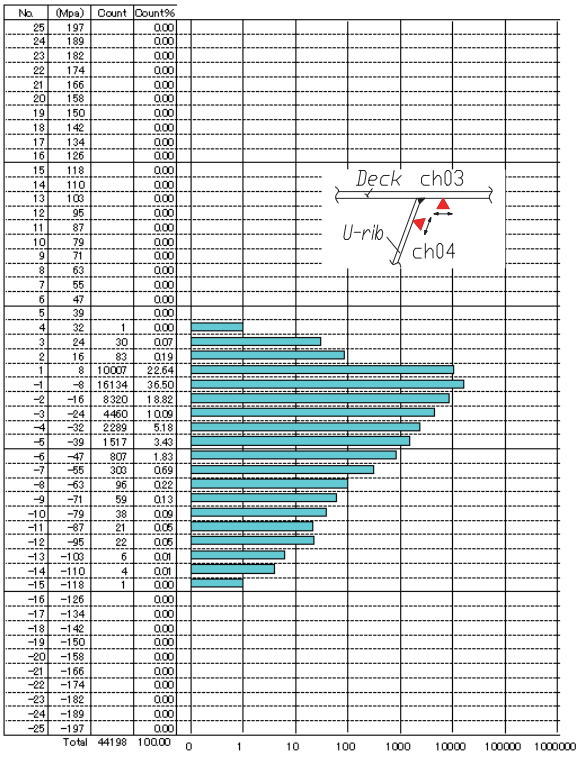


（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch3）

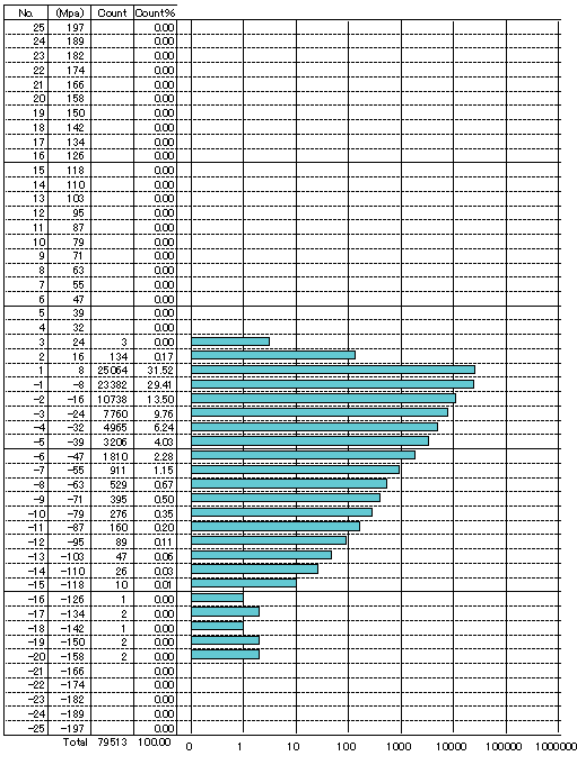


（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch4）

図 5.3-40　レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



（ａ）デッキプレート側溶接止端部（ch3）

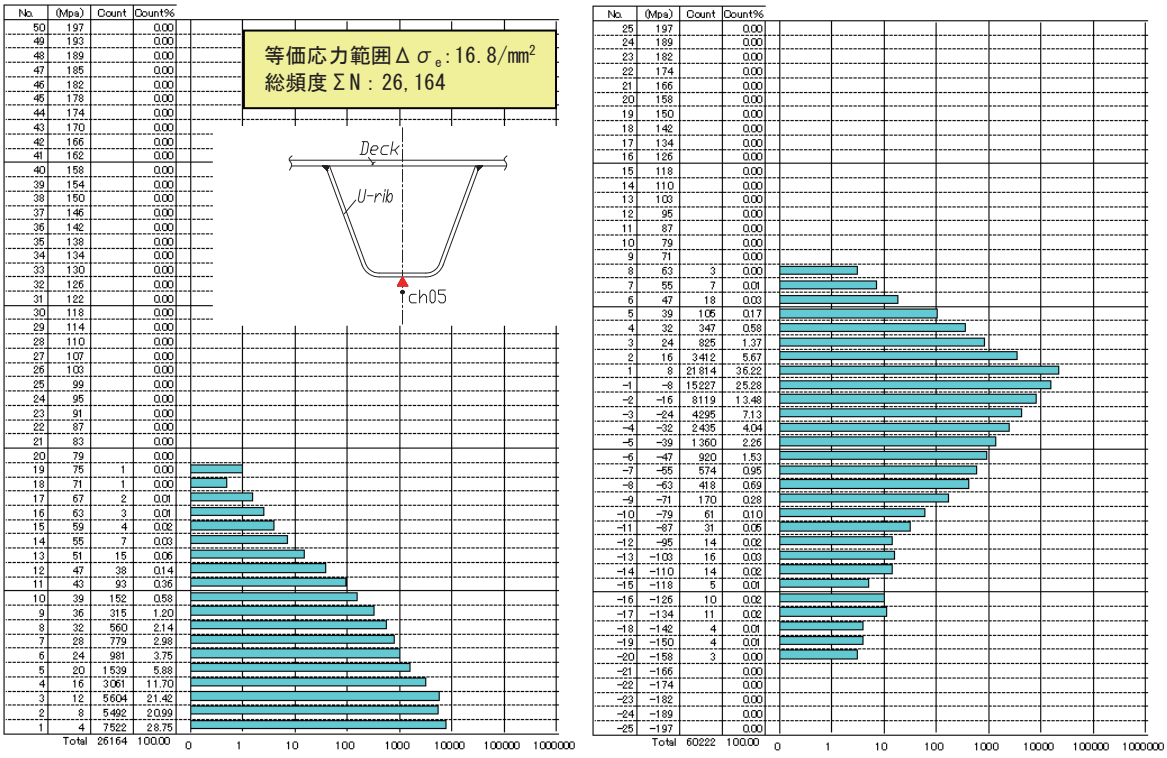


（ｂ）トラフリブ側溶接止端部（ch4）

図 5.3-41　ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリブ下面の橋軸方向応力

ゲージチャンネル番号８について，レインフロー法で整理した結果とピークバレー法で整理した結果を**図 5.3-42（ａ），（ｂ）**に示す。等価応力範囲が若干大きく，発生応力のピーク値がやや引張側シフトしていること以外はトラフリブ側溶接止端部と同じ傾向を示している。



（ａ）レインフロー法で整理　　（ｂ）ピークバレー法で整理

図 5.3-42　トラフリブ下面の応力頻度計測結果（ch5）

5.3.5　H2 橋

(1)計測位置

着目断面は詳細調査結果で縦方向ひび割れが発見された**図 5.3-43**のＣ部（損傷部）とその手前4.2mの位置（健全部）である。橋軸直角方向では第一車線を走行する車両の右輪位置にあたり，着目する溶接線はＧ2桁から歩道側に向かって一つ目と二つ目のデッキプレートとトラフリブの溶接線である。なお，橋梁の全長にわたってわだちが確認されているため，ここでいう健全部とはわだちはあるが，ひび割れがないことを示している。

計測項目は，トラフリブ下面の橋軸方向の応力，トラフリブとデッキプレート近傍の横断方向の応力，デッキプレート下面の温度である。計測位置と車両走行位置の関係を**図 5.3-44**に示す。検査路を利用して計測であるため，計測位置一般的な大型車が走行すると想定される部位よりも第二車線寄りとなっている。

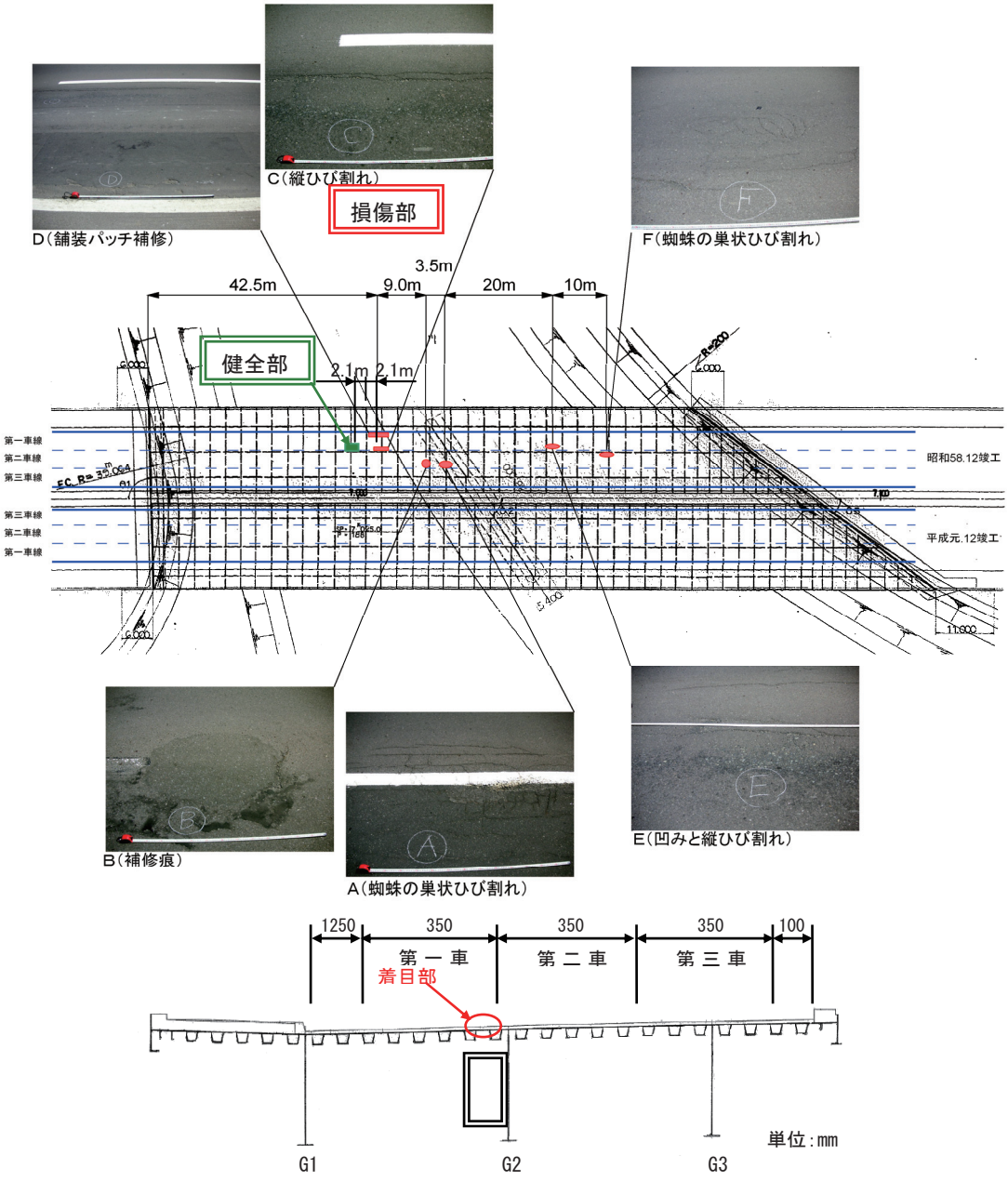


図 5.3-43　応力計測の着目断面

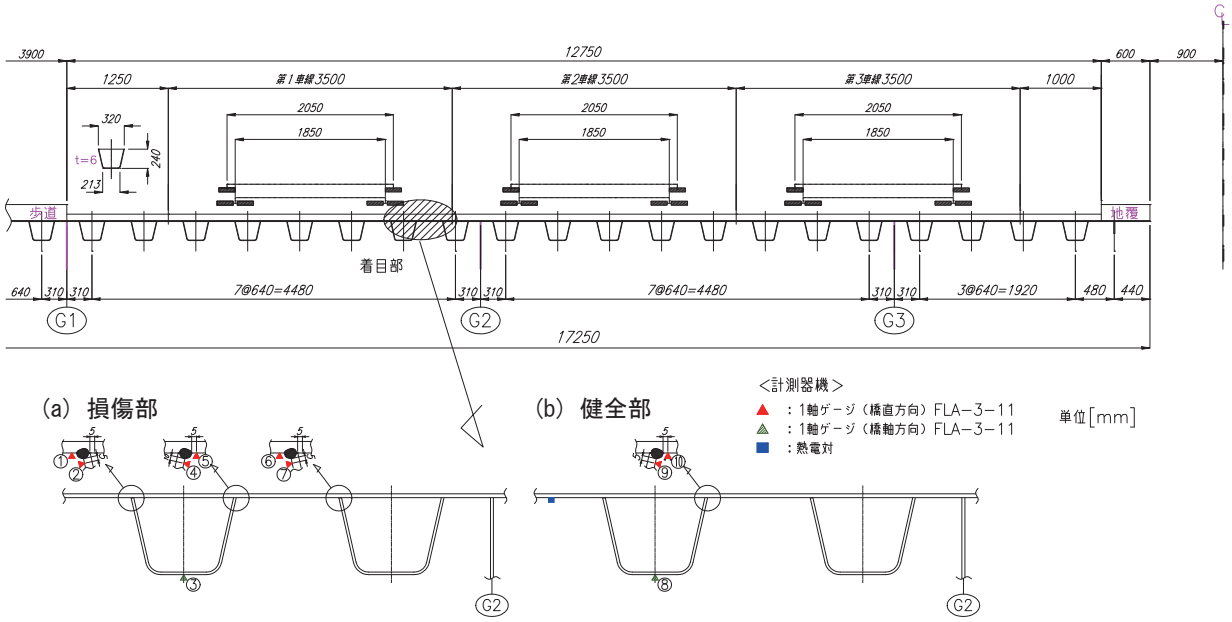


図 5.3-44　計測センサー類設置位置

(2) 荷重車計測（実施日：平成 17 年 10 月 20 日（木）天候：晴れ）

①荷重車

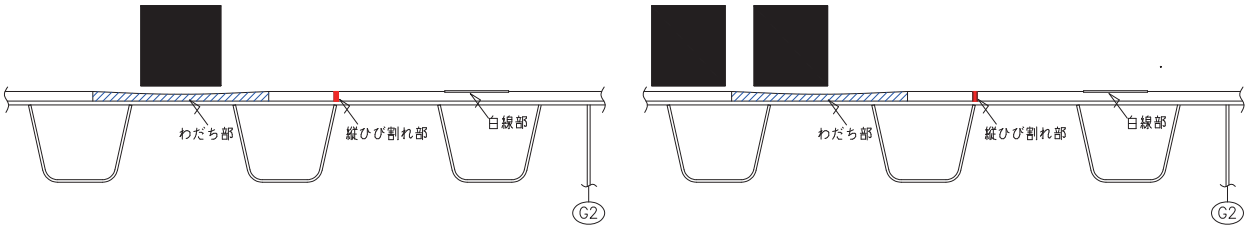
荷重車は，H7 橋と同じもので，車両総重量が 200kN 程度となるように調整した３軸（前１軸，後２軸）のダンプトラックである。

②載荷ケース

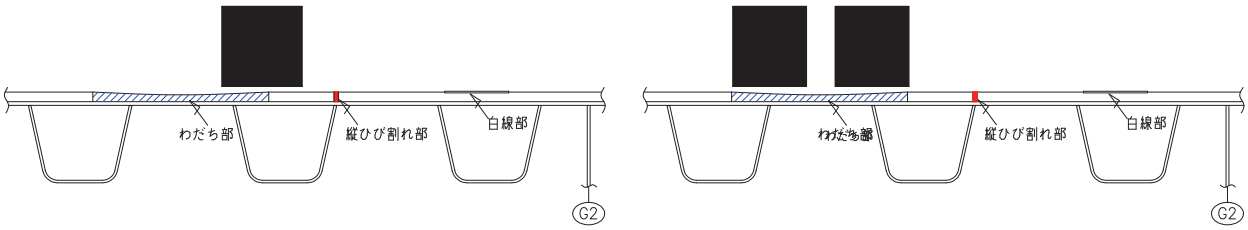
載荷ケースは**図 5.3-45**（ａ）～（ｃ）に示す３種類の走行位置と５種類の走行速度（15, 20, 30, 40, 50km/h）を組み合わせた 20 ケースである。載荷ケースの一覧を**表 5.3-9** に示す。

表 5.3-9　載荷ケース

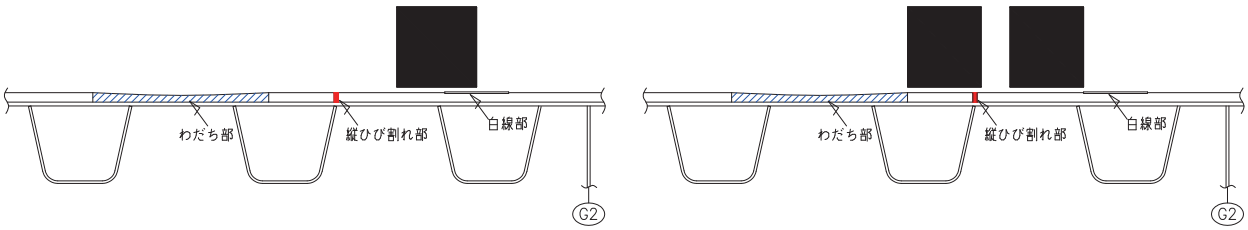
Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
−1	9:07	Test Truck	Normal	20
−2	9:15		Right	20
−3	9:21		a little Right	20
−4	9:26		Right	20
−5	9:30		Normal	15
−6	9:36		Right	15
−7	9:42		a little Right	15
−8	9:47		a little Right	20
−9	9:53		a little Right	30
−10	9:59		Right	30
−11	10:04		a little Right	50
−12	10:10		a little Right	50
−13	10:15		Right	50
−14	10:19		Right	50
−15	10:24		a little Right	40
−16	10:28		a little Right	40
−17	10:34		a little Right	40
−18	10:39		a little Right	40
−19	10:45		Right	40
−20	10:51		Right	50



（ａ）わだち上（Normal）



（ｂ）舗装き裂近傍（a little Right）

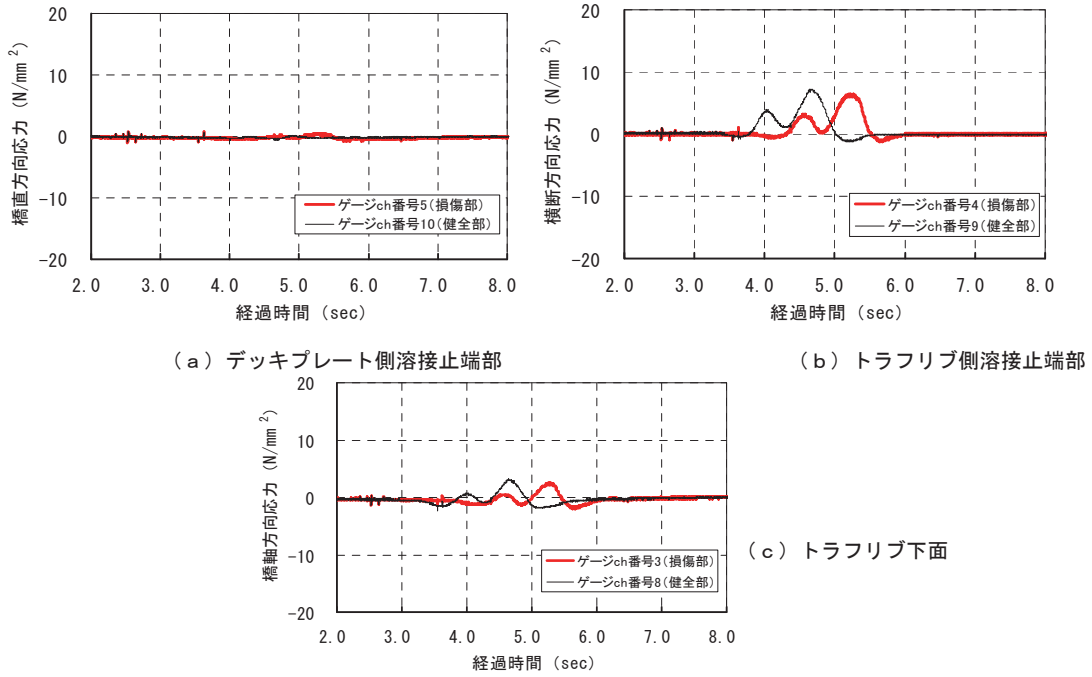


（ｃ）白線上（Right）

図 5.3-45　走行位置のイメージ

③計測結果

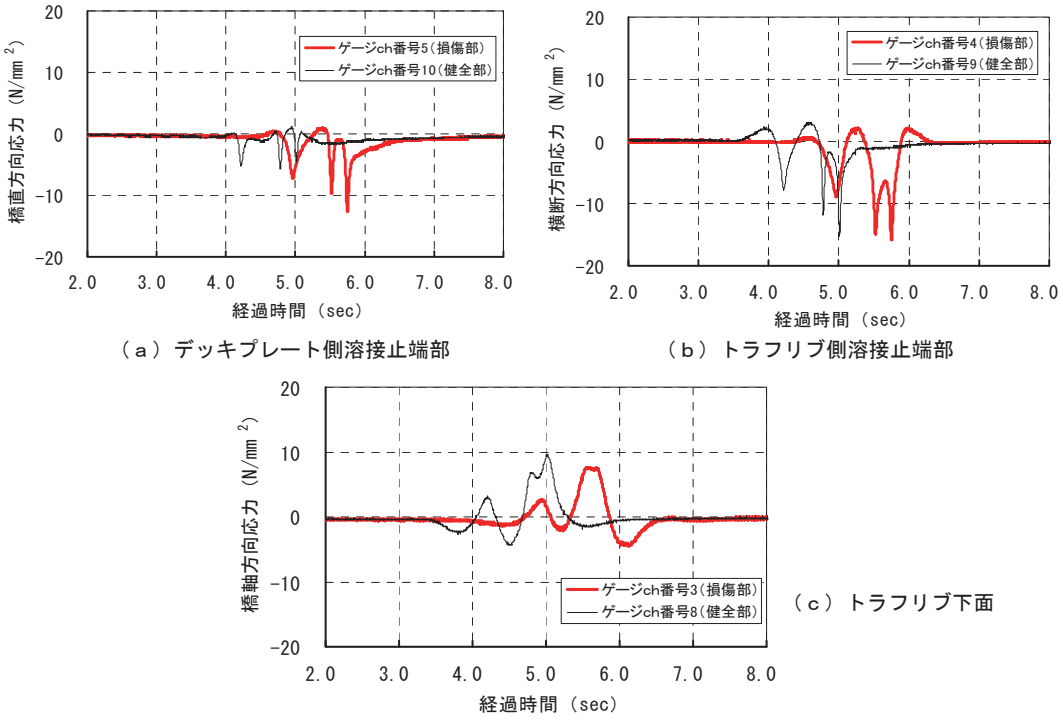
代表的な例として，載荷ケース１，２，８のゲージ ch 番号３～５と８～10 について，計測結果より求めた応力の動的波形を**図 5.3-46～48** に示す。また，温度計測結果を**図 5.3-49** に，全ケースの車両通過時の最大・最小応力値の一覧を**表 5.3-10** に示す。



（ａ）デッキプレート側溶接止端部　　（ｂ）トラフリブ側溶接止端部

（ｃ）トラフリブ下面

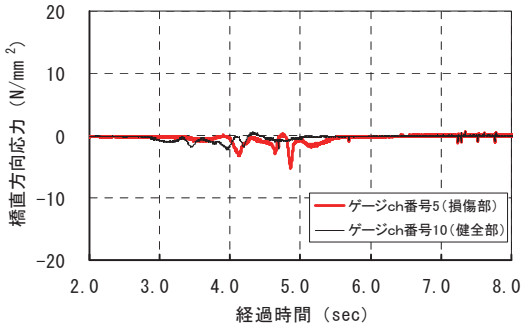
図 5.3-46　わだち部走行時動的波形（CASE-1）



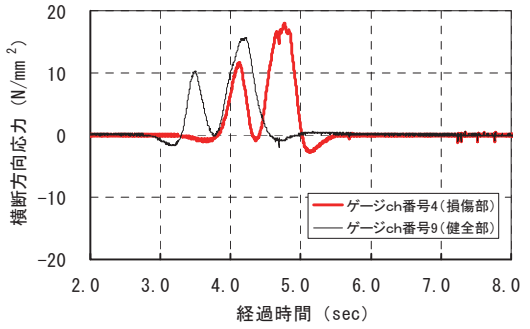
（ａ）デッキプレート側溶接止端部　　（ｂ）トラフリブ側溶接止端部

（ｃ）トラフリブ下面

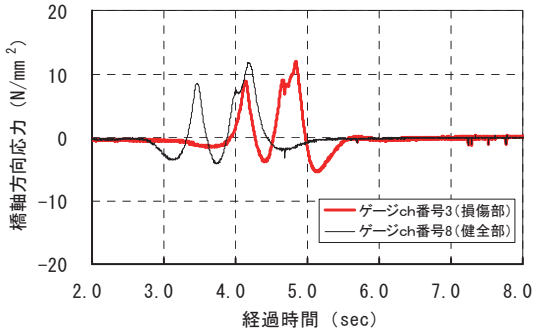
図 5.3-47　白線上走行時動的波形（CASE-2）



（ａ）デッキプレート側溶接止端部



（ｂ）トラフリブ側溶接止端部



（ｃ）トラフリブ下面

図 5.3-48　舗装き裂近傍走行時動的波形（CASE-8）

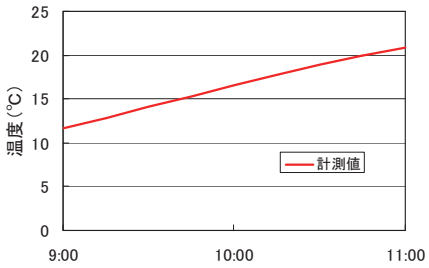


図 5.3-49　温度計測結果

表 5.3-10　各ケースの最大・最小応力値

単位：N/mm^2

	No.	損傷断面：着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ逆側溶接線データ		損傷断面：着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ			損傷断面：隣接ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ		健全断面：着目ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ溶接線データ		
		デッキ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	デッキ側止端5mm	デッキ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端5mm	デッキ側止端5mm
		CH.01	CH.02	CH.03	CH.04	CH.05	CH.06	CH.07	CH.08	CH.09	CH.10
CASE01	MAX	0.8	2.7	2.6	6.4	0.8	0.8	1.2	3.3	7.2	0.8
	MIN	−4.9	−8.3	−2.0	−1.3	−1.1	−1.1	−2.4	−2.3	−1.3	−1.1
CASE02	MAX	0.2	6.5	7.6	2.2	1.1	4.7	2.0	9.5	3.0	1.2
	MIN	−1.9	−2.7	−4.5	−15.9	−12.6	−5.7	−22.6	−4.3	−15.3	−5.8
CASE03	MAX	1.0	1.9	1.9	3.9	1.0	1.1	0.3	2.0	4.0	1.0
	MIN	−3.4	−5.6	−1.4	−1.2	−1.1	−0.9	−1.2	−1.3	−1.0	−1.0
CASE04	MAX	0.1	6.9	8.2	2.4	0.8	4.9	2.1	9.0	3.4	1.3
	MIN	−2.0	−2.9	−4.9	−18.0	−13.8	−6.0	−25.6	−4.1	−15.5	−5.8
CASE05	MAX	0.1	2.5	4.7	10.7	0.9	0.6	0.9	5.6	10.7	0.3
	MIN	−10.3	−15.8	−3.0	−2.0	−1.4	−1.3	−3.5	−2.3	−1.8	−1.4
CASE06	MAX	0.2	6.9	8.0	2.5	0.7	5.5	2.9	9.7	3.4	0.7
	MIN	−2.3	−3.1	−4.9	−18.5	−15.3	−9.2	−25.4	−3.9	−18.0	−7.0
CASE07	MAX	6.3	1.1	11.3	20.2	0.3	0.5	1.7	13.1	16.1	0.3
	MIN	−16.6	−29.7	−6.5	−2.9	−8.9	−2.7	−5.6	−4.8	−2.0	−4.3
CASE08	MAX	5.6	1.2	11.9	18.0	1.1	1.1	1.3	11.8	15.7	1.0
	MIN	−13.1	−29.6	−5.4	−2.8	−5.3	−3.0	−5.9	−4.2	−2.0	−2.3
CASE09	MAX	6.1	1.1	11.9	19.9	0.5	0.9	1.5	12.5	15.1	0.3
	MIN	−15.5	−32.2	−5.6	−2.6	−7.6	−2.2	−5.2	−4.8	−1.6	−3.1
CASE10	MAX	0.3	7.0	7.8	2.6	0.7	5.0	2.4	9.7	3.2	1.0
	MIN	−2.4	−3.4	−4.7	−20.1	−15.5	−8.3	−25.7	−4.1	−17.4	−6.7
CASE11	MAX	0.2	2.8	4.8	10.8	0.9	0.6	0.9	5.7	10.2	0.4
	MIN	−10.8	−17.8	−4.0	−3.0	−1.6	−1.5	−3.4	−2.8	−1.7	−1.1
CASE12	MAX	0.4	2.5	6.6	13.2	0.7	0.7	1.1	7.0	11.6	0.5
	MIN	−12.1	−24.5	−4.7	−3.5	−2.0	−1.5	−4.1	−3.0	−1.7	−1.5
CASE13	MAX	0.3	10.9	17.2	3.0	9.5	0.2	3.6	16.9	4.0	6.1
	MIN	−4.9	−3.5	−9.7	−26.5	−14.2	−14.2	−20.1	−7.1	−16.8	−7.5
CASE14	MAX	0.4	9.8	18.7	4.7	10.1	0.3	3.7	17.0	4.9	6.0
	MIN	−7.0	−3.5	−9.6	−21.3	−13.2	−12.4	−17.5	−7.0	−14.2	−6.7
CASE15	MAX	0.9	3.2	3.4	7.9	0.8	0.6	0.9	3.6	8.1	0.4
	MIN	−8.9	−11.2	−3.1	−2.7	−2.3	−1.9	−2.8	−2.8	−1.7	−2.1
CASE16	MAX	3.3	2.0	8.9	14.8	0.6	0.8	1.2	9.0	13.6	0.8
	MIN	−11.4	−29.6	−5.6	−4.0	−3.8	−3.6	−4.3	−3.9	−3.9	−3.8
CASE17	MAX	3.6	10.2	20.3	17.5	9.2	1.0	3.5	16.6	11.3	3.8
	MIN	−24.6	−6.9	−10.3	−1.4	−32.5	−6.4	−10.6	−7.1	−0.4	−14.2
CASE18	MAX	3.5	2.0	8.8	15.2	0.7	0.8	1.1	9.4	14.0	0.5
	MIN	−13.0	−31.5	−5.3	−3.3	−2.8	−2.6	−4.3	−4.2	−2.8	−2.8
CASE19	MAX	0.3	9.2	9.7	3.0	0.6	4.2	2.6	12.0	2.6	0.7
	MIN	−2.0	−5.0	−6.8	−24.9	−18.0	−10.8	−34.2	−5.1	−20.6	−16.2
CASE20	MAX	0.2	8.3	8.3	3.1	0.6	4.9	3.4	11.5	2.6	0.8
	MIN	−1.9	−4.5	−6.7	−25.9	−16.4	−9.8	−31.2	−5.4	−20.3	−13.6

④計測結果の考察

健全部と損傷部の計測結果を，載荷ケースで分け，走行速度毎に比較したものを**表 5.3-11** と**表 5.3-12** に示す。両者の比較はトラフリブ下面では一台の車両が通過する際の応力範囲で行った。また，一輪毎に応力変動の生じる溶接止端部については，各輪による応力変動で比較することも考えられるが，相対的な比較という位置づけで，トラフリブ下面と同様に一台の車両が通過する際の応力範囲で行った。健全部と損傷部の応力範囲を比較すると，トラフリブ下面を除き，殆どのケースで損傷部の値が大きい。この傾向はデッキプレート側溶接止端部で顕著であり，本試験では舗装損傷部の応力範囲が 30%～50%大きくなっている。

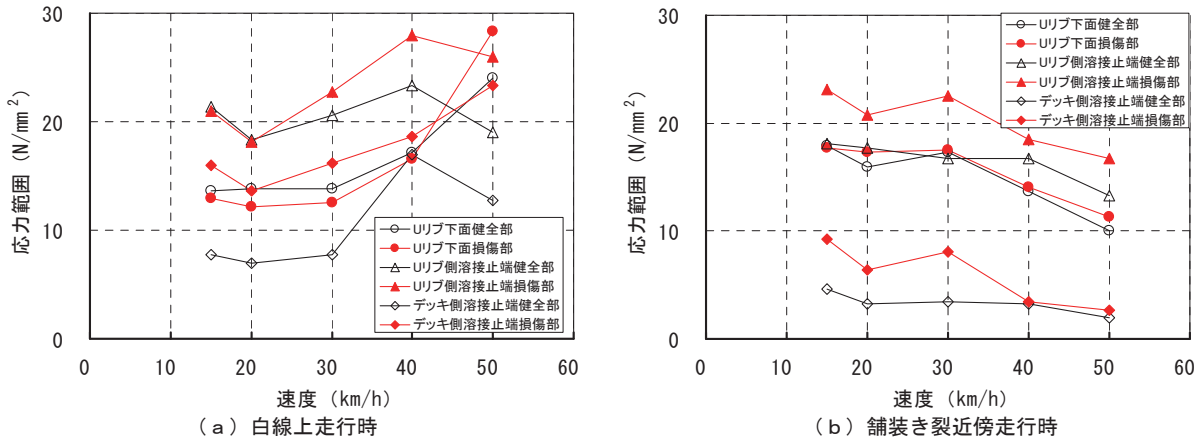
図 5.3-50（ａ），（ｂ）は，各載荷ケースで速度が各部位の応力範囲に与える影響を示している。この比較については各速度でのケースで厳密には走行位置が一致していないこと，舗装の温度が異なる等の点に留意する必要があるが，単純に比較を行うと，今回得られた結果では舗装き裂近傍を走行した場合には速度が大きくなると応力範囲も大きくなる傾向，白線上を走行すると速度が大きくなると応力範囲が小さくなる傾向が確認され，これらの傾向は舗装の損傷の有無にはよらなかった。

表 5-3.11　健全部と損傷部の応力範囲の比較（白線上走行時）

速度 (km/h)	CASE	健全部				損傷部				健全部／損傷部
		位置	応力(N/mm^2)		応力範囲	位置	応力(N/mm^2)		応力範囲	
15	6	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	9.7	13.7	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	8.0	12.9	1.06
			MIN	−3.9			MIN	−4.9		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	3.4	21.4	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	2.5	21.0	1.02
			MIN	−18.0			MIN	−18.5		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.7	7.7	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.7	16.0	0.48
			MIN	−7.0			MIN	−15.3		
20	2	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	9.5	13.9	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	7.6	12.1	1.14
			MIN	−4.3			MIN	−4.5		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	3.0	18.3	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	2.2	18.1	1.01
			MIN	−15.3			MIN	−15.9		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	1.2	6.9	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	1.1	13.7	0.51
			MIN	−5.8			MIN	−12.6		
30	10	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	9.7	13.9	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	7.8	12.5	1.11
			MIN	−4.1			MIN	−4.7		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	3.2	20.6	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	2.6	22.7	0.91
			MIN	−17.4			MIN	−20.1		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	1.0	7.7	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.7	16.2	0.48
			MIN	−6.7			MIN	−15.5		
40	19	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	12.0	17.1	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	9.7	16.6	1.03
			MIN	−5.1			MIN	−6.8		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	2.6	23.3	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	3.0	27.9	0.83
			MIN	−20.6			MIN	−24.9		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.7	16.9	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.6	18.7	0.91
			MIN	−16.2			MIN	−18.0		
50	14	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	17.0	24.1	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	18.7	28.3	0.85
			MIN	−7.0			MIN	−9.6		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	4.9	19.1	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	4.7	26.0	0.73
			MIN	−14.2			MIN	−21.3		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	6.0	12.7	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	10.1	23.3	0.55
			MIN	−6.7			MIN	−13.2		

表 5.3-12　健全部と損傷部の応力範囲の比較（舗装き裂近傍走行時）

速度 (km/h)	CASE	健全部				損傷部				健全部／損傷部
		位置	応力(N/mm^2)		応力範囲	位置	応力(N/mm^2)		応力範囲	
15	7	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	13.1	17.9	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	11.3	17.7	1.01
			MIN	−4.8			MIN	−6.5		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	16.1	18.1	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	20.2	23.1	0.78
			MIN	−2.0			MIN	−2.9		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.3	4.6	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.3	9.2	0.50
			MIN	−4.3			MIN	−8.9		
20	8	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	11.8	16.0	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	11.9	17.3	0.92
			MIN	−4.2			MIN	−5.4		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	15.7	17.7	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	18.0	20.8	0.85
			MIN	−2.0			MIN	−2.8		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	1.0	3.3	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	1.1	6.4	0.52
			MIN	−2.3			MIN	−5.3		
30	9	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	12.5	17.3	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	11.9	17.5	0.99
			MIN	−4.8			MIN	−5.6		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	15.1	16.7	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	19.9	22.5	0.74
			MIN	−1.6			MIN	−2.6		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.3	3.5	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.5	8.1	0.43
			MIN	−3.1			MIN	−7.6		
40	18	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	9.4	13.7	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	8.8	14.1	0.97
			MIN	−4.2			MIN	−5.3		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	14.0	16.7	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	15.2	18.5	0.91
			MIN	−2.8			MIN	−3.3		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.5	3.3	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.7	3.5	0.94
			MIN	−2.8			MIN	−2.8		
50	12	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	7.0	10.0	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ下面	MAX	6.6	11.4	0.88
			MIN	−3.0			MIN	−4.7		
		ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	11.6	13.3	ﾄﾗﾌﾘﾌﾞ側止端	MAX	13.2	16.7	0.79
			MIN	−1.7			MIN	−3.5		
		ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.5	1.9	ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ側止端	MAX	0.7	2.7	0.71
			MIN	−1.5			MIN	−2.0		



（ａ）白線上走行時　　（ｂ）舗装き裂近傍走行時

図 5.3-50　走行速度の影響

5.4　まとめ

5.4.1　応力頻度測定結果

5.3 で示した各橋梁の応力頻度測定結果のうち，トラフリブとデッキプレート溶接部のデッキプレート側とトラフリブ側，垂直補剛材とデッキプレート溶接部の垂直補剛材側溶接部の等価応力範囲と最大応力度を**表 5.4-1** に示す。デッキプレート側およびトラフリブ側ともに，各計測点の中で最も等価応力範囲が高かったゲージ位置の計測結果のみに着目している。高い応力範囲となったゲージ位置はいずれも溶接止端から 5mm であった。また，表中には本研究の応力測定で対象とした橋梁ではないが，デッキプレート貫通型き裂が発生した C1 橋で行われたデッキプレート側の応力頻度測定結果を参考として併記した。表に示す等価応力範囲は，疲労強度曲線の傾きｍを３として，打ち切り限界を考慮せず算出したものである。

表 5.4-1　応力頻度測定結果

橋名	トラフリブ溶接部				垂直補剛材溶接部				計測時期
	デッキプレート側		トラフリブ側		デッキプレート側		垂直補剛材側		
	等価応力範囲 N/mm^2	最大応力範囲 N/mm^2	等価応力範囲 N/mm^2	最大応力範囲 N/mm^2	等価応力範囲 N/mm^2	最大応力範囲 N/mm^2	等価応力範囲 N/mm^2	最大応力範囲 N/mm^2	
M2橋	34.5	170.4	33.6	213.1	－	－	－	－	8月（外気温26.0℃～34.0℃，デッキ下面最高47.5℃）
O12橋	15.4	76.0	17.7	107.6	－	－	－	－	3月（デッキ下面5.2℃～26.7℃）
C7橋	10.6	32.0	14.2	48.3	15.9	76.5	28.5	124.8	3月（デッキ下面4.4℃～25.4℃）
H7橋	7.4	35.5	14.9	82.9	－	－	－	－	10月（デッキ下面4.0℃～26.3℃）
C1橋*)	33.3	115.0	－	－	－	－	－	－	3月（外気温2.9℃～15.8℃）

＊）C1橋は24時間の頻度測定結果より算出している。

本調査で実測された結果の概要を以下に示す。

①デッキプレート下面側の等価応力範囲について

- デッキプレート貫通型き裂が確認された M2 橋および C1 橋のデッキプレート側の等価応力範囲は 30N/mm² 以上であり，他の３橋と比べると極端に大きい。
- 舗装の剛性が低い夏季の測定結果ではあるが，デッキプレート貫通型き裂の発生した M2 橋では最大応力度が 170N/mm² を超えるなど，非常に過酷な交通実態である。
- また，参考として併記した C1 橋においては，舗装の剛性が期待できる冬季にもかかわらず，高い応力が発生していた。応力頻度測定と同時に行った現地調査の結果，橋面舗装が著しく劣化しており，舗装の劣化の影響も考えられる。

②トラフリブ側の等価応力範囲について

- ビード貫通型き裂が発生した O12 橋の等価応力範囲は 17.7N/mm² であり，供用年数や交通量が同程度であるが，現時点でき裂が発見されていない C7 橋の 10.6N/mm² に比べて高い。
- なお，等価応力範囲は 14.9N/mm² と比較的高いが，供用年数が約半分の H7 橋は，現時点でき裂損傷が発見されていない。

③その他

- デッキプレート貫通型き裂が生じていた橋梁では，デッキプレート側の等価応力範囲が夏季に 30 N/mm² 以上となるなど非常に高い等価応力範囲が生じていた.
- ビード貫通型き裂が発生してした橋梁では，トラフリブ側の等価応力範囲が 17N/mm² を超える比較的高い応力状態が計測され，かつ，供用年数は 20 年以上経過したものであった。

・ 垂直補剛材のデッキプレートとの溶接部でデッキプレート貫通型き裂が発生した橋梁では，垂直補剛材側の等価応力範囲が 28.5N/mm^2 と大きな値が計測され，かつデッキプレート側の等価応力範囲も 15.9 N/mm^2 と比較的大きな値が確認された。

5.4.2 交通実態に関するデータと疲労発生の可能性の相関

全国道路交通情勢調査（交通センサス）が定期的に行われており，全国の主要な地点では大型車交通量や昼夜率などの交通情勢が交通センサスの結果から得られる。このような既存のデータと鋼床版の疲労損傷との相関が得られれば，調査対象の絞り込みなどの検討に際して基礎資料として非常に有用である。そのため，**表 5.4-1** に示した調査橋梁５橋の交通センサスデータと応力頻度の測定結果の比較を行った。

表 5.4-2 は各橋梁の平成 11 年の交通センサスデータから求めた大型車交通量（台/12h/車線）と実測から求めた等価応力範囲を比較したものである。ここでは，大型車交通量は車線数で除して１車線あたりの交通量としており、全車線で均等の交通量分担と仮定した結果になっている。大型車交通量（１車線あたり）と等価応力範囲の関係を**図 5.4-1** に示す。本研究で応力測定の対象とした M2,O12,C7,H7 橋については大型車交通量と等価応力範囲が比較的良い相関が得られている。しかし，C1 橋については，M2,O12,C7,H7 橋の傾向と異なる結果となった。この理由としては C1 橋の頻度計測結果は 24 時間であり，他の橋梁より短いこと，供用開始時は対面交通であったが，その後，橋梁が併設されて上下線分離構造となったため，１車線あたりの交通量が変化した可能性があること等が考えられる.

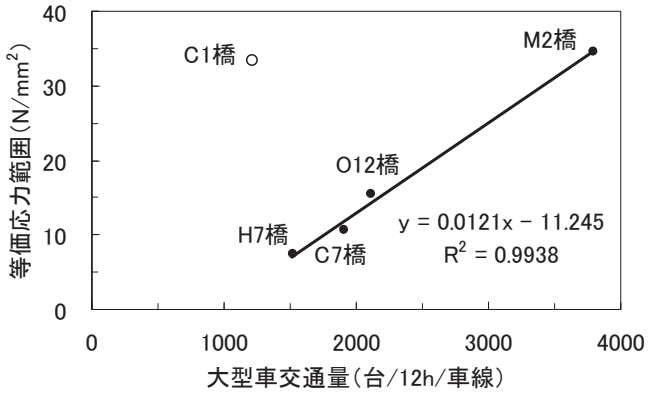
等価応力範囲には大型車交通量だけでなく，輪荷重載荷位置や荷重強度（車輌重量）のばらつき，１車線に交通荷重が集中する場合の影響なども関係してくる。本来はこれらの詳細な条件も考慮することで各橋梁の疲労損傷の発生傾向と実測される等価応力範囲はより厳密に評価でき、相関が明確に現れる可能性もあるが本検討の段階では明確な対応は示すことができなかった。

図 5.4-2 は，前述の５橋に加え，本研究で調査したトラフリブを有する鋼床版橋梁の大型車交通量と供用年数の関係に損傷の有無を加えて整理したものである。疲労損傷の発見された橋梁のほとんどが，図中の大型車累積交通台数の一定曲線②（累積台数が 2.5×10^7）以上の領域に位置することが分かる。このように大型車の累積交通台数との関係によっても疲労損傷発生の可能性について推定できる可能性が示唆される。ただし、先に述べたように各橋の輪荷重載荷条件や荷重強度のばらつき，あるいは対象橋梁特有の条件（前後の道路の条件により１車線に交通が集中する，車線変更が頻繁に行われる，幅員が狭く，輪荷重載荷位置のばらつきが少ないなど）によって実際の鋼床版の疲労耐久性と関係が深いと考えられる応力実態は大きく異なってくるものと考えられ、本検討の段階では定量的に疲労耐久性との関係を示すには至らなかった。

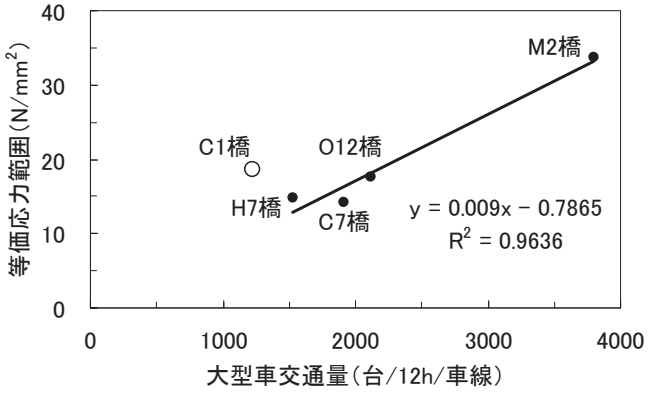
一方で、等価応力範囲の大小や交通荷重の履歴が、鋼床版の疲労耐久性と密接な関係があることは強く疑われることから、鋼床版の合理的な維持管理のためには引き続きこれらの疲労耐久性と関わりの強い事象とき裂損傷発生の可能性の大小についての知見を蓄積していくことが重要と考えられる。

表 5-4.2　交通センサスデータと等価応力範囲

橋名	H11交通ｾﾝｻｽﾃﾞｰﾀ	等価応力範囲		備考
	大型車交通量	デッキプレート側	トラフリブ側	供用年数
	台/12h/車線	N/mm^2	N/mm^2	年
M2橋	3798	34.6	33.7	26
O12橋	2118	15.4	17.7	22
C7橋	1912	10.6	14.2	23
H7橋	1520	7.4	14.9	13
C1橋	1220	33.3	18.6	28



（ａ）デッキプレート側



（ｂ）トラフリブ側

図 5-4.1　大型車累積台数と等価応力範囲

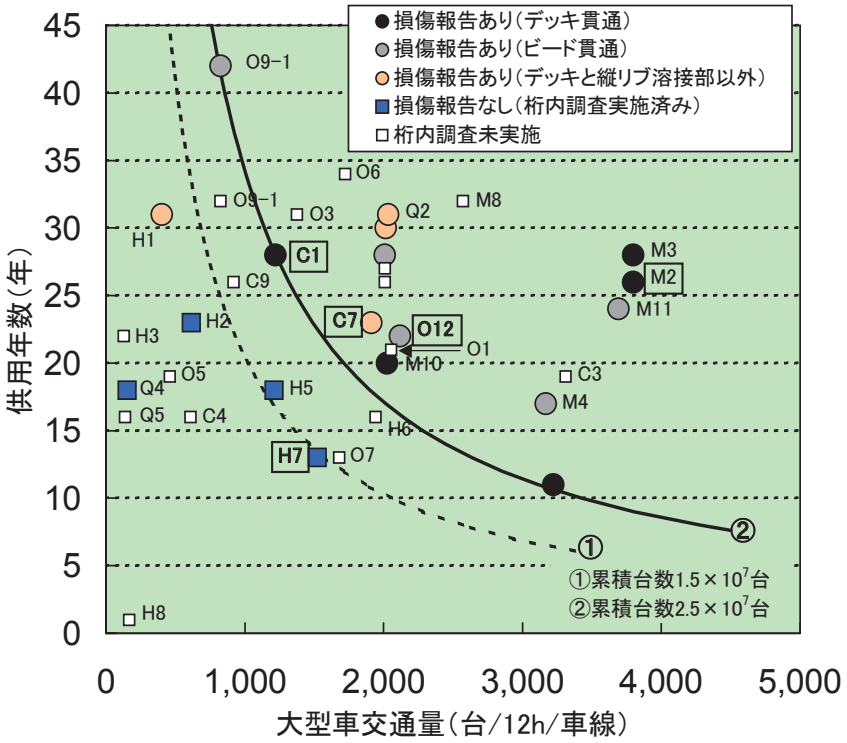


図 5.4-2　大型車交通量、供用年数と損傷の有無

第６章　総括

外観からの目視点検では検出が困難である鋼床版のデッキプレートとトラフリブの縦溶接部に生じるデッキプレート貫通型き裂の調査を行うにあたっては、膨大な数の鋼床版橋梁および溶接線に対してよりき裂発生の可能性の高いものから効率的にできるだけ確実性の高い調査を行って対象を絞り込むことが重要である。

本共同研究では、様々な構造や架橋条件などの特徴、実態調査から類推された疲労環境の厳しさの程度についての知見、現在までに確立している各種探傷手法のデッキプレート貫通型き裂の検出に特化した場合の一般的でかつ信頼性が期待できる活用方法などの観点から、デッキプレート貫通型き裂検出のための合理的な調査方法について検討した。その結果、段階的に調査対象を絞り込みつつ、より直接的な探傷手法を適用していく調査手順の案をとりまとめた。

鋼道路橋のトラフリブを有する鋼床版を対象とした
デッキプレート貫通型き裂の検出のための調査要領（案）

目次

1 章　総則
1.1　適用の範囲 ----------1
1.2　引用規格 ----------1
1.3　調査手順 ----------2
1.4　調査の体制 ----------3

2 章　机上調査(STEP-1)
2.1　机上調査の目的 ----------4
2.2　机上調査の方法と項目 ----------4
2.3　机上調査の結果の評価 ----------4

3 章　概略調査(STEP-2)
3.1　概略調査の目的 ----------6
3.2　概略調査の方法 ----------6
3.3　概略調査の項目 ----------7
3.4　概略調査結果の評価 ----------12

4 章　簡易調査(STEP-3)
4.1　簡易調査の目的 ----------13
4.2　簡易調査の方法 ----------13
4.3　簡易調査の項目 ----------14

5 章　詳細調査(STEP-4)
5.1　詳細調査の目的 ----------19
5.2　詳細調査の対象 ----------19
5.3　詳細調査の方法 ----------20

5.4　目視調査 ----22
5.4.1　目視調査の手順 ----22
5.4.2　目視調査の方法 ----22
5.5　溶接形状の確認 ----25
5.6　トラフリブ内部の堆積物等の確認 ----25
5.7　板厚の調査 ----26
5.8　非破壊検査手法による調査 ----27
5.8.1　磁粉探傷法による調査 ----27
5.8.2　超音波探傷法による調査 ----27

6 章　非破壊検査の実施方法
6.1　非破壊検査の対象き裂と適用条件 ----28
6.2　磁粉探傷試験 ----29
6.2.1 一般 ----29
6.2.2 磁粉探傷試験の手順 ----30
6.2.3 磁粉探傷試験の結果の記録 ----31
6.3　超音波探傷試験 ----32
6.3.1 一般 ----32
6.3.2 超音波探傷試験の手順と方法 ----35
6.3.3 超音波探傷試験の結果の評価 ----36
6.3.4 超音波探傷試験の結果の記録 ----38
6.4　調査箇所の養生 ----39
6.5　その他の調査 ----40

参考文献

参考：調査結果等の報告様式の例

１章．総則

1.1　適用の範囲

(1)本要領は，鋼道路橋の鋼床版の疲労き裂に着目した損傷調査に適用する。
(2)本要領の対象とする鋼床版は、以下を基本とする。
　1)「道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編　平成１４年３月　(社)日本道路協会」の「8．4　鋼床版」の規定に従う鋼床版のうち、閉断面リブを有するもの。
　2)1)と類似の構造形式の鋼床版のうち閉断面リブを有するもの

本要領に基づく鋼床版調査は，近年，重交通路線にある道路橋のうち閉断面リブで補剛された鋼床版で報告されている疲労によるき裂損傷の発見を主たる目的として行うものであり、これまでの実橋における様々な調査で得られた知見をもとに定めている。

このため、特殊な形式の床版やこれまで同種のき裂が発見されていない鋼床版に対する適用性については明確でなく適用可能な範囲を限定したものである。

また、本要領による調査は、自動車荷重の繰り返し載荷の影響による疲労き裂の効率的な発見を目的に限定したものであり、道路管理者によって形式等にかかわらず一律に実施される，日常点検や定期点検，臨時点検などの基本的な点検体系とは別のものであり、本調査によってそれらの機能を代替えするものではない。

したがって，本要領による調査の実施有無にかかわらず，各道路管理者が定める通常の点検・調査は確実に行われることが前提である。

1.2　引用規格

本要領では、必要に応じて次に掲げる規格を引用する。これらの引用規格のうちで発行年を付記してあるものは、記載の年の版だけが本要領の引用規格であり、その後の改正版・追記は適用しない。

道路橋示方書・同解説　　平成１４年３月　(社)日本道路協会
鋼道路橋の疲労設計指針　平成１４年３月　(社)日本道路協会
鋼道路橋溶接部の超音波自動探傷検査要領・同解説
　　平成１４年３月　国土交通省　国総研資料第３０号

1.3　調査手順

調査は，次の４段階に分けて実施することを基本とする。
1）机上調査　(Step-1)
2）概略調査　(Step-2)
3）簡易調査　(Step-3)
4）詳細調査　(Step-4)

本要領では，効率的にき裂発生の危険性の高い鋼床版および部位の抽出を行うために、４つの段階に分けて調査することを基本とした。(図－解 1.1 参照)。

なお、実際の調査では現地の状況や収集可能な資料によっては、ここに示す４段階で行わずいくつかの調査を並行して行う方が効率的な場合もあると考えられる。そのためここに示す各段階の構成や内容はあくまで目安であり、調査対象や現地状況に応じて適切なものとなるよう計画することのがよい。

なお，本要領では，調査報告の後に実施される，不具合箇所に対する補修・補強については範囲外とした。

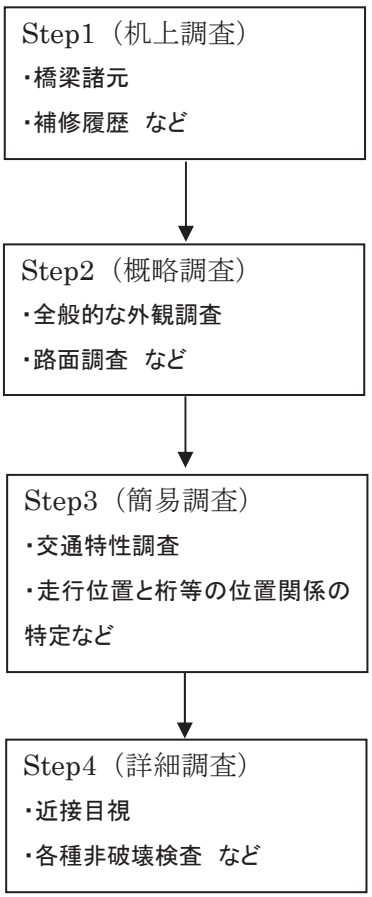


図-解 1.1　段階調査の手順

1.4　調査の体制

本要領による調査の実施にあたっては、適切な技術力を有するものによる。

道路橋の鋼床版の疲労き裂を検出するためには、各段階の調査にあたって、道路橋の構造や設計、鋼部材の疲労、各段階で用いる検査手法や機器等に関して十分な知識や経験を有するものが従事することが確実性の面で有効である。

ただし、これらの資質や実施体制を一概に示すことは現段階では困難であることから、ここでは単に「適切な技術力」とした。

なお、調査の中で非破壊検査を実施する場合において，当該検査手法に関して公的資格や業界団体の資格制度がある場合には、それらを保有する者によることを原則とする。また有資格の検査技術者による場合でも単に資格を保有しているだけでなく、鋼構造の設計製作に関する知識や道路橋の溶接継手部に対する検査の経験を有するものが従事することでより確実な調査が行える。

２章　机上調査(Step1)

2.1　机上調査の目的

机上調査は,鋼床版橋梁の中からデッキ貫通き裂を生じる可能性の高い橋梁を抽出する目的で行う。

道路橋では、地盤が軟弱な臨海部や橋梁の平面線形や橋脚位置が制約を受ける都市内など条件によっては膨大な数の鋼床版が建設されていることがある。これらの全てに対して溶接部のき裂調査を一律に行うことは効率的でなく調査の優先順位付けの観点からも望ましくない。このため本要領では、現地調査に先立ってよりき裂発生の危険性の高いものを主として図面等の文書類から事前にできるだけ抽出することとした。

2.2　机上調査の方法と項目

机上調査では、次の文書等について調査を行うものとする。 １）橋梁台帳などによる基本情報の調査（諸元や建設時期、適用基準など） ２）設計図書等（設計計算書、設計図面、製作図（溶接条件や形式、構造詳細）など） ３）製作・施工記録（架設方法、仮設・架設部材や資機材の情報） ４）点検・補修補強に関する資料（点検調書、補修補強工事（舗装含む）の記録など） ５）架橋環境条件に関する資料（センサス等交通量、載荷試験や応力測定等の実績）

2.3　机上調査の結果の評価

机上調査では、収集された資料から総合的に判断して、疲労き裂発生の可能性の高い橋梁の抽出を行う。このとき特に次の項目について着目する。 １）鋼床版の構造諸元 ２）大型車の通行台数（供用開始以来の累積） ３）舗装の更新や補修履歴（回数・位置・内容） ４）過去のき裂損傷の有無とその内容

現在のところ、自動車荷重の繰り返しに対する鋼床版の疲労耐久性上の優劣については明確な基準がなく、道路橋に対して疲労設計が一律導入されたのに合わせて示された技術基準類や指針（「道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編　平成１４年３月　(社)日本道路協会」「鋼道路橋の疲労設計指針　平成１４年３月　(社)日本道路協会」）においても過去の損傷実績と最新の研究成果からより疲労耐久性に優れると考えられる構造詳細などの条件を抽出したものとなっている。

そのため、疲労き裂発生の危険性の大小を明確に差別化して抽出することは現時点では困難であり、鋼床版の構造や大型車交通や舗装の劣化の状況などからより危険性が高いと考えられるものを抽出し、優先的に次段階の調査を行うことが合理的である。

なお、これまでの研究によって次の条件に合致する鋼床版において、デッキプレート貫

通型のき裂をはじめとする閉断面リブの溶接部に関係のあるき裂損傷が多く発見されている。

したがって、これらの条件に合致、あるいは類似の鋼床版を有する橋梁、および過去に鋼床版に限らず自動車荷重の繰り返しに起因する疑いのある疲労損傷の発見された橋梁については相対的に優先度が高いと考えられる。

①鋼床版の構造諸元に次の条件に合致するものが用いられている。
- ・デッキプレート厚 12㎜
- ・トラフリブの厚さ 6㎜ または 8㎜

②供用開始以来の 1 車線あたりの累積大型車交通量が 2000 万台以上であること。

③舗装の更新履歴があるか，または舗装の補修履歴が多いこと。
（特に特定の位置の車線方向にポットホールの発生や連続的なひびわれが報告されている場合は優先度が高い）

なお，この段階では個別の径間までの特定は行わず，上記条件により多く合致する橋梁を絞り込むにとどめる。これは，デッキプレート厚が 12㎜ を超えるものについても非破壊検査（超音波探傷試験）によってデッキプレート方向へのき裂が検出された事例があることと，多径間連続の橋梁においてデッキプレート貫通き裂の発生位置について橋軸方向に特段の傾向が見出せていないことによる。

３章　概略調査(Step2)

3.1　概略調査の目的

概略調査は，机上調査（Step1）で抽出された橋梁に対して，デッキプレート貫通き裂の発生の可能性のより高い橋梁および径間の抽出を行うことを目的とする。

デッキプレート貫通き裂の発生の有無を確認するためには，最終的にはデッキプレートとトラフリブの溶接部に近接しての超音波探傷試験などの非破壊検査，あるいは舗装の部分撤去など，いずれも足場や電源等の資機材の準備や交通規制などが必要となる。そのため比較的大規模な橋梁が多い供用中の鋼床版橋梁に対して，これらの調査を行うためにはあらかじめ調査対象径間などをより限定した領域に対象部位を絞り込むことが効率的，経済的に調査を行うためには不可欠である。

3.2 概略調査の方法

概略調査は，路上からの外観目視によることを基本とする。

概略調査は，実際の交通実態や舗装の損傷等の外観状況からデッキプレート貫通き裂発生の可能性の高い径間を絞り込むものであり、路上からの外観目視調査によることを基本とする。なお、桁下からの鋼床版裏面を容易に視認することができる架橋条件の場合には裏面からの目視調査もあわせて行うのがよい。

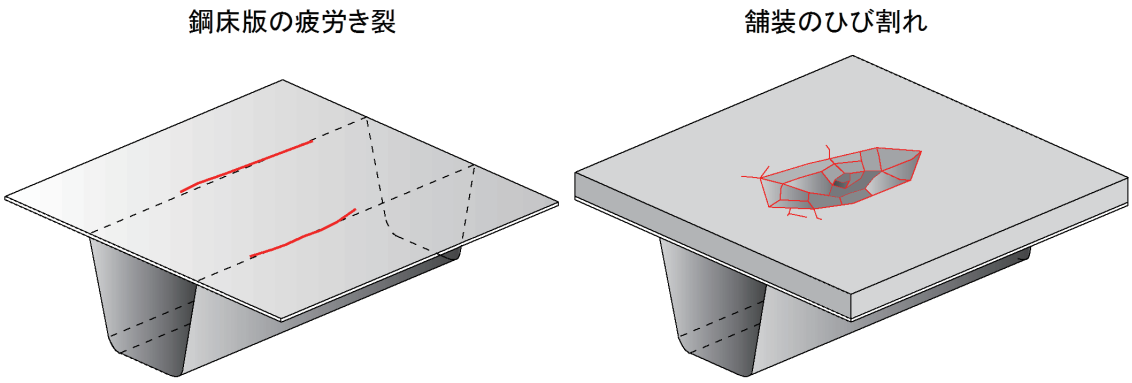
3.3 概略調査の項目

（1）概略調査では、主として舗装の変状に着目し、それぞれの特徴を把握する。
（2）概略調査で把握された舗装の変状毎に、その位置や状況を記録する。
　1）蜘蛛の巣状（または細かい格子状）のひびわれ
　2）舗装の局部的な陥没
　3）車線方向に一致する縦に連続的にのびるひびわれ
　4）車線方向に規則的に現れる局部的なひびわれ
　5）著しい轍ぼれおよびポットホールの発生状況（補修痕含む）

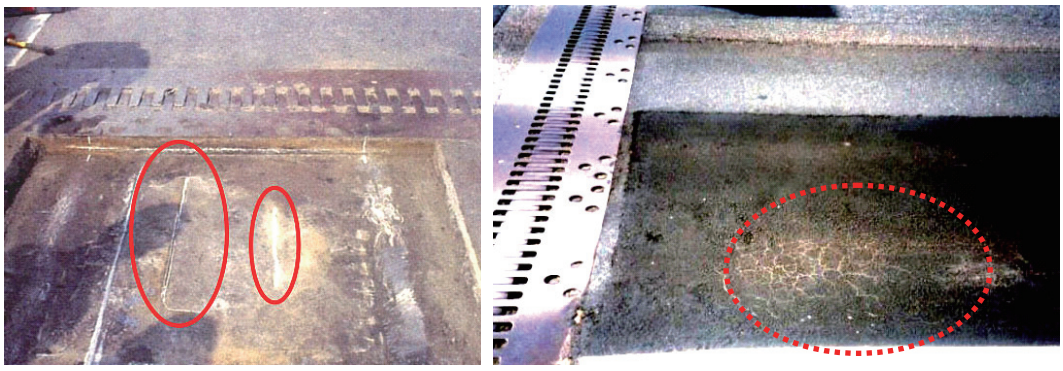
これまでにデッキプレート貫通き裂が報告されている橋梁では、いずれも舗装劣化が著しい傾向がみられており、舗装の劣化が著しい径間ではデッキプレート貫通き裂やその他の鋼床版のデッキプレートとの溶接線に関わるき裂損傷が生じる可能性が高いものと考えられる。

1） 2）蜘蛛の巣状（または細かい格子状）に舗装のひびわれ、舗装面の局部的な陥没

デッキプレートに貫通き裂が生じるとその位置の直上を車輪が通過するとデッキプレートが局部的に変形することから路面が陥没したり、舗装面には蜘蛛の巣状（または細かい格子状）のひびわれが形成されることがある。



図解 3.3-1　デッキプレート貫通き裂と舗装のひび割れ



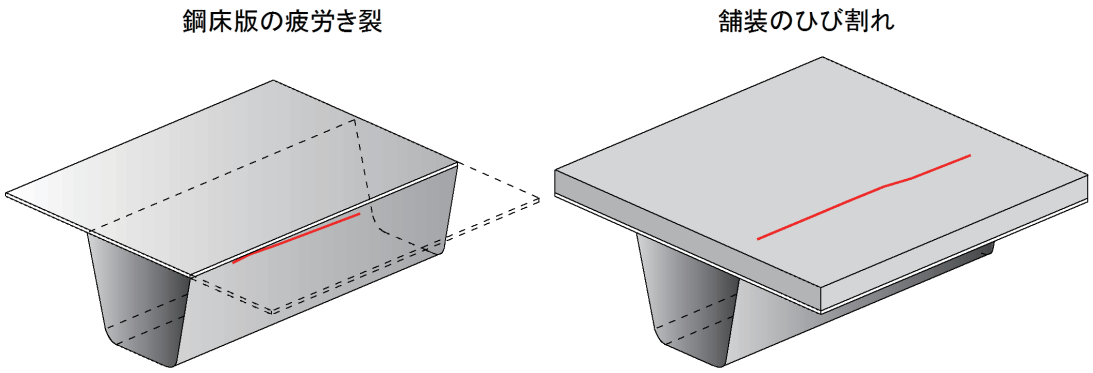
a）　鋼床版の疲労き裂　　b）　蜘蛛の巣状のひび割れの例

写真解 3.3-1　デッキプレート貫通き裂と舗装のひび割れ

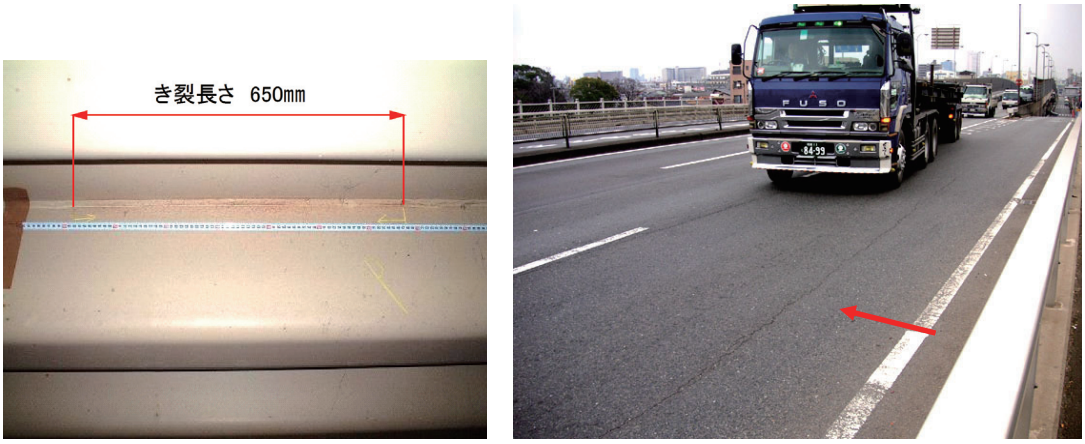
3） 車線方向に一致する縦に連続的にのびるひびわれ

トラフリブとデッキプレートの縦方向溶接継手でビード貫通型のき裂がのびると、トラフリブのウエブ位置におけるデッキプレートの変形が大きくなるため、き裂位置に近い舗装面にウエブ位置近傍で長く車線方向に伸びるひびわれが現れることがある。

なお、この段階の調査では、鋼床版の構造やリブの正確な位置が分かっていないことがある。その場合にには単なる舗装割れか鋼床版のきれつを生じているのかは断定できない。ここではき裂の位置（車線との関係、車輪通過位置との関係、橋軸方向の発生位置など）を把握して記録する。



図解 3.3-2　ビード貫通き裂と舗装のひび割れ



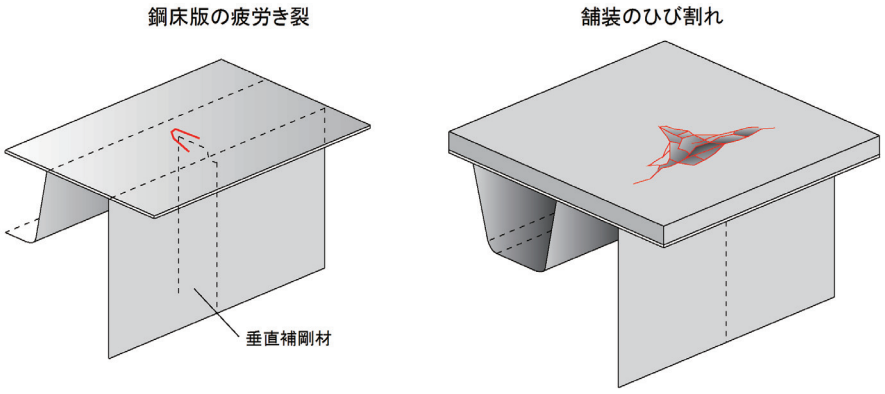
a)　鋼床版のビード貫通き裂　　b)　舗装のひび割れの例

写真解 3.3-2　ビード貫通き裂と舗装のひび割れ

４）車線方向に規則的に現れる局部的なひびわれ

鋼床版の主げた位置では、主げたの垂直補剛材が鋼床版裏面に溶接されている箇所があり、その位置から鋼床版に向かうき裂が発生すると、車輪の通過に伴う鋼床版の変形が大きくなり舗装にひび割れが生じることがある。

なお、この段階の調査では、鋼床版裏面の主げたウエブおよび垂直補剛材の正確な位置が分かっていないことがある。その場合には単なる舗装割れか鋼床版のきれつを生じているのかは断定できない。ここではき裂の位置（車線との関係、車輪通過位置との関係、橋軸方向の発生位置・間隔など）を把握して記録する。

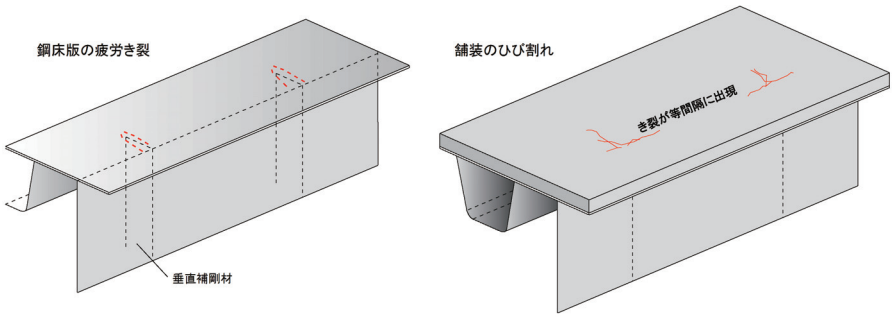


図解 3.3-3　デッキプレート貫通き裂と舗装のひび割れ

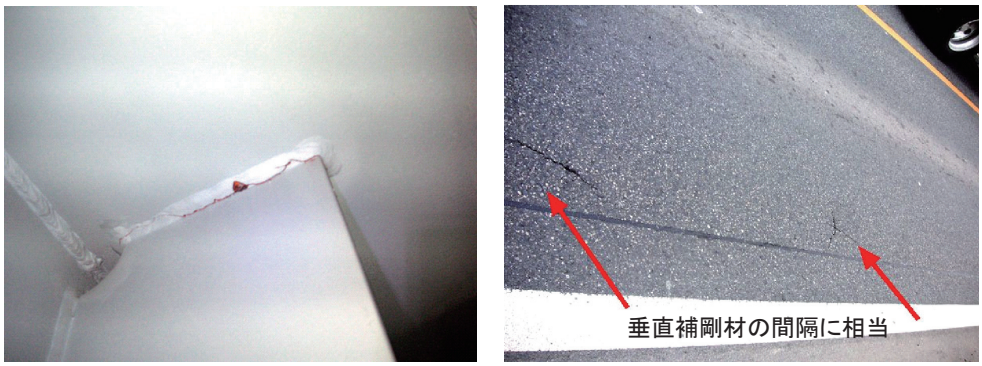


a)　鋼床版の疲労き裂　　b)　舗装のひび割れ

写真解 3.3-3　デッキプレート貫通き裂と舗装のひび割れ



図解 3.3-4　ビードき裂と舗装のひび割れ



a)　鋼床版の疲労き裂　　b)　舗装のひび割れ

写真解 3.3-4　ビードき裂と舗装のひび割れ

５）著しい轍ぼれおよびポットホールの発生状況（補修痕含む）

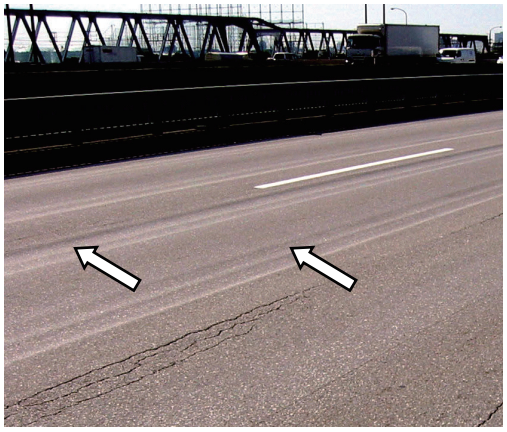
著しいわだち掘れを生じると，舗装の輪荷重の分散効果が損なわれ，鋼床版にとってはより厳しい疲労環境となる。また大型車の車輪通過位置が分散せず，ほぼ同じ位置に載荷が繰り返されることも疲労環境の厳しさを増す要因となる。

そのため，大型車混入率が高い重交通路線において，大型車の車輪位置に一致する著しいわだち掘れが生じている場合には，少なくともその車線位置の鋼床版は厳しい荷重環境になっており、ひびわれが確認できなくてもトラフリブウエブ位置でデッキプレート貫通き裂やビードき裂がすでに発生しているか，相対的に発生の可能性が高い条件といえる。

同様に、幅員方向に同じ位置で車輪通過ラインに沿ってポットホールが繰り返し発生しているか補修を繰り返している場合にも当該位置の鋼床版で疲労き裂が生じる可能性は相対的に高いといえる。

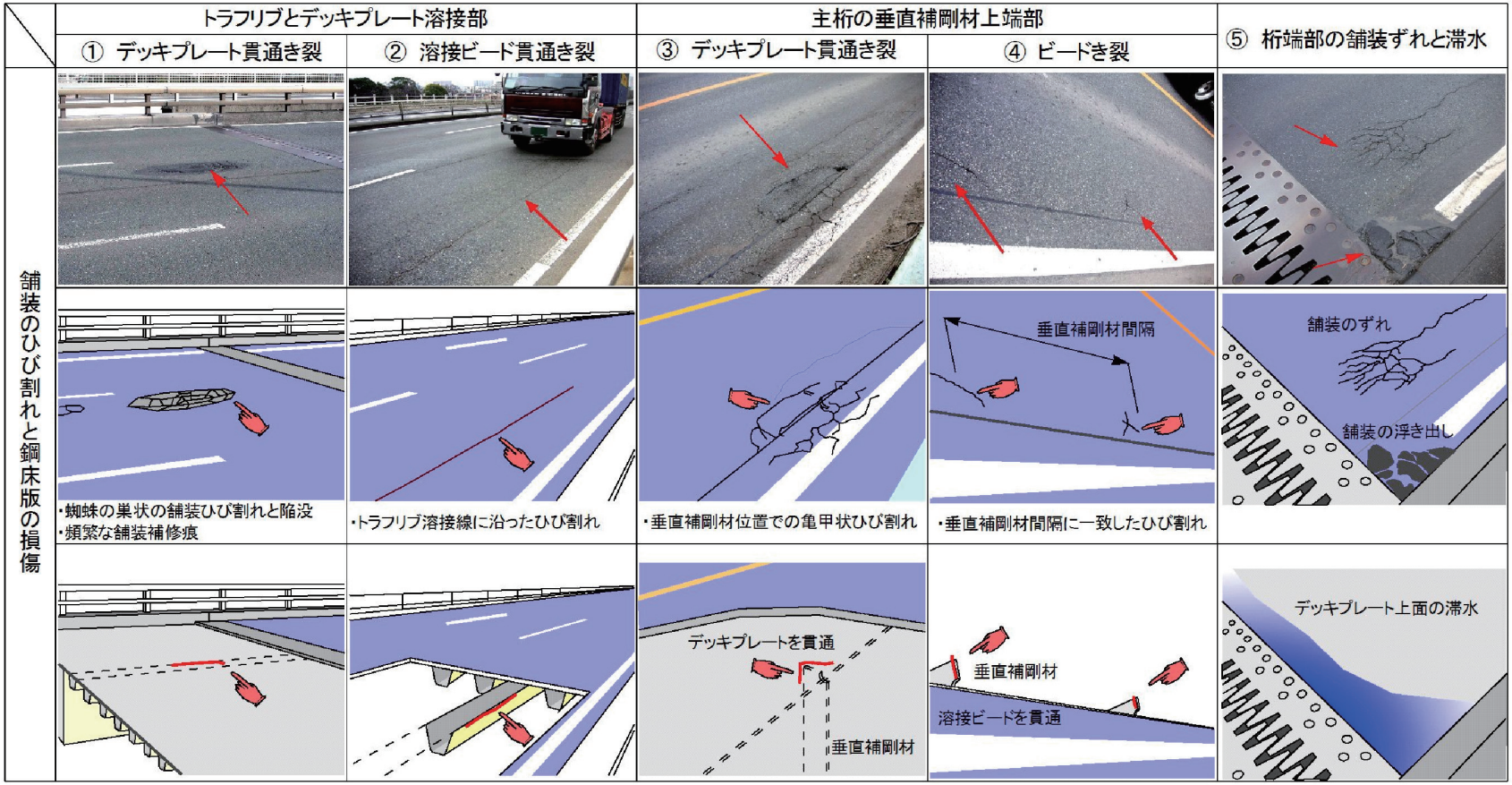


写真解 3.3-5　舗装の剥離によるポットホール（右は矢印部分の拡大）



写真解 3.3-6　走行位置のわだち掘れ

表解-3.3.1　1 舗装の劣化とその箇所で確認された鋼床版の損傷



3.4 概略調査結果の評価

概略では、鋼床版のき裂発生の可能性については評価せず、3.3 によって該当する舗装の変状が確認された径間をき裂発生の可能性が高い径間として抽出する。

この段階の調査では、主に舗装路面の性状だけに着目しており、鋼床版構造とそれらの位置関係や交通特性などの情報が十分に得られていない。したがって単なる舗装の変状か鋼床版のきれつを生じた結果としての変状であるかの断定は困難である。特に舗装の更新や補修の方法が適切でなかったり、その後の交通荷重の条件が厳しい場合には著しい舗装の損傷が鋼床版裏面の構造と関係なく局部的に現れることも多い。

そのためここでは、舗装変状の種類や性状、位置（車線との関係、車輪通過位置との関係、橋軸方向の発生位置・間隔など）を把握して記録するにとどめ、径間全体を鋼床版に関連する疲労き裂損傷の生じる可能性の高い条件があるものとして抽出する。

４章　簡易調査(Step3)

4.1　簡易調査の目的

簡易調査は，概略調査（Step2）までで抽出された径間を有する橋梁に対して，デッキプレート貫通き裂の発生の可能性の評価と、非破壊検査などの詳細調査を行う部位の絞り込みを行うことを目的とする。

デッキプレート貫通き裂の発生の有無を確認するためには，最終的にはデッキプレートとトラフリブの溶接部に近接しての超音波探傷試験などの非破壊検査あるいは橋面舗装の一部撤去による確認が必要となる。

しかし、膨大な溶接線についてこれらの調査を広く行うことは、塗膜や舗装の除去とその回復のために供用性への影響やコストの面で一般的には現実的でなく、調査対象部位をできるだけ正確に絞り込む必要がある。そのため簡易調査(Step3)として，概略調査(Step2)までで，き裂発生の可能性が高い状態であると抽出された橋（あるいは径間）について，実際の交通状況，車両走行位置，舗装の損傷位置，トラフリブや主げたなどの構造部材の位置などの関係を確認し，デッキプレート貫通き裂の発生する可能性の高い箇所をより詳細に絞り込む。

なお，この段階では次の段階で行う非破壊検査や塗膜除去・復旧の方法，調査や作業のための各部位への具体的なアプローチの方法，資機材の搬入や電源の確保など，点検計画の作成に必要な情報の把握も行うことになる。

4.2 簡易調査の方法

簡易調査は，外観目視、交通実態調査、図面と実橋の現地照合作業を基本とする。

4.3 簡易調査の項目

簡易調査では表 4.3-1 の項目を調査することを基本とする。

表 4.3-1 簡易調査の項目と報告例

調査項目		調査方法例	調査報告例
交通実態	交通量	道路交通センサス BWIMデータ 簡易交通調査	大型車交通量（台／日・車線）
	大型車混入率	道路交通センサス 簡易交通調査	大型車混入率（%）
	積載物	BWIMデータ	車両重量頻度分布
		簡易交通量調査	港湾荷役／鋼荷役／その他
	車線内の分配	目視	特定車線の通行が多い／少ない
	輪荷重位置	目視	特定位置の走行が多い／少ない
	路線環境	目視	港湾／主要国道／代替路線の有無など
橋梁諸元	竣工年	台帳・目視	○年（供用20年以上／20年未満）
	縦リブ形状	一般図など ・目視	閉断面リブ／開断面など
	デッキプレート厚		△mm（12mm未満／12mm以上）
	縦リブ厚		□mm（6mm／8mm）
	継手の種類		溶接継手
	補修履歴	台帳・目視	鋼床版、舗装等の補修履歴
舗装	ひび割れ	目視	・輪荷重走行位置付近に蜘蛛の巣状の舗装ひび割れあり
			・輪荷重走行位置付近に縦リブに沿った舗装ひび割れあり
			・損傷位置直上の舗装が劣化
			・垂直補合材の等間隔で損傷位置直上の舗装が劣化
			・その他
主げた	腐食	目視	腐食あり／なし
伸縮装置	土砂詰まり・段差の有無など	目視	
その他	騒音・振動	体感	
桁内部へのアプローチ	接近性	目視	容易／はしごが必要／高所作業車が必要／足場等が必要

簡易調査では、これまで得られている知見から自動車荷重の繰り返しに起因する鋼床版の疲労損傷の発生と関係が深いと考えられる項目について調査する。

（1）交通実態調査

道路橋の交通環境については，全国で道路交通センサスが行われているが、調査対象橋梁と一致したデータは得られていないことも多く、交差点による分合流などで交通状況が直近のセンサスデータとは一致しない場合もある。また，鋼床版の疲労き裂の可能性の高い位置を絞り込むには車種タイプ毎の交通量や走行位置の特徴などの情報が有用である。

そのため、簡易調査では、現地で当該橋梁あるいは径間の実際の交通特性を把握する。

交通荷重特性の計測には、路上に計器を設置して直接重量を計測する方法や、橋本体に多くのひずみゲージ等を設置しての Bridge-Weigh-In-Motion 手法が開発されており、比較的高い精度で軸重頻度などの交通荷重特性の把握ができる。ただし、本調査では通行車両の種類，積載物，走行車線・位置などについての概略が把握できればよい。

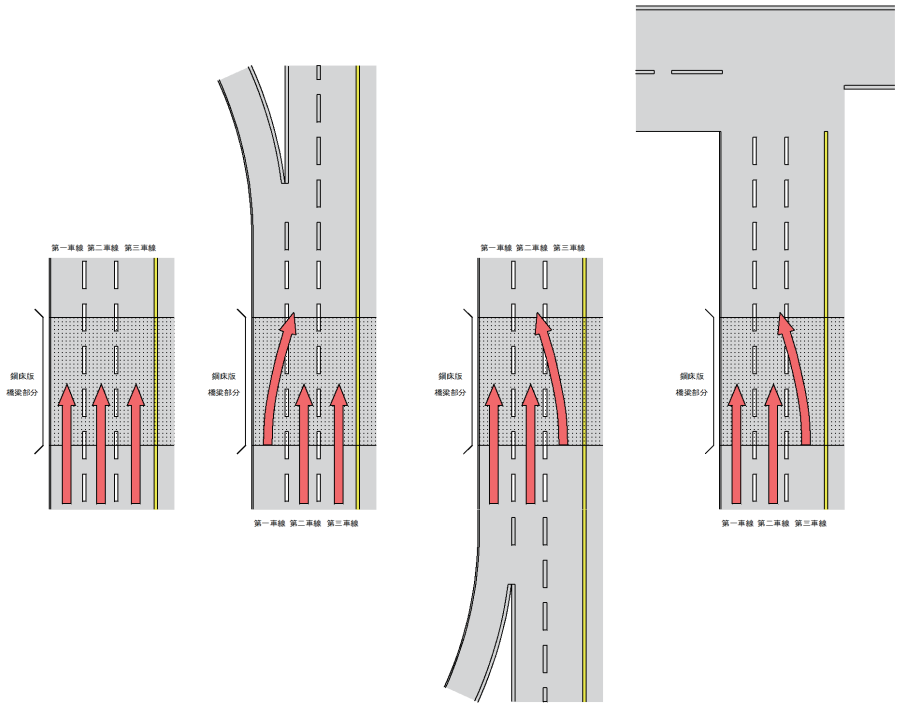
【参考　簡易交通実態調査】

計測機器等の設置を行わず交通荷重実態を推計する方法については現在定まった方法はない。しかし疲労耐久性に支配的な影響を及ぼすと考えられる軸重の大きな車両の台数や混入の程度、走行位置の特性などは現地で路上監視するだけでもある程度の把握は行える場合もあると考えられるため、ここでは具体的な調査方法については特定しない。

以下に、路上観察による方法で把握する場合の例と留意点を示す。

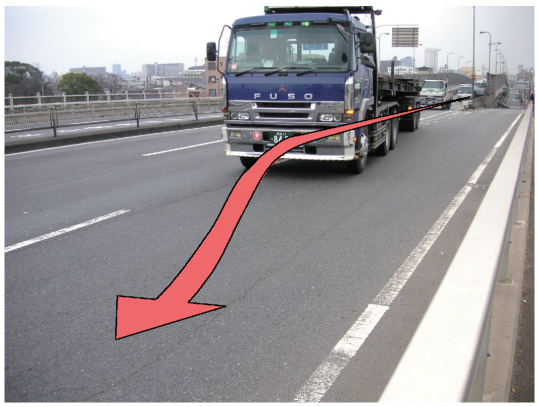
①ビデオカメラの利用

近年の小型ビデオカメラの性能向上により、路上でのビデオ画像の記録によって、交通量、車種構成、車両走行位置、車線変更の有無、渋滞状況、速度特性（走行速度や加減速位置）等の把握が可能である。



a) 通常　b) 前方に分岐がある場合　c) 後方に合流がある場合　d) 前方に交差点がある場合

図解 4.3-1　橋梁の前後での道路事情にみる大型車走行の傾向の一例



写真解 4.3-1　橋梁の後方に合流がある場合の大型車の車線変更例



写真解 4.3-2　橋梁の前方に交差点がある場合の第二車線への大型車の集中例

②目視観測による交通特性の推定

疲労耐久性に関わる大型車の混入率や重量分布特性の推定に参考となる大型車両の車種構成は、車型別に目視観測で計数し、過去の様々な路線での交通実態調査結果と対比するだけでもある程度推定することが可能である。

特に、鉄鋼材料を運搬するトレーラー土砂運搬のダンプトラック、生コン運搬用コンクリートミキサー車、ラフタークレーンなどの重量車両は積載状況や車型から軸重や総重量の推定が比較的容易である。また積載物が視認できないコンテナの場合は、荷役の関係から過積載は相対的に少ないと考えられ定格満載状態で評価することで概ね安全側に評価できる場合が多い。



写真解 4.3-3　ビデオカメラによる調査



写真解 4.3-4　目視による簡易交通量調査



写真解 4.3-5　港湾荷役の多い交通状況例



写真解 4.3-6　鉄鋼荷役の多い交通状況例

表解 4.3-1　コンテナ１つあたりの積載量（参考）

分類	12フィートコンテナ	20フィートコンテナ	40フィートコンテナ
積載量	5,000kg	24,000kg	32,000kg
			



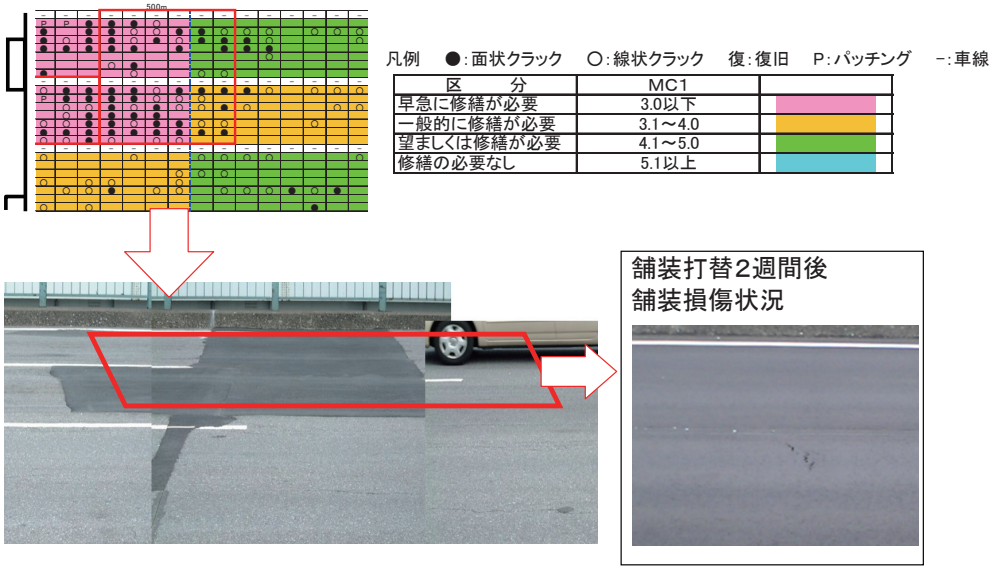
写真解 4.3-7
鉄鋼コイル（最大重量約 450kN）

（３）舗装劣化状況

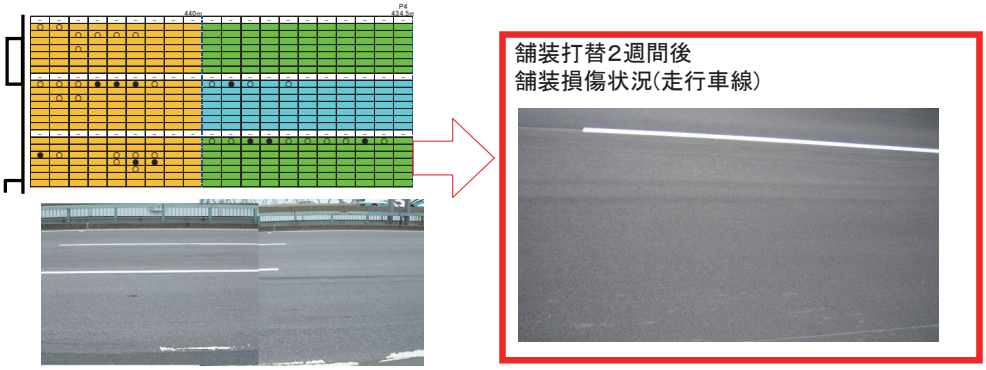
簡易調査では、非破壊検査や舗装除去によるき裂調査の対象箇所を選定するため、舗装の劣化状況について主げた位置などの橋の構造部位や車両走行位置との対比できるよう劣化形態とその位置を把握する。

このとき、特に交通実態が厳しい橋梁では，過去に頻繁に舗装補修がされている場合があるため補修履歴と補修痕からその内容や位置も把握する。

実際に観測された舗装劣化の状況の例を示す。



図－解 4.3-2　舗装補修後の損傷状況【例１】



図－解 4.3-3　舗装補修後の損傷状況【例２】

（４）その他の変状

伸縮装置の段差や伸縮装置背面の防水機能の低下は、輪荷重の動的作用の増大や腐食による板厚現象などで鋼床版の疲労耐久性に悪影響を及ぼす可能性がある。このように簡易調査では、鋼床版に関わりのある事項について橋梁全般の状況についても可能な限り把握する。

主な着目項目には次のものがある。

①伸縮装置の状況

・取り付けボルトの破損，脱落
・遊間部における土砂等の堆積
・フィンガーの破損，破断，変形
・伸縮装置背面の舗装劣化
・伸縮装置本体の緩み，逸脱
・車両走行時における異音　等

②排水装置

・排水桝の土砂等による閉塞
・排水管の脱落，欠損，腐食
・舗装表面や桁内部における滞水　等

③騒音，振動

④周辺環境

⑤桁内部へのアプローチ方法など次ステップの調査のための必要事項

詳細調査では，箱桁内部や鋼床版裏面で溶接部に近接しての調査が必要となる。簡易調査で現地調査を行う際に箱桁内部などへのアプローチの可否について，接近性やマンホールの位置などについて調査しておくことが合理的である。

５章.　詳細調査（Step-4）

5.1 詳細調査の目的

詳細調査は，簡易調査で抽出された鋼床版について、疲労きれつの発生の有無を確認することを目的とする。

簡易調査までで、外観目視や文書資料の分析などから疲労き裂が既に発生しているか、発生する可能性が高い鋼床版の絞り込みが行われている。そのため詳細調査ではこれらに対して具体的に疲労損傷の発生の有無を確認するとともに、今後の補修補強など当該橋梁の維持管理計画の策定に必要情報を得る。また調査結果で得られた情報から、簡易調査までで対象から除外したものについてき裂発生の危険性が少ないとの判断が妥当かどうかについて再評価し、必要に応じて詳細調査の対象として選定し直すこともある。

5.2 鋼床版調査の対象

（１）鋼床版の調査対象は，図-3.1 に示すように，縦リブとデッキプレートとの溶接線を中心に，ウェブとデッキの溶接線，デッキとダイヤフラムとの溶接線，縦リブとダイヤフラムの溶接線，縦リブ工場突き合わせ溶接線，垂直補合材とデッキとの溶接線など鋼床版裏面近傍にある溶接線の全てとする。

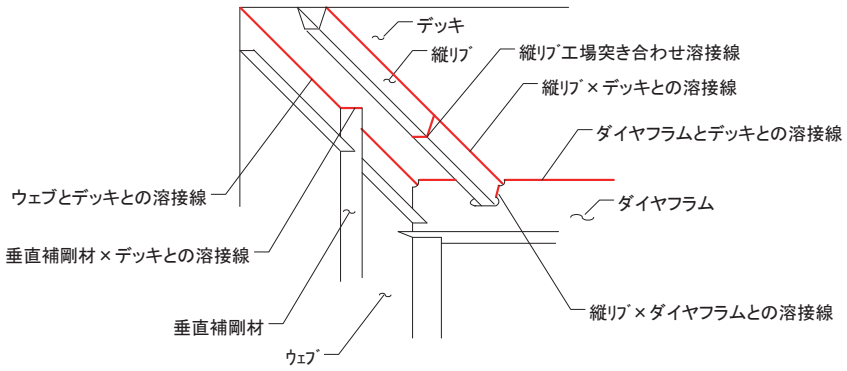


図-5.2-1　点検対象の溶接線の例

（２）簡易調査までに抽出された径間・部位の鋼床版範囲のうち、大型車の輪荷重通過位置に一致するか近傍にある縦リブおよび主げたウエブに関わる溶接線を優先的に実施し、き裂が確認された場合には順次周辺に調査対象範囲を拡大する。

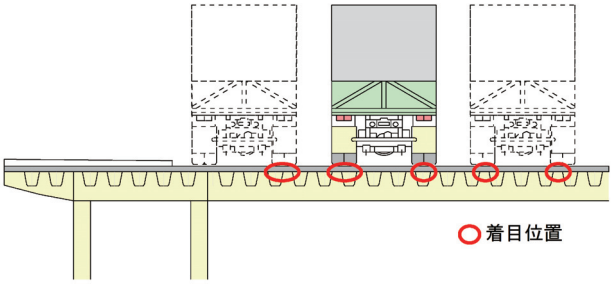
（１）

これまでの事例によると、疲労亀裂は縦リブとデッキプレートとの溶接線に発生しているため、点検は、まず縦リブとデッキプレートとの溶接線に対して実施するが、疲労亀裂が確認された場合はその他の溶接線に対しても点検を行い、さらに追跡調査も行う必要がある。

（２）

車線位置、主桁位置、横桁横リブ位置、縦リブ配置が記された平面図などを用意し、簡易

調査までに特定された優先度の高い鋼床版パネルの大型車の車輪が通行する位置の縦リブを特定する。



図－解 5.2-1　縦リブとデッキプレートの溶接部のおける疲労損傷の調査着目位置の例

5.3 詳細調査の方法

詳細調査は，デッキプレートに関わるき裂損傷の有無の確認を以下の方法より一部または全てを適宜選択して行う。
（１）鋼床版裏面からの目視調査（適宜舗装は除去）
（２）磁粉探傷法や超音波探傷法などの非破壊検査手法（適宜塗装は除去）
（３）舗装を除去しての鋼床版上面からの調査（目視、非破壊検査）
（４）その他の調査

（１）デッキプレート貫通き裂以外の鋼床版溶接部のき裂は、鋼床版の裏面で開口することが多く視認が可能である。ただし鋼床版の溶接部は外観性状が平滑でない場合も多く、塗膜厚さも均一でない。そのため著しい錆び汁の漏出や大きな開口がなければ塗膜割れの有無だけではき裂の有無を断定することは困難である。とくに塗膜割れがなくてもき裂が生じている場合もあるため周辺の状況などにも注意して、疑わしい場合には塗膜を除去して調査することが必要である。

（２）鋼床版の溶接部のき裂は、開口してもビード形状が平滑でない場合も多く大きく開口しない場合も多いため塗膜を除去しても、目視だけでは確実な検出は困難である。そのため疑わしい場合には磁粉探傷試験による確認を行うことが必要である。

詳細な方法については 6 章に示す。

また、デッキプレート貫通き裂は、鋼床版裏面に開口しないため目視や磁粉探傷法による検出は困難である。またデッキプレートとトラフリブの縦溶接部からデッキプレート表面に向かって進展するき裂がデッキプレート上面に到達・貫通して開口するまでは、仮に舗装を除去して鋼床版表面を暴露しても目視や磁粉探傷試験では検知することができない。

しかし、このような場合にもある程度デッキプレート内部を進展したき裂を適切な方法で超音波探傷試験を行うことで検知することができる場合があるため、発生が疑われる部位では鋼床版裏面から超音波探傷試験法によって検知を試みるのがよい。

詳細な方法については 6 章に示す。

（３）鋼床版のデッキプレートとトラフリブの縦溶接からデッキプレート表面に向かうき裂は進展すると最終的にデッキプレート上面に到達して貫通き裂となると考えられる。

デッキプレート表面に開口したき裂は、舗装を除去することで目視や磁粉探傷試験による確認ができるようになる。ただし舗装を一部撤去しての路上からの調査は交通に与える影響が極めて大きく、裏面からの調査などで十分に疑わしい部位を絞り込んだ後に行うのがよい。詳細な方法については６章に示す。

（４）デッキプレート内部を進展して上面側に開口するき裂を進展途中で検知することは困難であるが、例えば、貫通き裂を生じた鋼床版では路面からの浸入水や舗装材料がトラフリブ内に堆積や滞水することがある。このような場合にはトラフリブへの打音検査で振動特性などの応答が健全状態と異なってきたり、温度昇降の特性が健全部と異なり赤外線カメラで相違が検知できることもある。

このように詳細調査では最終的にき裂の有無や進展の状況をできるだけ正確に把握する目的から状況に応じて、磁粉探傷試験や超音波探傷試験方法以外の検知できる可能性の高い手法も併用するのがよい。

主な検査手法で対象となる亀裂と適用条件について表-解 3.2 に示す。

表-解 5.3-1　検査手法の対象亀裂と適用条件

検査手法		対象亀裂				適用条件		
		デッキ貫通亀裂	ビード貫通	垂直補剛材とデッキの溶接	縦リブと横リブの交差部	足場	橋面検査時舗装除	検査時塗膜除去
舗装状況観察		**くもの巣(格子)状の舗装割れ**	Uリブウェブ上の舗装縦割れ	主桁ウェブ上のわだちと舗装割れ	―	不要	不要	不要
交通状況観察		**大型車荷重混入率・大型車高頻度通行車線**						
損傷部観察	目視	亀裂有無	**塗膜割れ有無**	**塗膜割れ有無**	**塗膜割れ有無**	必要(箱桁内部は桁高さによる)	必要	必要
	計測	位置・長さ	**ビード形状・長さ**	**ビード形状・長さ**	**長さ**			
PT,MT		**亀裂有無・長さ**	**亀裂有無・長さ**	**亀裂有無・長さ**	**亀裂有無・長さ**			
UT	クリーピング	**亀裂有無**	溶接溶込み深さ	―	―			
	直射	―	亀裂有無？	―	―			
	斜角	**亀裂深さ**	―	**亀裂深さ**	亀裂深さ			
	SH	**亀裂有無**	溶接溶込み深さ	―	―			
	TOFD	―	亀裂深さ？	―	―			
	アレイ	？	？	？	？			
渦流探傷		亀裂有無	―	―	―		不要	不要
打音		**リブ内滞水有無**	―	―	―			
赤外線		**リブ内滞水有無**	―	―	―	不要		
荷重車応力計測		**デッキ下面ひずみ**	**Uリブ側面ひずみ**	**溶接止端部応力集中**	**溶接止端部応力集中**	必要(箱桁内部は桁高さによる)	必要	必要
応力頻度計測		**応力頻度**	**応力頻度**	**応力頻度**	**応力頻度**			

：推奨される検査手法

5.4 目視調査

5.4.1 目視調査の手順

（1）目視調査は，塗膜われ，局部的な錆の発生、および溶接仕上げ状況について検査する。

（2）目視調査は，縦リブの溶接線全長およびその周辺の母材を範囲の標準として、以下の手順により実施する。ただし，この範囲を越えて疲労亀裂の発生が疑われる場合は、適宜その範囲を拡大する。

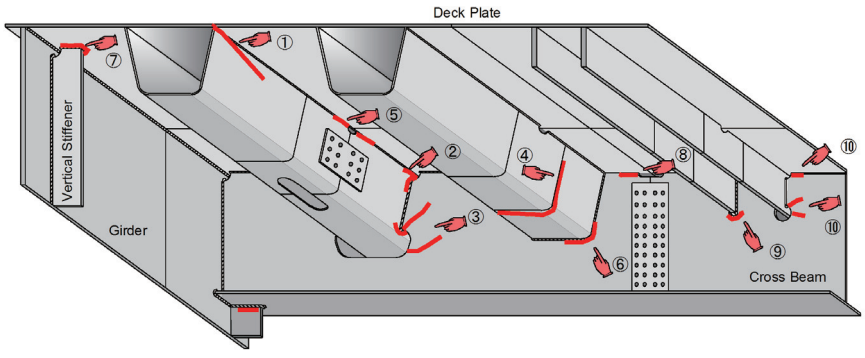
① 対象範囲への近接目視により塗膜割れの有無を調査する。
② 調査箇所・範囲が特定できるよう塗膜割れ等の変状の有無に関わらず写真等に記録する。
③ 塗膜われが認められた場合は，われの範囲（長さ）を計測する。
④ 油性ペン等により，われの位置がわかるようマーキングを行い、部位や測定長さなどが特定できるように写真等で記録する。
⑤ われの発生位置，長さ，溶接ビードとの位置関係、近傍でみられる局部的な錆びや塗膜の変状など調査箇所の状態の詳細をスケッチ等で記録する。

（1）溶接部などの疲労亀裂に関連する塗装の損傷としては、「塗膜のわれ」以外に「錆の発生」が考えられるので、これらを目視検査の検査項目とした。

（2）検査範囲は、大型車の車輪通行位置の縦リブ位置を全長調査することを原則とするが、車線数が多くある場合や調査期間が限られる場合には、上り車線（積荷が重いと思われる車線）の走行車線（大型車の多い車線）の車輪位置を選択して調査する。また、当該検査範囲周辺に疲労耐久性が著しく劣る継手があるなどき裂の発生が懸念される溶接部が認められる場合は、その溶接部周辺についても調査する。

5.4.2 目視調査の方法

詳細調査で行う目視調査では、図－5.4-1 に示す鋼床版の代表的な疲労損傷の発生箇所について、適切な方法でき裂の有無を直接視認して確認する。



図－5.4-1 代表的な鋼床版の疲労損傷

詳細調査では，膨大な鋼床版の溶接線から優先度の高いものから順次調査を進めることが効率的である。また大型車の輪荷重の載荷位置以外の場所についてもこれまで報告されている様々な鋼床版のき裂形態を理解して優先着目部位以外についても可能な範囲で広く

注意するのがよい。

１）縦リブとデッキプレートとの溶接線
【損傷①】縦リブとデッキプレートとの溶接線
　この部位で、溶接ルート部からデッキプレート内部を上面に向かって進展するき裂は下面からの目視調査では直接確認できないが、溶接ビードを破断させる方向に進展するき裂は，塗膜割れや錆の発生で発見できることが多い。
　なお塗膜割れのみでき裂を伴わない場合もあるため、疑わしい塗膜割れについては，スクレーパーなどにより塗膜を部分的に除去して確認する必要がある。このとき必要に応じて磁粉探傷試験や超音波探傷試験を行うことでより確実に判定ができる。

【損傷⑤】
　輪荷重直下または近傍にあたるスカラップ位置ではき裂を生じている場合がある。特にスカラップの開口が大きい場合は注意が必要である。

２）デッキプレートとダイヤフラムとの溶接線
【損傷⑧】横リブ現場継手部のスカラップ周辺
　損傷⑤と同様に，主に輪荷重直下にスカラップが位置する場合に発生のおそれがあるものである。特にスカラップ長が大きい場合については注意しなければならない。

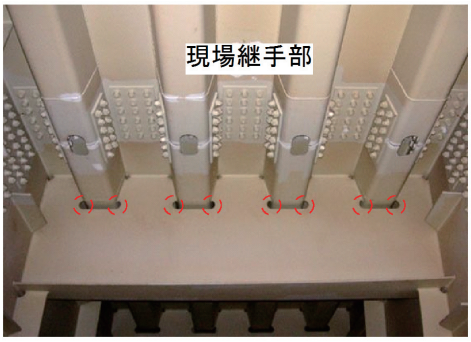
３）縦リブとダイヤフラムの溶接線
【損傷②】縦リブと横リブ交差部の上側スカラップの縦リブ側
　横リブの面内曲げの影響に加えて，輪荷重の移動による面外の曲げが作用する部位であり，輪荷重直下の縦リブと横リブ（または横桁）交差部を優先的に調査するのがよい。
　また，図－解 3．2 に示すように，ビード性状が平滑でなかったり、塗膜厚さ均一でないなどにより塗膜割れを生じていることも多いため，き裂の確認は慎重に行う必要がある。



写真解 5.4-1　塗膜割れの事例（非破壊検査の結果，疲労損傷なし）

【損傷③】縦リブと横リブ交差部の下側スリット周辺
　損傷②と同様に，輪荷重直下の縦リブと横リブ交差部に多くみられる。また，この種の疲労損傷のうち，縦リブ側の溶接止端部に発生する疲労き裂は，縦リブの現場高力ボルト

接合部に設けられる防錆用の密閉ダイヤフラムの拘束が大きな影響を与える可能性が指摘[7]されており，縦リブの現場高力ボルト接合部に隣接する交差部については，特に慎重に調査する必要がある。



写真解 5.4-2　交差部下側スリット部の着目部

【損傷⑥】縦リブと端横リブ（または端横桁）の溶接部

対象箇所が少ないため，調査対象となった橋梁の端横リブ（または端横桁）との溶接部の全数を目視調査することが望ましい。

５）縦リブ工場突き合わせ溶接線

【損傷④】縦リブ現場溶接継手部

主に輪荷重直下に位置する縦リブどうしの突合せ溶接に発生する。縦リブ支間が大きい場合は溶接部の応力も高くき裂発生の可能性が相対的に高くなるため，縦リブ支間が2,500㎜を超えるような長支間では特に注意が必要である。

６）垂直補剛材とデッキとの溶接線

【損傷⑦】主桁垂直補剛材上端部とデッキプレート下面との溶接部

主桁ウェブ位置と輪荷重位置が一致している場合に発生が見られる。このため簡易調査で特定した輪荷重走行位置と鋼床版裏面構造の位置関係を比較し，主げたウエブ位置と一致するか極近傍にある場合には特に注意して調査する必要がある。

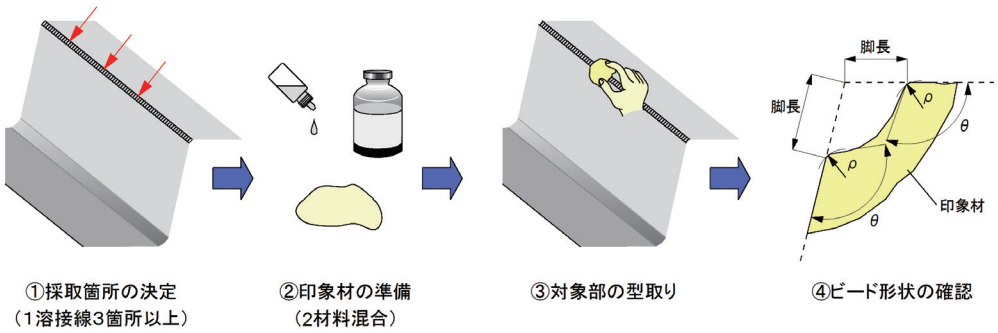
なお主桁ウェブ位置と輪荷重位置が一致すると橋軸方向に同じ条件の垂直補剛材があるため、一箇所でも発見されると橋梁全長にわたって同様のき裂が既に発生しているか、今後発生する可能性が高いといえる。

5.5 溶接形状の確認

溶接部のビード形状の確認を行うため，印象材などを用いて溶接部の型取りを行う。

溶接ビードの形状（脚長，ρ，θなど）は，溶接部の疲労耐久性と関係が深く，必要に応じて印象材（型取り材）などを用いて溶接部の型取りを行い，ビード形状の確認を行うのがよい。

印象材は，歯科医などが使用する主に２材料混合型のシリコン系やラバー系の型取り材料である。現場にて混合の上，可使時間内に対象部に押しつけて型を取る。型を取った印象材は持ち帰り，溶接ビードの形状確認を行う（図－解 5.5-1 参照）。



図解 5.5-1　印象材による溶接ビード形状の確認要領

5.6　トラフリブ内部の堆積物等の確認

閉断面縦リブ内部に土砂等の流入や滞水の有無を確認する。

縦リブ（トラフリブ）とデッキプレート溶接部のルート部からデッキプレートの板厚方向に進展する疲労損傷（デッキプレート貫通型き裂）が発生した場合，縦リブ内部に土砂や泥水，アスファルト成分の粘土などが流入している可能性が高い（図－解 3.5 参照）。したがって，縦リブ内部の堆積物の有無を調べることは，デッキプレート貫通型き裂の有無を調べるための有用な方法と言える。

内部状況の確認には、①打音検査、②超音波法、③赤外線カメラによる縦リブ表面温度計測などの方法が一般に有効である。探傷方法の詳細は 6 章による。



写真解 5.6-1　健全なトラフリブ内部（左）とデッキプレート貫通型き裂が発生したトラリブ内部（右）

5.7　板厚の調査

デッキプレート上面の腐食による減厚の有無を確認する。

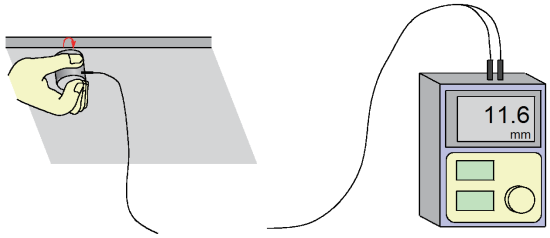
鋼床版の疲労損傷のうち，デッキプレート貫通型き裂は，デッキプレートの板厚が小さい場合により発生しやすいと考えられる。

そのためデッキプレート板厚が小さい鋼床版のみならず、床版上面への滞水などで腐食を生じ板厚が減少した部位のデッキプレートでは相対的にデッキプレート貫通型き裂が生じやすい条件となっている可能性がある。そのため詳細調査ではデッキプレートの板厚が腐食により減少していないかどうかの確認を行う。

板厚計測には，超音波板厚計を用いることができる。(図解 5.7-1 参照)。

板厚測定は，簡易調査で舗装の損傷がある部位など鋼床版の劣化が疑われる部位に対して縦リブ間の複数の断面で行うのがよい。

板厚測定は，超音波板厚計の他，超音波垂直探傷法による方法もある。



図解 5.7-1　超音波板厚計による板厚測定

5.8　非破壊検査手法による調査

5.8.1　磁粉探傷法による調査

（1）目視調査によって，疲労損傷の発生と疑われる塗膜割れを確認した場合は，磁粉探傷試験を行って，疲労損傷の有無を確認することを原則とする。
（2）磁粉探傷法による調査は、6.2 による。

桁内調査の目視調査において，疲労損傷の発生と疑われる塗膜割れを確認した場合は，当該箇所の塗膜を除去し，磁粉探傷試験を行うことを原則とする。一般に桁内や鋼床版路下などの暗所での作業となるため，紫外線探傷灯を使用して蛍光発光させる湿式蛍光磁粉探傷とするのが望ましい。

磁粉探傷試験によってき裂などの疲労損傷が確認された場合は，損傷部位を蛍光発光させた写真を撮影するとともに，き裂長の確認や，試験位置，部位，などを記録するものとする。

5.8.2　超音波探傷法による調査

（1）縦リブ溶接部のルート部からデッキプレート板厚方向に進展する疲労損傷（デッキプレート貫通き裂）の有無を確認するため，超音波探傷試験を実施することを原則とする。
（2）超音波探傷法による調査は、6.3 による。

詳細調査では，縦リブ溶接部のルート部におけるデッキプレート貫通型のき裂の有無を確認するため，超音波探傷試験を行うことを原則とする。探傷方法については，６章に示される方法に従うものとする。

６章.　非破壊検査の実施方法

6.1　非破壊検査の対象き裂と適用条件(適用部位(位置))

鋼床版の損傷調査に用いられる代表的な非破壊検査手法を以下に示す。

溶接各部およびその周辺の表面および表面に近い部位に発生しているき裂の検出および長さ測定の調査には磁粉探傷試験を適用する。磁粉探傷試験による調査は 6.2 によるものとし、湿式蛍光磁粉探傷試験を適用するのが望ましい。

溶接の内部に発生または進展しているき裂の検出および長さと深さの測定の調査には超音波探傷試験を適用する。超音波探傷試験による調査は 6.3 による。

ここでは、現時点で鋼床版の疲労き裂を対象に行われた実績などから一般的な対応について示した。

湿式蛍光磁粉探傷試験は、鋼材などの磁性体の表面きずを磁気エネルギを利用して磁気吸引作用によりきずに磁粉が吸着する原理を利用してきずを検出するものである。磁気エネルギは、鋼材などの磁性体の表面および表面に近い部位のみ磁化させることができるため、表面および表面に近い部位に発生しているき裂の検出および長さ測定の調査に適している。

超音波探傷試験は、送信した超音波がきずにより反射し戻って来る原理を利用してきずを検出するものである。超音波は、比較的減衰せず鋼材中を伝搬することができ、きずで反射する特徴を有しているため、反射してくる超音波の位置や強さを調査することにより、内部に発生または進展しているき裂の検出および長さと深さの測定の調査に適している。

なお、非破壊検査手法についてはここに挙げた以外の原理等によるものも研究開発が各方面で行われつつあり、超音波探傷試験についても本要領で示す以外の様々な仕様の機器や手法が研究されている。そのため非破壊検査手法の採用にあたっては最新の技術動向にも注意をはらい、探傷しようとする条件と目的に応じて本要領に示す以外の方法についても検討を行うのがよい。

例えば、独立行政法人土木研究所では、デッキプレート貫通き裂を鋼床版裏面から検出するための超音波探傷試験方法について、斜角法（90°縦波斜角探触子による方法（「クリーピング波法」)、70°斜角探触子による方法、横波臨界角探触子による方法)、表面 SH 波法）について比較検討を行い、検出性能に差が見られるものの、いずれの方式によっても適切に実施することである程度デッキプレートを貫通する方向に進展するき裂の発生を補足できることが明らかにされている。

本要領(案）では、本共同研究で実地に評価を実施した斜角法（90°縦波斜角探触子による方法と 70°斜角探触子を組合せたによる方法）について示す。

6.2 磁粉探傷試験

6.2.1　一般

鋼床版のデッキプレートとＵリブの溶接部においてデッキプレートの板厚方向に進展するき裂（デッキプレート貫通型き裂）の検出のための超音波探傷試験の方法や次によることを標準とする。
(1)原則としてＪＩＳに定める関連規格を適用する。
(2)従事検査技術者は，ＪＩＳまたは日本非破壊検査協会が定める適当な資格を有するものとする。
(3)使用する機器は，調査箇所の構造，探傷条件などを考慮し，適切な仕様のものを選定する。このとき感度調整用試験片は，材質および塗装を，検査対象と同一の仕様としたものを用いるのを原則とする。

目視調査では発見が不可能な，デッキプレート貫通型きれつの検出は超音波探傷試験による非破壊検査手法によることを基本とした。

ただし、デッキプレート貫通型き裂の検出性については，未解明な部分があるなど現時点では技術的に必ずしも十分には確立していないが、ある程度検出する方法が明らかにされている。また探傷条件に対する現場での種々の制約条件（探傷姿勢、ビード性状、ルート部性状、振動など）も探傷精度に影響する。そのため個々に示す方法を標準としつつも各探傷条件に応じて適切な調査となるよう慎重に実施する必要がある。

(1)超音波探傷試験の実施にあたっては，以下のＪＩＳに定められる規格および標準を適用するものとする。

1) JIZ Z 2344-1993 「金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法通則」
2) JIZ Z 2345-1994 「超音波探傷試験用標準試験片」

(2)超音波探傷試験を行おうとする者は，以下の技量資格を有するものとする。

3) JIS Z 2305「非破壊試験－技術者の資格及び認証」による超音波探傷試験レベル３，もしくは，日本非破壊検査協会 NDIS 0601 による超音波検査３種以上の技量資格を有する者。
4) 上記の有資格者の指揮下にあるレベル２もしくは２種の技量資格を有する者。

(3)図解 6.3-1 に示す方法（90 度縦波斜角探触子及び 70 度斜角探触子）を用いて縦リブとデッキプレート溶接部におけるデッキプレート板厚方向のき裂深さを測定する場合，検査機材には，以下の製品またはこれと同等以上の性能を有する機材を使用する。

なお、図解 6.3-1 に示すとおり、90 度縦波斜角探触子による方法では、デッキプレート母材方向へ進展が認められるある深さ以上のき裂の有無だけを検出するには比較的容易で合理的な方法であるが、原理上きずの深さの判断は困難である。 また本要領（案）では示していないが表面 SH 波法も初期段階のき裂の検出性には優れることからデッキプレート内部に向かう初期段階のき裂の有無の判断には併用すると調査精度の向上が期待できる。

6.2.2　磁粉探傷試験の手順

磁粉探傷試験は，以下の手順により実施することを標準とする。
(1)検査対象箇所において，検査範囲＋約 20 ㎜程度の領域の塗膜をすべて除去し，溶接形状や溶接仕上げ状況を写真撮影する。
(2)塗膜を除去した範囲に対し，磁粉探傷試験を実施し，磁粉指示模様の有無を検査する。
(3)磁粉指示模様が認められた場合は，その状況を写真撮影する。
(4)写真撮影は，調査位置，寸法等を明記した上で行うとともに、き裂指示模様の有無が確認できる探傷状況を示すものと通常の外観状況が正確に対比できるよう両方の写真を撮影する。
(5)磁粉指示模様の位置，長さ，方向，形態などを調査し，記録する。
(6)磁粉指示模様が不明確で，疲労き裂と認められない場合には，溶接部をグラインダーで削り，磁粉指示模様を確認するものとする。
(7)き裂ではなく，表面欠陥と思われる磁粉指示模様についても同様に写真撮影を行い，その寸法，位置，形態などを記録する。
(8)検査面の養生後の状況を写真撮影する。

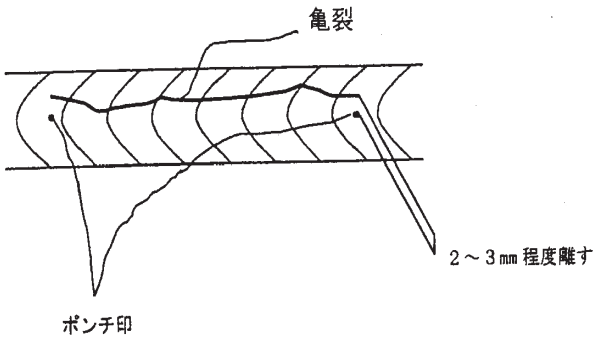
(1)磁粉探傷試験においては，き裂先端が確認出来る範囲まで塗膜を除去し，き裂の全体の状態が正確に把握できるようにしなければならない。

このとき、検査箇所表面に付着している汚れや油ならびに除去した塗膜片などは確実に除去するなど，適切な方法による前処理を行わなければならない。なお、塗膜の除去にあたっては開口部を除去した塗膜片でふさぐことのないように注意する必要がある。

塗膜の除去による調査範囲の設定において溶接ビード幅等の範囲が不明確な場合には，少なくとも溶接部の板厚幅以上の範囲を含む領域を検査範囲に設定するなど、き裂が発生しやすい領域を確実に含むように注意が必要である。

(4)磁粉指示模様の接写については，き裂指示模様のサイズが対比できるようにスケールを設置して撮影するのがよい。蛍光磁粉模様を撮影する場合，適切な光学フィルターを用いて適切な色調の磁粉模様が得られるようにして撮影する。撮影アングルは，塗膜剥離部を含む接写１枚とする。ただし，き裂の発生部位が複数ある場合など，１枚では撮影出来ない場合は必要枚数撮影しなければならない。

磁粉探傷試験によってき裂が認められた場合は，以後のき裂進展調査のためき裂両端にポンチにて印を打刻するなどで先端位置が次回の調査時にわかるようにするとともに、それらが写し込まれた写真を撮影する。なお，ポンチによる打刻を行う場合には，き裂直上から若干離れた位置でかつき裂周辺の部材・部位に悪影響のないように配慮しなければならない（図解 6.2-1 参照)。



図解 6.2-1　き裂先端の明示

6.2.3　磁粉探傷試験の結果の記録

磁粉探傷試験の結果は，以下の項目について記入および写真を添付する。

①検査の範囲

②損傷概要

③磁粉探傷試験結果（検査部近影・指示模様等）

6.3　超音波探傷試験

6.3.1 一般

鋼床版のデッキプレートとＵリブの溶接部においてデッキプレートの板厚方向に進展するき裂（デッキプレート貫通型き裂）の検出のための超音波探傷試験の方法や次によることを標準とする。
(1)原則としてＪＩＳに定める関連規格を適用する。
(2)従事検査技術者は，ＪＩＳまたは日本非破壊検査協会が定める適当な資格を有するものとする。
(3)使用する機器は，調査箇所の構造，探傷条件などを考慮し，適切な仕様のものを選定する。このとき感度調整用試験片は，材質および塗装を，検査対象と同一の仕様としたものを用いるのを原則とする。

目視調査では発見が不可能な，デッキプレート貫通型クラックの検出は超音波探傷試験による非破壊検査手法によることを基本とした。

ただし、デッキプレート貫通型き裂の検出性については，未解明な部分があるなど現時点では技術的に必ずしも十分には確立していないが、ある程度検出する方法が明らかにされている。また探傷条件に対する現場での種々の制約条件（探傷姿勢、ビード性状、ルート部性状、振動など）も探傷精度に影響する。そのため個々に示す方法を標準としつつも各探傷条件に応じて適切な調査となるよう慎重に実施する必要がある。

(1)超音波探傷試験の実施にあたっては，以下のＪＩＳに定められる規格および標準を適用するものとする。

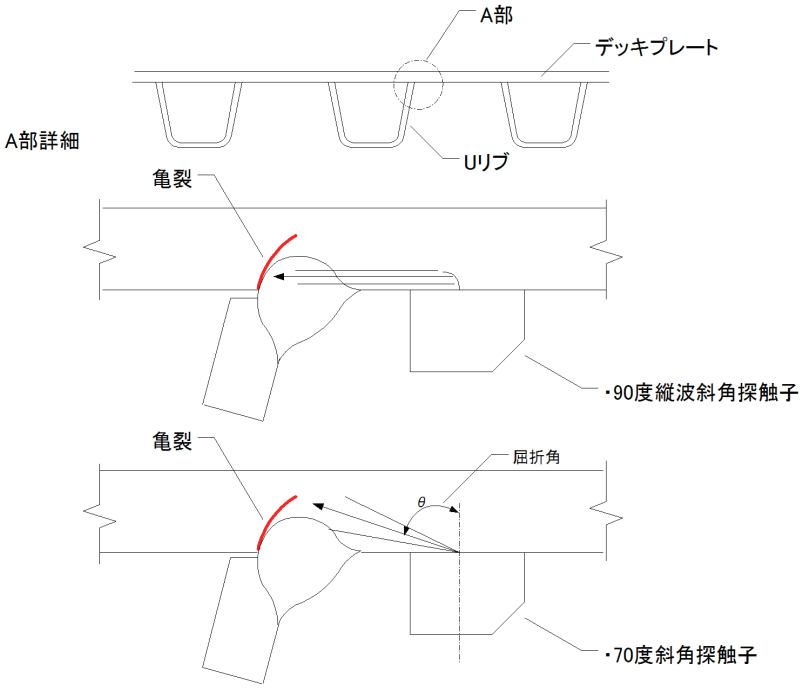
1) JIZ Z 2344-1993 「金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法通則」
2) JIZ Z 2345-1994 「超音波探傷試験用標準試験片」

(2)超音波探傷試験を行おうとする者は，以下の技量資格を有するものとする。

3) JIS Z 2305「非破壊試験－技術者の資格及び認証」による超音波探傷試験レベル３，もしくは，日本非破壊検査協会 NDIS 0601 による超音波検査３種以上の技量資格を有する者。
4) 上記の有資格者の指揮下にあるレベル２もしくは２種の技量資格を有する者。

(3)図解 6.3-1 に示す方法（90 度縦波斜角探触子及び 70 度斜角探触子）を用いて縦リブとデッキプレート溶接部におけるデッキプレート板厚方向のき裂深さを測定する場合，検査機材には，以下の製品またはこれと同等以上の性能を有する機材を使用する。

なお、図解 6.3-1 に示すとおり、90 度縦波斜角探触子による方法では、デッキプレート母材方向へ進展が認められるある深さ以上のき裂の有無だけを検出するには比較的容易で合理的な方法であるが、原理上きずの深さの判断は困難である。 また本要領（案）では示していないが表面 SH 波法も初期段階のき裂の検出性には優れることからデッキプレート内部に向かう初期段階のき裂の有無の判断には併用すると調査精度の向上が期待できる。



図解 6.3-1　き裂深さ測定要領

5）超音波探傷器

JIZ Z 3060-2002 附属書１(規定)「超音波探傷装置の機能及び性能」　に示す性能を満足するもので，90 度縦波斜角探傷及び 70 度斜角探傷に適した超音波探傷器を選定する。超音波探傷器は，Ａスコープ波形を記憶することができる形式のものが望ましい。

5）探触子

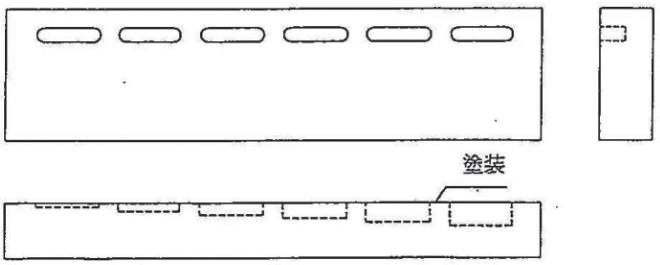
・90 度縦波斜角探触子　　；　５Ｃ１０×５ＬＡＤ９０（二振動子形）

・70 度斜角探触子　　；　５Ｃ１０×１０Ａ７０（接近限界距離：８㎜以下）

90 度縦波斜角探触子は，不感帯が短くなるように二振動子形の探触子を用いるものとする。また，70 度斜角探触子によってエコー高さを測定する場合，超音波探触子の接近限界距離が大きいほどき裂深さを過小評価することになるため，70 度斜角探触子の接近限界距離は８㎜以下とする。

6）接触媒質ＣＭＣペーストもしくはグリセリンペースト

また，基準感度の調整には，以下に示す深さ（0.5/1.0/1.5/2.0/4.0/6.0㎜）が異なるスリットを加工した対比試験片を使用する。試験片には，試験対象の鋼床版と同一の材質および塗装仕様を施したものを用いることを原則とする。



- 材質：試験対象橋梁の材質に準じる。
- 塗装：試験対象橋梁の塗装仕様，塗膜厚に準じる。

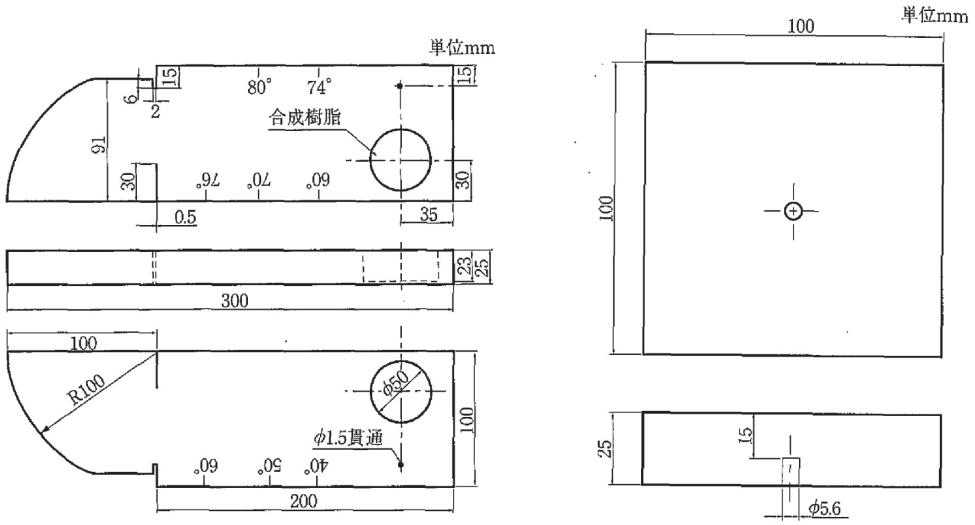
図解　6.3-2　感度調整用試験片

6.3.2　超音波探傷試験の手順と方法

超音波探傷試験は，以下の手順および方法により実施することを標準とする。

(1)調査対象箇所において，調査範囲＋約 20 ㎜程度の領域の塗膜をすべて除去し，溶接形状や溶接仕上げ状況を写真撮影する。
(2)塗膜を除去した範囲に対し，超音波探傷試験を実施し，き裂の有無や位置について評価する。
(3)探傷に先立って、機器の調整を行う。
1)時間軸の調整

90 度縦波斜角探触子は，ＳＴＢ－Ｎ１（もしくはＳＴＢ－Ａ１）標準試験片 (25㎜板厚)，70 度斜角探触子はＳＴＢ－Ａ３（もしくはＳＴＢ－Ａ１）標準試験片を用いて，それぞれ時間軸を 50㎜ に調整する。



a）STB-N1試験片　　b）STB-A1 試験片

図 6.3-1　標準試験片

2）探傷感度の補正

検査範囲の代表的な箇所の塗装膜厚を測定する。塗膜厚さによって対比試験体で設定した基準感度との差異がある場合には，Ｖ透過法によって探傷感度を補正する。

(4)首振り走査，ジグザグ走査および横方向走査法で走査する。

(4)検査の対象とする疲労き裂は，トラフリブの隅肉溶接部のルート部から鋼床版のデッキプレートの板厚方向に進展する疲労き裂であるが，デッキプレートとトラフリブの溶接部を割る方向に進展するき裂やデッキプレート下面側の母材やトラフリブ母材に進展するき裂の発生も考えられる。したがって，超音波探傷試験に当たっては，きずの見落としのないようにき裂の位置と進展する方向性に留意して，首振り走査，ジグザグ走査および横方向走査を組み合わせて探触子を走査しなければならない。

なお、走査範囲は、90 度縦波斜角探触子の場合で探触子接近限界から後方へ 15㎜ の範囲を走査する

6.3.3　超音波探傷試験の結果の評価

超音波探傷試験の内部きずの評価は次によることを標準とする。(90 度縦波斜角探触子による場合)

(1) 検出レベル

エコー高さが 50%を越え，指示長さが 10㎜ 以上のものをき裂評価の対象とする。

(2) 感度調整

ビーム路程が 15㎜ の位置となる探触子位置において探傷感度を調整し，探傷時も同一条件においてエコー高さを測定する。

(3) 指示長さ

ビーム路程が 15㎜ となる探触子位置において探触子を左右走査し，50%を越えるエコー高さの探触子の移動距離を 1㎜ 単位で測定する。

(4)き裂深さの評価

デッキプレート下面からの探傷で検出したエコー高さに応じて，表 6.3-1 によりき裂深さを評価する。

表 6-3-1　き裂深さの評価基準(90 度縦波斜角探触子)

エコー高さ	き裂深さ
５０%未満	き裂なし
５０～８０%	２mm未満
８０%以上	２mm以上

(5)き裂位置の評価

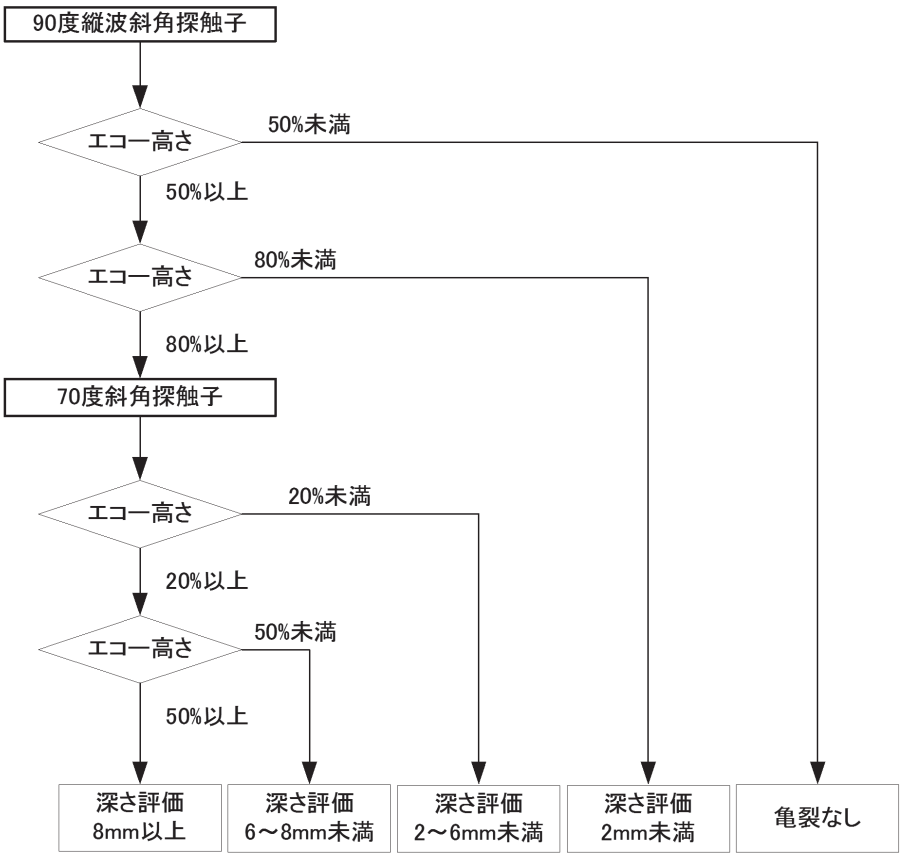
橋軸方向の位置は最寄りのブラケットまたは横リブからき裂端部までの距離で表す。幅員方向の位置は，溶接ビードの止端部から探触子前面までの距離，ビーム路程および溶接脚長より算出する。

(4)き裂の初期状態（２㎜ 未満）の検出には，表面ＳＨ波法も有効であり，90 度縦波斜角法で初期き裂が疑われる場合は，表面ＳＨ波法による確認を併用することが望ましい。

90 度縦波斜角探触子による方法では、原理上深いき裂の深さ計測には適さない面がある。そのため 90 度縦波斜角探触子による方法でエコー高さが 80%以上の場合は，70 度斜角探触子を用いて探傷し、き裂の有無に加えて深さの推定を行うのがよい。この場合検出されたエコー高さに応じて，概ね表解 6.3-1 に示す対応でき裂深さが評価できる。

表解 6.3-1　き裂深さの評価基準（70 度斜角探触子）

エコー高さ	き裂深さ
２０%未満	２mm以上～６mm未満
２０～５０%	６mm以上～８mm未満
５０%以上	８mm以上



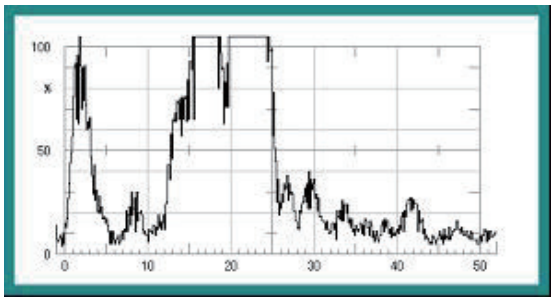
図解 6.3-2　超音波探傷試験によるき裂深さの評価手順

6.3.4　超音波探傷試験の結果の記録

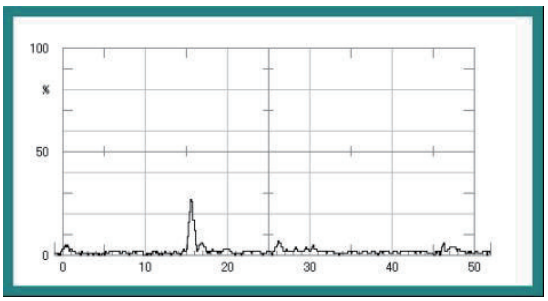
(1)調査範囲および探傷試験結果は、対比試験片での感度調整及びき裂を探傷した場合の代表的なＡスコープ波形として記録する。このとき代表的なＡスコープ波形は，適当な検査範囲毎にき裂深さの評価に対応して記録することが望ましい。
(2)超音波探傷試験の基準に従い，以下の項目について記録するのがよい。
①各検査の範囲
②超音波探傷試験結果（エコー高さ・き裂深さ評価等）
③代表的なＡスコープ波形

90 度縦波斜角探触子を用いた探傷では、検出の対象とするき裂と，ルート部のギャップやブローホールなどの溶接きずとの分離判別は難しいが，溶接きずと判別可能な場合は，その旨を記録しなければならない。

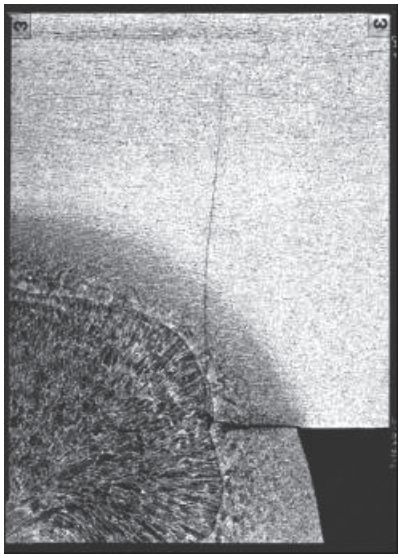
移動輪荷重載荷試験におけるトラフリブの隅肉溶接部のルート部から鋼床版のデッキプレートの板厚方向に進展する疲労き裂に対する超音波探傷試験による検出例を、図解 6.3-3～4 に示す。



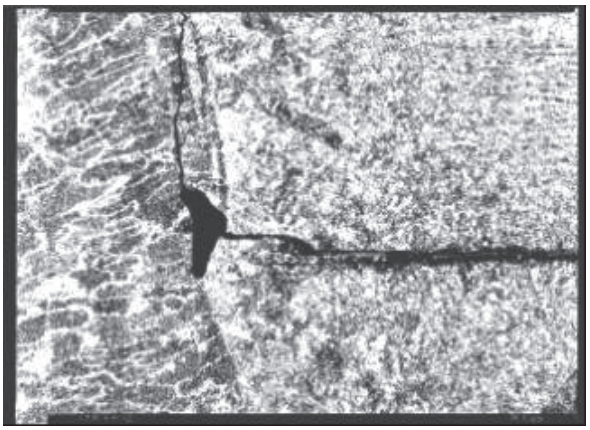
図解　6.3-3　90 度縦波斜角探傷画像例(R2R15)



図解　6.3-4　SH 表面波探傷画像例(R2R15)



写真解 6.3-1 ルート部疲労き裂例(顕微鏡写真;R2R15)



写真解 6.3-2 ルート部拡大(R2R15)

6.4 調査箇所の養生

(1)非破壊検査を行った調査箇所は、磁粉探傷試験終了後は，磁粉の除去を行い、超音波探傷試験終了後は，接触媒質の除去を行う。
(2)調査箇所は、今後の調査や補修補強等の計画に支障のないよう適切な方法で防錆処理を行うなど保護する。

磁粉探傷試験終了後は磁粉を除去する。また，超音波探傷試験終了後は接触媒質を除去する。検査終了後，検査面の防錆処理を行わなければならない。ただし，本点検後の処置に応じて当該部位を追跡して調査する必要がある場合もあるため、条件に応じて適切な手法で措置するようにしなければならない。

一般には，調査によってき裂等の異常が確認されず、当該部位について定期的な点検が行われるだけとなる場合には所定の仕様による再塗装を行うこととなる。一方、き裂などの異常が確認され，継続的な監視、さらなる調査、補修，補強の措置などが行われる場合には，短期間であれば粘着テープなどによる応急的な防錆処理で保護することもある。

6.5　その他の調査

縦リブ内部の滞水や土砂等の堆積の有無の調査のために、打音法、超音波法、赤外線法を用いる場合には、以下による。
（1）関連するＪＩＳ等の規格・標準がある場合にはこれによる。
（2）従事技術者に関して，ＪＩＳまたは日本非破壊検査協会が定める関連の技術者資格がある場合にはこれを有するものによる。
（3）調査箇所の構造や制約条件などを考慮し，適切な機器を選定する。

縦リブ内部の滞水や土砂等の堆積の有無の調査に用いることができる方法として、打音法、超音波法、赤外線法などがある。

各手法毎に適用可能な条件や調査にあたっての留意点が異なるため、適用しようとする条件と目的に応じて適切な手法を選定する必要がある。

なお非破壊検査手法の技術開発は進展著しく、各方面で新しい手法の開発や機器の能力向上が行われているため調査では所要の目的・条件に適合した技術であればここに示す代表的なものに限らず活用するのがよい。ただし結果の評価にあたっては適用技術の特性を正しく理解して適切な評価を得るようにしなければならない。

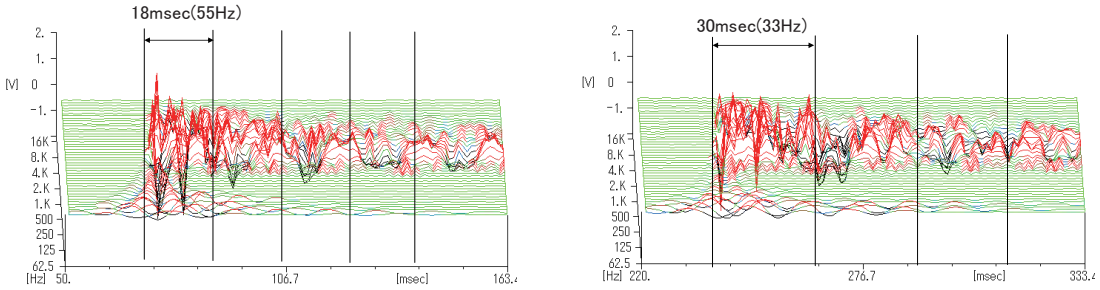
以下にこれまでに実績のある代表的な方法の概要を示す。

1）打音法

打音法は、縦リブの下フランジをケレンハンマー等により叩いたときの反響音をセンサーで検知し，アンプによって変換したものをパソコンにデータ収録し，解析するものである（図ー解 5.3 参照)。

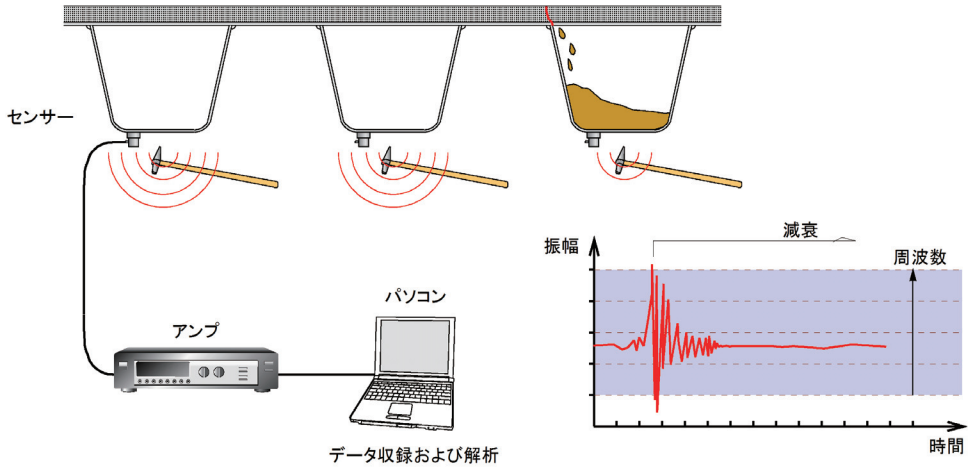
変状を絶対評価することは一般に困難であるものの、同一断面内の複数の縦リブを対象に調査を行い、明らかに健全であることが予め分かっているものとの対比によるなど、同条件下で取得されるデータ（反響音）の相対比較により判定することが可能な場合がある。例えば図解 6.7-1 は、同じ形式のリブで滞水がある場合とない場合の打音時の反響音をウエーブレット解析した結果の例である。滞水のある場合には、ない場合と比較して波形のピーク高さが小さくなり減衰も大きくなる傾向がみられる。このように減衰残響が多い（減衰が小さい）場合や周波数がより高いものは健全である可能性が高く、健全部と思われるデータに比べて，残響が小さい（減衰が大きい）場合や周波数がより低い場合には縦リブ内部に滞水や土砂等の堆積の可能性がある。なお、縦リブが腐食によって著しく減肉している場合にも周波数特性が変化する場合があるので注意が必要である。

なお、この方法は，比較的容易に実施が可能な反面，一定の状態でハンマリングするのが困難なこと，定量的な判定ができないことなどが課題である。

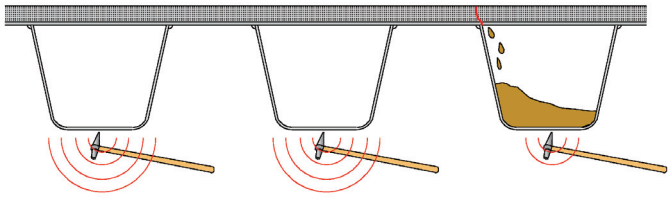


(a) 滞水のないリブの打音結果　　(b)滞水のあるリブの打音結果

図解 6.7-1　打音反響音のウエーブレット解析結果の例



図解 6.7-2　打音検査による音波解析方法



図解 6.7-3　簡易な打音検査方法

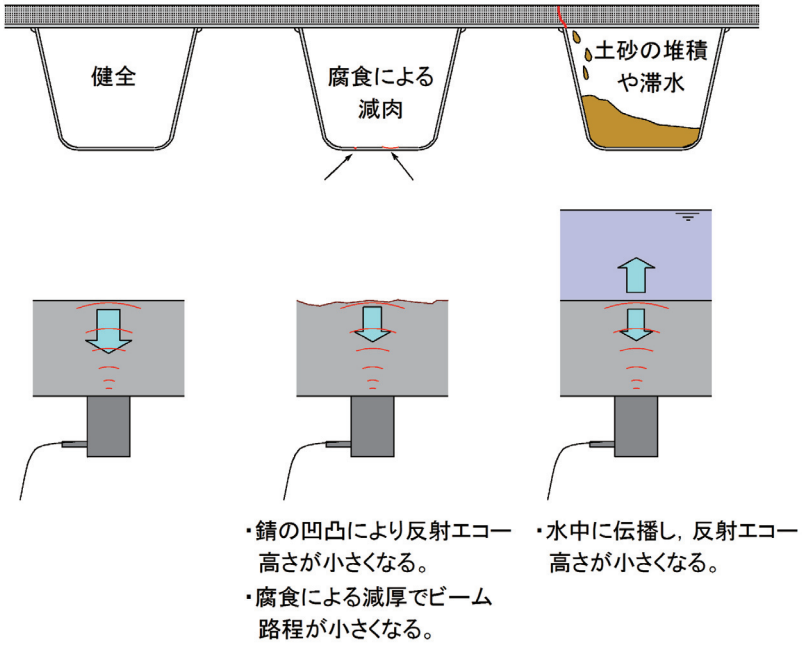
2)超音波法

超音波法は、縦リブ底面において垂直探傷試験を行い，底面エコーの高さや波形の違いによって縦リブ内面の状況を推定するものである。縦リブ内面に土砂や泥水が存在する場合，反射エコーが減衰しエコー高さが変化することを利用する。また，縦リブ底面に錆が発生している場合や土砂や泥水が堆積している場合は，次のような変化により縦リブ内部の状況がある程度推定できると考えられる（図－解 3.4.7 参照)。

腐　食：エコーの反射時に散乱が大きくなり，反射エコー高さが小さくなる。減肉がある場合は，エコーのビーム路程が小さくなる。

堆積物や泥水：反射エコー高さが小さくなる。

本法は，容易に実施が可能な反面，測定が点測定であること，測定方法の確立（例えばエコー高さの閾値の設定など）が十分でないことが挙げられる。



図解 6.3.4　超音波法による縦リブ内部状況の推定方法

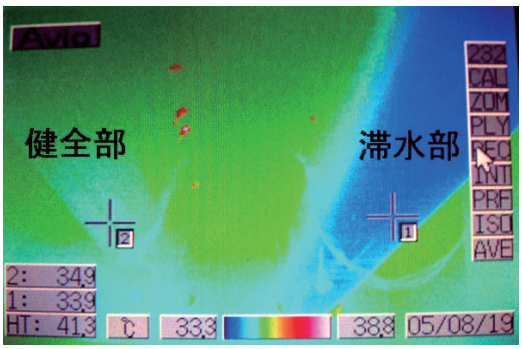
3)遠赤外線法

遠赤外線カメラ（サーモトレーサ）により，縦リブの表面温度を調査するもので，健全部と損傷部と思われる縦リブ相互の表面温度を比較するものである（図－解 4（1）.4～図－解 4.5 参照)。縦リブ内部に土砂等の堆積物がある場合，比熱の違いによって縦リブの温度変化に違いが生じることを利用する。そのため，外気温の変化が大きい場合に有効な方法である。

この方法は，比較的容易に実施が可能である上、鋼床版裏面が撮影できる場所であれば、箱桁内でなくても足場をかけることなく調査することが可能である。しかしながら、デッキプレートから雨水や土砂などの体積物が無い場合には、デッキプレート貫通き裂が生じていても、把握ができないことを念頭に調査すべきである。



写真解 6.7-1　遠赤外線カメラ



写真解 6.7-2　縦リブ表面温度の違い

・参考資料
非破壊検査結果報告様式の例

磁 粉 探 傷 概 要 報 告 書（磁粉様式－1）

平成　　年　月　　日 報告

構造種別							
点検名		点検種別		路線名		点検箇所	
点検請負者		現場点検作業責任者		点検員		点検日（天気）	

（損傷概要図）

No.	橋脚番号	方向	形式	部位	位置	損傷概要	判定	写真	月日	No.	橋脚番号	方向	形式	部位	位置	損傷概要	判定	写真	月日
1										11									
2										12									
3										13									
4										14									
5										15									
6										16									
7										17									
8										18									
9										19									
10										20									

磁 粉 探 傷 詳 細 報 告 書 （磁粉様式－2）

位置	

損傷位置図	損傷詳細図

内　容	

位置	

損傷位置図	損傷詳細図

磁 粉 探 傷 検 査 結 果 一 覧 表（磁粉様式－3）

検　査　箇　所	きず種別		大きさ（㎜）	結果	補修方法	補修後結　果	検査技術者
	欠陥	きず					

＊ 欠陥記号　　ＣＲ：割れ
＊ きず記号　　ＳＩ：スラグ巻込み、　ＢＨ：ブローホール、　Ｐ：ピット
＊ 大きさの単位　　Ｌ：長さ、　φ：径

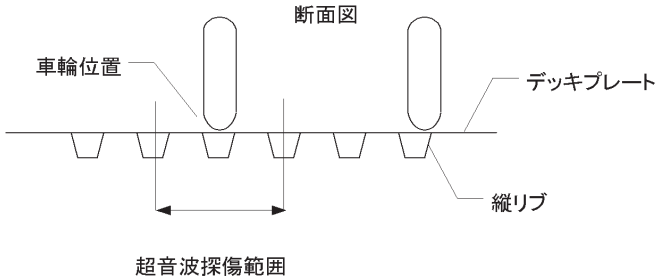
超 音 波 探 傷 概 要 報 告 書 （UT様式－1）

平成　　年　　月　　日 報告

構造種別							
点検名		点検種別		路線名		点検箇所	
点検請負者		現場点検作業責任者		点検員		点検日（天気）	

（損傷概要図）





超 音 波 損 傷 概 要 報 告 書 （UT様式－2）

平成　　年　　月　　日 報告

構造種別																			
点検名				点検種別			路線名			点検箇所									
点検請負者				現場点検作業責任者			点検員			点検日（天気）									
亀裂番号	縦リブ記号	横リブ記号	亀裂位置（横リブ～）（mm）	亀裂長さ（mm）	すみ肉脚長（mm）	90度縦波斜角			SH表面波			70度斜角			亀裂深さ評価				備考
						エコー高さ	Y距離（mm）	W距離（mm）	エコー高さ	Y距離（mm）	W距離（mm）	エコー高さ	Y距離（mm）	W距離（mm）	2mm未満	2mm以上6mm未満	6mm以上8mm未満	8mm以上	
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							
						80%未満 80%以上			50%未満 50%以上			20%以上 50%以上							

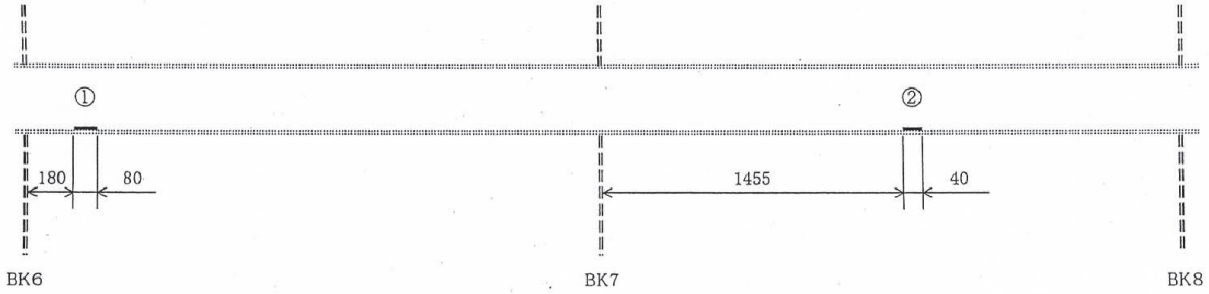
超 音 波 損 傷 詳 細 報 告 書 （UT様式－3）

平成　　年　月　　日 報告

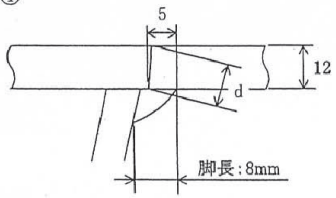
構造種別							
点検名		点検種別		路線名		点検箇所	
点検請負者		現場点検作業責任者		点検員		点検日(天気)	

亀 裂 位 置 詳 細 図 （記載例）

単位：mm

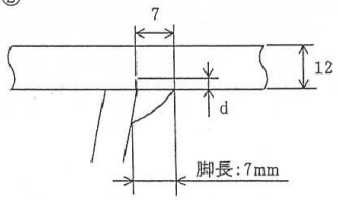


①



深さ(d)：貫通

②

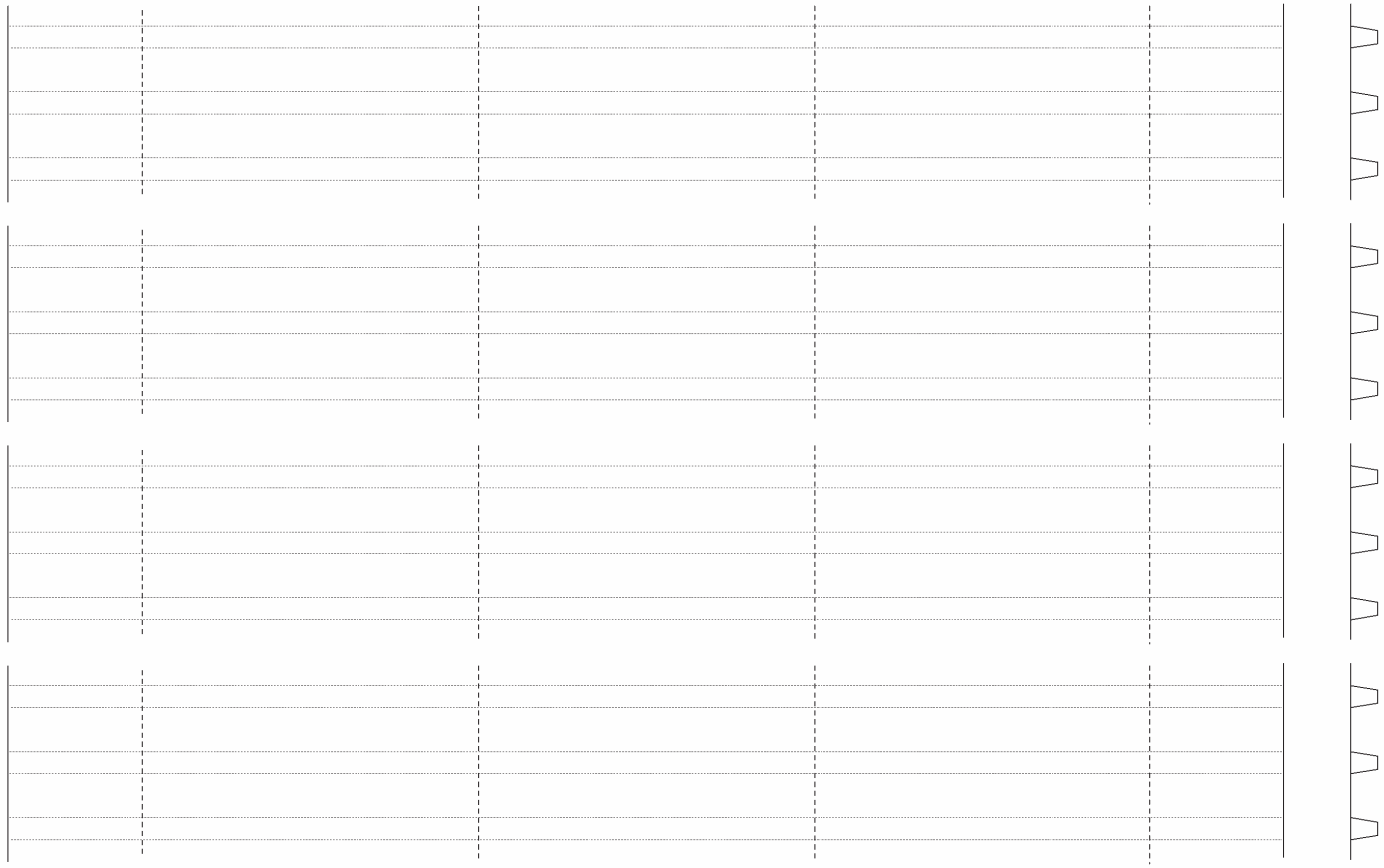


深さ(d)：2mm以上6mm未満

超 音 波 損 傷 概 要 報 告 書　（UT様式－4）：記録用

平成　　年　月　　日 報告

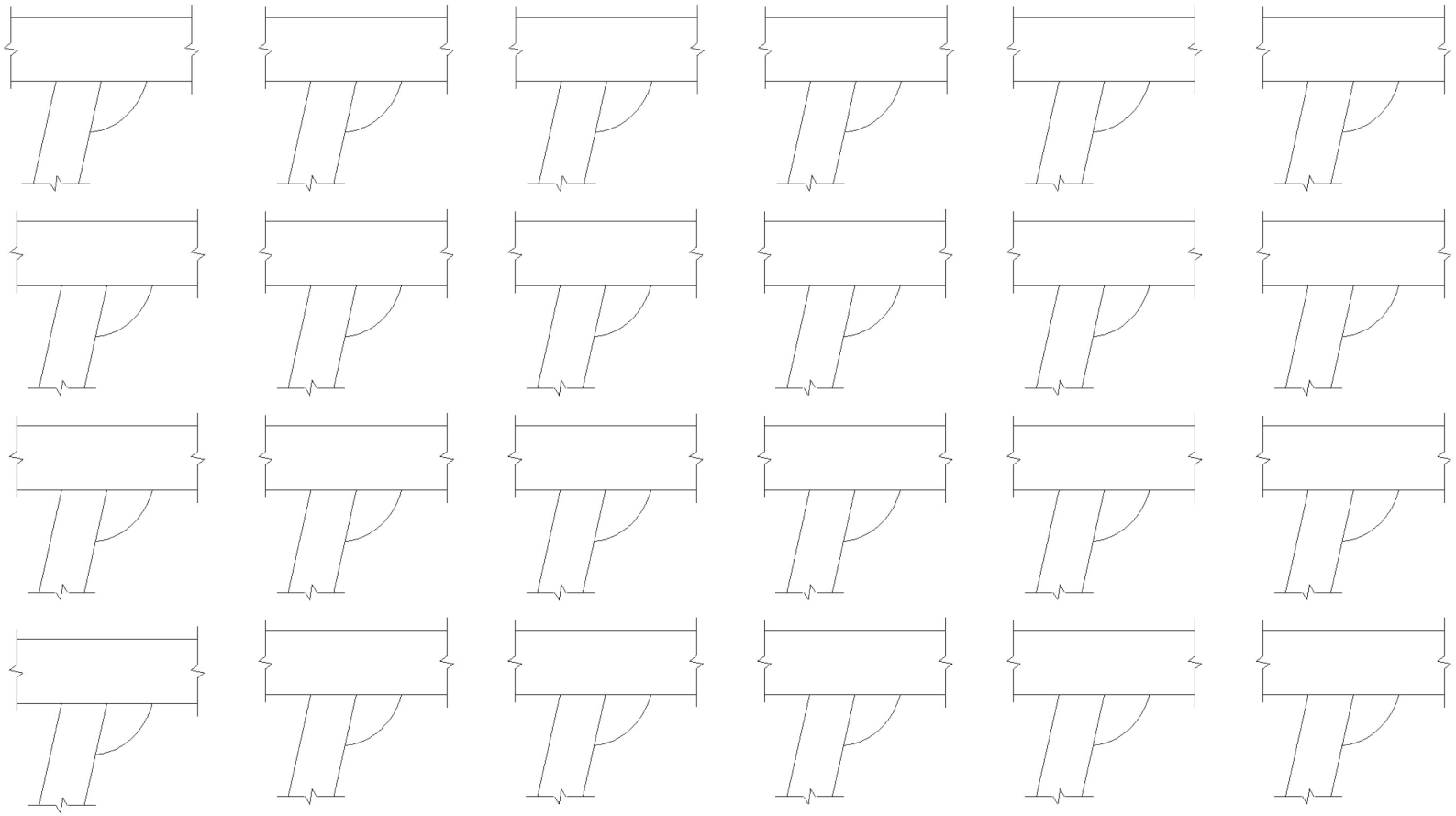
構造種別							
点検名		点検種別		路線名		点検箇所	
点検請負者		現場点検作業責任者		点検員		点検日（天気）	



超 音 波 損 傷 概 要 報 告 書 （UT様式－5）：記録用

平成　　年　　月　　日 報告

構造種別							
点検名		点検種別		路線名		点検箇所	
点検請負者		現場点検作業責任者		点検員		点検日（天気）	



付属資料

鋼床版舗装の損傷事例集



目次

１．　はじめに ----------付-1

２．　損傷の種類 ----------付-2

３．　鋼床版舗装の損傷事例

3.1　鋼床版構造と関係の深い形態 ----------付-3

3.2　舗装材料の劣化等によるもの ----------付-17

４．　鋼床版舗装の損傷事例の分析 ----------付-25

1. はじめに

本報告書の４章で示したように，本共同研究では，鋼床版の疲労に特化した調査点検手法の立案に向けた検討を行うことを目的に，全国の鋼床版橋梁を対象に延べ 50 橋の現地調査を行った。これらは，本共同研究で提示した方法によってスクリーニングされた鋼床版橋梁であり，供用年数が 20～30 年程度経過し，重交通路線に位置するなど主に疲労損傷の発生が予想されるものであった。実際，桁内調査によって，鋼床版の疲労損傷を確認した橋梁も数橋あった。この現地調査では，鋼床版の疲労損傷に関する調査に加え，主に簡易調査（Step-2）の段階で舗装の現況調査も実施した。その中で，鋼床版舗装の特徴的な損傷事例を確認しており，その幾つかについては，本報告書の３章を中心に掲載している。

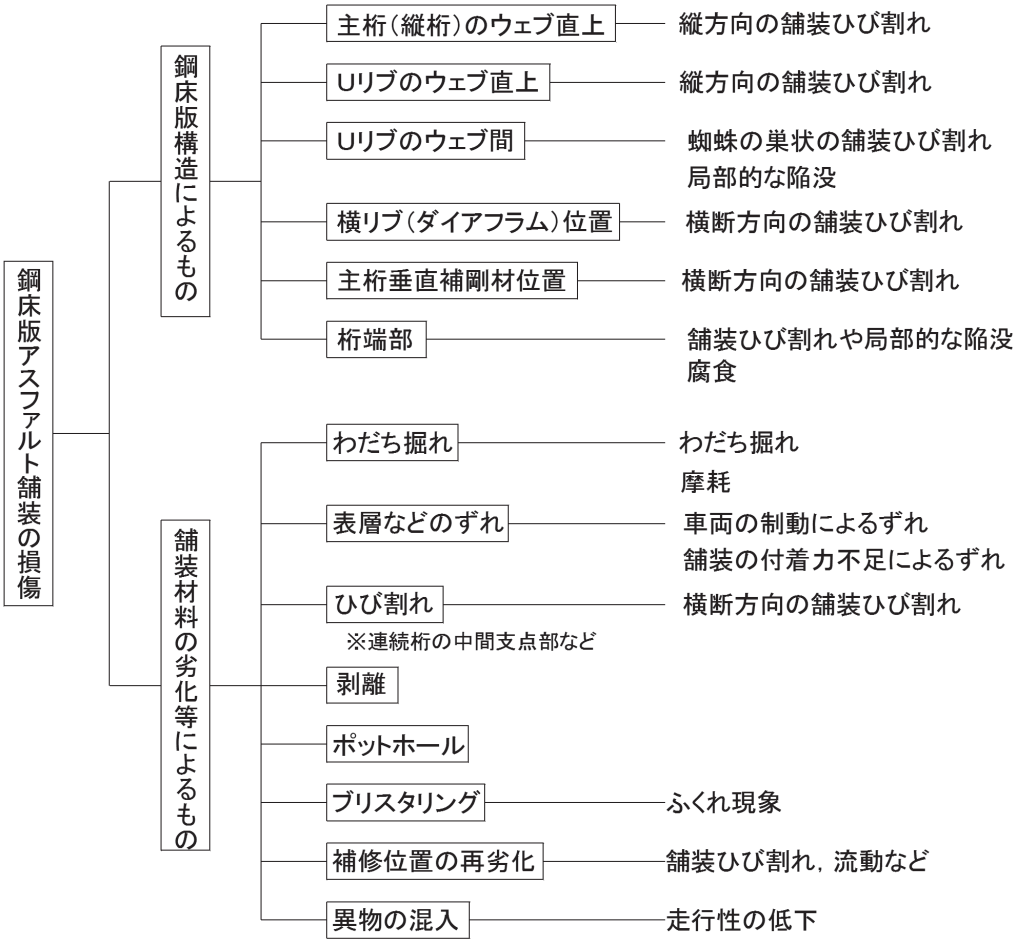
鋼床版舗装の損傷に関する調査事例としては，古くは旧建設省・土木研究所による現況調査 [1.1)-1.4)]があり，最近の事例としては，阪神高速道路による調査事例 [1.5)]が挙げられる。これらの調査事例は，主にひび割れや流動，わだち掘れといった鋼床版舗装の損傷実態を調査している。この付属資料では，これらの文献と同様に，現地調査によって確認された舗装の損傷事例の写真集としてまとめるとともに，その数量や損傷原因について考察を行ったものである。

参考文献

1.1) 多田安夫，大橋昭光：橋面舗装の実態調査報告，土木技術資料，Vol.2，No.7，1960.7
1.2) 松野三朗：鋼床版舗装の実態調査（第３回），土木技術資料，Vol.11，No.3，1969.3
1.3) 南雲貞夫，小島逸平，坪内昭雄：鋼床版舗装の実態，土木技術資料，Vol.17，No.3，1975.3
1.4) 飯島尚，小島逸平，岩崎：鋼床版舗装の全国現況調査，土木技術資料，Vol.25，No.3，1983.3
1.5) 久利良夫，十名正和：阪神高速道路における舗装損傷に関する考察，舗装，42-9，pp.8-13，2007.9

２．損傷の種類

一般的な路面のアスファルト舗装の損傷は，諸外国も含めて様々な分類方法がなされているが，鋼床版の舗装に限って分類した事例は，先の旧建設省による調査事例も含めて見当たらない。そこで，一般的な路面のアスファルト舗装を対象とした分類方法を参考にして，鋼床版の舗装の損傷の分類を行うと，**付図 2.1-1** に示すものが考えられる。すなわち，鋼床版上のアスファルト舗装の損傷を，鋼床版構造に起因するものと舗装材料の劣化等に起因するものに大別した。さらに損傷の発生位置や損傷の種類によって細分化し，現地調査において確認された舗装損傷を分類することとした。



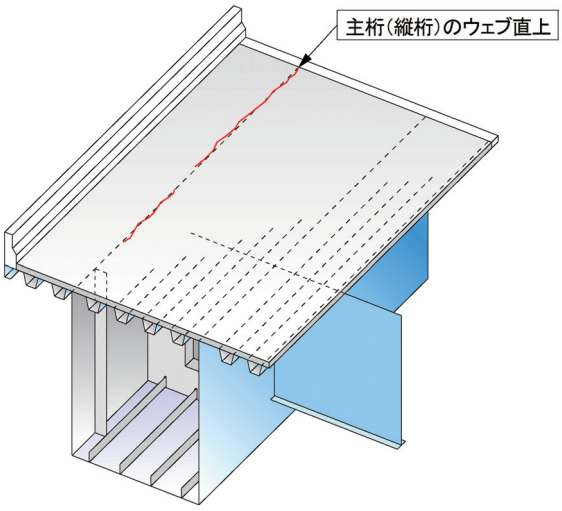
付図 2.1-1　鋼床版アスファルト舗装の損傷分類

３．鋼床版舗装の損傷事例

3.1 鋼床版構造と関係の深い形態

（１）主桁（縦桁）のウェブ直上

主桁ウェブ位置の直上における舗装ひび割れは，主桁位置と輪荷重の走行位置が一致している場合に多く見られ舗装ひび割れである。例えば，大型車の後輪に用いられるようなダブルタイヤが主桁ウェブを跨ぐような場合，アスファルト舗装は負曲げ作用を受け，舗装の表面に大きな舗装のひずみが発生し，舗装ひび割れを誘発することとなる。舗装ひび割れは，主桁ウェブ位置に沿って橋軸方向の１本の直線となるのが特徴である。主桁と輪荷重との位置が合致していることから，主桁垂直補剛材上端部の疲労損傷が発生している可能性もあるので注意が必要である。



付図 3.1-1　損傷位置模式図



付写真 3.1-1　H2 橋の事例



付写真 3.1-2　H6 橋の事例



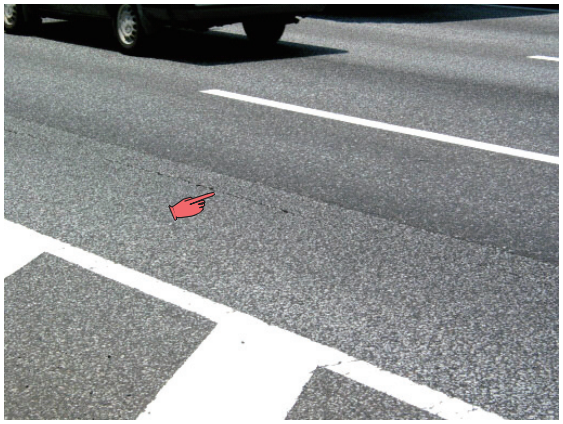
付写真 3.1-3　H7 橋の事例



付写真 3.1-4　M2 橋の事例



付写真 3.1-5　C1 橋の事例



付写真 3.1-6　C3 橋の事例



付写真 3.1-7　C7 橋の事例



付写真 3.1-8　O1 橋の事例



付写真 3.1-9　03 橋の事例



付写真 3.1-10　08 橋の事例



付写真 3.1-11　012 橋の事例



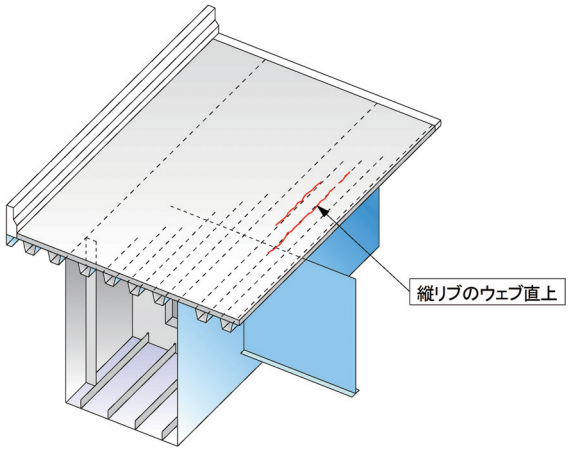
付写真 3.1-13　Q2 橋の事例



付写真 3.1-14　Q7 橋の事例

（２）Ｕリブのウェブ直上（デッキプレートとＵリブとの溶接線上）

輪荷重走行位置直下のデッキプレートとＵリブ溶接部に沿って発生する舗装ひび割れである。主桁ウェブ位置と同様に，舗装がＵリブのウェブが支点となった負曲げ変形になることが原因である。多くの場合，舗装ひび割れは複数本の橋軸方向の直線となり，その間隔はＵリブ上縁幅（例えば 320mm）となっている場合が多いのが特徴である。損傷が進行すると，**付写真 3.2-6** のように，蜘蛛の巣状のひび割れに進展する。また、同じラインで損傷が繰り返される場合には、デッキプレートのき裂の可能性もある。



付図 3.2-1　損傷位置模式図



付写真 3.2-1　H5 橋の事例



付写真 3.2-2　M8-2 橋の事例



付写真 3.2-3　M2 橋の事例



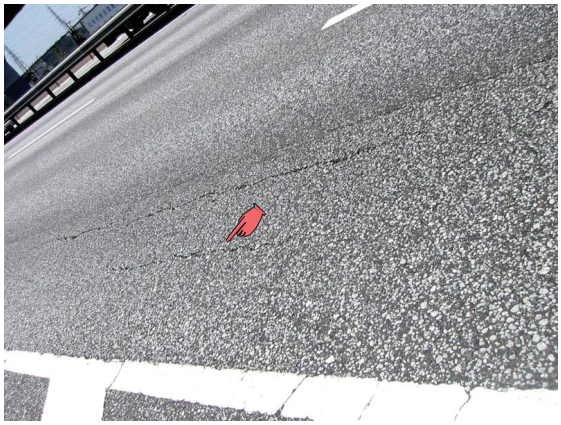
付写真 3.2-4　M9 橋の事例



付写真 3.2-5　M11 橋の事例



付写真 3.2-6　C1 橋の事例



付写真 3.2-7　C3 橋の事例



付写真 3.2-8　C7 橋の事例



付写真 3.2-9　03 橋の事例



付写真 3.2-10　08 橋の事例



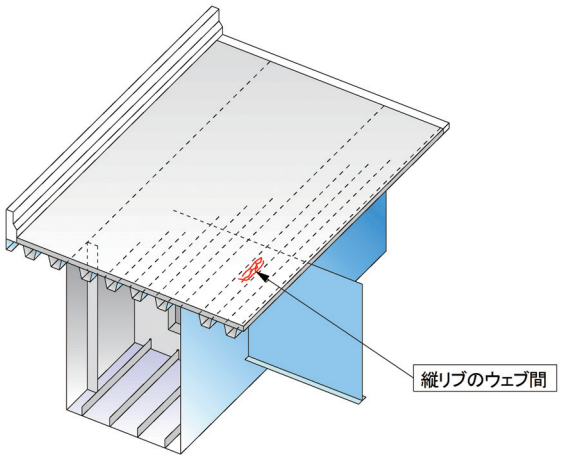
付写真 3.2-11　012 橋の事例



付写真 3.2-12　Q4 橋の事例

（３）Ｕリブのウェブ間

Ｕリブのウェブ間に発生する舗装の損傷で，舗装ひび割れあるいは流動による局部的な陥没に分類される。これらの損傷は，Ｕリブのウェブ間での正曲げ変形によって発生するものと考えられるが，デッキプレート貫通き裂が発生した場合にも同様の損傷が発生するため，詳細調査を行うなどの検討をするのがよい。ただし，鋼床版の舗装材料の劣化やずれによるものもあり，この損傷が確認された場合，直ちに鋼床版に疲労損傷が発生しているとは断定できない。



付図 3.3-1　損傷位置模式図

① ひび割れが伴う場合



付写真 3.3-1　H2 橋の事例



付写真 3.3-2　M8-2 橋の事例



付写真 3.3-3　03 橋の事例

② 局部的な陥没となる場合



付写真 3.3-4　M3 橋の事例



付写真 3.3-5　M7-2 橋の事例



付写真 3.3-6　M11 橋の事例



付写真 3.3-7　09-2 橋の事例



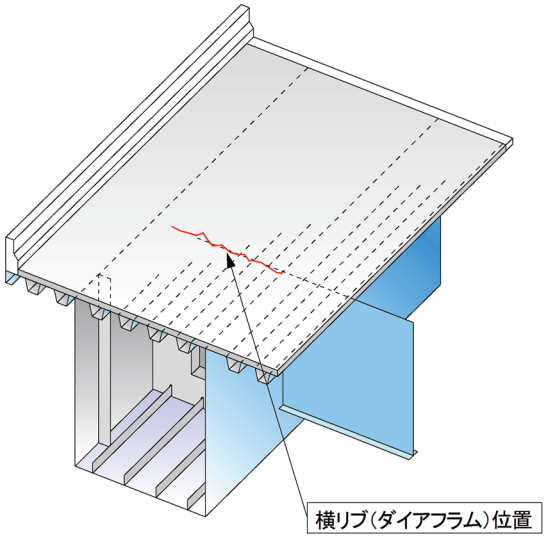
付写真 3.3-8　011 橋の事例



付写真 3.3-9　012 橋の事例

（４）横リブ（ダイアフラム）位置

横リブまたはダイアフラムの位置に発生する横断方向の舗装ひび割れである。舗装が横リブのウェブが支点となった負曲げ変形になることが原因と考えられる。一方，連続桁のように，中間支点部での舗装が負曲げ変形に伴うひび割れや，車両の制動による舗装のずれも同様の損傷となるが，舗装のひび割れが横リブまたはダイアフラム間隔であるか否かで，判断することが可能である。



付図 3.4-1　損傷位置模式図



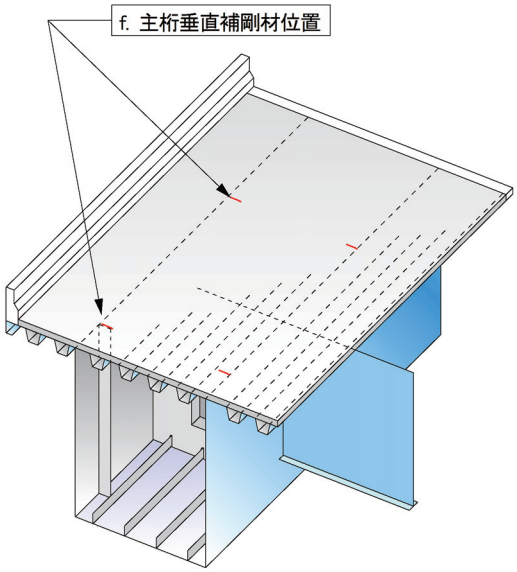
付写真 3.4-1　M9 橋の事例



付写真 3.4-2　Q2 橋の事例

（５）主桁垂直補剛材位置

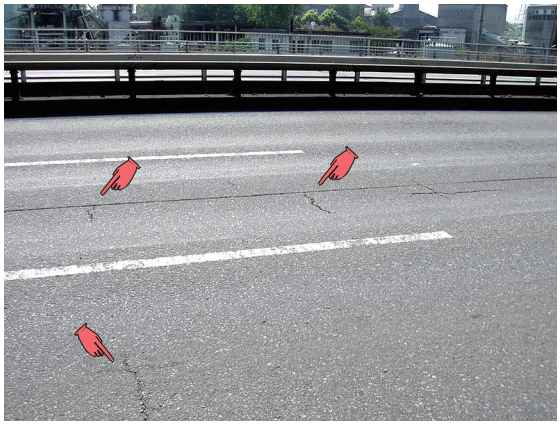
主桁の垂直補剛材位置に発生する横断方向の舗装ひび割れである。主桁位置と輪荷重の走行位置が一致している場合に多く見られる。この舗装ひび割れは，橋軸方向に垂直補剛材と同じ間隔で出現し，横断方向に 100mm～200mm 程度の長さとなるのが特徴である。この舗装ひび割れが確認された場合は垂直補剛材上端部に疲労損傷が発生している可能性があるため，注意が必要である。



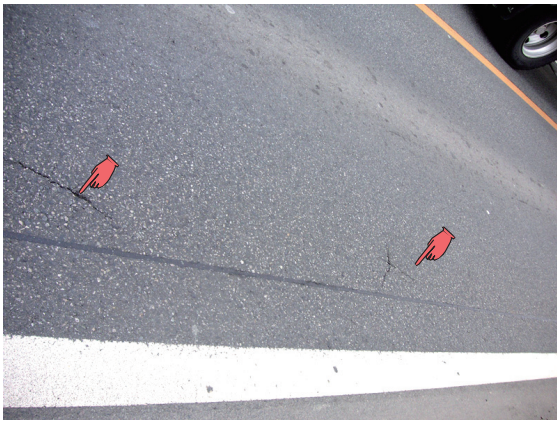
付図 3.5-1　損傷位置模式図



付写真 3.5-1　H7 橋の事例



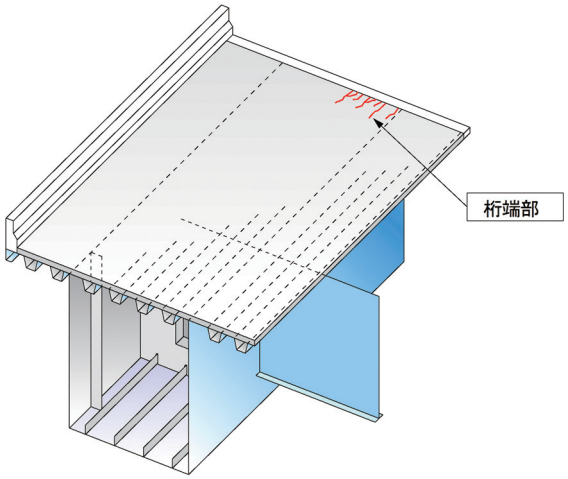
付写真 3.5-2　C1 橋の事例



付写真 3.5-3　C7 橋の事例

（６）桁端部

桁端部の伸縮装置近傍に出現する舗装の損傷である。主な損傷は，舗装ひび割れや陥没であり，これらは桁端部における交通荷重の衝撃の影響が大きい。その他にも，防水性の低下による錆汁の発生などが挙げられる。



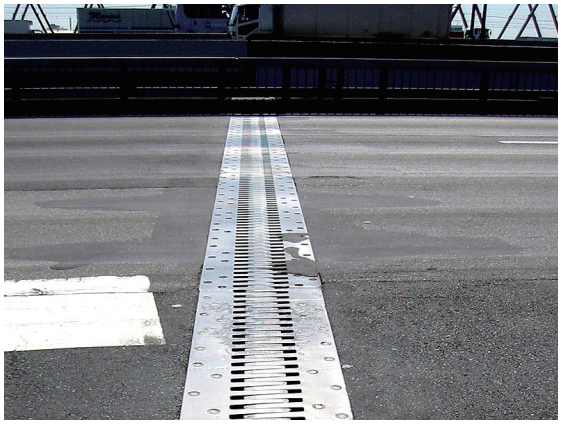
付図 3.6-1　損傷位置模式図



付写真 3.6-1　H2 橋の事例



付写真 3.6-2　C1 橋の事例



付写真 3.6-3　M2 橋の事例



付写真 3.6-4　M11 橋の事例



付写真 3.6-5　M9 橋の事例



付写真 3.6-6　C7 橋の事例

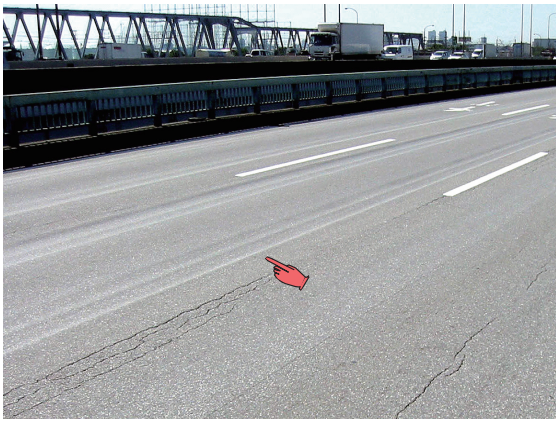
3.2 舗装材料の劣化等によるもの

（１）わだち掘れ

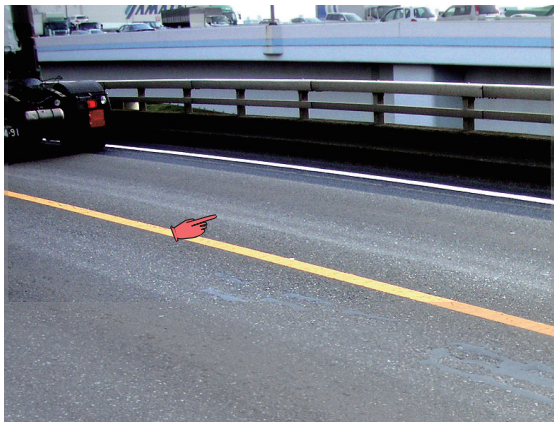
わだち掘れは，寒冷地など冬季にタイヤチェーンを装着する車両が多い場合に舗装の摩耗によって生じるもの（**付写真 3.7-1**）と，輪荷重の載荷によって舗装が流動して生じるもの（**付写真 3.7-2～付写真 3.7-4**）に分類される。重交通路線の場合や大型車両が常時同一位置を走行しているような場合に多く見られる。



付写真 3.7-1　H2 橋の事例



付写真 3.7-2　M2 橋の事例



付写真 3.7-3　M8-1 橋の事例



付写真 3.7-4　C1 橋の事例

（２）ずれ

舗装のずれは，基層と表層間の付着力が低下した場合や，輪荷重の制動によって生じる場合などがある。後者は，主に縦断勾配が大きい鋼床版橋梁において見られる。また，**付写真 3.8-5** のように，わだち掘れによって生じた舗装の側方流動により車線間で隆起し，ひび割れが発生した事例もある。

①縦断勾配が大きく車両の制動によるもの



付写真 3.8-1　H6 橋の事例



付写真 3.8-2　Q4 橋の事例

②舗装の軟化や付着力不足によるもの



付写真 3.8-3　M6 橋の事例



付写真 3.8-4　C7 橋の事例



付写真 3.8-5　M2 橋の事例

（２）主桁系の負曲げによるひび割れ

ここで示す舗装ひび割れは，連続桁の中間支点部における主桁系の負曲げが原因と思われるものである。ひび割れは，横断方向に直線的に発生するものの他に，格子状あるいは斜線交差状に発生するものがあるが，これらの発生メカニズムは十分に把握できていない。



付写真 3.9-1　02 橋の事例



付写真 3.9-2　03 橋の事例



付写真 3.9-3　02 橋の事例



付写真 3.9-4　03 橋の事例



付写真 3.9-5　014 橋の事例

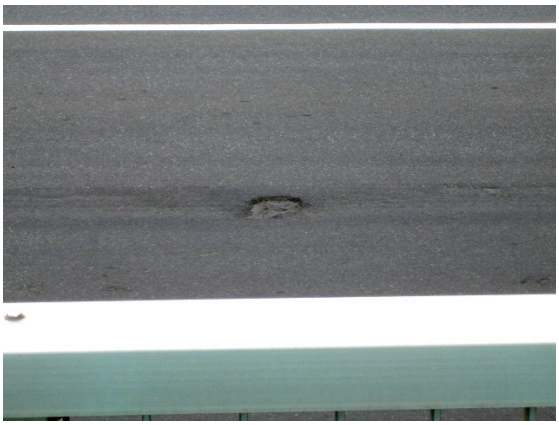
（３）剥離とポットホール

舗装の剥離とポットホールは，いずれも舗装が部分的に喪失する損傷である。ここでは，剥離は，主に表層と基層の間の付着力が低下し，表層が部分的に剥がれる状態とし，ポットホールは，舗装のひび割れが格子状に発達し，部分的に舗装が喪失し，小さい穴が発生する損傷として分類した。前者は舗装材料の劣化に起因するもの，後者は交通荷重の繰り返し載荷に起因するものと言える。

①剥離



付写真 3.10-1　H1 橋の事例



付写真 3.10-2　H4 橋の事例

②ポットホール



付写真 3.10-3　M9 橋の事例



付写真 3.10-4　C1 橋の事例



付写真 3.10-5　C7 橋の事例



付写真 3.10-6　O2 橋の事例

（４）ふくれ，ブリスタリング

“ふくれ”やブリスタリングといった現象は，水密性が高く空隙が少ないアスファルト舗装の下面に存在する水分等が，舗装施工時の熱や夏期の高温などによって膨張し，舗装施工後や供用中に“ふくれ”となって出現するものである。



付写真 3.11-1　M7-2 橋の事例



付写真 3.11-2　C7 橋の事例



付写真 3.11-3　08 橋の事例

（５）補修位置の再劣化

補修位置の再劣化は，以前にパッチなど部分的な舗装の補修を行った箇所が，耐久性上の弱点となって再度劣化が始まるものである。主に，重交通路線ゆえに損傷が再度発生するものと考えられるが，舗装の部分的な補修にあたっては，その品質確保に十分な配慮が必要であるといえる。



付写真 3.12-1　　H7 橋の事例



付写真 3.12-2　012 橋の事例

（６）異物の混入

アスファルト舗装の施工中あるいは供用中に，舗装内部に異物（金属片やコンクリート塊など）が混入する損傷である。鋼床版への直接の影響はないと考えられるが，車両の走行性を失う場合があるため，配慮が必要である。



付写真 3.13-1　M7-2 橋の事例



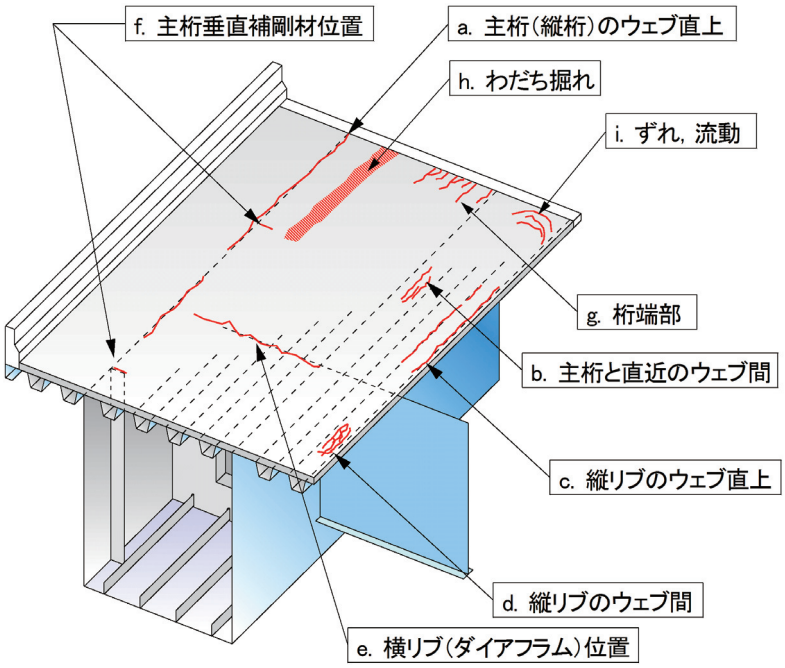
付写真 3.13-2　Q4 橋の事例



付写真 3.13-3　Q2 橋の事例

４．鋼床版舗装の損傷事例の分析

３章で示した鋼床版舗装の損傷のうち，主な損傷について実際に現地調査で確認された割合を調べた。**付図 4.1-1** に主な損傷の発生位置を，またそれらの割合を**付表 4.1-1** に示す。



付図 4.1-1　鋼床版舗装の主な損傷発生位置

付表 4.1-1　鋼

損傷位置			事例数	割合(%)
ひび割れ	a.	主桁（縦桁）のウェブ直上	24	25.5
	b.	主桁と直近の縦リブ間	5	5.3
	c.	縦リブのウェブ直上	18	19.1
	d.	縦リブのウェブ間	14	14.9
	e.	横リブ（ダイアフラム）位置	2	2.1
	f.	主桁垂直補剛材位置	4	4.3
	g.	桁端部	8	8.5
流動	h.	わだち掘れ	4	4.3
	i.	ずれ，流動	13	13.8
	j.	その他	2	2.1
		合計	94	100

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No.471　　August 2008

編集・発行　国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804　茨城県つくば市旭一番地
企画部研究評価・推進課　PHONE 029-864-2675