

第Ⅲ編 評価マニュアルの作成例

本編は、適用基準を道路橋示方書とする道路橋の設計を行うにあたって、鋼およびコンクリートの道路橋に関して近年検討事例のある新しい工法の代表例について、具体的な道路橋示方書の求める性能が満足されることを検証するために、当該工法を用いた設計を行う場合に、道路橋示方書の規定による以外に必要となってくる様々な照査項目をそれぞれについて体系的に整理した例を示した。

これらの例からは、道路橋示方書などの技術基準では、規定相互が密接に関連しあっているために、一部の規定に対して逸脱を生じると、その規定の範囲以外にも逸脱の影響が及ぶ場合も多く、道路橋示方書では規定されていない（限定的な設計要素部分だけでなく逸脱項目が広範囲に及ぶ）新しい工法や構造による橋の設計・施工を行う場合には、多岐にわたる関係のある設計項目や施工品質に関する規定について道路橋示方書による場合との関係を明確にしたうえで、すべてが調和した設計を行い橋全体として道路橋示方書に準じて所要の性能が得られるようにする必要があることが分かる。

なお、本例は新しい工法について評価計画を構築するための方法として参考にできるが、橋の設計条件は個々に異なることから、例と同じ技術を用いる場合にもこの例によるのみでは所要の性能が得られない場合や、本例によらない方法で性能照査する必要がある場合もあることに注意が必要である。

1 波形鋼板ウェブPC箱げた橋の評価マニュアル

1.1 設計編

1.1.1 総則

本書は、主として道路橋示方書に準拠して設計される箱げた形式のプレストレスト橋のうち、主げたウェブ部分に波形の鋼板を用いた形式の橋梁（以下、波形鋼板ウェブPC箱げた橋）の設計にあたって、既存の技術基準類の有無にかかわらず、道路橋示方書の規定に準じて道路橋としての要求性能が満たされることを個々の橋梁毎に検証する必要がある項目や留意点について基本的な事項をとりまとめたものである。

【解説】

本書では、波形鋼板ウェブPC箱げた橋に特有な事項を中心に記述しているため、PC箱げた橋コンクリート構造物の施工に関する一般的な事項のすべては網羅されていない。したがって、本書に記載されていない事項については、道路橋示方書及び関連する技術基準類による必要がある。

道路法上の道路橋に対する設計における基本的な要求性能については、一般には道路橋示方書による必要がある。しかし、道路橋示方書は技術基準としての性格から、多様な橋梁形式や新しい構造形式に対して要求性能を満足させるための方法や、必要な性能が満たされることを検証する手法については必ずしも示されていない。したがって、すべての道路橋の設計においては、必要な性能が満足されることを個別に検証しているが、波形鋼板ウェブ橋PC箱げた橋のような構造形式の場合、設計応力の算出手法やその適用範囲など、基礎的な性能評価手法の多くが基準類にある方法だけでは証明が困難である。この書ではコンクリート材料に関する事項など、波形鋼板ウェブPC箱げた橋の構造的特徴に関わらない事項について道路橋示方書が準用できるものとして、主としてコンクリートウェブを波形に加工された鋼板に置き換えたPC箱げたとしての特性に主眼を置いて特に性能照査（設計）上の留意点等について示した。

本書では図-1.1 に示す設計フローを構成モデルとした。

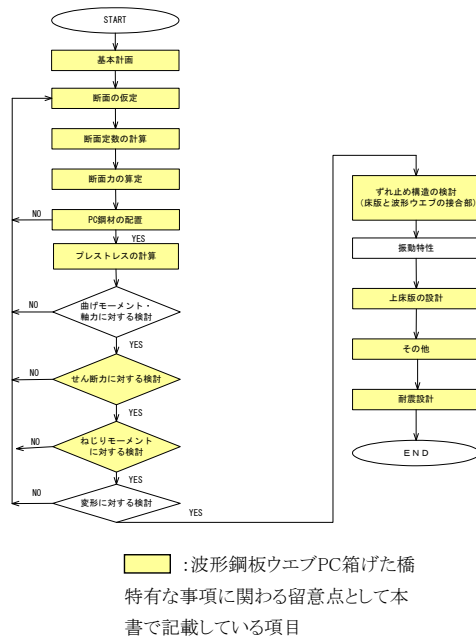


図-1.1 波形鋼板ウェブPC箱げた橋の設計フローの例

1.1.2 適用の範囲

本書は、道路橋示方書に準じて設計される、波形鋼板ウェブPC箱げた橋のうち、上下床版にコンクリート床版を有する一室箱げたの場合の設計に適用できる。
 なお、著しい斜橋、曲線橋、広幅員のものについては本書による以外に、それらの影響について別途検討が必要である。

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋には、様々な形式があるが、本書の検討にあたっては、一室箱げた断面で固定支保工または張出し架設工法によって施工されたものについて調査分析を行って検討を行ったことから、斜張橋、エクストラロード橋、大きな斜角を有する斜橋、曲線半径の極端に小さい曲線橋、多室箱げた橋、広幅員橋、セグメント構造などに対しては必要な事項が網羅されていない可能性がある。

道路橋示方書に準じた性能が求められる橋梁の基本的な設計技術基準の内容は、道路橋示方書によることのできるから、それを前提とした上で、固定式支保工及び張出し工法によって施工される一室箱げた断面の直橋または直線に近い橋梁以外については、道路橋示方書、本書の内容について十分な検討を行うだけでなく、個々の橋梁の特性に応じて個別に十分な検討が必要である。なおウェブが床版と直交しない（傾斜ウェブ）の場合も、ここでは検討の対象としていないためその場合にはウェブが傾斜していることの影響について個別に検証が必要である。

【参考資料】

これまで設計施工された波形鋼板ウェブPC箱げた橋に関する情報には、例えば以下のような資料がある。
 なお、これらの資料に示された手法や検討の結果等が当該橋の条件に対して適切であるか、あるいは準用可能であるかどうかについては一概でないため、これらの既往の事例を参考にする場合にはその点に注意が必要である。

- 1) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会 HP : <http://www.namigata.org/>
- 2) 複合橋設計施工規準 PC技術基準シリーズ (社)プレストレストコンクリート技術協会 編、技芸堂出版 2005
- 3) 波形鋼板ウェブPC橋 設計実例集、波形鋼板ウェブ合成構造研究会、2006

表-1.1 実績例(参考)

NO	橋梁名	施工方法	構造形式	平面曲線 R(m)	橋長 (m)	最大支間長 (m)	支間割り (m)	有効幅員 (m)
1	新開橋	架設桁架設工法	単純桁橋	∞	31.0	30.0	30.0	14.0
2	銀山御幸橋	押し出し工法	5径間連続橋	∞	210.0	45.5	27.4+3@45.5+44.9	8.5
3	本谷橋	張り出し工法	3径間連続ラーメン橋	2400	198.3	97.2	44.0+97.2+56.0	10.5
4	鍋田高架橋	固定支保工	3径間連続橋	∞	187.5	91.5	47.0+91.5+47.0	14.0
5	前谷橋	張り出し工法	Tラーメン橋	∞	163.0	83.9	77.3+84.3	9.8
6	中野高架橋(その1)	張り出し工法	4径間連続橋	250	253.0	81.5	44.0+63.5+85.5+57.8	8.5
7	中野高架橋(その2)	固定支保工	4径間連続橋	440	256.0	83.9	67.5+83.9+60.5+39.8	8.5
8	中子沢橋	固定支保工	2径間連続橋	∞	97.7	47.8	47.8+47.5	11.5
9	勝手川橋	張り出し工法	3径間連続ラーメン橋	1500	227.0	96.5	59.3+96.5+69.8	10.0
10	鍋田西高架橋	張り出し工法	3径間連続ラーメン橋	1000	245.0	125.0	59.0+125.0+59.0	14.6
11	大内山川第二橋	張り出し工法	7径間連続橋	2200	437.0	120.0	9.0+2@66.0+120.0+57.0+43.0+34.0	9.0
12	小犬丸川橋	張り出し工法	6径間連続ラーメン橋	1000	429.0	81.0	49.9+4@81.0+54.1	9.5
13	小河内川橋	張り出し工法	Tラーメン橋	7000	157.0	77.8	77.8+77.8	9.8
14	興津川橋	張り出し工法	4径間連続ラーメン橋	5000	456.0	142.0	69.1+112.0+142.0+130.6	16.5
15	下田橋	張り出し工法	4径間連続橋	5000	269.5	136.5	44.3+136.5+48.9+38.4	10.5
16	日見橋	張り出し工法	4径間連続エクストラード橋	1800	365.0	180.0	91.8+180.0+91.8	9.8
17	白沢橋	固定支保工	単純桁橋	250	51.6	50.0	50.0	8.0
18	黒部川橋梁	固定支保工	6径間連続橋	7000	344.0	72.0	2@50.0+2@72.0+2@50.0	11.7
19	栗谷川橋	張り出し工法	4径間連続ラーメン橋	700	280.0	95.0	44.0+81.0+95.0+58.0	9.7
20	栗東橋	張り出し工法	4,5径間連続エクストラード橋	3000	555.0	170.0	152.6+160.0+75.0+90.0+72.6	16.5
21	矢作川橋	張り出し工法	4径間連続複合斜張橋	2600	820.0	235.0	174.7+2@235.0+174.7	40.0
22	安家4号橋	固定支保工	2径間連続橋	∞	113.5	55.8	55.8+55.8	8.0
23	第二上品野橋	張り出し工法	5径間連続橋	3000	346.0	81.0	68.0+81.0+2@73.0+51.0	10.8
24	白岩橋	張り出し工法	3径間連続橋	3000	187.0	86.0	52.0+86.0+45.0	10.8
25	温海川橋	固定支保工	4径間連続橋	∞	218.0	61.3	61.3+2@51.5+51.3	10.5
26	遊楽部川橋	固定支保工・張り出し工法	3径間連続橋	2600	236.4	102.5	65.7+102.5+65.9	10.4
27	門崎橋	固定支保工	4径間連続ラーメン橋	∞	184.0	50.0	41.2+2@50.0+41.2	10.0
28	鶴巻橋	固定支保工	4径間連続ラーメン橋	∞	168.0	47.0	36.1+2@47.0+36.1	10.0
29	長井ダム県道11号橋	張り出し工法	3径間連続ラーメン橋	140	165.2	72.0	45.9+72.0+45.9	5.0
30	長谷川橋	張り出し工法	5径間連続ラーメン橋	600	395.5	912.0	58.8+3@92.0+58.8	9.3
31	千代川橋	固定支保工	2径間連続橋	2300	233.5	115.3	115.3+115.3	9.5
32	豊田東JCTランプ橋	張り出し工法	3径間連続ラーメン橋	750	244.4	94.0	86.0+94.0+61.9	12.0
33	広内第二橋	張り出し工法	5径間連続橋	500	292.5	85.0	40.9+75.0+85.0+50.0+39.4	10.5
34	杉谷川橋	張り出し工法	6径間連続ラーメン橋	4000	453.0	57.0	52.1+4@87.0+51.2	16.5

1.1.3 波形鋼板ウェブ箱げた橋の基本計画

■ 本書の対象とした構造

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、箱げた形式の主げたをもつPC橋のうちウェブ部分に波形に加工された鋼板部材が用いられるものである。

波形鋼板のウェブと上下フランジまたは床版である上下のコンクリート床版とはずれ止め等によって接合され、断面は合成箱げた断面として一体化されている。

■ 代表的な課題・留意事項

通常のPC箱げた橋と同様に計画ができ、多くの施工方法に対応できることを特徴としているが、その構造的な特性を十分把握した上で設計・施工を計画する必要がある。その主な項目を以下に示す。

■ 主な検証・評価項目

- ① 支間長・けた高・床版支間
- ② 波形鋼板の形状・寸法・材質
- ③ 波形鋼板と上下床版の合成の方法・程度
- ④ 斜角・曲率・幅員・断面変化
- ⑤ 桁と床版の合成効果
- ⑥ 支点部構造（支承部、支点部補強構造や上下部工接合構造とその力学特性）
- ⑦ 隔壁の配置・剛性（曲げ・せん断・ねじりにかかわる主げたの基本的な力学特性）
- ⑧ プレストレス（導入方法・量、定着部・偏向部の構造・配置、クリープの影響）
- ⑨ 鋼板ウェブの接合方法と鋼部材の疲労設計（品質、許容値、検査基準）
- ⑩ 配筋にかかる構造細目（格点（定着・偏向）、床版との合成構造（接合部構造））
- ⑪ 架設時の安全性
- ⑫ 維持管理性
 - ・防せい防食方法とその更新方法
 - ・点検の方法（日常、定期点検、異常時点検などの着目項目、手法、判定、部材区分など）
 - ・想定される損傷とその対処（継手部等の疲労部の点検・ボルトのゆるみの点検など）

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、箱げた断面内の上下フランジに対してウェブの剛性を極端に小さくすることで、主げたに導入されるプレストレスが効率的に上下フランジに導入されることを意図している。

このとき、ウェブは主げたとしてのせん断耐力には寄与させるため、波形形式の鋼板とした上でその上下端をそれぞれ上下のコンクリート床版で固定したものである。

これらの特性は、さまざまな構造要因によってその程度や確実性が影響をうけるため、設計にあたっては、これらの特性が設計で意図するとおり確実に実現することを検証することとなる。

ここでは設計に当たって橋の性能に大きな影響を及ぼす可能性が大きく、かつ個々の橋梁の条件に照らして慎重に考慮することが必要なもののうちから代表的なものを挙げた。

ここで挙げた項目はいずれも基本的な特性や橋としての基本的な要求性能の実現性とその確実性に支配的な影響を及ぼすものの代表例であるが、多くの項目は、多岐にわたる個々の橋梁の条件に

対して理論的・定量的に証明することが困難であり、既往の実験結果や基礎的な理論的評価をもとに性能の実現と検証を図る必要がある。

したがって、これらの項目の検討にあたっては、性能照査の根拠となる実験や解析、理論等の適用範囲や検討対象の当該橋梁における条件との整合性、適用可能性について十分な検討が必要である。

このとき各部の応力性状や部材寸法、架設手順など個々の橋梁の条件と、根拠とする知見のもととなった条件が一致することはほとんどなく、条件の相違を適切に考慮して妥当性の検証を行う必要があることに注意しなければならない。

① 支間長・けた高・床版支間

桁の基本的な耐荷力、製作輸送架設等の条件などに支配的な影響を及ぼしうる項目である。

例えば、道路橋示方書では活荷重をはじめ条件によっては基準の規定をそのまま適用することが合理的でないばかりか、不適切なものとなる可能性があるため、適用の目安となる支間長の範囲を200m程度としている。

また、床版構造に関する規定の多くが経験的に定められていることから、みなし適合仕様として示された床版設計の適用範囲は床版支間によって規定されている。

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の設計においても、当該橋の支間長・桁高・床版支間の条件と適用または参照しようとしている基準類の規定や実験等の知見のもととなった条件との関係について検討し、その影響を適切に考慮しなければならない。

② 波形鋼板の形状・寸法・材質

波形鋼板ウェブの形状、寸法及び材質は、運搬、施工性に影響するだけでなく、波形鋼板ウェブPC箱げた橋の基本的な耐荷力と密接に関係している。

例えば、ウェブのせん断剛性や座屈耐荷力、疲労耐久性に影響を及ぼす接合部の応力状態は波形の形状・寸法・材質によって大きく変化する一方、これらの特性を個々に理論的に証明することは困難であることから、既往の解析や実験・実測結果、基本的な条件下での理論解析の結果などと比較検討することで性能照査することが一般的に必要となる。

③ 波形鋼板と上下床版の合成の方法・程度

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、折り曲げられたウェブ鋼板が橋軸方向に対する剛性が極端に小さく、箱げた断面として機能するためには上下床版と一体となって断面剛性が確保されることが必要である。このためウェブ鋼板はコンクリートの上下フランジと合成されることが桁の耐荷力の前提となっている。したがって実設計にあたってはウェブ鋼板と上下フランジが合成された構造に必要な剛性が確保されていることを照査することとなる。

④ 斜角・曲率・幅員・断面変化

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、導入される桁のプレストレス力が上下フランジのみで受け持たれるが、コンクリートのウェブを有する従来のPC箱げた橋に比べても桁のねじり剛性が小さく、大きな斜角や曲率、幅員等の断面変化がある場合には桁の座屈など不安定となりやすい。設計にあたってはその影響を適切に考慮する必要がある。

⑤ 桁と床版の合成効果

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、床版の支点部としての主げたの剛性がコンクリートウェブの一般的な箱げたとは異なり、桁の剛性に応じて床版の設計にはその影響を適切に考慮する必要がある。また桁作用のウェブの分担についてもウェブの軸方向の剛性や桁のねじり剛性が小さいことから床版作用と合成される桁作用による応力の状態もウェブ高さや波形形状、床版支間、隔壁や横げたなどによる床版の固定条件、鋼板ウェブと上下フランジとの合成の程度によっても種々異なってくる。このため設計にあたっては、各部材の設計や全体の挙動の見積もりにおいて床版と桁の合成効果について適切に評価する必要がある。

⑥ 支点部構造（支承部、支点部補強構造や上下部工接合構造とその力学特性）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、せん断が卓越する中間支点部付近で波形鋼板の座屈防止や主桁剛性の変化にとまなう局部応力が発生するため、裏打ちコンクリートを施すなど補強が必要となる場合が多い。

また、ウェブが剛性の小さな鋼板で形成されているため、ねじり剛性や横剛性が小さく、地震力など支承部への応力の伝達機構や桁断面内の応力分担が、全断面がコンクリートで形成される一般的な箱げたとは大きく異なってくる。さらに架設時と完成時の応力状態の相違など支点部のさまざまな設計項目が橋梁構造毎に異なり、また道路橋示方書をはじめ既往の技術基準やそれらにおいて前提としている設計手法がそのまま適用できない場合がある。したがって支点部の構造設計にあたっては当該橋の設計条件に応じて適切な設計手法を用いて構造を決定する必要がある。

⑦ 隔壁の配置・剛性（曲げ・せん断・ねじりにかかわる主げたの基本的な力学特性）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、全断面がコンクリートで形成される一般的なPC箱げた橋に比べ、ねじり剛性及びウェブの横方向剛性が低いことから、ねじりによる主げたの断面変形を抑制するために、十分な剛性を有した横げた・隔壁を適切な間隔で設置することが必要となる。したがって、斜橋、曲線橋、広幅員橋への適用にあたっては、十分な配慮が必要である。

⑧ プレストレス（導入方法・量、定着部・偏向部の構造・配置、クリープの影響）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、外ケーブルによる軸方向のプレストレスが導入され、それらは剛性の大きな上下フランジに効率的に導入されることを意図している。しかし鋼板ウェブの上下端ではコンクリートに剛結されているため鋼板ウェブにも軸方向力の影響が一般部に比べて大きくなるなど実際のプレストレス力による応力の状態は橋の構造毎に異なってくる。このためプレストレス構造に関連する各種設計項目については当該橋の構造に応じてその影響を適切に評価して設計で考慮することが必要である。

⑨ 鋼板ウェブの接合方法と鋼部材の疲労設計（品質、許容値、検査基準）

波形鋼板ウェブの継手には、溶接や高力ボルトによる接合方法が一般的に用いられる。ウェブ鋼板は桁の剛性を確保するために上下フランジに埋め込まれるなどにより剛結されるが、そのためにウェブ鋼板の上下端付近ではフランジコンクリートの挙動に追従して局部的に大きな応力が発生する。また上フランジ側では活荷重の載荷によって橋軸直角方向の変位を生じるような応力が生じる。したがって、鋼板の連結が溶接継手で計画される場合には、継ぎ手形式に応じて活荷重の影響を考慮した疲労耐久性の照査が必要である。

⑩ 配筋にかかる構造細目（格点（定着・偏向）、床版との合成構造（接合部構造））

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブの軸方向剛性が小さく上下フランジに効率的にプレストレスを導入することを意図しているため、通常のPC箱げた橋であればウェブに分担される緊張力をPC鋼材定着部及び床版で受け持つことになるため、応力が定着部及び床版に集中し補強鋼材を多く配置することから鋼材配置が煩雑となる場合がある。

特に、上下フランジと鋼板ウェブとの接合部とその近傍の配筋方法、ずれ止め等の接合構造は橋梁ごとの応力状態や当該部位に求める性能に応じて適切なものとなるように設計する必要があるが、それらの知見については道路橋示方書などの技術基準類で普遍化された手法は確立していないため個別に十分な検証が必要である。

⑪ 架設時の安全性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は完成時には上下フランジと鋼板ウェブが合成され、かつ桁としての応力状態に応じて必要な断面剛性が確保されていることが、部材の耐荷力上求められる。そのため上下フランジと鋼板ウェブの合成の状態や隔壁などによる桁断面剛性、プレストレスや支保工によって実現する桁応力状態が完成状態と異なる架設時には、各段階で所要の安全性が確保されるよう慎重に検討する必要がある。

また鋼板ウェブと上下フランジの接合部では、架設方法によって当該部位に残留する初期応力状態が異なってくるため、完成時に所定の継手性能が確保されるよう、施工時応力状態に対する配慮も重要である。

⑫ 維持管理性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋のコンクリート部材については、コンクリートウェブによるPC箱げた橋と同様な維持管理手法を行う必要があるが、維持管理性に影響を及ぼす特有な事項（波形ウェブ鋼板）に関わる代表的な項目について以下に挙げる。

- ・防せい防食方法とその更新方法
- ・点検の方法（日常、定期点検、異常時点検などの着目項目、手法、判定、部材区分など）
- ・想定される損傷とその対処（継手部等の疲労部の点検・ボルトのゆるみの点検など）

<防せい防食方法とその更新方法>

波形鋼板の防せい防食の仕様には、通常の鋼げたと同様に種々の方法が考えられるが、耐久性、施工性、経済性などを考慮して適切に選定しなければならない。

特に点検困難部位であるウェブ鋼板と上下フランジコンクリートとの境界部での雨水の侵入や滞留については、局部腐食の進行が懸念されることから慎重にその仕様や構造を検討する必要がある。なお、防せい防食機構に関する点検の方法や、塗装仕様の場合には塗装の更新の方法についてもあらかじめ考慮しておく必要がある。

このとき鋼板ウェブに足場等設置用の吊ピースなどを設けることがあるが主部材としてのウェブの疲労耐久性を満足することを確かめておく必要がある。

耐候性鋼板を用いた場合、錆汁の流出を生じることもあるため、その対処方法についてもあらかじめ設計で考慮しておく必要がある。

過去には図-1.2に示すようなさび汁のたれ防止を行った例もあるが、たれ防止の部材そのものがフランジコンクリートに悪影響に及ぼさないよう注意が必要である。

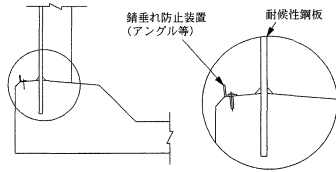


図-1.2 耐候性鋼材の錆ダレ防止の例

鋼げたは条件によっては結露を生じやすく、波形鋼板ウェブPC箱げた橋の場合、ウェブ鋼板で結露が生じやすい。生じた結露は、腐食環境として弱点となりやすい鋼板ウェブのコンクリート下床版への埋め込み境界部へ伝わり、流下することになるのでその点も考慮しておく必要がある。

<点検の方法>

波形鋼板ウェブPC箱げた橋についても、一般的な道路橋と同様に維持管理段階では様々な点検が必要となる。特に、大地震等の大きな外力を受けたときの異常の有無の確認や健全性の評価、鋼部材の疲労に関する検査など、想定される事象に対してどのような点検や診断が行いうるのかについてなど、維持管理の実績が少ないことも念頭にあらかじめ設計において考慮しておく必要がある。

このとき、少数主げたの鋼橋と同様に鋼板ウェブや上床版に大きな損傷が生じるなどの不測の事象について、構造全体系の安定や補修補強を行う場合の供用性確保のレベルについてもあらかじめ想定して設計や計画に考慮しておくことが望ましい。

<想定される損傷とその対応>

鋼とコンクリートの合成構造である波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、鋼・コンクリートそれぞれの長所を有していると同時に、損傷に対するそれぞれのリスクも有している。

想定される本形式特有の損傷として、

- ・ 継手部の疲労
- ・ 溶接部の疲労
- ・ ボルトの緩み
- ・ 鋼板の座屈
- ・ 鋼版と裏打ちコンクリートとの分離
- ・ 鋼版の腐食

1.1.4 断面の仮定

鋼材と主げた断面の検討

■ 特徴または特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、通常のPC箱げたのコンクリートウェブが波形鋼板に置き換えられており、ウェブ鋼板と上下コンクリート床版はずれ止め等により接合される。

■ 代表的な課題・留意事項

ウェブにPC鋼材が配置できないため、必然的に外ケーブル構造が併用される場合が多く、定着突起により定着される。そのため、PC鋼材の定着構造及びずれ止めとの取合い、構造細目（かぶり、鋼材のあき、施工性など）に配慮して決定しなくてはならない。

主げたウェブに用いられる波形鋼板については、材料特性や加工方法、継手特性などが所要の性能を満足するように決定されなければならない。

■ 主な検証・評価項目

① 波形ウェブの材料、製作、輸送、架設

- ・ 鋼部材としての機械的品質（曲げ加工の影響、疲労耐久性、継手構造）
- ・ 鋼部材の接合（継手）構造としての性能（材質、溶接やボルト継手としての性能）
- ・ 運搬・架設等の制約事項（補剛設計、運搬・架設時応力の影響、精度管理基準）

② 構造細目

- ・ 配筋（床版、支点部）
- ・ ずれ止め構造及びそれらとの取合い構造
- ・ 床版横締鋼材の配置
- ・ PC鋼材（内ケーブル、外ケーブル）配置及び定着部の構造・形状

③ 断面構成

- ・ 曲げ
- ・ せん断
- ・ ねじり
- ・ 床版性能
- ・ 耐震性能
- ・ 疲労耐久性

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の断面は、上下コンクリート床版と波形鋼板ウェブにより構成され一体とするためにずれ止め構造が用いられる。上下コンクリート床版は、作用断面力に対して抵抗可能な部材厚を確保するとともに、鋼材やずれ止めなどの取り合い及び構造細目を勘案して決定しなければならない。

また、道路橋示方書など従来の技術基準類には規定のない波形に加工された鋼部材が主部材として用いられており、加工方法や接合部構造など部材の耐荷力や疲労耐久性に関わる材料特性や機械的性質などについては個々の橋梁における応力等の条件に応じて適切に考慮して設計を行い、所要の性能が満足されるようにする必要がある。

① 波形ウェブの材料、製作、輸送、架設

波形鋼板ウェブの材料の選定から製作、輸送、架設の各段階を含む性能照査にあたっては、「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成14年3月(日本道路協会)」の考え方が基本的に準用できる。

ただし、道路橋示方書に示す考え方を準用するにあたっては、その要求性能の前提条件と整合するように、少なくとも以下の項目について照査を行う必要がある。

- ・材料の機械的性質と品質管理基準
- ・継手に対する要求性能とそれを満足する施工方法及び施工品質管理基準
- ・鋼板の加工(曲げ、穴あけ、溶接等)の影響を考慮した要求性能の設定と施工品質管理基準
- ・部材の要求性能(座屈耐荷力、疲労耐久性、継手性能など)の前提となる、部材の加工方法と精度管理基準
- ・防せい防食の仕様
- ・鋼板部材に対する要求性能を満足する、輸送・架設計画(架設時応力、施工方法、架設時補強など)
- ・床版の設計の前提となる鋼板ウェブと上下フランジコンクリートの合成方法

なお、製作や輸送、架設の観点から、鋼板ウェブに水平方向の継手を設けたり、構造的合理性の観点からウェブ高を変化させたり、上下フランジと傾斜角をもって合成する構造が検討される場合があるが、この場合には、桁や床版作用による応力状態も部材としての耐荷力特性も等断面鉛直ウェブの場合と異なるため、その影響について評価する必要がある。

運搬などの理由で波高、波長を小さくするような場合には、ウェブの横方向剛性が低下し、コンクリート床版に発生する横方向曲げモーメント及び床版の変形を増大させてしまうなどの問題が起こり得るため注意が必要である。

② 構造細目

構造細目についての考え方は、基本的に道路橋示方書に示す考え方を準用することができるが、ウェブとコンクリート床版の接合部構造(ずれ止め構造)が床版に格納されるなど波形鋼板ウェブPC箱げた橋特有な部位について十分に配慮する必要がある。特に補強方法、施工方法を考慮して設計に反映しなくてはならない代表的な項目について以下に挙げる。

- ・配筋(床版、支点部)
- ・ずれ止め構造と及びそれらとの取合い構造
- ・床版横縮鋼材の配置
- ・PC鋼材(内ケーブル、外ケーブル)配置及び定着部の構造・形状

特に、ずれ止め構造との取合いについて、ずれ止め部は、ハンチ付け根部の部材厚が大きくなる部分に收容され、床版直角方向の貫通鉄筋、横縮PC鋼材、外ケーブルあるいは内ケーブルの定着により鋼材配置が煩雑になる部位であるため、それらの取合いを十分に考慮する。例えば、下床版埋め込み部分の寸法は、ずれ止め構造の格納及び下床版鉄筋の取合い、鋼材の空き、施工性に配慮して決定する必要がある。

また、外ケーブル構造とする場合は、ケーブル定着のため上床版のハンチ形状をエッジ形状とする場合がある。図-1.3に定着部形式の例を示す。

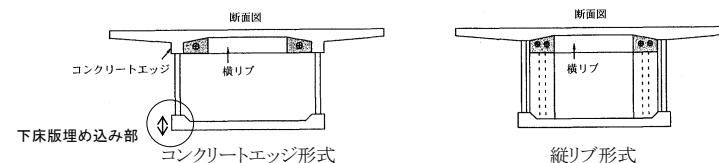


図-1.3 定着部形式の例

③ 断面構成

- ・曲げ、せん断、ねじり(基本的な耐荷力特性)

隔壁間隔、構造、ウェブとの取り合い、ウェブ間隔などが桁耐荷力及び設計の前提条件としての変形性状などに大きく関わるため、断面構成の決定にあたっては設計しようとする項目(曲げ、せん断、ねじり)に照らし合わせ所要の性能を満足するように決定されなくてはならない。

- ・床版性能

全断面がコンクリートで構成された従来のPC箱げた道路橋の場合、床版の設計は道路橋示方書を準用することで所定の性能が満足されることが多い。ここでコンクリート床版は、床版の支持条件と応力状態が疲労耐久性に及ぼす影響が大きく、床版が支点上で剛と見なせる状態で支持されていない場合には床版の支持条件(支点剛性)を設計において適切に考慮する必要がある。

波形鋼板ウェブ橋の場合には、一般的な鋼Iげた橋やコンクリートウェブのPC箱げたと異なり、床版支間と鋼板ウェブの構造(板厚、波形形状、ずれ止め方式)によって床版の支持条件は種々に異なってくる。したがって床版の設計にあたってはその影響を適切に評価し、所要の疲労耐久性が確保できるよう留意する必要がある。

例えば、鋼橋において、広幅員床版の鋼少数主げたでは従来の多主げたに比べて相対的に鋼げたと床版の固定度が高くなることから、床版の設計において床版支持条件を剛結と単純支持の両方で考慮して安全側となるように評価する場合もある。

- ・耐震性能

断面構成寸法は、通常のコンクリートウェブPC箱げた橋と同様に設定できるが、けた支間長に対して幅員が狭く箱幅が小さい場合には、面外方向の耐震性能の観点から配置鉄筋が過大とならないように箱幅を大きくして面外剛性を確保する場合がある。

- ・疲労耐久性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、ウェブ鋼板の継手構造やフランジ部との接合、床版との接合部、吊りピースなどの構造に溶接を用いており、ウェブはせん断力のみに抵抗するものとして設計されているが、床版付近の上下端では主げた曲げに伴う垂直方向の応力、床版上載荷重作用に伴う面外方向の応力等が作用する。したがって、せん断力とそれらとを組み合わせた作用を考慮し、疲労性状を把握する必要がある。

【参考資料】

- 1) 岩崎: 波形鋼板ウェブの疲労に関する検討、橋梁と基礎、2002.8

1.1.5 断面定数の計算

(1) 軸方向剛性の評価

■ 特徴または特性

波形鋼板ウェブ箱げたPC橋は、ウェブがせん断には抵抗するが主げた軸方向の力に対しほとんど抵抗しない構造であることを前提としており、設計計算上、曲げ剛性は上下のコンクリート床版断面のみを有効とする手法で算出される。

■ 代表的な課題・留意事項

設計される構造において、橋軸方向の曲げモーメント及び軸力に対して波形鋼板は工学的に無視できること（アコーディオン効果）が設計計算の仮定及び許容値等の根拠となるデータの知見と整合したものであることを確認し、桁全体として平面保持の仮定が成立するとみなせる範囲が設計の前提に合致していることの検証が必要である。

■ 主な検証・評価項目

- ① 波形鋼板形状（板厚、波高、波長、材質）
- ② 波形鋼板同士の継手構造
 - ・ 局部応力の発生
 - ・ 継手構造
- ③ 上下床版と波形鋼板の接合構造 など

【解説】

① 波形鋼板形状（板厚、波高、波長、材質）

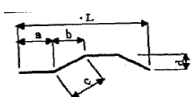
波形鋼板ウェブPC箱げた橋の性能の前提となるアコーディオン効果¹⁾は、波形鋼板の板厚、波高、波長など波形形状に左右され、通常、波形鋼板の形状寸法はアコーディオン効果が検証されている実績の範囲で選定されている事例が多い。

ただし、多く採用されている形状であっても、橋梁設計条件（板厚、材質、加工方法、波高、ウェブ間隔や張り出長、けた高（ウェブ高）、ウェブの傾斜角度）によって波形鋼板ウェブの座屈安定性に影響することから、実績で用いられている範囲の根拠となる実験や解析、理論等の適用範囲や検討対象の当該橋梁における条件との整合性、適用可能性について十分な検討が必要である。

波形ウェブ形状の例として以下表-1.2（その他橋梁については、表-1.3）に示す。

表-1.2 波形ウェブ形状の例

呼び名	a × b × C × d × L	
波長1600型	430×370×430×220×1600	前谷橋 鍋田西高架橋
波長1200型	330×270×330×200×1200	本谷橋 中野高架橋
波長1120型	300×260×300×150×1120	銀山御幸橋 中子沢橋
波長2000型	512×488×512×150×2000	興津川橋
波長1500型	400×350×400×200×1500	黒部川橋梁
波長1000型	340×160×226×160×1000	鍋田高架橋
波長900型	250×200×250×150×900	新開橋



② 波形鋼板同士の継手構造

コンクリート床版と波形鋼板の接合部付近では、軸力、曲げ作用により床版とウェブの剛性の違いから継手部近傍に局部的に応力が発生することが確認されている。床版との接合部付近では、継手部に局部的に応力集中する傾向にあるため、極端に桁高の低い形状を採用する場合などでは、個別にその性能の検証が必要となる。

また、けた高が高く部材運搬上制約を受ける等、波形鋼板を水平に分割配置するような場合の継手方法については前例が無い場合、十分な検証が必要である。

③ 上下床版と波形鋼板の接合構造

波形鋼板ウェブは、けたの剛性を確保するためにずれ止め構造や波形鋼板を直接上下床版に埋め込むことで合成され、平面保持理論が成立することが設計の前提となっている。従って、継手構造には必要な剛性が確保され上下床版と一体となって断面剛性が確保されることを検証しなくてはならない。実績²⁾で用いられている接合部構造であっても、既往の解析や実験・実測結果、基本的な条件のもとでの理論解析の結果など、当該橋梁における条件との整合性、適応性について十分な検討が必要である。

【参考資料】

- 1) 複合橋設計施工規準 PC 技術基準シリーズ（社）プレストレストコンクリート技術協会 編、技報堂出版、2005
- 2) 波形鋼板ウェブPC橋 設計実例集、波形鋼板ウェブ合成構造研究会、2006

表-1.3 波形ウェブ形状の例

NO	橋梁名	桁高(m)		波形ウェブ厚(mm)		波形ウェブ形状(mm)					波形ウェブの形状寸法
		最小	最大	最小	最大	a	b	c	d	L	
1	新開橋	1.9	1.9	9	9	250	200	250	150	900	
2	銀山御幸橋	2.1	2.1	8	12	300	260	300	150	1120	
3	本谷橋	2.0	6.4	9	14	330	270	330	200	1200	
4	鍋田高架橋	3.2	3.2	9	28	340	160	226	160	1000	
5	前谷橋	3.0	7.5	9	16	430	370	430	220	1600	
6	中野高架橋(その1)	2.0	4.6	9	19	330	270	330	200	1200	
7	中野高架橋(その2)	2.3	4.7	12	22	330	270	330	200	1200	
8	中子沢橋	2.1	3.2	8	12	300	260	300	150	1120	
9	勝手川橋	3.0	7.0	9	12	430	370	430	220	1600	
10	鍋田西高架橋	0.2	7.0	16	22	430	370	430	220	1600	
11	大内山川第二橋	3.5	7.0	9	22	430	370	430	220	1600	
12	小犬丸川橋	3.5	5.8	9	16	430	370	430	220	1600	
13	小河内川橋	2.5	7.5	9	16	430	370	430	220	1600	
14	興津川橋	3.0	13.0	16	16	512	488	512	150	2000	
15	下田橋	2.5	7.5	12	16	430	370	430	220	1600	
16	日見橋	4.0	4.0	9	28	430	370	430	220	1600	
17	白沢橋	2.6	2.6	9	12	300	300	300	170	1200	
18	黒部川橋梁	3.3	4.8	12	25	400	350	400	200	1500	
19	栗谷川橋	3.0	6.0	9	16	430	370	430	220	1600	
20	栗東橋	4.5	7.5	9	22	430	370	430	220	1600	
21	矢作川橋	4.0	6.0	12	22	430	370	430	220	1600	
22	安家4号橋	2.5	3.5	16	22	430	370	430	220	1600	
23	第二上品野橋	3.0	5.0	12	22	430	370	430	220	1600	
24	白岩橋	3.0	5.5	12	19	430	370	430	220	1600	
25	温海川橋	3.2	3.2	9	16	430	370	430	220	1600	
26	遊楽部川橋	3.0	6.5	12	16	430	370	430	220	1600	
27	門崎橋	1.5	2.7	12	16	330	270	330	200	1200	
28	鶴巻橋	1.5	2.6	12	16	330	270	330	200	1200	
29	長井ダム県道11号橋	5.0	8.9	12	12	430	370	430	220	1600	
30	長谷川橋	2.5	5.5	11	18	430	370	430	220	1600	
31	千代川橋	4.5	8.0	9	22	430	370	430	220	1600	
32	豊田東JCTランプ橋	3.7	6.5	9	16	430	370	430	220	1600	
33	広内第二橋	3.7	4.7	11	22	430	370	430	220	1600	
34	杉谷川橋	2.2	5.1	9	19	430	370	430	220	1600	

(2) ねじり剛性の評価

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブの橋軸方向の剛性及び曲げ剛性が床版に比べ無視できるほど小さく、横方向に対する剛性も小さいことから通常のPC箱げた橋では問題にならなかったねじりモーメントに対する断面変形の影響が作用する。

■ 代表的な課題・留意事項

波形に加工された鋼部材が主部材として用いられているような部材に対しては、道路橋示方書などの従来の技術基準類では規定されていない。また、ねじりモーメントにより断面変形が大きくなると設計上考慮していない付加的な応力が各部（ウェブ、フランジなど）に作用するなど、従来の設計手法や解析理論がそのまま適用できない場合がある。したがって、設計計算に用いている仮定及び許容値などの根拠となるデータ等が知見と整合したものであることを確認し、当該橋梁の条件を適切に評価し所要の性能が満足されるようにする必要がある。

■ 主な検証・評価項目

- ① 部材の状態（設計の前提条件）
 - ・ 付加的な応力（そりねじりモーメント、波形鋼板の座屈）
- ② 断面変形への影響
 - ・ 隔壁の配置間隔及び剛性
 - ・ 橋梁条件（斜角、曲率、幅員構成）
 - ・ 波形形状・寸法・材質
 - ・ 傾斜ウェブの影響
- ③ 架設時の安全性（架設時、完成時）

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、通常のPC箱げた橋のコンクリートウェブ部分を波形鋼板に置き換えることで、主げた軸方向の剛性が小さくなり主げたに導入されるプレストレスが効率的に上下床版に導入されていることを意図しているが、横方向剛性がコンクリートウェブに比べ極端に小さいことから、ねじりモーメントに対して断面変形を抑制するなど安全性に十分配慮する必要がある。

実績では、波形鋼板ウェブPC箱げた橋のねじり剛性は概ね通常PC箱げた橋の1/4～1/2程度とされているが、その程度は設計しようとする個々の橋梁毎に異なるため、個別の条件に照らし合わせ評価しなくてはならない。

折り曲げられた鋼板を用いた部材に対する検討方法は、道路橋示方書に規定がなく、既往の技術基準で示されている設計手法などは、解析方法が適用できる前提条件として十分な剛性を有する横げたや隔壁が配置されていることが前提となっていることに注意する必要がある。

したがって、参照しようとする設計手法のもととなっている前提条件と当該橋梁の条件の整合性について確認し、設計の適用可能性について十分な検討が必要である。

① 部材の状態（設計の前提条件）

- ・ 付加的な応力（そりねじりモーメント、波形鋼板の座屈）
「道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート編4.4ねじりモーメントが作用する部材の照査」では、

通常のPC箱げた橋のような閉断面構造では、そりねじりモーメントよりも純ねじりモーメントによる応力度の方が卓越することから、そりねじりモーメントの影響を無視してよいとしているが、波形鋼板ウェブPC箱げた橋のようにウェブ剛性が小さい場合、ねじりモーメントによる主げたの挙動は通常のPC箱げた橋とは大きく異なり、付加的なねじりモーメントによる応力（そりねじりモーメント）の影響があると報告されているため、その影響について検証が必要である。

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では上下コンクリート床版にひび割れが発生した後の主げた断面挙動は不明確で、これまで参考にされている技術基準類でも示されておらず、「道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編4.4ねじりモーメントが作用する部材の照査 平成14年(日本道路協会)」の考え方を参照した場合にも、設計として弾性理論の範囲内を前提としている。

② 断面変形

断面変形の影響が主桁変形挙動に与える影響についての評価手法は、技術基準類で普遍化された手法は確立されておらず、実験やFEM解析などにより検証されていることが多い。断面変形状に影響を与える項目としては主に以下の項目（要因）が挙げられるため、それらを考慮した上で検証しなくてはならない。

- ・ 隔壁の配置間隔
- ・ 橋梁条件（斜角、曲率、幅員構成）
- ・ 波形形状・寸法・材質
- ・ 傾斜ウェブの影響

特に、斜角の大きい斜橋や曲率の大きい曲線橋また広幅員橋などは、ねじりモーメントによる影響が大きくなるため、隔壁の設置間隔を縮めるなど断面変形に対して十分な配慮が必要である。

【参考資料】

- 1) 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編（平成14年3月）10.2.4 ねじりモーメントによる応力度、日本道路協会
- 2) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（平成14年3月）4.4 ねじりモーメントが作用する部材の照査、日本道路協会
- 3) 複合橋設計施工基準Ⅱ 波形ウェブ橋編、プレストレストコンクリート技術協会、技報堂出版
- 4) 近藤、清水、大浦、服部：波形鋼板ウェブを有するPC橋 - 新開橋 -、プレストレストコンクリート、プレストレストコンクリート技術協会、1995.3
- 5) 上平、新谷、蝦名、園田：波形鋼板ウェブPC箱桁橋のねじり挙動と隔壁間隔の関係について、プレストレストコンクリート、プレストレストコンクリート技術協会、1999.1

1.1.6 断面力の算定

構造解析（部材のモデル化）

■ 特性

波形鋼板ウェブはせん断には抵抗するが、橋軸方向力にはほとんど抵抗しないことを前提とした構造であることから、設計解析上、曲げの照査に対しては上下コンクリート床版断面のみを有効とし、せん断耐力の照査には波形鋼板ウェブのみで全てのせん断力に対抗することとして算出している場合が多い。

■ 代表的な課題・留意事項

構造解析に用いる解析モデルは、波形鋼板ウェブの特性である軸方向応力には抵抗しないが、せん断耐力に対しては寄与する構造であることを前提としているが、実際には、せん断力についても床版が分担していること、床版との接合部付近のウェブ鋼板及び支点部などには局部的な応力が集中することがあるため、その影響が構造に悪影響がないか確認し適切な解析モデルを用いなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

① 有効断面

- ・ 曲げ
- ・ せん断

② その他の解析手法

- ・ 局部応力の検証
- ・ 床版のせん断分担率の検証
- ・ せん断変形の検証
- ・ ずれ止めに作用する水平せん断力 など

【解説】

構造解析に用いる解析モデルは、構造形式、断面構成、断面形状、応力状態などの当該橋梁の設計条件及び当該部材の状態に応じて適切なモデルを設定する必要がある。

① 有効断面

波形鋼板ウェブは、せん断力には抵抗するが軸方向力にはほとんど抵抗しない、上下のコンクリート床版の曲げ剛性のみを有効としたはり部材としてモデル化している。設計に用いている許容応力度及び応力度の制限値についても、部材の挙動が弾性範囲内にあることを前提として設定されるのが一般であり、過去の橋梁事例においてもこの条件を前提に設計されるのが通例である。このようなモデル化と構造特性を前提として設計を行う場合には、当該橋の断面構造・特性がこれらの条件を満足するものとなっていることをあらかじめ検証した上で設計する必要がある。

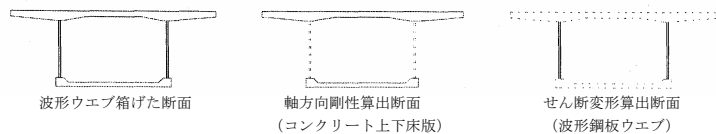


図-1.4 波形鋼板ウェブPC箱げた橋の線形解析に用いる剛性の算出断面

② その他の解析モデル

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、道路橋示方書をはじめ既往の技術基準やそれらで前提としている設計手法がそのまま適用できない場合、検証しようとする部位や目的によって解析モデルを適切なものとしなくてはならない。

例えば、既往の設計では立体骨組み解析、立体FEM解析、非線形構造解析モデル、一定せん断流パネル解析などを着目する事象・部材等に応じて適切な検討となるように使い分けている。

設計にあたっては評価目的との関連性を示し、それぞれ適切な設計手法を用いて照査しなければならない。波形鋼板ウェブPC箱げた橋のように大規模な複合構造橋梁構造の設計においては、いたずらに詳細なモデル化を行っても実挙動を精度よく反映できないばかりか、照査に用いる許容値や既往の実験結果等の評価基準との関係で、計算結果が必ずしも安全側にならない場合もあり、慎重にモデルの選定、モデル化の範囲、モデル化レベルなどを設定する必要がある。

既往の設計事例においてそれぞれの解析手法で着目された事象の例を示す。

(立体骨組み解析)

- ・ 3次元的な挙動が問題となる場合。

(立体FEM解析)

- ・ 床版のせん断分担率、支点部の裏打ちコンクリートの設計や局部応力の検証を行う場合。

(非線形構造解析モデル)

- ・ 終局荷重作用時の解析で、線形理論によって解析できない場合。

(一定せん断流パネル解析)

- ・ せん断変形の効果、ずれ止めに作用する水平せん断力、床版のせん断遅れ、そり応力などを直接求めたい場合。

1.1.7 PC鋼材の配置（内ケーブル、外ケーブル）

(1) 内ケーブル（定着突起）

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、内ケーブルPC鋼材を端支点横けた、床版端部（施工目地）、定着突起に定着する。また、通常であればウェブに定着する鋼材も、床版から突起構造を設けて配置する事例が多い。

■ 代表的な課題・留意事項

波形ウェブは、軸方向のウェブ剛性が小さいことからプレストレスにより変形し、多くのPC鋼材を定着突起に配置する場合は、定着突起及びその近傍の床版部材に局所的な応力が発生する。場合によっては、有害なひび割れの発生や部材の破壊に至る事例もある。したがって内ケーブルの配置に関しては、少なくとも以下の項目を評価し安全性を検証しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

① 定着突起の形状、寸法

- ・応力状態（応力伝達状態、局部応力の有無、定着部背面、床版部材）
- ・補強方法（補強鉄筋、用心鉄筋）

② 周辺部材への影響の考慮の有無

- ・ウェブ鋼板、床版、溶接部

③ 構造細目

（コンクリートの充填性、かぶり、鋼材のあき、定着具の縁端距離、用心鉄筋の配置など）

- ・床版定着（接合部（ずれ止め構造）との取り合い、床版鉄筋との取り合い など）
- ・施工性への配慮（PCケーブル組立（挿入・組立・緊張））

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブ剛性が小さいことから橋軸方向のプレストレスが効率的に上下フランジに導入されることを意図している。ウェブにケーブル定着ができないことから配置される箇所が制限される。さらに、ウェブが軸方向力に抵抗しないため、プレストレスによる緊張力が定着部付近の部材（床版、定着突起、波形鋼板）に過度に負担を与え、場合によっては有害なひび割れの発生や、部材が破壊する可能性もある。そのため、当該橋の設計条件に応じて適切にその影響を評価し、設計に考慮することが必要である。

なお定着部近傍の応力状態は、当該橋梁の条件（けた高、波形形状、床版厚、定着位置及び形状など）によって相違するため、その影響を考慮して個々に安全性を検討する必要がある。

そのため局部応力については、立体FEM解析を用いて十分慎重に検討されている事例が多い。

① 定着突起の形状、寸法、配置位置

- ・応力状態（応力伝達状態、局部応力の有無、定着部背面、床版部材）

通常のPC箱げた橋であれば、コンクリートウェブと上下床版で共同してプレストレスを支持することができるが、波形鋼板ウェブPC箱げた橋の場合、上下のコンクリート床版でしか支持されておらず、ケーブル緊張力が定着部を介して桁全体に伝達される機構が異なる。また、作用するプレストレスにより部材に発生する局部応力は大きくなる傾向にある。

特に下床版は部材厚が薄くなっている場合が多く、下床版突起で定着する場合には、応力緩和

のため定着突起をエッジ部付近に設置し、局部突起を横方向の梁で結合するなど十分な剛性を確保するための配慮が必要である。

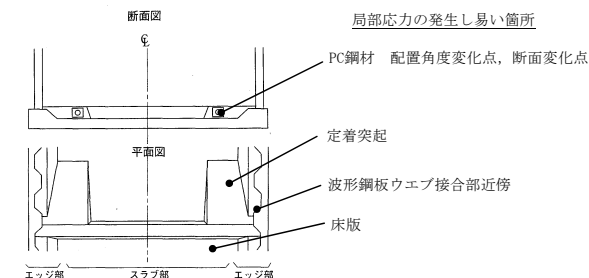


図-1.5 下床版の定着突起の例

・補強方法（補強鉄筋、用心鉄筋）

定着部付近の局部応力に対する補強方法の基本的な考え方は、例えば「道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編 6章 構造細目 6.6.8 定着具付近の補強 平成14年3月（日本道路協会）」が参考になる。波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブ剛性が小さく挙動が特有であるため、構造条件（けた高、定着位置、定着本数など）によっては有害なひび割れの発生や部材の破壊も起こり得ることから、発生する応力状態を適切に評価して構造に悪影響を与えないよう補強する必要がある。

② 周辺部材への影響の考慮の有無（ウェブ鋼板、床版、溶接部）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブ剛性が小さいためケーブルの定着位置及び定着構造によっては、支圧、割裂、背面引張などの局部応力や、ウェブ鋼板及び床版とウェブの接合部に局所的な曲げやせん断力が作用することが指摘されている。

③ 構造細目

- ・床版定着（接合部（ずれ止め構造）との取り合い、床版鉄筋との取り合い など）

定着突起、偏向部は一般に配筋、ケーブルの定着により施工が煩雑となり易い部位である。そのため、コンクリートの充填性、かぶり、鋼材・シースのあき、定着具の縁端距離、用心鉄筋の配置など、道路橋示方書で示している規定を満足しているか、施工性に配慮されているか照査する必要がある。

特に、床版に配置されるPC鋼材は、部材厚が大きい床版付け根部付近に配置されることが多く、ずれ止め構造や溶接部に近接することから設計で想定していない応力が発生することが考えられ、その影響を評価して設計に反映させなければならない。

- ・施工性への配慮（PCケーブル組立（挿入・組立・緊張））

けた端部・箱げた内・床版施工継目部で行うPCケーブルの組立（挿入・組立・緊張）作業は、安全かつ確実にプレストレスが導入できるよう、その作業性、安全性に配慮したケーブル配置を行う必要がある。

内ケーブルは、通常のPC箱げたと同様な組立・挿入方法であるが、緊張作業中に緊張ジャッキが波形鋼板に干渉するなど、波形鋼板ウェブとの接合部構造や鋼板フランジ部との取り合いに注意する必要がある。

(2) 外ケーブル（定着突起、偏向部）

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、PC鋼材がウェブに配置できないため外ケーブル構造（全外ケーブル構造、内外併用ケーブル構造）を採用することが多い。また、コンクリートウェブのPC箱げた橋と比べウェブ剛性が小さいことから、緊張力に対する応力伝達機構が異なり、鋼材定着による定着背面及び周辺部材（上下床版、ウェブ鋼板）に局部応力が発生するなど部材への負担が大きくなる傾向にある。

■ 代表的な課題・留意事項

外ケーブルPC鋼材は支点横げた部、定着突起及び中間隔壁に定着される。波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブ剛性が通常のPC箱げたと比較して小さいことから、PCケーブル定着部及び周辺部材（床版、ウェブ鋼板）に作用する応力が構造に悪影響（有害なひび割れや圧壊など）を及ぼすことが懸念される。そのため、その影響を適切に評価して安全性を検証しなくてはならない。

基本的な課題・留意事項の考え方は前述の内ケーブルの場合と同様であるが、外ケーブル構造の場合、鋼材一本あたりの導入張力が大きくなり、部材に与えるプレストレスの影響が大きくなることに注意が必要である。

■ 主な検証・評価項目

① 定着部、偏向部の形状、ケーブル配置及び部材寸法

- ・応力状態（応力伝達、局部応力の有無、定着部背面、偏向部の腹圧力など）
- ・横方向剛性への配慮（偏向部、中間隔壁）

② 周辺部材への影響の考慮の有無

- ・ウェブ鋼板、ずれ止め構造、床版、溶接部

③ 構造細目

- ・コンクリートの充填性、かぶり、鋼材のあき、定着具の縁端距離、用心鉄筋の配置
- ・施工性への配慮（PCケーブル組立（挿入・組立・緊張））

【解説】

外ケーブルに関する課題・留意事項の考え方は、基本的には前述の内ケーブルの場合と同様な点に配慮する必要がある。外ケーブル構造の場合、鋼材一本あたりの導入張力が大きく、定着具自体も大きくなる場合が多いため、プレストレスが部材に与える影響は大きい。そのため局部応力については、立体FEM解析を用いて十分慎重に検討されている事例が多い。

応力状態は、当該橋梁の条件（けた高、波形形状、床版厚、定着位置及び形状など）によって相違するため、その影響を考慮して部材に対する安全性を個々に検討する必要がある。

① 定着部、偏向部の形状、配置及び部材寸法

- ・応力状態（応力伝達、局部応力の有無、定着部背面、偏向部の腹圧力など）

外ケーブル構造の基本的な考え方は、ウェブ及び床版内にPC鋼材を配置せず、外ケーブルの張力や偏向力を格点構造（支点横桁、偏向部）によって主げたに円滑に伝達する構造である。

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブの軸方向剛性がコンクリートウェブを有する通常のPC箱げた橋に比べ極端に小さく、格点構造（定着部、偏向部）とウェブの拘束条件（ウェブによる支持条件）が相違するため、部材の応力状態は相違する。コンクリート部材に発生する応力状態は

通常のPC箱げた橋よりも大きくなる傾向があるため、部材に悪影響を及ぼさないか検証しておく必要がある。

- ・横方向剛性への配慮（偏向部、中間隔壁）

横げた及び隔壁（偏向部、中間隔壁）は、断面形状の保持や断面変形を拘束するために重要な部材である。また、定着部及び偏向部は横方向剛性、ねじり剛性にも寄与するため、主げた全体への影響に対しても配慮しなければならない。

② 周辺部材への影響の考慮の有無（ウェブ鋼板、ずれ止め構造、床版、溶接部）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブ剛性が小さいためケーブルの定着位置及び定着構造によっては、支圧、割裂、背面引張などの局部応力や、ウェブ鋼板及び床版とウェブの接合部に局部的な曲げやせん断力が作用することが指摘されている。ウェブ鋼板とフランジプレートに溶接を用いているような場合は、溶接部の設計においてこれらの局部応力も考慮に入れる必要がある。

③ 構造細目

- ・コンクリートの充填性、かぶり、鋼材のあき、定着具の縁端距離、用心鉄筋の配置

定着突起や偏向部の施工は、一般に配筋、ケーブルの定着により施工が煩雑となり易い部位である。そのため、コンクリートの充填性、かぶり、鋼材・シースのあき、定着具の縁端距離、用心鉄筋の配置などに注意する必要がある。

- ・施工性への配慮（PCケーブル組立（挿入・組立・緊張））

内ケーブルに比べ1本当たりのプレストレス量が大きくなる外ケーブルの緊張作業には、ケーブル組立作業に用いる設備やプレストレス導入に用いるジャッキ等の使用機材も大型となることから、作業性に十分配慮して鋼材配置を検討する必要がある。

【参考資料】

- 1) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（平成14年3月）6.6.7 PC鋼材の定着、日本道路協会
- 2) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（平成14年3月）6章 構造細目、日本道路協会
- 3) 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工基準（案）、プレレストコンクリート技術協会
- 4) 十河、尾崎、原、廣瀬、永元：小犬丸川橋の施工技術と施工管理、橋梁と基礎、2002.12 など

1.1.8 プレストレスの計算

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブが軸方向力に抵抗しないことでプレストレスを効率的に上下コンクリート床版に導入することを意図した構造である。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋と全断面コンクリートで形成される一般的なPC箱げた橋では、ウェブ挙動の相違からプレストレス力による応力伝達機構・分布性状が異なる。したがって、当該橋の構造条件に応じて適切にその影響を確認し、設計で考慮しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

① プレストレス分布性状に影響を与える要因

- ・鋼材種別（内ケーブル、外ケーブル、定着位置、定着方法、プレストレス量）
- ・定着部構造（形状、寸法、構造）
- ・断面構成（張出床版長、床版支間）
- ・波形形状・寸法
- ・主げた支持条件（支承条件） など

【解説】

波形ウェブ橋は、コンクリートウェブ橋に比べウェブ剛性の違いから上下床版へのプレストレスの影響が通常のコンクリートウェブ橋と異なることから、設計で想定するプレストレス力が適切に主げたに導入されているか検証しなければならない。

既往の関連資料では、通常の箱げたと同程度のプレストレスの分布となることが報告されているものもあるが、プレストレスの分布については、種々の構造条件に影響する。プレストレスの分布性状に影響を与える要因の代表的な項目を以下に示す。

- ・鋼材種別（内ケーブル、外ケーブル、定着位置、定着方法、プレストレス量）
- ・定着部構造（形状、寸法、構造）
- ・断面構成（張出床版長、床版支間）
- ・波形形状・寸法
- ・主げた支持条件（支承条件） など

当該橋の構造に応じて適切に評価し、設計で考慮することが必要である。

【参考資料】

- 1) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編、日本道路協会、平成14年3月
- 2) 波形鋼板ウェブ橋に関するQ&A、波形鋼板ウェブ合成構造研究会、平成14年6月

1.1.9 せん断力に対する検討

(1) せん断に対する安全性

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋のせん断耐荷力の照査では、全てのせん断力を波形鋼板ウェブで抵抗することとした手法で設計される場合が多い。

■ 代表的な課題・留意事項

主げたに作用しているせん断力に対しては、実際はウェブだけでなくコンクリート床版も負担しており、その分担率については設計される橋梁毎に異なることが報告されている。したがって、当該橋の構造条件に照らし合わせ設計手法の妥当性及び各部（ウェブ、継手部、接合部）の安全性を検証しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

- ① 波形鋼板ウェブの形状、寸法、材質
- ② 波形鋼板のせん断抵抗機構（せん断座屈モード）
- ③ 床版のせん断力分担率
 - ・各部材への影響（床版、コンクリートウェッジ部）

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の設計では、せん断剛性は波形鋼板ウェブのみを有効として算出し、全てのせん断力を負担するものとしている場合が多いが、実際はコンクリート床版がせん断力の一部を負担しており、既往の実績ではそれを考慮した設計手法も報告されている。しかし、それらの知見については道路橋示方書などの技術基準類で普遍化された手法は確立されていないため、個別に十分な検証を行うことが必要である。

① 波形鋼板ウェブの形状、寸法、材質

波形鋼板ウェブの形状、寸法及び材質は、波形鋼板ウェブPC箱げた橋の基本的な耐荷力と密接に関係している。例えば、溶接サイズやスタッド溶植に対して波形鋼板の板厚が薄い場合には、波形鋼板の面外はらみだしが大きくなり、溶接継手部の疲労強度ばかりか静的強度も著しく低下するなどの問題が発生する。したがって、波形鋼板の形状、寸法、材質の選定にあたっては、せん断耐荷力の照査に加え、曲げ加工方法、継手構造、接合部構造、溶接方法と品質との関連性を示し、要求される性能を確実に発揮できることを検証しなくてはならない。

② 波形鋼板のせん断抵抗機構（せん断座屈モード）

波形鋼板ウェブがせん断座屈すると橋梁としての機能が失われ、橋梁全体の安全性に悪影響を及ぼす。

折り曲げられた鋼板は、平鋼板と異なり座屈後の強度（耐力）が小さく、せん断座屈後は急激に耐力が低下する傾向があるなど、その耐荷力機構（例えば、局部座屈：波形鋼板を折り目間で独立した一枚の鋼板としたときの座屈現象、全体座屈：上下床版のコンクリート床版間で波形鋼板全体が座屈する現象、連成座屈：前述両者の複合作用）については明確になっていない。そのため、波形鋼板ウェブPC箱げた橋の設計に用いられるせん断抵抗機構に関する手法は、関連する

技術基準に依っている場合が多いが、設計で参照しようとする基準類に示される手法の根拠となる実験、解析、理論等の適用範囲が、検討対象となっている当該橋梁の部材の応力状態や部材寸法といった条件と一致することはほとんどないため、当該橋の設計にあたっては、採用しようとする設計手法が妥当であるかを検証し、条件の相違を適切に考慮して妥当性の検証を行う必要がある。

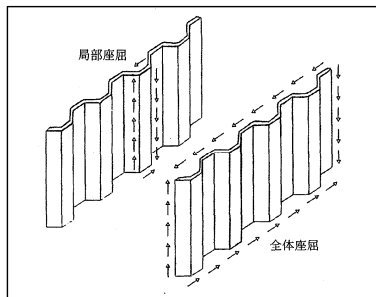


図-1.6 せん断座屈モードの概念図

③ 床版のせん断力分担率

波形鋼板ウェブが主げた断面に発生する全せん断力を負担するものとして設計を行っているが、実際はコンクリート床版がせん断力の一部を負担しており、その程度は2~3割となる場合が多い。その影響により床版、継手構造、接合部構造、スタッドなど各部に設計で想定していない応力が作用しないか検討し、設計の妥当性を検証しなくてはならない。

【参考資料】

- 1) 波形鋼板ウェブを用いたPC橋設計施工書(案)、(財)高速道路調査会、平成17年6月
- 2) 複合橋設計施工基準、プレストレストコンクリート技術協会、2005年11月
- 3) 山口、池田：波形鋼板をウェブに用いた複合プレストレストコンクリート桁の力学的挙動に関する研究、コンクリート工学論文集 第8巻第1号、1997.1
- 4) 鈴木、上東、永元：波形鋼板ウェブ橋のせん断座屈挙動に関する実験的研究、第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、プレストレストコンクリート技術協会、2003.10 など

(2) 継手部の照査

■ 特性

ウェブ鋼板の継手構造は、分割された波形鋼板同士を連結する重要な部材であり、ウェブの軸方向の力に対して抵抗しない特性を妨げず、期待するせん断耐荷力を有する部位である。

■ 代表的な課題・留意事項

継手構造には、波形鋼板ウェブの性能(軸力伝達、せん断耐力、耐久性)を所有していることを検証する必要がある。また、継手部の上下端近傍には、床版との剛性の相違によって応力が集中するため、溶接を用いている場合などはその影響を検証し、設計で考慮しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

継手部の検証に関わる代表的な項目は以下のようなものがある。

- ① 継手構造の選定(溶接継手、ボルト継手)
 - ・ ウェブ特性(軸力伝達、せん断耐荷力)
 - ・ 疲労耐久性(局部応力、溶接品質、疲労設計)
 - ・ 細部構造(スカラップ形状)
 - ・ 防せい防食手法
- ② 継手位置

【解説】

波形鋼板ウェブの継手には、鋼橋として一般的な溶接継手及び高力ボルト継手実績として多く採用されている。溶接継手としては、突き合わせ溶接あるいは重ねすみ肉溶接が多く、高力ボルト継手としては、波形鋼板ウェブにせん断が卓越する部材であることから、トルシア形高力ボルトによる一面摩擦接合が用いられている。

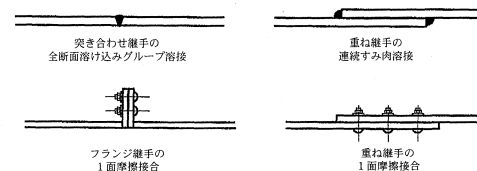


図-1.7 継手構造の例

① 継手構造の選定(溶接継手、ボルト継手)

- ・ ウェブ特性(軸力伝達、せん断耐力)

継手構造は、波形鋼板ウェブ同様、軸力に対して応力伝達を妨げないこと、せん断力に対して十分な耐力を有していることが必要である。

ウェブは、けたの剛性を確保するために上下コンクリート床版と剛結されるが、ウェブの上下端付近ではコンクリートの挙動に追随するため、剛性の相違から局部応力が発生する。また、活荷重の載荷によっても橋軸直角方向に変位を生じるような応力が負荷されることから、その影響について適切に評価し設計で考慮することが必要である。

- ・ 疲労耐久性、細部構造
鋼板の継目部に溶接（波形鋼板同士、波形鋼板と上下フランジ）を用いる場合には、継手形式（継手構造、溶接方法、スカラップ形状）に応じて活荷重の影響を考慮した疲労耐久性の照査が必要である。

溶接の品質に関する事項は、「道路橋示方書Ⅱ 17.4 溶接」の考え方が基本的に準用できる。これらの検討にあたっては、発生する応力状態は、部材寸法や架設方法など設計しようとする当該橋梁毎に異なるため、その影響を適切に考慮しなくてはならない。

スカラップ形状によって局部応力の発生程度は相違することから、形状寸法の選定に際しては注意が必要である。

- ・ 防せい防食手法
継手部の防せいは現場で塗装が施工される。塗装の品質に関する事項は「道路橋示方書Ⅱ 17.10 防せい防食」の考え方が準用できる。

継手構造や形状、施工時期、施工環境条件、検査方法、検査基準など十分な検討を行い、所定の品質が確保できるようにしなければならない。

ボルト接合の場合、床版付近に埋め込まれたボルトは腐食の可能性が高いため、防せいに配慮する必要がある。

② 継手位置

継手断面は構造上弱点となり得るため、せん断力の厳しい断面に継手を設けるのは極力避ける必要がある。けた高が高い場合でも、継手を水平に設け配置する手法はこれまでに検証されていない。

【参考資料】

- 1) 道路橋示方書・同解説 Ⅱ 鋼橋編、日本道路協会、平成14年3月
- 2) 水口、大浦、芦塚、滝ら：本谷橋の設計と施工、橋梁と基礎、1998. 9
- 3) 岩崎：波形鋼板ウェブの疲労に関する検討、橋梁と基礎、2002. 8

(3) 支点部付近の補強

■ 特性

主げたの支点部付近は、作用するせん断力が卓越し複雑な応力状態となるため、波形鋼板の座屈防止や局部応力の発生を抑えるため裏打ちコンクリートを施工するなど補強が必要となる場合が多い。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、主げたの支点部付近における応力状態やその力学的挙動が全断面コンクリートで形成される通常のPC箱げた橋とは大きく異なるため、支点部の設計に当たっては当該橋の条件に応じて適切な手法により安全であることを検証しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

支点部付近の設計にあたり、検証すべき主な項目を以下に示す。

① 応力状態に関する事項

- ・ 応力伝達機構（支承部への応力伝達、地震時挙動）
- ・ 床版の付加曲げ作用
- ・ せん断分担率（波形鋼板ウェブ座屈、コンクリート補強、床版）
- ・ 架設時の安全性

② 支点部補強構造

- ・ 補強方法（補強部材寸法、配筋、施工条件）
- ・ 補強コンクリートとの合成の方法、程度（ずれ止め構造）

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブが剛性の小さい鋼板で形成されているため、ねじり剛性や横方向剛性が小さく、地震力など支承部への応力伝達機構やけた断面内の応力分担が通常のPC箱げた橋と異なる。そのため、せん断力が卓越し、応力状態が複雑になりやすいため、波形鋼板ウェブの裏側にコンクリートを施し補強することが多い。しかし、その力学的挙動、耐荷機構、効果について詳細な実験・研究データが少なく、道路橋示方書などの技術基準で普遍化された手法は確立されていない。また、当該橋の橋梁構造毎に応力状態、影響の程度が異なるため、設計照査すべき項目、設計手法など橋梁の条件に応じて適切に評価する必要がある。

① 応力状態に関する事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の支点部はその応力状態を十分評価して適切に補強しなくてはならない。このとき、各部（波形鋼板ウェブ、床版、補強部位（裏打ちコンクリート）の応力状態、部材寸法、架設方法は、個々の橋梁の条件毎に異なることから、その安全性の検証を行う必要があることに注意する。

支点部付近の応力状態に関連して注意すべき代表的な項目を以下に挙げる。

・ 応力伝達機構

荷重の支承部への伝達機構や地震の影響が通常のPC箱げたとは異なることが考えられるため、その影響について検証する必要がある。

- ・ 床版の付加曲げ作用、せん断分担率（波形鋼板ウェブ座屈、コンクリート補強、床版）
波形鋼板ウェブは横方向剛性が小さいことから応力状態、照査する状態（地震荷重作用時、終局状態、活荷重による偏載荷状態）によっては、各部（床版、ウェブ鋼板）に付加的な応力が発生することや、平面保持の前提条件が成立しない場合があることが指摘されているため、それらが構造に悪影響を及ぼさないか検証する必要がある。

- ・ 架設時の安全性
架設方法、架設手順の違いによっても支点部付近に発生する応力状態は相違するため、各段階においてその安全性を検証する必要がある。

② 支点部補強構造

波形鋼板ウェブの支点部付近では、波形鋼板の座屈防止や床版に対する付加曲げ応力を発生させないよう補強により対処している事例が多い。

留意すべき代表的な留意点を以下に挙げる。

- ・ 補強方法（補強部材寸法、配筋、施工条件）
補強コンクリートを施工する場合、その部材寸法によっては、外ケーブル構造との取合いや自重増など主げた構造全体に影響する事も考えられる。
- ・ 補強コンクリートとの合成の方法、程度
波形鋼板と補強（裏打ち）コンクリートは合成部材として設計されていることが多く、その合成の方法、程度と耐荷力の関係などを検証することが必要である。

【参考資料】

- 1) 川邊、忽那、安里、富田：波形ウェブ橋における裏打ちコンクリートの力学的挙動、プレストレストコンクリート・シンポジウム論文集、2004

1.1.10 接合部（ずれ止め構造）

■ 特性

波形鋼板ウェブとコンクリート床版の接合部は最も重要な部位であり、ずれ止め構造により剛結することで主げたが合成断面として一体化し、その性能を発揮する。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブとコンクリート床版が主げたとして機能するためには、ウェブと上下床版が一体となって断面剛性を確保していることが主げたの耐荷力機構の前提となっている。したがって、設計にあたっては、採用しようとする接合部構造が所要の剛性、耐荷力、耐久性などの性能を確保しているか検証する必要がある。

■ 主な検証・評価項目

検証すべき代表的な項目を以下に示す。

- ① ずれ止め構造の機能
 - ・ 作用力の伝達（活荷重の影響）
 - ・ ウェブと床版の合成の方法・程度
- ② 耐荷力性能
 - ・ 床版作用
 - ・ 水平せん断力
- ③ 疲労耐久性
 - ・ 鋼材の影響
 - ・ 溶接部
- ④ 傾斜ウェブの影響
- ⑤ 施工性への配慮
 - ・ 鋼材の取合い（貫通鉄筋、床版配筋、PC鋼材（横締めケーブル、定着具））
 - ・ コンクリート充填

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の設計では、橋軸方向の曲げ及び軸力に対してはコンクリート部材のみが抵抗し、せん断力に対しては波形鋼板ウェブが耐荷力に寄与している。接合部構造はその異なる性状・剛性の部材を接合し、主桁断面として一体化した合成效果を確実に発揮できる性能を有する必要がある。これまで個々の検討によりいくつかの接合部構造が開発されており、その代表的な事例を以下に記載する。波形鋼板ウェブ橋PC箱げた橋のウェブ鋼板と床版の剛結に用いるずれ止め構造のうち、波形鋼板を直接コンクリートで被覆する埋込み接合は、波形鋼板ウェブPC箱桁橋特有な接合構造であり、また、スタッドについても波形鋼板特有の挙動により、鋼橋（I桁断面）で用いられる一般の設計手法の適用範囲にはないことに注意が必要である。そのため、既往の解析や実験結果を参考にしようとする場合には、知見と当該橋梁の構造条件との関係を明確にした上で、適切に許容値等を設定する必要がある。

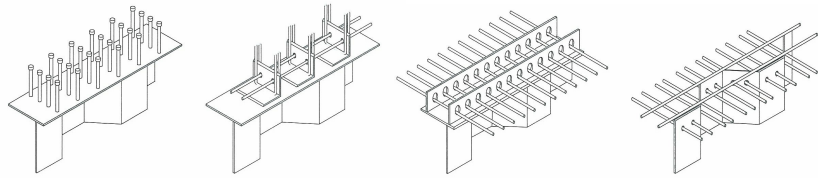


図-1.7 波形鋼板ウェブ橋のずれ止め構造の例

① ずれ止め構造の機能

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブと上下床版が一体となって合成されることが主げた耐荷力機構の前提となっている。作用力の伝達、ウェブと床版の合成の方法や程度によっては、設計で前提としている平面保持の仮定が成立しない事も考えられる。したがって、設計上必要な剛性が確保されていること、及びウェブと上下コンクリート床版が合成される構造となっていることを照査する必要がある。

② 耐荷力性能

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、通常の鋼プレートガーダー橋のウェブよりも橋軸直角方向の剛性が高いため、波形鋼板とコンクリート床版の接合部も剛であれば、床版に輪荷重等が作用した場合、接合部には比較的大きな橋軸直角方向の曲げモーメントが発生する。したがって接合部では、橋軸方向の水平せん断力に加え、橋軸直角方向の曲げに対しても所要の性能を確保していることを検証する必要がある。ずれ止めの設計耐力の算定方法は、ずれ止め構造の種類毎に実験等に基づいて強度評価式が提案され、研究が進められているものの、系統的な評価方法の確立にまでは至っていない。したがって、継手部の耐荷力性能の根拠となった知見（解析、実験データ、実験方法など）と当該橋梁の条件を確認し、その適合性を検証しなくてはならない。

③ 疲労耐久性

コンクリート床版と波形鋼板ウェブの接合部、特にフランジプレートによって軸力が拘束されている場合、局部的に応力が集中することが懸念される。また上床版については、床版のたわみ変形に対しての抵抗機構から、面外の交互曲げ作用により引張と圧縮の交番応力が発生するため、溶接を用いている部分の疲労耐久性について検証を行う必要がある。

④ 傾斜ウェブの影響

傾斜ウェブとした場合、その程度、寸法、構造条件（幅員構成、施工方法など）により接合部の細部構造（溶接、フランジ付根など）に発生する応力が直ウェブの場合と相違するため、個々の橋梁の条件に照らし合わせその影響について検証を行う必要がある。

⑤ 施工性への配慮

接合部構造は床版に格納され波形鋼板ウェブに貫通鉄筋を配置することで構造としての機能を確保するなど、床版の配筋、PC鋼材、定着具との取合いが煩雑となる。そのためコンクリートの充填性など、接合部構造の施工性が確保されているか十分配慮しなくてはならない。

【参考資料】

- 1) 阿田、町田、溝江、落合：波形鋼板ウェブPC橋の梁試験体を用いた静的載荷・疲労試験、第10回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、プレストレストコンクリート技術協会、2000.10
- 2) 鈴木、上東、永元：波形鋼板ウェブ橋のせん断座屈挙動に関する実験的研究、第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、プレストレストコンクリート技術協会、2003.10
- 3) 角谷、池田：長支間を有する波形鋼板ウェブPC橋の波形鋼板とコンクリート床版の新しい接合構造について、プレストレストコンクリート Vol145, No. 3、プレストレストコンクリート技術協会、2003

1.1.11 上床版の設計

■ 特性

上床版の設計においては、波形鋼板ウェブに支持された床版であることを考慮し、波形鋼板の接合構造、横方向剛性を考慮して床版の設計曲げモーメントを割り増して設計する事例が多い。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブの形状や床版との接合構造によって床版の結合条件、ウェブの横方向剛性が通常のコンクリートに支持された床版と相違するため、その相違点を考慮した設計を行い、床版構造に要求される性能を満足することを検証する必要がある。

■ 主な検証・評価項目

① 設計手法の妥当性

- ・ ウェブ剛性（床版支間、波形鋼板形状、接合部構造）
- ・ 支持条件（支点条件（ずれ止め構造）、ウェブ剛性）
- ・ 安全余裕の見込み

② 疲労耐久性

- ・ 応力状態
- ・ 変形性状

【解説】

道路橋示方書では、床版構造に関連する規定の多くが経験的に定められていることから、みなし適合仕様として示された床版設計の解析手法、算出式（設計曲げモーメント式）などの適応にあたっては、その前提条件の相違を考慮し道路橋示方書の基準で見込んでいる安全余裕が同等にあるかなど、その影響を適切に考慮して妥当性の検証を行わなければならない。

① 設計手法の妥当性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、ウェブの横方向剛性が小さいことから床版の変形が大きくなる傾向にあり、T活荷重による横方向曲げモーメントの算出方法として、道路橋示方書に規定する値より割り増して（連続版の設計曲げモーメント：単純版の80%（道路橋示方書）→単純版の90%）設計する事例が多い。しかしその影響は、床版支間、波形鋼板形状（波長、材質、寸法、板厚）、接合部構造による合成の程度などにより異なるため、参照しようとする設計手法の知見のもととなった解析及び実験データと当該橋梁の構造条件との関係を確認し、設計手法の適応性について十分に検討する必要がある。

② 疲労耐久性

床版構造では、応力状態、変形性状が疲労耐久性に及ぼす影響が大きい。波形鋼板ウェブの横方向剛性が小さいことが、床版の発生応力及び変形を大きくするため、床版の設計にあたってはその影響を適切に評価し、所要の疲労耐久性が確保されるよう設計する必要がある。

【参考資料】

- 1) 水口、大浦、芦塚、滝ら 本谷橋の設計と施工-張出し架設工法による波形鋼板ウェブPC箱げた橋 橋梁と基礎 1998. 2

1.1.12 その他

(1) 下床版角折れ部

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、波形鋼板製作コスト、経済性及び施工性の観点から、等けた高区間を長くすることがあるため、断面変化を直線的な角折れにより対処する場合がある。

■ 代表的な課題・留意事項

けた高変化の角折れ部では、主げた断面が急変することにより下床版に応力が集中するため、その影響を適切に評価し安全性を検証しなければならない。

■ 主な検証・評価項目

① 断面変化（角折れ部）対策

- ・ 隔壁リブ配置
- ・ 断面変化の方法（曲線形状）
- ・ 下床版内ケーブル配置（腹圧力の影響）

【解説】

けた高が直線的に角折れ変化する場合、変化点の下床版に配置されるプレストレス、断面変化の急変に伴う応力集中により床版にひび割れが発生する場合がある。したがって、断面変化による応力集中に対しては、適切に評価しその安全性について検証する必要がある。

断面変化（角折れ部）における応力集中を緩和するための対策事例について以下に挙げる。

① 断面変化（角折れ部）対策

- ・ 隔壁リブ配置
主げた断面の角折れ部に、隔壁を設けて断面剛性を確保する。
- ・ 断面変化の方法（曲線形状）
断面変化を曲線形状として、断面変化点の応力集中を緩和する。
- ・ 下床版内ケーブル配置（腹圧力の影響）
下床版、内ケーブルの鋼材配置が一箇所に集中することがないようにし、なるべく部材厚（ケーブルシースまでのかぶり厚）が大きい部位に配置する等の配慮を行う。

なお「道路橋示方書Ⅲ10.5 構造細目」に示しているように、角折れ部でなくても下床版鋼材配置の量、下床版部材厚によっては腹圧力の影響によりひび割れが入ることが懸念されるため、設計の段階でその安全性を検証しなくてはならない。

【参考資料】

- 1) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（10.5 構造細目 図-解 10.5.3 桁高の変化による偏向力）、日本道路協会、平成 14 年 3 月

(2) 温度応力によるひび割れ対策

■ 特性

波形鋼板ウェブとコンクリート床版の埋め込み接合部付近では、打設後のコンクリート温度が水和熱により上昇する際、熱伝導率の相違からコンクリートの熱を吸収することが考えられる。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の主要となる構造（接合部構造、床版）にひび割れが発生した場合、主げた全体として設計の前提としている断面剛性、耐荷力、耐久性に悪影響が生じるため、慎重に検討する必要がある。

■ 主な検証・評価項目

温度応力によるひび割れについて検証すべき主な部位、項目を以下に示す。

① 温度応力ひび割れへの配慮

- ・ 横げた部（柱頭部、端支点横桁部）
- ・ ウェブと床版接合部付近
- ・ 施工方法（架設工法、材料、養生）

【解説】

セメントの水和熱に起因する温度応力の要因については、「道路橋示方書Ⅲ 19.6 コンクリート工 (8) マスコンクリート」に解説されており、代表的な部位としては柱頭部、端支点横桁部が該当する。

また、波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、打設後のコンクリート温度が水和熱により上昇する際、熱伝導率の大きな波形鋼板がコンクリートの熱を吸収することで、波形鋼板と接する周辺のコンクリート温度が低下することが考えられる。コンクリート内に温度差が生じると温度応力が発生し、ひび割れが生じることが懸念される。

特に、下床版の接合部付近に関しては、ひび割れが発生した場合水分の浸透により鉄筋や波形鋼板等の腐食につながるため、ひび割れに対しては十分な検討を行う必要がある。

【参考資料】

- 1) 梅田、亀田、中沢、阿田、西澤：北陸新幹線黒部川橋梁の設計・施工、プレストレストコンクリート、2003.3

(3) 波形鋼板への付加物の取付け・マンホールの設置

■ 特性

排水管や吊り足場等を設置するため、波形鋼板に金具の溶接や貫通孔を設ける場合がある。

■ 代表的な課題・留意事項

付加物の取付けにおいて、波形鋼板ウェブの断面欠損（貫通孔）や金具の溶接を伴う場合、波形鋼板ウェブに要求される性能に悪影響を及ぼさないか検証しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

① ウェブ鋼板の貫通孔

- ・ 開口部の補強方法
- ・ 設置位置、寸法の影響

② 金具の溶接

- ・ 疲労設計
- ・ 溶接方法
- ・ 取付け位置への配慮（曲げ加工部）

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の計画において付帯設備を設置するために、やむをえずウェブ鋼板に開口を設けたり、設計では考慮していない付属金具（施工時に用いる金具、つり足場用吊金具など）を溶接により取り付ける際は、それが波形鋼板ウェブの品質に悪影響を及ぼさないか検討し、必要であれば補強を行わなければならない。

① ウェブ鋼板の貫通孔

波形鋼板ウェブ橋の計画において、排水管等を波形鋼板ウェブを貫通させて箱桁内部に配置するために、ウェブ鋼板を切り欠き貫通孔を設けることがあるが、ウェブのせん断座屈耐力や疲労耐久性を低下させることから極力避けるのが望ましい。やむを得ず波形鋼板に孔をあける場合は、活荷重や施工時荷重など、各段階における応力状態を十分に考慮して安全性を検討しなくてはならない。

設置位置、開口寸法、個別の架設条件によって応力状態は相違するため、FEM解析などにより検討している事例が報告されている。

② 金具の溶接

施工時の波形鋼板ウェブまたは型枠の固定や維持管理段階で使用する足場設置のために、ウェブ鋼板に金具を溶接により取り付ける場合がある。その際、溶接方法、サイズによっては残留ひずみが発生するなど波形鋼板の品質に悪影響を与えるため、曲げ加工部など弱点となるような箇所溶接を避けるなど、慎重に検討する必要がある。

また、主部材に取付けられる溶接継手については、本体部材として疲労設計を行い、疲労耐久性が満足されるようにしなくてはならない。

(4) 衝撃係数

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の設計実績では、PC橋の衝撃係数を用いている場合が多い。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、曲げ剛性に寄与するコンクリート部材が上下のコンクリート床版のみであり通常のPC箱げた橋に比べ曲げ剛性が小さいため、衝撃係数は構造特性に留意し適切な値を用いなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

① 衝撃係数に関わる要因

- ・ 支間長
- ・ 構造特性（曲げ剛性、たわみ性状）
- ・ 死荷重と活荷重の比 など

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の設計では、一般にはPC橋の値を用いている実績が多い。中規模橋梁の径間部において、PC橋の衝撃係数よりも小さい値を示した実験結果も報告されているが、実際に本橋梁形式について検討されている研究は少ない。また既往の研究においても、波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、PC橋よりも鋼橋に近い衝撃係数であること、短径間長においては道路橋示方書の値より若干大きな値を示している点から、設計しようとする当該橋梁の条件を考慮して適切な衝撃係数を用いているか検証する必要がある。

また、検証に際しては、既往の実験及び解析の適用範囲や検討対象の当該橋梁の条件との整合性、適用可能性について十分に検討し、条件の相違を適切に考慮して妥当性の検証を行う必要があることに注意しなければならない。

① 衝撃係数に関わる要因

「道路橋示方書 I 2.2.3 衝撃」で示している衝撃係数は、各構造物の実態を考慮し、かつ諸外国の規定も参考として衝撃係数の算定式を定めている。この衝撃係数は主に以下の事項によって異なるため、適切に考慮しなくてはならないことに注意する必要がある。

- ・ 支間長
- ・ 構造特性（曲げ剛性、たわみ性状）
- ・ 死荷重と活荷重の比 等

【参考資料】

- 1) 立神、上平、本田、梶川：車両走行による波形鋼板ウェブPC橋の動的応答と衝撃係数に関する研究、第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、プレストレストコンクリート技術協会
- 2) 複合橋設計施工規準 PC技術基準シリーズ（社）プレストレストコンクリート技術協会 編、技法堂出版、2005

1.1.13 耐震設計

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の地震時の挙動は、ウェブの剛性が小さいため通常の全断面コンクリートウェブの箱げた橋と相違する。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブにせん断座屈が生じた場合、構造物の機能が失われるため、要求される耐震性能を満足しているか検証しなければならない。

■ 主な検証・評価項目

① 地震時の挙動の検証

- ・ 安全性の検証（せん断座屈、上部工の塑性化）
- ・ 面外方向地震力の耐震性能

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の耐震設計の考え方は、基本的に「道路橋示方書V」に準拠するものとするが、ウェブに波形鋼板を使用していることから通常のコンクリートウェブと比較して曲げ剛性、面外方向の剛性が小さいため、地震時には通常の箱げた橋と異なる挙動を示す。したがって、設計にあたってはその影響を考慮して設計する必要がある。

① 地震時の挙動の検証

・ 安全性の検証

一般に、波形鋼板を用いることで主げた自重が軽減するため耐震性能上有利と考えられているが、ラーメン橋などでは地震時の挙動が複雑となること、また曲げ剛性が小さいことから、地震時は下部工のみならず上部工も塑性化しやすく、波形鋼板ウェブにせん断座屈を生じた場合には、橋梁としての機能が失われる。したがって波形鋼板ウェブPC箱げた橋の特性を適切に評価し、所要の耐震性能を確保していることを検証する必要がある。

・ 面外方向地震力の耐震性能

波形鋼板ウェブ橋は、コンクリートウェブ橋と比較して橋軸直角方向の剛性が小さいため、特に狭幅員の場合には耐震性能への影響が大きくなる。当該橋梁の設計条件・構造に応じて影響を適切に評価して設計で考慮することが必要である。

【参考資料】

- 1) 水口、大浦、芦塚、滝、古田、加藤：本谷橋の設計と施工—張出し架設工法による波形鋼板ウェブPC箱桁橋—、橋梁と基礎、1998、9

1.1.14 維持管理計画

■ 特性

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、ウェブ部分に波形鋼板を用いていることから損傷する部位、各部（継手部、上下コンクリートとの接合部）の重要度が通常の全断面コンクリートウェブの箱げた橋と異なる。また、当該橋梁毎の条件によってウェブ鋼板の防せい防食手法など（耐候性鋼材、塗装仕様など）の採用が異なることから、構造によって異なる損傷を想定しそれに応じた維持管理計画に反映する必要がある。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋において、ウェブ鋼板の損傷、劣化は橋梁全体の健全性に大きな影響を及ぼすため、適切な維持管理が実施できるよう計画する必要がある。

■ 主な検証・評価項目

① 維持管理計画

- ・ 点検の方法（日常点検、定期点検、異常時点検などの着目項目、頻度）
- ・ 管理基準（部材区分、異常の確認方法、判定基準、対応策）
- ・ 防せい防食手法と更新方法

【解説】

長期にわたる耐久性を維持するためには、維持管理・点検が必要である。あらかじめその手法及び判定基準（維持管理段階における異常（変状）の検出方法など）を定め維持管理計画に反映しなくてはならない。

① 維持管理計画

波形鋼板の防せい機能の点検や塗装の更新のためには、ウェブ鋼板の各部に近接することが必要となるため、設計において点検手法や塗装作業足場の設置など、維持管理方法を反映しておくことが必要である。

維持管理計画において、検討しておかなくてはならない代表的な項目について以下に示す。

- ・ 点検の方法（日常点検、定期点検、異常時点検などの着目項目、頻度）
通常のPC箱げた橋と特性が異なるため、波形ウェブ特有の点検項目を定める必要がある。
- ・ 管理基準（部材区分、異常の確認方法、判定基準、対応策）
部材の損傷、劣化を想定して維持管理段階で健全性を判定する管理基準をあらかじめ定め、点検段階で損傷劣化が確認された場合の対処法もあらかじめ考慮しておく必要がある。
波形鋼板ウェブ特有の性質から着目すべき代表的な部位について以下に示す。
 - ・ 波形鋼板の防せい防食
 - ・ 波形鋼板同士の継手部
 - ・ 床版との接合部の腐食
 - ・ 溶接部の疲労
 - ・ ケーブル定着突起周辺

・ 防せい防食手法と更新方法

波形鋼板の防せい仕様は耐久性、施工性、維持管理性を考慮して選定する必要があり、塗装仕様の場合、更新時期、方法などを設計段階で考慮しておく必要がある。

またウェブ鋼板とコンクリート床版の接合部に施している止水材の耐久性・耐用年数なども考慮して、埋め込まれた鋼部材の劣化がないように留意する必要がある。

1.2 施工編

1.2.1 総則

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の施工に際し、「設計編」にもとづいて所要の性能が満足されることが検証された設計に対して、所要の施工品質が確保されるよう、施工の各段階に対して求められる事項のうち代表的なものについて示す。

なお、本編には道路橋示方書に定めのある事項や波形鋼板ウェブPC箱げた橋に特有でない事項については記述していないものがある。これらについては関連する技術基準類等を適宜参照して当該橋の条件に応じて適切な施工がなされる必要がある。

【解説】

「施工編」では「設計編」にもとづいて所要の性能が満足されるとみなせる設計が行われた橋梁の施工を念頭に、それらの設計内容の前提となる所要の施工品質ができるだけ確実に得られることを意図して、施工の各段階で守られるべき事項、検討すべき事項、検査等によって確認すべき事項などの必要な行為の代表的な項目について抽出したものである。

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、その構造的特徴から、各部材や材料に要求される品質や機械的特性、応力状態などが一般的な全断面コンクリートからなるPC箱げた橋とは必ずしも同じでない部分がある。また道路橋示方書などの関連する技術基準類には確立した設計手法、施工方法が示されていない要因も備えている。これらのうち代表的なものには次のものがある。

- ・ 波形鋼板ウェブの耐力
- ・ 波形鋼板ウェブの継手性能
- ・ 波形鋼板ウェブの疲労耐久性
- ・ ウェブ鋼板と上下フランジコンクリートとの接合部の性能

このため「設計編」では、それぞれの橋梁の条件に応じて、これらの項目について既往の知見等を適切に用い、所要の性能が満足されることを設計において検証することを求めた。

一方、設計で要求した部材等の性能が満足されるためには、設計において前提とした施工品質が得られることが条件であり、このことは道路橋示方書にも規定されている。

1.2.2 一般的事項

■ 施工品質に関する要求水準の設定

本編でいう施工品質とは、材料や部材が設計された性能を発揮できるための前提となった、材料選定、材料加工、輸送、架設の各段階に対する施工条件や精度管理の要求、検査方法等の項目とその水準を意味している。

これらが満足されることが、設計で意図した性能が発揮されることの前提となるため、設計において用いる各種の許容値、材料や部材の信頼性の程度に応じた適切な施工方法等の条件、精度管理基準、検査基準をあらかじめ設定し、これによる施工が確実に行われるようにしなければならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋に特有な項目については、道路橋示方書などの既往の基準によらず橋梁条件毎に適切に施工品質の要求水準を定めることが必要となる。

■ 主な検証・評価項目

- ① 波形鋼板の形状・寸法・材質
- ② 波形鋼板と上下床版の合成の方法・程度
- ③ プレストレス（導入方法・量、定着部・偏向部の構造・配置、クリープの影響）
- ④ 鋼板ウェブの接合方法と鋼部材の疲労設計（品質、許容値、検査基準）
- ⑤ 配筋にかかる構造細目（格点（定着・偏向）、鋼板との合成構造）
- ⑥ 維持管理性

【解説】

① 波形鋼板の形状・寸法・材質

ウェブの波形鋼板の部材としての基本的な特性は、過去に旧JHなどを中心に実験や解析による検討が行われ明らかにされてきている。

一方、道路橋示方書では多数の実験の結果などから基本的なI断面等の耐力については許容値が規定されており設計における部材の安全性の根拠となっているが、波形鋼板など特殊な鋼部材に関しては規定されていない。

鋼部材の耐力（曲げ、せん断、圧縮、座屈など）については、部材の材質、形状、寸法、初期不整の程度、加工の影響（残留応力や溶接等によるひずみ）などが複雑に関係しており、基準類に定めのない部材を設計で用いる場合には、加工等の施工の影響を考慮した上で当該橋で用いられる応力条件や支持条件（上下端の固定の影響の程度）、部材形状（変断面や傾斜、波形の形状及び寸法）、部材寸法等も考慮して、既往の知見との関係を明確にした上で適切に許容値等を設定する必要がある。

また、施工にあたっては設計で前提とした条件が満足されるように、加工の条件、部材寸法精度管理基準をあらかじめ設定しておかなければならない。

② 波形鋼板と上下床版の合成の方法・程度

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、ウェブの軸方向の剛性を無視できることを前提として設計が

行われるが、上下床版との固定の影響によりウェブ鋼板の上下端に近い領域では実際には軸方向に大きな応力が発生し、また床版作用によって三次元的に複雑な応力状態が生じる。そしてこれらの程度と設計の仮定との整合性については、設計において床版とウェブ鋼板の固定の影響として考慮、検証されているべきであるが、施工にあたってはその前提が満足されるように施工される必要がある。

ウェブ鋼板の床版との接合部の施工では、架設用部材や構造細目的な配慮から設計で考慮されていない鉄筋等の配置が検討されることがあるが、接合部の部材剛性、床版とウェブ鋼板との合成の程度が設計の前提を満足できることを確認して構造や施工方法を決定しなければならない。

③ プレストレス（導入方法・量、定着部・偏向部の構造・配置、クリープの影響）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、ウェブの軸方向の剛性を無視できることを前提として設計が行われ、外ケーブルにより偏向部から導入される応力の影響は主として上下フランジや隔壁にのみ生じるものと仮定されている。しかし実際には上下床版と鋼板ウェブが剛に固定されている影響からウェブ鋼板の上下端に近い領域では実際には軸方向に大きな応力が発生し、また床版作用によって三次元的に複雑な応力状態が生じるなど、プレストレスが鋼板の応力状態に及ぼす影響は橋梁構造毎にそれぞれ異なり一概ではない。

一方、ウェブとしてのせん断耐荷力や座屈耐荷力には鋼板の初期応力が影響するため、設計においてはプレストレスの導入の影響を適切に考慮して部材の設計がなされなければならない。

したがって、施工にあたっては、導入されるプレストレスの効果（と影響）が鋼板ウェブや床版あるいは桁全体として設計の前提と整合するような施工方法（プレストレス導入の方法、手順、施工管理基準）についてあらかじめ詳細を定め、これによる施工が行われなければならない。

④ 鋼板ウェブの接合方法と鋼部材の疲労設計（品質、許容値、検査基準）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、ウェブの軸方向の剛性を無視できることを前提として設計が行われるが、上下床版との固定の影響によりウェブ鋼板の上下端に近い領域では実際には軸方向に大きな応力が発生し、また床版作用によって三次元的に複雑な応力状態が生じる。そのため鋼板の接合に用いられる溶接継手、ボルト継手に対しては設計においてこれらを考慮した疲労設計が行われる必要がある。

疲労設計においては、継手形式と応力振幅など応力性状のみならず、許容される内部きずの大きさや入熱の程度、溶接材料など種々の溶接品質に関する制限事項が前提条件となっているため、施工にあたってはこれらの条件が満足されるように施工方法や手順、品質管理基準を定めてこれを実行する必要がある。

なお、ウェブ鋼板の床版との接合部ではコンクリートに埋め込まれる部分にもずれ止めやフランジ鋼板などが溶接されることが多く、これらの鋼部材の継手もすべて疲労耐久性の検証とそれを満足する施工の条件の設定が必要となることに注意しなければならない。

さらに、施工のための架設補強部材、吊りピースなどが鋼板ウェブに設けられることがあるが、残置されるすべての溶接継手については本体部材としての疲労耐久性が満足されるようにしなければならないが、撤去する場合にも本体にわれや凹凸、キズ等の欠陥を残さずかつ疲労耐久性が問題とならない程度まで溶接部を切除して平滑に仕上げるなど撤去跡が疲労耐久性上の弱点とならないようにしなければならないことに注意が必要である。

⑤ 配筋にかかる構造細目（格点（定着・偏向）、鋼板との合成構造）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、ウェブの軸方向の剛性を無視できることを前提として設計が行われるが、上下床版との固定の影響によりウェブ鋼板の上下端に近い領域では実際には軸方向に大きな応力が発生し、また床版作用によって三次元的に複雑な応力状態が生じる。そしてこれらの程度と設計の仮定との整合性については、設計において床版とウェブ鋼板の固定の影響として考慮、検証されているべきであるが、施工にあたってはその前提が満足されるように施工される必要がある。

ウェブ鋼板の床版との接合部、偏向部や隔壁など格点部では、床版や桁の上下フランジとしての鉄筋と、接合部としての鋼材が輻輳しがちである。さらに架設用部材や構造細目的な配慮から設計で考慮されていない鉄筋等の配置が検討されることがあるが、接合部の部材剛性、床版とウェブ鋼板との合成の程度が設計の前提を満足できることを確認して構造や施工方法を決定しなければならない。

⑥ 維持管理性

供用後の維持管理の方法（点検方法、頻度、地震等災害時に求められる供用性の条件、防食機構などの更新や補修補強工事を行う場合の供用性確保の条件など）は橋毎に異なるため、維持管理性については設計段階において関係者間で適切に検討しておく必要がある。

施工にあたってはこれらの条件に支障をきたす恐れがないことを確認し、支障をきたす恐れのある場合には速やかに対策を検討する必要がある。

特に通常のPC箱げた橋と異なり、主部材として鋼部材が用いられていることから、疲労に関する溶接部の点検やボルトのゆるみ等ボルト接合継手の点検など、鋼橋としての維持管理も必要となることに注意が必要である。

1.2.3 施工順序

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の施工にあたっては、所要の構造性能及び品質が得られるように適切な施工順序によるとともに、工程の各段階において品質確保に十分な配慮を行わなければならない。

- ①架設時の安全性（安全余裕（応力、安定））
- ②鋼部材の残留応力（継手部、鋼板ウェブと上下フランジの接合部）
- ③架設用補強・補剛の影響（応力、残置部材、撤去部材）

【解説】

施工順序は、各工種毎の関係を十分に考慮検討し、各施工段階において所定の品質が得られているかどうか確認できるものでなくてはならない。

本書では、代表的な以下の施工順序（図-2.1）を前提とした波形鋼板ウェブPC箱げた橋に特有な事項について、各施工段階において留意すべき事項、橋梁毎に妥当性の検証が必要な事項等について挙げた。

したがって、ここに挙げている施工手順以外の工程や特殊な架設工法によって施工する場合には、本書に準拠することが適切でない可能性がある。よってそのような場合には、本ガイドラインの適用の可否を検討した上で必要に応じて準用することが望ましい。

① 架設時の安全性（安全余裕（応力、安定））

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、架設途中の応力状態に応じて次の項目が所要の条件を満足しない場合には、部材として不安定になるなど架設時応力に対する安全余裕が確保されない恐れを生じやすい。

- ・断面の併合等による断面剛性の確保
- ・隔壁等による桁部材としての断面剛性の確保
- ・所要のコンクリート強度の発現とプレストレスの導入

したがって、架設途中段階では、完成系では必要でない支保工等による支持、架設時プレストレスの導入、断面形状保持部材等による断面補剛が行われることが多い。

これらの架設方法の検討では、当該橋梁の架設工程、架橋条件に応じて適切な外力設定と各段階における安全余裕の確保ができることを検証し、架設精度管理基準や架設手順としてあらかじめ設定しておき、施工に反映する必要がある。

② 鋼部材の残留応力（継手部、鋼板ウェブと上下フランジの接合部）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、ウェブの軸方向剛性を無視することを前提として設計が行われるが、上下コンクリート床版との剛性の違いにより実際には、接合部近傍には複雑な応力が発生する場合があります。施工段階の架設方法によっては架設時の変形が波形鋼板に付加的な応力を生じる。また、鋼材に溶接を用いている場合には溶接の施工による残留応力が影響して疲労耐久性に影響を与える。それら設計段階で考慮して検討している仮定と、実際の施工品質、架設による外力設定が大きく異なる場合には、設計で考慮されていない応力を架設後に残さないように施工しなければならない。

③ 架設用補強・補剛の影響（応力、残置部材、撤去部材）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の架設途中段階には、断面の剛性が確保されていないことから形状保持のために完成系では撤去する補剛材を取付け架設するが多い。その取付け金具や治具等は溶接によりウェブ鋼板に設置されることから、残置・除去する場合には残留応力やキズ等が塗装や母材の品質に悪影響がないよう配慮しなくてはならない。

これらの架設設計においては、当該橋梁の架設工程、架橋条件に応じて適切な外力設定と各段階における安全余裕の確保ができることをあらかじめ検証し、架設計画に反映する必要がある。

【参考資料】

- 1) 十河、尾崎、原、廣瀬、永元：小犬丸川橋の施工技術と施工管理、橋梁と基礎、2002.12
- 2) 村尾、宮内、毛利、田中、佐川、西村：信楽第七橋、津久見川橋の設計と施工、橋梁と基礎、2004.2 など

【波形鋼板ウェブPC箱げた橋施工順序の例】

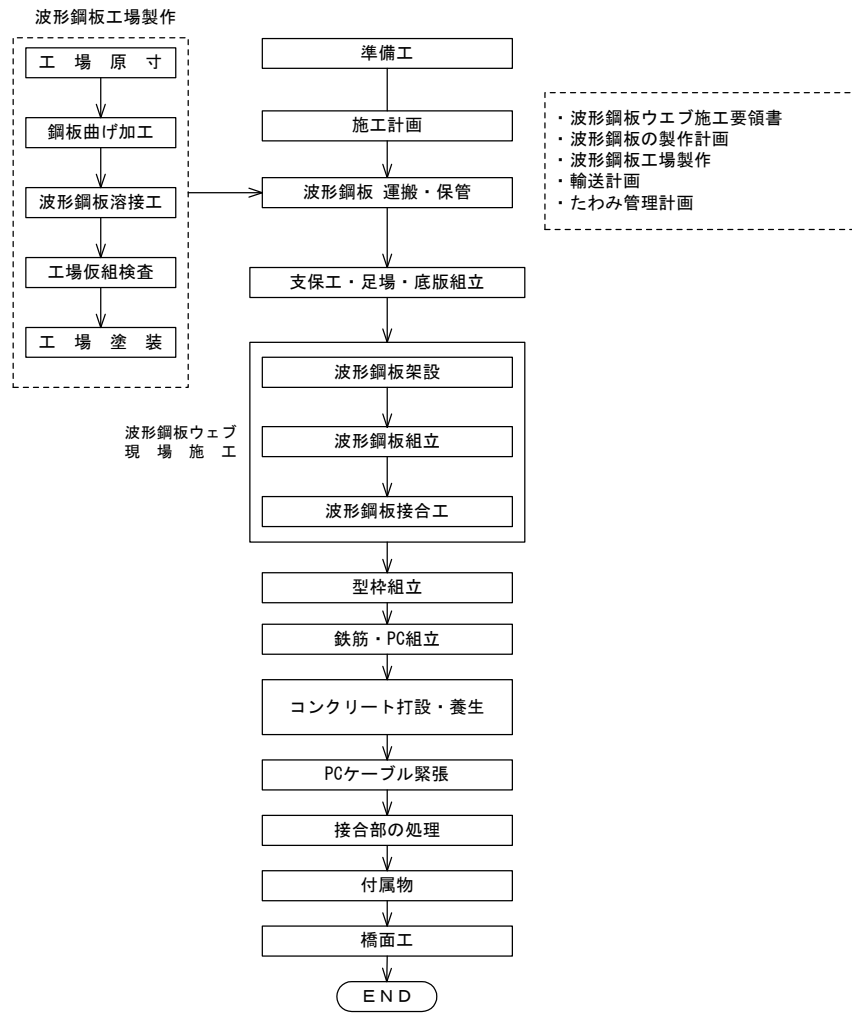


図-2.1 波形鋼板ウェブPC箱げた橋施工順序の例

【場所打ち支保工架設の例】

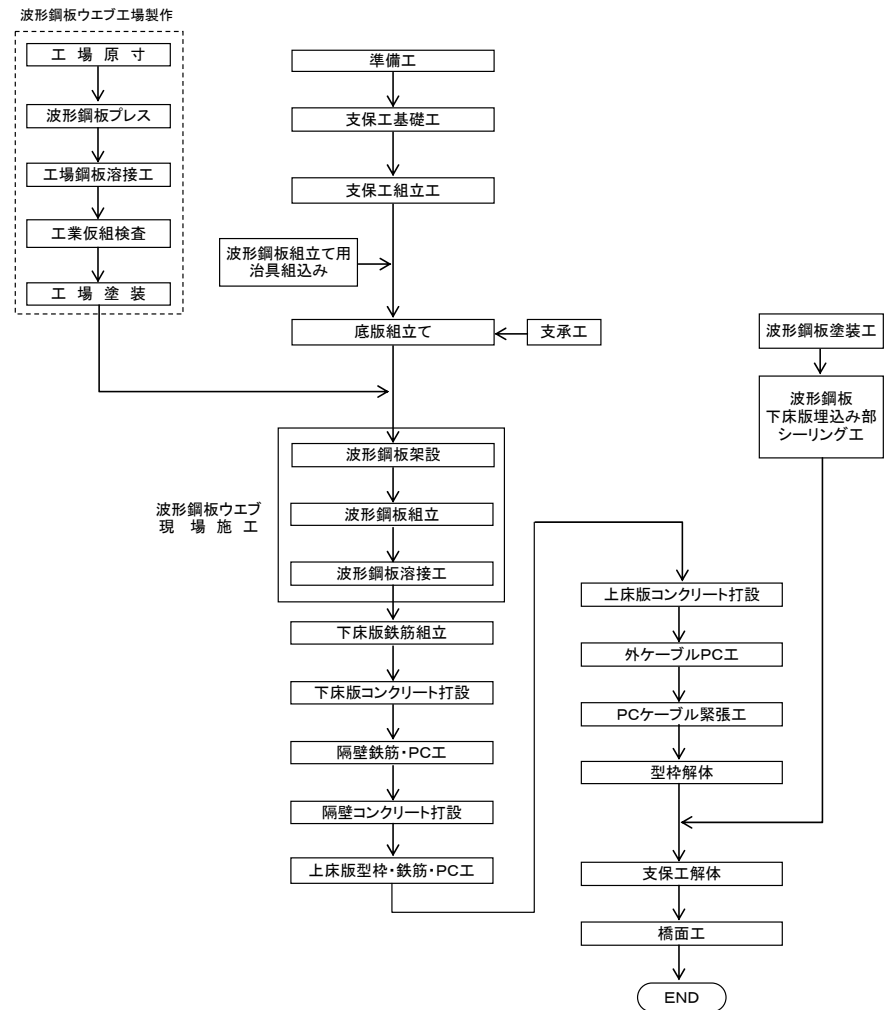


図-2.2 場所打ち支保工架設の例

【張出架設 ブロック施工の例】

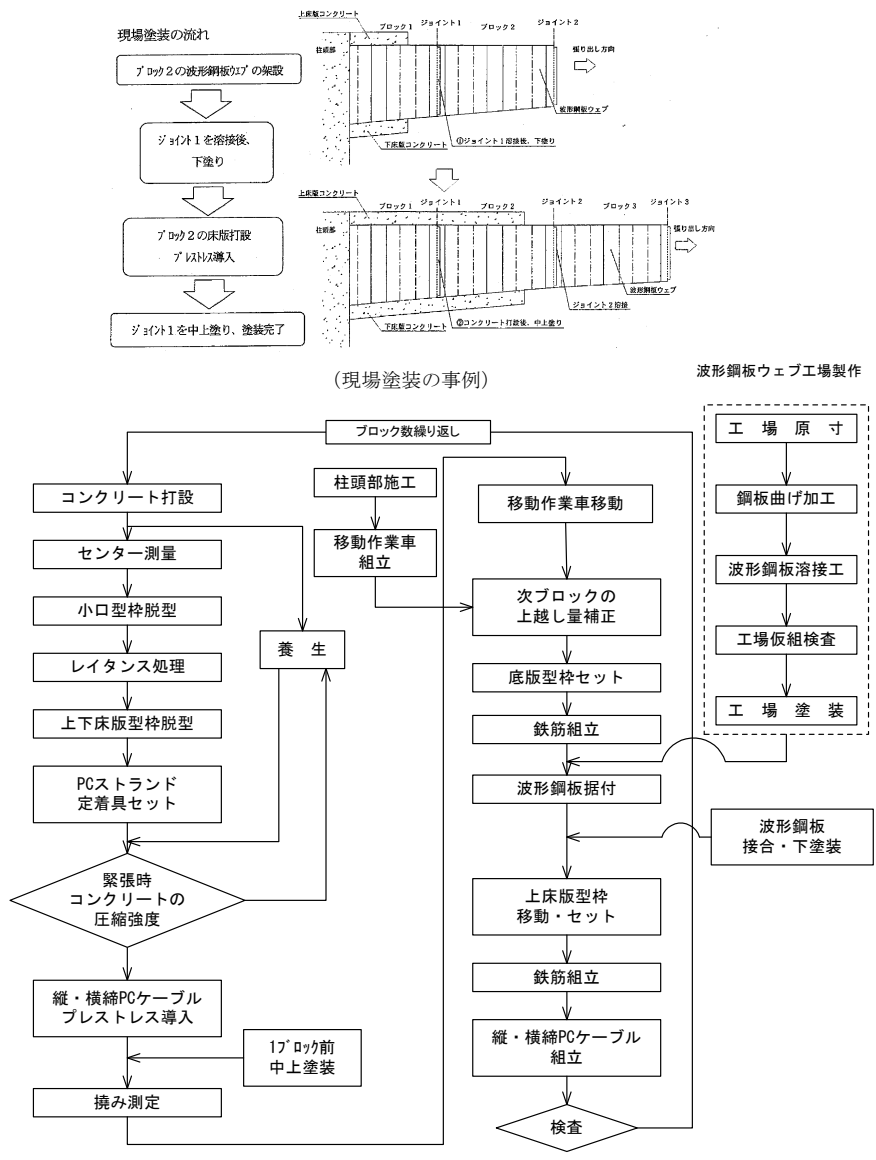


図-2.3 張出架設 ブロック施工の例

【波形鋼板 工場製作の例】

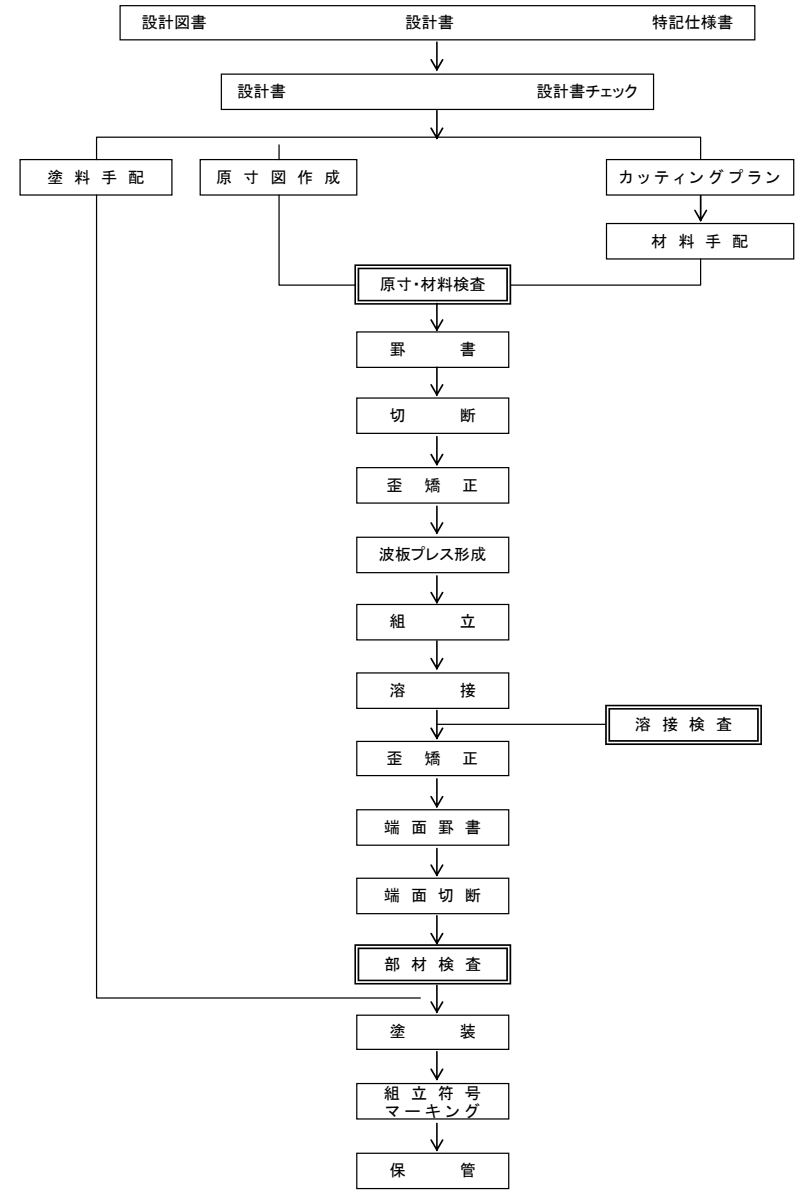


図-2.4 波形鋼板 工場製作の例

1.2.4 施工要領書

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の施工要領書には、「道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編 19.3 施工要領書」及び「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 17章 施工」（日本道路協会、平成14年3月）に示す事項以外にも、波形鋼板ウェブPC箱げた橋の性能・品質の確保の観点から以下に示す項目について記載しなければならない。また、各項目においてそれぞれが必要とする使用機材や作業要領、品質管理計画について作成するものとする。

①波形鋼板の工場製作に関わる事項

- ・ 使用材料
- ・ 加工方法（精度管理手法、管理基準）
- ・ 溶接方法（溶接要領書・・・道路橋示方書Ⅱ鋼橋編17.4溶接 参照）
- ・ 防せい方法（鋼板内面、外面、継手部）
- ・ 出来形管理手法（検査項目及び手法、判定基準、不適合品の取り扱い）

②波形鋼板の運搬・架設に関わる事項

- ・ 運搬計画
- ・ 運搬荷姿
- ・ 保管方法
- ・ 架設方法

③波形鋼板ウェブ現場施工に関わる事項

- ・ 波形鋼板継手部の接合工（溶接工、ボルト接合工）
- ・ 床版との接合部の施工（鋼材組立方法、コンクリート充填性の確認）
- ・ 現場塗装（塗装仕様、施工時期、施工条件）
- ・ 止水工（下床版）

【解説】

施工要領書には波形鋼板ウェブPC箱げた橋の施工上必要となる各々の施工段階に対して、品質が確保できる施工が確実に行なわれることが確認できるよう、あらかじめ施工手順や施工方法あるいは品質管理計画などの施工に関する詳細かつ具体的な要領を記載する必要がある。

なお、施工条件等の変更により、所定の品質及び性能等が満足できないことが予想される場合には、施工前、施工中に関わらず施工計画を見直し、所定の品質及び性能を確保できるように努めなければならない。

また、品質に関わるすべての事項を網羅するとともに、品質に悪影響を及ぼしたと疑われる事象が生じた場合の処置について定めておくことが必要である。

① 波形鋼板の工場製作に関わる事項

上記に示す内容の他に施工計画段階で最低限記載すべき項目について以下に示す。道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編17章施工に基本的な事項は示しているが、波形鋼板ウェブ特有の性状（応力状態、使用方法、加工形状）について規定されていないため、要求される品質との関連性を示し、施工品質を定める必要があることに注意が必要である。

<使用材料>

- ・ 主要資材の種類、仕様

波形鋼板ウェブ部材に用いている主要資材の基本的な特性は、過去に実験や解析による検討が行われているが、機械的性質、品質、仕様が異なる場合には、その影響を評価し構造の安全性、疲労耐久性、材料の耐久性、維持管理性、施工品質の確保などを検討しなくてはならないことに注意が必要である。

<加工方法>

鋼材の加工にあたっては、設計で要求される機械的性質等の特性を確保しなくてはならない。道路橋示方書には、鋼材の加工に関する事項が記載されているが、橋梁構造に波形加工した鋼板を主部材に使用した場合を規定していないことから、波形鋼板ウェブPC箱げた橋のウェブ鋼板に要求される品質と加工精度の関連性を確認し、所定の精度を満足する水準でなくてはならない。ウェブ鋼板の加工に際し、施工品質確保の観点から施工要領書に最低限記載することが必要となる事項は以下の通りである。

- ・ 板厚・形状の許容差
- ・ 鋼材の平坦度
- ・ 工場製作設備（製作設備、主要機材、試験設備など）
- ・ 品質管理体制（管理体制・検査、従事技術者に関する事項）
- ・ 製作フローチャート
- ・ 加工方法（冷間加工、ひずみとり、ボルト孔など）
- ・ 組立方法

<溶接方法>

ウェブ鋼板の加工では、フランジ鋼板やスタッドにあたる構造部材と、架設時の組立や足場用の吊金具が取り付けられるため、溶接部の疲労耐久性や防せいの方法を考慮して溶接方法を決定する必要がある。

- ・ 溶接方法（構造に要求される溶接品質とそれに対応する品質水準など）

波形鋼板に用いる溶接部位として、継手部、上床版付根（上フランジ部）、ずれ止め部、付帯施設用金具などがあり、作用する応力状態もそれぞれ異なる。そのため、構造に要求される溶接品質と品質水準を示す必要がある。

<防せい方法>

波形鋼板の防せい防食手法は、内面、外面、継手部、コンクリート埋め込み部分とそれぞれ仕様が異なるため、その詳細について要求される品質と塗装性能及び仕様・施工方法を具体的に示す必要がある。

<出来形管理手法>

出来高管理においては、検査項目及び手法、判定基準、不適合品の取り扱い方法などを検討する必要がある。また、工場出荷前までの工場内のストックヤードの選定や、仮置き方法などの保

管方法についても、製品に悪影響を及ぼさないよう注意が必要である。

② 波形鋼板の運搬・架設に関する事項

波形鋼板ウェブ運搬時における鋼板の変形やあてキズによる初期不正は、鋼材の耐荷力及び疲労耐久性に悪影響を与える。また、架設時の各段階には様々な要因（波形鋼板架設による自重、コンクリート打設、仮設機材（移動式作業台車による荷重）、プレストレス導入）によって、波形鋼板ウェブの応力状態は異なるため、施工段階に応じた外力設定により安全であることを検証する必要がある。

③ 波形鋼板ウェブ現場施工

後述 2.4～で示す波形鋼板ウェブに関わる項目の内容や、設計で意図している性能を確実に発揮するため、施工にあたっては波形鋼板ウェブの特性を十分理解し、各施工段階において品質に対する悪影響が生じないよう計画しなくてはならない。

【参考資料】

- 1) 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 17章 施工、日本道路協会、平成14年3月
- 2) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編 19章 施工、日本道路協会、平成14年3月

1.2.5 波形鋼板製作に関わる計画

■ 施工品質に関する要求水準

波形鋼板の製作は、架設完了後に設計で要求する性能を満足する水準でなくてはならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブの組立精度は、主げた本体の出来形に大きく影響するため、各施工段階における、けた変形及び出来形を反映して製作する必要がある。

また、ウェブ鋼板及び型枠の組立や維持管理計画で示す足場等のための付帯設備に用いる金具等の設置が波形鋼板の品質に悪影響を及ぼさないことを検証し、溶接継手部については疲労耐久性が満足されるよう疲労設計を行わなくてはならない。

■ 主な項目

① 製作寸法

- ・ 架設時の主げたの変形（主げた長、たわみ変形）

② 波形鋼板継手部

- ・ 組立精度

③ 付帯設備の取付け金具（架設中の形状保持材の取付け、型枠固定用金具、塗装更新、点検時の足場用金具など）

- ・ 強度計算

- ・ 疲労設計（品質、許容値、検査基準）

※ 取付け金具については、使用目的に応じて強度計算、溶接要領、残留応力の影響の有無、残置する金具溶接部については疲労耐久性の照査について具体的に示す必要がある。

【解説】

波形鋼板の製作は、施工方法及び施工段階の架設精度及び施工時期（主げたの伸縮）を反映し、適切な寸法精度が得られるように製作時の寸法の調整を行わなければならない。

① 製作寸法

波形鋼板の製作寸法（継手部の孔位置、長さ、加工角度など）は、現地測定の結果・高さ管理による調整・橋軸方向の変形（温度変化・主方向ケーブルの緊張の影響・橋脚の回転による水平変位）・施工誤差を反映する必要がある。

② 波形鋼板継手部

波形鋼板の継手構造は、設計条件、架設方法、経済性及び施工性を考慮し決定されているため、当該橋によって採用されている構造は異なるため、要求される施工品質も構造毎に異なるためことに注意が必要である。

- ・ 組立精度

架設・組立精度（高さ、位置）は、波形鋼板同士の継手部で調整を行っているため、一般に、ボルト接合より溶接接合の方が現場での調整代が大きいとされているが、調整量の程度によっては継手構造の性能を発揮するための継手長や床版部の施工精度に影響するため注意が必要である。

ボルト接合では架設精度管理のため、施工中の測量結果を工場製作寸法に反映することに加え、

中央閉合部のような所では、現場でボルト孔を加工することで対応している事例が多い。

③ 付帯設備の取付け金具

(架設中の形状保持材の取付け、型枠固定用金具、塗装更新・点検時の足場用金具など)

・ 強度計算

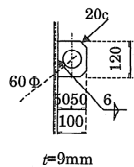
付帯設備を取付けるための金具については、波形鋼板製作の計画段階で考慮しておかなくてはならない。また、用途に応じて十分な強度を有していることを強度計算により確認すると同時に、溶接要領、残留応力の影響の有無を確認する必要がある。

・ 疲労設計 (品質、許容値、検査基準)

吊りピースを取り付ける溶接及び取り付け位置 (波形鋼板の曲げ加工部分を避けるなど) の影響により、ウェブ鋼板の疲労耐久性及び性能を妨げるような残留応力が発生することが懸念されるため、その影響について悪影響を及ぼさないか検証しなくてはならない。

波形鋼板ウェブに用いている全ての溶接継手に対しては、疲労耐久性が満足されるよう「道路橋示方書Ⅱ 5章 耐久性の検討」「鋼道路橋の疲労設計指針 平成14年3月 (日本道路協会)」を参照しなくてはならない。

また、疲労設計においては、継手形式と応力性状のみならず、許容される内部きずの大きさや入熱の程度、溶接材料など種々の溶接品質に関する制限事項が前提条件となっているため、施工にあたっては、施工方法や手順、品質管理基準 (品質、許容値、検査基準) を定めてこれを実行する必要がある。



1) 吊りピースの例



2) 対傾構 (形状保持金具) 取付用箱桁内

図-2.5 取付け金具の例

【参考資料】

- 1) 溝江、町田、辻村、落合: 波形鋼板のウェブ溶接継手部の応力性状と疲労耐久性、第10回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、2000、10

1.2.6 波形鋼板工場製作

■ 施工品質に関する要求水準

鋼材の加工にあたっては、設計で要求される機械的性質等の特性を確保しなければならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブの製作の精度は、波形鋼板の耐荷力 (曲げ、せん断、圧縮、座屈など) 及び現場での架設精度及び橋体の出来形に影響を与える。また、活荷重による繰り返し荷重が作用する部位であって、床版との接合部のように複雑な応力状態となる部位では、溶接不良や微細なキズが耐力低下を生じるため、品質、加工の条件、管理基準 (許容値、品質管理基準、検査手法) をあらかじめ設定しておかなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

- ① 使用材料・形状 (原寸)
- ② 波形鋼板加工
 - ・ 冷間加工への配慮
 - ・ 曲げ加工半径
- ③ 溶接工
 - ・ 疲労耐久性
 - ・ 溶接条件
- ④ 塗装工
 - ・ 床版との境界部分
 - ・ 鋼材とコンクリートとの接触面
- ⑤ 工場検査 (検査方法、検査基準)
 - ・ 原寸
 - ・ 材料
 - ・ 溶接
 - ・ 部材
 - ・ 塗料
 - ・ 塗装

【解説】

鋼板の製作に関する精度や取り扱いについては、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編にも記載されているが、波形鋼板のような特殊な鋼部材に関しては規定されていない。

したがって、波形鋼板の特性及び施工方法を十分理解して製作しなくてはならない。そのうち、波形鋼板製作にあたり最低限留意すべき代表的な項目について挙げた。

① 使用材料・形状 (原寸)

波形鋼板ウェブの製作精度及び品質は橋梁の架設精度、構造性能に大きく影響する。したがって、材料から加工に至る各段階で所要の品質を確保するとともに、製作寸法については架設時の主げたの変形・高さ管理などによる施工段階の諸条件の影響を考慮して、製作寸法に反映しなければならない。

設計図書に定められた以外の材料や継手構造・接合部構造を使用する場合には、設計の前提として要求されている性能や品質が満足されていることを事前に検証する必要がある。

② 波形鋼板加工

波形鋼板の加工は、実績では冷間で行う事例が多い。鋼材は冷間加工を行うと、じん性が低下したり、き裂が生じたりする恐れがあるため注意が必要となる。曲げ加工部の内側半径が小さい

と、じん性の低下や表面のき裂が生じる場合があるため、加工部の内側曲げ半径と加工材料の関係には十分注意する必要がある。

③ 溶接工

溶接品質についての基本的な考え方は、道路橋示方書などに示す技術基準を参考に、最低限考慮すべき項目を以下に示す。

- ・鋼材の種類と特性
- ・溶接材料の種類と特性
- ・溶接作業者の保有資格
- ・溶接環境や使用設備
- ・溶接施工条件や留意事項
- ・溶接部の検査手法
- ・不適合品の取り扱い
など

なお、波形鋼板は主部材として使用されることから、活荷重に対する疲労設計を行う必要があるため、溶接品質と疲労耐久性との関係を確認し、適切な品質管理を行わなくてはならない。

波形鋼板ウェブに用いている全ての溶接継手に対しては、疲労耐久性が満足されるよう「道路橋示方書Ⅱ 5章 耐久性の検討」「鋼道路橋の疲労設計指針 平成14年3月（日本道路協会）」を参照しなくてはならない。

また疲労設計においては、継手形式と応力性状のみならず、許容される内部きずの大きさや入熱の程度、溶接材料など種々の溶接品質に関する制限事項が前提条件となっているため、施工にあたっては、施工方法や手順、品質管理基準（品質、許容値、検査基準）を定めてこれを実行する必要がある。

④ 塗装工

塗装については「道路橋示方書Ⅱ 17.10 防せい防食」の基本的な考え方を参考にし、あらかじめ塗装の種類と特性、対象物の構造や形状、施工時期と施工場所、施工環境や留意事項、検査方法などの施工要領を検討し、その要領に従って確実に施工しなければならない。

特に、波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、コンクリート床版に鋼材が埋め込まれており、埋め込まれた鋼材が劣化した場合にも変状が顕在化するまで確認できないことから、以下の点に留意しなければならない。

- ・ 床版コンクリートと鋼板の境界部には、雨水の侵入が起こりやすい。
- ・ コンクリートとの接触面を無塗装とした場合、施工中に腐食が発生する。

そのため、施工中の腐食防止としてプライマーなどを塗布し、下フランジと接触する立ち上がり部分に増し塗りをおこなうなど耐久性に配慮している事例が多い。

⑤ 工場検査（検査方法、検査基準）

工場検査では、以下の事項について検査を行う。

- ・ 原寸

- ・ 材料
- ・ 溶接
- ・ 部材
- ・ 塗料
- ・ 塗装

施工精度に対する許容値（検査の許容値）は、道路橋示方書では基本的なI形断面等の耐力特性、施工精度などから安全性を担保できることを多数の実験結果などをもとに規定されているが、折り曲げられた鋼板のような特殊な部材を用いることに対しては規定していない。

そのため、施工品質、精度の許容誤差については当該橋の条件と既往の知見・実績等との関係を明確にした上で、適切に許容値等を設定しなければならない点に注意が必要である。

【参考資料】

- 1) 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 17章 施工、日本道路協会、平成14年3月

1.2.7 たわみ管理計画

■ 施工品質に関する要求水準

たわみ量の検討（上げ越し計算）に対しては、架設時に予想される荷重条件及び変形を適切に評価し、完成時（一般には、乾燥収縮・クリープ終了時）において要求される品質を満足しなくてはならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋の変形挙動は、ウェブの変形特性の相違から通常のPC箱げた橋と異なり、主げたの曲げ変形に加えウェブ鋼板自体のせん断変形が無視できない場合がある。また、橋梁条件（架設工法、構造条件）毎にもその挙動は異なることから、実際の施工において予想される荷重条件によりたわみ予測計算を事前に行い、適切な管理を行わなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

① 波形鋼板ウェブの変形特性

- ・ 曲げ変形（日射による床版の温度差・気温の影響など）
- ・ せん断変形

② けたの軸方向の長さ管理

- ・ プレストレスによるけたの短縮
- ・ 橋脚の回転による水平変位

③ たわみ（上げ越し）管理計画書

- ・ 作用外力（作用荷重、施工段階との整合性）
- ・ 管理基準（許容値、検査手法、検査時期、補正方法など）

【解説】

PC箱げた橋の品質管理として、各施工段階でけた変形挙動が異なるため、あらかじめ変形挙動の予測計算を行い、各施工段階における所要の品質、精度を確保しなければならない。また、予測計算と実際の施工時の挙動が相違した場合は、設計段階に立ち戻って検証し、その要因を分析して適宜見直しが必要となる場合もある。

① 波形鋼板ウェブの変形特性（曲げ変形、せん断変形）

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、ウェブのせん断剛性がコンクリートウェブ橋より小さいことから、通常なたわみ管理では考慮していないせん断変形が無視できないことが報告されている。せん断変形の影響については、既往の管理実績から報告されているが、架設工法、構造条件（波形鋼板形状、けた高、支点部の形状、断面変化、部材寸法）などの橋梁条件毎に、その影響の程度はそれぞれ異なり一概ではない。

せん断変形に対する検討手法については、明確な計算手法が確立されていないのが現状である。既往の橋梁実績や計算手法を参照する場合には、架設手順など個々の橋梁の条件が一致することはほとんどないため、当該橋との条件の相違を適切に考慮して検証を行う必要がある。

② けたの軸方向の長さ管理

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、場所打ちコンクリートと工場製作の波形鋼板の組み合わせである。たわみ管理、けたの橋軸方向の長さ管理の結果は、波形鋼板継手位置、端支点部の横げた寸法、橋長の管理に影響するため随時鋼板の製作寸法に反映する必要がある。

③ たわみ（上げ越し）管理計画書

- ・ 作用外力（作用荷重、施工段階との整合性）

たわみ管理計画では、各架設段階に作用する荷重と整合した荷重を用いてたわみ計算を行わなければならない。架設に用いる機材や架設方法・施工条件・プレストレスの影響などが橋梁毎に異なるため、当該橋の条件と一致しているか確認する必要がある。

- ・ 管理基準（許容値、検査手法、検査時期、補正方法など）

上げ越し管理計画と実際の施工中の挙動が異なる場合には、解析に用いているモデル・手法が適切でないことやせん断変形の考慮の程度の相違なども考えられるため、管理限界としての許容値、検査手法、検査時期をあらかじめ設定して挙動を把握しておく必要がある。不測の挙動となった場合には、設計及び施工方法について見直しを検討しなくてはならないが、その誤差の要因について検証し、修正する必要がある。

【参考資料】

- 1) 十河、尾崎、原、廣瀬、永元：小犬丸川橋の施工技術と施工管理、橋梁と基礎、2002.12
- 2) ディビダーグ協会：張出し架設によるPC桁橋の上げ越し計算マニュアル、平成3年6月 など

1.2.8 輸送計画

■ 施工品質に関する要求水準

輸送は、運搬途中で波形鋼板が損傷することがないように安全に留意する必要がある。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブの輸送については、柱頭部付近のウェブ高さが陸上輸送における制限を超える場合もあるため、形状寸法（幅・長さ・高さ）、重量など設計段階から十分に検討する必要がある。輸送中にその品質に影響を与えるようなキズ、変形、衝撃が生じた場合の対処方法と管理基準についてもあらかじめ計画しておく必要がある。

■ 主な検証・評価項目

① 輸送計画

- ・寸法（幅、長さ・高さ）
- ・重量
- ・運搬荷姿・養生方法
- ・輸送経路
- ・輸送工程
- ・輸送業者
- ・品質管理（管理基準、検査方法）
- ・緊急時の連絡体制
- ・安全管理

② 保管（仮置き方法）

- ・保管方法
- ・期間

【解説】

工場製作後に輸送される波形鋼板ウェブは、設計段階で部材の形状寸法や重量を考慮しておく必要がある。仮に輸送中に鋼材の特性や品質に影響を与えたとされる事態が生じた場合は、主げたの耐荷力（せん断、座屈、耐久性）に悪影響を及ぼすことから、適切な方法で補修又は矯正などを行う必要がある。ただし、波形鋼板ウェブの初期不正の程度と品質に及ぼす影響については既往の知見では明確にされておらず、損傷が性能・耐久性に悪影響を及ぼす恐れがあることから、部材を損傷させないように輸送しなくてはならない。

① 輸送計画

輸送計画として最低限示さなくてはならない事項を挙げている。

波形鋼板ウェブの輸送は、部材の形状寸法（幅・長さ・高さ）及び重量が関係法令による制限を受けるため、設計段階で検討しなければならない。特に、柱頭部付近ではウェブ高が陸上運搬における制限値を超える場合があるため注意が必要である。

波形鋼板ウェブは、鋼板が立体的に加工されていることから積込み方法、運搬荷姿、養生方法に配慮しないと途中で波形鋼板が損傷する可能性が高いため、損傷（塗装、変形）が確認された場合の復旧方法を含め、あらかじめ計画する必要がある。

また、現場での取り扱いを容易にするため、工場出荷時に波形鋼板の表面をシート系保護材などで被覆する方法も採用されている。

② 保管（仮置き方法）

ウェブ鋼板の保管にあたっては、保管期間中に変形や表面のキズ、発錆等により本来保有すべき機械的性質などの特性や品質が損なわれないよう十分な配慮がなされなければならない。

運搬・荷下ろし時のあてキズ・塗装の傷・錆・変形がないか施工着事前に確認し、現場にて仮置きする場合には、有害な変形・転倒が生じないように保管されているか確認が必要である。

1.2.9 支保工・足場・底版組立

■ 施工品質に関する要求水準

型わく及び支保工は、完成した構造物が所定の性能を確保できるように、その形状及び位置を正確に保つものでなくてはならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板を架設し所定の位置に据え付ける際、支保工・足場・移動作業車等を利用する場合が多く、コンクリート打設時などに支保工、足場などが変形すると、その変形や外力が残留応力として波形鋼板に作用することが考えられる。その変形や応力がウエブ鋼板に悪影響を及ぼさないか検証しなくてはならない。

また支保工・足場を組み立てる際は、波形鋼板を支障なく架設でき、ウエブ同士の継手の接合工などの作業が安全かつ無理なくできるよう作業性に配慮しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

① 支保工・足場

- ・強度計算（外力設定）
- ・変形の影響の有無・程度

② 付帯施工(継手部の接合工、現場塗装、下床版の防水処理)への配慮

- ・継手部接合工の作業性（ボルト締め、溶接、継手部の塗装）
- ・下床版の防水処置（コーキング）
- ・施工条件（コンクリート打設、溶接、塗装）

【解説】

支保工・足場・型枠の組立てに対する一般的な考え方は、「道路橋示方書Ⅲ 19.11 型わく及び支保工」や関連法規などを準拠すればよい。

ただし、波形鋼板を外周足場、型枠支保工、移動作業車などを利用して固定する場合、コンクリート打設、地盤の不等沈下などの影響が波形鋼板ウエブの架設精度や外力作用により残留応力として品質に悪影響を及ぼす可能性があるため十分な検討が必要である。

① 支保工・足場

支保工・足場は、以下の点について留意して計画・検討しなくてはならない。

支保工・足場・移動作業車の一部を利用して波形鋼板を吊り下げ固定している場合などが多く、コンクリート打設や各施工段階の変形が波形鋼板に作用すると、波形鋼板の架設精度、応力の状態に影響を及ぼす可能性があるため十分な検討が必要となる。

波形鋼板の架設・接合作業においては、溶接、ボルト締め及びコンクリート打設時の打込み・養生に関わる作業性を確保する必要がある。

② 付帯施工(継手部の接合工、現場塗装、下床版の防水処理)への配慮

- ・ 継手部接合工の作業性（ボルト締め、溶接、継手部の塗装）

波形鋼板継手部の接合部の施工を行なう際には、所定の架設精度を確保するための微調整作業、継手部の接合作業（溶接・ボルト締付け）、現場塗装を行う。そのため、それら作業が安全でかつ、円滑に行われる作業空間を確保する必要がある。

- ・ 下床版の防水処置（コーキング）

波形鋼板ウエブとコンクリート床版の接合部は水分の侵入による鋼材の腐食を防ぐ必要性から、止水処理（コーキング）を施さなくてはならない。

- ・ 施工条件（コンクリート打設、溶接、塗装）

波形鋼板ウエブとコンクリート床版の接合部のコンクリート充填は、構造の前提として最も重要な部材であるため、慎重に施工されなくてはならない。コンクリート締固め及び養生、継手溶接、塗装時の施工条件（姿勢・養生）に配慮しておく必要がある。

1.2.10 波形鋼板の架設・組立

■ 施工品質に関する要求水準

波形鋼板の架設は所定の位置と高さに据え付けられ、施工の各状態で品質及び精度が維持されなければならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブは施工段階では上下コンクリート床版により拘束されておらず不安定な状態となり易いことから、当該橋梁の施工条件を考慮してその各段階において安全性を検証しなくてはならない。

また波形鋼板の架設精度は橋体の出来形に大きな影響を与えるため、架設精度管理基準を設定して検査により確認しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

① 精度管理

- ・管理基準（許容値）
- ・検査方法（高さ、間隔、設置位置）

② 波形鋼板の架設

- ・現場内の小運搬方法（橋面上など）
- ・架設方法
- ・形状保持（強度計算、波形鋼板との接合方法）

③ 安全性の検討

- ・付加応力（外力設定、移動作業車のアンカーなど）

【解説】

架設にあたっては、構造物の所定の品質、精度を確保できるよう部材及び構造の特性や施工条件を十分考慮し、架設設備及び架設作業についてその計画をたて、安全に施工しなくてはならない。

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、架設時及び完成後の応力と変形について各施工段階で異なるため、架設時は比較的不安定にあることが多く、補剛材や支保工などにより形状保持を行っている場合が多い。

① 精度管理

波形鋼板ウェブPC箱げた橋のウェブの架設精度は、床版支間、床版厚など橋体の出来形に大きく影響するため、あらかじめ架設精度と構造性能との関係を明示し、管理基準及び検査方法を設定しなければならない。

② 波形鋼板の架設

・現場内の小運搬方法

波形鋼板を現場内（ヤード内、橋面上）で小運搬する際、安全かつあてぎずなど波形鋼板の品質を損ねるようなことがないように十分配慮しなくてはならない。

・架設方法

部材つり上げ時の状態（傾斜、支点条件）は波形鋼板に変形を与えないよう慎重に取り扱う必要がある。

・形状保持

波形鋼板の架設中の精度や施工中の風荷重等の外力に対して安全性を確保するため、架設時の形状保持として組立て用の治具や対傾構などを設置することが多い。形状保持材は、支保工同様に安全性に関わる重要な部材であるため、強度計算を行い詳細な照査が必要である。また、波形鋼板との接合方法とその強度を確認する必要がある。

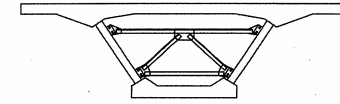


図-2.6 架設時における形状保持鋼材配置例

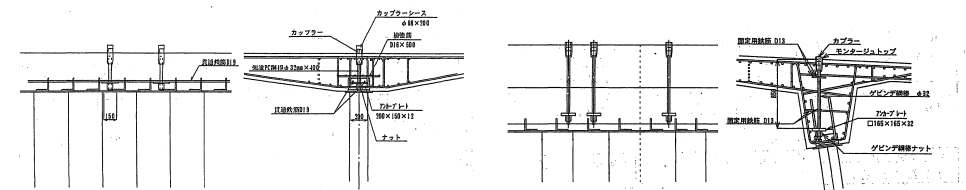
③ 安全性の検討

架設中に波形鋼板に発生する付加応力について代表的なものを以下に挙げる。

- ・継手部の溶接などにより発生する残留応力
- ・移動作業車による荷重、フレームの変形の影響
- ・コンクリート打設による影響（支保工、型枠の変形など）
- ・プレストレス など

構造解析で算出される曲げやせん断以外の付加応力が、鋼板ウェブの耐荷力性状、疲労耐久性状に悪影響を及ぼす場合があることが確認されている。しかしその影響については明確にされておらず、応力状態も橋梁条件、架設工法、使用機材毎に相違するため、それらの影響を適切に評価してその安全性を検証する必要がある。例えば溶接部については、疲労設計により疲労耐久性を照査する必要がある。

また通常のコンクリート箱げた橋と異なり、移動作業車のアンカーの設置が可能な部位が限定されるため、その引抜き作用による力に対して検討を行い、部材（波形ウェブ、床版）の安全性を検証しなくてはならない。



コンクリート打ち下ろしが無い場合の例

コンクリート打ち下ろしがある場合の例

図-2.7 移動式作業台車のアンカー配置の例

1.2.11 波形鋼板ウェブ継手部の施工

■ 施工品質に関する要求水準の設定

波形鋼板ウェブの継手部の施工は、ウェブが所有すべき性能（軸力伝達、せん断耐力、疲労耐久性）を満足しなくてはならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブの継手部構造は、形式（ボルト接合、溶接接合）及び形状など橋梁の架設条件や構造条件によって使い分けられているため、それぞれの条件に見合った管理基準（組立精度、許容値、検査手法）を示し、その性能を満足するような施工を確実に行わなければならない。

■ 主な検証・評価項目

継手部の施工に関して配慮すべき代表的な項目は次の通りである。

① 接合工

- ・ 素地調整
- ・ 継手部の仮固定（肌すき）
- ・ 施工時期（コンクリート打設）
- ・ 溶接（疲労設計、溶接止端形状（仕上げ）、施工性）
- ・ 品質管理（管理基準、検査手法）

② 現場塗装

【解説】

波形鋼板ウェブは上下床版と鋼板ウェブが剛に固定されている影響から、実際にはウェブ鋼板の上下端には局部的に応力が集中する傾向にある。また、ウェブが床版たわみ変形に対して抵抗するため面外曲げモーメントが発生し複雑な応力状態となるなど、その挙動は橋梁構造毎にそれぞれ異なり一概ではない。継手構造には、実績によりその性能が検証されているボルトによる摩擦接合や溶接接合を採用することが多いが、当該橋との条件（架設方法・応力状態・構造形式）が相違する場合や確実な施工が実施されない場合には、疲労・腐食・耐荷性能に悪影響を及ぼすため慎重な管理が必要である。

① 接合工

- ・ 素地調整
継手同士の界面には一般部と同様な塗装は施していないため、素地では発錆や施工時に異物が付着することがある。異物（錆、水分、油分、塩分など）が存在すると、継手同士の機械的な性能に悪影響を及ぼし、塗装面では付着力の低下や発錆を促進させるため、素地の不均一性を除去し清浄な面にしなくてはならない。
- ・ 継手部の仮固定（肌すき）
継手重ね部分の肌すきがあってはならないため、仮に固定する必要がある。一般に、溶接接合の場合は、スタットボルトによる仮固定を実施している例が多い。
- ・ 施工時期（コンクリート打設）
継手部を接合する前にコンクリート打設や施工による荷重が変化すると、たわみ変化などの影

響により付加的な応力が作用するなどの問題が起こり得るため、継手工の施工のタイミングについてはあらかじめ手順を定め、検討しておく必要がある。

- ・ 溶接（疲労設計、溶接止端形状（仕上げ）、施工性）
溶接に関する一般的な考え方は、道路橋示方書や鋼道路橋の疲労設計指針などの技術基準を参考にし、疲労設計により疲労耐久性を検証する必要がある。
既往の実験でも継手形式による応力集中及びウェブの偏心の影響で面外曲げが発生すること、及び、溶接止端形状（仕上げ）によってはスカラップ周辺や継手上下端に疲労亀裂が発生する可能性があることが報告されている。
そのため、波形鋼板ウェブに用いられている全ての溶接継手に対しては、疲労耐久性が満足されるよう「道路橋示方書Ⅱ 5章 耐久性の検討」「鋼道路橋の疲労設計指針 平成14年3月（日本道路協会）」を参照し疲労設計を行わなくてはならない。
また疲労設計においては、継手形式と応力性状のみならず、許容される内部きずの大きさや入熱の程度、溶接材料など種々の溶接品質に関する制限事項が前提条件となっているため、施工にあたっては、施工方法や手順、品質管理基準（品質、許容値、検査基準）を定めてこれを実行する必要がある。
また現場溶接施工は、溶接姿勢が制限される上、特に上下端回し溶接部では溶接止端形状が疲労亀裂の要因になっており注意が必要となることから、その施工性に配慮しなくてはならない。

② 現場塗装

- 現場塗装は、塗装環境（天候、温度、湿度 など）や塗装間隔などに十分配慮し作業管理記録、塗装厚管理記録などの記録の提出や仕上がり塗膜、外観及び色調の確認検査など管理基準をあらかじめ設置しておき施工に反映する必要がある。
張出架設では、橋体の施工サイクルとの兼ね合いで塗装間隔が通常の場合と異なる場合があるため、現場塗装の計画は架設工法を考慮して検討する必要がある。

【参考資料】

- 1) 阿田、町田、溝江、落合：波形鋼板ウェブ PC 橋の梁試験体を用いた静的載荷・疲労試験、第 10 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、プレストレストコンクリート技術協会、2000. 10
- 2) 溝江、町田、辻村、落合：波形鋼板のウェブ溶接継手部の応力性状と疲労耐久性、第 10 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、プレストレストコンクリート技術協会、2000. 10

【張出施工における現場塗装の例】

現場塗装外面

工程	塗料または素地調整程度	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔	標準膜厚 (μm)	
現場塗装	素地調整	表面の錆びはほとんど除去されているが溶接ビードの波間にその痕跡が認められている。	—	2hr以内	—
	下塗第1層	有機ジンクリッチペイント	ハケ 300	1~10日	30
	下塗第2層	有機ジンクリッチペイント	ハケ 300	1~10日	30
	下塗第3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗用	ハケ 300	1~10日	60
	下塗第4層	変性エポキシ樹脂塗料下塗用	ハケ 240	1~10日	60
	下塗第5層	変性エポキシ樹脂塗料下塗用	ハケ 240	1~10日	60
	中塗	ポリウレタン樹脂塗料中塗用	ハケ 240	1~10日	30
上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗用	ハケ 240	1~10日	25	

箱げた内面現場溶接部

工程	塗料または素地調整程度	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔	標準膜厚 (μm)	
現場塗装	素地調整	表面の錆びはほとんど除去されているが溶接ビードの波間にその痕跡が認められている	—	2hr以内	—
	第1層	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	ハケ 300	1~10日	120
	第2層	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	ハケ 300	1~10日	120

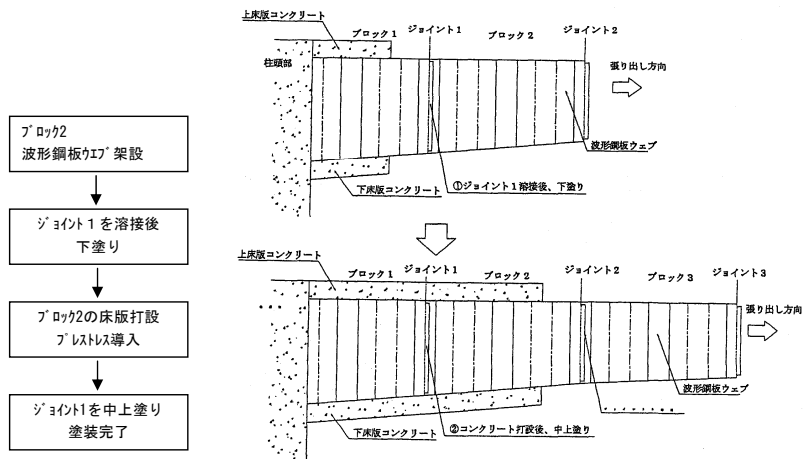


図-2.8 張出施工における現場塗装の例

1.2.12 型枠組立

■ 施工品質に関する要求水準の設定

型わくに関する要求水準の基本的な考え方は、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編19.11型わく及び支保工に示されており、設定している外力に対して十分な強度と安全性を有するものでなくてはならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、特にウェブと床版の接合部周辺との取合い及びコンクリート充填性に十分配慮しなければならない。

■ 主な検証・評価項目

- ① 上フランジ部のコンクリート接面
- ② 下フランジ部の埋め込み部

・コンクリートの打設（ブリーディング、コンクリート充填性への配慮）

【解説】

波形鋼板ウェブとコンクリート床版の接合部は、コンクリート床版と波形ウェブを剛結し合成断面を形成するための最も重要な部位であり、配置鋼材も密となる傾向にある上、設計で想定していない架設に用いる鋼材なども配置されるため、煩雑な施工となりやすいことに配慮しなければならない。

① 上フランジ部のコンクリート接面

波形鋼板の上フランジをコンクリート床版の内部に埋め込むと、ずれ止め接合部の橋軸直角方向の変位によりフランジ横のコンクリートが剥離することが懸念される。このため、波形鋼板の上フランジプレートはコンクリート内部に埋め込まないこととしている事例が多い。

② 下フランジ部の埋め込み部

下床版接合部に鋼フランジがある場合、下面には気泡やブリーディングの影響でコンクリート未充填箇所が生じやすくなる、施工に際してはコンクリートのスランプ・打設方法・締め固め方法を設定し、それに配慮した型枠とする必要がある。

例えば、

- ・ 波形鋼板の下フランジと下床版のハンチ型枠との間には下床版コンクリートを打ち込むスペースを設ける
- ・ 下フランジにモニタリング孔等を設けてコンクリートの充填性を確認した事例がある。

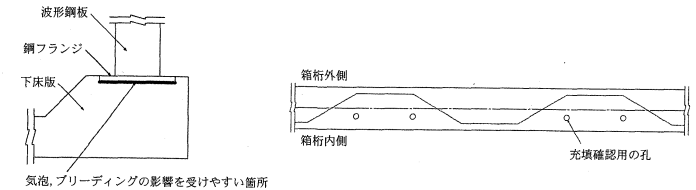


図-2.9 コンクリート充填に留意する箇所の例（下床版と波形鋼板ウェブ接合部）

1.2.13 鉄筋・PC鋼材組立

■ 施工品質に関する要求水準の設定

鉄筋・PC鋼材組立に関する要求品質の基本的な考え方は、「道路橋示方書Ⅲ 19.7 鉄筋の加工及び配筋」「道路橋示方書Ⅲ 19.8 PC鋼材鋼及び緊張工」に記載する事項を準拠するものとする。

■ 代表的な課題・留意事項

ウェブと床版との接合部、PC鋼材定着部の施工では、鉄筋及びPC鋼材の配置が煩雑になる。また、床版部材には設計で考慮していない架設用部材などが配置されるため、その取合いに注意し所定の位置に組立なければならない。

■ 主な検証・評価項目

- ① ずれ止め構造
 - ・ 貫通鉄筋
 - ・ 防せい仕様

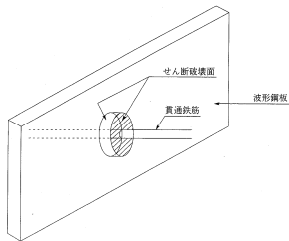
【解説】

鉄筋・PC鋼材の組立に関する基本的な要求品質の考え方は「道路橋示方書Ⅲ 19.7 鉄筋の加工及び配筋」「道路橋示方書Ⅲ 19.8 PC鋼材鋼及び緊張工」に準拠するものとし、設計で考慮していない架設用鋼材（アンカー鋼材、シーす棚筋、補強鉄筋、用心鉄筋など）も配置されるため、その取合い及び構造細目に注意して施工する必要がある。

① ずれ止め構造

- ・ 貫通鉄筋

鉄筋をウェブ鋼板に貫通させているずれ止め構造では、作用力に対して貫通孔に配置される貫通鉄筋と、孔に充填されたコンクリートで抵抗するため、孔と貫通鉄筋の隙間に確実にコンクリートが充填されることが必要である。



貫通鉄筋と波形鋼板の空気を確保し、コンクリートの充填性を確保する。

図-2.10 波形鋼板の貫通鉄筋配置状況

- ・ 防せい仕様

下床版部で波形鋼板に貫通鉄筋を使用する場合、万一水分が波形鋼板ウェブを伝わって供給されると鉄筋が発錆することが想定されるため、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した事例がある。

1.2.14 コンクリート打設・養生

■ 施工品質に関する要求水準

コンクリートの施工にあたっては、所定の品質を確保できるように、コンクリートの運搬、打込み、締め、仕上げ、養生の一連で適切な管理を行う。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブPC箱げた橋では、波形鋼板ウェブと上下床版はずれ止め構造により剛結され、断面が合成され一体となって挙動することが設計の前提であるため、特に接合部付近では十分な配慮が必要である。

■ 主な検証・評価項目

- ① 打設順序
 - ・ 打設時の変形（波形鋼板の付加応力・残留変形）
- ② 床版と波形鋼板の接合部
 - ・ 充填性への配慮
 - ・ プリーディング水への配慮
 - ・ 残留気泡（確認方法などの配慮）
- ③ 養生
 - ・ コンクリート（乾燥収縮、温度応力）
 - ・ 波形鋼板（セメントペーストの付着）

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、通常のコンクリートウェブPC箱げた橋のウェブ部分が波形鋼板に置き換えられているためコンクリート打設量は大幅に低減されるが、ウェブと床版が一体となって挙動する合成構造であるため、コンクリート打設時の配慮すべき事項は多くなる。留意点として代表的な事項を以下に挙げる。

① 打設順序

コンクリート打設による型枠の変形（支保工の沈下、移動作業車のたわみ）の影響がウェブ鋼板に付加的な応力を与えるため、ウェブに作用する応力の影響について十分な検討が必要である。残留変形の影響を見越して打設順序やコンクリートの打込み方法を変えるなどの配慮が必要である。

② 床版と波形鋼板の接合部

波形鋼板とコンクリート接合部界面に大きな気泡やプリーディング水に起因する未充填部分が存在すると、様な応力が接合構造に伝達されず、主げた全体応力の状態、合成の程度が設計の前提と相違するなどの問題が起こり得る。そのため、コンクリートが確実に充填できる手法を検討する必要がある。残留気泡の有無を確認するために、波形鋼板の下フランジ部にモニタリング孔を設置するなどの対応が報告されている。

③ 養生

- ・ コンクリート（乾燥収縮、温度応力）

コンクリート打設後の養生の影響は、コンクリートの品質（ひび割れ、強度発現 など）に大きく影響を及ぼす。乾燥収縮や温度応力によりコンクリート部分に有害なひび割れが発生すると、主げたの力学的特性（変形性状など）に影響を与えるばかりではなく、鋼材腐食によって耐久性を著しく損うことも考えられるため、十分な養生計画を行う必要がある。

・ 波形鋼板（セメントペーストの付着）

塗装は一般にアルカリに弱いため、波形鋼板にセメントペーストやモルタル、コンクリートが付着すると塗装剥離の要因となる。セメントペーストやモルタル、コンクリートが付着した場合は、速やかに拭き取る必要がある。コンクリート打設中の取り扱いを容易にするため、工場出荷時に波形鋼板の表面をシート系保護材などで被覆する方法も採用されている。

【参考資料】

- 1) 野村：波形鋼板ウェブPC箱げた橋における下床版と波形鋼板の接合部のコンクリート充填性、ハイウェイ技術 No.29、2005.2
- 2) 十河、尾崎、原、廣瀬、永元：小犬丸川橋の施工技術と施工管理、橋梁と基礎、2002.12
- 3) 佐川、岡澤、白武、益子：波形鋼板ウェブエクストラードボード橋の施工と振動実験－日見夢大橋－、プレストレストコンクリート、2004.9
- 4) 梅田、亀田、中沢、阿田、西澤：北陸新幹線黒部川橋梁の設計・施工、プレストレストコンクリート、2003.3

など

1.2.15 PC鋼材緊張工

■ 施工品質に関する要求水準の設定

PC鋼材緊張工は、所要のプレストレスが導入されるよう適切な方法で行わなければならない。

■ 代表的な課題・留意事項

波形鋼板ウェブは、通常のコンクリートウェブと比較して剛性が小さく挙動も異なるため、定着部及び偏向部の近傍には複雑で局所的な応力が発生する。したがって、緊張による影響が各部の波形鋼板（鋼材、溶接）及び床版に悪影響を及ぼさないか検証しなくてはならない。

■ 主な検証・評価項目

- ① 定着部や偏向部周辺部材の安全性
 - ・ ウェブの局部応力（ウェブ鋼板、溶接）
 - ・ 床版（局部応力、腹圧力）

【解説】

波形鋼板ウェブPC箱げた橋は、全断面コンクリートで形成されたPC箱げた橋と比較して、ウェブ剛性が小さいため、プレストレスの伝達長や定着部周辺部材に作用する応力状態は相違する。床版と波形鋼板ウェブの接合部に、局所的に大きなせん断力や鉛直方向引張応力が発生することがあるため、その影響を照査する必要がある。

① 定着部や偏向部周辺部材の安全性

- ・ ウェブの局部応力（ウェブ鋼板、溶接）

定着部構造・構造形式・緊張方法によっては、定着部や偏向部付近の波形鋼板ウェブの応力状態が複雑になり、局所的に部材に損傷を与えるような大きなせん断力や鉛直方向引張応力が発生する。

したがって、ウェブとフランジプレートとの溶接部においては、これらの局部応力の影響を設計段階で考慮する必要がある。変形や局部応力に対してFEM解析などによる応力検討を行い補強している事例が多いが、実際の緊張作業の条件が設計で考慮している前提条件と相違していないか照査する必要がある。

- ・ 床版（局部応力、腹圧力）

プレストレスが上下コンクリート床版部材へ効率的に導入されることを意図している反面、ひび割れの要因となる局所的な応力が大きくなる傾向にあることに注意が必要である。

また、張出施工では床版にアンカー孔を設けるために部材を切り欠くなど、設計と異なる状態で緊張作業を行うことが多く、床版が損傷を受ける可能性もあるため、事前に問題がないか検討する必要がある。

腹圧力の影響を極力小さくするためには、PC鋼材をウェブ近くに配置する事が有効であるが、波形鋼板ウェブに鉛直方向の引張力を発生させることがあるため、その影響を照査する必要がある。

1.2.16 波形ウェブと床版接合部の止水処理

■ 施工品質に関する要求水準の設定

波形鋼板ウェブとコンクリート床版の接合部は、適切な止水処理を施し劣化（発錆）させてはならない。

■ 代表的な課題・留意事項

雨水や鋼板に付着する結露による水分がウェブの付け根から床版内に侵入し、埋め込まれた鋼板を腐食させることが懸念されるため、確実に止水しなければならない。

■ 主な検証・評価項目

- ① 接合部の止水処理
 - ・シーリング材（鋼材との付着性状、施工性、耐久性、耐用年数）
- ② 維持管理性（施工品質）
 - ・塗装部分の劣化
 - ・コンクリートとの接合部

【解説】

コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合部は、コンクリート部材とウェブ鋼板が剛結し断面として合成させるための構造上最も重要な部位であることから、耐久性・維持管理性に十分な配慮が必要である。

特に、コンクリートに鋼材が埋め込まれている部材となるため、コンクリートと鋼板の界面から水が侵入し、埋め込まれた鋼板が腐食することが想定される。また、劣化の程度は変状（ひび割れ、錆汁）が顕在化するまで察知することが困難であるため、確実に止水し耐久性を確保しなくてはならない。

① 接合部の止水処理

- ・シーリング材（鋼材との付着性状、施工性、耐久性、耐用年数）

波形鋼板ウェブと下床版の接触ライン部にシーリング材などによりコーキングを施し、結露水が残留しないように下床版コンクリート天端に排水勾配を設けるなど対処がされている事例が多い。

シーリングに用いる材料については、コンクリート及び鋼板に確実に付着し、耐久性・耐用年数などが検証されている材料を使用しなくてはならない。シーリングについては、品質管理としての管理手法・検査手法を設定し、施工品質をあらかじめ定めておくことが望ましい。

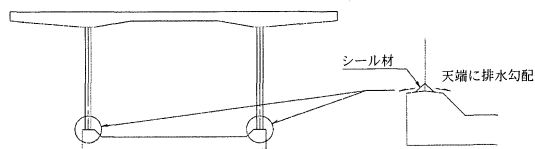


図-2.11 止水処理の事例

② 維持管理性（施工品質）

シーリング材の有する耐久性を最大限発揮するためには、確実な施工が成される必要がある。シーリングを行うべき箇所は、特に施工中に発生する異物（砂、油分、木くず、埃等）が付着・堆積しやすいことから、シーリング施工前に完全に除去し、清浄に保つ必要がある。

外面のシーリング部は、内面に比べ過酷な環境に晒されているばかりでなく、目視による点検が困難であることから、維持管理性に劣ると言える。シーリング材の選定時には、これらの事にも留意する必要がある。

【参考資料】

- 1) 小野、大城、桜田、大浦：波形鋼板ウェブ橋における埋込み接合部の耐久性の検討、プレストレストコンクリート、2006.8

2 鋼コンクリート合成床版の評価マニュアル

2.1 設計一般

2.1.1 要求性能

合成床版の設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ等を考慮する必要がある。

【使用目的との適合性】:床版が計画どおりに交通に利用できる機能や利用者が安全かつ快適に使用できる供用性のこと。

【構造物の安全性】:死荷重や活荷重等の荷重に対し、床版が適切な安全性を有していること。

【耐久性】:床版に経年的な劣化が生じたとしても使用目的との適合性や、構造物の安全性が大きく低下することなく、所用の性能が確保できること。

【施工品質の確保】:使用目的との適合性及び完成時及び施工時の構造物の安全性を確保するために確実な施工が行える性能を有すること。

【維持管理性】:床版内部の状態を直接的に確認できなくとも、設計性能に対して十分な耐力を有しており、変状確認後も安全に補修・補強が行えること。

これらの要求性能は、床版を設計する上で常に留意しなければならない基本的な事項であるが、特に合成床版の維持管理性については、床版コンクリート下面の状態を確認することが困難な構造であるため、変状確認後も安全に補修・補強等が行えることを要求性能として掲げた。

設計照査は、これらの要求する事項を満足するか否かの判断を行うものである。道路橋示方書では、合成床版の設計に関わる判断基準あるいは評価方法が定量的に示されていないことから、従来からの規定と同等以上の性能を有することを一つの目安として、論理的な妥当性や実験等による検証等適切な知見に基づいて行うことを基本とする。

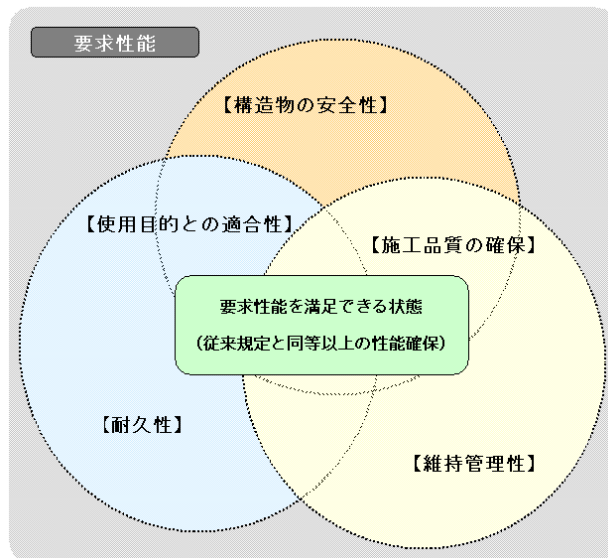


図 1.1-1 床版の設計に求められる性能

2.1.2 道示で示される床版構造の要求性能

合成床版の設計にあたっては、要求性能と合成床版特有の課題との関係を明確にし、要求性能を満足していることを検証しなければならない。道示には、床版の設計に関わる具体の要求事項として図 1.2-1 に示す事項が示されているが、本ガイドラインでは、合成床版の設計全般に関わる要求性能を必ずしも網羅するものではなく、供用性及び耐用性等床版の基本的な要求性能に対する設計照査の方法についてとりまとめた。また、維持管理性については、合成床版内部の状態を確認することが困難であるという特有の課題を踏まえ、道示に示される供用中の維持管理の容易性に代え、前項の要求性能を掲げた。

床版の基本的な要求性能

【使用目的との適合性】
【供用性】
荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じないようにする。
[道示 II 8.1.2(1)1]

【構造物の安全性】
【耐荷力性能】
直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにする。
[道示 II 8.1.2(1)]

【耐久性】
【疲労耐久性能】
自動車荷重の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれないようにするものとする。
[道示 II 8.1.2(1)2]

【材料耐久性能】
部材の設計にあたっては、経年的な劣化による影響を考慮するものとする。
[道示 II 5.1]

【施工品質の確保】
【施工性】
鋼種選定は、鋼材の機械的性質や品質を考慮したものであること。
[道示 II 1.6]

所定の品質を確保できるコンクリートの打込み方法であること。
[道示 II 17.8.6]

【維持管理性】
コンクリート内部の状態を直接的に確認できなくとも、設計性能に対して十分な耐力を有しており、変状確認後も安全に補修・補強が行えること。

主げたに対する要求性能

【橋の立体的機能】
橋の断面形の保持、剛性の確保、横荷重の支承への伝達が図れる構造とする。
[道示 II 7.1、II 10.6]

床版設計上の考え方による要求性能

【荷重分配機能】
床版に主げた間の荷重分配作用を考慮した設計を行う場合には、その影響を適切に評価し、それらに対して安全なようにするものとする。
[道示 II 8.1.2(2)1]

【横荷重抵抗機能】
地震の影響や風荷重等の横荷重に対して床版が抵抗する設計を行う場合には、その影響を適切に評価し、それらに対して安全なようにする。
[道示 II 8.1.2(2)2]

図 1.2-1 合成床版に関わる道示の要求事項

2.1.3 目標とする状態

目標とする状態と合成床版の損傷過程との関係を図 1.3-1 に示す。ここで、設計性能は、設計断面が保持できている状態とし、床版コンクリートに二方向ひび割れが生じるものの、平面保持及び等方性が成立している状態までを指す。供用性が確保できる状態は、利用者が安全かつ快適に使用できる状態として、ひび割れ発生をある程度抑えた状態とする。安全性が確保できる状態は、二方向ひび割れ後ずれ止めの損傷や水平ひび割れの発生と共に、たわみが急増する変化点までの状態を指す。本ガイドラインにおける構造物の安全性照査及び耐久性照査は、安全性を確保できる状態として、床版が破壊に至る終局の状態までを含めて照査の範囲とする。

Phase	参考:RC床版		鋼・コンクリート合成床版			
	損傷過程		損傷過程		床版の挙動の変化	顕在化する現象
		・初期段階		・初期段階	—	—
①		・乾燥収縮ひび割れ		・付着切れ	たわみは安定状態	打音試験を行えば普通の変化はみられる
②		・一方向ひび割れ(活荷重ひび割れ)		・一方向ひび割れ(活荷重ひび割れ)		
③		・二方向ひび割れ ・開閉およびこすり合わせはまる		・二方向ひび割れ ・開閉は産鋼板で拘束		
③~④		・ひび割れ網細化		・ひび割れ網細化 ・ずれ止め損傷・水平ひび割れ発生が始まる	損傷部のたわみ(弾性・残留)増加が始まる	局所的な錆装の異常
④~⑤		・貫通ひび割れ ・開閉およびこすり合わせによる劣化の加速 ・梁状化		・横軸直角方向の貫通ひび割れ ・梁状化 ・ずれ止め損傷・水平ひび割れ進展	損傷部のたわみ(弾性・残留)が増加	床版下面からの油水の発生(モニタリング・各種センサーによる確認)
⑥		・せん断抵抗の減少		・せん断抵抗の減少	損傷部のたわみ(弾性・残留)が急増	錆汁・遊離石灰
⑦		・押し抜きせん断破壊		・押し抜きせん断破壊	局所的な陥没	路面の段差

図 1.3-1 合成床版の目標性能と損傷過程の関係

2.1.4 設計上の留意事項

合成床版は、鋼板や形鋼等の鋼部材とコンクリートが一体となって荷重に抵抗するよう合成構造として設計される床版である。これらには、鋼板とコンクリートをずれ止めで結合したものや、形鋼と型枠となる鋼板とを接合したものにコンクリートを充填する形式がある。本ガイドラインでは、鋼とコンクリートの合成断面の一部として働く型枠兼用の底鋼板を下面に配置し、場所打ちコンクリートによって形成される床版を対象としているが、この種の床版では、ずれ止めや補強材等の形状が多様であり、底鋼板との溶接継手の種類も同様に多種に及ぶこと、また、製作時あるいは現場施工時の施工性等に配慮してパネル分割することにより、部材の継手部が多いこと、さらに底鋼板を有するためにコンクリートにひび割れを生じると、床版内部に水が滯水する可能性があることなどから、合成床版の耐荷性及び耐久性等に関しては、特に留意して設計を行う必要がある。

なお道示によれば、合成床版の設計に際し、主な注意事項は以下のとおりである。

- (1) 鋼部材とコンクリートを結合するずれ止めの溶接部や、鋼板、形鋼等の取付部あるいは開口部における鋼部材の疲労に対して配慮すること。
- (2) 継手部が一般部と同等の耐荷力及び耐久性を有していること。
- (3) 内部に水が浸入した場合にも滯水が生じないように配慮すること。

設計性能

(設計断面が保持できる状態)

供用性の確保

安全性の確保

2.1.5 設計の流れ

合成床版の設計は、床版の基本的な性能として、床版が直接支持する活荷重等の影響に対する安全性を満足するほか、特に大型の自動車の繰返し通行に対して耐久性を損なわないことを、版としてあるいは構成する個々の部材として照査することを目的とする。

合成床版の標準的な設計の手順を、図 1.5-1 に例示したが、ここでは第 I 編 共通編 2 評価の手法の選択で記した経験的手法を基軸として、新たな特性評価が必要な場合には実験あるいは解析等により検証することを基本とした。

合成床版の設計にあたっては、これを参考に各々の条件に応じて適切に設計計画を立てる必要がある。

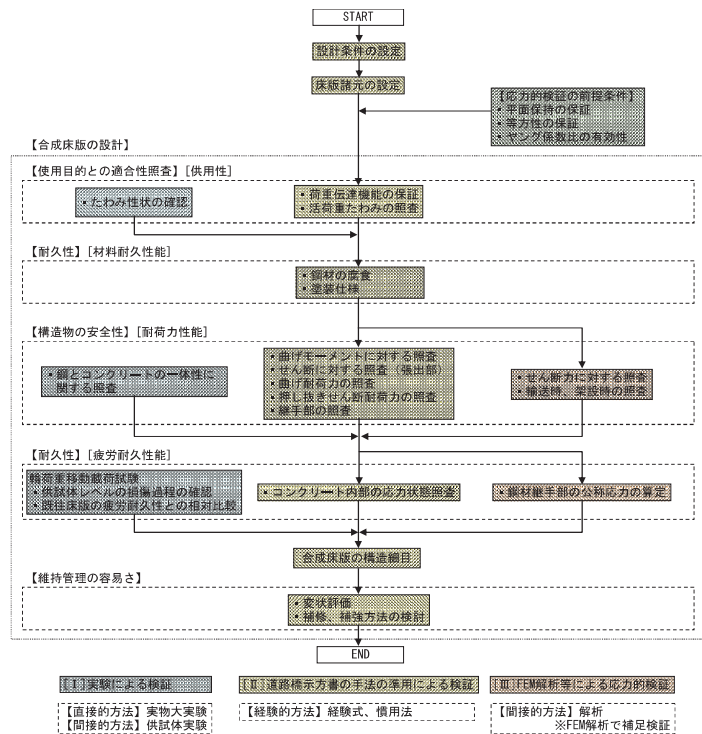


図 1.5-1 合成床版の設計の流れ

2.2 設計条件

2.2.1 設計荷重

(1) 死荷重

一般に、材料の単位重量は、あらかじめ実重量を明らかにする等によって適切に評価して設定する必要がある。道示に示される値は、材料の調査結果を基にした一応の標準値であるので、使用材料の種類がこれに該当する場合はこの値を用いることが可能である。

合成床版の単位重量は、道示に示されていないが、単位体積あたりの鋼材量が一般の RC 床版と異なることから、合成床版個々の構造形状に応じ適切に定める必要がある。

また、部材設計にあたっては、床版コンクリートの硬化前後において、底鋼板、補強リブ、鉄筋、コンクリート等の合成前荷重と舗装・地覆等の橋面荷重及び活荷重の合成後荷重とに区分し、各々を支持する部材の剛性を適切に評価する必要がある。

その他の死荷重として、路面の横断勾配に対して調整コンクリートを用いる場合には、調整コンクリートの重量を適切に考慮する必要がある。

(2) 活荷重

活荷重は、耐荷力設計を行う際には、自動車荷重 (T 荷重) や群集荷重を設計部材に最も不利な応力を与えるよう載荷する必要がある。また、疲労設計を行う際には、設計で考慮する期間にその橋に載荷される可能性のある最重量級自動車荷重の影響を考慮するとともに、実車両の様々な軸距や軸数による影響についても適切に評価する必要がある。

(3) 衝撃の影響

活荷重の載荷に際しては、衝撃を考慮する必要がある。衝撃荷重の設定に際しては、支間長や構造特性、死荷重と活荷重の比等の影響を適切に考慮する必要がある。RC 床版や PC 床版の場合で、道示 II 8.2.4、8.3.4 に規定される曲げモーメント式を適用する際には衝撃の影響が既に考慮されているが、道示 II 8.3.4 に示される設計曲げモーメント式の適用範囲を超えた場合には、想定する活荷重による動的特性を踏まえ、過度にならない程度に適切に衝撃の影響を評価する必要がある。

(4) 施工時荷重

合成床版の施工時には、鋼板パネルを形状保持材として、あるいは架設系における主げたの一部としての機能を持たせる場合がある。その場合には、計画された施工方法や施工中の構造形状等に応じ、床版質量、施工機材の質量及び配置あるいは温度変化等について適切な荷重を定める必要がある。

(5) その他

その他、道示に定めのない荷重によって設計を行う場合には、施工時の諸条件や構造等によって、荷重強度や載荷方法等を適切に定める必要がある。

2.2.2 使用材料

一般に、合成床版に使用する材料は、所要の特性を有するとともに安定した品質が確保されていることを確認する必要がある。道示に定められた使用材料は、これらが確保されているものとみなしてよい。

合成床版は、底鋼板とずれ止め、補強材及びコンクリートからなる比較的簡素な構造であるが、道示に規定されていない範囲の板厚や材質の材料を使用する場合には、以下に示す事項について確認する必要がある。

- ・ 道示に規定されていない材料を用いる場合は、JIS に規定された材料であること
- ・ JIS で規定されていない材料を用いる場合は、JIS で規定された材料と同等かそれ以上の品質であることを保証すること

2.2.3 許容応力度

設計荷重に対する安全性等の照査に用いる許容応力度は、使用材料や部材の応力状態及び施工品質等に配慮して定められたものでなければならない。

材料の許容値に関して道示に規定される値を使用する場合には、表 2.3-1 に示す事項について確認する必要がある。

表 2.3-1 道示に規定される許容値

確認項目	許容値
使用材料	道示に規定されたものであること
応力状態	道示に想定している範囲内であること
施工品質	道示に規定する品質を確保していること

道示に規定のない材料の使用や、道示で想定している応力状態、あるいは道示で規定している品質と異なる場合等には、許容値を適切に設定する必要がある。

許容応力度を定めるにあたっては、表 2.3-2 に示すように、設計荷重の載荷頻度や組合せに配慮するほか、初期不整や残留応力など部材の不完全性を考慮した耐荷力を実験等により確認する必要がある。

表 2.3-2 道示に規定のない許容値

確認項目	許容値
使用材料	道示に規定されていない材料を用いる場合は、材料の機械的性質や強度のばらつき等を踏まえ、道示と同等の安全度を有するように許容応力度を設定すること
応力状態	道示で想定している応力状態と異なる場合には、道示と同等の安全度を有するように許容応力度を設定すること
施工品質	道示の規定する品質と異なる場合には、道示と同等の安全度を有するように許容応力度を設定すること

2.3 設計の前提

一般に、RC 床版の設計においては、道示 II 8.2.4 に定める曲げモーメントにより、床版断面の応力度を算定し、許容応力度を満足していることを確認しているが、合成床版の設計を、RC 床版と同様に行う場合には、個々の前提条件である等方性や平面保持等の仮定が成立していることをあらかじめ確認しておく必要がある。

2.3.1 断面力算定上の仮定

合成床版の設計に際し、道示 II 8.2.4 に規定されている設計曲げモーメント式によって部材断面に生じる断面力の算定を行う場合は、適用式の設定根拠である床版の等方性が個々の床版において成立していることが課題となる。したがって、設計に先立ち、対象とする合成床版の等方性が保証されていることを確認しておく必要がある。

(1) 等方性の保証

合成床版の等方性は、RC 床版と同等以上の配力鉄筋方向剛性／主鉄筋方向剛性日を確認していること等により確認できる。

[検証事例 1-2]

2.3.2 応力度算定上の仮定

2.3.2.1 応力度の算定

部材断面に生じるコンクリート及び鋼材の応力度の算定を行う場合は、次の(1)～(3)の仮定が成立していることを確認する必要がある。

(1) 平面保持の保証

道示では、断面計算は、部材の歪みひずみが断面の中立軸からの距離に比例していることを前提としているため、設計の対象とする床版のひずみ分布状態を実験等により確認しておく必要がある。

[検証事例 1-1]

(2) 引張側コンクリートの取扱い

床版断面の応力度を算定する際には、コンクリートの引張応力の考慮・非考慮の扱いを明確にし、引張応力を受ける合成床版のコンクリートにひび割れが生じた際の応力状態を適切に算定する必要がある。

(3) 鋼とコンクリートのヤング係数比

一般に、鋼とコンクリートは弾性体として扱い、各々の変形特性はヤング係数で表わされる。合成床版の設計は、鋼とコンクリートの剛性作用を考慮して行うが、実橋での応力状態を実験等で確認するなど、ヤング係数比を適切に定める必要がある。

[検証事例 1-3]

2.3.3 構造解析

構造部材の応力度及び変位量の算出には、荷重状態に応じた部材の材料特性や構造形式に応じた幾何学的特性や床版の支持条件等を適切に評価できる解析理論及び解析モデルを用いることが必要である。

合成床版の設計において、曲げ及びせん断挙動における構造解析は、構造物の変形挙動などを十分反映できる単純化された構造モデルで行うことが望ましいが、単純化されたモデルでは構造特性の把握が困難な場合には有限要素解析モデル等を用いる必要がある。

また、設計で必要となる応答値の算定を行う際に使用する解析プログラムは、その信頼度と入力パラメータの扱いに注意が必要であり、特に、汎用有限要素法プログラムを使用する際には、解析プログラムの有効性と精度及びその取り扱い方法等について確認しておく必要がある。

2.4 合成床版の設計

2.4.1 構造物の安全性照査

合成床版の安全性照査は、直接支持する活荷重の影響に対して安全であることを証明する。本項では、実橋との整合性や設計の前提事項の確認の必要性など安全性照査に関わる課題を整理し、設計断面力を算定する方法や断面照査の考え方を示した。

2.4.1.1 安全性照査の課題

道示では、RC床版・PC床版・鋼床版等の安全性照査の方法について示されているが、合成床版の設計に際しては、具体的な安全性照査の方法が示されていないうえに、合成床版は、必ずしも従来規定に従って照査を行えるような構造であるとは限らないことから、合成床版の安全性照査は、図4.1.1-1に示すように、たわみや断面力の他、応力度等の指標を適切に定め、これを基に道示に規定される従来の床版と同等以上の性能を有していることを適切な方法により確認する必要がある。

また、合成床版の安全性照査は、床版作用のみではなく、床版と主げたの合成作用についても実橋の諸条件や施工品質等に配慮し、実大規模での検証または実橋との整合性の確認が必要である。

なお、各応答値を算出するにあたっては、その前提となる事項に十分配慮し、設計の対象とする床版の構造特性が、3項で述べた設計の前提事項を満足していることを確認する必要がある。

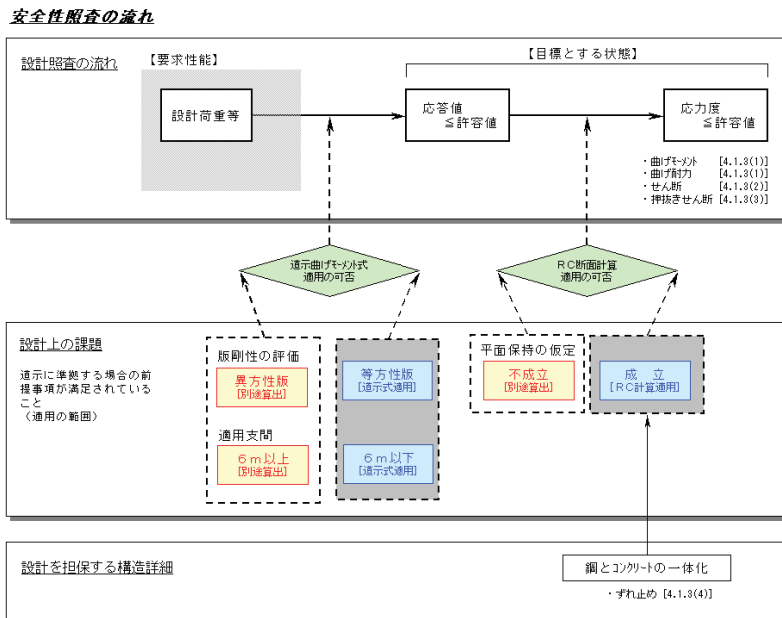


図 4.1.1-1 安全性照査の流れ

2.4.1.2 設計断面力の算定

(1) 設計曲げモーメント

合成床版の設計曲げモーメントの算定は、直接支持する活荷重の影響を正しく捉えたものである必要がある。本項では、道示Ⅱ8.2.4、Ⅱ8.3.4に基づき算定する方法の他、道示の考え方に沿った厳密な解析により算出する方法を示した。

a) 道示に準拠する場合

自動車荷重に対する耐荷性能の照査における断面力は、道示Ⅱ8.2.4、Ⅱ8.3.4では、RC床版やPC床版において、活荷重（T荷重による）設計曲げモーメントが示されている。

合成床版の設計において、これらの式を準用する場合には、活荷重設計曲げモーメント算出の前提として、表4.1.2-1に示す項目を照査する必要がある。

[検証事例 1-4]

表 4.1.2-1 道示の設計曲げモーメント式を準用する場合の確認項目

道示準用の前提事項	確認項目
2辺単純支持版または1辺固定支持版他辺自由無限版とみなせること	辺長比が1:2以上の版であること
等方性版とみなせること	RC床版と同等以上の I_x/I_y 比を有していること
道示に規定する活荷重を幅員方向に台数に制限無く載荷できること	
道示で規定する衝撃の影響を考慮すること	RC床版と同程度の平坦性を有していること
輪荷重の分布は、アスファルト舗装を通して、床版全厚の1/2面まで45°の角度で分布すること	50mm以上の舗装厚を確保していること
理論式または解析の仮定と実際の構造との違いや、床版を施工するときに生じる床版厚や配筋の誤差に対する余裕量が10~20%であること	解析精度や施工誤差がRC床版での余裕量と同等以上を確保していること
床版を支持する間隔が適用範囲を超えていないこと	道示の適用範囲であること
支持げたの本数、支間、間隔、剛性等に起因する不等沈下の影響がないこと	道示の適用範囲であること

b) 道示の考え方に沿った厳密な解析により算出する場合

合成床版の設計において適用支間長など道示の適用範囲を超える場合には、道示の考え方に従い、適切な解析方法によって設計断面力を算出する必要がある。特に、有限要素法による解析などの厳密な解析により独自に設計断面力を算定する場合には、その前提として次の仮定が成立していることを確認する必要がある。

表 4.1.2-2 道示の考え方に沿った厳密な解析により算出する場合の確認項目

道示準用の前提事項	確認項目
等方性版とみなせること	版の等方性または異方性度の影響を評価すること
道示に規定する活荷重を幅員方向に台数に制限無く載荷すること	道示で想定している大型の自動車の輪荷重を、床版の各部位にとって最も不利となるような状態で載荷すること
道示に規定する衝撃係数を用いること	RC床版と同程度の平坦度を有していること
輪荷重の分布は、アスファルト舗装を通して、床版全厚の1/2面まで45°の角度で分布すること	50mm以上の舗装厚を確保していること
理論式または解析の仮定と実際の構造との違いや、床版を施工するときに生じる床版厚や配筋の誤差に対する余裕量が10~20%であること	解析精度や施工誤差がRC床版での余裕量と同等以上を確保していること

(2) 設計せん断力

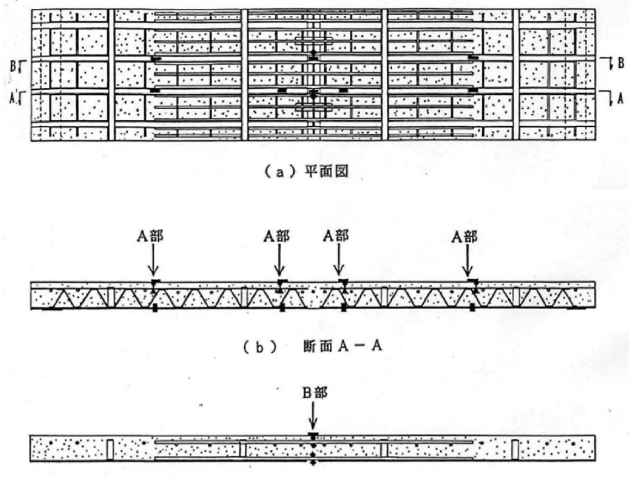
一般に、RC床版の設計においては、道示Ⅱ8.2.4に規定される設計曲げモーメント及び道示Ⅱ8.2.5に規定される床版の最小全厚等により床版の設計を行う場合には、せん断力に対する安全性は担保されており、その照査を省略することを認めているが、合成床版の設計においては、道示規定によらない床版厚を採用しているため[1-5]、活荷重によるせん断力に対する安全性を有していることを確認する必要がある。せん断力に対する照査を行う場合には、床版の形状や支持条件等を考慮して、設計せん断力を版理論等によるなど正しく算定する必要がある。

(3) 施工時荷重による設計断面力

合成床版を設計する際には、床版が完成するまでの期間において、特殊荷重として架設及び輸送時の状況に応じた荷重による影響を適切に検証する必要がある。施工時の断面力は、施工手順や施工時の構造系等に配慮し、適切に算定する必要がある。

2.5 検証事例

2.5.1 構造物の安全性照査

1-1	平面保持の確認		
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにする。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)
検証目的	鋼とコンクリートの合成構造であり、設計計算上の仮定である平面保持が成立することを確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	定点疲労試験により、断面内のひずみが直線分布になることを確認する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>合成床版は合成後の死荷重および活荷重断面力に対して、鋼とコンクリートが一体化して挙動すると考える。正曲げモーメントが作用する場合、平面保持の仮定が成立し、断面内のひずみが図 1-2 に示すような直線分布になることを検証する。</p> <p>ここでは、定点疲労試験の結果を用いて検証を行う。</p>  <p>(a) 平面図</p> <p>(b) 断面 A-A</p> <p>(c) 断面 B-B</p> <p>図 1-1 実験供試体図</p>		

検証内容

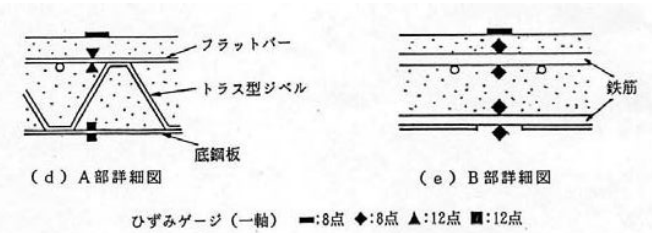


図 1-1 実験供試体図

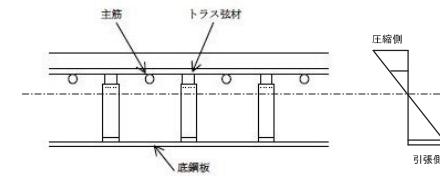


図 1-2 ひずみ分布図

(2) 実験方法

図 1-3 に示すような定点疲労試験結果により、载荷回数とひずみの関係を検証する。

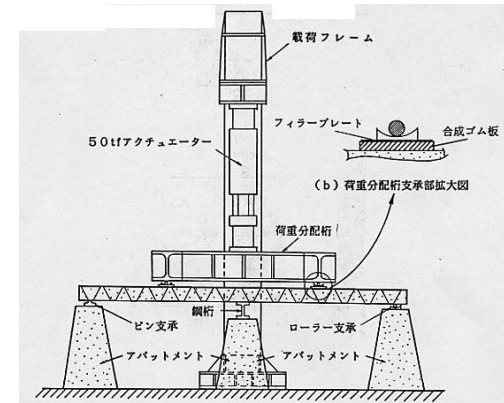


図 1-3 定点疲労試験

検証内容

(3) 実験結果

定点疲労試験結果より、底鋼板、トラス弦材及びコンクリート縁のひずみと載荷繰返し数との関係を示す。結果、400万回の繰返し載荷においても、断面内のひずみが直線分布していると考えられる。

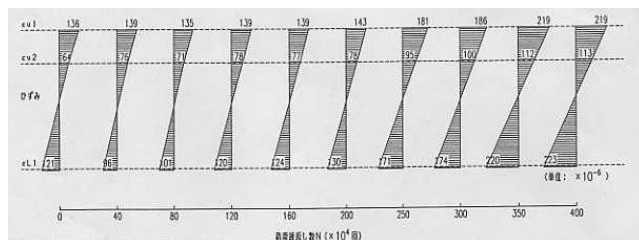


図 1-4 床版支間方向のひずみと載荷繰返し数との関係

(4) 評価

本実験結果に示されるように、コンクリート上面と鋼部材のひずみが直線分布となっていることが検証された場合には、平面保持の法則が成立するものと評価できる。

<参考文献>

- 「トラス型ジベルを用いた合成床版の梁としての定点疲労実験」 (財) 災害科学研究所、平成3年3月

1-2	等方性の確認		
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにする。	関連規定	道示Ⅱ8.1.2(1)
検証目的	道路橋示方書に準拠して設計する場合、設計の前提条件の適用性を確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	主筋方向と配筋方向における断面の中立軸の位置を実験により検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>土木研究所で実施した輪荷重走行試験における合成床版の計測結果とFEM解析結果を比較し、等方性の検証を行う。</p> <p>(2) 解析条件および解析モデル</p> <p>平面FEM解析により、床版を4節点平面シェル要素としてモデル化した場合を示す。また床版の橋軸方向端部は、図 2-1 に示すように横梁によって支持する構造を想定し、この支持梁にはり要素を適用した。</p>		
	図 2-1 FEM 解析モデル		

検証内容

解析モデルに対する荷重載荷は、載荷板（200 mm×500 mm）上に等分布荷重として作用し、床版厚（コンクリート厚= 200 mm）の1/2 まで45度の角度で分散するものと仮定して載荷面積（400 mm×700 mm）とした（図 2-2）。輪荷重は $P = 157 \text{ kN}$ （ 0.561 N/mm^2 ）を載荷する。

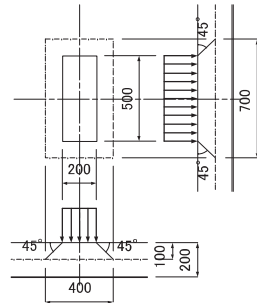


図 2-2 輪荷重の接地幅

(3) 実験結果

1) 中立軸の位置

輪荷重走行試験結果より、主筋方向と配力筋方向の中立軸位置と載荷繰り返し回数との関係を示す。結果、主筋方向と配力筋方向の中立軸位置は最終段階までほぼ同様にあるといえる。

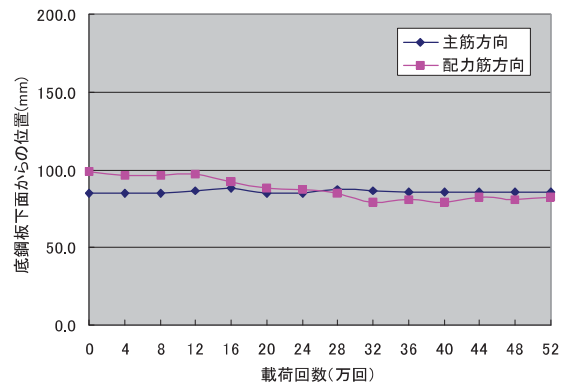


図2-3 中立軸の位置—載荷回数

検証内容

また、主筋方向に対する配力筋方向の応力比を示す。

主筋方向に対する配力筋方向の応力比は、載荷回数 28 万回付近で配力筋方向から主筋方向への応力変動が見られるが、底鋼板応力以外には全く変動が見られない。また、設計上付着を期待していない底鋼板面とコンクリートの付着切れが打音検査の結果、一部で確認された頃であり、この底鋼板のみの一時的な応力変動は、この付着切れに起因すると考えられる。また、載荷回数 16 万回でも底鋼板のみに応力変動が見られるが、これも同様に、計測点付近の局所的な底鋼板とコンクリートの付着切れが起因していると予想される。計測値が 0.75~0.90 に対して、等方性として計算した理論値 (FEM 解) が 0.8 であり、断面剛性がほぼ等価と言える。また、一般の R C 床版の剛比 (配力筋/主筋) が 0.7 程度であることから妥当な結果と推測できる。

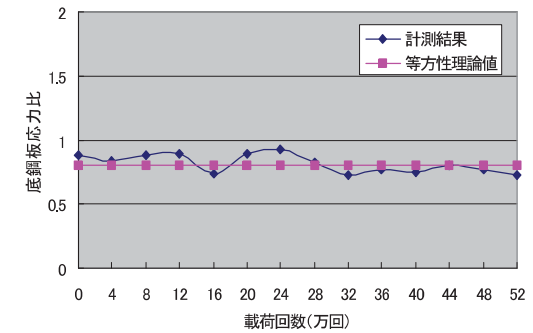


図2-4 底鋼板応力比—載荷回数

実験値より、主筋方向と配力筋方向の中立軸位置がほぼ同じ位置にあり、かつ等方性として計算した理論上の底鋼板応力比 (配力筋応力/主筋応力) と実験の底鋼板応力比とはほぼ一致している。

(4) 評価

実験において主筋方向と配力方向の中立軸に位置がほぼ同じであり、また等方性版としての解析値と実験値における応力比がほぼ等しい場合は等方性版として評価できる。

<参考文献>

- 1) 「道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書 (その 4)」: 国土交通省土木研究所、平成 13 年 1 月

1-3	ヤング係数比の設定		
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにする。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)
検証目的	鋼とコンクリートの合成構造であり、設計に用いるヤング係数比を適切に設定する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	土木研究所で実施した輪荷重走行試験における合成床版の計測結果とFEM解析結果を比較することにより等方性の検証を行う。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>土木研究所で実施した輪荷重走行試験における合成床版のたわみ性状とFEM解析結果を比較し、ヤング係数比の検証を行う。</p> <p>(2) 解析条件および解析モデル</p> <p>平面FEM解析により、床版を4節点平面シェル要素としてモデル化した場合を示す。また床版の橋軸方向端部は、図3-1に示すように横梁によって支持する構造を想定し、この支持梁にはり要素を適用した。</p>		

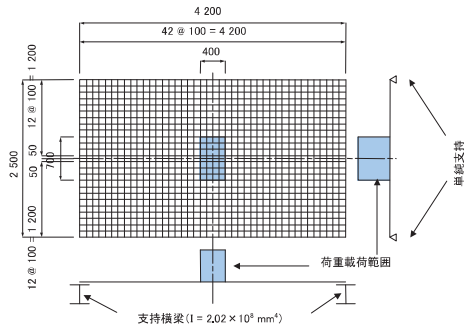


図3-1 FEM解析モデル

検証内容	<p>解析モデルに対する荷重載荷は、載荷板 (200 mm×500 mm) 上に等分布荷重として作用し、床版厚 (コンクリート厚= 200 mm) の1/2まで45度の角度で分散するものと仮定して載荷面積 (400 mm×700 mm) とした (図3-2)。輪荷重は $P = 157 \text{ kN}$ (0.561 N/mm^2) を載荷する。</p>
------	---

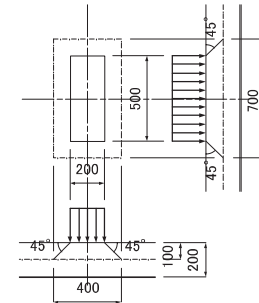


図3-2 輪荷重の設置幅

(3) 実験結果

図3-3に走行回数2万回と52万回時点における主筋方向(橋軸直角方向)の157kN(16t)換算弾性たわみ分布性状を示す。図中のFEM解析は、合成床版を等方性のシェル要素でモデル化し、床版中央部に輪荷重(16t)を載荷した場合の計算結果である。ヤング係数比を $n=10$ として、コンクリート部分を全断面有効にした場合と、引張側を無視した場合(換算剛性)についてそれぞれ算出した値を使用した。

なお、実験供試体のコンクリートの設計基準強度は 30N/mm^2 である。

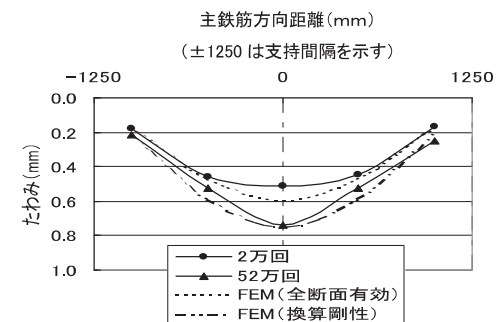


図3-3 主筋方向のたわみ分布

<p>検証内容</p>	<p>さらに、主筋方向で推定した剛性を用いた FEM 解析値と実験値の配力筋方向（橋軸方向）のたわみ分布性状とを、図3-4 に比較した。走行回数 2 万回、52 万回どちらの時点も解析値と実験値がほぼ一致しており、等方性版と考えると問題のないことが確認できる。</p> <div style="text-align: center;"> <p>配力筋方向距離 (mm) (±2100 は支持間隔を示す)</p> </div> <p>図3-4 配力筋方向のたわみ分布</p> <p>(4) 評価</p> <p>ヤング係数比を $n=10$、引張側コンクリート部分を無視した場合（換算剛性）に解析値のたわみ性状が実験結果とよく一致している。また、配力筋方向（橋軸方向）のたわみ分布性状においても、パネル継手部の影響も見られず、走行回数 2 万回、52 万回どちらの時点も解析値と実験値がほぼ一致している。</p> <p>なお、コンクリートの設計基準強度が本実験と大きく異なる場合は、ヤング係数比を適切に設定のうえ構造解析との整合を図ることが必要である。</p> <p><参考文献></p> <p>1) 「道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その4）」：国土交通省土木研究所、平成 13 年 1 月</p>
--------------------	---

1-4	曲げモーメントに対する応力度の照査																																																																																										
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにする。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2 (1)																																																																																								
検証目的	鋼とコンクリートとの合成構造であり道示に準拠して設計する場合、平面保持、等方性など適用性を確認のうえ、複鉄筋矩形断面鉄筋コンクリートによる計算を行なう必要がある。																																																																																										
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																																																																																										
検証方針	曲げモーメントに対する照査は道路橋示方書に基づいて行なう																																																																																										
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <p>道路橋示方書により計算される設計曲げモーメントに対して、床版各部に発生する応力度が材料に許容される応力度以下であることを確認する。</p> <p>なお、複鉄筋矩形断面鉄筋コンクリートによる計算を行なう前提として、当該床版が等方性版であり、かつ平面保持の法則が成立することを確認しておく必要がある。</p> <p>(2) 検証事例</p> <p>i) 設計曲げモーメント 床版支間長：4.0m～6.0m 「道示Ⅲ コンクリート橋編，7.4.2 床版の設計曲げモーメント」を適用する。</p> <p style="text-align: center;">表-7.4.1 T 荷重（衝撃を含む）による床版の単位幅（1 m）あたりの設計曲げモーメント (kN・m/m)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">版の区分</th> <th rowspan="2">曲げモーメントの種類</th> <th rowspan="2">構造</th> <th rowspan="2">床版の支間の方向(注) 曲げモーメントの方向 適用範囲</th> <th colspan="2">車両進行方向に直角</th> <th colspan="2">車両進行方向に平行</th> </tr> <tr> <th>支間方向</th> <th>支間に直角方向</th> <th>支間方向</th> <th>支間に直角方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">単純版</td> <td rowspan="2">支間曲げモーメント</td> <td>RC</td> <td>$0 \leq l \leq 4$</td> <td>$+(0.12l + 0.07)P$</td> <td>$+(0.10l + 0.04)P$</td> <td>$+(0.22l + 0.08)P$</td> <td>$+(0.06l + 0.06)P$</td> </tr> <tr> <td>PC</td> <td>$0 \leq l \leq 6$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">連続版</td> <td rowspan="2">支間曲げモーメント</td> <td>RC</td> <td>$0 \leq l \leq 4$</td> <td>$+(単純版の80\%)$</td> <td>$+(単純版の80\%)$</td> <td>$+(単純版の80\%)$</td> <td>$+(単純版の80\%)$</td> </tr> <tr> <td>PC</td> <td>$0 \leq l \leq 6$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2">支点曲げモーメント</td> <td>RC</td> <td>$0 \leq l \leq 4$</td> <td>$-(0.15l + 0.125)P$</td> <td>—</td> <td>$-(単純版の80\%)$</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>PC</td> <td>$0 \leq l \leq 6$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">片持版</td> <td rowspan="3">支点曲げモーメント</td> <td>RC</td> <td>$0 \leq l \leq 1.5$</td> <td>$-P \cdot l$</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$0 \leq l \leq 1.5$</td> <td>$1.30l + 0.25$</td> <td>—</td> <td>$-(0.7l + 0.22)P$</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>PC</td> <td>$1.5 < l \leq 3.0$</td> <td>$-(0.6l - 0.22)P$</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2">先端付近曲げモーメント</td> <td>RC</td> <td>$0 \leq l \leq 1.5$</td> <td>—</td> <td>$+(0.15l + 0.13)P$</td> <td>—</td> <td>$+(0.16l + 0.07)P$</td> </tr> <tr> <td>PC</td> <td>$0 \leq l \leq 3.0$</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			版の区分	曲げモーメントの種類	構造	床版の支間の方向(注) 曲げモーメントの方向 適用範囲	車両進行方向に直角		車両進行方向に平行		支間方向	支間に直角方向	支間方向	支間に直角方向	単純版	支間曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 4$	$+(0.12l + 0.07)P$	$+(0.10l + 0.04)P$	$+(0.22l + 0.08)P$	$+(0.06l + 0.06)P$	PC	$0 \leq l \leq 6$					連続版	支間曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 4$	$+(単純版の80\%)$	$+(単純版の80\%)$	$+(単純版の80\%)$	$+(単純版の80\%)$	PC	$0 \leq l \leq 6$						支点曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 4$	$-(0.15l + 0.125)P$	—	$-(単純版の80\%)$	—	PC	$0 \leq l \leq 6$					片持版	支点曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 1.5$	$-P \cdot l$	—	—	—		$0 \leq l \leq 1.5$	$1.30l + 0.25$	—	$-(0.7l + 0.22)P$	—	PC	$1.5 < l \leq 3.0$	$-(0.6l - 0.22)P$					先端付近曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 1.5$	—	$+(0.15l + 0.13)P$	—	$+(0.16l + 0.07)P$	PC	$0 \leq l \leq 3.0$				
版の区分	曲げモーメントの種類	構造	床版の支間の方向(注) 曲げモーメントの方向 適用範囲					車両進行方向に直角		車両進行方向に平行																																																																																	
				支間方向	支間に直角方向	支間方向	支間に直角方向																																																																																				
単純版	支間曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 4$	$+(0.12l + 0.07)P$	$+(0.10l + 0.04)P$	$+(0.22l + 0.08)P$	$+(0.06l + 0.06)P$																																																																																				
		PC	$0 \leq l \leq 6$																																																																																								
連続版	支間曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 4$	$+(単純版の80\%)$	$+(単純版の80\%)$	$+(単純版の80\%)$	$+(単純版の80\%)$																																																																																				
		PC	$0 \leq l \leq 6$																																																																																								
	支点曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 4$	$-(0.15l + 0.125)P$	—	$-(単純版の80\%)$	—																																																																																				
		PC	$0 \leq l \leq 6$																																																																																								
片持版	支点曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 1.5$	$-P \cdot l$	—	—	—																																																																																				
			$0 \leq l \leq 1.5$	$1.30l + 0.25$	—	$-(0.7l + 0.22)P$	—																																																																																				
		PC	$1.5 < l \leq 3.0$	$-(0.6l - 0.22)P$																																																																																							
	先端付近曲げモーメント	RC	$0 \leq l \leq 1.5$	—	$+(0.15l + 0.13)P$	—	$+(0.16l + 0.07)P$																																																																																				
		PC	$0 \leq l \leq 3.0$																																																																																								

検証内容

ii) 床版の支間
単純版及び連続版のT荷重及び死荷重に対する支間は、主鉄筋の方向に測った支持げた中心間隔とする。

iii) 照査箇所

一般部

桁端部

a: 支間中央部
b: 片持部(支点部)
c: 片持部(ハンチ端部)

a: 支間中央部
b: 片持部(支点部)

図4-1 床版の照査箇所

iv) 断面モデル

支間部

支点部

ハンチ部

配筋筋方向

図4-2 床版の断面モデル

検証内容

(3) 検証結果

< 2 主桁 >

主桁筋方向	一般部												
	左側部 (b)		中央部 (c)		右側部 (d)		中間部 (e)		右端部 (a)				
	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}			
トリア上縁	-40.4	-140.0	<OK>	42.2	140.0	<OK>	71.3	140.0	<OK>	—	95.5	140.0	<OK>
底筋板下縁	91.2	140.0	<OK>	-22.8	-140.0	<OK>	-64.0	-140.0	<OK>	—	-69.7	-140.0	<OK>
コンクリート縁上縁 (b)	-6.2	-10.0	<OK>	-4.5	-10.0	<OK>	-3.1	-10.0	<OK>	—	-5.9	-10.0	<OK>
コンクリート上縁	-4.3	-10.0	<OK>	—	—	—	—	—	—	—	-1.1	-10.0	<OK>
底筋板下縁	38.4	140.0	<OK>	—	—	—	—	—	—	—	19.8	140.0	<OK>

< 3 主桁 >

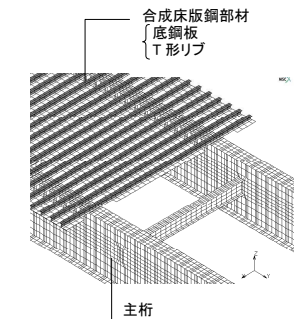
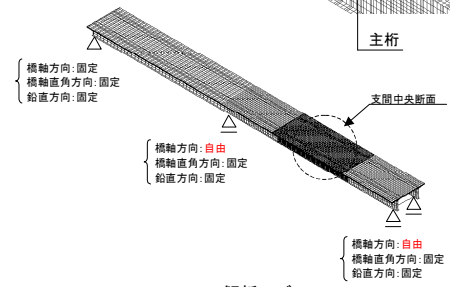
主桁筋方向	一般部												
	左側部 (b)		中央部 (c)		右側部 (d)		中間部 (e)		右端部 (a)				
	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}			
トリア上縁	-46.6	-140.0	<OK>	46.4	140.0	<OK>	93.7	140.0	<OK>	123.9	140.0	<OK>	
底筋板下縁	69.0	140.0	<OK>	-13.1	-140.0	<OK>	-76.4	-140.0	<OK>	-52.0	-140.0	<OK>	
コンクリート縁上縁 (b)	-5.2	-10.0	<OK>	-4.3	-10.0	<OK>	-7.2	-10.0	<OK>	-6.6	-10.0	<OK>	
コンクリート上縁	-3.6	-10.0	<OK>	—	—	—	—	—	—	—	-1.5	-10.0	<OK>
底筋板下縁	31.3	140.0	<OK>	—	—	—	—	—	—	—	18.7	140.0	<OK>

図4-3 床版に発生する応力度と判定結果

(4) 評価

平面保持、等方性の適用性が確認された場合には、曲げモーメントに対する照査として複鉄筋矩形断面鉄筋コンクリートによる計算により応力度を算出することができる。

1-5	せん断力に対する応力度の照査（方法1）		
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全な構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)
検証目的	鋼コンクリート合成床版の最小厚に関しては道路橋示方書には規定されていないため、耐荷力を確保するにあたっては他の適切な図書等の参照、もしくは解析により性能が保証できる床版厚が確保されていることを確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	必要とされる最小床版厚を確保することによりせん断力の作用に対して十分な耐荷力を有することを検証する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要 土木学会や日本橋梁建設協会編の図書に基づき、規定されている最小床版厚以上あることを確認する。</p> <p>(2) 検証方法 例えば、「鋼構造物設計指針 PART B（土木学会，平成9年）」では、最小床版厚は次のように規定されている。</p> $H = 2.5L + 10 \quad \dots \dots \dots (1)$ <p>ここに、H：コンクリート部の最小厚さ（cm） L：床版支間（m）</p> <p>計画する橋梁の床版厚が上記を満足する場合は、耐荷力、耐久性が確保されているとみなすことができる。なお、実際の運用にあたっては「合成床版の設計・施工マニュアル」（日本橋梁建設協会，平成15年）での規定を適用し(1)式に代わり、(2)式を採用することが多い。</p> $H = 25L + 110 \quad \dots \dots \dots (2)$ <p>ここに、H：底鋼板を含む床版の最小厚さ(mm) L：床版支間(m)</p> <p>合成床版の場合、底鋼板が鉄筋コンクリート床版という引張側主鉄筋の役割を担い、設計上断面に寄与しない引張側コンクリートのかぶりに相当する厚みを省略できるという構造上の特徴がある。また、床版の下面全域に底鋼板があり、その合成断面の中立軸は鉄筋コンクリート床版と比較して相対的に下側に移動するため、圧縮領域にあるコンクリートの有効断面が増加するという特性がある。こうした理由により、上式により最小床版厚が満足されている場合、合成床版は十分なせん断耐荷力を有していると考えられる。</p>		

1-6	せん断力に対する応力度の照査（方法2）																
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全な構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)														
検証目的	鋼コンクリート合成床版の最小厚に関しては道路橋示方書には規定されていないため、耐荷力を確保するにあたっては他の適切な図書等の参照、もしくは解析により性能が保証できる床版厚が確保されていることを確認する必要がある。																
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																
検証方針	設計の対象とする構造を適切にモデル化のうえFEM解析によりせん断力の作用に対して十分な耐荷力を有することを照査する。																
検証内容	<p>(1) 検証概要 FEM解析により、T荷重による作用せん断応力度が許容せん断応力度以下であることを確認する。</p> <p>(2) 検証事例 i) 解析諸元</p> <table border="1" style="margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">解析条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>橋梁形式</td> <td>2径間連続2主桁橋</td> </tr> <tr> <td>支間長</td> <td>39.2 m + 49.5 m</td> </tr> <tr> <td>幅員</td> <td>9.4 m</td> </tr> <tr> <td>床版形式</td> <td>合成床版</td> </tr> <tr> <td>床版支間</td> <td>6.0 m</td> </tr> <tr> <td>床版厚</td> <td>260 mm</td> </tr> </tbody> </table>   <p style="text-align: center;">解析モデル</p>			解析条件		橋梁形式	2径間連続2主桁橋	支間長	39.2 m + 49.5 m	幅員	9.4 m	床版形式	合成床版	床版支間	6.0 m	床版厚	260 mm
解析条件																	
橋梁形式	2径間連続2主桁橋																
支間長	39.2 m + 49.5 m																
幅員	9.4 m																
床版形式	合成床版																
床版支間	6.0 m																
床版厚	260 mm																

検証内容

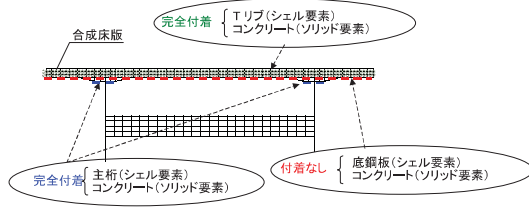


図6-2 要素間の接合条件

表6-1 鋼部材の材料特性

	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比 (-)	降伏応力 (N/mm ²)
鋼部材	2.0×10^5	0.3	245

表6-2 コンクリート部材の材料特性

	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比 (-)
コンクリート	2.0×10^4	1 / 6

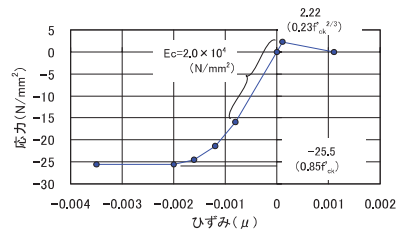


図6-3 コンクリートの応力-ひずみ曲線

検証内容

(3) 解析結果

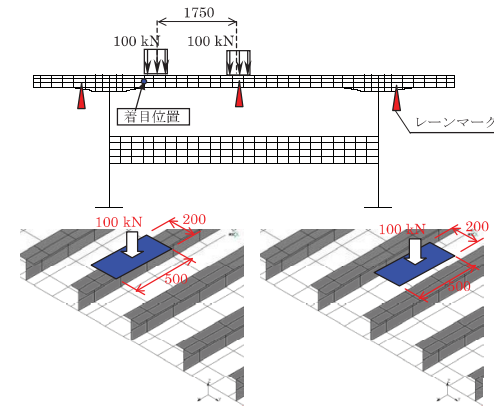


図6-4 荷重位置と着目位置

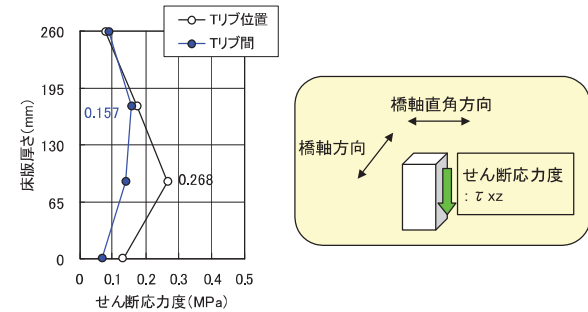


図6-5 コンクリートのせん断応力分布

表6-3 コンクリートのせん断応力

	(a) Tリブ上荷荷	(b) Tリブ間荷荷	コンクリートが負担できる平均せん断応力
最大せん断応力 (MPa)	0.38	0.22	—
平均せん断応力 (MPa)	0.26	0.17	0.45

※設計基準強度 30 (MPa)

(4) 評価

この解析事例においては、リブ上荷荷とリブ間荷荷では発生応力が若干異なるが、コンクリートのせん断応力を衝撃係数0.4を考慮した厚さ方向の平均値として検証した場合、いずれも許容応力に対して余裕のある結果となっている。このような場合には、設定された床版厚は要求される耐荷力を保有しているものと考えられる。

1-7	曲げ耐力の照査																											
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全ようにする。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2 (1)																									
検証目的	鋼とコンクリートとの合成構造であり道示に準拠して設計する場合、平面保持、等方性など適用性を確認のうえ、複鉄筋矩形断面鉄筋コンクリートによる計算を行ない所定の耐力を有することを確認するとともに、終局曲げモーメントに対する検証を行なうものとする。																											
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																											
検証方針	複鉄筋矩形断面鉄筋コンクリートとして終局曲げモーメントを算出し、終局曲げモーメントが設計曲げモーメントに対して、所定の安全率を有していることを確認する。																											
検証内容	<p>(1) 検証方法 終局曲げモーメント (Mu) と道示式から算出した設計曲げモーメント (M) を比較し、十分な耐力を有していることを確認する。</p> <p>(2) 検証事例</p> <p>引張側 圧縮側鋼材とウェブの断面積は無視</p> <p>終局曲げモーメント $M_u = 0.688f'_c \cdot b \cdot x \cdot (d - 0.416x)$ 設計曲げモーメント $M_L = (0.12L + 0.07) \cdot P \cdot k$</p> <p>図7-1 設計及び終局曲げモーメントの算出</p> <p>表7-1 安全率の算出</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>床版支間 L (m)</th> <th>床版厚 d (mm)</th> <th>設計曲げモーメント M (kN・m)</th> <th>終局曲げモーメント Mu (kN・m)</th> <th>安全率 Mu/M</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.0</td> <td>210</td> <td>61.9</td> <td>328.9</td> <td>5.32</td> </tr> <tr> <td>4.2</td> <td>220</td> <td>65.0</td> <td>348.1</td> <td>5.35</td> </tr> <tr> <td>5.4</td> <td>240</td> <td>84.4</td> <td>386.5</td> <td>4.58</td> </tr> <tr> <td>6.0</td> <td>260</td> <td>95.0</td> <td>424.9</td> <td>4.47</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3) 評価 検証事例にみられるように、曲げ耐力が設計曲げモーメントに対して一定以上の安全率が確保されていれば、曲げモーメントに対して安全性を有するものと評価できる。</p>			床版支間 L (m)	床版厚 d (mm)	設計曲げモーメント M (kN・m)	終局曲げモーメント Mu (kN・m)	安全率 Mu/M	4.0	210	61.9	328.9	5.32	4.2	220	65.0	348.1	5.35	5.4	240	84.4	386.5	4.58	6.0	260	95.0	424.9	4.47
床版支間 L (m)	床版厚 d (mm)	設計曲げモーメント M (kN・m)	終局曲げモーメント Mu (kN・m)	安全率 Mu/M																								
4.0	210	61.9	328.9	5.32																								
4.2	220	65.0	348.1	5.35																								
5.4	240	84.4	386.5	4.58																								
6.0	260	95.0	424.9	4.47																								

1-8	押抜きせん断耐力の照査		
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全ようにする。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2 (1)
検証目的	鋼コンクリート合成床版の最小厚に関しては道路橋示方書には規定されていないため、耐力を確保するにあたっては他の適切な図書等の参照、もしくは解析により性能が保証できる床版厚が確保されていることを確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	押し抜きせん断耐力の評価式を適用し、せん断力の作用に対して十分な耐力を有することを照査する		
検証内容	<p>(1) 検証概要 押し抜きせん断耐力式に基づき押し抜きせん断耐力を算出し、相対的な比較により耐力を有することを照査する。</p> <p>(2) 検証方法 松井らによる破壊モデルでは、はり状化した床版の押し抜きせん断耐力は次式で与えられる。</p> $P_{sx} = 2B \{ \tau_{smax} \cdot xm + \sigma_{tmax} \cdot Cm \}$ <p>ここに、 B : $b+2d$ τ_{smax} : コンクリートの最大せん断応力度 xm : 引張側コンクリートを無視した場合の主鉄筋断面の圧縮コンクリート表面から中立軸までの距離 σ_{tmax} : コンクリートの最大引張応力度 Cm : 主鉄筋のかぶり厚さ d : 配力鉄筋の有効高さ b : 配力鉄筋方向の辺長</p> <p>図8-1 せん断力伝達概念図</p>		

検証内容	<p>ここで、対象とする床版支間4m、コンクリートの設計基準強度 $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ の場合の押抜きせん断耐力を算出する。</p> <p>i) 床版厚さ 鉄筋コンクリート床版の場合 $h=40L+110$ $=270\text{ mm}$</p> <p>合成床版の場合 $h=25L+110$ $=210\text{ mm}$</p> <p>ii) 鉄筋コンクリート床版 $B=b+2dd=67.5\text{ cm}$, $\lambda m=8.9\text{ cm}$, $C_m=4.0\text{ cm}$ $\tau_{smax}=0.252\sigma_{ck}-0.000246\sigma_{ck}^2=53.5\text{ kgf/cm}^2=5.2\text{ N/mm}^2$ $\sigma_{tmax}=0.583(\sigma_{ck})^{2/3}=26.1\text{ kg/cm}^2$ $P_{sx}=2\times 67.5\times\{53.5\times 8.9+26.1\times 4.0\}=78.37\times 10^3\text{ kgf}=78.37\text{ tf}$ $=768.0\text{ kN}$</p> <p>iii) 合成床版 $B=b+2dd=66.2\text{ cm}$ (底鋼板厚=0.8cm), $\lambda m=11.5\text{ cm}$, $C_m=0\text{ cm}$ $P_{sx}=2\times 66.2\times 53.5\times 11.5=81.46\times 10^3\text{ kgf}=81.46\text{ tf}=798.3\text{ kN}$</p> <p>なお合成床版の場合、底鋼板のせん断に対する抵抗力を考慮すると、せん断力に対してさらに大きな耐力を有するものと想定される。</p> <p>(3) 評価 1-5に基づいて最小厚を決定した合成床版の押抜きせん断耐力を算定した結果、当該床版支間における鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力と同等以上となる場合には、せん断に対して十分な耐荷力があるものと評価できる。</p>
-------------	--

1-9	水平せん断力に対する応力度照査		
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全な構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)
検証目的	鋼コンクリート合成床版には各種のずれ止めが採用されているが、床版に使用するずれ止めの照査方法は道路橋示方書には規定されていない形式もある。そのような場合には、適切な方法によりずれ止め機能が要求を満足していることを検証する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	道路橋示方書の準用により、作用する荷重に対して床版各部位に発生する応力度が材料に許容される応力度以下であることを検証する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要 道路橋示方書の当該規定を準用し、ずれ止め機能が確保されていることを検証する。</p> <p>(2) 検証事例 例示する合成床版は、下図に示す頭付きスタッドにより鋼板パネルとコンクリートの一体化を図る形式を対象とする。</p> <div style="text-align: center;"> <p>図9-1 床版断面形状図</p> </div> <p>1) 頭付きスタッドの設計に用いる版のせん断力 頭付きスタッドに作用するせん断力は、鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 第3編 7.4に基づき、下式を用いて算出するものとする。なお、同式は道路橋示方書の活荷重モーメントの算定式と同じ条件でずれ止めに作用するせん断力を求めた式である。</p> $V_d = k (0.011L+0.747) P \text{ (kN)}$ <p>k : ずれ止めの形式によって決定される荷重作用の分担率 (= 0.50) L : 床版支間 (m) P : T荷重 (= 100 kN)</p>		

<p>検証内容</p>	<p>2) 頭付きスタッドの設計に用いる水平せん断応力</p> <p>底鋼板に取り付けられた横リブの間隔を単位幅として水平せん断応力を計算するものとする。</p> $\tau = (d \cdot Vd \cdot Qs / Is) \cdot (p / n \cdot As) \quad (\text{N/mm}^2)$ <p>d : 横リブの間隔 (m) Vd : 鉛直せん断力 (kN) Qs : 断面1次モーメント (mm³) Is : 鋼換算断面2次モーメント (mm⁴) p : 床版の支間方向のスタッド間隔 (mm) n : 床版の支間に直角方向のスタッド本数 As : スタッド1本の断面積 (mm²)</p> <p>3) 頭付きスタッドの耐荷力の照査</p> <p>頭付きスタッドは上述の水平せん断力が、道路橋示方書の許容せん断力以下となることを確認する。</p> $\tau \geq Qa / As \quad (\text{N/mm}^2)$ $Qa = 9.4 d^2 \sqrt{\sigma ck} \quad (H / d \geq 5.5)$ $Qa = 1.72 d H \sqrt{\sigma ck} \quad (H / d < 5.5)$ <p>Qa : スタッドの許容せん断力 (N/本) As : スタッド1本の断面積 (mm²) d : スタッドの軸径 (mm) H : スタッドの全高 (mm) σck : 設計基準強度 (N/mm²)</p>
-------------	--

<p>検証内容</p>	<p>4) 頭付きスタッドの疲労の照査</p> <p>頭付きスタッドは、上述の水平せん断応力が疲労強度以下であることを確認する。疲労強度については以下のように設定する。</p> <p>a) スタッドに回転せん断力が作用する場合</p> <p>スタッドの疲労強度は土木学会鋼構造物設計指針の疲労設計曲線の打ち切り限界を採用する。</p> <p>図9-2 回転せん断力が作用する場合のスタッドの疲労設計曲線</p> <p>b) スタッドの水平せん断力が一定方向の場合</p> <p>横リブ間に配置されている頭付きスタッドは、横リブの作用が強くなると、頭付きスタッドに働くせん断力は一定方向に働く傾向にあることが解析により確認されている。この場合の疲労強度は、鋼構造物の疲労設計指針・同解説（日本鋼構造協会）に示されるスタッドの疲労強度として、67 N/mm²（打ち切り限界）を採用する。</p> <p>(3) 評価</p> <p>道路橋示方書を準用のうえ上述に示した手順によりずれ止めの耐荷力を照査した結果、要求性能を満足する場合は、ずれ止めに必要な機能を保有しているものと評価できる。</p>
-------------	--

1-10	ずれ止めの基本性能の確認		
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全な構造であること	関連規定	道示Ⅱ8.1.2(1)
課題	鋼コンクリート合成床版には各種のずれ止めが採用されているが、床版に使用するずれ止めの照査方法は道路橋示方書には規定されていない形式もある。そのような場合には、適切な方法によりずれ止め機能が要求を満足していることを検証する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	輪荷重走行試験によりずれ止めが所要の機能を有していることを直接的に検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>輪荷重走行試験（土木研究所）により、ずれ止めが疲労の影響を受けても十分な耐久性能を有し、鋼とコンクリート部材が一体として挙動することを検証する。</p> <p>(2) 供試体</p> <p>実物大の床版をモデル化した幅2.5m×長さ4.5mの供試体を使用する。 なお、床版厚は照査する床版支間に応じて適切に設定する。</p> <p>(3) 載荷方法</p> <p>国土交通省で提案されている157kNから392kNまでの漸増載荷を採用する。</p>		

検証内容

(4) 実験結果

輪荷重走行試験における走行回数と床版中央部のたわみの関係および中立軸の変化の状況をそれぞれ下に示す。

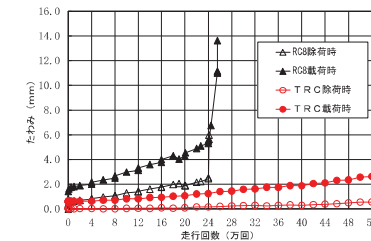


図10-1 たわみ—走行回数

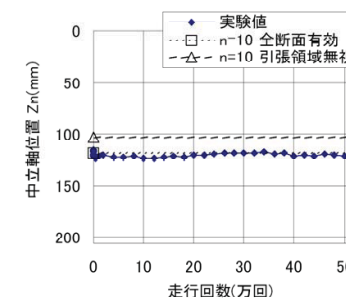


図10-2 中立軸位置—走行回数

(5) 評価

輪荷重走行試験を実施した結果、たわみやひずみの急激な変化がなく未破壊で終了し、またずれ止めの損傷も見受けられなかったため、ずれ止め機能は問題ないものと想定される。なお、下図は損傷の着目点の参考を示す。

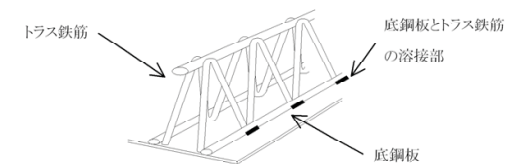
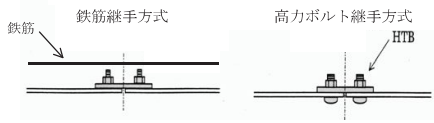


図10-3 損傷の着目点(参考)

1-11	継手部の応力度の照査		
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全な構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)
検証目的	鋼コンクリート合成床版に固有な構造詳細として鋼板パネルの継手があり、その形式もいくつか提案されているため、継手の形式に応じてその強度を照査する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	道路橋示方書を準用し、鋼板パネルの継手部について作用応力度が許容応力度以下であることを照査する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要 道路橋示方書に基づいて対象とする継手形式の設計計算を行い、作用力が許容値以内であることを確認する。</p> <p>(2) 構造例 鋼コンクリート合成床版の鋼板パネルの継手は下図に示す構造の採用を基本とする。一般に設計にあたっては、鋼板の最小板厚の制限から一般部の耐荷力は設計作用力に対して過剰となる場合があり、継手部を一般部と同等の耐荷力とするのは合理的ではないと考えられるので、設計作用力に対して十分安全となるように継手部を設計する点に留意する必要がある。</p> <div style="text-align: center;">  <p>鉄筋継手方式 高力ボルト継手方式</p> </div> <p>図11-1 鋼板パネルの継手構造</p> <p>(3) 評価 上記以外の継手形式を採用する場合においても、上記構造と同様に道路橋示方書に基づき作用応力度が許容応力度以下であることが照査された場合には当該継手は所要性能を満足しているものと評価できる。</p>		

1-12	輸送時・架設時の応力度及びたわみ照査（方法1）																										
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全な構造であること。	関連規定	道示Ⅱ8.1.2(1)																								
検証目的	鋼コンクリート合成床版は、一般に完成系と架設系において応力状態が異なるので、必要に応じて施工の各段階において安全を確認する必要がある。																										
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																										
検証方針	道路橋示方書を準用し、作用する荷重に対して床版各部位に発生する応力度が材料に許容される応力度以下であることを確認する。																										
検証内容	<p>(1) 検証概要 適切な構造解析により応力度及び変形状態を照査し問題ないことを確認する。</p> <p>(2) 検証事例（鋼板パネルの吊り上げ時の検討） 合成床版の輸送時において、鋼板パネルを吊り上げる際の応力状態を鋼構造架設設計施工指針（土木学会）に基づく設計計算により確認する。 【吊り上げ時の施工要領】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 吊角度は60°以内とする。 ・ 吊位置はパネル外側から2本目のリブ位置とする。 ・ 吊点は4点以上とする。 <p>以上の条件を基にパネル吊り上げ時の梁モデルによる設計計算により床版各部位に発生する応力度が許容応力度以下であることを確認する。</p> <div style="text-align: center;"> <p>表12-1 設計条件</p> <table border="1"> <tr><td>設計条件</td><td>2主桁</td></tr> <tr><td>主桁間隔</td><td>6.0 m</td></tr> <tr><td>鋼板パネル幅</td><td>2.5 m</td></tr> <tr><td>鋼板パネル全長</td><td>10.8 m</td></tr> <tr><td>断面積</td><td>26510 mm²</td></tr> <tr><td>断面2次モーメント</td><td>1.28 × 10⁸ mm²</td></tr> <tr><td>ヤング係数</td><td>2.0 × 10⁵ N/mm²</td></tr> <tr><td>単位体積重量</td><td>77kN/m³</td></tr> <tr><td>底鋼板厚</td><td>6.0 mm</td></tr> <tr><td>鋼板パネル自重</td><td>2.04N /mm/m</td></tr> <tr><td>バルブプレートサイズ</td><td>180 × 9.5 × 23 mm</td></tr> <tr><td>載荷荷重</td><td>鋼板パネル自重</td></tr> </table> </div>			設計条件	2主桁	主桁間隔	6.0 m	鋼板パネル幅	2.5 m	鋼板パネル全長	10.8 m	断面積	26510 mm ²	断面2次モーメント	1.28 × 10 ⁸ mm ²	ヤング係数	2.0 × 10 ⁵ N/mm ²	単位体積重量	77kN/m ³	底鋼板厚	6.0 mm	鋼板パネル自重	2.04N /mm/m	バルブプレートサイズ	180 × 9.5 × 23 mm	載荷荷重	鋼板パネル自重
設計条件	2主桁																										
主桁間隔	6.0 m																										
鋼板パネル幅	2.5 m																										
鋼板パネル全長	10.8 m																										
断面積	26510 mm ²																										
断面2次モーメント	1.28 × 10 ⁸ mm ²																										
ヤング係数	2.0 × 10 ⁵ N/mm ²																										
単位体積重量	77kN/m ³																										
底鋼板厚	6.0 mm																										
鋼板パネル自重	2.04N /mm/m																										
バルブプレートサイズ	180 × 9.5 × 23 mm																										
載荷荷重	鋼板パネル自重																										

検証内容

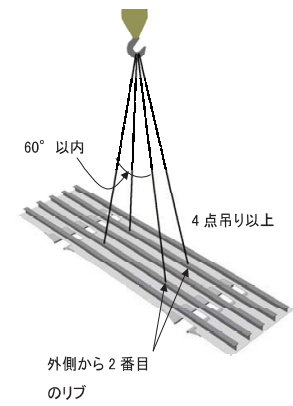


図12-1 鋼板パネルの吊り上げ要領

計算結果は下表に示すとおりである。鋼板パネルを吊り上げる際に所定の要領のとおり作業を行えば、特に有害となる変形や応力が生じることはない。

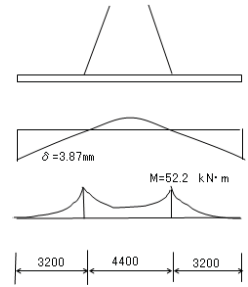


図12-2 変位及び応力分布

表12-2 計算結果

項目	着目位置	最大または最小値	備考
たわみ	底鋼板	3.87 (mm)	端部たわみ
応力度	パルププレート上縁	12.0 (N/mm ²)	パネル吊り位置
	底鋼板下縁	-4.75 (N/mm ²)	パネル吊り位置

検証内容

(3) 検証事例 (コンクリート打込み時)

合成床版の架設後、コンクリート打込み時による応力およびたわみを梁モデルの計算により確認する。設計条件、計算モデルは下に示すとおりである。

表12-3 設計条件

設計条件	2主桁
主桁間隔	6.0 m
鋼板パネル幅	2.5 m
鋼板パネル全長	10.8 m
断面積	26510 mm ²
断面2次モーメント	1.28 × 10 ⁶ mm ⁴
ヤング係数	2.0 × 10 ⁵ N/mm ²
単位体積重量	77kN/m ³
底鋼板厚	6.0 mm
パルププレートサイズ	180 × 9.5 × 23 mm
載荷荷重	コンクリート重量: 24.5kN/m ³ + 施工時荷重 1.50kN/m ²

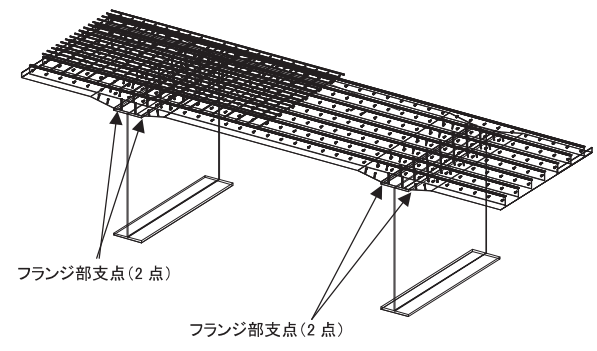


図12-3 計算モデル

<p>検証内容</p>	<p>計算結果は下表に示すとおりである。この結果より、コンクリート打込みにより鋼板パネルに有害となる変形や応力が生じることはないものと判断できる。</p> <p style="text-align: center;">表12-4 計算結果</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>着目位置</th> <th>最大または最小値</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">たわみ</td> <td>底鋼板</td> <td>2.83 (mm)</td> <td>パネル中央</td> </tr> <tr> <td>底鋼板</td> <td>4.14 (mm)</td> <td>端部たわみ</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">応力度</td> <td>バルブプレート上縁</td> <td>52.2 (N/mm²)</td> <td>支点</td> </tr> <tr> <td>底鋼板下縁</td> <td>-13.3 (N/mm²)</td> <td>パネル中央</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;"> <p>図12-4 変位及び応力分布</p> </div> <p>(4) 評価</p> <p>輸送時および架設時における応力および変形状態を適切な構造解析により照査のうえ、鋼板パネルに発生する応力等が道路橋示方書に定める許容応力度以下でることが検証できた場合には、安全性が確保されているものと評価できる。</p>	項目	着目位置	最大または最小値	備考	たわみ	底鋼板	2.83 (mm)	パネル中央	底鋼板	4.14 (mm)	端部たわみ	応力度	バルブプレート上縁	52.2 (N/mm ²)	支点	底鋼板下縁	-13.3 (N/mm ²)	パネル中央
項目	着目位置	最大または最小値	備考																
たわみ	底鋼板	2.83 (mm)	パネル中央																
	底鋼板	4.14 (mm)	端部たわみ																
応力度	バルブプレート上縁	52.2 (N/mm ²)	支点																
	底鋼板下縁	-13.3 (N/mm ²)	パネル中央																

1-13	輸送時・架設時の応力度及びたわみ照査（方法2）																				
要求性能	直接支持する活荷重等の影響に対して安全な構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2 (1)																		
検証目的	鋼コンクリート合成床版では、完成系と架設系において応力状態が異なる場合がある。そのような場合には、施工の各段階において安全を確認する必要がある。																				
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																				
検証方針	輸送時・架設時において、作用する荷重に対して発生応力度が許容応力度以下であることを照査する																				
検証内容	<p>(1) 鋼板パネルの吊り上げ時の検証事例</p> <p>i) 解析諸元</p> <p>合成床版の輸送および架設時において、鋼板パネルを吊り上げる際の応力状態を FEM 解析により確認する。</p> <p>【吊り上げ時の施工要領】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 吊角度は60° 以内とする。 ・ 吊位置はパネル外側から2本目のリブ位置とする。 ・ 吊点は4点以上とする。 <p>以上の条件を基にパネル吊り上げ時の FEM 解析を行う。</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>表13-1 解析条件</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>解析モデル</td><td>2主桁モデル</td></tr> <tr><td>主桁間隔</td><td>6.0m</td></tr> <tr><td>材料要素</td><td>4点シェル要素(鋼板)、3次元はり要素(吊ワイヤ)</td></tr> <tr><td>ヤング係数</td><td>2.0 × 10⁵ N/mm²</td></tr> <tr><td>ポアソン比</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>単位体積重量</td><td>77 kN/m³</td></tr> <tr><td>底鋼板厚</td><td>8.0mm</td></tr> <tr><td>Tリブサイズ</td><td>175×150×9×15 mm</td></tr> <tr><td>載荷荷重</td><td>鋼板パネル自重</td></tr> </tbody> </table> </div>			解析モデル	2主桁モデル	主桁間隔	6.0m	材料要素	4点シェル要素(鋼板)、3次元はり要素(吊ワイヤ)	ヤング係数	2.0 × 10 ⁵ N/mm ²	ポアソン比	0.3	単位体積重量	77 kN/m ³	底鋼板厚	8.0mm	Tリブサイズ	175×150×9×15 mm	載荷荷重	鋼板パネル自重
解析モデル	2主桁モデル																				
主桁間隔	6.0m																				
材料要素	4点シェル要素(鋼板)、3次元はり要素(吊ワイヤ)																				
ヤング係数	2.0 × 10 ⁵ N/mm ²																				
ポアソン比	0.3																				
単位体積重量	77 kN/m ³																				
底鋼板厚	8.0mm																				
Tリブサイズ	175×150×9×15 mm																				
載荷荷重	鋼板パネル自重																				

検証内容

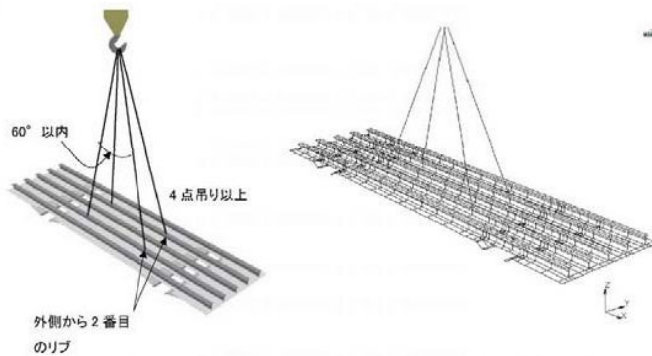


図13-1 鋼板パネルの吊り上げ要領

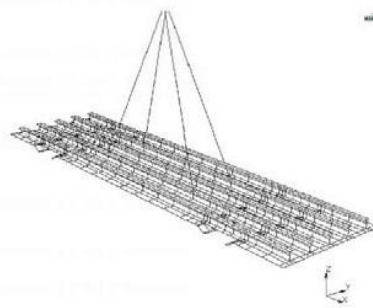


図13-2 FEM解析モデル

ii) 解析結果
解析結果から、鋼板パネルを吊り上げる際に所定の要領のとおり作業を行えば、特に有害となる変形や応力が生じることはない。

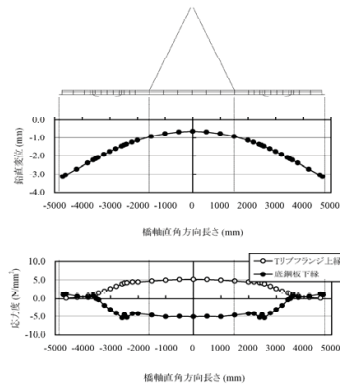


図13-3 変位及び応力分布

表13-1 解析結果

項目	着目位置	最大または最小値	備考
たわみ	底鋼板	2.49 (mm)	中央と端部の差
応力度	Tリブ上縁	5.16 (N/mm ²)	パネル中央
	底鋼板下縁	-5.43 (N/mm ²)	ハンチ取合部

検証内容

(2) コンクリート打込み時の検証事例

i) 解析諸元
合成床版の架設後、コンクリート打込みによる応力およびたわみを FEM 解析により確認する。
解析概要を下表に示す。

表13-3 解析条件

解析モデル	2主桁モデル
主桁間隔	6.0m
材料要素	4点シェル要素(鋼板)
ヤング係数	2.0×10^5 N/mm ²
ポアソン比	0.3
単位体積重量	77 kN/m ³
底鋼板厚	8.0mm
Tリブサイズ	175×150×9×15 mm
載荷荷重	コンクリート重量 : 24.5 kN/m ³

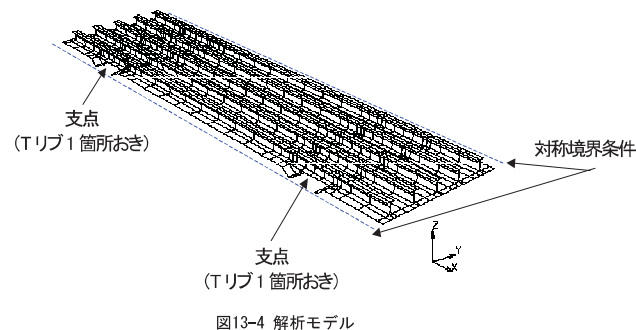


図13-4 解析モデル

<p>検証内容</p>	<p>ii) 解析結果およびまとめ 解析結果から、コンクリートの打込みにより鋼板パネルに有害となる変形や応力が生じることはない。</p> <p style="text-align: center;">表13-4 解析結果</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>着目位置</th> <th>最大または最小値</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たわみ</td> <td>底鋼板</td> <td>2.59 (mm)</td> <td>パネル中央</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">応力度</td> <td>Tリブ上縁</td> <td>-19.5 (N/mm²)</td> <td>パネル中央</td> </tr> <tr> <td>底鋼板下縁</td> <td>-19.7 (N/mm²)</td> <td>ハンチ部(支点近傍)</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">図13-5 変位及び応力分布</p> </div> <p>(3) 評価 輸送時・架設時において、作用する荷重に対して発生応力度を照査した結果、許容応力度以下であることが確認できた場合には安全性が確保されているものと評価してもよい。</p>	項目	着目位置	最大または最小値	備考	たわみ	底鋼板	2.59 (mm)	パネル中央	応力度	Tリブ上縁	-19.5 (N/mm ²)	パネル中央	底鋼板下縁	-19.7 (N/mm ²)	ハンチ部(支点近傍)
項目	着目位置	最大または最小値	備考													
たわみ	底鋼板	2.59 (mm)	パネル中央													
応力度	Tリブ上縁	-19.5 (N/mm ²)	パネル中央													
	底鋼板下縁	-19.7 (N/mm ²)	ハンチ部(支点近傍)													

2.5.2 耐久性照査

2-1	輪荷重走行試験による耐久性の確認（RC床版との相対比較）（方法1）		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	道示II 8.1.2(1)2)
検証目的	鋼コンクリート合成床版は実績が浅く、損傷メカニズムが必ずしも明確でないため、輪荷重走行試験等により既往の床版との相対比較による検証が必要である。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	輪荷重走行試験によって基準床版（RC床版）やPRC床版との比較を行う。		
検証内容	<p>(1) 実験概要 既存の輪荷重走行試験結果（平成8年道示で設計されたRC床版、およびPC鋼材量をフルプレストレスの50%としたPRC床版）と同等の試験を実施して、疲労耐久性の相対比較を行う。</p> <p>(2) 実験方法</p> <p>a) 載荷方法 初期載荷荷重を157kNとし、4万回載荷毎に階段状に荷重を漸増させ、最大392kNまで載荷する。走行回数は合計52万回とする。 ※ 実橋での設計荷重は100kNであるが、本試験では約4倍の荷重まで載荷を行う。</p> <p>b) 床版支間長 試験体の設計は支間長3.0mの連続版として設計を行う。 ※ 実橋での想定支間長は6.0mであるが、試験機の制約上、このような支間での実験は現実的でない。そこで試験体の設計は支間長3.0mとするが、載荷荷重が大きいため、下記のように支間長6.0mの2主桁橋と比較すると約1.7倍の設計曲げモーメントが作用していることになる。</p> <p>設計曲げモーメント： $M = (0.12 \times L + 0.07) \times P = (0.12 \times 6.0 + 0.07) \times 100 = 79.0 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$</p> <p>試験曲げモーメント： $M = (0.12 \times 3.0 + 0.07) \times 0.8 \times 392 = 134.8 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$</p> <p>※ 試験体の支持支間長は2.5mであるが、支持方法が単純版であるため、設計条件の支間長3.0mの連続版と比較すると、同じ荷重に対してほぼ同等の曲げモーメントが作用すると考えられる。</p>		

検証内容

c) 床版厚

床版厚はコンクリート厚200mm+底鋼板厚6mmとする。

※ この値は合成床版の設計床版厚 $d = 25L + 110 = 185 \rightarrow 190\text{mm}$ より厚くなっているため、設計荷重 (100kN) に対する発生せん断応力は若干小さくなるが、試験では載荷荷重を増加させていることにより、作用せん断応力レベルは実橋よりも過大なものとなる。

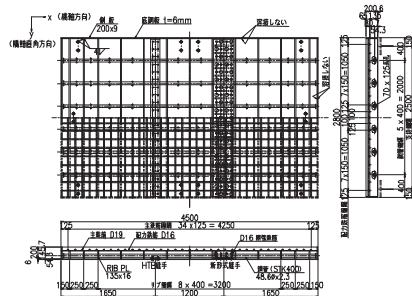


図1-1 供試体概要図

(3) 実験結果

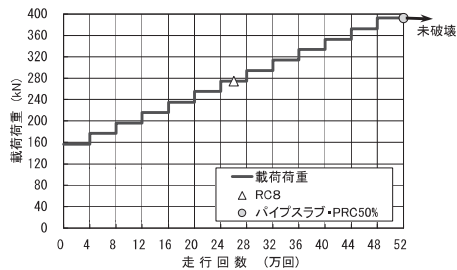


図1-2 階段載荷荷重

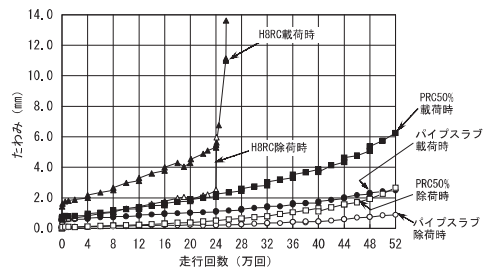


図1-3 輪荷重走行試験結果

検証内容

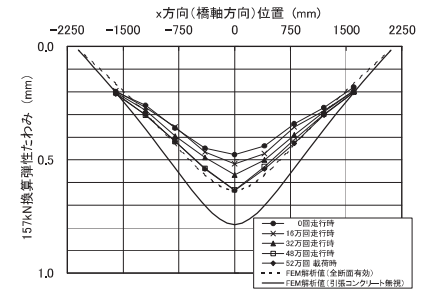
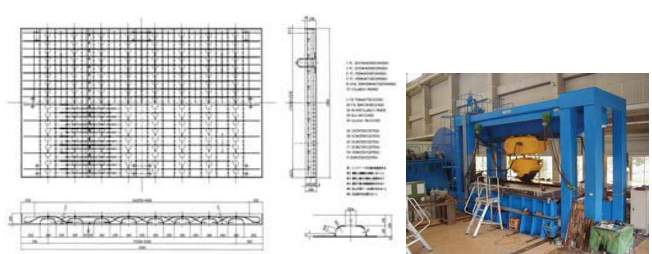


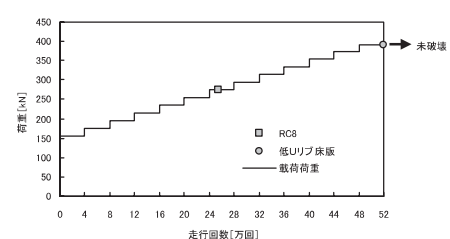
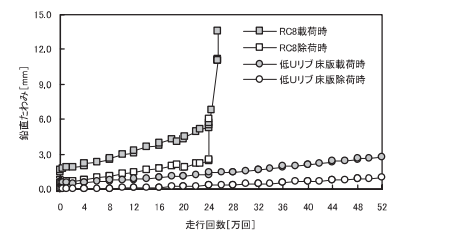
図1-4 弾性たわみとFEM解析値との比較

(4) 評価

鋼コンクリート合成床版における輪荷重走行試験の結果、次のような成果が得られた場合には、疲労耐久性に対する要求性能を満足しているものと評価できる。

- a) 載荷荷重 392kN、走行回数 52 万回の階段状漸増載荷による輪荷重走行試験を実施した結果、たわみやひずみの急激な変化はなく未破壊である。
- b) 床版断面内のひずみ分布は平面保持が成立している。
- c) 試験終了時のコンクリートのひび割れは表面および内部ともほとんど発生していない。

2-2	輪荷重走行試験による耐久性の確認（RC床版との相対比較）（方法2）		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)2
検証目的	鋼コンクリート合成床版は実績が浅く、損傷メカニズムが必ずしも明確でないため、輪荷重走行試験等により既往の床版との相対比較による検証が必要である。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	輪荷重走行試験にて、基準床版（RC床版）と同等以上の疲労耐久性の保有を確認する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>道路橋床版に適用する合成床版について、階段荷重による輪荷重走行試験を行い、基準床版（平成8年道路橋示方書で設計されたRC床版、以降RC8）との相対比較により、疲労耐久性の評価を行う。</p> <p>(2) 実験方法</p> <p>土木研究所の輪荷重走行試験機を用い、158kNから4万回走行毎に約20kN荷重を上げて392kN（520,000回）まで載荷する階段状載荷を行う。</p> <p>供試体の諸元は下に示すとおりである。</p> <p>床版支間：L=3.0mの連続版 床版厚：206mm（コンクリート厚200mm+底鋼板6mm） コンクリート設計基準強度：$\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div> <p style="text-align: center;">図2-1 供試体の例及び試験状況</p>		

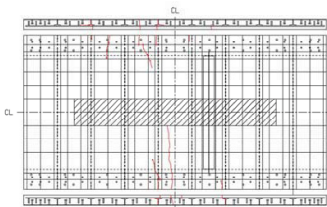
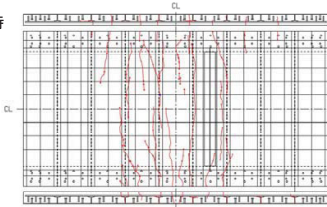
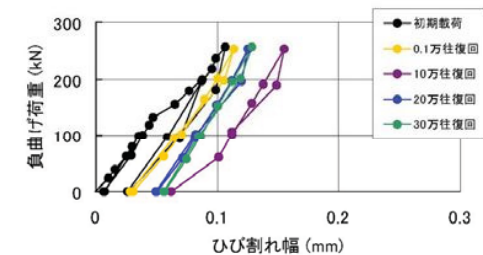
検証内容	<p>(3) 実験結果</p> <div style="text-align: center;">  <p>図2-2 載荷荷重ステップ及び破壊荷重</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図2-3 床版中央部鉛直たわみの推移</p> </div> <p>(4) 評価</p> <p>鋼コンクリート合成床版における輪荷重走行試験の結果、次のような成果が得られた場合には疲労耐久性に対する要求性能を満足しているものと評価できる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 載荷荷重 392kN、走行回数 52 万回の階段状漸増載荷による輪荷重走行試験を実施した結果、たわみやひずみの急激な変化はなく未破壊である。 床版断面内のひずみ分布は平面保持が成立している。 試験終了時のコンクリートのひび割れは表面および内部ともほとんど発生していない。
------	---

2-3	主桁作用負曲げ部の疲労耐久性照査（方法1）														
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)2)												
検証目的	鋼コンクリート合成床版は鉄筋コンクリート床版と同様に、連続げたの中間支点上等負の曲げモーメントが作用する箇所には適切な配慮が必要である。しかし、構造も異なるため道路橋示方書に規定する鉄筋比等をそのまま適用できないことも想定されるため、コンクリートに有害なひび割れが発生しないことを検証する必要がある。														
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用														
検証方針	中間支点部におけるコンクリートのひび割れの発生挙動を実験により検証する。														
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>合成床版に発生する主桁作用による引張力と床版作用による曲げモーメントとを重ね合わせた応力状態を再現して、輪荷重走行試験を実施し、負曲げ領域における疲労耐久性を確認する。</p> <p>(2) 供試体</p> <p>供試体は、連続合成桁の中間支点部を縮小モデル化し、幅 2.3m、長さ 4.5m、床版支間長 2.0m とし、床版厚は 160mm とした。その緒元および平面図は下記に示すとおりである。</p>														
	<p>表3-1 試験体諸元</p> <table border="1"> <tr> <td>底版厚</td> <td>6mm</td> </tr> <tr> <td>主鉄筋方向鋼材量 (単位断面)</td> <td>主鉄筋: D18@150 (20.1cm²) 底版鉄: 1000×6 (60.0cm²)</td> </tr> <tr> <td>配力鉄筋方向鋼材量 (単位断面)</td> <td>配力筋: D18@25 (22.8cm²) 底版鉄: 1000×6 (60.0cm²)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">鉄筋比</td> <td>主鉄筋方向: 1.3%</td> </tr> <tr> <td>配力筋方向: 1.5%</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">鉄かぶり</td> <td>主鉄筋: 30mm</td> </tr> <tr> <td>配力筋: 49mm</td> </tr> </table>	底版厚	6mm	主鉄筋方向鋼材量 (単位断面)	主鉄筋: D18@150 (20.1cm ²) 底版鉄: 1000×6 (60.0cm ²)	配力鉄筋方向鋼材量 (単位断面)	配力筋: D18@25 (22.8cm ²) 底版鉄: 1000×6 (60.0cm ²)	鉄筋比	主鉄筋方向: 1.3%	配力筋方向: 1.5%	鉄かぶり	主鉄筋: 30mm	配力筋: 49mm	<p>図3-1 試験体平面図</p>	
底版厚	6mm														
主鉄筋方向鋼材量 (単位断面)	主鉄筋: D18@150 (20.1cm ²) 底版鉄: 1000×6 (60.0cm ²)														
配力鉄筋方向鋼材量 (単位断面)	配力筋: D18@25 (22.8cm ²) 底版鉄: 1000×6 (60.0cm ²)														
鉄筋比	主鉄筋方向: 1.3%														
	配力筋方向: 1.5%														
鉄かぶり	主鉄筋: 30mm														
	配力筋: 49mm														

検証内容	<p>(3) 荷重方法</p> <p>荷重方法は負曲げ荷重を一定とし、輪荷重を階段状に変化させた。以下に荷重方法の概要と荷重パターンを示す。</p> <p>図3-2 荷重方法</p> <p>図3-3 荷重パターン</p> <p>(4) 実験結果</p> <p>実験結果の一例は次に示すとおりである。</p> <p>図3-4 床版上面のひび割れ状況</p>
------	---

検証内容	<p style="text-align: center;">図3-5 横リブ上のひび割れ幅</p> <p style="text-align: center;">図3-6 横リブ間のひび割れ幅</p> <p>(4) 評価</p> <p>負曲げに対するひび割れ制御が可能な範囲では、輪荷重走行試験と負曲げ試験によるひび割れは連成せず、それぞれの試験で耐久性を評価できるものと想定される。</p> <p>なお、本実験により次のような結果が得られた場合には疲労耐久性に対する要求性能を満足しているものと評価できる。</p> <ol style="list-style-type: none"> a) コンクリート上面のひび割れ幅は最大でも 0.2mm 程度以下である。 b) コンクリート上面のひび割れ幅は輪荷重の走行回数が増加しても極度に大きくなることはない。 c) 主桁の剛性変化に大きな影響は認められない。
------	---

2-4	主桁作用負曲げ部の疲労耐久性照査（方法2）		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2 (1)1
検証目的	鋼コンクリート合成床版は鉄筋コンクリート床版と同様に、連続げたの中間支点上等負の曲げモーメントが作用する箇所には適切な配慮が必要である。しかし、構造も異なるため道路橋示方書に規定する鉄筋比等をそのまま適用できないことも想定されるため、コンクリートに有害なひび割れが発生しないことを検証する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	中間支座位におけるコンクリートのひび割れの発生挙動を実験により検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要 コンクリートに引張応力が作用した場合のひび割れ幅を実験により確認する。</p> <p>(2) 実験方法 供試体、実験要領、載荷は方法はそれぞれ下に示すとおりである。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>図4-1 試験要領</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>図4-2 載荷パターン</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>図4-3 試験体形状寸法</p> </div>		

<p>検証内容</p>	<p>(3) 実験結果 実験結果の一例は次に示すとおりである。</p> <p>初期載荷時 </p> <p>30万回往復時 </p> <p style="text-align: center;">図4-4 ひび割れマップ</p> <p></p> <p style="text-align: center;">図4-5 ひび割れ幅の増加傾向</p> <p>この事例では床版ひび割れの多くは、輪荷重走行前の負曲げ荷重初期載荷時に中間支点付近の床版上面に発生した。輪荷重走行によりひび割れの進展およびひび割れ数の増加が見られるが、ひび割れ幅は最大0.15mmであり、一般の水密性を確保するための許容ひび割れ幅0.2mm以下の要求性能を満足している。なお、床版の耐久性は、主桁系として作用させたコンクリートの引張応力に大きな影響は受けないものと想定される。</p> <p>(4) 評価 本実験により次のような結果が得られた場合には疲労耐久性に対する要求性能を満足しているものと評価できる。</p> <p>a) コンクリート上面のひび割れ幅は最大でも0.2mm程度以下である。 b) コンクリート上面のひび割れ幅は輪荷重の走行回数が増加しても極度に大きくなることはない。 c) 主桁の剛性変化に大きな影響は認められない。</p>
-------------	--

2-5	公称応力の算出		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれないようにするものとする。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)2)
課題	鋼コンクリート合成床版の鋼板パネルには道路橋示方書に規定のない溶接継手を採用する場合がある。そのような場合には、実橋の規模に対して応力的検証による補足を行い疲労耐久性に問題がないことを確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	鋼道路橋の疲労設計指針の準用により、自動車の繰返し通行に対する疲労耐久性を検証する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <p>以下に示す疲労設計の考え方をもとに、合成床版の鋼板パネルに用いられる継手等級の検討を行うものとする。</p> <p>(i) コンクリート部と同様に活荷重による応力振幅を一定レベル以下に抑える。 (ii) 応力集中や二次応力の影響で過去に損傷を受けた継手、構造を避ける。 (iii) 継手の疲労強度等級の前提となる継手の品質確保を図る。</p> <p>なお、「鋼道路橋の疲労設計指針」(以下疲労指針)に準じた継手の応力度の試算例は次に示すとおりである。</p>		

検証内容

(2) 継手部の疲労強度等級

「鋼道路橋の疲労設計指針」3.2に基づき、合成床版各継手の強度等級を設定する。合成床版のパネル構造により、溶接方法、加工方法、形状等を参照し、疲労指針の疲労強度を準用できない継手タイプについては、鋼部材の継手の疲労に着目した疲労試験（要素、または定点試験）により、疲労強度等級を設定すればよい。

同指針における各継手の疲労強度は、各疲労試験結果の下限值により定められており、溶接の施工品質管理を行えば、同強度等級を十分に適用可能と考えられる。溶接継手がコンクリート内部となるが、設計で仮定する応力状態が再現できれば特に問題ないと考えられるため、コンクリートの充填を確実にし、設計で想定されない二次応力を生じさせないように現場施工時に留意する必要がある。

下表は疲労指針が準用できる部位に対する、継手強度等級の設定例を示す。

表5-1 継手強度等級

継手	No.	強度等級	根拠	備考
底钢板	CT(L)形鋼連続すみ肉溶接	①	主筋(配力筋)方向 D等級	
	CT(L)形鋼連続すみ肉溶接	②	配力筋(主筋)方向 E等級	
	L形鋼連続すみ肉溶接	③	まわし溶接 G等級	
	ハンチ開口	④	D等級	
	ハンチプレート取付ボルト孔	⑤	C等級	
	スタッドジベル	⑥	S等級	

適用する継手の強度等級を次に示す（「鋼道路橋の疲労設計指針(平成 14 年 3 月) [日本道路協会]」より抜粋）。

検証内容

表-3.2.1 (a)非溶接継手

No.	継手の種類	強度等級 ($\Delta\sigma_f(N/mm^2)$)	備考
⑤	3. 円孔を有する母材(純断面応力, 実断面応力)	D(125)	
④	4.(4) フィレット付の切抜きガセットを有する母材 $1/10 \leq r/d < 1/5$ (切断面の表面あらさ $100 \mu m Ry$ 以下)	D(100)	

表-3.2.1 (c)縦方向溶接継手

No.	継手の種類	強度等級 ($\Delta\sigma_f(N/mm^2)$)	備考
①	3. すみ肉溶接継手	D(100)	

表-3.2.1 (d)荷重非伝達型十字溶接継手

No.	継手の種類	強度等級 ($\Delta\sigma_f(N/mm^2)$)	備考
②	3. 非仕上げのすみ肉溶接継手	E(80)	<p>注) 3., 4., 5. の継手の強度等級は、アンダーカットが 0.3 mm 以下の継手を対象とする。アンダーカットを 0.3 mm をこえ、0.5 mm 以下とした場合は、強度等級を 1 等級低減しなければならない。</p>

表-3.2.1 (f)ガセット継手

No.	継手の種類	強度等級 ($\Delta\sigma_f(N/mm^2)$)	備考
③	3. ガセットをすみ肉溶接した継手 ($l > 100mm$)	G(50)	<p>注) 1.(3), 3., 4.(2), 5.(1), 7.(2), 8.(1) の継手の強度等級は、アンダーカットが 0.3 mm 以下の継手を対象とする。これらの継手において、アンダーカットを 0.3 mm をこえ、0.5 mm 以下とした場合は、強度等級を 1 等級低減しなければならない。</p>

表-3.2.2 せん断応力を受ける継手

No.	継手の種類	強度等級 ($\Delta\sigma_f(N/mm^2)$)	備考
⑥	1. スタッドを溶接した継手のスタッド断面	S(80)	

検証内容

(3) 検証事例

疲労指針の方針に従い、FEM解析による応力の検証を実施した一検討例をここに紹介する。

この検討結果によれば、発生応力振幅範囲は、主鉄筋方向応力度に対してはF等級の打ち切り限界以下の応力範囲という結果となっており、配力筋方向応力度については、H等級の打ち切り限界以下の応力範囲であるとの結果が得られている。

(i) 応力の検証の概要

- 鋼部材の疲労照査は、「鋼道路橋の疲労設計指針」(以下、疲労指針)に準ずる。
- 疲労指針を準用した疲労照査の概要を下表に示す。
- 応力範囲はFEM解析により、設計性能を保持した状態にて算定する。
- 各継手の強度等級を”疲労指針”を参照して選定し、最大応力範囲を算定し、打ち切り限界と比較する。
- 着目点は、応力範囲が大きく、かつ継手強度等級が低い補強部材(ここではトリブを想定)と底鋼板の継手部とする。
- 照査の結果、同手法によれば、各継手とも最大応力範囲が打ち切り限界に対して、約50%以上の余裕を残している。

表5-2 疲労指針を準用した鋼部材の疲労照査の概要

確認項目	適用	内容	備考
疲労設計の基本	①疲労耐久性に配慮した継手・構造の採用 ②継手の疲労強度等級と前掲となる継手品質	継手位置:トリブと底鋼板の接合部 継手の種類:連続すみ肉溶接継手。脚長6mm	—
公称応力と実応力の関係	軸荷重載荷時試験体の実応力と同試験体をモデル化したFEM解析結果の応力を比較	主鉄筋方向:設計計算補正係数 $\alpha^s=0.52$ 配力筋方向:設計計算補正係数 $\alpha^r=0.38$	参考
継手の強度等級	疲労指針3.2を準用	主鉄筋方向:縦方向溶接継手(すみ肉溶接)D等級 配力筋方向:荷重非伝達型十字溶接継手E等級 脚長:球形継手部(H75)除除部全部母材D等級	—
疲労強度	疲労指針3.1を準用	D等級:打ち切り限界(一定振幅応力)84(N/mm ²) E等級:打ち切り限界(一定振幅応力)62(N/mm ²)	—
最大応力範囲評価方法	2主+3主鉄筋と合成床版(材料特性考慮)を考慮した代表モデル(亀泉高架橋の仕様)によるFEM解析にて算定。	(k)	(k)
FEM解析モデル	解析モデルは、トリブ・金剛板・炭板厚等、亀泉高架橋で適用する仕様に合わせてGSスラブをモデル化する。さらに主桁系の影響を考慮するため、亀泉高架橋の2主、3主桁各々2径間分の主桁・橋桁もモデル化し、支間中央と中間支点上に着目する。	(ii)(a)	(ii)(a)
載荷荷重	疲労指針表-付2.3.1の荷重モデル、代表的な幹線道路における乗用車の乗車調査結果のうち支配的荷重(大型トラック、大型タンク、セミトレーラー)を載荷、荷重載荷位置は着目点が最大となるように設定。	(v)(vi)	(v)(vi)
T荷重補正係数	実態荷重モデル載荷のため、突車間の様々な軸距や軸数を考慮済み。	補正しない(係数=1.0)	(v)(vi)
構造解析係数 γ_a	疲労指針4.2.2(2),(3)注)を準用	上記、公称応力と実応力の関係: $\alpha^s < 0.8$ より $\gamma_a = 0.8$ が適用可能と考えるが、 $\gamma_a = 1.0$ にて照査	—
隣接車線の影響k	FEM解析時に隣接車線のT荷重を考慮済み	補正しない(係数=1.0)	(vi)
平均応力補正係数 C_a	疲労指針3.3を準用	補正係数 $C_a = 1.0$ (安全側)	—
板厚補正係数 C_t	疲労指針3.4を準用	補正係数 $C_t = 1.0$ (安全側)	—
二方向応力の影響	「鋼構造物の疲労設計指針+同解説(JSSC)P.275」の”二軸荷重による影響は疲労強度の進展特性にはほとんど現れていない。平行応力による影響は無視してよい”との記述より、主鉄筋方向、配力筋方向の各々照査する。	(k)	(k)
せん断応力の影響	垂直応力とせん断応力を同時に受ける部材の疲労性状は未解明であるが、「鉄道構造物等設計標準+同解説(鋼・合成構造物)」によれば、両応力が同時に最大となる部材については、合成応力を求め照査することになっており、これを準用する。	(k)	(k)

検証内容

(ii) 解析モデルおよび着目点

a) 解析モデル

【解析モデル1】

橋梁形式	2径間連続2主鉄桁橋
支間長	39.2 m + 49.5 m
幅員	9.4 m
床版形式	合成床版
床版支間	6.0 m
床版厚	260 mm

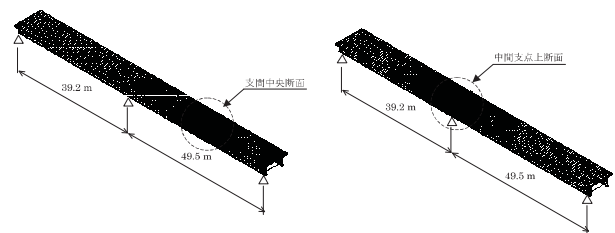
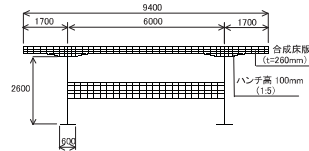


図5-1 解析モデル(2主鉄桁)

【解析モデル2】

橋梁形式	2径間連続3主鉄桁橋
支間長	37.0 m + 37.0 m
幅員	14.16 m
床版形式	合成床版
床版支間	5.38 m
床版厚	240 mm

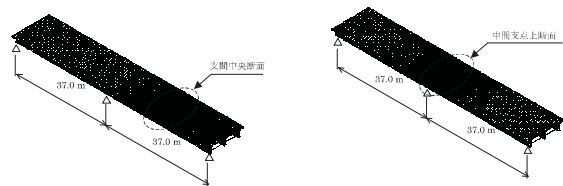
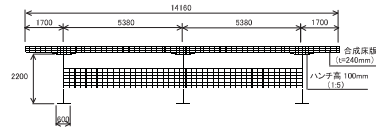


図5-2 解析モデル(3主鉄桁)

検証内容

b) 解析における着目点

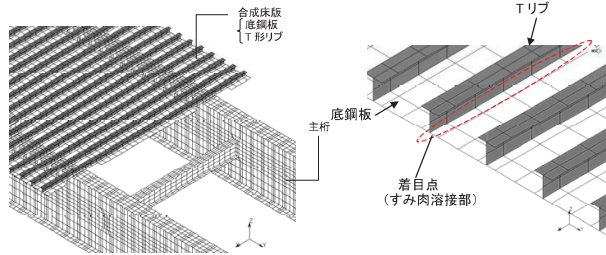


図5-3 鋼材部詳細図

図5-4 底鋼板とTリブの継手部

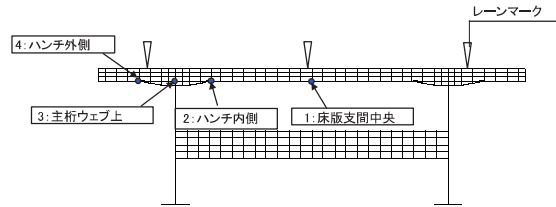


図5-5 2主桁モデルの着目位置

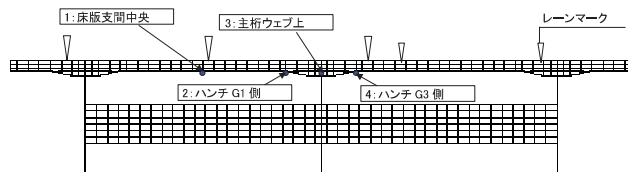


図5-6 3主桁モデルの着目位置

検証内容

(iii) 材料特性

a) 鋼部材の材料特性

表5-3 鋼部材の材料特性

	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比 (-)	降伏応力 (N/mm ²)
鋼部材	2.0×10^5	0.3	245

b) コンクリートの材料特性

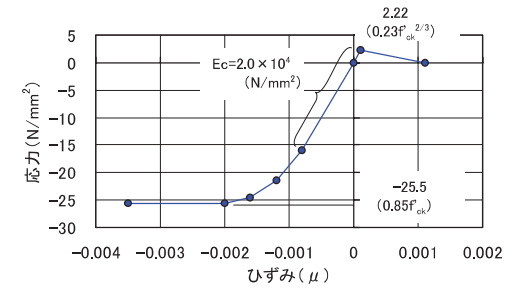


図5-7 コンクリートの応力-ひずみ曲線

表5-4 コンクリートの材料特性

	設計基準強度 f _{ck} (N/mm ²)	ヤング係数 E _c (N/mm ²)	ポアソン比 (-)
コンクリート	30	20×10^4	1 / 6

検証内容

(iv) 境界条件およびモデル間の接合条件

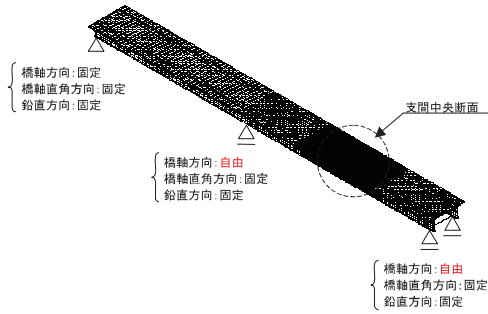


図5-8 境界条件

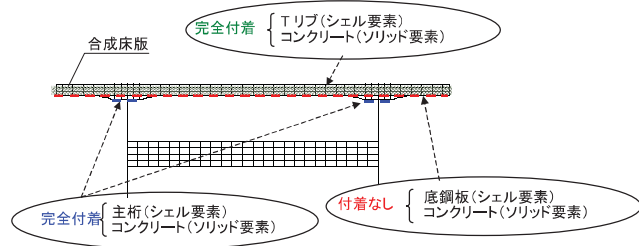


図5-9 モデル間の接合条件

検証内容

(v) 載荷荷重

日本道路協会「鋼道路橋の疲労設計指針」を参考に実態車両モデルを載荷する

- ・大型トラック (LT) : 1台あたり最大 45.2 ton
- ・大型ダンプ (LD) : // 61.9 ton
- ・セミトレーラー (TT) : // 86.7 ton

表5-5 車両荷重条件

車種	平均重量 最大重量 最小重量 分布形 対数正規 標準偏差	全長 全幅	(単位: m) 1軸目: % 2軸目: %
乗用車 (C)	1.30 t 3.10 t 0.20 t 対数正規 0.36 t	4.40 m 1.50 m	1軸目: 50.2% 2軸目: 49.8%
小型トラック (ST)	3.62 t 12.60 t 1.00 t 対数正規 1.31 t	4.40 m 1.40 m	1軸目: 23.9% 2軸目: 76.1%
中型トラック (MT)	6.19 t 18.30 t 1.60 t 対数正規 2.50 t	6.00 m 1.60 m	1軸目: 19.6% 2軸目: 80.4%
大型トラック (LT)	16.75 t 45.20 t 3.80 t 対数正規 6.29 t	8.50 m 1.95 m	1軸目: 14.1% 2軸目: 54.8% 3軸目: 31.1%
大型ダンプ (LD)	19.62 t 61.90 t 5.40 t 対数正規 9.54 t	7.50 m 1.95 m	1軸目: 11.7% 2軸目: 44.8% 3軸目: 44.0%
タンクローリ (TR)	13.82 t 33.70 t 3.90 t 対数正規 6.31 t	8.00 m 1.95 m	1軸目: 13.7% 2軸目: 54.2% 3軸目: 32.1%
セミトレーラー (TT)	24.78 t 86.70 t 5.10 t 対数正規 12.92 t	14.00 m 2.05 m	1軸目: 6.4% 2軸目: 18.5% 3軸目: 18.3% 4軸目: 29.4% 5軸目: 27.3%
バス (BS)	13.84 t 18.70 t 6.80 t 対数正規 2.41 t	10.05 m 2.00 m	1軸目: 37.1% 2軸目: 62.9%

注) ()内記号はモデル略号

比率は軸重比を示す

検証内容

(vi) 荷重載荷位置の決定
 着目位置の応力度に関する影響線から、最大応力範囲となる位置に載荷する。

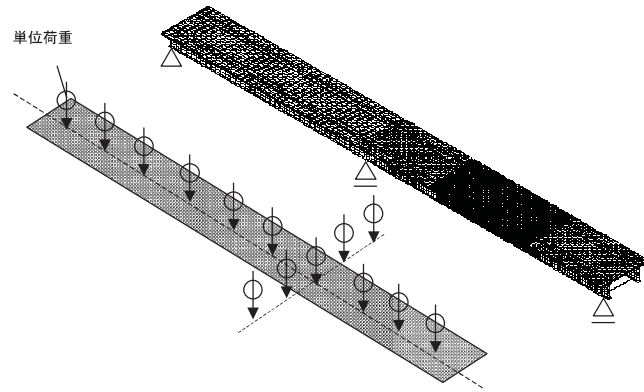


図5-10 単位荷重載荷

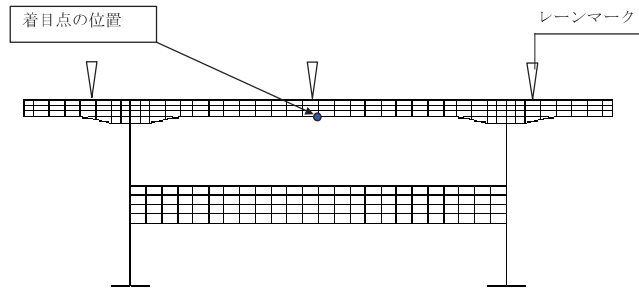


図5-11 解析モデルの着目位置

検証内容

(vii) 橋軸直角方向の載荷位置

a) 2主桁桁橋

a) -1 床版支間中央 : 2台載荷

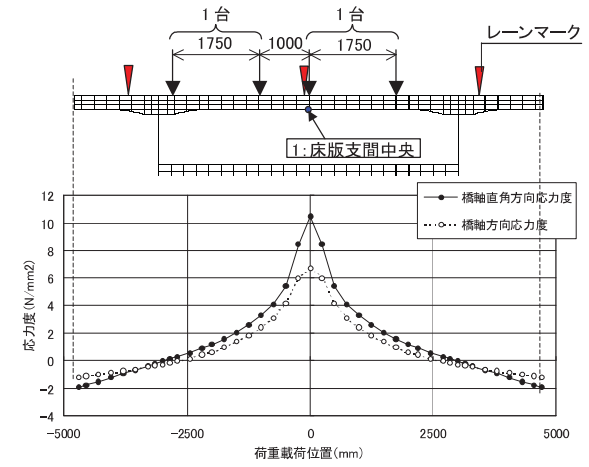


図5-12 応力度分布 (床版支間中央 : 2台載荷時)

a) -2 ハンチ内側 : 1台載荷

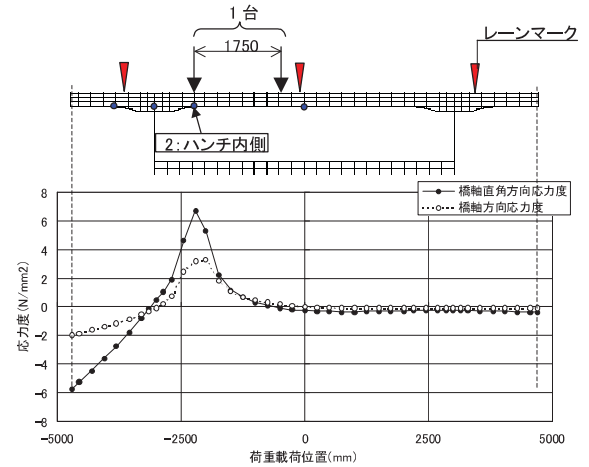


図5-13 応力度分布 (ハンチ内側 : 1台載荷時)

検証内容

a) - 3 主桁ウェブ上 : 2台載荷

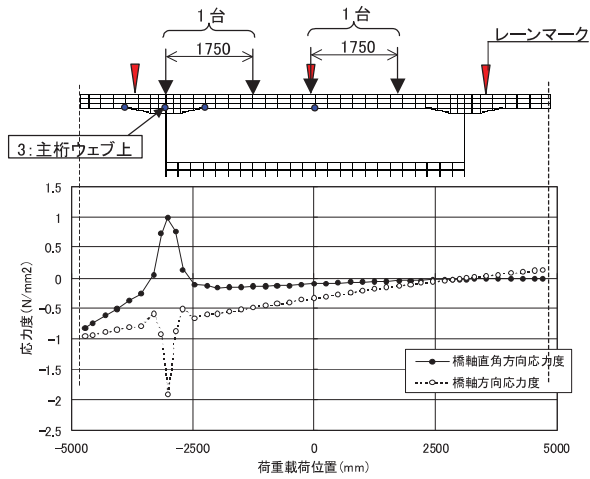


図5-14 応力度分布(主桁ウェブ上 : 2台載荷時)

a) - 4 ハンチ外側 : 1台載荷

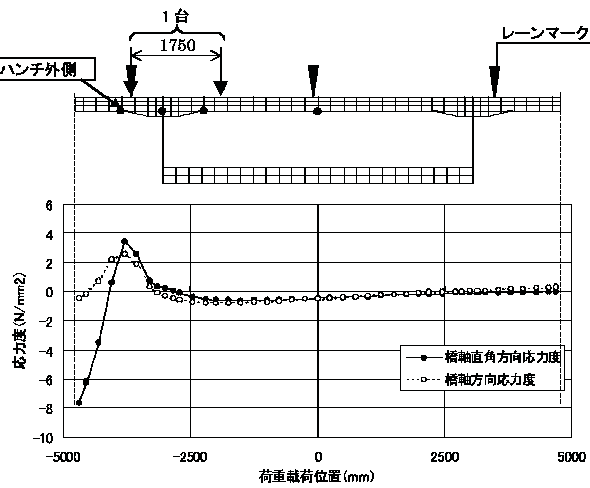


図5-15 応力度分布(ハンチ外側 : 1台載荷時)

検証内容

b) 3 主桁桁橋

b) - 1 床版支間中央 : 2台載荷

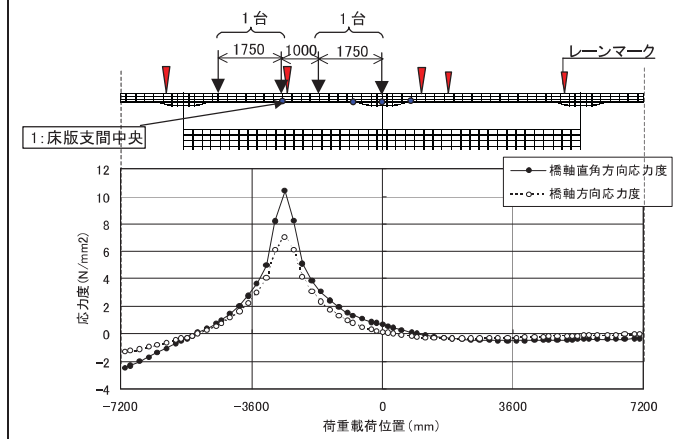


図5-16 応力度分布(床版支間中央 : 2台載荷時)

b) - 2 ハンチ内側 : 1台載荷

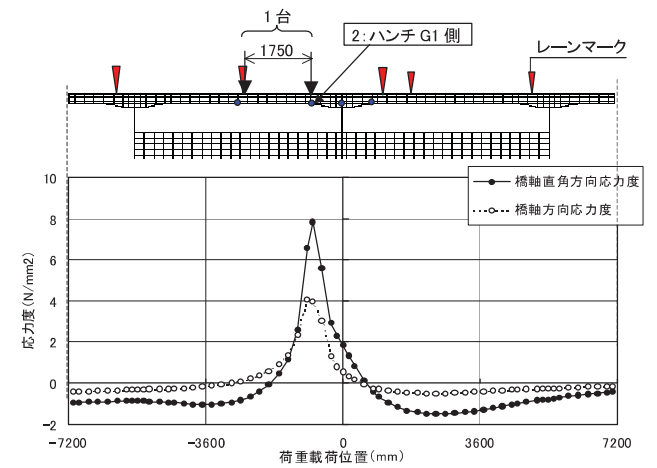


図5-17 応力度分布(ハンチ内側 : 1台載荷時)

検証内容

b) - 3 主桁ウェブ上 : 2台載荷

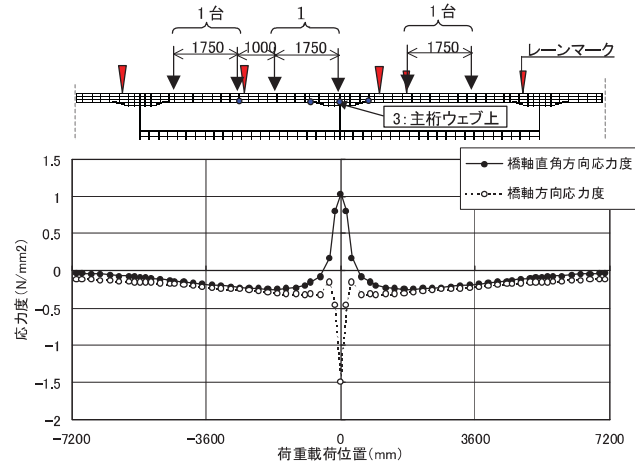


図5-18 応力分布(主桁ウェブ上:2台載荷時)

b) - 4 ハンチ外側 : 1台載荷

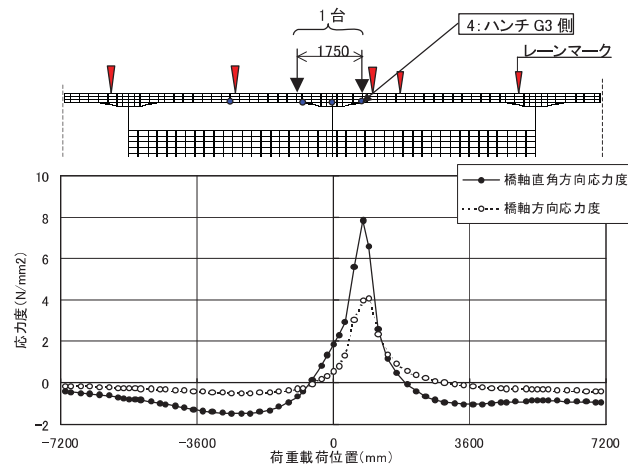


図5-19 応力分布(ハンチ外側:1台載荷時)

検証内容

(vii) 橋軸方向の載荷位置

着目する応力度に関する橋軸方向の影響線より、橋軸方向には1台のみを載荷し連行載荷は行わないものとする。

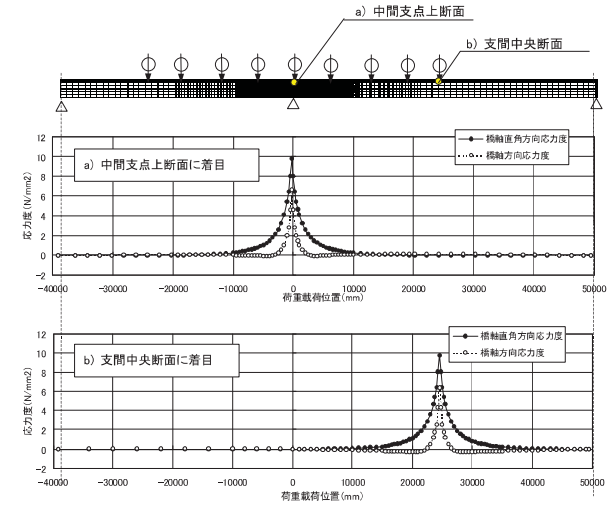


図5-20 着目応力度に関する橋軸方向の影響線

a) 大型トラック(LT)

1台あたり442.96 kN

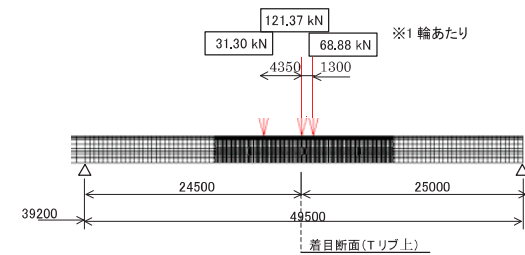


図5-21 LT荷重載荷

検証内容

b) 大型ダンブ(LD)
1台あたり 606.62 kN

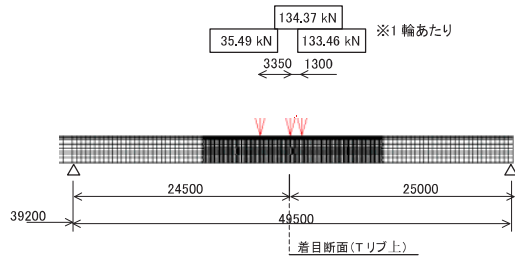


図5-22 LD荷重載荷

c) セミトレーラー(TT)

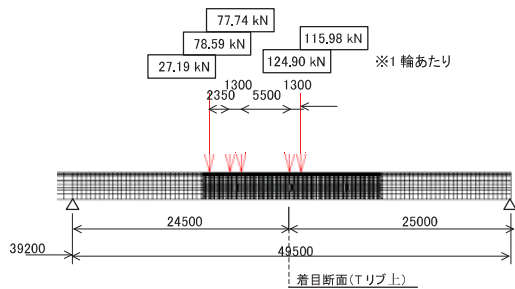


図5-23 TT荷重載荷

検証内容

(ix) FEM 解析結果

a) 底鋼板と T リブの溶接部垂直応力
a) - 1 2 主桁桁橋

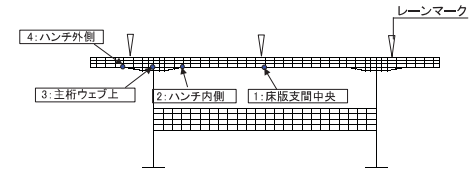


図5-24 2主桁桁モデル着目位置

表5-6 発生応力一覧 (2主桁桁: 支間中央断面)

出力位置	応力方向	大型トラック (LT)	大型ダンブ (LD)	セミトレーラー (TT)	最大応力範囲
1.床版 支間中央	橋軸直角方向	31.15	41.41	39.75	41.41
	橋軸方向	11.53	13.68	11.31	13.68
	主応力度	31.22	41.52	39.83	41.52
2.ハンチ 内側	橋軸直角方向	12.20	15.47	15.67	15.67
	橋軸方向	3.43	3.66	2.98	3.66
	主応力度	12.26	15.52	15.72	15.72
3.主桁 ウェブ上	橋軸直角方向	1.00	1.10	1.44	1.44
	橋軸方向	-4.11	-5.30	-5.91	-5.91
	主応力度	-4.11	-5.30	-5.91	-5.91
4.ハンチ 外側	橋軸直角方向	3.00	3.19	3.35	3.35
	橋軸方向	0.33	-0.41	-1.29	-1.29
	主応力度	3.01	3.21	3.37	3.37

単位:MPa

検証内容

a) - 2 3主桁橋

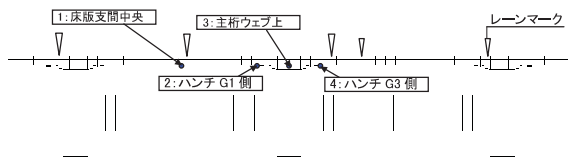


図5-25 3主版桁モデル着目位置

表5-7 発生応力度一覧 (3主版桁：支間中央断面)

出力位置	応力方向	大型トラック (LT)	大型ダンブ (LD)	セミトレーラー (TT)	最大応力範囲
1.床版 支間中央	橋軸直角方向	30.71	40.58	39.38	40.58
	橋軸方向	11.65	13.62	12.14	13.62
	主応力度	31.05	40.73	39.80	40.73
2.ハンチ 内側	橋軸直角方向	13.74	17.24	18.36	18.36
	橋軸方向	4.48	5.02	4.83	5.02
	主応力度	13.93	17.47	18.60	18.60
3.主桁 ウェブ上	橋軸直角方向	1.37	1.60	1.75	1.75
	橋軸方向	-3.78	-4.84	-4.87	-4.87
	主応力度	-3.78	-4.84	-4.87	-4.87
4.ハンチ 外側	橋軸直角方向	13.70	17.06	18.47	18.47
	橋軸方向	3.95	4.37	4.32	4.37
	主応力度	13.88	17.27	18.69	18.69

単位:MPa

表5-8 発生応力度一覧 (3主版桁：中間支点上断面)

出力位置	応力方向	大型トラック (LT)	大型ダンブ (LD)	セミトレーラー (TT)	最大応力範囲
1.床版 支間中央	橋軸直角方向	27.07	35.40	33.51	35.40
	橋軸方向	12.12	14.28	13.19	14.28
	主応力度	27.38	35.77	33.85	35.77
2.ハンチ 内側	橋軸直角方向	7.53	8.65	8.04	8.65
	橋軸方向	3.94	4.27	4.01	4.27
	主応力度	7.68	8.83	8.20	8.83
3.主桁 ウェブ上	橋軸直角方向	-2.44	-3.54	-3.67	-3.67
	橋軸方向	-2.46	-3.00	-2.38	-3.00
	主応力度	-2.46	-3.00	-3.76	-3.76
4.ハンチ 外側	橋軸直角方向	5.98	6.37	5.67	6.37
	橋軸方向	3.14	3.25	3.04	3.25
	主応力度	6.11	6.52	5.80	6.52

単位:MPa

検証内容

b) 最大垂直応力範囲と打ち切り限界の比較

表5-9 最大垂直応力範囲

形式	部位	応力方向	最大応力範囲	評価	打ち切り限界 (一定振幅応力)	余裕量
			衝撃なし			
2主桁	支間中央	主鉄筋方向	41.4	<	84	51%
		配力筋方向	13.7	<	62	78%
	中間支点上	主鉄筋方向	41.7	<	84	50%
		配力筋方向	16.7	<	62	73%
3主桁	支間中央	主鉄筋方向	40.6	<	84	52%
		配力筋方向	13.6	<	62	78%
	中間支点上	主鉄筋方向	35.4	<	84	58%
		配力筋方向	14.3	<	62	77%

主鉄筋方向、配力筋方向共に、E等級の打ち切り限界(62)以下となる。

検証内容

c) FEM 解析結果 (せん断応力度)
 c) - 1 T リブのせん断応力度

解析モデル : 2 主桁桁モデル
 荷重車両モデル : 大型トラック (LT)

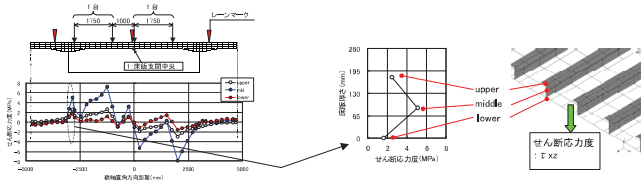


図5-26 Tリブのせん断応力度

c) - 2 2 主桁桁モデルのせん断応力度

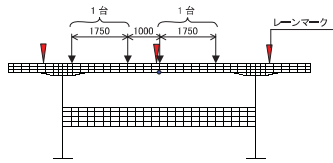


図5-27 着目位置

表5-10 発生せん断応力度

	応力	大型トラック (LT)	大型ダンプ (LD)	セミトレーラー (TT)	最大応力範囲
支間中央	せん断応力度	0.98	1.65	0.97	1.65
中間支点上	せん断応力度	0.97	1.45	1.21	1.45

c) - 3 3 主桁桁モデルのせん断応力度

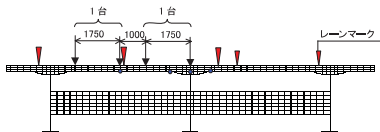


図5-28 着目位置

表5-11 発生せん断応力度

	応力	大型トラック (LT)	大型ダンプ (LD)	セミトレーラー (TT)	最大応力範囲
支間中央	せん断応力度	1.43	2.41	1.63	2.41
中間支点上	せん断応力度	1.38	2.35	1.50	2.35

検証内容

(x) 最大せん断応力と打ち切り限界の比較

下表の結果より、応力範囲が小さく打ち切り限界以下となる。

表5-12 最大せん断応力範囲

形式	部位	応力方向	最大応力範囲		打ち切り限界 (一定振幅応力)
			衝撃なし	評価	
2主桁	支間中央	せん断応力	3.3	<	67
	中間支点上	せん断応力	2.9	<	67
3主桁	支間中央	せん断応力	4.8	<	67
	中間支点上	せん断応力	4.7	<	67

※最大応力範囲を上記せん断応力の2倍とする。

(x i) 最大合成応力範囲の評価

垂直応力とせん断応力が同時に最大となるような部材については、合成応力に対する照査を行ったほうがよいと考える。下式により合成応力を求め、垂直応力に対する打ち切り限界を用い照査する。

◆合成応力算定式

$$\sigma_{p \max} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{\max} + \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 4\tau_{\max}^2} \right)$$

$$\sigma_{p \min} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{\min} + \sqrt{\sigma_{\min}^2 + 4\tau_{\min}^2} \right)$$

$$\Delta\sigma_p = \sigma_{p \max} - \sigma_{p \min}$$

表5-13 最大合成応力範囲

形式	部位	応力方向	最大応力範囲		評価	打ち切り限界 (一定振幅応力)	余裕量
			衝撃なし	評価			
2主桁	支間中央	主鉄筋方向	41.7	<	84	50 %	
		配筋筋方向	14.5	<	62	77 %	
	中間支点上	主鉄筋方向	41.9	<	84	50 %	
		配筋筋方向	17.2	<	62	72 %	
3主桁	支間中央	主鉄筋方向	41.2	<	84	51 %	
		配筋筋方向	15.1	<	62	76 %	
	中間支点上	主鉄筋方向	36.0	<	84	57 %	
		配筋筋方向	15.7	<	62	75 %	

せん断応力が小さいため、合成応力を考慮しても打ち切り限界以下となる。

(4) 評価

「鋼道路橋の疲労設計指針」に分類される継手の場合は、その疲労強度等級を適用してもよい。

なお、検証対象とする溶接継手に対して、構造解析により適切に応力振幅を算出し、その値が疲労設計指針に定める打ち切り限界に対して十分に余裕があることが検証できる場合には、当該継手は疲労耐久性上問題ないものと評価できる。

2-6	疲労強度等級の設定（方法1）		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれないこと	関連規定	道示Ⅱ8.1.2(1)2)
課題	鋼コンクリート合成床版の鋼板パネルには道路橋示方書に規定のない溶接継手を採用する場合がある。そのような場合には、実橋の規模に対して応力的検証による補足を行い疲労耐久性に問題がないことを確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	鋼部材の継手の疲労に着目した疲労試験（要素）を行なうことにより鋼部材の疲労耐久性を検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>鋼部材継手としてのジベルを溶接した鋼板の強度等級を検証することを目的として、ジベルの溶接品質の限界見本を設定し要素実験用供試体を用いて疲労実験を行い、「S-N線図」を設定し強度等級を確認する。</p> <p>(2) 供試体</p> <p>1) 要素実験用供試体は以下の3種類に対して、各3体程度を製作する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・底鋼板主筋方向 ・底鋼板配力筋方向 ・上弦材主筋方向 <p>2) 要素実験供試体は、実際に製作する手順及び品質管理を再現した供試体から切り出したものとする。切出し要領は切断後、切削を行うことを基本とし、必要に応じて部材の共振が起こらない対策を講じる。</p> <p>なお、トラス型ジベル合成床版における要素実験供試体（ひずみゲージ配置を含む）は概略図に示すとおりである。</p>		

検証内容

(3) 荷重条件

- 1) S-N線図作成のために、同一供試体では20万回、100万回、200万回で破壊すると仮定して目標とする疲労等級の荷重振幅を設定する。
- 2) 最小荷重は、R(応力比= $\sigma_{min}/\sigma_{max}$)が0.1となるように設定する。
- 3) 繰返し荷重の周波数は部材が共振しない程度（2~10Hz）とする。

(4) 測定項目

- 1) ひずみ測定：
各供試体にひずみゲージを貼付し、以下に示す所定の繰返し数の時点で一旦荷重を除荷し、静ひずみ測定を行う。ひずみゲージは単軸、ゲージ長さ1mmとし、繰返し荷重に耐えうる処理及び接着剤を選択する。
- 2) 記録写真：亀裂・損傷の写真記録を行う。

(5) 実験結果

トラス型ジベル合成床版における各供試体のS-N線図を下図に示す。

図6-1 S-N線図

(6) 評価

実構造と同様の施工手順、施工管理を再現して製作した供試体を用いて行った実験結果を既往のS-N線図に載せると、本実験結果は強度等級D~Eに相当することが判明した。

<p>検証内容</p>	<p>・底鋼板主筋方向 (t=6mm)</p>
	<p>・底鋼板配力筋方向 (t=6mm)</p>
	<p>・上弦材主筋方向 (t=22mm)</p>

図6-2 要素実験供試体の概略図

2-7	疲労強度等級の設定 (方法2)		
<p>要求性能</p>	<p>自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること</p>	<p>関連規定</p>	<p>道示Ⅱ8.1.2(1)2)</p>
課題	<p>鋼コンクリート合成床板の鋼板パネルには道路橋示方書に規定のない溶接継手を採用する場合がある。そのような場合には、実橋の規模に対して応力の検証による補足を行い疲労耐久性に問題がないことを確認する必要がある。</p>		
検証手法	<p>実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用</p>		
検証方針	<p>鋼部材の継手の疲労に着目した疲労試験（要素）を行うことにより鋼部材の疲労耐久性を評価する。</p>		
検証内容	<p>【合成床版の版としての定点疲労実験】</p> <p>(1) 実験の目的</p> <p>本実験の目的は、2方向の曲げモーメントとせん断力が同時に作用する合成床版鋼部材の強度等級を検証することである。合成床版の版としての疲労耐久性を鋼部材に着目した供試体を用いて、正曲げの定点疲労実験を行う。</p> <p>(2) 実験供試体</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 着目部材（底鋼板）の応力を目標とする疲労等級の応力振幅とするため、実験施設の設備（載荷試験機的能力、寸法）から供試体形状を決定する。 2) 供試体の設置方法は次の通りとする。主桁となる支点は剛なピン支点、主筋方向の支点は配力筋方向に無限縁のモデルとたわみが等価となる弾性支点とする。 3) 実験供試体は、実際に製作する手順及び品質管理を再現した供試体とする。コンクリートは$\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$程度の膨張コンクリートとし、実構造と同じく打設により応力を導入する。 		

検証内容

(3) 荷重条件

- 1) 着目部材（底鋼板）の応力を目標とする疲労等級の応力振幅とする荷重を、別途 FEM 解析により算出する。最小荷重は 10~20kN 程度とする。
- 2) 実構造の格子状のひび割れを再現することを目的に、荷重 157kN で配力筋方向に 5 点、各 1 万回ずつ程度の定点載荷を行う。
- 3) 繰り返し荷重の周波数は、2~3Hz 程度とする。

実験供試体の形状を 5000mm×5000mm、版厚 200mm（底鋼板 6mm、コンクリート 194mm）、トラス型ジベル間隔 300mm とした実験供試体図を図 7-1、実験架台図を図 7-2 に示す。

検証内容

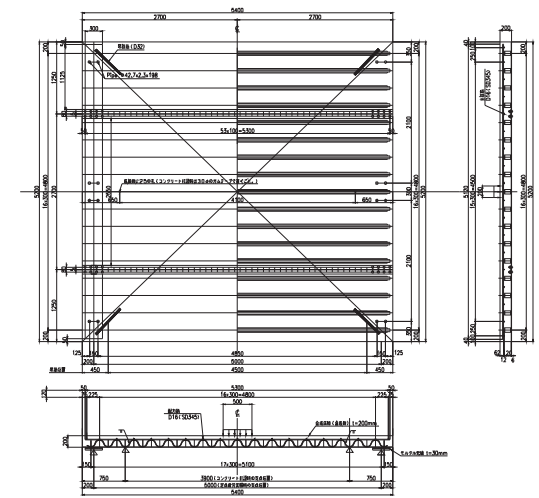


図7-1 実験供試体図

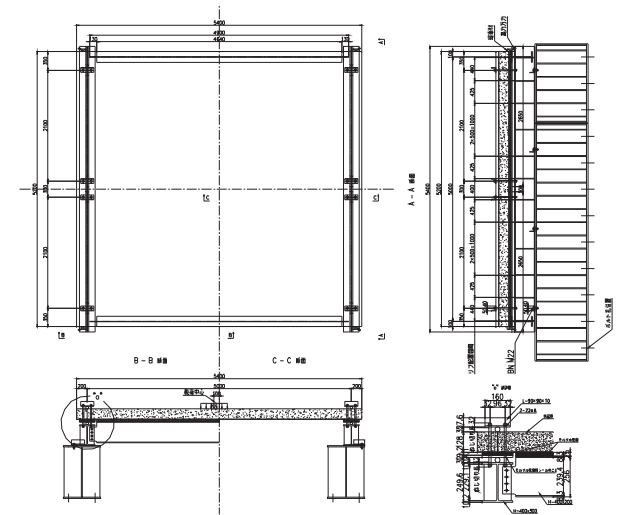


図7-2 実験架台図

検証内容

(4) 測定項目

- ・ ひずみ型変位計によるたわみ測定
- ・ 鋼用ゲージによる底鋼板両面のひずみ
- ・ 鋼用ゲージによるずれ止めのひずみ
- ・ 鋼用ゲージによる鉄筋両面のひずみ
- ・ コンクリートゲージによるコンクリート表面ひずみ
- ・ 写真記録

測定機器の配置図例を図7-3～7-6に示す。

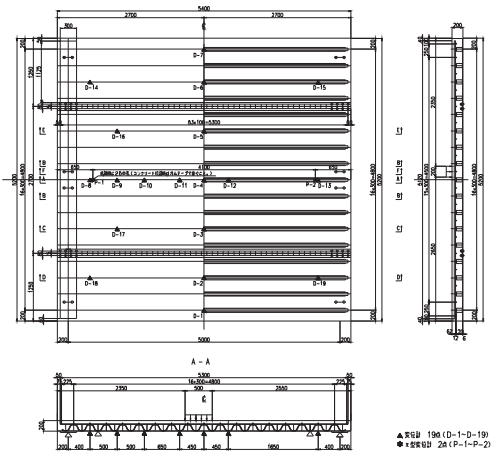


図7-3 変位計取付位置 (単位: mm)

検証内容

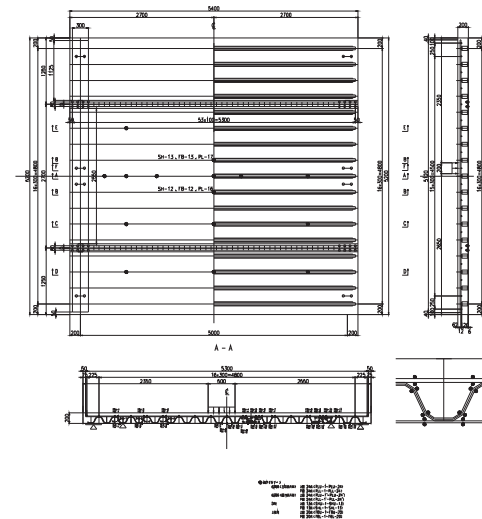


図7-4 鋼ひずみゲージ取付位置 (底鋼板, ずれ止め) (単位: mm)

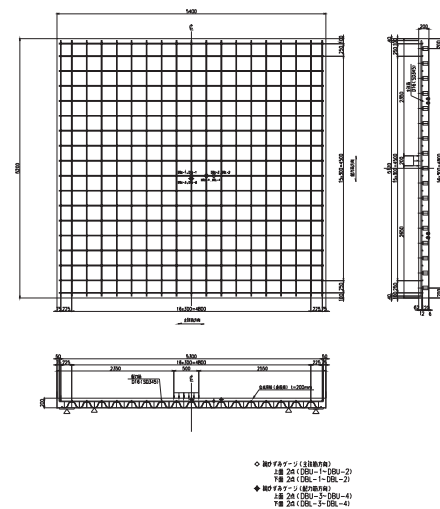


図7-5 鋼ひずみゲージ取付位置 (鉄筋) (単位: mm)

検証内容

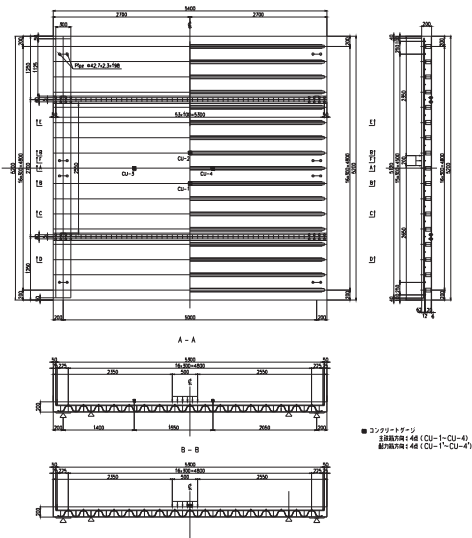


図7-6 コンクリートゲージ取付位置 (単位: mm)

(5) 実験結果

載荷点でのたわみ、底鋼板応力、コンクリート応力についての実験結果を図7-7～図7-9に示す。底鋼板の亀裂は、 $\Delta\sigma = 65\text{N/mm}^2$ (210万回)、 $\Delta\sigma = 83\text{N/mm}^2$ (20万回)、 $\Delta\sigma = 103\text{N/mm}^2$ (53万回)を終えた時点で発生し、以後、 $\Delta\sigma = 65\text{N/mm}^2$ (10万回)載荷後も、大きなたわみの増加はなく、亀裂発生後の応力再分配のもとでも、耐力力を保持していることがわかった。底鋼板を本実験結果の累積損傷度で応力振幅を算定すると、 $\Delta\sigma = 85.6\text{N/mm}^2$ (200万回)相当となる。コンクリート応力は $\Delta\sigma = 10\text{N/mm}^2$ を超える範囲での載荷実験であり、コンクリートに対しても厳しい実験となっている。

検証内容

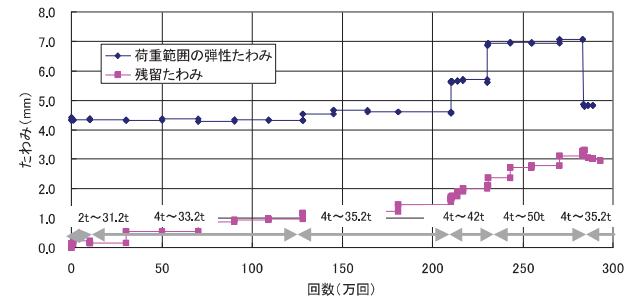


図7-7 たわみ-載荷回数の関係

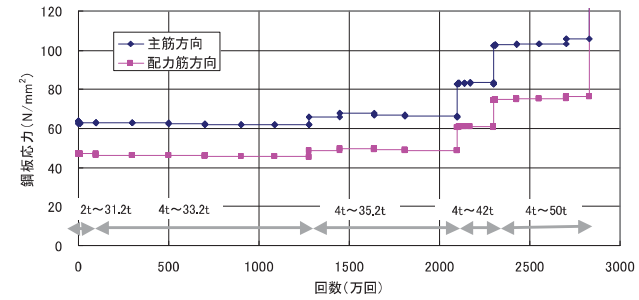


図7-8 鋼板応力-載荷回数関係

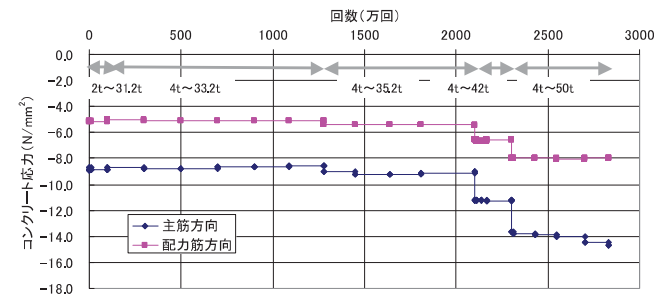


図7-9 コンクリート応力-載荷回数関係

<p>検証内容</p>	<p>(6) 評価</p> <p>合成床版の版としての疲労耐久性を、鋼部材に着目した供試体を用いて、正曲げの定点疲労実験を実施し、以下の結論を得た。</p> <p>1) 実構造と同様の施工手順、施工管理の下で製作した供試体を用いた定点疲労実験の結果を累積被害則で換算(応力振幅レベル $\Delta \sigma f = 85.6 \text{ N/mm}^2$ (200万回))し、既往の S-N 線図と比較すれば本実験結果は強度等級 E に相当することがわかった。</p> <p>2) 荷重振幅 40kN~50kN 時においては、コンクリートの圧縮応力度が約 15 N/mm^2 となり、最終的にはコンクリートにとっても、疲労上厳しい荷重条件であった。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">図7-10 強度等級との比較</p>
-------------	---

2-8	疲労強度等級の設定 (方法3)		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	鋼道路橋の疲労設計指針 3 章 道示 II 1.6
検証目的	合成床版では、道示の規定の範囲外の構造(6mmの板厚、サイズ4mmのすみ肉溶接, SS400 材の使用)が用いられる場合があるため、これらの部材の疲労耐久性を確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	床版構造自体が輪荷重の繰返しにより損傷しないこと。実験や解析などにより確認しなければならない。		
検証内容 (事例)	<p>(1) 実験概要</p> <p>本実験では、鋼部材の溶接部として底鋼板とリブの一般すみ肉溶接部を対象とした要素疲労試験を行う。試験体は、合成床版のリブと底鋼板を取り出して、すみ肉溶接に対して、平行および直角に作用する応力について行なう。試験は複数体行い、それぞれについて S-N 関係を求める。</p> <p>(2) 試験体</p> <p>要素試験体は下記の2種類とする。下図に試験体の概要を示す。</p> <p>(a) 横ビード試験体: すみ肉溶接に対して直角に応力を作用</p> <p>(b) 縦ビード試験体: すみ肉溶接に対して平行に応力を作用</p> <div style="text-align: center;"> </div>		
図8-1 要素試験体の概要			

検証内容
(事例)

表8-1 すみ肉溶接継手の疲労強度等級

継手の種類	疲労強度等級 (S-N関係)	備考
1. 製作中の溶接継手	D (100)	
2. 完成した溶接継手	D (100)	
3. 溶接仕上げ済みの溶接継手	E (80)	
4. 溶接の溶け込みを含む溶接継手	B (200)	
5. 溶接継手の溶け込みを除去した溶接継手	F (300)	
6. 溶接継手の溶け込みを除去した溶接継手	D (100) / D (100) / D (100)	

(荷重非伝達型十字溶接継手)

(3) 実験結果

図8-2 疲労試験結果 (S-N関係)

この事例では、合成床版における鋼部材溶接部が、想定される継手の疲労強度等級(すみ肉溶接に対して直角方向:E等級, 平行方向:D等級)を十分に上回る疲労強度を有していることが確認された。

(4) 評価

下に示すように一般的な構造に対する試設計での発生応力度と比較することにより実橋の疲労耐久性に対する評価ができる。

(a) 橋軸直角方向

- 設計活荷重応力→底鋼板: 77.2N/mm², リブ底部: 66.0N/mm²
- すみ肉溶接に対して平行方向の疲労強度 →D 等級: 100N/mm²

(b) 橋軸方向

- 設計活荷重応力→底鋼板: 52.0N/mm²
- すみ肉溶接に対して直角方向の疲労強度 →E 等級: 80N/mm²

2-9 輪荷重走行試験による耐久性照査 (ずれ止め)

要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)
検証目的	鋼コンクリート合成床版には各種のずれ止めが採用されているが、床版に使用するずれ止めの照査方法は道路橋示方書には規定されていない形式もある。そのような場合には、適切な方法によりずれ止め機能が要求を満足していることを検証する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	押し抜きせん断試験によりずれ止めが所要の機能を有していることを直接的に検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>床版に使用するずれ止めを適切にモデル化した供試体により押し抜きせん断試験を行い、ずれ止めの耐荷力が要求性能以上であることを確認するとともに鋼とコンクリートが一体としての挙動することを検証する。</p> <p>(2) 供試体</p> <p>供試体は当該床版のずれ止めを適切にモデル化し、着目するパラメーターがある場合にはそれに応じて必要な供試体数を用意する。なお、下図はトラス型ジベルの供試体の事例を示す。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>図9-1 供試体概要</p> <p>(3) 载荷方法</p> <p>供試体に水平せん断力が作用するよう支持条件を設定のうえ、静的に载荷と除荷を繰り返しながら荷重を漸増させる。</p>		

検証内容

(4) 実験結果

荷重と変位の関係および各種耐力と水平せん断バネ定数の関係はそれぞれ下に示すとおりである。

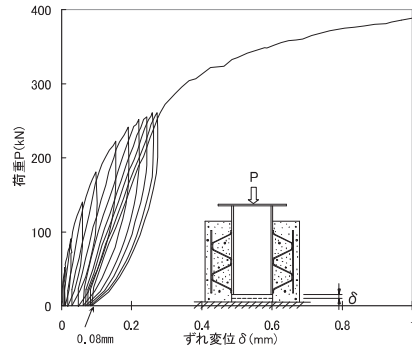


図9-2 荷重—変位—残留ずれの関係

表9-1 トラス型ジベル形状と、降伏せん断耐力、最大せん断耐力
及び水平せん断バネ定数との関係

シリーズ	供試本	FBサイズ		溶接長 B(mm)	溶接厚 S(mm)	降伏せん断耐力 (kN/ジベル)	最大せん断耐力 (kN/ジベル)	水平せん断 バネ定数 (kN/mm/ジベル)	破壊形態
		W(mm)	t(mm)						
A	A1	50	6	60	5	131	222	756	溶接
	A2	50	6	75	5	139	225	794	溶接
	A3	75	6	75	5	174	327	1111	溶接
	A4	75	9	75	6	222	368	1250	溶接
	A5-1	75	9	90	6	248	415	1176	溶接
	A5-2	75	9	90	7	227	464	1402	溶接
	A6	75	9	100	7	262	503	1259	溶接
B	A7	75	9	90	7	261	524	1485	溶接
	B1	50	6	60	5	119	238	765	溶接
C	B2	75	9	90	7	251	461	1146	溶接
	C1	50	6	60	5	154	215	646	溶接
	C2	75	9	90	7	280	477	947	溶接

注) 表中の耐力およびバネ定数は降伏時の平均値を示す。

なお、上表において降伏せん断耐力 P_s とは残留ずれ変位 δ が 0.08mm に相当する荷重 P を意味する。

検証内容

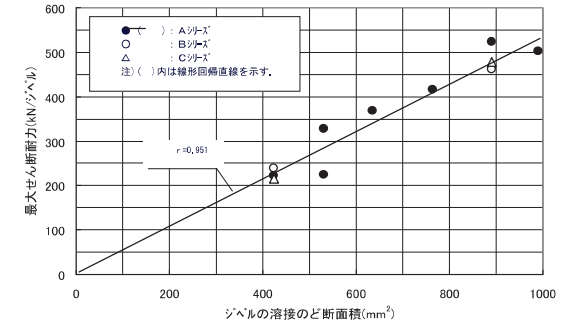
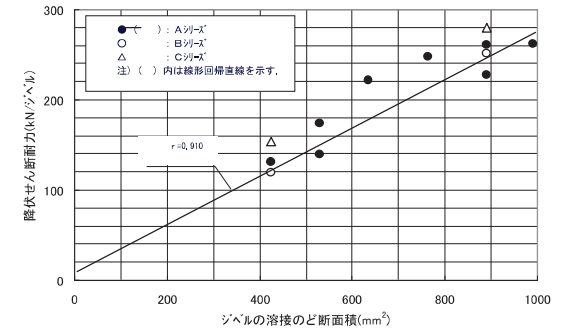


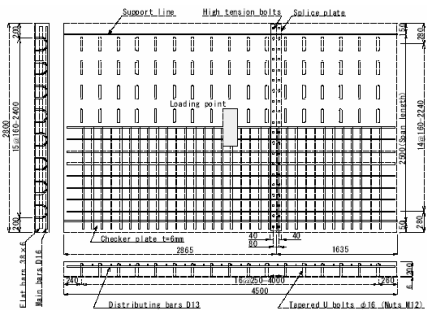
図9-3 ジベルの溶接のど断面積と最大せん断耐力との関係

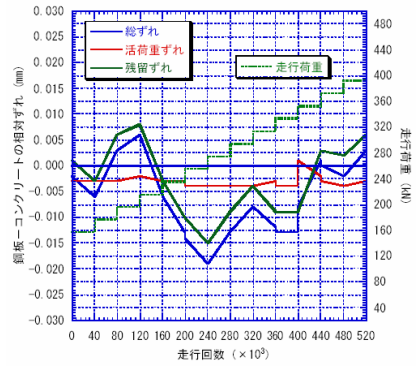
(5) 評価

上述のとおり限界せん断耐力および最大せん断耐力の関係を明らかとしたうえで、ジベルの許容せん断耐力を押し抜きせん断試験により求められた降伏せん断耐力に一定の安全率を考慮して設計を行う場合は、ジベルに対する所要性能を満足しているものとみなすものと評価できる。

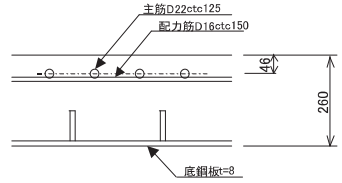
<参考文献>

- 1) 「大型のトラス型ジベルを用いた押し抜きせん断実験に関する一考察」：第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集, 土木学会, 2000. 10

2-10	輪荷重走行試験による耐久性照査（底鋼板継手部）		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 5.3 道示Ⅱ 6.1
検証目的	底鋼板継手部も一般部と同等の耐久性を確認する必要があること。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	継手部を含む床版供試体を用いた輪荷重走行試験（土木研究所）を実施し、継手部の目開き量が増加しないことを確認する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>継手部を設けた供試体により輪荷重走行試験を行い、π型変位計等により継手部の目開き量を計測しそのずれ挙動を確認のうえ一般部と同等の耐久性があることを検証する。</p> <p>(2) 供試体</p> <p>高力ボルト摩擦接合継手部を有する供試体の事例を下図に示す。</p>  <p style="text-align: center;">輪荷重走行試験供試体</p>		

検証内容	<p>(3) 実験結果</p> <p>本事例における走行回数一目開き量関係は下図に示すとおりである。残留ずれは最大で0.015mm程度あるものの、活荷重によるずれは最大でも0.005mm以下であり、本供試体の底鋼板が、試験終了に至るまで、コンクリートのずれを抑制していたものと判断できる。試験終了後も、継手部に劣化の様子は現われなかった。</p>  <p style="text-align: center;">走行回数—ずれ関係</p> <p>(4) 評価</p> <p>本事例のように継手を含む輪荷重走行試験の結果、ずれの発生がなく継手部の劣化も見られないことが検証された場合には、パネル同士の継手部が十分な耐久性を有すると評価できる。</p>
------	---

2-11	コンクリート砂利化後の耐荷力照査		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)2)
検証目的	RC床版、PC床版と同様に実橋においては疲労耐久性を確保するため水の影響を排除する必要があるが、鋼コンクリート合成床版の場合には鋼材の腐食状況を確認するのが困難なことも想定される。そのような場合には、必要に応じて各種劣化状況を想定した耐荷力の照査を行なうことが望ましい。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	想定する劣化状態に対する耐荷力を解析により求める。		
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <p>鋼材の腐食による減厚や各種劣化現象を想定した耐荷力を解析により求め、応力状態を評価のうえ維持管理に役立てることとする。</p> <p>(2) 検証事例</p> <p>床版コンクリートの損傷が進展し、上面コンクリートが砂利化した断面モデルを設定し、応力度照査を行う。</p> <p>(断面モデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 状態1：かぶりコンクリート部が砂利化により剛性を失った状態 → かぶりコンクリート断面無視 ● 状態2：状態1に併せて、床版が梁状化を伴った状態 → かぶりコンクリート断面無視+有効幅1/2 		

検証内容	<p>(対象とする床版)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 床版支間 : L=6(m) ・ 床版厚 : h=260(mm) ・ 鉄筋純かぶり : d=35(mm) ・ 底鋼板 : t=8(mm) ・ 主鉄筋(D22ctc125) ・ 配力筋(D16ctc150) 																				
	 <p>図11-1 床版断面形状図</p>																				
	<p>(照査結果)</p> <p>状態1, 2において、底鋼板、鉄筋とも降伏応力度以下であり、早急な崩壊を許さない一定の安全性を確保している。</p> <p>なお、床版支間部における主鉄筋方向の設計断面に対する応力度比は下表のとおりである。</p> <p style="text-align: center;">表11-1 設計断面に対する応力度比</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">損傷状態</th> <th>底鋼板</th> <th>鉄筋</th> <th>コンクリート</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>設計断面</td> <td>二方向ひび割れ</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>状態1</td> <td>かぶりコンクリート無視</td> <td>1.10</td> <td>1.57</td> <td>1.12</td> </tr> <tr> <td>状態2</td> <td>状態1+梁状化</td> <td>2.21</td> <td>3.14</td> <td>2.24</td> </tr> </tbody> </table>	損傷状態		底鋼板	鉄筋	コンクリート	設計断面	二方向ひび割れ	1.00	1.00	1.00	状態1	かぶりコンクリート無視	1.10	1.57	1.12	状態2	状態1+梁状化	2.21	3.14	2.24
損傷状態		底鋼板	鉄筋	コンクリート																	
設計断面	二方向ひび割れ	1.00	1.00	1.00																	
状態1	かぶりコンクリート無視	1.10	1.57	1.12																	
状態2	状態1+梁状化	2.21	3.14	2.24																	
	<p>(3) 評価</p> <p>上記のように想定する損傷過程に応じて応力を算出した結果、降伏応力度以下であり早急な崩壊の可能性が低いと判断される場合は、想定する損傷過程において一定の安全性が確保されているものと評価できる。</p>																				

2-12	腐食状態（鋼材の減厚）における耐荷力照査		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)2
検証目的	RC床版、PC床版と同様に実橋においては疲労耐久性を確保するため水の影響を排除する必要があるが、鋼コンクリート合成床版の場合には鋼材の腐食状況を確認するのが困難なことも想定される。そのような場合には、必要に応じて各種劣化状況を想定した耐荷力の照査を行なうことが望ましい。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	想定する劣化状態に対する耐荷力を解析により求める。		
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <p>鋼材の腐食による減厚や各種劣化現象を想定した耐荷力を解析により求め、応力状態を評価のうえ維持管理に役立てることとする。</p> <p>(2) 検証事例</p> <p>床版コンクリートの損傷が進展し、ひび割れ部から浸水した場合、コンクリート内部の鋼材が腐食する恐れがある。そこで、腐食時の断面モデルを次のとおり設定し、応力度照査を行う。</p> <p>(断面モデル)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 状態1：鋼材が減厚した状態 → 設計断面において鋼材を減厚 ● 状態2：状態1に併せて、かぶりコンクリート部が砂利化により剛性を失った状態 → 鋼材減厚+かぶりコンクリート断面無視 ● 状態3：状態2に併せて、床版が梁状化を伴った状態 → 鋼材減厚+かぶりコンクリート断面無視+有効幅 1/2 		

検証内容	<p>(対象とする床版)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 床版支間 : L=6(m) ・ 床版厚 : h=260(mm) ・ 鉄筋純かぶり : d=35(mm) ・ 底鋼板 : t=8(mm) ⇒ 1mm 減厚(t=7mm) 	<p>図12-1 床版断面形状図</p>			
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主鉄筋(D22ctc125) ・ 配力筋(D16ctc150) 				
<p>(照査結果)</p> <p>状態1, 2において、底鋼板、鉄筋とも降伏応力度以下であり、早急な崩壊を許さない一定の安全性を確保している。</p> <p>なお、床版支間部における主鉄筋方向の設計断面に対する応力度比は下表に示すとおりであった。</p>					
表12-1 設計断面に対する応力度比					
		損傷状態	底鋼板	鉄筋	コンクリート
設計断面		二方向ひび割れ	1.00	1.00	1.00
状態1		底鋼板 1mm 減厚	1.14	1.01	1.04
状態2		状態1+かぶりコンクリート無視	1.25	1.61	1.16
状態3		状態2+梁状化	2.51	3.22	2.31
<p>(3) 評価</p> <p>上記のように想定する損傷過程に応じて応力を算出した結果、降伏応力度以下であり早急な崩壊の可能性が低いと判断される場合は、想定する損傷過程において一定の安全性が確保されているものと評価できる。</p>					

2-13	疲労設計指針の考え方に準拠した構造詳細例	
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造であること	関連規定 道示Ⅱ 5.3
検証目的	鋼コンクリート合成床版には、鋼板パネルと各種金具の取り合いがありそれらの継手が疲労に大きな影響を与える場合がある。そのような場合には、細部構造の疲労に対して配慮する必要がある。	
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用	
検証方針	疲労設計指針に則ったディテールを準用する。	
検証内容 (事例)	<p>(1) 検証概要 主要部材における鋼部材継手と同様、主要部材以外の構造細目や主要部材の鋼部材継手にあってもその始末端などは疲労に配慮する必要がある。基本的には疲労設計指針に従って検証する必要があるが、当該箇所においては活荷重応力の変動が小さい箇所位置することが多いため、大半は詳細な検証は省略しても良い。</p> <p>(2) 細部構造事例 1) リブー底鋼板溶接部の始末端 (下図参照)</p> <div data-bbox="421 979 837 1190" data-label="Image"> </div> <p>図13-1 疲労照査が必要な細部ディテール例 (リブー底鋼板溶接始末端)</p> <p>主要部材であるリブと底鋼板との鋼部材継手では、ハンチ部分は溶接の始末端に位置する。当該箇所においては、活荷重変動応力を算出のうえ、疲労設計指針の疲労等級に従って照査を行うことを基本とする。</p>	

検証内容 (事例)	<p>2) ハンチプレートー底鋼板連結構造 (下図参照)</p> <div data-bbox="1451 300 1973 517" data-label="Image"> </div> <p>図13-2 疲労照査が必要な細部ディテール例 (スタッドボルトor普通ボルト)</p> <p>底鋼板とハンチプレートが分離した構造を採用している床版では、その連結にスタッドボルトもしくは普通ボルトを用いている。当該箇所においては、活荷重変動応力を算出のうえ、疲労設計指針の疲労等級に従って照査を行うことを基本とする。</p> <p>3) 壁高欄鋼製型枠の支持金具 (下図参照)</p> <div data-bbox="1554 775 1727 919" data-label="Image"> </div> <p>図13-3 設計上疲労照査が不要なディテール例 (壁高欄鋼製型枠支持金具の溶接)</p> <p>壁高欄鋼製型枠支持金具は一般的に幅 50mm 程度のショートビードとなるが、活荷重による応力変動が小さい箇所に設置されること、鋼床版で実績を有するディテールであることから、設計上疲労照査は省略しても良い。なお、床版片持部において版厚が極端に薄くなる場合など通常の構造形式と相違する場合については、活荷重の応力変動値を算定のうえ疲労照査を行うものとする。</p>
--------------	--

検証内容
(事例)

4) 底鋼板一壁高欄鋼製型枠連結構造 (下図参照)

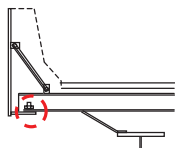


図13-4 設計上疲労照査が不要なディテール例 (スタッドボルトor普通ボルト)

底鋼板と壁高欄鋼製型枠の連結にはスタッドボルトや普通ボルトが用いられる。当該箇所においては活荷重による応力変動が小さいことから、設計上疲労照査は省略しても良い。なお、床版端部において版厚が極端に薄くなる場合など通常の構造形式と相違する場合については、活荷重の応力変動値を算定のうえ疲労照査を行うものとする。

5) モニタリング孔 (下図参照)

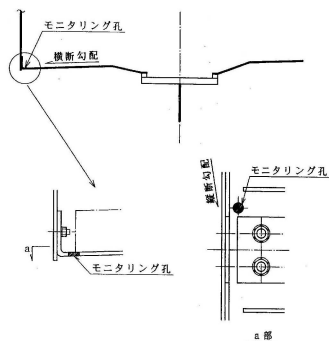


図13-5 設計上疲労照査が不要なディテール例 (モニタリング孔)

床版は、防水工を含む防水システムの採用により雨水をコンクリート床版に進入させないことが基本であるが、不測の事態に備えることを目的として万が一雨水が進入した場合に早期発見が可能となるようにモニタリング孔を設置している。モニタリング孔は図に示すとおり、活荷重の変動応力が小さな壁高欄近傍に設置されることから、設計上疲労照査は省略しても良い。なお、床版片持部において版厚が極端に薄くなる場合など通常の構造形式と相違する場合については、活荷重の応力変動値を算定のうえ疲労照査を行うものとする。

検証内容
(事例)

6) 排水管貫通孔補強部材 (下図参照)

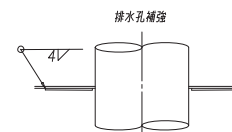
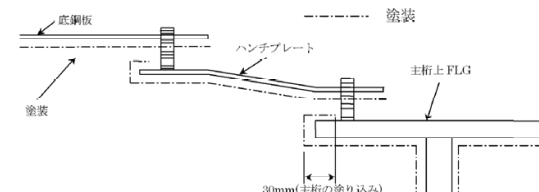
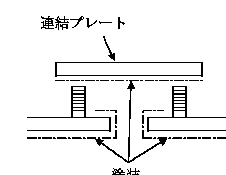


図13-6 設計上疲労照査が不要なディテール例 (排水孔補強PLの溶接)

排水管貫通孔は、活荷重による応力変動が小さい壁高欄近傍直下に設けられることが多いため、開口部ならびに開口部の断面欠損を補う補強部材の溶接に対する疲労照査は省略しても良い。なお、床版片持部において版厚が極端に薄くなる場合など通常の構造形式と相違する場合については、活荷重の応力変動値を算定のうえ疲労照査を行うものとする。


2-14	鋼材の防せい計画の基本		
要求性能	鋼材及びコンクリートの経年的な劣化による影響を考慮すること	関連規定	鋼道路橋塗装便覧
検証目的	鋼コンクリート合成床版は底鋼板に防錆を施す必要がある。防錆にあたっては、腐食による機能の低下を防ぐと同時にLCCを小さくするように仕様を決定する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書等の準用		
検証方針	鋼道路橋塗装便覧等を準用することを基本とし、LCCに対しても配慮する。		
検証内容	<p>(1) 防錆方法</p> <p>合成床版の防錆は、塗装・耐候性鋼材・メッキ・常温金属溶射などがあるが、維持管理計画ならびにLCCに配慮した適切な防錆方法を選定することが必要である。</p> <p>(2) 留意点</p> <p>鋼道路橋塗装便覧を適用する場合は、以下の事項に配慮のうえ塗装設計を行う必要がある。</p> <p>1) 塗装の防錆効果は塗膜の劣化にともなって低下するので、塗装の状態あるいは発錆状態が管理水準を維持できなくなった時点で、塗替えを行って塗膜の防錆機能を更新することが必要である。塗膜の劣化してゆく速さは、塗膜の防錆機能の強さと、橋体のおかれた環境での腐食因子の強さとの関係から決まってくる。塗装設計にあたっては、橋梁のおかれる環境因子の強さを調査し、維持管理体制の上から要請される塗替え周期を再現できるように、塗料の種類、使用量、素地調整程度、塗装工程等の必要事項を決定することが必要である。</p> <p>2) 道路橋塗装の目的は、第一に鋼材の発錆を防止することにあるが着色効果が重視されることも多い。着色効果は主として上塗り塗膜の性能によって決まり、上塗り塗膜の劣化にともなって着色効果も低下する。着色効果を重視する場合には、上塗り塗膜の顔料とビヒクルに十分注意して塗装設計を行う必要がある。</p>		

2-15	防せい防食に配慮した構造詳細		
要求性能	鋼材及びコンクリートの経年的な劣化による影響を考慮すること	関連規定	—
検証目的	鋼コンクリート合成床版には防錆に配慮すべき細部構造があるため、そのような箇所に対しても確実な防錆が行われるようその仕様を明確にしておく必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書等の準用		
検証方針	鋼道路橋塗装便覧等を準用することを基本とし、LCCに対しても配慮する。		
検証内容 (事例)	<p>(1) 留意点</p> <p>部材と部材の接触部は、外気環境となる可能性があるため、特に下に示す箇所については留意する必要がある。</p> <p>1) 底鋼板—ハンチプレートの重なり部</p> <p>底鋼板 : 下面全面を塗装 ハンチプレート : コバ面および上面 10~20mm 程度を塗装</p>  <p>図15-1 特に留意が必要な塗装箇所</p> <p>2) 添接部</p> <p>底鋼板 : コバ面および上面 10~20mm 程度を塗装 連結プレート : 下面全面を塗装</p>  <p>図15-2 特に留意が必要な塗装箇所</p>		

2.5.3 使用目的と適合性（供用性）の照査

3-1	荷重伝達機能の確保（方法1）		
要求性能	荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2 (1)1
検証目的	活荷重による床版の変形によって支持桁の構成部材や床版と桁との接合構造に疲労損傷を生じさせないように配慮する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	道路橋示方書を準用し荷重伝達機能を確保する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要 床版と各主桁・縦桁上の接合部に設置したハンチが道路橋示方書に準じていることを確認する。</p> <p>(2) 検証内容 鋼コンクリート合成床版のハンチ部は下図に示すように鋼製の部材により形成されており、ハンチの傾斜やその構造を確認する。</p> <div style="text-align: center;"> <p>図1-1 ハンチ詳細図</p> </div> <p>(3) 評価 ハンチの傾斜は1:3よりゆるやかにすることが望ましい。1:3よりきつい場合は、別途適切な方法により応力集中が過度に発生していないことを確認する必要がある。</p>		

3-2	荷重伝達機能の確保（方法2）		
要求性能	荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2 (1)1
検証目的	活荷重による床版の変形によって支持桁の構成部材や床版と桁との接合構造に疲労損傷を生じさせないように配慮する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	FEM解析により主桁構造とハンチ部を含む床版を考慮したモデルにより応力状態を照査し問題のないことを確認する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要 床版のハンチ部適切にモデル化のうえFEM解析により応力の伝達状況を検証する。</p> <p>(2) 検証内容</p> <p>解析モデル 要素 : 床版 …… ソリッド要素 主桁 …… シェル要素 なお、要素は応力状態が精度よく評価できるサイズに適切に分割するものとする。</p> <p>境界条件 : 実際の使用環境が再現できる境界条件を適切に設定する。</p> <p>モデル : 幅員方向 …… 全幅員をモデル化する 橋軸方向 …… 辺長比を考慮のうえ床版作用が再現できる長さをモデル化する。(下図は参考例)</p> <div style="text-align: center;"> <p>図2-1 解析モデル</p> </div> <p>なお、荷重は着目部位に最も不利となる状態にT荷重を載荷する。</p>		

<p>検証内容</p>	<p>(3) 解析結果 着目部位：応力集中部（ハンチ折れ点、主桁とハンチの取り付け点等） （下図は参考例）</p> <div style="text-align: center;">  <p>図2-2 FEM解析結果</p> </div> <p>(4) 評価 次の項目を照査のうえ問題がないかを確認する。 ・応力 ・たわみ</p> <p>なお、一般にハンチの傾斜が1:3よりきつい場合やハンチ形状が特殊な場合には同様の検証を行なうことが望ましい。</p>
-------------	---

3-3	鉛直曲げ剛性の確保		
要求性能	荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)1)
検証目的	コンクリート部材のひび割れ又は、鋼部材の応力集中や二次応力の発生等の原因となる恐れがあり、RC床版、PC床版と同等の剛性を有することを確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	当該床版支間における合成床版の曲げ剛性がRC床版やPC床版の曲げ剛性と同等以上であることを解析により検証する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要 RC床版やPC床版との相対比較により当該床版支間に対して同等の剛性が確保されていることを試算する。</p> <p>(2) 検証方法 1) 床版厚の算出 ・合成床版の最小床版厚は次式により算出する。 $d = 25L + 110 \quad \dots \dots (1)$ ここに、d：底鋼板を含む床版厚(mm) L：床版支間(m)</p> <p>・RC床版の最小床版厚は次式により算出する。(道示Ⅱ 8.2.5) 単純版 $d = (40L + 110) \times k_1$ 連続版 $d = (30L + 110) \times k_1$ ここに、k_1：大型車の計画交通量による割増係数</p> <p>・PC床版の最小床版厚は次式により算出する。(道示Ⅱ 8.3.4) 単純版 $d = (40L + 110) \times 90\%$ 連続版 $d = (30L + 110) \times 90\%$</p>		

検証内容

床版支間 2.0~6.0m における各床版形式の床版厚は次表のとおり算出される。なお、大型車の計画交通量による割増係数 $k_1 = 1.10$ とする。

・単純版

表3-1 床版支間と床版厚の関係（単純版）（単位:mm）

種別 床版支間(m)	合成床版	RC床版	PC床版
2.0	160	210	170
2.5	170	230	190
3.0	190	250	210
3.5	200	280	230
4.0	210	300	240
4.5	220	—	260
5.0	240	—	280
5.5	250	—	300
6.0	260	—	320

・連続版

表3-2 床版支間と床版厚の関係（連続版）（単位:mm）

種別 床版支間(m)	合成床版	RC床版	PC床版
2.0	160	190	160
2.5	170	200	170
3.0	190	220	180
3.5	200	240	190
4.0	210	250	210
4.5	220	—	220
5.0	240	—	230
5.5	250	—	250
6.0	260	—	260

検証内容

2) 床版の断面

断面剛性を算出するにあたり各床版形式の断面を次のように想定する。なお、コンクリートのヤング係数比は $n=7$ とする。

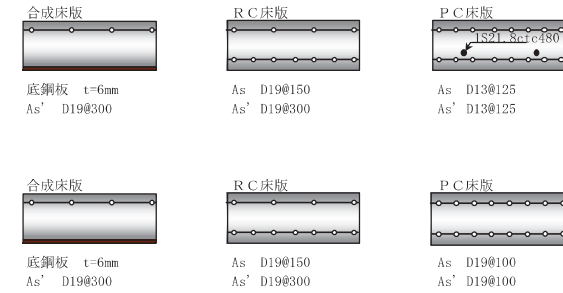


図3-1 床版断面形状

3) 断面剛性

・単純版

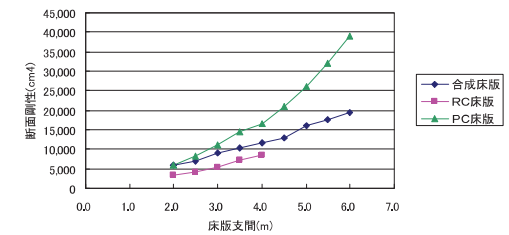


図3-2 床版支間と断面剛性の関係（単純版：主筋方向）

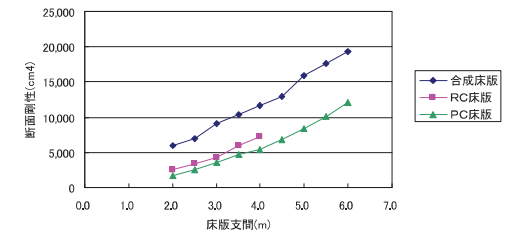


図3-3 床版支間と断面剛性の関係（単純版：配筋方向）

検証内容	<p>・連続版</p> <p>図3-4 床版支間と断面剛性の関係(連続版：主筋方向)</p> <p>図3-5 床版支間と断面剛性の関係(連続版：配力筋方向)</p> <p>(3) 検証結果</p> <p>以上の解析結果より、合成床版の床版厚を(1)式に基づいて算定した場合、その断面剛性はどの床版支間に対しても RC 床版より大きく、また PC 床版との比較においては主筋方向における単純版の場合は小さくなるものの連続版においてはほぼ同等となっており、配力筋方向については単純版、連続版ともに合成床版の方が PC 床版より大きい結果を示す。</p> <p>(4) 評価</p> <p>(1)式を適用した合成床版は当該床版支間の RC 床版、PC 床版と同等もしくは同等以上の剛性を有するものと評価できる。</p>
------	--

3-4	活荷重たわみの照査(方法1)		
要求性能	荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)1)
検証目的	鋼コンクリート合成床版を採用する橋梁は、PC床版を採用した橋梁と同様に主桁の削減や横構が省略されるなど構造の合理化が図られることが多い。そのような場合には、構造の合理化の影響を確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	実験により床版に生じる活荷重たわみが所定の値以下であることを検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>輪荷重走行試験等を行い、活荷重によるたわみが所定のたわみ以下であることを検証する。</p> <p>(2) 実験内容</p> <p>国土交通省で提案されている輪荷重走行試験機を用いた試験によりたわみを直接的に測定する。</p> <p>(3) 実験結果</p> <p>実験結果の一例は下図に示すとおりである。</p> <p>図4-1 鋼コンクリート合成床版のたわみの進展状況(平成8年道示RC床版、プレストレス量50%PC床版との比較)</p> <p>この事例では、床版支間の1/2,000に相当するたわみが生じる荷重は、およそ300kNという結果が得られている。</p>		

検証内容	<p>(4) 評価</p> <p>合成床版の活荷重によるたわみの制限値は一般には床版支間の1/2,000程度と考えられるため、T荷重相当の荷重を載荷のうえ床版支間中央のたわみが1/2,000以下となる場合には、床版は十分な剛性を有しており構造の合理化の影響はないものと評価できる。</p> <p><参考文献></p> <p>鋼構造設計指針 PART B 合成構造物（平成9年版）：第3編 合成床版編，5.2 使用限界の照査，平成9年9月，土木学会</p>
------	---

3-5	活荷重たわみの照査（方法2）																		
要求性能	荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2 (1)1)																
検証目的	活荷重による床版の変形によって支持桁の構成部材や床版と桁との接合構造に疲労損傷が生じないこと。																		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																		
検証方針	解析により床版に生じる活荷重たわみが所定の値以下であることを検証する。																		
検証内容	<p>(1) 検証方法</p> <p>主桁を含むモデルにてFEM解析を行い、RC床版の数値と同等であることを確認する。</p> <p>(2) 検証事例</p> <p>道示Ⅱ2.3に準じて、過大なたわみや振動によって走行安全性に問題が生じないよう活荷重たわみを照査する。</p> <p>床版の支持条件を考慮するため、合成床版+少数主桁でモデル化し、支間中央と中間支点上に着目する。PC床版+少数主桁の同たわみとの相対比較による評価も行う。</p> <p>i) 解析諸元</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0; text-align: center;">合成床版+主桁</div> <p>合成床版の活荷重たわみの算出は、参考文献²⁾により以下の方法で行うものとする。</p> <p>床版断面：コンクリート全断面有効とした合成断面 載荷荷重：道路橋示方書Ⅰ共通編に示すT荷重満載 衝撃：考慮しない 合成後活荷重に対する許容たわみ：L/2000程度（L：床版の支間長） FEM解析条件：表5-1 FEM解析条件</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2">床版厚</td> <td>2主桁モデル</td> <td>260mm</td> </tr> <tr> <td>3主桁モデル</td> <td>240mm</td> </tr> <tr> <td>コンクリート圧縮強度</td> <td></td> <td>30 N/mm²</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ヤング係数</td> <td>鋼材</td> <td>2.0 × 10⁵ N/mm²</td> </tr> <tr> <td>コンクリート</td> <td>2.0 × 10⁴ N/mm²</td> </tr> <tr> <td>底鋼板とコンクリートの付着</td> <td></td> <td>考慮しない</td> </tr> </table>			床版厚	2主桁モデル	260mm	3主桁モデル	240mm	コンクリート圧縮強度		30 N/mm ²	ヤング係数	鋼材	2.0 × 10 ⁵ N/mm ²	コンクリート	2.0 × 10 ⁴ N/mm ²	底鋼板とコンクリートの付着		考慮しない
床版厚	2主桁モデル	260mm																	
	3主桁モデル	240mm																	
コンクリート圧縮強度		30 N/mm ²																	
ヤング係数	鋼材	2.0 × 10 ⁵ N/mm ²																	
	コンクリート	2.0 × 10 ⁴ N/mm ²																	
底鋼板とコンクリートの付着		考慮しない																	

検証内容

PC床版+主桁

FEM解析条件 :

表5-2 FEM解析条件

床版厚	2主桁モデル※1	320mm
	3主桁モデル※2	250mm
コンクリート圧縮強度		40 N/mm ²
コンクリートのヤング係数		3.1 × 10 ⁴ N/mm ²

※1 $h=(40L+110) \times 0.9 = (40 \times 6.0+110) \times 0.9 = 315 \rightarrow 320\text{mm}$

※2 $h=(30L+110) \times 0.9 = (30 \times 5.4+110) \times 0.9 = 245 \rightarrow 250\text{mm}$

iii) 解析結果

a) 2主桁モデル

合成床版+主桁

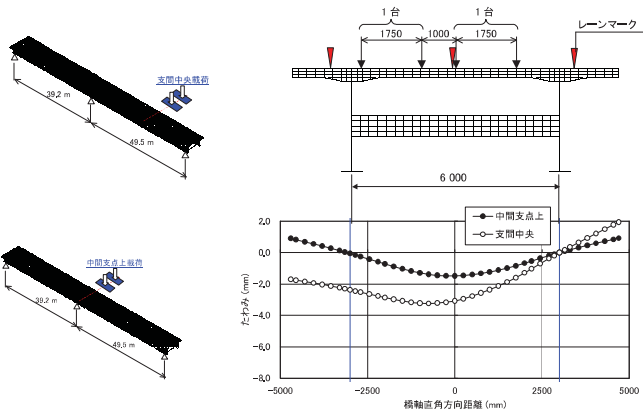


図5-1 解析結果 (合成床版たわみ : 2主桁)

検証内容

PC床版+主桁

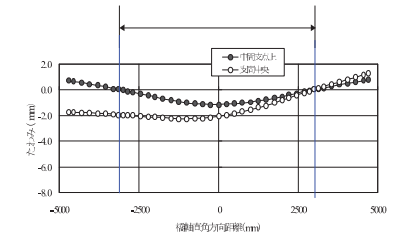
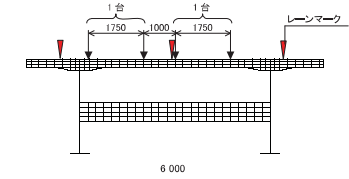
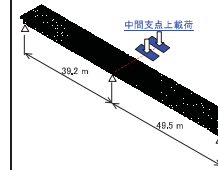
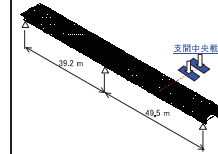
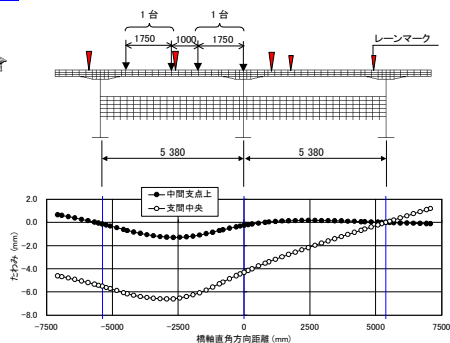
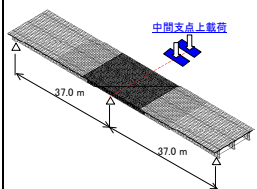
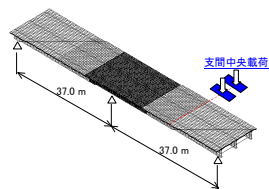


図5-2 解析結果 (PC床版たわみ : 2主桁)

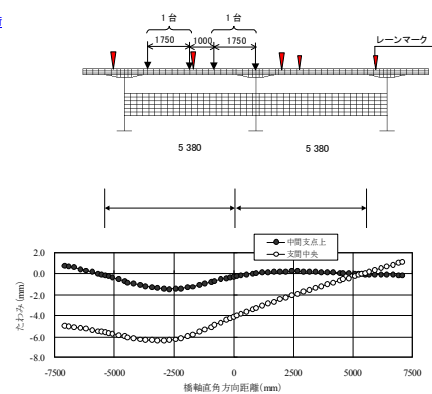
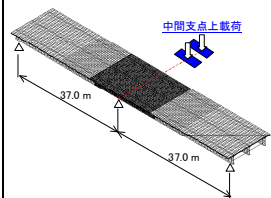
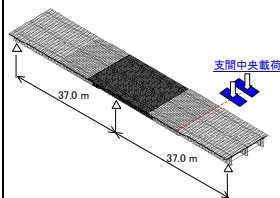
検証内容

b) 3主桁モデル

合成床版+主桁



PC床版+主桁



検証内容

(3) 検証結果

主桁および床版の活荷重たわみ(合成床版)

	主桁相対たわみ* (mm)				床版たわみ* (mm)			
	中間支点上		支間中央		中間支点上		支間中央	
2主桁	0.053	(L/113208)	2.371	(L/2531)	1.457	(L/4118)	1.755	(L/3419)
3主桁	0.184	(L/29239)	1.538	(L/3498)	1.100	(L/4891)	1.655	(L/3251)

※ 2主桁は床版たわみが最大となる位置における主桁間のたわみ差, 3主桁は外桁を直線補間した場合の中桁のたわみ

* 2主桁, 3主桁とも, 主桁間を直線補間した場合の最大たわみ

主桁および床版の活荷重たわみ(PC床版)

	主桁相対たわみ* (mm)				床版たわみ* (mm)			
	中間支点上		支間中央		中間支点上		支間中央	
2主桁	0.057	(L/105263)	1.957	(L/3066)	1.133	(L/5296)	0.953	(L/6296)
3主桁	0.193	(L/27876)	1.317	(L/4085)	1.255	(L/4287)	1.458	(L/3690)

合成床版+主桁では, 主桁・床版とも活荷重によるたわみは主桁間隔に対して小さな値となり, 床版剛性は十分であると考えられる。また, PC床版+主桁との比較においても大きな差はなく, ほぼ同等の剛性を有するものと判断される。

(4) 評価

解析の結果, 活荷重たわみが床版支間の1/2,000以下であり, また, PC床版との相対比較によってほぼ同等の剛性を有するものと判断される場合は疲労耐久性を損なう有害な変形は生じないものと評価できる。

<参考文献>

土木学会鋼構造委員会 鋼橋床版の調査研究小委員会：道路橋床版の新技術と性能照査型設計, 第2分科会報告 床版の構造と設計, 合成床版設計・施工規準(案), p.235, 平成12年10月

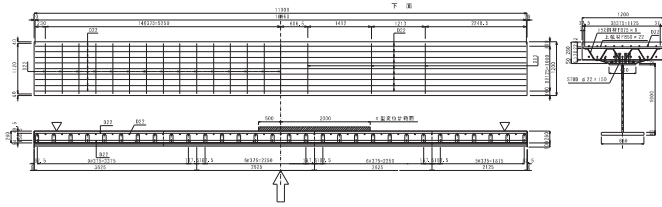
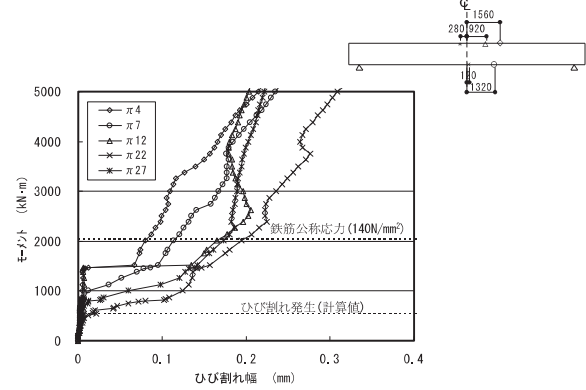
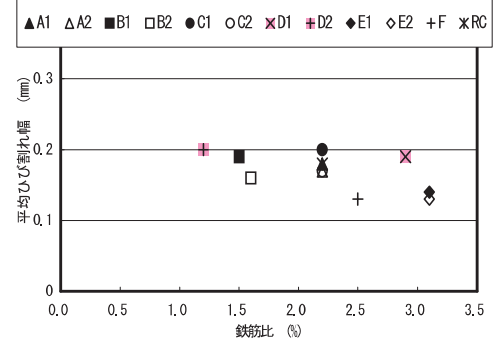





















3-6	コンクリートのひび割れ幅の照査（方法1）		
要求性能	荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)1)
検証目的	鋼コンクリート合成床版は鉄筋コンクリート床版と同様に、連続げたの中間支点上等負の曲げモーメントが作用する箇所には適切な配慮が必要である。しかし、構造も異なるため道路橋示方書に規定する鉄筋比等をそのまま適用できない場合があり、そのような場合には、コンクリートに有害なひび割れが発生しないことを検証する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	静的荷重実験により、コンクリートに有害なひび割れが発生しないことを直接的に検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要 連続桁中間支点付近ではコンクリートに作用する引張力によってひび割れが発生する。このため、桁と床版を一体化した負曲げ実験を行い、鉄筋応力度を制限することで有害なひび割れが発生せず、RC床版と同程度のひび割れ幅に制御できることを確認する。</p> <p>(2) 供試体 実橋の中間支点を想定のうえその挙動が再現できるようにモデル化を行う。</p> 		

図6-1 供試体概要図

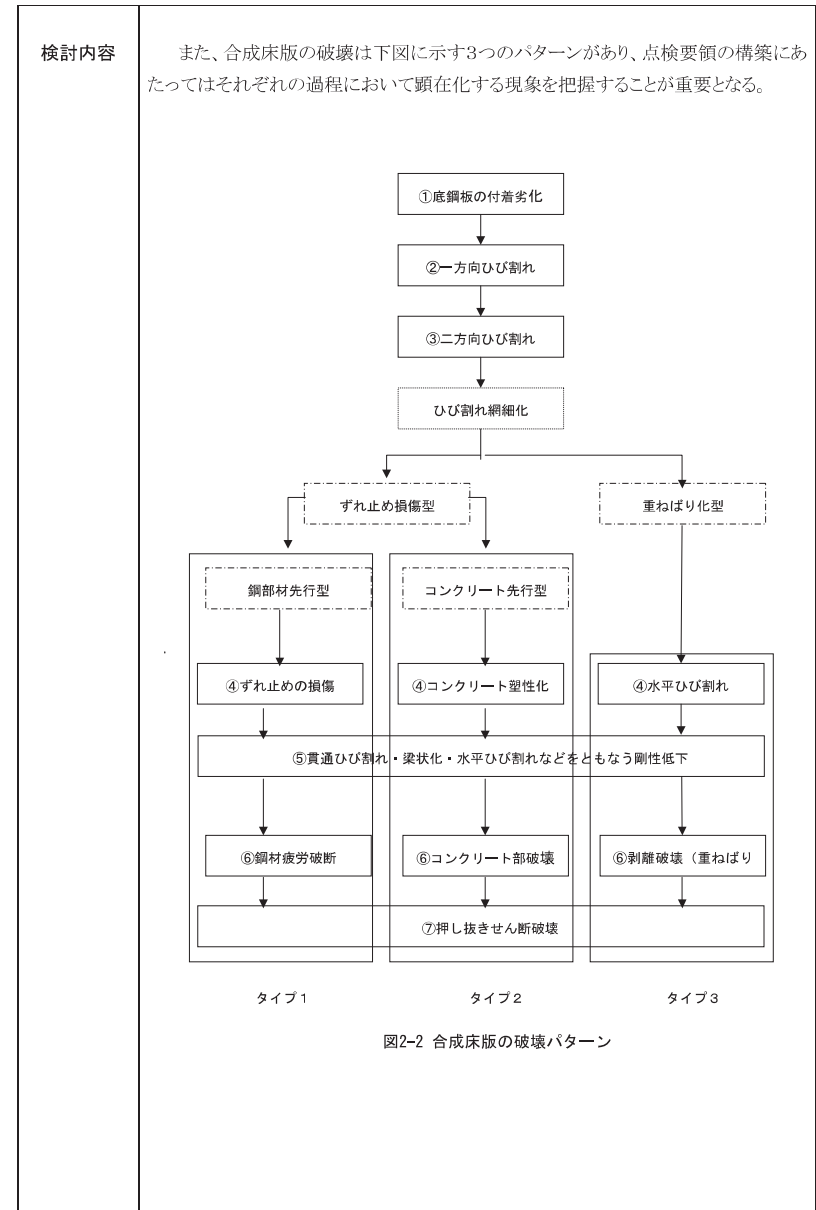
検証内容	<p>(3) 実験結果</p>  <p>図6-2 ひび割れ幅の挙動</p>  <p>図6-3 平均ひび割れ幅</p> <p>(4) 評価 実験により鉄筋コンクリート床版と同程度にひび割れが制御できることが検証された場合には、負の曲げモーメントに対して適切な配慮がなされたものと評価できる。</p> <p><参考文献> 「新しい鋼橋の誕生Ⅱ」：(社)日本橋梁建設協会，2003年5月</p>
------	---

3-7	コンクリートのひび割れ幅の照査（方法2）		
要求性能	荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない構造であること	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)1
検証目的	鋼コンクリート合成床版は鉄筋コンクリート床版と同様に、連続げたの中間支点上等負の曲げモーメントが作用する箇所には適切な配慮が必要である。しかし、構造も異なるため道路橋示方書に規定する鉄筋比等をそのまま適用できない場合があり、そのような場合には、コンクリートに有害なひび割れが発生しないことを検証する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	コンクリート標準示方書に基づきコンクリートのひび割れ幅の照査を行い、許容ひび割れ幅以下であることを検証する。		
検証内容	<p>(1) 検証方法 引張側コンクリートのひび割れが、許容幅以下であることを確認する。</p> <p>(2) 検証事例 中間支点上の配力筋方向コンクリート床版上面には、主桁作用として引張応力が生じるためひび割れ幅の照査を行う必要がある。一方、主鉄筋方向に対しては、車両載荷位置と拡幅部の交通量を勘案すると、床版作用によるコンクリート床版上面への引張応力が発生する頻度は少ないものと思われる。したがってここでは主桁作用に対して道示のL荷重を影響線載荷したときの中間支点上の最大鉄筋応力度(配力鉄筋)を求め、ひび割れ幅の検証を行い、有害なひび割れが生じないことを確認する。ひび割れ幅の照査は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕7.4.4(2)に従い次式により算出する。</p> $w = 1.1k_1k_2k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{sc}}{E_s} \left(\text{または} \frac{\sigma_{pc}}{E_p} \right) + e'_{csd} \right]$ <p>(3) 評価 算出されたひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下であることを検証した場合には、負の曲げモーメントに対して適切な配慮がなされたものと評価できる。</p>		

2.5.4 維持管理性照査

4-1	輪荷重走行試験による破壊機構の推定																									
要求性能	点検および補修・復旧が容易であること	関連規定	道示Ⅰ 1.5																							
検証目的	鋼コンクリート合成床版は実績はまだ浅く補修事例も少ないため、破壊メカニズムを明らかにして、点検および補修・復旧を容易にする必要がある。																									
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用																									
検証方針	輪荷重走行試験結果に基づき破壊メカニズムを推定し維持管理に役立てる。																									
検証内容	<p>(1) 破壊メカニズムの分類</p> <p>① ずれ止め損傷先行型（コンクリート部材損傷先行型） 鋼板パネル上面に配置したリップ等を起点とした、コンクリートの水平ひびわれが発生して、鋼とコンクリートとの合成が低下してコンクリートのせん断面積が減少し、押し抜きせん断破壊に至る。</p> <p>② ずれ止め損傷先行型（鋼部材損傷先行型） ずれ止め、または底鋼板などの鋼部材に疲労亀裂損傷が発生して、鋼とコンクリートとの合成が低下してコンクリートのせん断面積が減少し、押し抜きせん断破壊に至る。</p> <p>③ コンクリート水平ひび割れ損傷先行型 ずれ止め全面、またはずれ止め側面のコンクリートが塑性化して、鋼とコンクリートとの合成が低下してコンクリートのせん断面積が減少し、押し抜きせん断破壊に至る。</p> <p style="text-align: center;">表1-1 鋼コンクリート合成床版の損傷過程</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>・初期段階 ひび割れなし</td> <td>IV</td> <td></td> <td>・ずれ止め損傷・水平ひび割れ発生が始まる</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td></td> <td>・底鋼板付着切れ</td> <td>V</td> <td></td> <td>・支持方向の貫通ひび割れ ・梁状化 ・ずれ止め損傷・水平ひび割れ進展</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td></td> <td>・一方向ひび割れ (活荷重ひび割れ)</td> <td>VI</td> <td></td> <td>・せん断抵抗の減少</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td></td> <td>・二方向ひび割れ ・ひび割れ開閉量が小さく復元力も大きい</td> <td>VII</td> <td></td> <td>・押し抜きせん断破壊 ・底鋼板は腹力部材として抵抗</td> </tr> </table>				・初期段階 ひび割れなし	IV		・ずれ止め損傷・水平ひび割れ発生が始まる	I		・底鋼板付着切れ	V		・支持方向の貫通ひび割れ ・梁状化 ・ずれ止め損傷・水平ひび割れ進展	II		・一方向ひび割れ (活荷重ひび割れ)	VI		・せん断抵抗の減少	III		・二方向ひび割れ ・ひび割れ開閉量が小さく復元力も大きい	VII		・押し抜きせん断破壊 ・底鋼板は腹力部材として抵抗
	・初期段階 ひび割れなし	IV		・ずれ止め損傷・水平ひび割れ発生が始まる																						
I		・底鋼板付着切れ	V		・支持方向の貫通ひび割れ ・梁状化 ・ずれ止め損傷・水平ひび割れ進展																					
II		・一方向ひび割れ (活荷重ひび割れ)	VI		・せん断抵抗の減少																					
III		・二方向ひび割れ ・ひび割れ開閉量が小さく復元力も大きい	VII		・押し抜きせん断破壊 ・底鋼板は腹力部材として抵抗																					

4-2	点検要領の構築		
要求性能	点検が容易であること、補修・復旧が容易であること。	関連規定	道示 I 1.5
検証目的	底鋼板により床版下面のひび割れを直接目視できないため、間接的に損傷の進行度を把握するための方法を構築する必要がある。		
検証手法	点検要領の確認 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	合成床版における特徴的な損傷を対象とした点検要領の内容を確認する。		
検討内容	<p>1. 合成床版の損傷の特徴</p> <p>土木研究所における輪荷重走行試験結果をもとにした各種床版のたわみの変化と時間の関係の概念は下図のとおりであり、合成床版は損傷の進行が緩やかであり、また、損傷を受けてもコンクリート片が落下せず、破壊後においても膜力部材として荷重に抵抗するという特徴を有している。したがって、合成床版の点検要領の構築にあたっては疲労損傷におけるこのような特徴を反映した内容とすることが必要である。</p> <p>図2-1 各種床版のたわみ変化の概念</p>		



<p>検討内容</p>	<p>2. 点検要領の内容</p> <p>点検要領には次に示す内容を記載することが望ましい。</p> <p>(1) 点検の位置付けと目的 (2) 点検の頻度 (3) 点検の方法 (4) 点検箇所</p> <p>なお、合成床版の損傷の過程において顕在化する現象には次に示すようなものがあるので、これらを適切に点検要領に考慮することが望ましい。</p> <p>(1) 局部的な舗装の異常や漏水 (2) 残留、弾性たわみの増加 (3) 路面から床版下面への漏水 (4) 錆汁、遊離石灰 (5) 底鋼板の断面欠損 (6) 路面の段差</p> <p>3. 損傷程度の評価</p> <p>損傷の程度については、「橋梁定期点検要領（案）」（平成 16 年 3 月 国土交通省）を参考として評価するとよい。</p> <p>なお、合成床版において経過観察や補修の必要性が検討される段階の概念は下図に示すとおりである。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>図2-3 剛性変化の概念</p>
-------------	--

4-3	床版防水システムの設置		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれないようにする。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)2)
検証目的	疲労耐久性を損なわないためには水の影響を排除することが重要であり、そのために備えるべき防水システムが機能するかどうかを確認する必要がある。		
検証手法	防水システムの確認 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	防水システムの内容を確認する。		
検討内容	<p>1. 防水システムの必要性</p> <p>コンクリート系の床版は、床版上面のひび割れに雨水が浸透した場合、ポンピング作用や浸透水に起因するコンクリートの骨材化やすりみがき現象が加わって、その疲労強度は乾燥状態の強度に比べて著しく低下することが分かっている。また、橋梁の表層舗装材料に排水機能を有する高機能舗装（排水舗装）が標準的に用いられるようになってきていることから、床版防水の重要性が増しており、防水層の設置のみならず複合的な対策による防水システムとして機能させることが極めて重要となっている。</p> <p>2. 防水システムの概念</p> <p>防水システムとしての概念は次に示すとおり複合的な対策を講じることにある。</p> <p>(1) ひび割れ幅を制御する設計 (2) ひび割れの生じにくいコンクリートの施工 (3) 防水層の施工 (4) 路面水の速やかな排除 (5) 維持管理</p>		

検討内容	<p>3. 防水対策の例</p> <p>以下に示すような対策を組み合わせることにより防水システムとして機能させることができる。</p> <p>(1) 適切なかぶり (2) 適切な鉄筋径と間隔 (3) 主桁作用への配慮 (4) 膨張材の使用 (5) 確実な充填 (6) 要求性能を満たす防水層の施工 (7) 確実な水仕舞い処理 (8) 道水帯の設置 (9) 水抜きドレーンの設置 (10) 適切な止水処理 (11) モニタリング孔の設置 (12) 適切な点検計画</p> <p>設計図書、施工要領書等を照査することにより上記内容が施されているかを確認することが望ましい。</p>
------	--

4-4	滞水抑制システムの設置		
要求性能	自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれないようにする。	関連規定	道示Ⅱ 8.1.2(1)2)
検証目的	疲労耐久性を損なわないためには水の影響を排除することが重要であり、そのために備えるべき滞水抑制システムが機能するかどうかを確認する必要がある。		
検証手法	滞水抑制システムの確認 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	滞水抑制システムの内容を確認する。		
検討内容	<p>1. 滞水抑制システムの必要性 滞水抑制システムを採用することにより水の影響をより効果的に排除することが可能であり、床版の疲労耐久性を損なわないためには防水システムの一貫として考慮することが重要である。</p> <p>2. 滞水抑制システム概念 滞水抑制システムとしての概念は次に示す対策を講じることである。</p> <p>(1) 路面水の速やかな排除 (2) 維持管理</p> <p>3. 滞水抑制対策の例 以下に示すような対策を組み合わせることにより滞水抑制システムとして機能させることができる。</p> <p>(1) 道水帯の設置 (2) 水抜きドレーンの設置 (3) 適切な止水処理 (4) モニタリング孔の設置</p> <p>設計図書、施工要領書等を照査することにより上記内容が施されているかを確認することが望ましい。</p>		

2.5.5 施工品質の確保

5-1	実物大供試体による充填確認（方法1）		
要求性能	所定の品質を確保できるようなコンクリートの打込みほうほうであること。	関連規定	道示Ⅱ 17.8.6(1)
検証目的	鋼コンクリート床版は内部の鋼材量が多く、鋼材のあきが相対的に小さくなる場合やコンクリートの充填性を十分に確保できない可能性がある場合もある。そのような場合には、密実なコンクリートの打ち込みが可能かどうか充填性を確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	実物大モデルの供試体によりコンクリート打設施工試験を行い、コンクリートの充填性を検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>実物大モデルにコンクリート打設後、適当な養生期間経過後に床版各部を切断のうえ、その切断面からコンクリート充填状況を確認する。</p> <p>(2) 実験方法</p> <p>1) 試験の目的</p> <p>実物大供試体を、主部材形鋼断面が傾く方向に7%の勾配を付けた状態でコンクリート打設および締め固めを行い、コンクリート標準示方書を参考にして定めた施工要領と充填性の関係を確認する。</p> <p>2) 供試体</p> <p>供試体は下図に示すとおりである。</p> <p>図1-1 供試体概要図</p>		

検証内容	<p>3) 試験状況</p> <p>コンクリート打設・締め固め状況を写真1-1に示す。</p> <p>4) 試験条件と確認項目</p> <p>①試験条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 縦断勾配（主部材形鋼が傾く方向）：7.0% 横断勾配：0.0%(充填に最も不利) コンクリート：スランプ 8cm <p>②確認項目</p> <ul style="list-style-type: none"> 施工要領の確認 <p>*締め固め方法</p> <p>内部振動機設置間隔：25cm~40cm</p> <p>内部振動機の締め固め時間：10秒~15秒</p> <p>*妥当性確認方法</p> <p>供試体の切断による：①~④ライン</p>
	<p>写真1-1 コンクリート打設・締め固め状況</p>

<p>検証内容</p>	<p>(3) 実験結果</p> <p>下に示す供試体切断面の写真より、主部材形鋼フランジ下面、主桁上およびハンチ部の底鋼板下面におけるコンクリートの充填性は良好であり、コンクリート標準示方書を参考に定めた施工要領が妥当であることを確認した。</p> <p>よって、本施工要領に従えば、以下の条件の橋梁ではコンクリートの充填性に問題は生じないといえる。</p> <p><充填性を保証できる橋梁></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 縦断勾配 : 7.0%以下 ・ 横断勾配 : 制限なし ・ コンクリートスランプ : 8cm <div style="text-align: center;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>完全充填 ①切断ライン</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>完全充填 ②切断ライン</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>完全充填 ③切断ライン</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>完全充填 ④切断ライン</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">写真1-2 実物大供試体によるコンクリート打設施工試験結果</p> <p>(4) 評価</p> <p>コンクリート打設試験により確認された施工要領に従い現場施工を行なうことによりコンクリート充填性は確保することが必要である。</p>
-------------	--

5-2	実物大供試体による充填確認（方法2）		
要求性能	所定の品質を確保できるようなコンクリートの打込み方法であること	関連規定	道示Ⅱ 17.8.6(1)
検証目的	鋼コンクリート床版は内部の鋼材量が多く、鋼材のあきが相対的に小さくなる場合やコンクリートの充填性を十分に確保できない可能性がある場合もある。そのような場合には、密実なコンクリートの打ち込みが可能かどうか充填性を確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	実物大モデルの供試体によりコンクリート打設施工試験を行い、コンクリートの充填性を検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験の目的</p> <p>合成床版の品質向上は、構造およびコンクリート材料の特性からコンクリートの施工品質に依存するところが大きい。床版の完成後に所定の品質が得られていることを検証することは一般に困難であるから、施工の各段階で完成後の品質に悪影響を及ぼす事象が生じることがないように所要の施工手順を確実にを行うとともに、適切な施工が行われ所定の品質が確保されることを施工の各段階において適当な方法で適宜管理することが重要である。従って、実橋への施工にフィードバック可能な施工方法及び施工管理項目を明らかにする目的で実大模型にけるコンクリート打設施工試験を行う。</p> <p>(2) 実験の方法</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 供試体 次頁に供試体の一般図を示す。 2) 施工手順 本実験供試体における施工は、実橋における標準的な現場施工手順に準じて施工をおこなった。 3) 施工確認項目および試験項目 コンクリートの充填性に大きな影響を与える、スランプとコンクリートの締固め（パイプレータの加振時間）に着目した施工性について実験により確認した。 		

検証内容

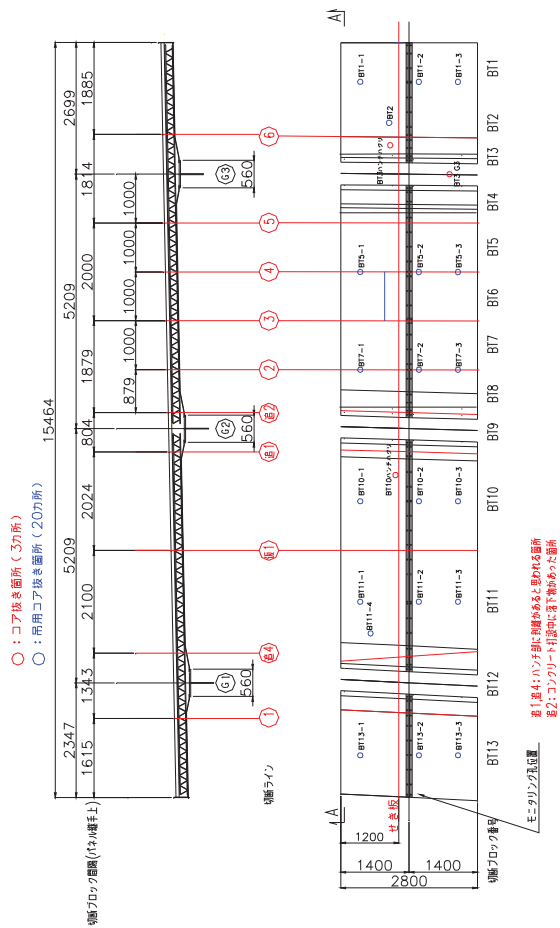


図2-1 供試体概要図

検証内容

(3) 実験結果

- スランブ値の違いによるコンクリートの充填性
コンクリートの打設を2回に分けて実施。
第1回目打設はスランブ値 14.0cm、第2回目打設は 9.5cm で実施。
スランブ値の違いによるコンクリートの充填性（底鋼板の鉄筋部など）に差は見られなかった。

表2-1 スランブ値の違いによる充填性確認状況



















第1回目打設(スランブ 14.0cm)	第2回目打設(スランブ 9.5cm)
位置: 6断面 BT2ブロック側	位置: 6断面 BT2ブロック側


- パイプレータの加振間隔の確認と加振時間の違いによる充填性の確認
下表にパイプレータの加振間隔および加振時間の設定値を示す。パイプレータの加振時間は通常の加振時間である 5～15 秒を目安としてコンクリート打設時に決定した。

表2-2 パイプレータの加振間隔、加振時間の設定


加振間隔(cm)	加振時間(秒)			
	A	B	C	D
橋軸方向40cm程度(トラス鉄筋間に1回)	5	4	10	8
幅員方向40cm程度				

パイプレータの加振時間の違いによるコンクリート充填性に顕著な差は見られなかった。また通常の加振時間(10秒程度)施工時においても材料分離などの現象は確認されなかった。充填状況は次に示すとおりである。

<p>検証内容</p>	<p>表2-3 バイブレータの加振時間の違いによる充填性確認状況</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">B</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">位置:6断面 BT2 ブロック側</td> <td style="text-align: center;">位置:6断面 BT2 ブロック側</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">D</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">位置:2断面 BT7 ブロック側</td> <td style="text-align: center;">位置:2断面 BT7 ブロック側</td> </tr> </table> <p>3) バイブレータが底鋼板にあたることについて実験により確認を行った。設定条件を下表に示す。</p> <p style="text-align: center;">表2-4 バイブレータが底鋼板にあたる設定条件</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">G1桁とハンチ部</td> <td style="text-align: center;">左記以外</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">振動棒を3～4秒底鋼板にあてる</td> <td style="text-align: center;">振動棒は1～2秒底鋼板にあててもよい</td> </tr> </table> <p>バイブレータを底鋼板にあてても底鋼板のゆるみやパネル継ぎ手部からの水漏れ等は生じなかった。またコンクリートの充填性にも違いは見られなかった。充填状況を次に示す。</p> <p style="text-align: center;">表2-5 バイブレータが底鋼板にあたることについての充填性確認状況</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">G1桁とハンチ部</td> <td style="text-align: center;">左記以外</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">位置:追4断面 BT11ブロック側</td> <td style="text-align: center;">位置:2断面 BT7ブロック側</td> </tr> </table> <p>(4) 評価</p> <p>コンクリート打設試験により確認された施工要領に従い現場施工を行なうことによりコンクリート充填性を確保することが必要である。</p>	A	B			位置:6断面 BT2 ブロック側	位置:6断面 BT2 ブロック側	C	D			位置:2断面 BT7 ブロック側	位置:2断面 BT7 ブロック側	G1桁とハンチ部	左記以外	振動棒を3～4秒底鋼板にあてる	振動棒は1～2秒底鋼板にあててもよい	G1桁とハンチ部	左記以外			位置:追4断面 BT11ブロック側	位置:2断面 BT7ブロック側
A	B																						
																							
位置:6断面 BT2 ブロック側	位置:6断面 BT2 ブロック側																						
C	D																						
																							
位置:2断面 BT7 ブロック側	位置:2断面 BT7 ブロック側																						
G1桁とハンチ部	左記以外																						
振動棒を3～4秒底鋼板にあてる	振動棒は1～2秒底鋼板にあててもよい																						
G1桁とハンチ部	左記以外																						
																							
位置:追4断面 BT11ブロック側	位置:2断面 BT7ブロック側																						

5-3	実物大供試体による充填確認 (方法3)							
要求性能	所定の品質を確保できるようなコンクリートの打込み方法であること。	関連規定	道示Ⅱ 17.8.6(1)					
検証目的	鋼コンクリート床版は内部の鋼材量が多く、鋼材のあきが相対的に小さくなる場合やコンクリートの充填性を十分に確保できない可能性がある場合もある。そのような場合には、密実なコンクリートの打ち込みが可能かどうか充填性を確認する必要がある。							
検証手法	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">実験による検証</td> <td style="padding: 0 10px;">・</td> <td style="padding: 2px;">解析による検証</td> <td style="padding: 0 10px;">・</td> <td style="padding: 2px;">道路橋示方書の準用</td> </tr> </table>			実験による検証	・	解析による検証	・	道路橋示方書の準用
実験による検証	・	解析による検証	・	道路橋示方書の準用				
検証方針	実物大モデルの供試体によりコンクリート打設施工試験を行い、コンクリートの充填性を検証する。							
検証内容	<p>(1) 実験目的</p> <p>耐荷力、耐久性など所要の性能を満足するためには、コンクリート施工において十分な品質を確保する必要がある。コンクリート打設施工試験により所要の品質が確実に確保される方法を確立し、実橋施工へ反映することにより所要の品質が確保されることを保証する。</p> <p>(2) 実験概要</p> <p>a) 試験体概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 実物大の鋼部材および配筋を配置する。 ▪ コンクリートは、実施工に用いることを想定した配合とする。 ▪ 比較のためスランプ値は8cm, 12cm, 15cmの3種類を用いた。 ▪ 想定される床版勾配を付加する。 <p>b) 試験の着目点</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ コンクリートの均質性 ▪ 鋼部材フランジ下面等へのコンクリート充填性 ▪ コンクリート打設施工性 (施工時間など) <div style="text-align: center;">  <p>写真3-1 試験体</p> </div>							

<p>検証内容</p>	<div style="text-align: center;">  <p>写真3-2 施工状況</p> </div> <p>(3) 実験結果</p> <div style="text-align: center;">  <p>写真3-3 均質性及び充填性の確認</p> </div> <p>a) 均質性、充填性の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 切断面の観察により、骨材が均一に分布しており、均質性が保たれていることが確認できた。 ▪ 同様に、Uリブのフランジ下面にもコンクリートが十分行き渡っていることが確認できた。 ▪ 上記は、縦横断勾配がある場合でも、またスランプ値によらず満足する。 <p>b) 施工性</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ スランプが 12cm の場合、RC 床版の施工と同程度の施工性であった。 ▪ スランプが 8cm の場合、締め固めに要する時間を 12cm の約 1.3 倍要した。 <p>本試験の結果、コンクリートの均質性、充填性が十分得られたことから、施工方法が妥当であることを確認できた。</p> <p>なお、スランプが 8cm の場合、通常の RC 床版の施工と比較して締め固め時間を要するので、施工計画時にはこれを考慮する必要がある。</p> <p>(4) 評価</p> <p>コンクリート打設試験により確認された施工要領に従い現場施工を行なうことによりコンクリート充填性を確保することが必要である。</p>
-------------	--

5-4	実物大供試体による充填確認（方法4）		
要求性能	所定の品質を確保できるようなコンクリートの打込み方法であること。	関連規定	道 示 II 17.8.6(1)
検証目的	鋼コンクリート床版は内部の鋼材量が多く、鋼材のあきが相対的に小さくなる場合やコンクリートの充填性を十分に確保できない可能性がある場合もある。そのような場合には、密実なコンクリートの打ち込みが可能かどうか充填性を確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	各種性能確認試験の供試体を切断することにより、コンクリートの充填性を検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>耐力、耐久性など所要の性能を満足するためには、コンクリート充填性が確保されている必要がある。そこで、性能確認試験の供試体の断面切断によりコンクリートの充填性を確認し、実橋施工へ反映することにより、所要の品質が確保されていることを保証するものとする。</p> <p>(2) 検証事例</p> <p>土木研究所輪荷重試験機による試験後の供試体の断面切断によるコンクリート充填性確認を示す。</p> <div style="text-align: center;">  <p>写真4-1 性能確認試験後の供試体断面切断によるコンクリート充填性の確認</p> </div> <p>(3) 評価</p> <p>性能確認試験の供試体の断面切断によりコンクリートの充填性を確認し、その施工要領に従い現場施工を行なうことによりコンクリート充填性を確保することが必要である。</p>		

5-5	溶接施工試験による機械的性質の確認（方法1）		
要求性能	鋼材選定は、防せい・防食法及び鋼材の機械的性質や品質を考慮したものであること。	関連規定	道示Ⅱ1.6
検証目的	鋼コンクリート合成床版では非溶接構造用鋼を溶接構造に使用する場合がある。そのような場合には非溶接構造用鋼の使用に対して問題がないことを確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書等の準用		
検証方針	溶接施工試験により、溶接品質に問題がないことを検証する。		
検証内容	<p>(1) 実験概要</p> <p>合成床版の工場製作における一般構造用圧延鋼材「SS400」の使用にあたり、道路橋示方書においては溶接部材に使用する場合は溶接施工試験を行い確認することとあるため、該当するすみ肉溶接部とスタッド溶接部等について溶接施工試験を実施して、その品質に問題がないことを確認する。</p> <p>(2) 適用図書</p> <p>道路橋示方書・同解説 平成14年3月 日本道路協会</p> <p>JIS G 0553-1996（鋼のマクロ組織試験方法） 日本規格協会</p> <p>JIS Z 2244-2003（ビッカース硬さ試験-試験方法） 日本規格協会</p> <p>JIS Z 3145-1981（頭付きスタッド溶接部の曲げ試験方法） 日本規格協会</p> <p>JIS Z 2241-1993（金属材料引張試験方法） 日本規格協会</p>		

検証内容	(3) 試験部位																																																															
	<p>表5-1 試験部位と判定基準</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>溶接方法</th> <th>部 位</th> <th>試験項目</th> <th>試験方法</th> <th>試験片個数</th> <th>判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">すみ肉試験</td> <td rowspan="2">底鋼板と孔あきリブ</td> <td>マクロ試験</td> <td>JIS G 0553</td> <td rowspan="2">2</td> <td rowspan="2">有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下</td> </tr> <tr> <td>硬さ試験</td> <td>JIS Z 2244</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">孔あきリブと上側補強フランジ</td> <td>マクロ試験</td> <td>JIS G 0553</td> <td rowspan="2">2</td> <td rowspan="2">有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下</td> </tr> <tr> <td>硬さ試験</td> <td>JIS Z 2244</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">底鋼板と下側補強フランジ</td> <td>マクロ試験</td> <td>JIS G 0553</td> <td rowspan="2">2</td> <td rowspan="2">有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下</td> </tr> <tr> <td>硬さ試験</td> <td>JIS Z 2244</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">孔あきリブとリブ支持用アングル</td> <td>マクロ試験</td> <td>JIS G 0553</td> <td rowspan="2">3</td> <td rowspan="2">有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下</td> </tr> <tr> <td>硬さ試験</td> <td>JIS Z 2244</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">スタッド試験</td> <td rowspan="3">底鋼板とスタッドボルト</td> <td>マクロ試験</td> <td>JIS G 0553</td> <td rowspan="3">1</td> <td rowspan="3">有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下</td> </tr> <tr> <td>硬さ試験</td> <td>JIS Z 2244</td> </tr> <tr> <td>引張試験</td> <td>JIS Z 2241</td> <td>3</td> <td>引張強さは400~510N/mm²</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">ハンプレートとスタッドジベル</td> <td>マクロ試験</td> <td>JIS G 0553</td> <td rowspan="3">1</td> <td rowspan="3">有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下</td> </tr> <tr> <td>硬さ試験</td> <td>JIS Z 2244</td> </tr> <tr> <td>引張試験</td> <td>JIS Z 2241</td> <td>3</td> <td>引張強さは400~550N/mm²</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>曲げ試験</td> <td>JIS Z 3145</td> <td>3</td> <td>溶接部に亀裂を生じてはならない</td> </tr> </tbody> </table>	溶接方法	部 位	試験項目	試験方法	試験片個数	判定基準	すみ肉試験	底鋼板と孔あきリブ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下	硬さ試験	JIS Z 2244	孔あきリブと上側補強フランジ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下	硬さ試験	JIS Z 2244	底鋼板と下側補強フランジ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下	硬さ試験	JIS Z 2244	孔あきリブとリブ支持用アングル	マクロ試験	JIS G 0553	3	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下	硬さ試験	JIS Z 2244	スタッド試験	底鋼板とスタッドボルト	マクロ試験	JIS G 0553	1	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下	硬さ試験	JIS Z 2244	引張試験	JIS Z 2241	3	引張強さは400~510N/mm ²	ハンプレートとスタッドジベル	マクロ試験	JIS G 0553	1	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下	硬さ試験	JIS Z 2244	引張試験	JIS Z 2241	3	引張強さは400~550N/mm ²			曲げ試験	JIS Z 3145	3
溶接方法	部 位	試験項目	試験方法	試験片個数	判定基準																																																											
すみ肉試験	底鋼板と孔あきリブ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下																																																											
		硬さ試験	JIS Z 2244																																																													
	孔あきリブと上側補強フランジ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下																																																											
		硬さ試験	JIS Z 2244																																																													
	底鋼板と下側補強フランジ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下																																																											
		硬さ試験	JIS Z 2244																																																													
孔あきリブとリブ支持用アングル	マクロ試験	JIS G 0553	3	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下																																																												
	硬さ試験	JIS Z 2244																																																														
スタッド試験	底鋼板とスタッドボルト	マクロ試験	JIS G 0553	1	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下																																																											
		硬さ試験	JIS Z 2244																																																													
		引張試験	JIS Z 2241			3	引張強さは400~510N/mm ²																																																									
	ハンプレートとスタッドジベル	マクロ試験	JIS G 0553	1	有害な欠陥があってはならない 最高硬さが370HV以下																																																											
		硬さ試験	JIS Z 2244																																																													
		引張試験	JIS Z 2241			3	引張強さは400~550N/mm ²																																																									
		曲げ試験	JIS Z 3145	3	溶接部に亀裂を生じてはならない																																																											
(4) 試験体形状	<p>図5-1 着目部の事例</p>																																																															

検証内容

(5) 試験結果

溶接施工試験の結果、各溶接施工法について下表の通りであり、所定の品質が確保できていることが確認できたため、非溶接構造用鋼を使用することに問題は見られないものと判断された。

表5-2 試験結果一覧

部位	外観	マクロ	硬さ 370以下	引張 400以上	曲げ
底鋼板と孔明き リップ	合格	合格	218		
穴あきリップと上 側補強フランジ	合格	合格	210		
底鋼板とスタッ ドボルト	合格	合格	239	409	合格
ハンチプレート とスタッジベル	合格	合格	223	464	合格

(6) 評価

非溶接構造用鋼を溶接構造に使用する場合は、本事例に示すように溶接施工試験によりその品質に問題がないことを検証する必要がある。溶接施工試験の結果、道路橋示方書に示す要求事項を全て満足する場合にはその使用は問題がないものと評価できる。

5-6

溶接施工試験による機械的性質の確認（方法2）

要求性能

鋼材選定は、防せい・防食法及び鋼材の機械的性質や品質を考慮したものであること。

関連規定

道示Ⅱ17.4.4

検証目的

鋼コンクリート合成床版においては、道路橋示方書に規定のない溶接施工法を使用する場合がある。そのような場合には、その溶接法の採用に対して問題がないことを確認する必要がある。

検証手法

実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書等の準用

検証方針

溶接施工試験により、溶接品質に問題がないことを検証する。

検証内容

(1) 実験概要

合成床版の工場製作において、サイズ4mmのすみ肉溶接、長さ30mmの組立溶接、長さ75mmの溶接箇所等を使用した例もある。道路橋示方書によれば組立溶接長は80mm以上となっており、これらの溶接方法は道路橋示方書の規定を満たしていないこととなる。このような場合には、該当するすみ肉溶接部に対して溶接施工試験を実施してその品質に問題がないことを検証する。

(2) 適用図書

道路橋示方書・同解説 平成14年3月

日本道路協会

JIS G 0553-1996（鋼のマクロ組織試験方法）

日本規格協会

JIS Z 2244-2003（ピッカース硬さ試験-試験方法）

日本規格協会

検証内容
(事例)

(3) 試験部位

表6-1 試験部位と判定基準

溶接方法	部 位	試験項目	試験方法	試験片 個数	判定基準
すみ肉 試験	底鋼板と 孔あきリブ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない
		硬さ試験	JIS Z 2244		最高硬さが 370Hv 以下
	孔あきリブと 上側補強フランジ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない
		硬さ試験	JIS Z 2244		最高硬さが 370Hv 以下
	底鋼板と 下側補強フランジ	マクロ試験	JIS G 0553	2	有害な欠陥があってはならない
		硬さ試験	JIS Z 2244		最高硬さが 370Hv 以下
	孔あきリブと リブ支持用フランジ	マクロ試験	JIS G 0553	3	有害な欠陥があってはならない
		硬さ試験	JIS Z 2244		最高硬さが 370Hv 以下

(4) 試験体形状

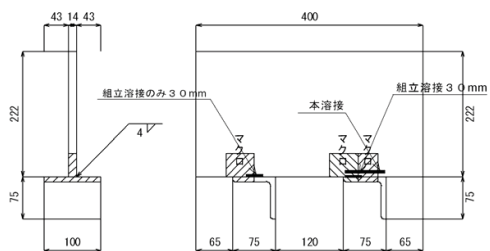


図6-1 着目部の事例

検証内容

(5) 試験結果

本事例では、組立溶接部(溶接長 30mm, 脚長 4mm)は最高硬さが Hv=317 となったが判定基準は満たしており、マクロ試験においても欠陥は無かった。本溶接部についても、最高硬さが Hv=273 と他と比較し硬化はしているものの、判定基準は満たしており、マクロ試験においても欠陥は無く、その溶接性に問題は無いものと判断された。

(6) 評価

道路橋示方書に規定のない溶接方法を使用する場合は、本事例に示すように溶接施工試験によりその品質に問題がないことを検証する必要がある。溶接施工試験の結果、道路橋示方書に示す要求事項を全て満足する場合にはその使用は問題がないものと評価できる。

5-7	ミルシートによる割れ感受性等の評価																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
要求性能	鋼材選定は、防せい・防食法及び鋼材の機械的性質や品質を考慮したものであること。	関連規定	道示 II 1.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
検証目的	鋼コンクリート合成床版では非溶接構造用鋼を溶接構造に使用する場合がある。そのような場合には非溶接構造用鋼の使用に対して問題がないことを確認する必要がある。																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書等の準用																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
検証方針	ミルシートでの成分分析より、非溶接構造用鋼を用いても溶接品質に問題がないことを確認する。																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
検証内容	<p>(1) 検証方法</p> <p>非溶接構造用鋼の化学成分を分析した結果、JIS で定める溶接構造用鋼の化学成分の規定値を満足する場合には、溶接構造用として使用しても問題ないものと判断できる。この場合、溶接性の指標としてCeq、Pcm値を算出することにより、その適否を判断することもできる。下表は成分分析の結果、溶接構造に使用しても問題ないと判断された例である。</p> <p style="text-align: center;">表7-1 化学成分分析結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">品名</th> <th rowspan="2">材質</th> <th colspan="3">寸法</th> <th rowspan="2">数量</th> <th rowspan="2">製品番号</th> <th rowspan="2">製鋼番号</th> <th colspan="2">C(×100%)</th> <th colspan="2">Si(×100%)</th> <th colspan="2">Mn(×100%)</th> <th colspan="2">P(×1000%)</th> <th colspan="2">S(×1000%)</th> </tr> <tr> <th>厚</th> <th>幅</th> <th>長さ</th> <th>23以下</th> <th>—</th> <th>2.5×G以下</th> <th>35以下</th> <th>50以下</th> <th>90以下</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td colspan="17">SM400A材の成分規定値</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td colspan="17">SS400材の成分規定値</td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>9120</td> <td>1</td> <td>923</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>9120</td> <td>1</td> <td>924</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>9120</td> <td>1</td> <td>926</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>9390</td> <td>1</td> <td>927</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>8120</td> <td>1</td> <td>928</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>9110</td> <td>1</td> <td>926</td> <td>4820504</td> <td>17</td> <td>13</td> <td>54</td> <td>16</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>7610</td> <td>1</td> <td>928</td> <td>4522825</td> <td>16</td> <td>15</td> <td>52</td> <td>10</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>9910</td> <td>1</td> <td>950</td> <td>4522825</td> <td>16</td> <td>15</td> <td>52</td> <td>10</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>2110</td> <td>9610</td> <td>1</td> <td>931</td> <td>4522825</td> <td>16</td> <td>15</td> <td>52</td> <td>10</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1890</td> <td>3030</td> <td>1</td> <td>932</td> <td>4522921</td> <td>17</td> <td>13</td> <td>51</td> <td>7</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1910</td> <td>9960</td> <td>1</td> <td>978</td> <td>4412011</td> <td>11</td> <td>19</td> <td>100</td> <td>10</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1410</td> <td>7210</td> <td>1</td> <td>986</td> <td>4521710</td> <td>11</td> <td>19</td> <td>95</td> <td>14</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1410</td> <td>9960</td> <td>1</td> <td>987</td> <td>4521710</td> <td>11</td> <td>19</td> <td>95</td> <td>14</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1380</td> <td>3500</td> <td>1</td> <td>988</td> <td>4521710</td> <td>11</td> <td>19</td> <td>96</td> <td>14</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1380</td> <td>3500</td> <td>1</td> <td>989</td> <td>4820504</td> <td>17</td> <td>13</td> <td>54</td> <td>16</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1380</td> <td>3500</td> <td>1</td> <td>990</td> <td>4820504</td> <td>17</td> <td>13</td> <td>54</td> <td>16</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1380</td> <td>3500</td> <td>1</td> <td>991</td> <td>4820504</td> <td>17</td> <td>13</td> <td>54</td> <td>16</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1380</td> <td>3500</td> <td>1</td> <td>995</td> <td>4820504</td> <td>17</td> <td>13</td> <td>54</td> <td>16</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1290</td> <td>3500</td> <td>1</td> <td>996</td> <td>4521920</td> <td>11</td> <td>19</td> <td>97</td> <td>10</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1000</td> <td>3000</td> <td>1</td> <td>904</td> <td>4412011</td> <td>11</td> <td>19</td> <td>100</td> <td>10</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>1000</td> <td>3000</td> <td>1</td> <td>1103</td> <td>4412011</td> <td>11</td> <td>19</td> <td>100</td> <td>10</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3100</td> <td>8300</td> <td>1</td> <td>1123</td> <td>4521423</td> <td>12</td> <td>17</td> <td>96</td> <td>10</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3050</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1134</td> <td>4521423</td> <td>12</td> <td>17</td> <td>96</td> <td>10</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3070</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1135</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3070</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1136</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3040</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1142</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3040</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1143</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3040</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1144</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3040</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1145</td> <td>4820204</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>54</td> <td>9</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3070</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1137</td> <td>4820205</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>51</td> <td>11</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3070</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1138</td> <td>4820205</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>51</td> <td>11</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3070</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1139</td> <td>4820205</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>51</td> <td>11</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3070</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1140</td> <td>4820205</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>51</td> <td>11</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3040</td> <td>9110</td> <td>1</td> <td>1141</td> <td>4820203</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>51</td> <td>13</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3040</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1146</td> <td>4820203</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>51</td> <td>13</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3040</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1147</td> <td>4820203</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>51</td> <td>13</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PL</td> <td>SS400</td> <td>6</td> <td>3040</td> <td>8500</td> <td>1</td> <td>1148</td> <td>4820203</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>51</td> <td>13</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			品名	材質	寸法			数量	製品番号	製鋼番号	C(×100%)		Si(×100%)		Mn(×100%)		P(×1000%)		S(×1000%)		厚	幅	長さ	23以下	—	2.5×G以下	35以下	50以下	90以下			SM400A材の成分規定値																			SS400材の成分規定値																	PL	SS400	6	2110	9120	1	923	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	2110	9120	1	924	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	2110	9120	1	926	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	2110	9390	1	927	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	2110	8120	1	928	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	2110	9110	1	926	4820504	17	13	54	16	3							PL	SS400	6	2110	7610	1	928	4522825	16	15	52	10	2							PL	SS400	6	2110	9910	1	950	4522825	16	15	52	10	2							PL	SS400	6	2110	9610	1	931	4522825	16	15	52	10	2							PL	SS400	6	1890	3030	1	932	4522921	17	13	51	7	4							PL	SS400	6	1910	9960	1	978	4412011	11	19	100	10	2							PL	SS400	6	1410	7210	1	986	4521710	11	19	95	14	4							PL	SS400	6	1410	9960	1	987	4521710	11	19	95	14	4							PL	SS400	6	1380	3500	1	988	4521710	11	19	96	14	4							PL	SS400	6	1380	3500	1	989	4820504	17	13	54	16	3							PL	SS400	6	1380	3500	1	990	4820504	17	13	54	16	3							PL	SS400	6	1380	3500	1	991	4820504	17	13	54	16	3							PL	SS400	6	1380	3500	1	995	4820504	17	13	54	16	3							PL	SS400	6	1290	3500	1	996	4521920	11	19	97	10	2							PL	SS400	6	1000	3000	1	904	4412011	11	19	100	10	2							PL	SS400	6	1000	3000	1	1103	4412011	11	19	100	10	2							PL	SS400	6	3100	8300	1	1123	4521423	12	17	96	10	3							PL	SS400	6	3050	8500	1	1134	4521423	12	17	96	10	3							PL	SS400	6	3070	8500	1	1135	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	3070	8500	1	1136	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	3040	8500	1	1142	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	3040	8500	1	1143	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	3040	8500	1	1144	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	3040	8500	1	1145	4820204	17	15	54	9	3							PL	SS400	6	3070	8500	1	1137	4820205	17	14	51	11	3							PL	SS400	6	3070	8500	1	1138	4820205	17	14	51	11	3							PL	SS400	6	3070	8500	1	1139	4820205	17	14	51	11	3							PL	SS400	6	3070	8500	1	1140	4820205	17	14	51	11	3							PL	SS400	6	3040	9110	1	1141	4820203	17	14	51	13	3							PL	SS400	6	3040	8500	1	1146	4820203	17	14	51	13	3							PL	SS400	6	3040	8500	1	1147	4820203	17	14	51	13	3							PL	SS400	6	3040	8500	1	1148	4820203	17	14	51	13	3						
品名	材質	寸法				数量	製品番号	製鋼番号				C(×100%)		Si(×100%)		Mn(×100%)		P(×1000%)		S(×1000%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		厚	幅	長さ	23以下				—	2.5×G以下	35以下	50以下	90以下																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		SM400A材の成分規定値																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		SS400材の成分規定値																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
PL	SS400	6	2110	9120	1	923	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	2110	9120	1	924	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	2110	9120	1	926	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	2110	9390	1	927	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	2110	8120	1	928	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	2110	9110	1	926	4820504	17	13	54	16	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	2110	7610	1	928	4522825	16	15	52	10	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	2110	9910	1	950	4522825	16	15	52	10	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	2110	9610	1	931	4522825	16	15	52	10	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1890	3030	1	932	4522921	17	13	51	7	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1910	9960	1	978	4412011	11	19	100	10	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1410	7210	1	986	4521710	11	19	95	14	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1410	9960	1	987	4521710	11	19	95	14	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1380	3500	1	988	4521710	11	19	96	14	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1380	3500	1	989	4820504	17	13	54	16	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1380	3500	1	990	4820504	17	13	54	16	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1380	3500	1	991	4820504	17	13	54	16	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1380	3500	1	995	4820504	17	13	54	16	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1290	3500	1	996	4521920	11	19	97	10	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1000	3000	1	904	4412011	11	19	100	10	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	1000	3000	1	1103	4412011	11	19	100	10	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3100	8300	1	1123	4521423	12	17	96	10	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3050	8500	1	1134	4521423	12	17	96	10	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3070	8500	1	1135	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3070	8500	1	1136	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3040	8500	1	1142	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3040	8500	1	1143	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3040	8500	1	1144	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3040	8500	1	1145	4820204	17	15	54	9	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3070	8500	1	1137	4820205	17	14	51	11	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3070	8500	1	1138	4820205	17	14	51	11	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3070	8500	1	1139	4820205	17	14	51	11	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3070	8500	1	1140	4820205	17	14	51	11	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3040	9110	1	1141	4820203	17	14	51	13	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3040	8500	1	1146	4820203	17	14	51	13	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3040	8500	1	1147	4820203	17	14	51	13	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PL	SS400	6	3040	8500	1	1148	4820203	17	14	51	13	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

2.5.6 その他の要求性能

6-1	主桁、格点垂直補剛材、横桁で構成されるラーメン構造の剛度の照査		
要求性能	橋の断面形の保持、剛性の確保、横荷重の支承への伝達が図れる構造であること。	関連規定	道示 II 7.1,10.6
検証目的	鋼コンクリート合成床版やP C床版を採用する上部工は、主桁の削減や横構の省略など主構造が簡素化されている場合が多い。そのような場合には、必要に応じて橋の立体的機能が確保できることを確認する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	道路橋示方書等を準用することにより立体的機能を照査する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <p>主桁、格点垂直補剛材、横桁で構成されるラーメン構造の剛度を照査することによって立体的機能を検証する。</p> <p>(2) 検証事例</p> <p>圧縮フランジの固定点としての剛度を確保するため、「鋼道路橋設計便覧、第5章」により、ポニートラスにおけるU型フレームとして必要な断面を確保する。</p> <div style="text-align: center;"> <p>(a) 正曲げ部 (b) 負曲げ部</p> </div> <p style="text-align: center;">図1-1 着目構造の断面形状</p> $C = \frac{6EJ_2}{h^2(3EI_1 + 2hJ_2)}$ <p>ここに、 C : 所要剛度 E : ヤング係数 I₁ : 腹板の有効幅 + 垂直補剛材の柱としての断面二次モーメント 腹板の有効幅は「道示 II 10.5.2」によるものとする I₂ : 中間横桁の断面二次モーメント</p>		

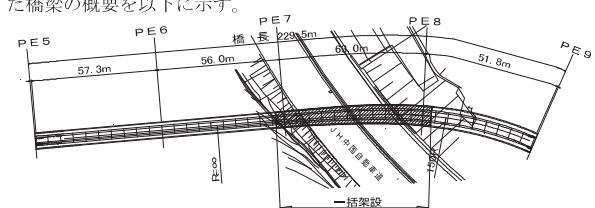
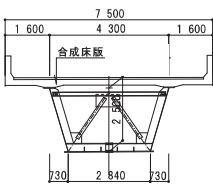
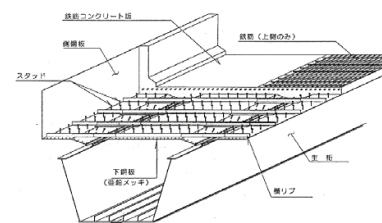
<p>検証内容</p>	<p>(3) 評価</p> <p>所要剛度を算出した結果、それが必要剛度以上である場合には主構造の安全性は確保されているものと評価できる。</p> <p>C' : 必要剛度 (λ : 格間長, n : 格間数, N : フランジ最大応力度, v : 座屈安全率(2.0)等により Holt の式から求める)</p>
-------------	---

6-2	ねじれ抵抗機能の確保		
要求性能	橋の断面形状の保持、剛性の確保、横荷重の支承への伝達が図れる構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 7.1、10.6
検証目的	鋼コンクリート合成床版やPC床版を採用する上部工は、主桁の削減や横構の省略など主構造が簡素化されている場合が多い。そのような場合には、必要に応じて橋の立体的機能が確保できることを確認する必要がある。		
検証方法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	道路橋示方書を準用することにより立体的機能を照査する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <p>主桁本数を少数化し横構を省略する場合においては、ねじりモーメントに対して床版を含む構造全体で抵抗し、横荷重に対しては床版が抵抗するものとして応力照査を行う。</p> <p>(2) 検証方法</p> <p>橋軸直角方向水平力における2主桁のねじれ剛性は、1断面からなる2主桁橋の支間中央に、ねじりモーメントTが作用する場合を考える。各主桁にはねじり剛性がほとんど無いため、単独では大きいねじり変形を生じるが、2本の主桁が十分なせん断剛性を持つ横構で連結されているならば、2本の主桁は一体となった断面としてねじりに抵抗することになる。つまり、作用するねじりモーメントは鉛直力からなる1対の偶力に変換され、主桁の曲げ剛性によって抵抗されることになる。下図に示す事例では、$P = \pm T/a$となる。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>図 2-1 発生するねじりモーメント T</p> <p>(3) 評価</p> <p>Pによって発生する主桁の応力度を考慮のうえ設計を照査した結果、許容応力度以下である場合には安全性が確保されているものと評価できる。</p>		

6-3	横倒れ座屈に対する安全率の照査		
要求性能	橋の断面形状の保持、剛性の確保、横荷重の支承への伝達が図れる構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 7.1、10.6
検証目的	鋼コンクリート合成床版やPC床版を採用する上部工は、主桁の削減や横構の省略など主構造が簡素化されている場合が多い。そのような場合には、必要に応じて橋の立体的機能が確保できることを確認する必要がある。		
検証方法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	道路橋示方書を準用することにより立体的機能を照査する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要 道路橋示方書等を準用し、横倒れ座屈に対する安全性を照査する。</p> <p>(2) 検証方法 全体横倒れ座屈に対する安全性は、L/B 値（支間と腹板間隔の比）により判断する。以下に示す例では L/B=8.25 となる。</p> <div style="text-align: center;"> <p>平面図</p> <p>支間長: $L = 49,500 \times 1.00$ (単純梁への換算率) = 49,500 m $L / B_w = 49,500 / 6.0 = 8.25 < 18$</p> <p>※ 照査を省略できる範囲である。</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>断面図</p> </div> <p>図 3-1 横倒れ座屈に対する照査</p> <p>(3) 評価 道路橋鋼2主桁を対象とした研究では、L/B の目安として 15 程度が提案されており、照査の結果それ以下である場合には、安全性が確保されているものと評価できる。</p>		

6-4	架設中の各段階に対して、構造物全体が立体的な構造系として安定であることの確認		
要求性能	橋の断面形の保持、剛性の確保、横荷重の支承への伝達が図れる構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 7.1,10.6
検証目的	鋼コンクリート合成床版では、架設時に形状保持機能としての効果を期待する場合がある。そのような場合には鋼板パネルの安全性が確保されていることを検証する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	架設中の各段階に対して、構造物全体が立体的な構造系として安定であることを確認する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要 道路橋示方書等を準用し横ねじれ座屈に対する検証をする。</p> <p>(2) 検証方法 全体座屈の防止にあたってはA-1に示す主桁間隔に対する主桁支間長の比を算出することにより評価する。 なお、構造の合理化により横桁間での主桁の横ねじれ座屈が全体座屈よりも先行して生ずる場合がある。この場合、λ_0、λ_mを算出し次に示す関係より横ねじれ座屈が生じにくい対策を講ずることが望まれる。</p> <div style="text-align: center;"> <p>図 4-1 横ねじれ座屈モード</p> </div>		

検証内容	<p>なお、λ_0、λ_mは次に示すとおりである。</p> $\overline{\lambda}_0 = 1.52 / \sqrt{\kappa \cdot \sqrt{(\sigma_y / E) \cdot L / B \cdot \sqrt{\{(6 + \rho) / (2 + \rho)\}}}}$ $\overline{\lambda}_m = \sqrt{(M_y / M_{ocr})}$ <p>ここで、</p> <ul style="list-style-type: none"> $\overline{\lambda}_0$: 主桁の全体横ねじれ座屈の細長比パラメータ $\overline{\lambda}_m$: 横桁間の主桁の横ねじれ座屈に関する細長比パラメータ $\kappa = \gamma_2 / 8$、$\rho = A_w / A_f$ σ_y : 降伏応力度 E : 弾性係数 L : 支間長 B : 主桁間隔 γ_2 : 等分布荷重を受ける場合の梁の横ねじれ座屈係数 A_w : 主桁腹板断面積 A_f : 主桁フランジ断面積 M_y : スパン中央での降伏モーメント M_{ocr} : 弾性座屈モーメント <p>(3) 評価</p> <p>上記検証方法に従って横ねじれ座屈の発生がないものと想定される場合には架設系における安全性が確保されているものと評価できる。</p>
------	---

6-5	作用する荷重に対して、床版各部位に発生する応力度が材料に許容される応力度以下であることを確認		
要求性能	橋の断面形の保持、剛性の確保、横荷重の支承への伝達が図れる構造であること。	関連規定	道示Ⅱ 7.1.10.6
検証目的	鋼コンクリート合成床版では、架設時に形状保持機能としての効果を期待する場合がある。そのような場合には鋼板パネルの安全性が確保されていることを検証する必要がある。		
検証手法	実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用		
検証方針	作用する荷重に対して、床版各部位に発生する応力度が材料に許容される応力度以下であることを確認する。		
検証内容	<p>(1) 検証概要</p> <p>架設系において全体座屈によって発生する鋼板パネルの応力が、座屈強度以下であることを確認する。</p> <p>(2) 検証事例</p> <p>架設時に形状保持機能としての効果を期待し、合成床版と主桁を結合した橋梁の概要を以下に示す。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>図5-1 平面図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図5-2 一般部断面図</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図5-3 合成床版概要</p> </div> </div>		

検証内容

1) 合成床版と主桁の結合構造

合成床版と主桁との結合は、逆U字型の台座を主桁上フランジに配置する。これにより、橋軸方向にはラーメンフレームとしての柔なバネ、直角方向には剛なバネとして挙動し、ねじりモーメントには底鋼板と開断面箱桁が一体となって抵抗し、主桁作用としての曲げモーメントには底鋼板の抵抗を低減することになる。

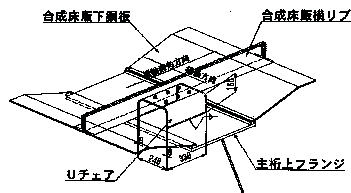


図5-4 結合構造

2) 全体モデルによるFEM解析

全体FEMモデルにて、底鋼板の全体座屈耐力への寄与度を把握し、底鋼板が許容座屈応力以下であることを確認する。

(i) 全体座屈耐力

一括架設部の主桁および合成床版をシェル要素としてモデル化し、底鋼板と主桁を結合した場合（ケース1）と結合しない場合（ケース2）についての解析を行い、底鋼板の全体座屈耐力への寄与度を把握する。

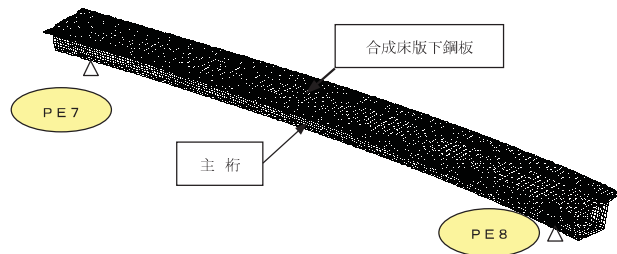


図5-5 全体FEMモデル概要

検証内容

表5-1 FEM解析結果

支間中央の結果			
	ケース1	ケース2	
構造			
荷重	鋼桁+下鋼板+付属	鋼桁+下鋼板+付属	
応力 度	下鋼板	-60.1	0
	上フランジ	-91.3	-174.7
	ウェブ上縁	-82.0	-161.2
	ウェブ下縁	93.4	90.1
変位	下フランジ	100.3	105.1
	鉛直(mm)	157.0	196.2
	回転(10 ⁻³ rad)	6.0	66.6
座屈固有値	1.0以上	0.41	

※デッキ、上フランジ、ウェブ、下フランジ応力はそれぞれ左右の平均値を示す。
※応力度の単位はN/mm²であり、(+)を引張として表す。

(3) 検証結果

本事例では、全体座屈解析の結果より底鋼板に発生する応力が許容座屈応力以下であることを確認した。

底鋼板に発生する座屈応力

$$\sigma_{ps} = 60.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{pa} = 73.5 \text{ N/mm}^2$$

OK

(4) 評価

FEM解析等により架設系における鋼板パネルの応力度を算出し、許容座屈応力以下であることを確認した場合には安全性が確保されているものと評価できる。