

第5章 鋼床版の応力測定

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

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

5.1 応力測定橋梁の選定

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

- M2橋**：本研究で着目するデッキプレート貫通型き裂が発生した橋梁である。
- O12橋**：事前調査ではデッキプレートとトラフリブの溶接線にデッキプレート貫通型き裂が発見されていないが、溶接ルート部から溶接ビードを切る方向に進展する溶接ビード貫通型のき裂が発生している橋梁であり、M2橋の比較対象となる。
- C7橋**：事前調査ではデッキプレートとトラフリブの溶接線ではなく、デッキプレートと垂直補剛材の溶接部にデッキプレート貫通型き裂が発見されている橋梁である。O12橋と同様、M2橋の比較対象となる。
- H7橋**：事前調査ではき裂損傷が発見されていないが、トラフリブ厚が6mm（M2, O12, C7橋は8mm）の最も標準的な断面構成を有する一般的な橋梁である。また、M2, O12, C7橋と同様に舗装の劣化が著しい橋梁であった。
- H2橋**：事前調査ではき裂損傷が発見されておらず、また、大型車交通量も比較的少ないが舗装の損傷が激しい。舗装の損傷の有無と鋼床版の発生応力の関係を検討するために選定した。

表 5.1-1 応力測定橋梁の特徴

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

1)大型車交通量:交通センサス(平成11年度)より得られた自動車類交通量、大型車混入率から次のように算出した。

大型車交通量(台/車線/12h) = 自動車類交通量(台/12h) × 大型車混入率 / 車線数

2)H2橋は、荷重車載荷試験のみを行った。

表 5.1-2 応力測定橋梁の構造詳細

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

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

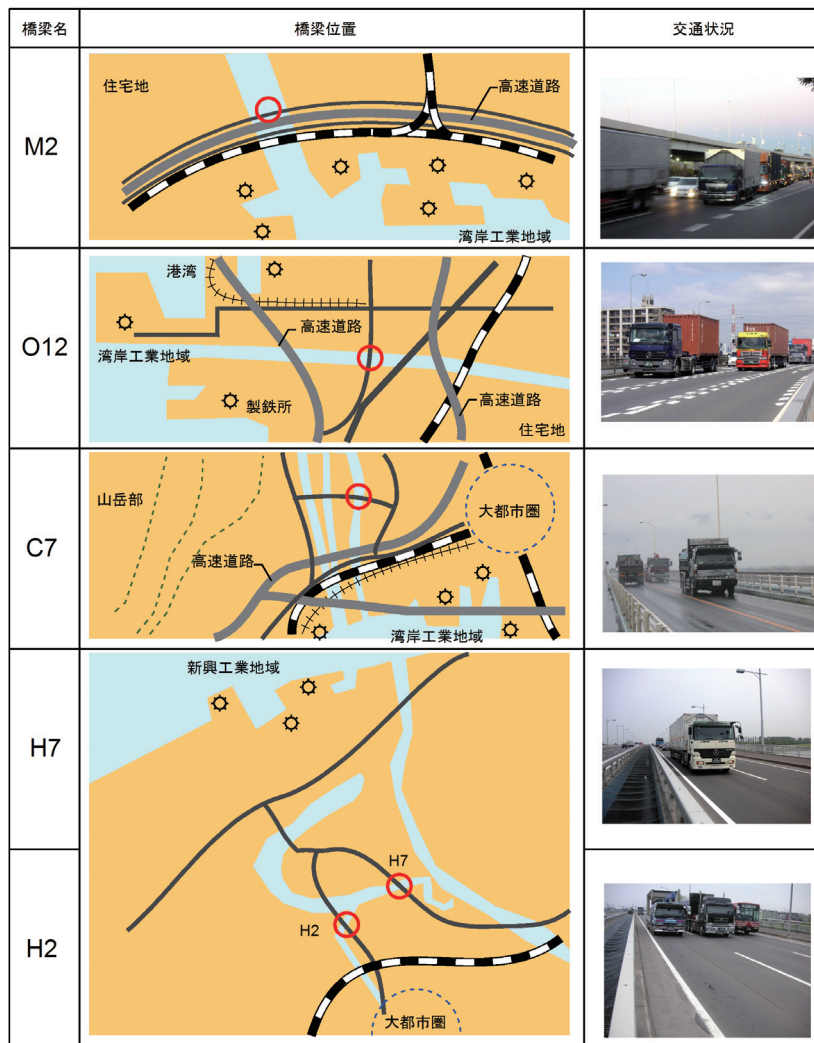


図 5.1-1 橋梁位置と交通状況

5.2 応力測定条件

選定した各橋梁の応力測定試験での測定条件について以下に示す。

5.2.1 荷重車載荷試験

①荷重車諸元

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

表 5.2-1 各荷重車の軸重計量結果 (kN)

車両形式	ダンプトラック(3軸)				車両形式	大型トラック (4軸)
	使用橋梁	M2橋	O12橋	H7橋		
前輪		50.2	50.0	49.8	48.3	
後前輪		71.4	76.7	69.5	71.0	
後後輪		71.4	76.7	68.1	70.0	
計		193.1	203.4	187.4	189.3	

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

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

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

②計測パラメータ

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

5.2.2 応力頻度測定

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

表 5.2-2 各橋梁の応力頻度計測時期

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

5.3 各橋梁の測定結果

5.3.1 M2 橋

(1) 計測位置

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

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

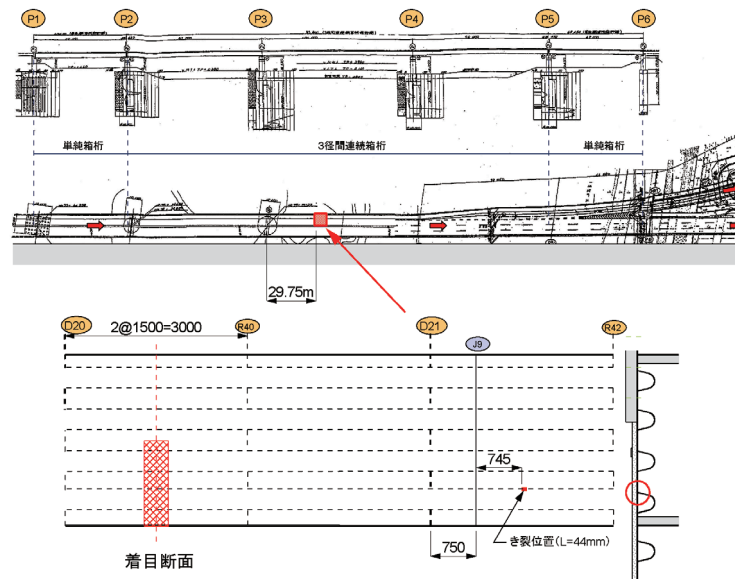


図 5.3-1 応力計測の着目断面

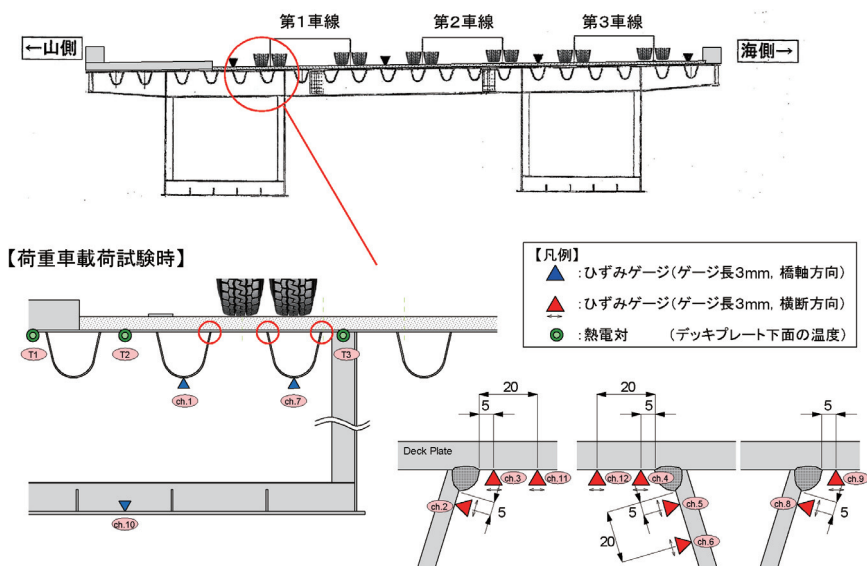


図 5.3-2 計測センサー類設置位置

(2) 荷重車計測（実施日：平成 17 年 8 月 5 日（金） 天候：晴れ）

① 荷重車

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



写真 5.3-1 荷重車

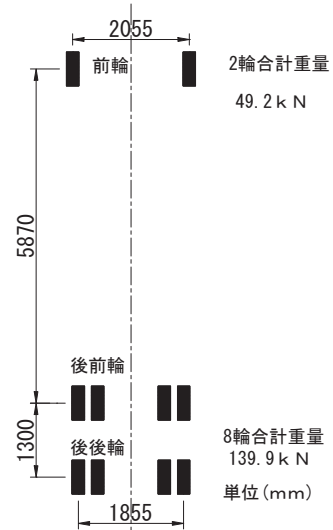


図 5.3-3 車両諸元

② 載荷ケース

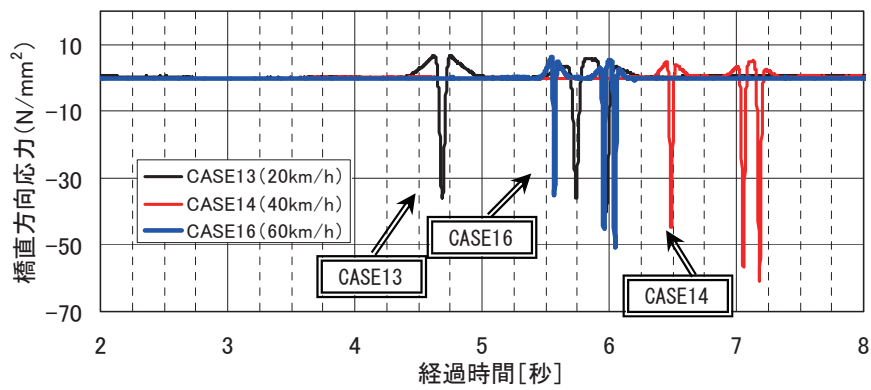
載荷位置および走行速度をパラメータとして、十数ケースの計測を行った。載荷ケースを、表 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 載荷ケース

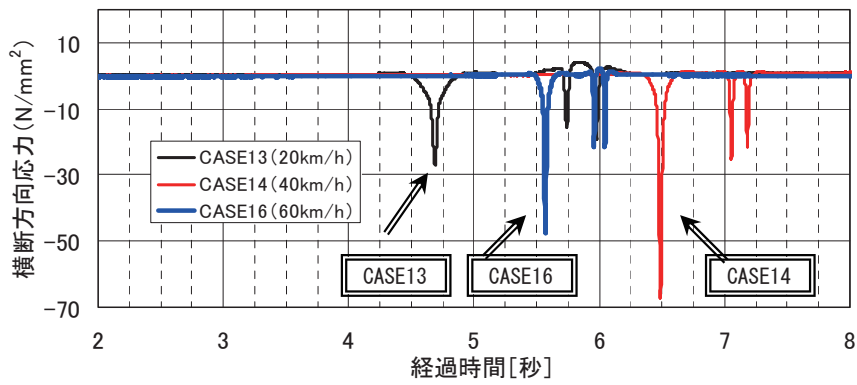
Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
-1	11:21	Test Truck	Left	20
-2	11:45		Normal	20
-3	12:11		Normal	20
-4	13:58		Normal	20
-5	14:02	3 axle Truck		
-6	14:04	3 axle Truck		
-7	14:08	2 axle Truck		
-8	14:10	3 axle Truck		
-9	14:23	Test Truck	Right	20
-10	14:25	4 axle Truck		
-11	14:31	3 axle Truck		
-12	14:35	3 axle Truck		
-13	14:47	Test Truck	Normal	20
-14	15:13		Normal	40
-15	15:36		Normal	40
-16	16:00		Normal	60
-17	16:20		Normal	60

③ 計測結果

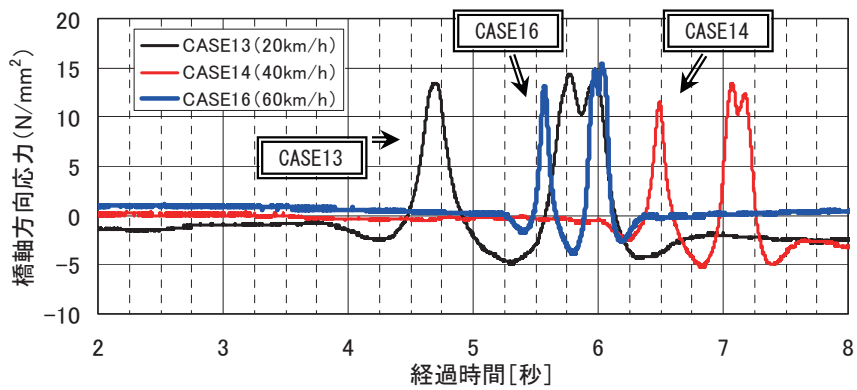
デッキプレート貫通型き裂に対して厳しい応力状態となるように、着目溶接線を荷重車後輪のダブルタイヤが跨ぐように走行した代表的なケースについて、着目溶接線のトラフリブとデッキプレート近傍とトラフリブ下面の応力波形を図 5.3-4 に示す。また、荷重車計測時のデッキプレート下面の温度変化を図 5.3-5 に、全ケースの車両通過時の最大・最小応力値の一覧を表 5-3-2 に示す。



(a) デッキプレート-トラフリップ溶接部-デッキ側溶接止端部 (ch4)



(b) デッキプレート-トラフリップ溶接部-トラフリップ側溶接止端部 (ch5)



(c) トラフリップ下面 (ch7)

図 5.3-4 代表的なケースの応力波形

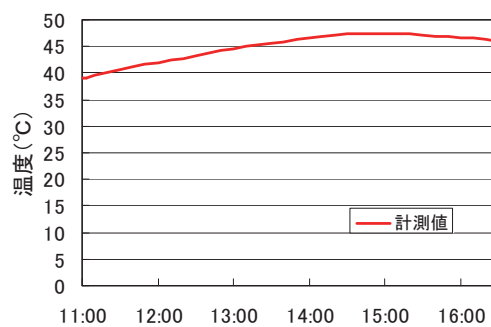


図 5.3-5 温度計測結果

表 5.3-2 各ケースの最大・最小応力値

単位: N/mm²

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

各部位で計測されたデータの特徴を以下に示す。

- デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力 (ch. 4, ch. 5)

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

- トラフリブ下面の橋軸方向の応力 (ch. 1, ch. 7)

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

- デッキプレート下面の温度

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

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

①計測位置

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

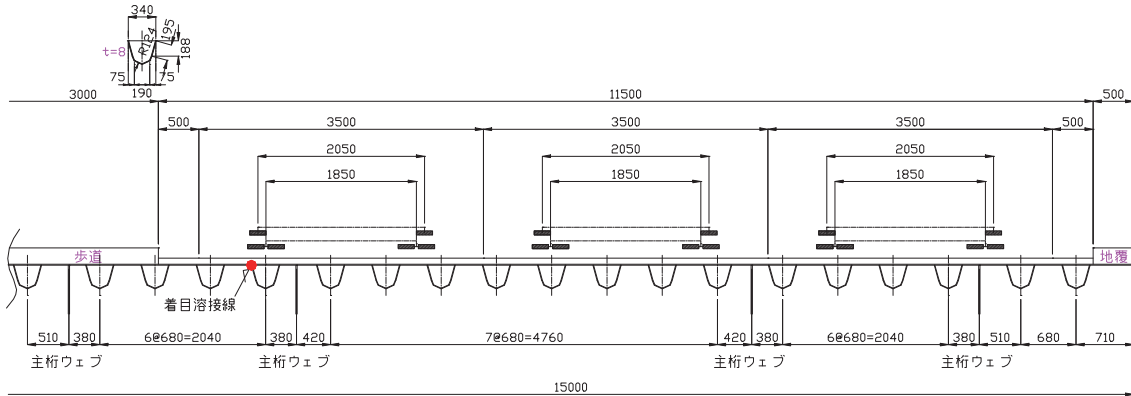


図 5.3-6 幅員構成から推定される大型車走行位置

②計測結果

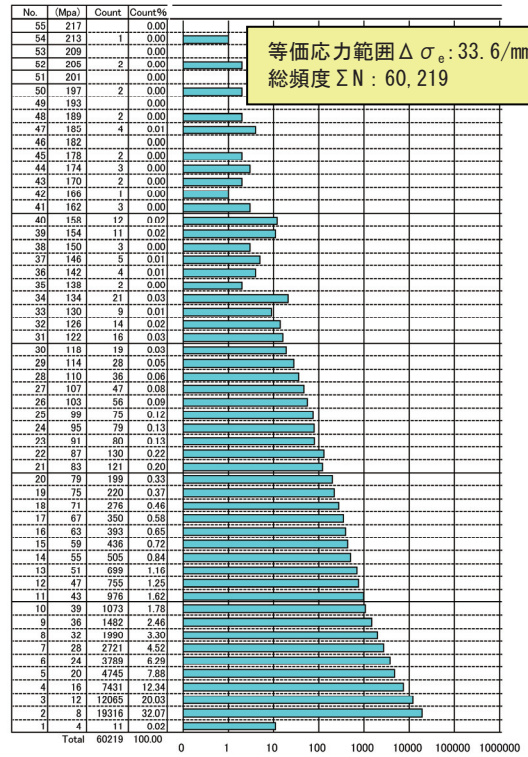
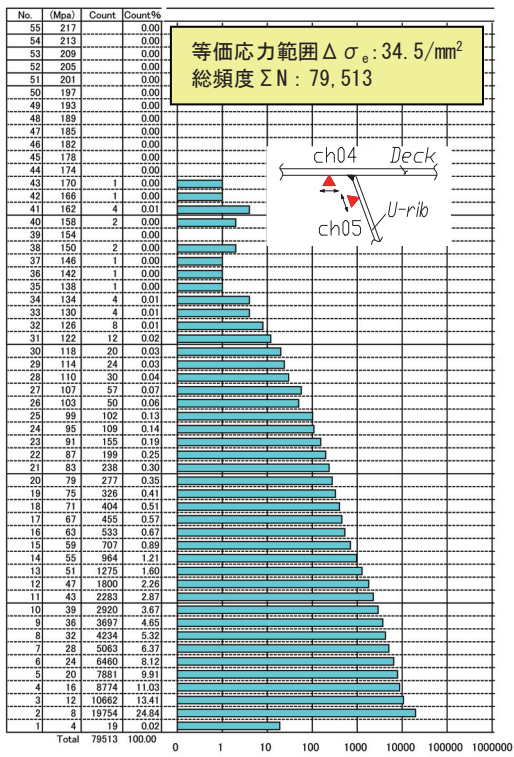
各部位の計測結果の特徴を以下に示す。

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力

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

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

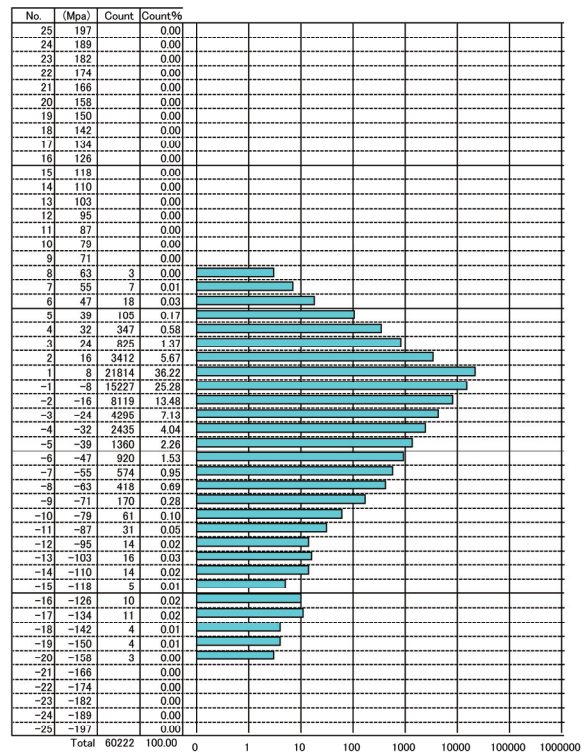
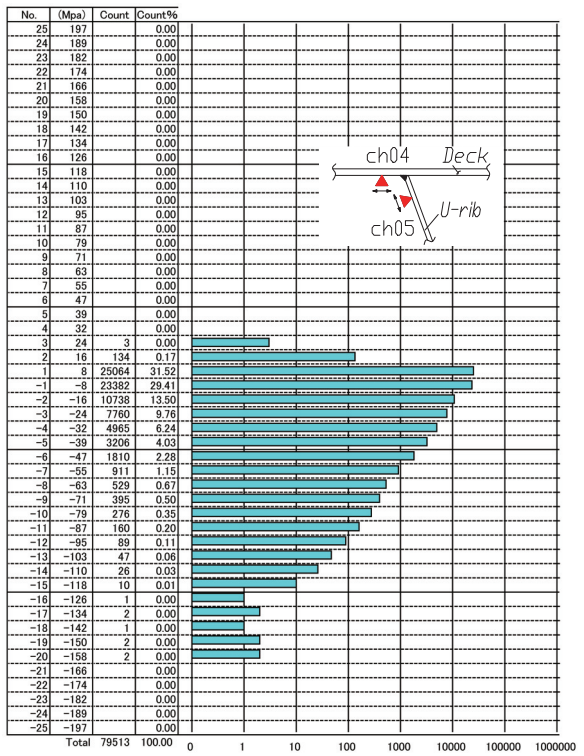
図 5.3-8 (a) をみると、デッキプレート側溶接止端部では圧縮側のピーク値は大きく、引張側のピーク値は小さい。圧縮側と引張側のピーク数の割合は圧縮側が引張側の 2 倍程度あるが、圧縮側で 0 N/mm^2 近傍のピーク値も数多く確認されていることから、輪荷重が通過した際の圧縮応力は軸重により異なるが、引張応力はほぼ一定であり、軸重が通過する毎に大きな圧縮応力と小さな引張応力の交番が起きていたとも考えられる。図 5.3-8 (b) よりとトラフリブ側溶接止端部でもデッキ側溶接止端部と同様の傾向であるが、引張側のピーク値はデッキ側溶接止端部よりも大きめの値を示している。



(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch4)

(b) トラフラリブ側溶接止端部 (ch5)

図 5.3-7 レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



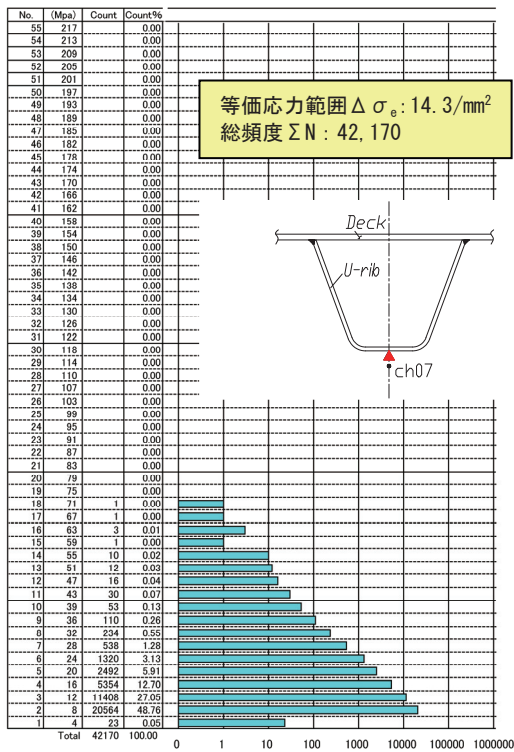
(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch4)

(b) トラフラリブ側溶接止端部 (ch5)

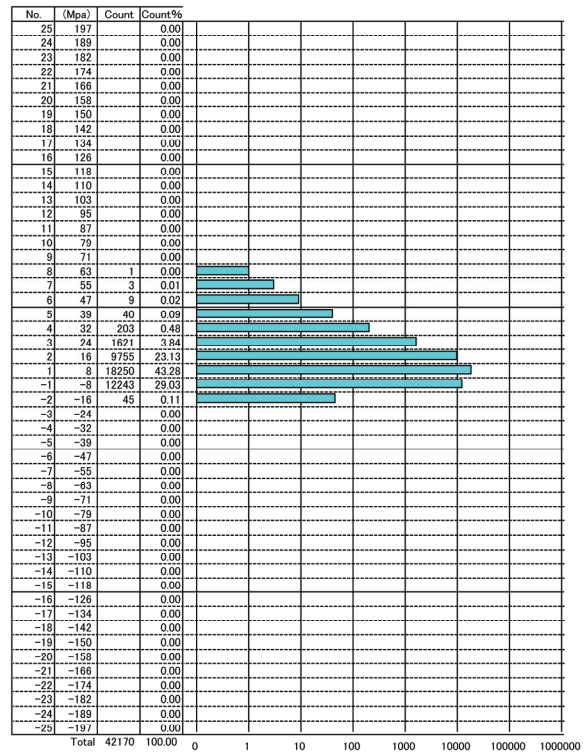
図 5.3-8 ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリブ下面の橋軸方向応力

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



(a) レインフロー法で整理



(b) ピークバレー法で整理

図 5.3-9 トラフリブ下面の応力頻度計測結果 (ch7)

5.3.2 012 橋

(1) 計測位置

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

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

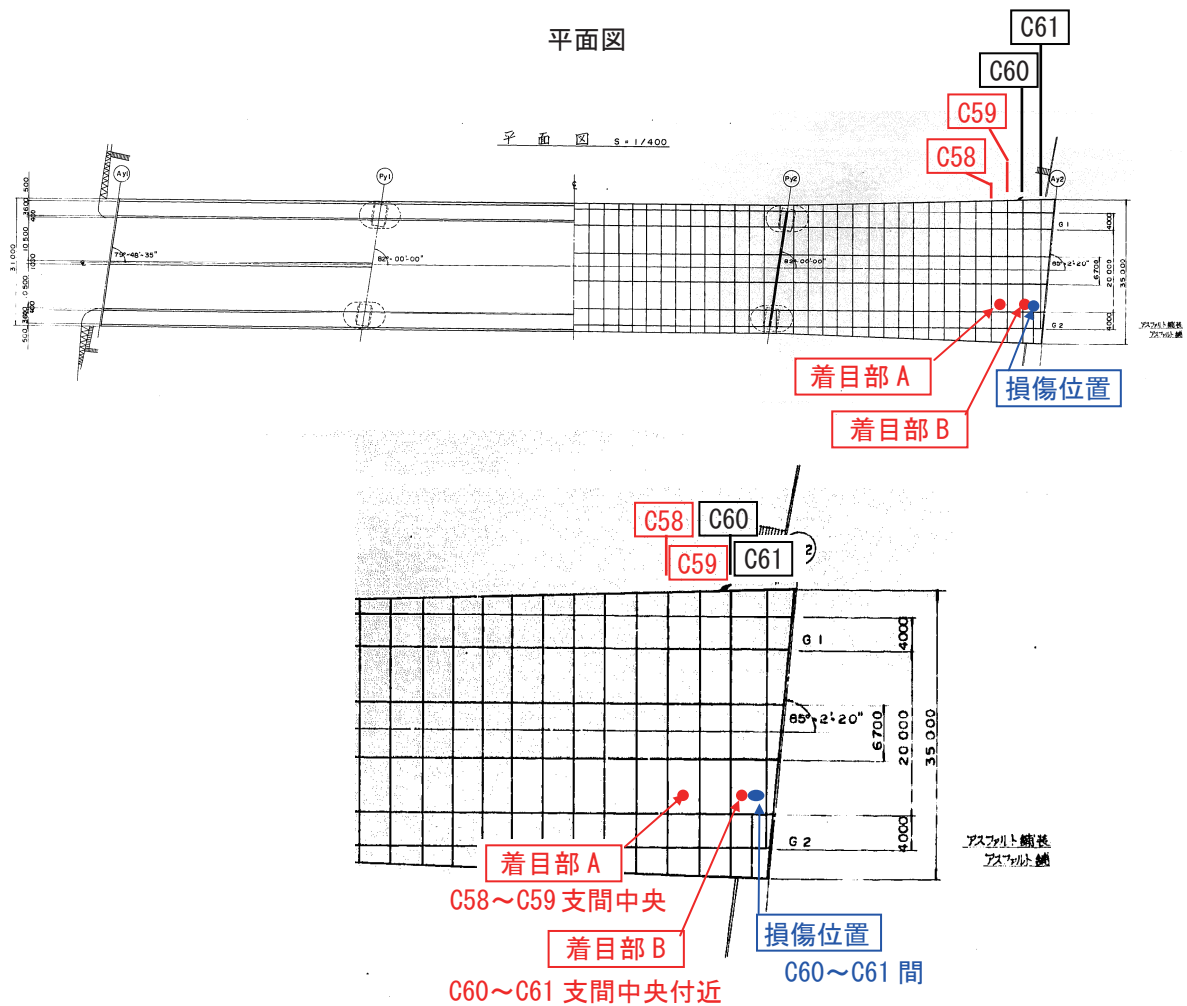
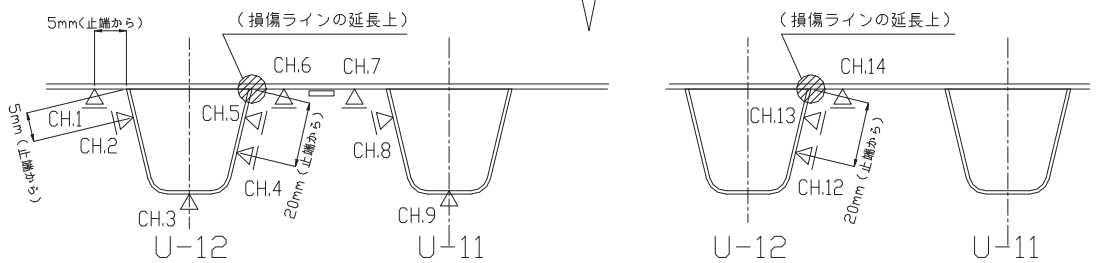
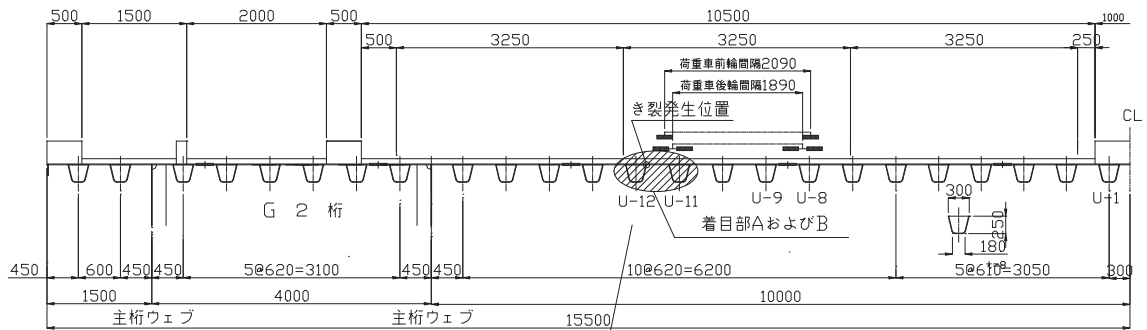


図 5.3-10 応力計測の着目断面



着目部A詳細（横リブC58～C59の支間中央）

着目部B詳細（横リブC60～C61の支間中央付近）

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

図 5.3-11 計測センサー類設置位置

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

① 荷重車

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



写真 5.3-2 荷重車

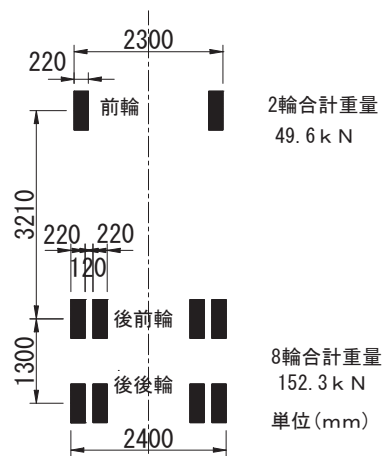


図 5.3-12 車両諸元

② 載荷ケース

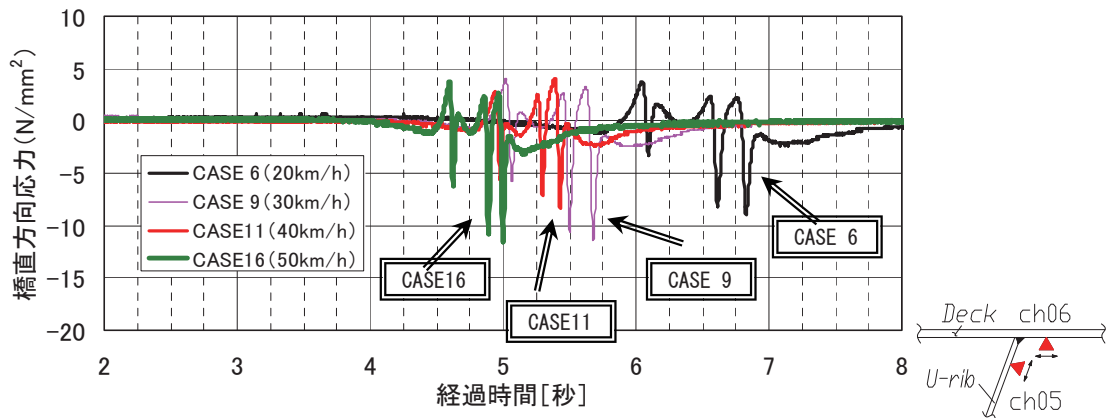
載荷位置および走行速度をパラメータとして，十数ケースの計測を行った。載荷ケースを，表 5.3-3 に示す。

表 5.3-3 載荷ケース

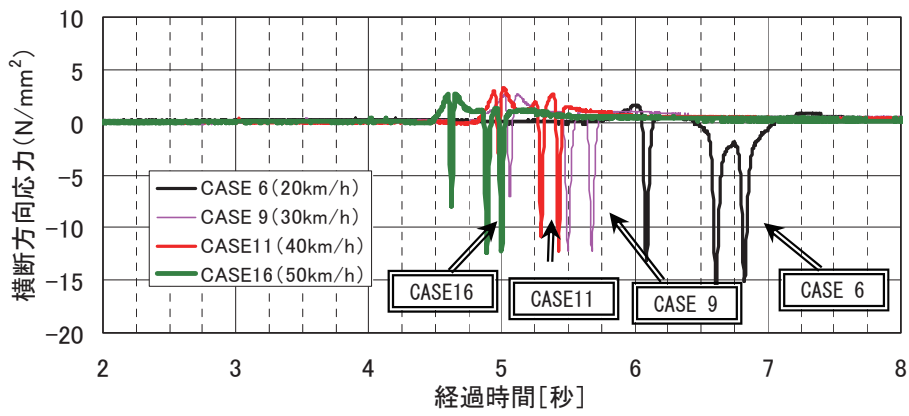
Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
-1	11:12	Test Truck	Test	
-2	11:25	Test Truck	Normal	50
-3	11:35		Left	50
-4	11:45		Left	50
-5	11:58		Left	20
-6	12:09		Left	20
-7	12:19		Left	20
-8	13:40		Left	30
-9	13:51		Left	30
-10	14:01		Left	30
-11	14:13		Left	40
-12	14:22		Left	40
-13	miss			
-14	14:27	6-axis Truck		
-15	14:44	Test Truck	Left	50
-16	14:53		Left	50
-17	15:02	Test Truck	cross lane	30
-18	15:15	Test Truck	cross lane	30

③ 計測結果

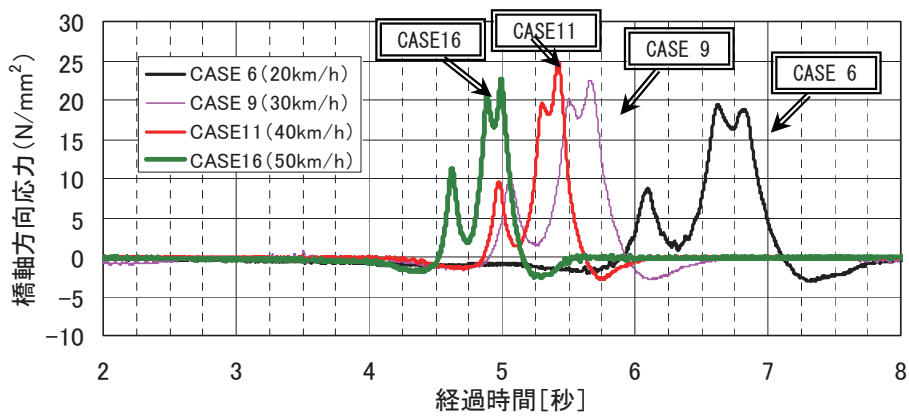
デッキプレート貫通型クラックに対して厳しい応力状態となるように，着目溶接線を荷重車後輪のダブルタイヤが跨ぐように走行した代表的なケースについて，着目溶接線のトラフリブとデッキプレート近傍とトラフリブ下面について，着目部Aの応力波形を図 5.3-13 に，着目部Bの応力波形を図 5.3-14 に示す。また，荷重車計測時のデッキプレート下面の温度変化を図 5.3-15 に，全ケースの車両通過時の最大・最小応力値の一覧を表 5.3-4 に示す。



(a) デッキプレートトラフリブ溶接部—デッキ側溶接止端部 (ch6)

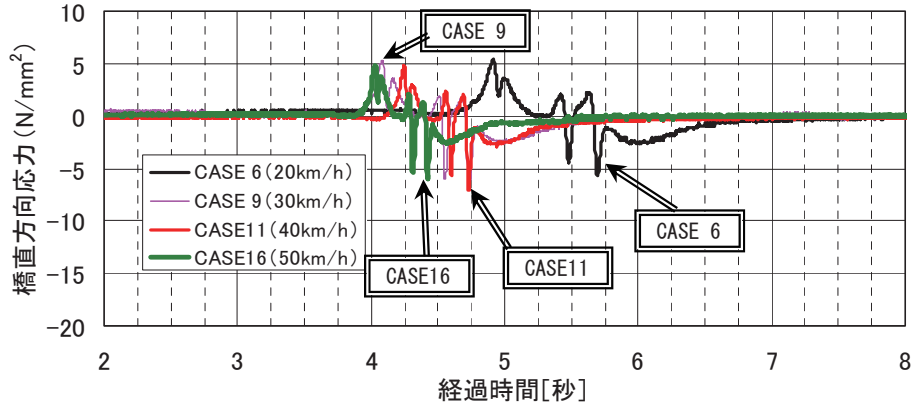


(b) デッキプレートトラフリブ溶接部—トラフリブ側溶接止端部 (ch5)

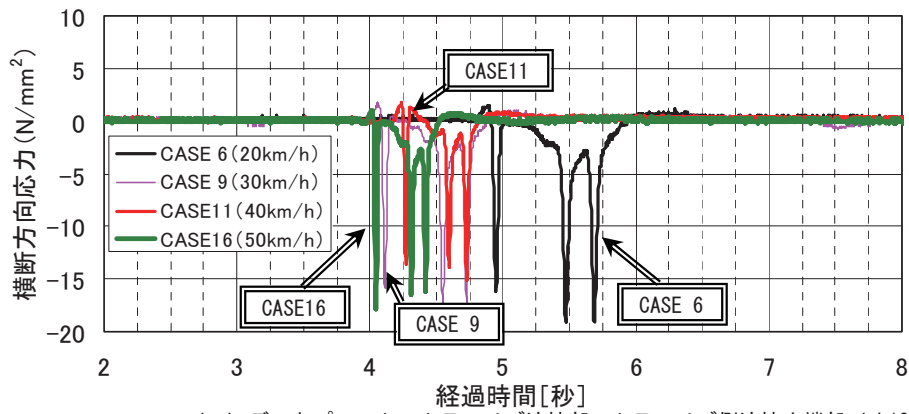
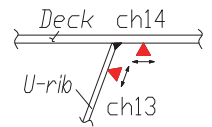


(c) トラフリブ下面 (ch3)

図 5.3-13 代表的なケースの応力波形 (A 断面)



(a) デッキプレート-トラフリップ溶接部-デッキ側溶接止端部 (ch14)



(b) デッキプレート-トラフリップ溶接部-トラフリップ側溶接止端部 (ch13)

図 5.3-14 代表的なケースの応力波形 (B断面)

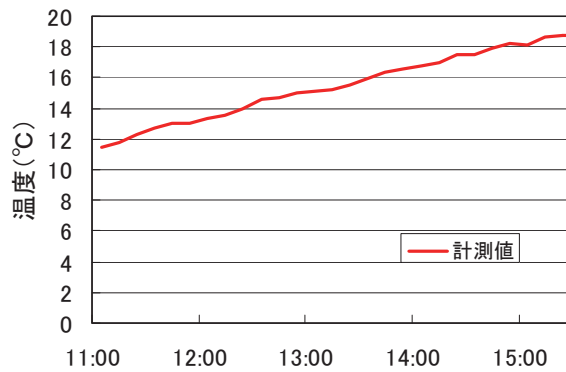


図 5.3-15 温度計測結果

表 5.3-4 各ケースの最大・最小応力値

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

各部位で計測されたデータの特徴を以下に示す。

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

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

- トラフリブ下面の橋軸方向の応力 (ch. 1, ch. 7)

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

- デッキプレート下面の温度

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

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

①計測位置

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

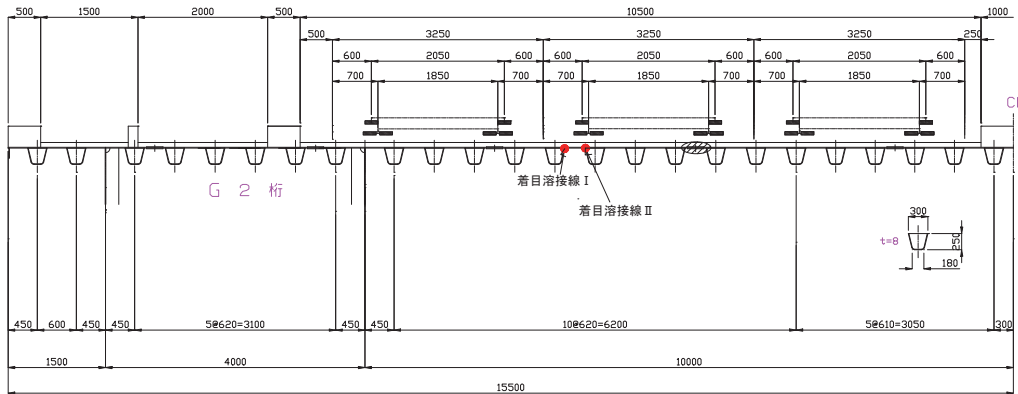


図 5.3-16 幅員構成から推定される大型車走行位置

②計測結果

各部位の計測結果の特徴を以下に示す。

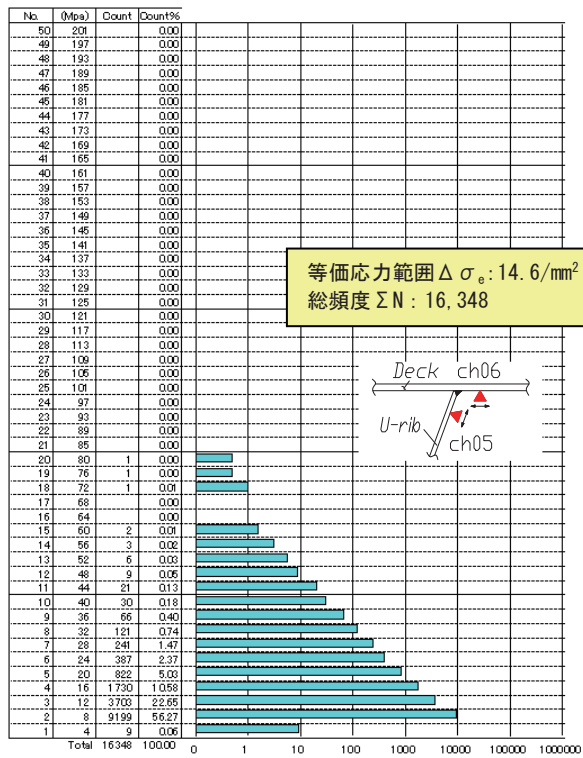
1)着目溶接線 I

・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力

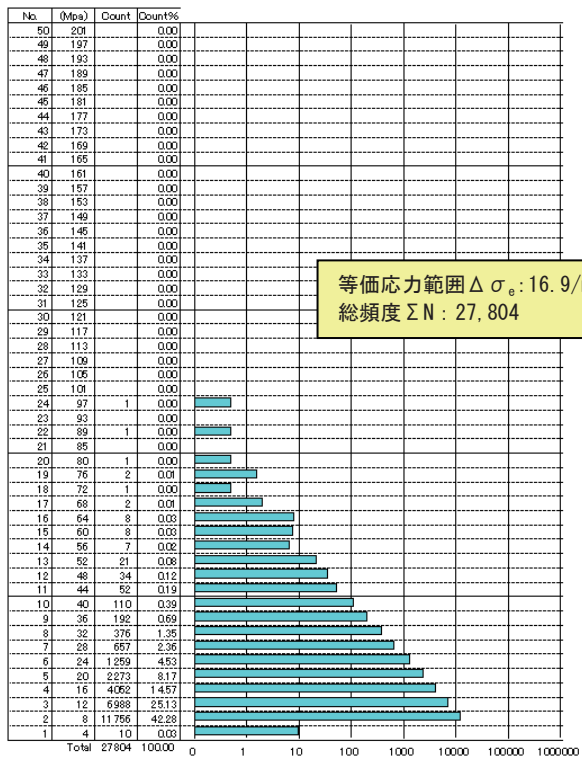
ゲージチャンネル番号 6 と 5 について、レインフロー法で整理した結果を図 5.3-17 (a) ~ (d) に、ピークバレー法で整理した結果を図 5.3-18 (a) ~ (d) に示す。

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

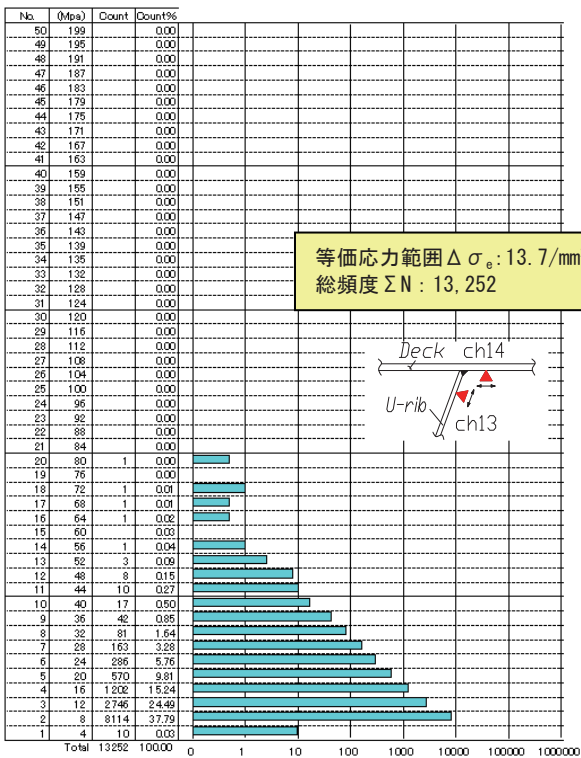
図 5.3-18 (a) をみると、A 断面のデッキ側溶接止端部では圧縮側のピーク値は大きく、引張側のピーク値は小さい。圧縮側と引張側のピーク数の割合はほぼ同程度である。この傾向は図 5.3-18 (c) の、B 断面のデッキ側溶接止端部でも同様である。図 5.3-18 (b), (d) をみると、トラフリブ側溶接止端部ではデッキプレート側溶接止端部比較してピーク応力値・ピーク応力数ともに若干ではあるが圧縮側にシフトしていること、A 断面と B 断面は同じような傾向を示していることがわかる。



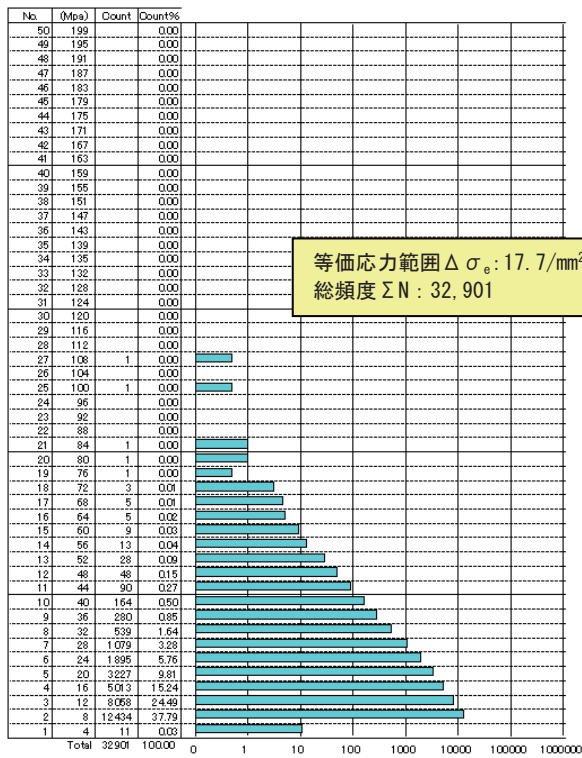
(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch6)



(b) トラフリブ側溶接止端部 (ch5)

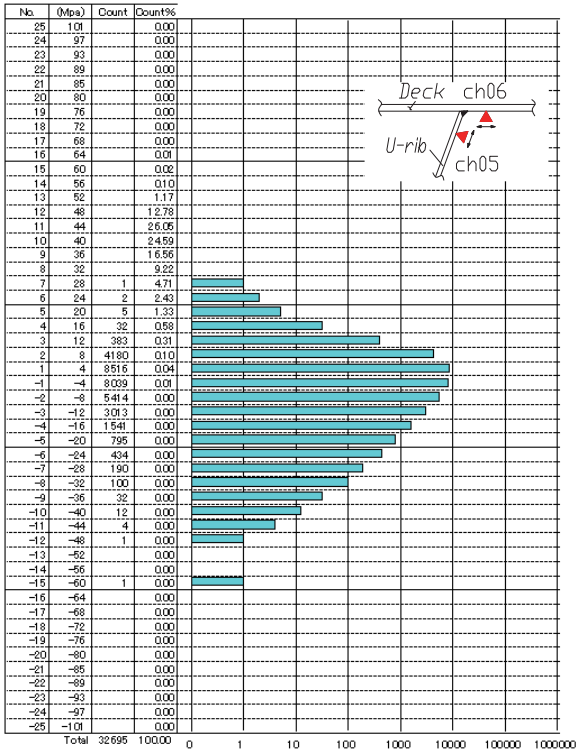


(c) デッキプレート側溶接止端部 (ch14)

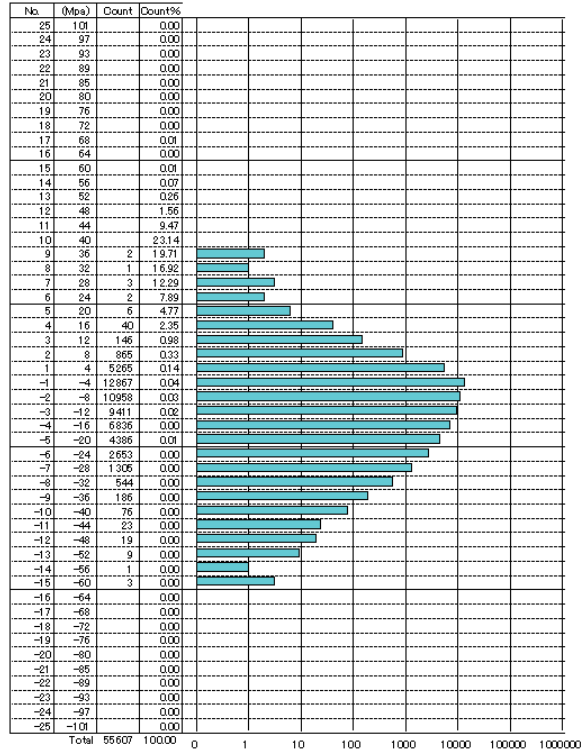


(d) トラフリブ側溶接止端部 (ch13)

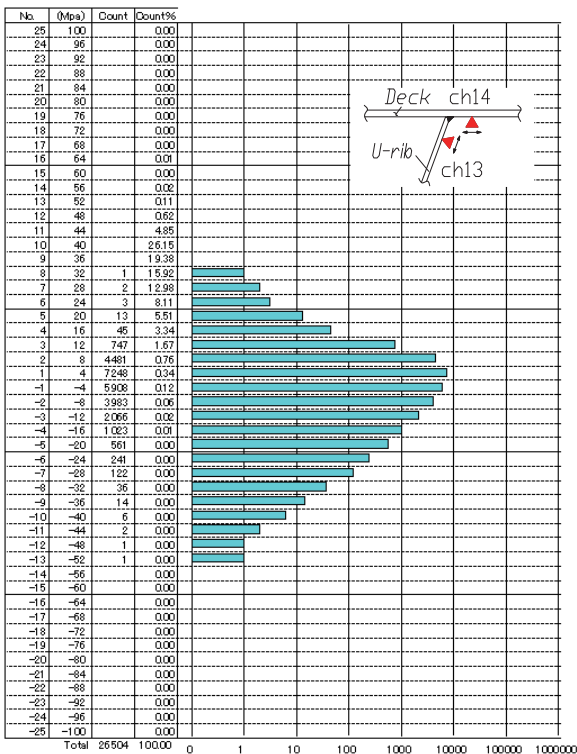
図 5.3-17 レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



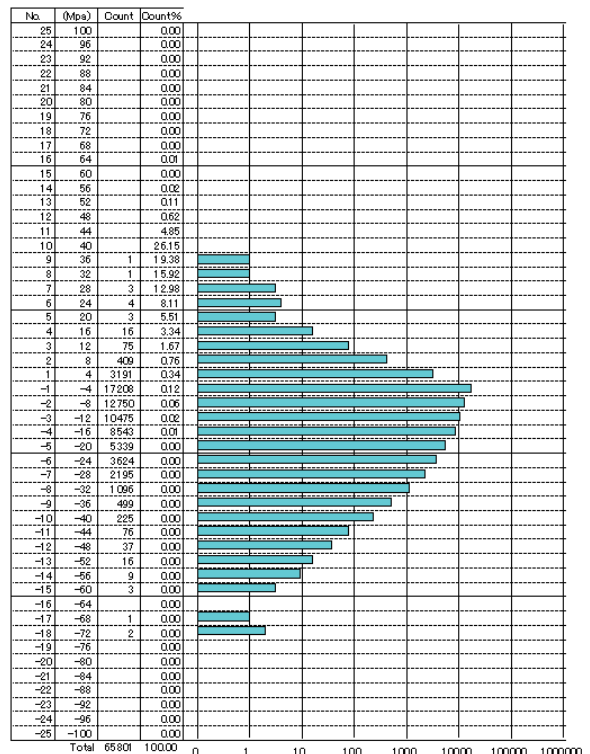
(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch6)



(b) トラフリブ側溶接止端部 (ch5)



(c) デッキプレート側溶接止端部 (ch14)

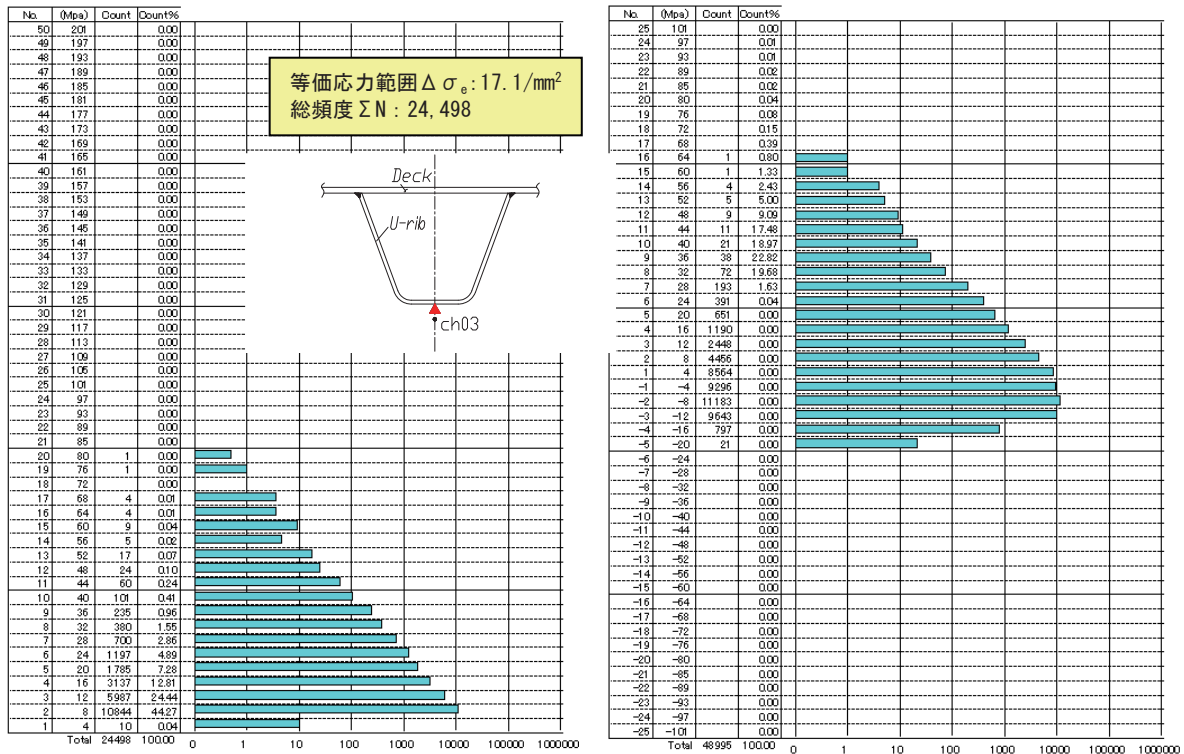


(d) トラフリブ側溶接止端部 (ch13)

図 5.3-18 ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリップ下面の橋軸方向応力

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



(a) レインフロー法で整理

(b) ピークバレー法で整理

図 5.3-19 トラフリップ下面の応力頻度計測結果 (ch3)

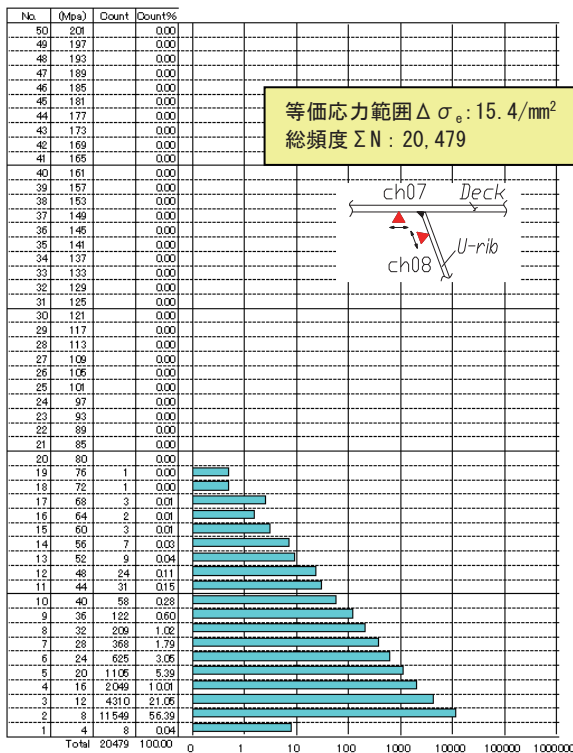
2)着目溶接線Ⅱ

・デッキプレートとトラフリップ溶接部の橋直方向応力

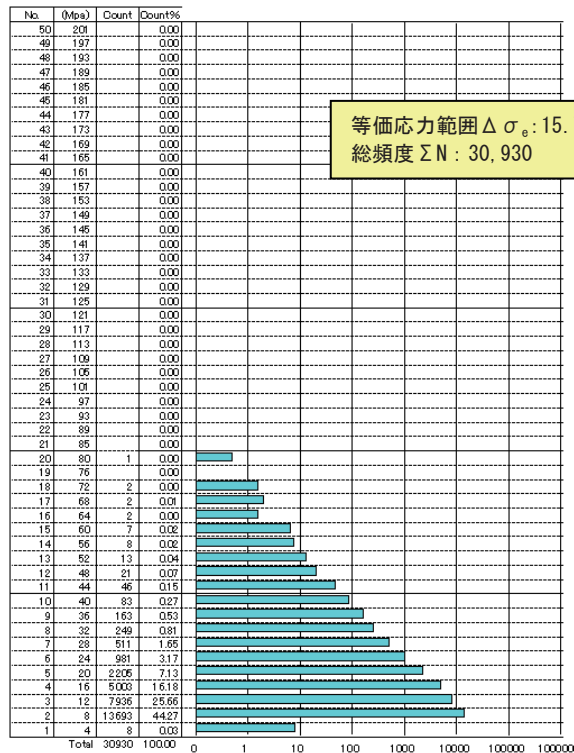
ゲージチャンネル番号7と8について、レインフロー法で整理した結果を図 5.3-20 (a), (b) に、ピークバレー法で整理した結果を図 5.3-21 (a), (b) に示す。

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

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

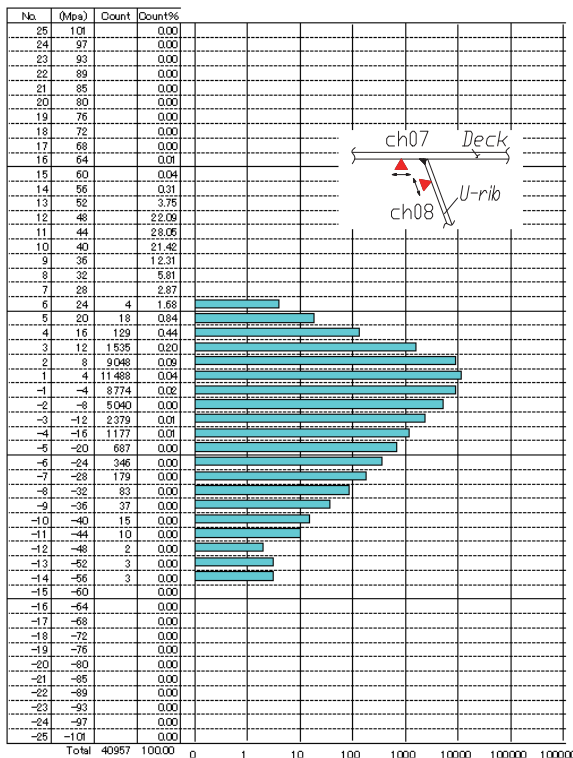


(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch7)

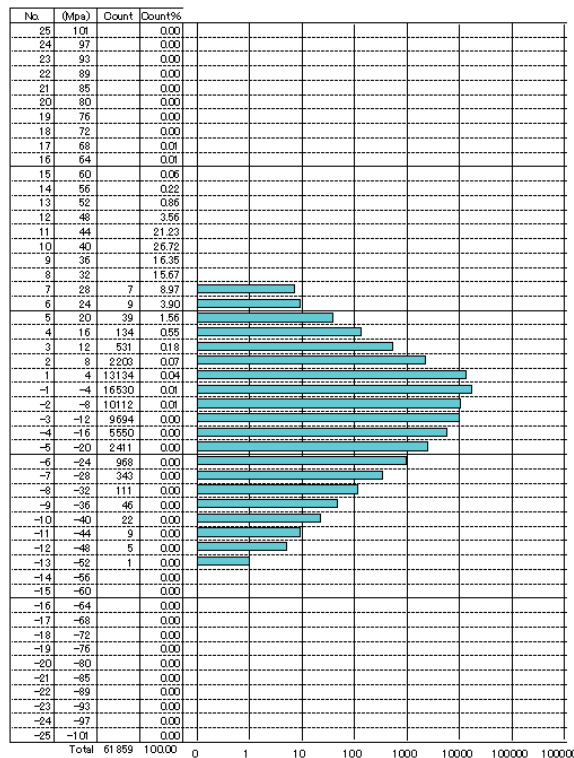


(b) トラフリブ側溶接止端部 (ch8)

図 5.3-20 レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch7)



(b) トラフリブ側溶接止端部 (ch8)

図 5.3-21 ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリップ下面の橋軸方向応力

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

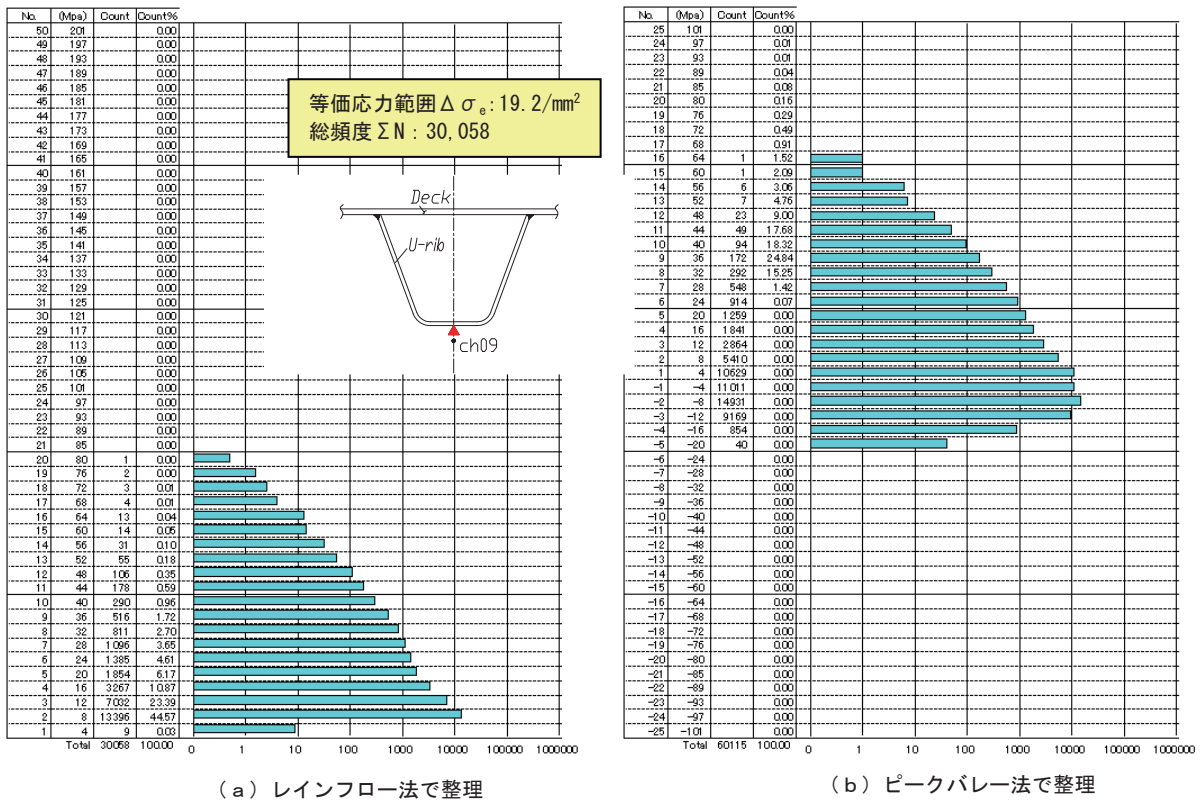


図 5.3-22 トラフリップ下面の応力頻度計測結果 (ch9)

5.3.3 C7橋

(1) 計測位置

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

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

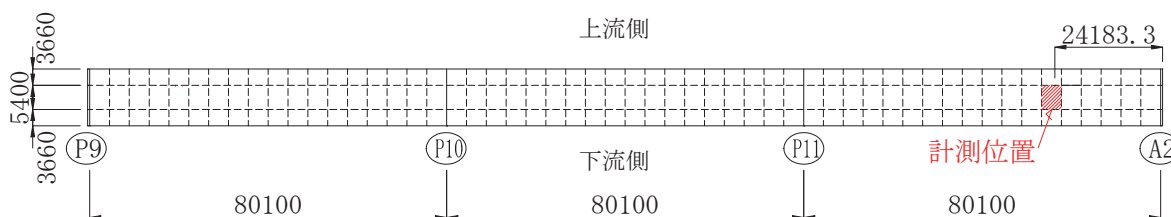


図 5.3-23 応力計測の着目断面

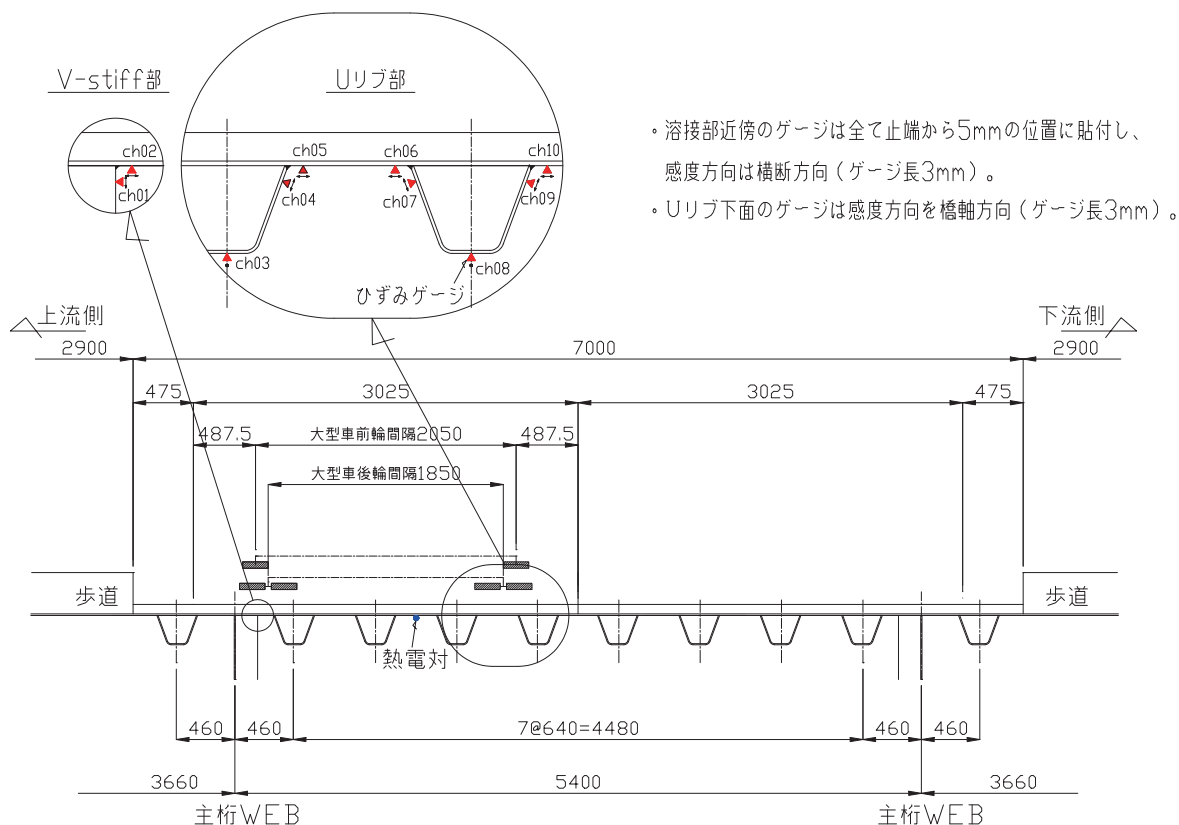


図 5.3-24 計測センサー類設置位置

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

① 荷重車

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



写真 5.3-3 荷重車

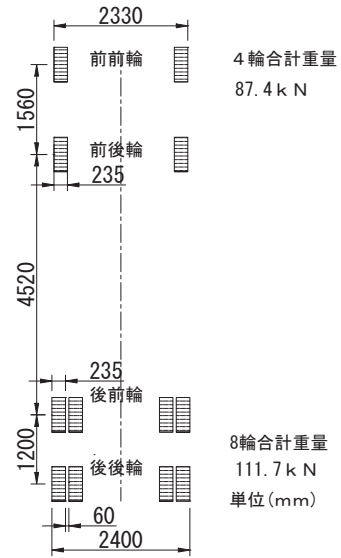


図 5.3-25 車両諸元

② 載荷ケース

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

表 5.3-5 載荷ケース

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

③ 計測結果

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

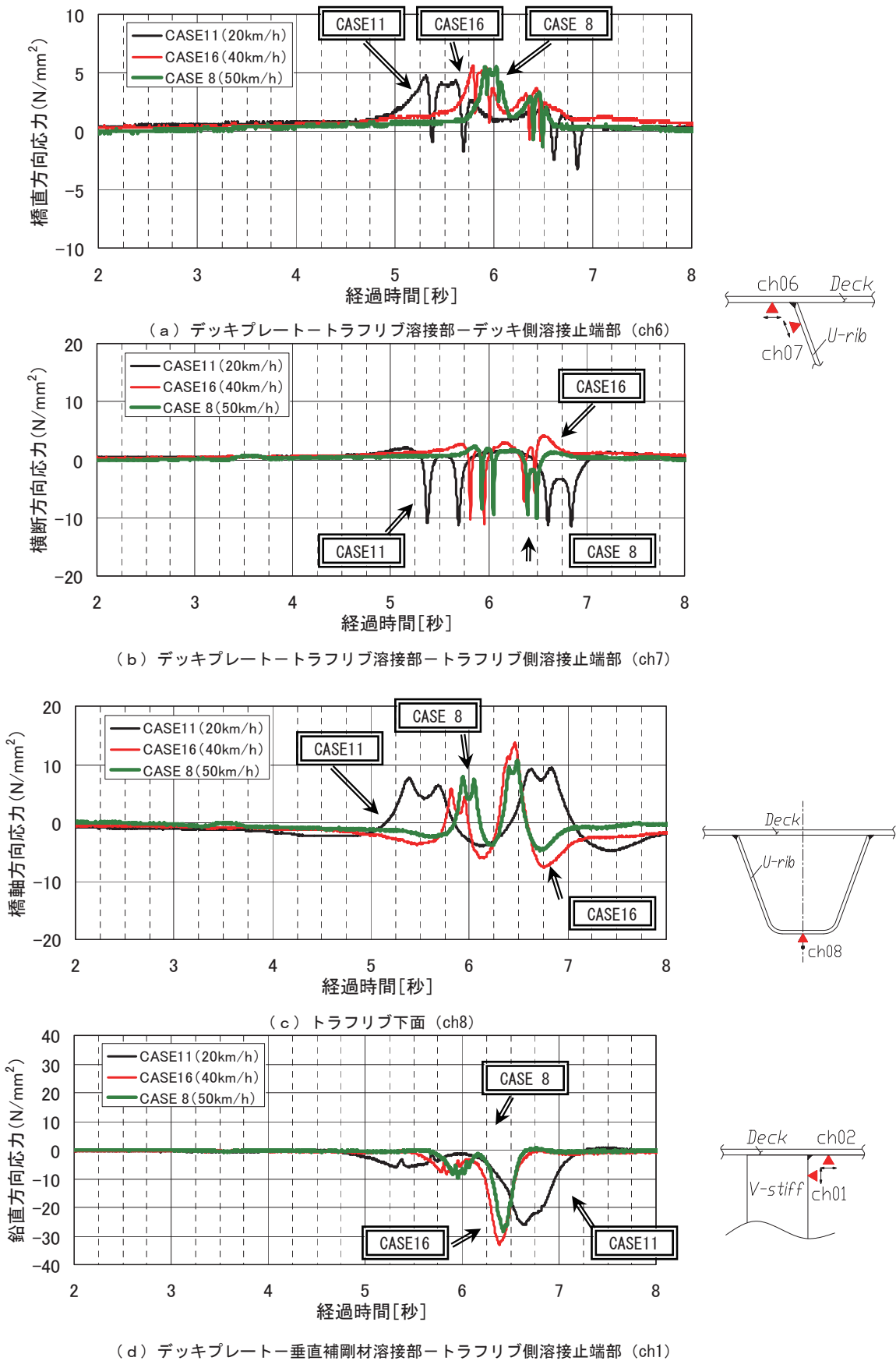
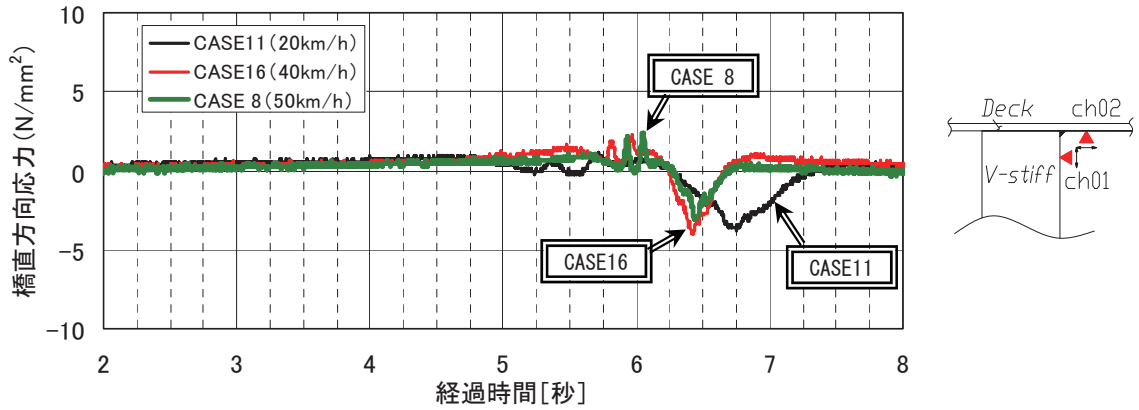


図 5.3-26 代表的なケースの応力波形



(e) デッキプレート-垂直補剛材溶接部-デッキ側溶接止端部 (ch2)

図 5.3-26 代表的なケースの応力波形

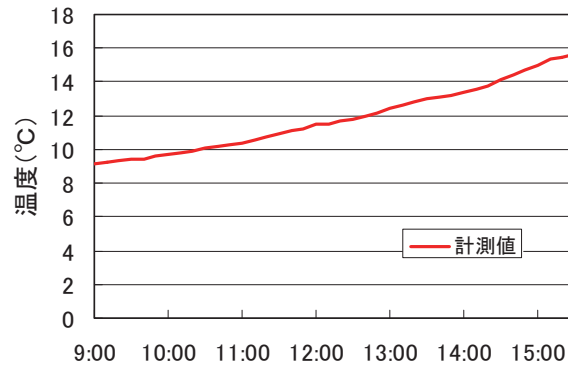


図 5.3-27 温度計測結果

表 5.3-6 各ケースの最大・最小応力値

単位: N/mm²

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

各部位で計測されたデータの特徴を以下に示す。

- デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力 (ch. 6, 7)

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

- トラフリブ下面の橋軸方向の応力 (ch. 8)

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

- デッキプレートと垂直補剛材溶接部の橋直方向応力 (ch. 1, 2)

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

- デッキプレート下面の温度

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

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

①計測位置

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

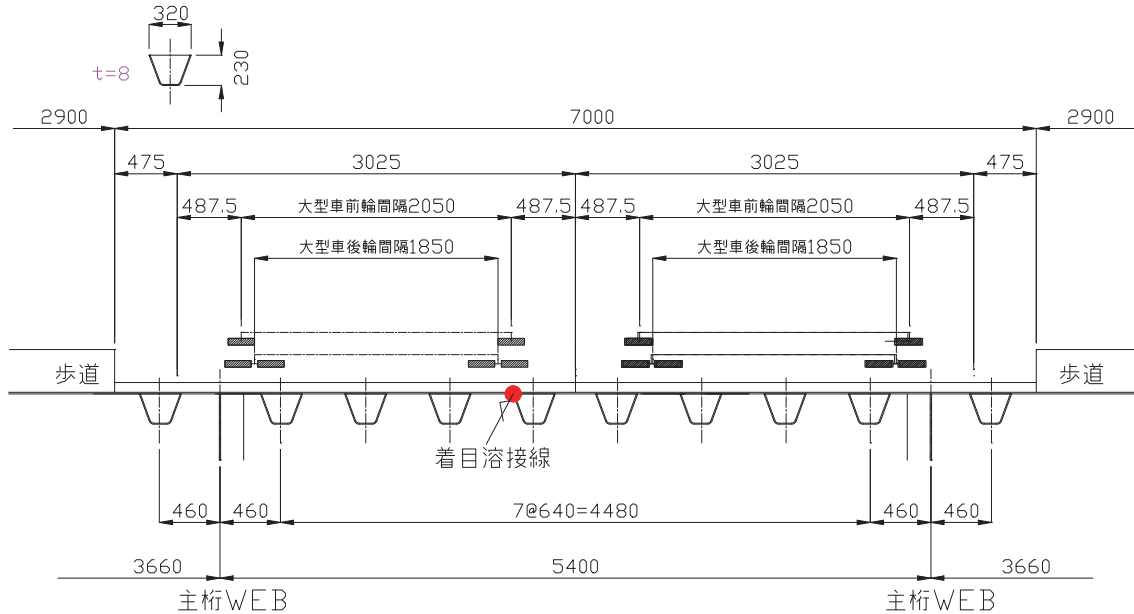


図 5.3-28 一般的な大型車の走行位置

②計測結果

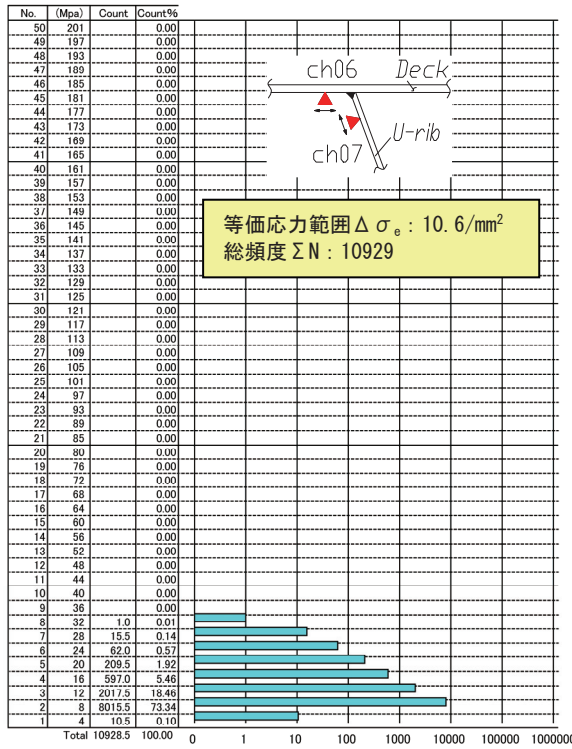
各部位の計測結果の特徴を以下に示す。

- ・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力

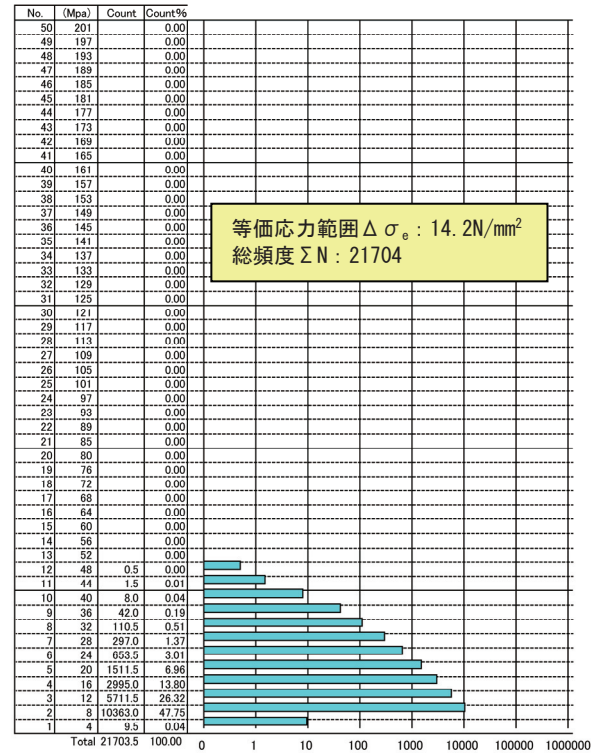
ゲージチャンネル番号 6 と 7 について、レインフロー法で整理した結果を図 5.3-29 (a), (b) に、ピークバレー法で整理した結果を図 5.3-30 (a), (b) に示す。

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

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

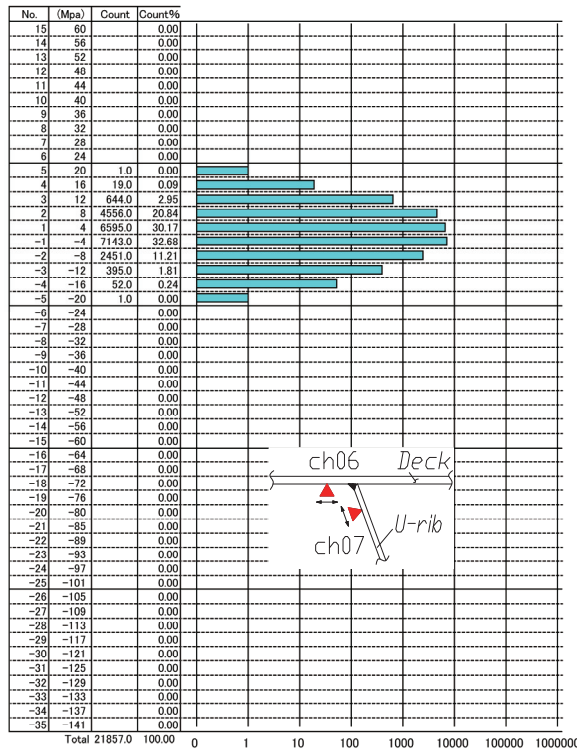


(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch6)



(b) トラフリップ側溶接止端部 (ch7)

図 5.3-29 レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch6)

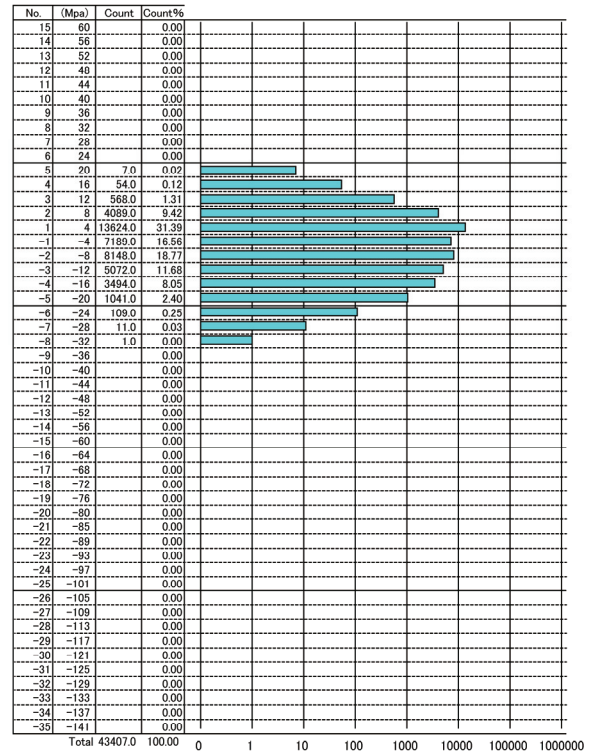
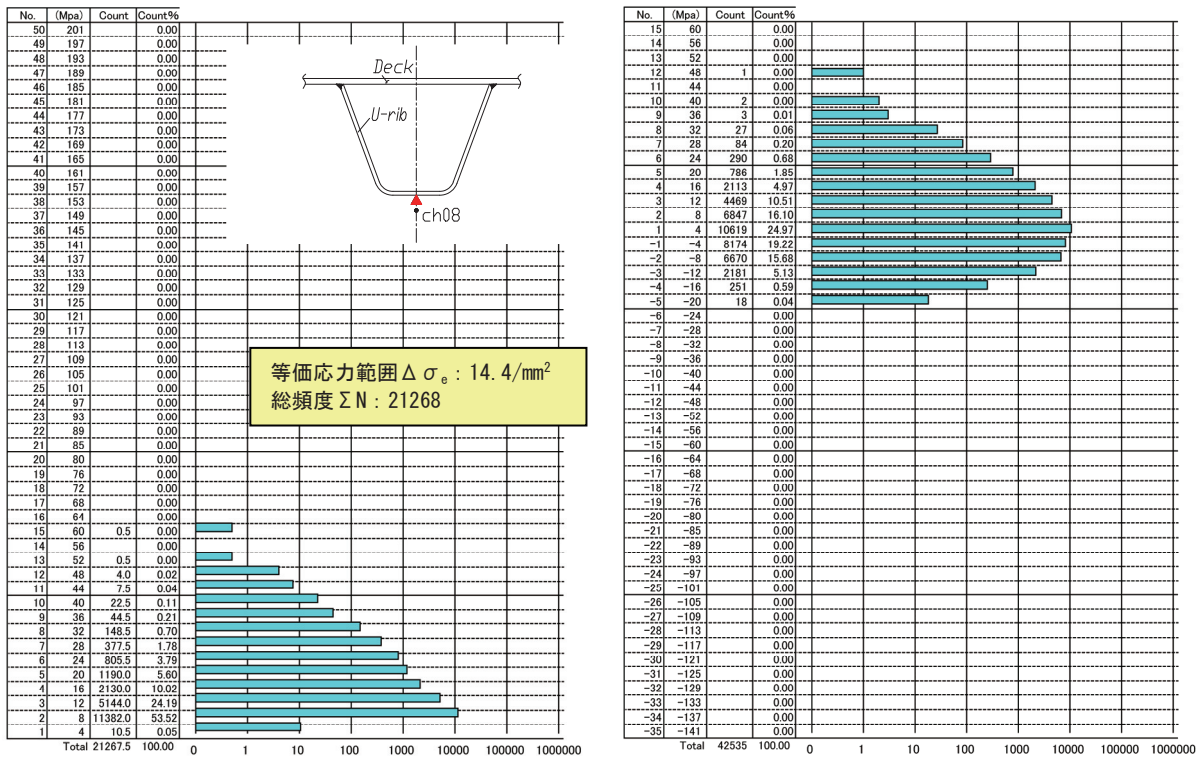


図 5.3-30 ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリブ下面の橋軸方向応力

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



(a) レインフロー法で整理

(b) ピークバレー法で整理

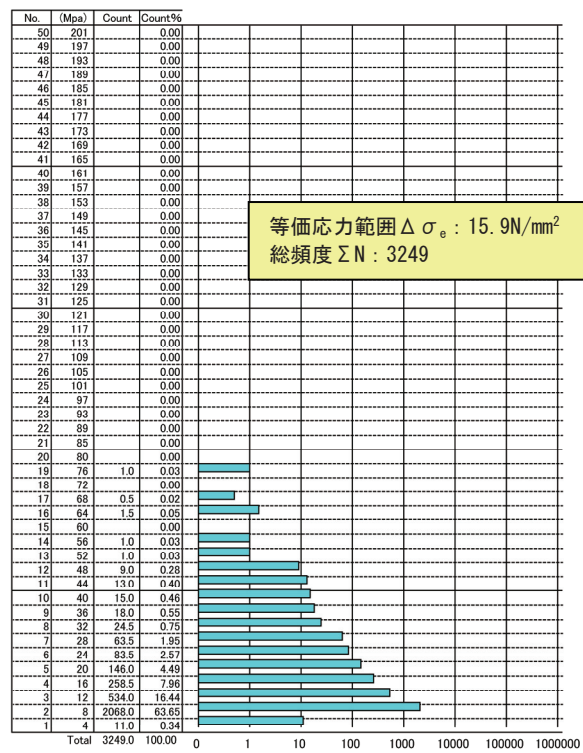
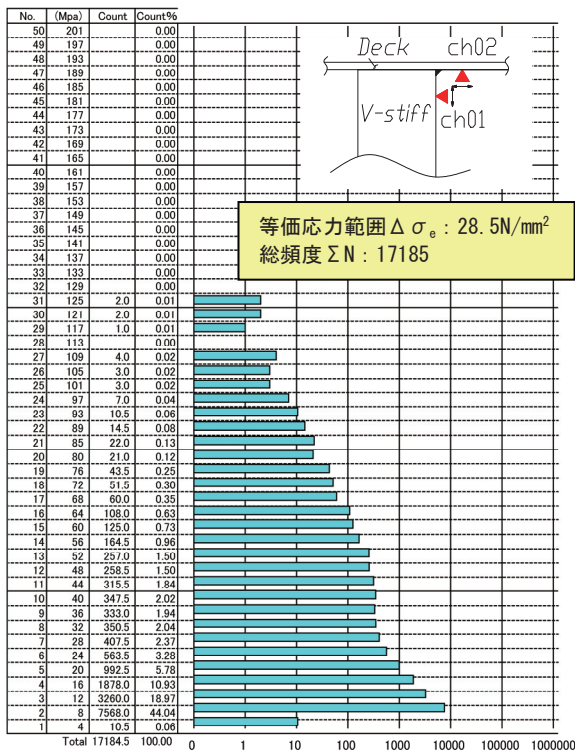
図 5.3-31 トラフリブ下面の応力頻度計測結果 (ch8)

・デッキプレートと垂直補剛材溶接部の横断方向応力

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

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

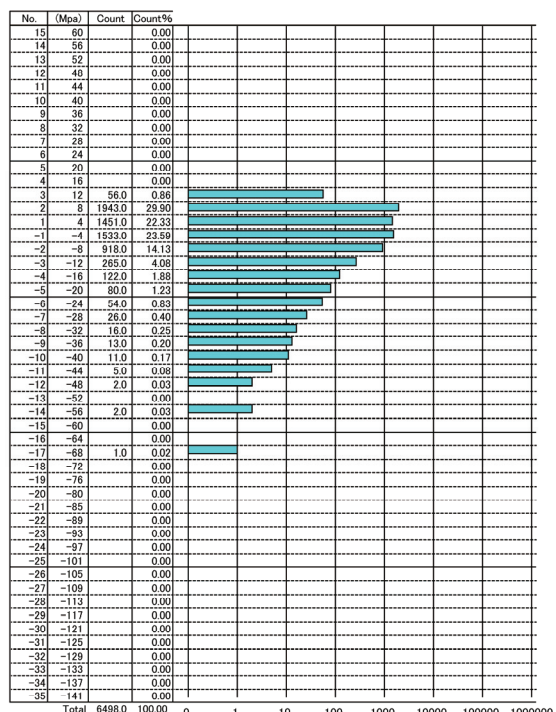
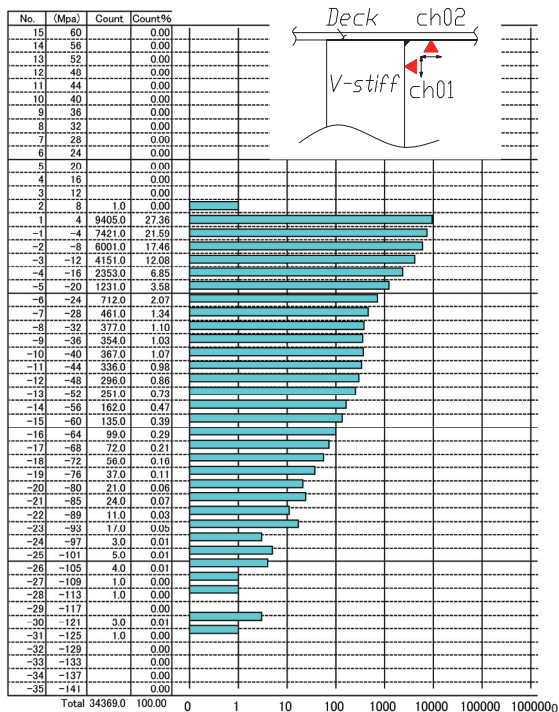
図 5.3-33 (a) みると垂直補剛材側溶接止端部では圧縮が卓越していることがわかる。また、図 5.3-33 (b) をみると引張のピーク値の範囲は小さく、ピーク回数が引張と圧縮でほぼ同じであることから、デッキ側溶接止端部では変動の小さい引張応力と変動の大きい圧縮応力が交番していたと考えられる。



(a) 垂直補剛材側溶接止端部 (ch1)

(b) デッキプレート側溶接止端部 (ch2)

図 5.3-32 レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



(a) 垂直補剛材側溶接止端部 (ch1)

(b) デッキプレート側溶接止端部 (ch2)

図 5.3-33 ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

5.3.4 H7 橋

(1) 計測位置

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

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

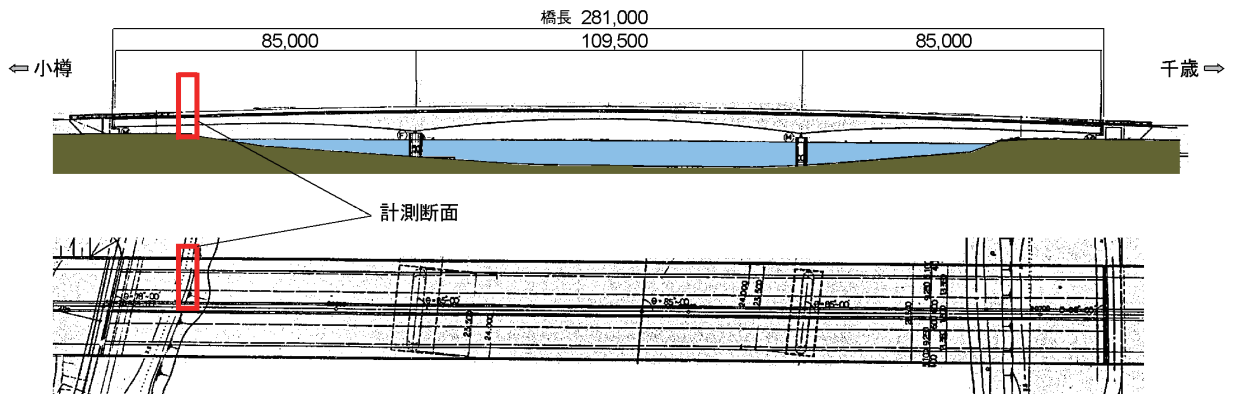


図 5.3-34 応力計測の着目断面

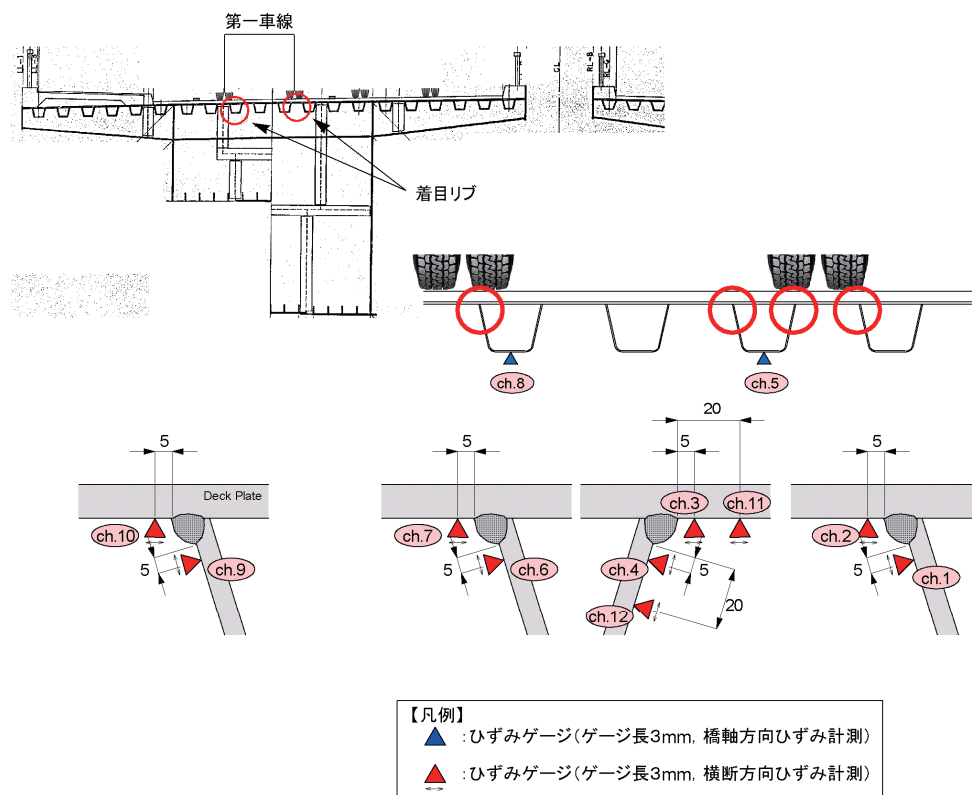


図 5.3-35 計測センサー類設置位置

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

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



写真 4.3-4 荷重車

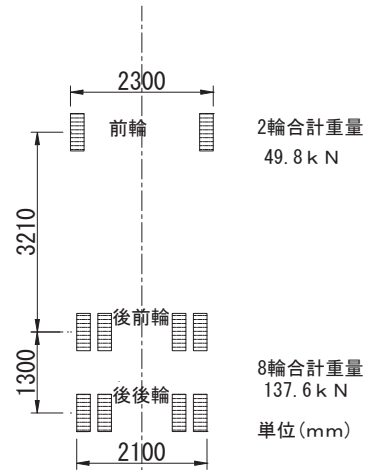


図 4.3-36 車両諸元

② 載荷ケース

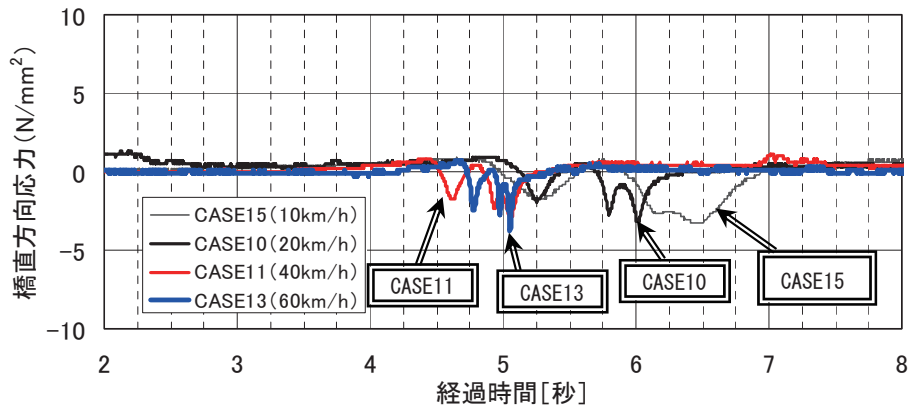
載荷位置および走行速度をパラメータとして、18 ケースの計測を行った。載荷ケースを、表 5.3-7 に示す。

表 5.3-7 載荷ケース

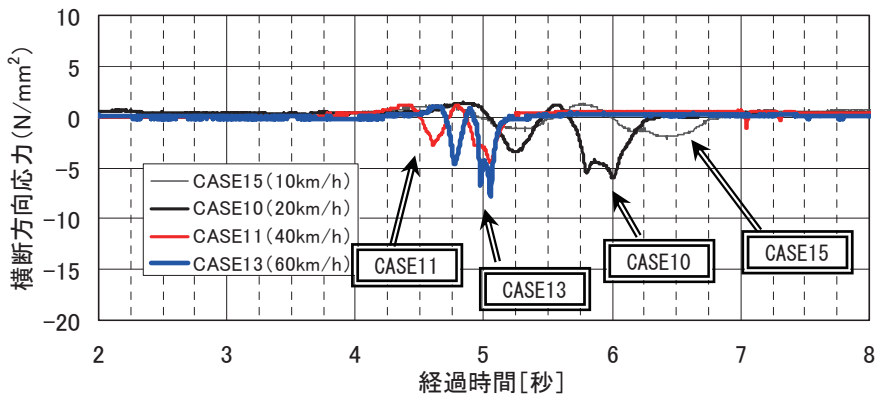
Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
-1	9:07	Test Truck	Normal	20
-2	9:13		Left	20
-3	9:20		Normal	20
-4	9:26		Left	20
-5	9:35		a little Left	20
-6	9:40		a little Right	20
-7	9:48		a little Right	20
-8	10:26		Right	20
-9	10:35		Right	20
-10	10:45		a little Right	20
-11	10:50		a little Right	40
-12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

③ 計測結果

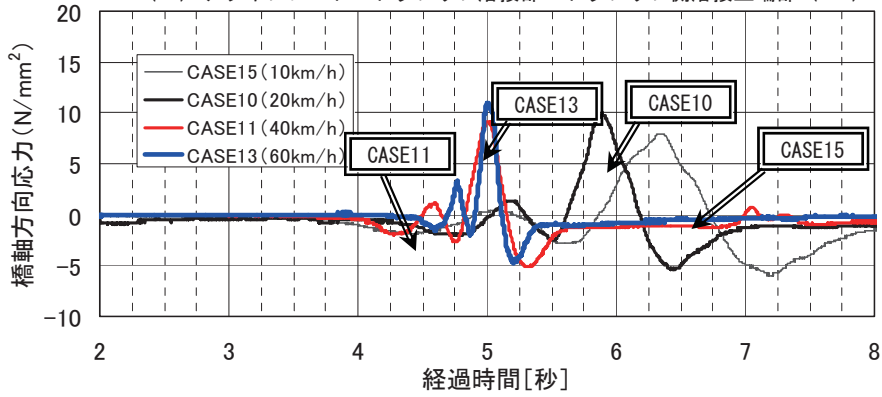
デッキプレート貫通型クラックに対して厳しい応力状態となるように、着目溶接線を荷重車後輪のダブルタイヤが跨ぐように走行した代表的なケースについて、着目溶接線のトラフリブとデッキプレート近傍とトラフリブ下面の応力波形を図 5.3-37 に示す。また、荷重車計測時のデッキプレート下面の温度変化を図 5.3-38 に、全ケースの車両通過時の最大・最小応力値の一覧を表 5.3-8 に示す。



(a) デッキプレートトラフリップ溶接部-デッキ側溶接止端部 (ch3)



(b) デッキプレートトラフリップ溶接部-トラフリップ側溶接止端部 (ch4)



(c) トラフリップ下面 (ch5)

図 5.3-37 代表的なケースの応力波形

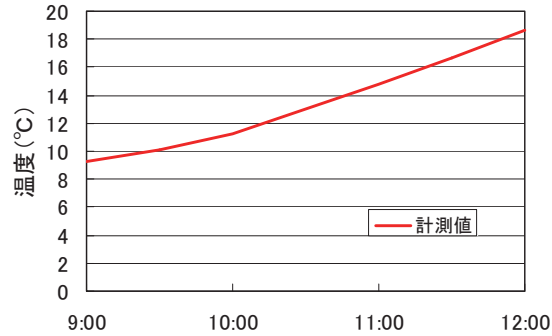


図 5.3-38 温度計測結果

表 5.3-8 各ケースの最大・最小応力値

単位: N/mm²

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

各部位で計測されたデータの特徴を以下に示す。

- デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力 (ch. 6, 7)

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

- トラフリブ下面の橋軸方向の応力 (ch. 8)

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

- デッキプレート下面の温度

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

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

①計測位置

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

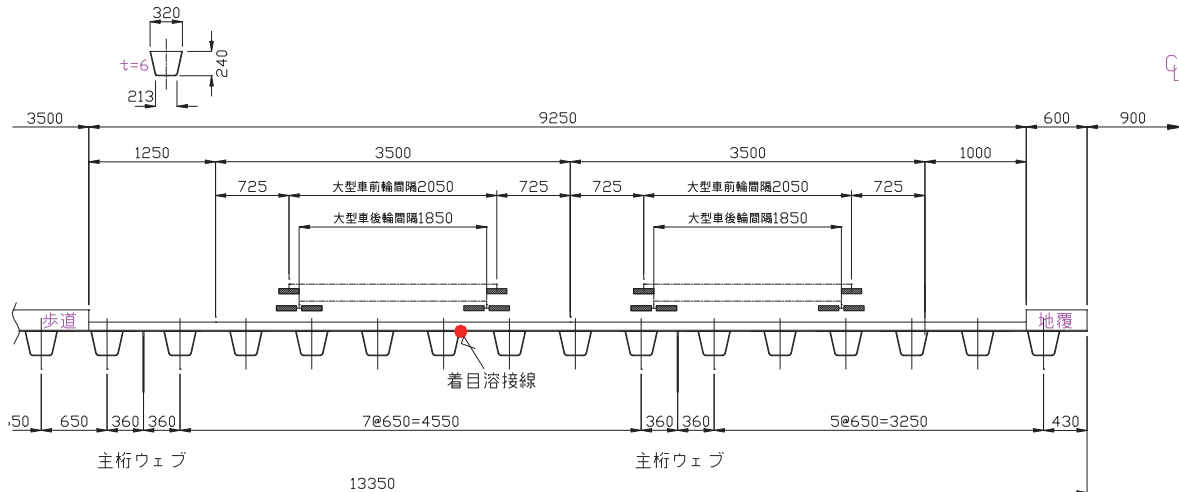


図 5.3-39 幅員構成から推定される大型車走行位置

②計測結果

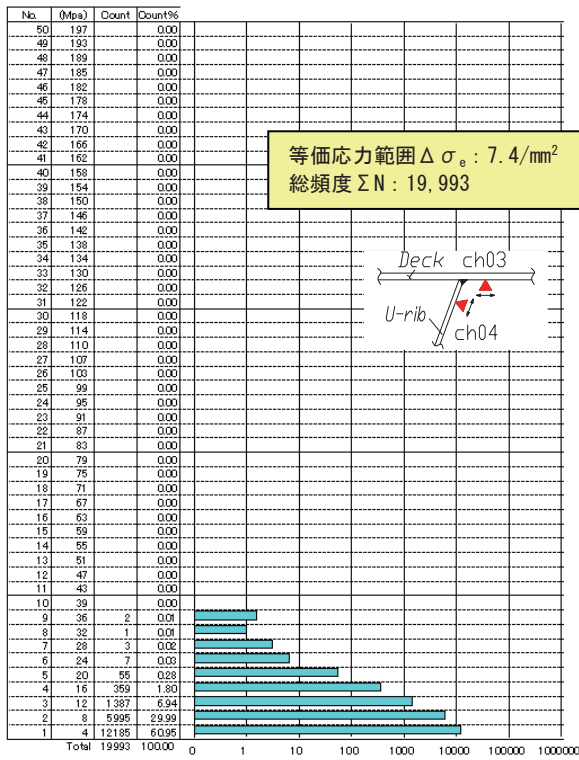
各部位の計測結果の特徴を以下に示す。

- ・デッキプレートとトラフリブ溶接部の横断方向応力

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

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

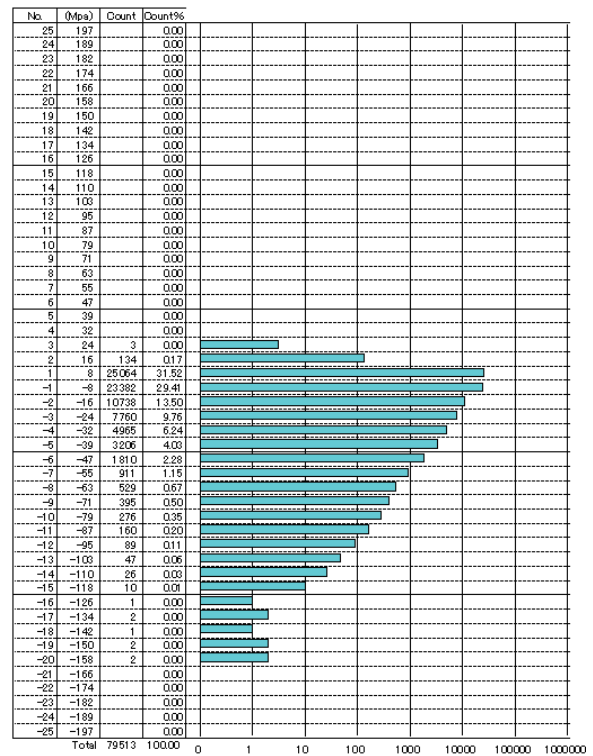
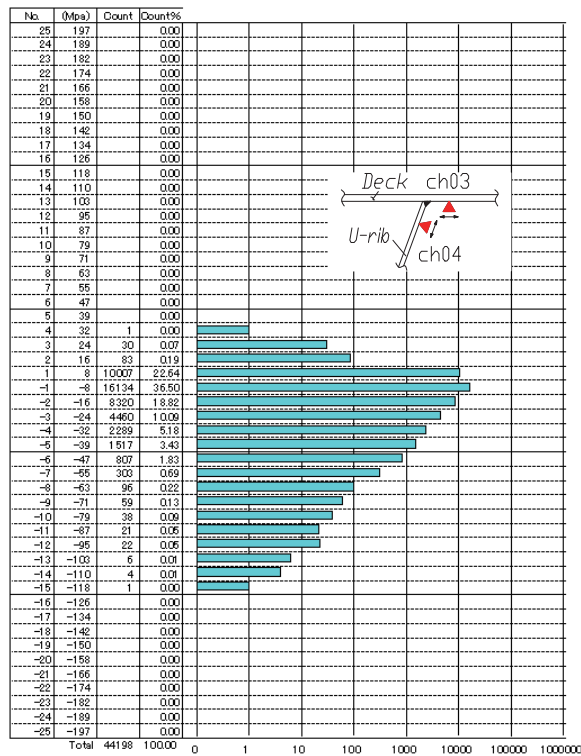
図 5.3-41 (a) をみると、デッキプレート側溶接止端部では圧縮側のピーク値は大きく、引張側のピーク値は小さい。圧縮側と引張側のピーク数の割合は圧縮側が引張側の 3 倍程度あるが、圧縮側で 0 N/mm^2 近傍のピーク値も数多く確認されていることから、軸重が通過する毎に大きな圧縮応力と小さな引張応力の交番が起きていたとも考えられる。図 5.3-41 (b) よりとトラフリブ側溶接止端部でもデッキ側溶接止端部とほぼ同様の傾向である。



(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch3)

(b) トラフリップ側溶接止端部 (ch4)

図 5.3-40 レインフロー法で整理した応力頻度計測結果



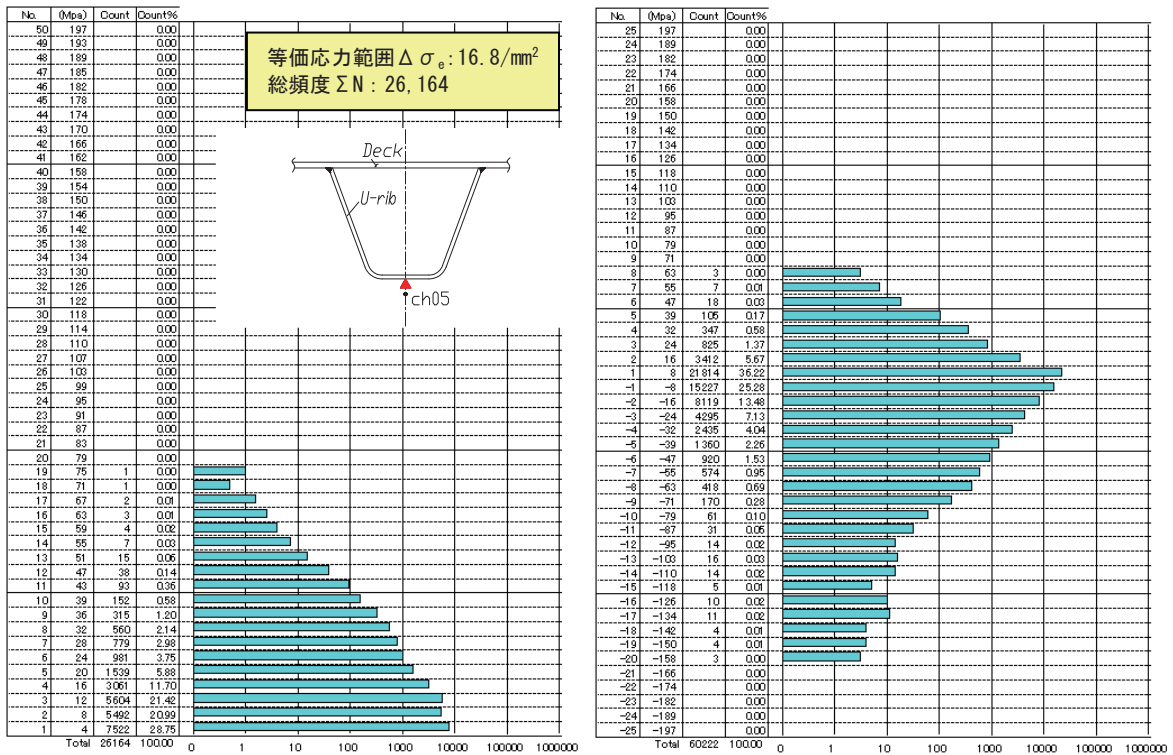
(a) デッキプレート側溶接止端部 (ch3)

(b) トラフリップ側溶接止端部 (ch4)

図 5.3-41 ピークバレー法で整理した応力頻度計測結果

・トラフリップ下面の橋軸方向応力

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



(a) レインフロー法で整理

(b) ピークバレー法で整理

図 5.3-42 トラフリップ下面の応力頻度計測結果 (ch5)

5.3.5 H2橋

(1) 計測位置

着目断面は詳細調査結果で縦方向ひび割れが発見された図 5.3-43のC部（損傷部）とその手前4.2mの位置（健全部）である。橋軸直角方向では第一車線を走行する車両の右輪位置にあたり、着目する溶接線はG2桁から歩道側に向かって一つ目と二つ目のデッキプレートとトラフリブの溶接線である。なお、橋梁の全長にわたってわだちが確認されているため、ここでいう健全部とはわだちはあるが、ひび割れがないことを示している。計測項目は、トラフリブ下面の橋軸方向の応力、トラフリブとデッキプレート近傍の横断方向の応力、デッキプレート下面の温度である。計測位置と車両走行位置の関係を図 5.3-44に示す。検査路を利用して計測であるため、計測位置一般的な大型車が走行すると想定される部位よりも第二車線寄りとなっている。

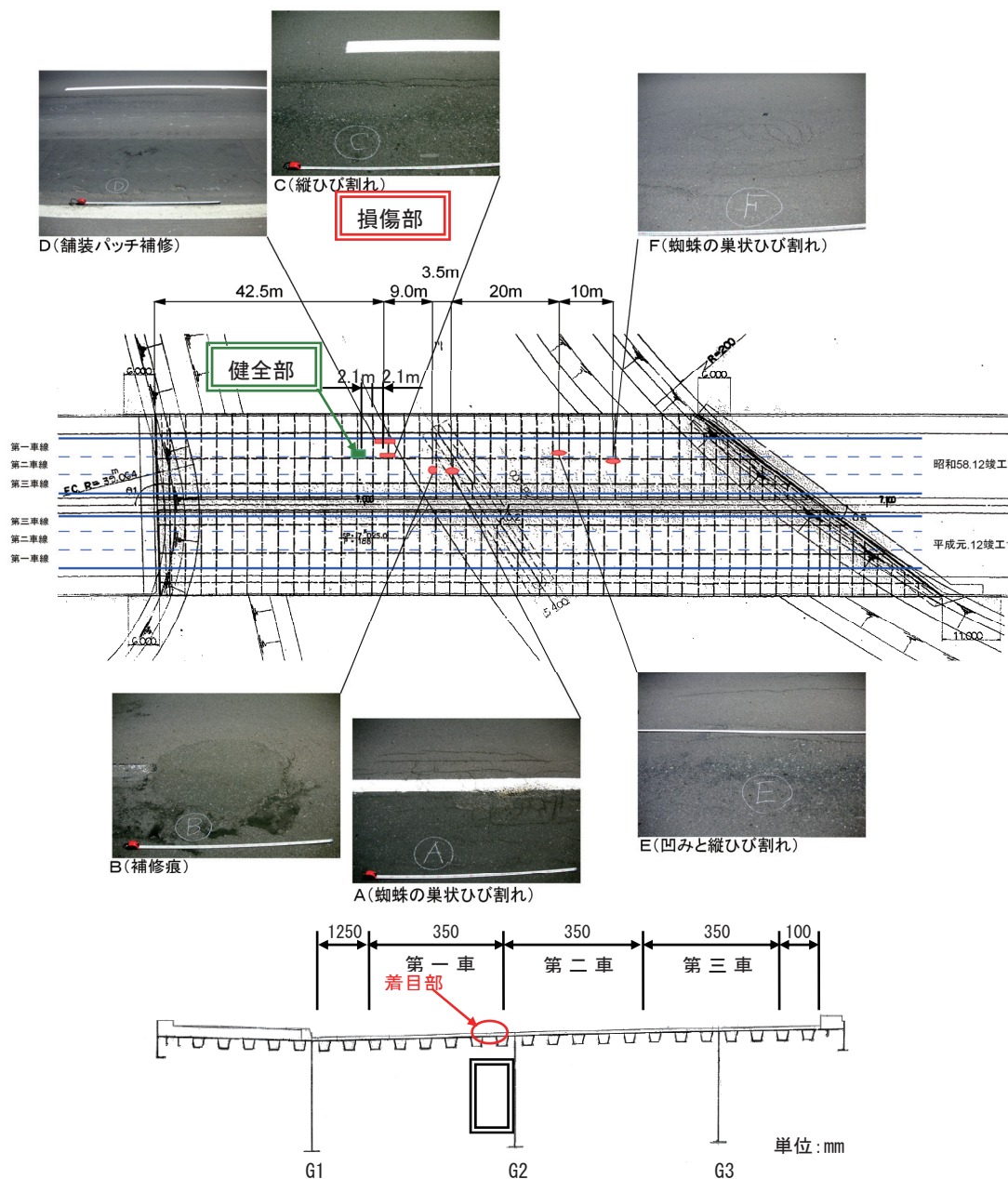


図 5.3-43 応力計測の着目断面

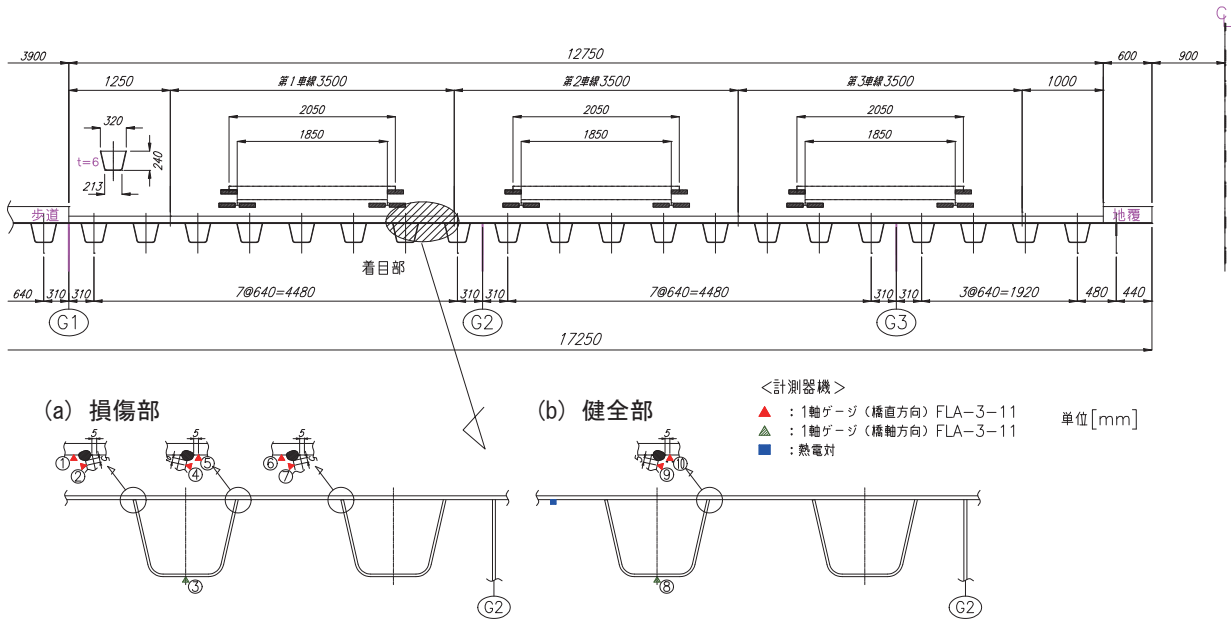


図 5.3-44 計測センサー類設置位置

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

① 荷重車

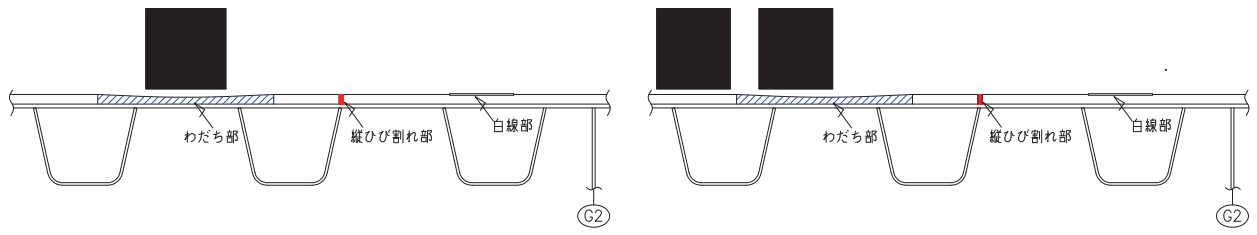
荷重車は、H7 橋と同じもので、車両総重量が 200kN 程度となるように調整した 3 軸（前 1 軸，後 2 軸）のダンプトラックである。

② 載荷ケース

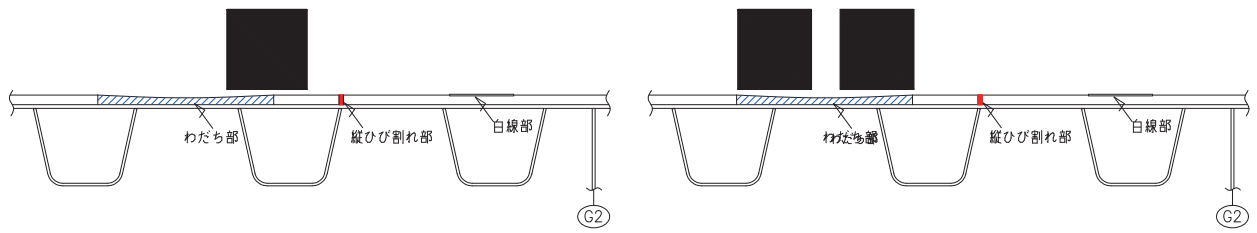
載荷ケースは図 5.3-45 (a) ~ (c) に示す 3 種類の走行位置と 5 種類の走行速度 (15, 20, 30, 40, 50km/h) を組み合わせた 20 ケースである。載荷ケースの一覧を表 5.3-9 に示す。

表 5.3-9 載荷ケース

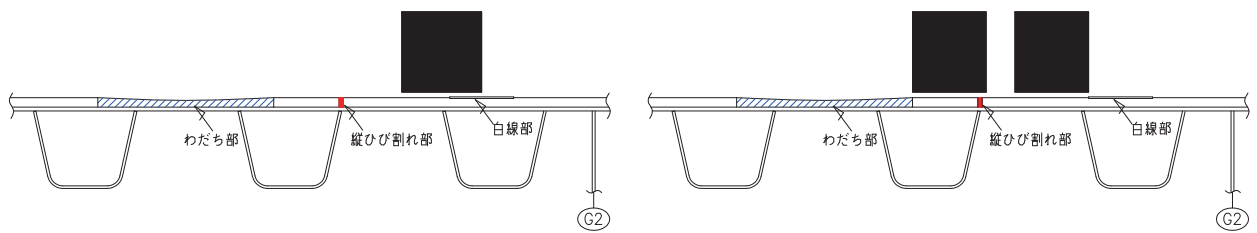
Case	Time	Truck	Position	Velocity (km/h)
-1	9:07	Test Truck	Normal	20
-2	9:15		Right	20
-3	9:21		a little Right	20
-4	9:26		Right	20
-5	9:30		Normal	15
-6	9:36		Right	15
-7	9:42		a little Right	15
-8	9:47		a little Right	20
-9	9:53		a little Right	30
-10	9:59		Right	30
-11	10:04		a little Right	50
-12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



(a) わだち上 (Normal)



(b) 舗装き裂近傍 (a little Right)



(c) 白線上 (Right)

図 5.3-45 走行位置のイメージ

③計測結果

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

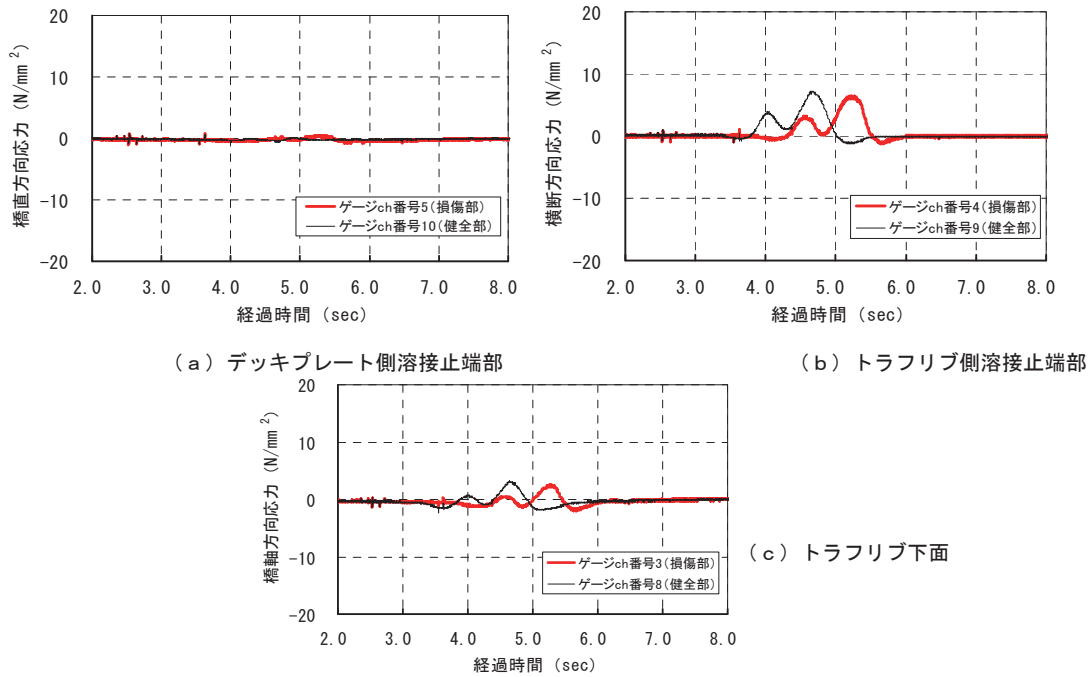


図 5.3-46 わだち部走行時動的波形 (CASE-1)

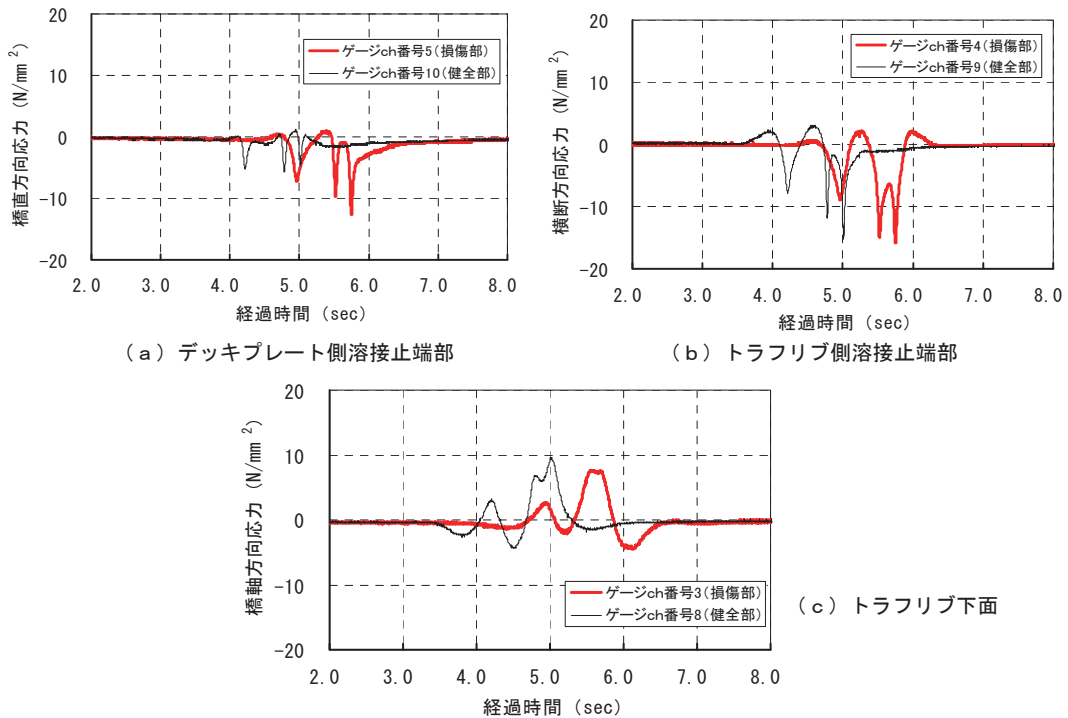
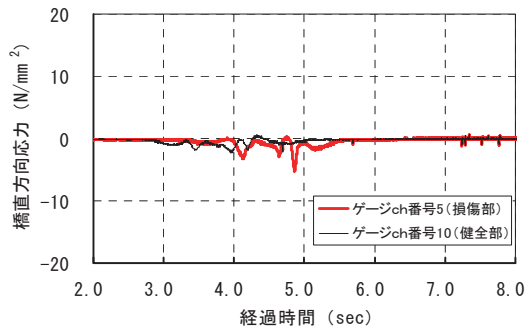
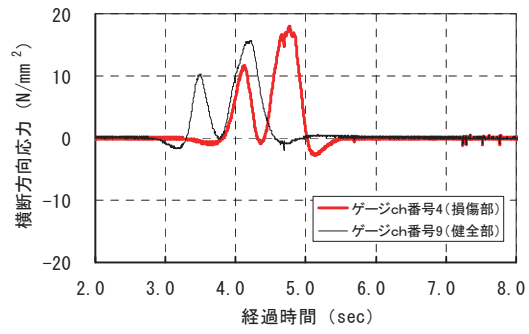


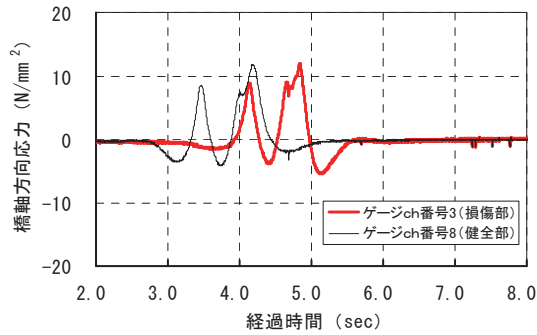
図 5.3-47 白線上走行時動的波形 (CASE-2)



(a) デッキプレート側溶接止端部



(b) トラフリブ側溶接止端部



(c) トラフリブ下面

図 5.3-48 舗装き裂近傍走行時動的波形 (CASE-8)

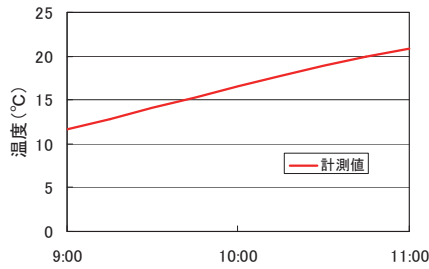


図 5.3-49 温度計測結果

表 5.3-10 各ケースの最大・最小応力値

No.	単位: N/mm ²									
	損傷断面:着目トラフリブ逆側溶接線データ		損傷断面:着目トラフリブ溶接線データ			損傷断面:隣接トラフリブ溶接線データ		健全断面:着目トラフリブ溶接線データ		
	デッキ側止端5mm	トラフリブ側止端5mm	トラフリブ下面	トラフリブ側止端5mm	デッキ側止端5mm	トラフリブ側止端5mm	トラフリブ下面	トラフリブ側止端5mm	デッキ側止端5mm	
	CH.01	CH.02	CH.03	CH.04	CH.05	CH.06	CH.07	CH.08	CH.09	CH.10
CASE01	MAX 0.8	2.7	2.6	6.4	0.8	0.8	1.2	3.3	7.2	0.8
	MIN -4.9	-8.3	-2.0	-1.3	-1.1	-1.1	-2.4	-2.3	-1.3	-1.1
CASE02	MAX 0.2	6.5	7.6	2.2	1.1	4.7	2.0	9.5	3.0	1.2
	MIN -1.9	-2.7	-4.5	-15.9	-12.6	-5.7	-22.6	-4.3	-15.3	-5.8
CASE03	MAX 1.0	1.9	1.9	3.9	1.0	1.1	0.3	2.0	4.0	1.0
	MIN -3.4	-5.6	-1.4	-1.2	-1.1	-0.9	-1.2	-1.3	-1.0	-1.0
CASE04	MAX 0.1	6.9	8.2	2.4	0.8	4.9	2.1	9.0	3.4	1.3
	MIN -2.0	-2.9	-4.9	-18.0	-13.8	-6.0	-25.6	-4.1	-15.5	-5.8
CASE05	MAX 0.1	2.5	4.7	10.7	0.9	0.6	0.9	5.6	10.7	0.3
	MIN -10.3	-15.8	-3.0	-2.0	-1.4	-1.3	-3.5	-2.3	-1.8	-1.4
CASE06	MAX 0.2	6.9	8.0	2.5	0.7	5.5	2.9	9.7	3.4	0.7
	MIN -2.3	-3.1	-4.9	-18.5	-15.3	-9.2	-25.4	-3.9	-18.0	-7.0
CASE07	MAX 6.3	1.1	11.3	20.2	0.3	0.5	1.7	13.1	16.1	0.3
	MIN -16.6	-29.7	-6.5	-2.9	-8.9	-2.7	-5.6	-4.8	-2.0	-4.3
CASE08	MAX 5.8	1.2	11.9	18.0	1.1	1.1	1.3	11.8	15.7	1.0
	MIN -13.1	-29.6	-5.4	-2.8	-5.3	-3.0	-5.9	-4.2	-2.0	-2.3
CASE09	MAX 6.1	1.1	11.9	19.9	0.5	0.9	1.5	12.5	15.1	0.3
	MIN -15.5	-32.2	-5.6	-2.8	-7.6	-2.2	-5.2	-4.8	-1.6	-3.1
CASE10	MAX 0.3	7.0	7.8	2.8	0.7	5.0	2.4	9.7	3.2	1.0
	MIN -2.4	-3.4	-4.7	-20.1	-15.5	-8.3	-25.7	-4.1	-17.4	-6.7
CASE11	MAX 0.2	2.8	4.8	10.8	0.9	0.6	0.9	5.7	10.2	0.4
	MIN -10.8	-17.8	-4.0	-3.0	-1.6	-1.5	-3.4	-2.8	-1.7	-1.1
CASE12	MAX 0.4	2.5	6.6	13.2	0.7	0.7	1.1	7.0	11.6	0.5
	MIN -12.1	-24.5	-4.7	-3.5	-2.0	-1.5	-4.1	-3.0	-1.7	-1.5
CASE13	MAX 0.3	10.9	17.2	3.0	9.5	0.2	3.6	16.9	4.0	6.1
	MIN -4.9	-3.5	-9.7	-26.5	-14.2	-14.2	-20.1	-7.1	-16.8	-7.5
CASE14	MAX 0.4	9.8	18.7	4.7	10.1	0.3	3.7	17.0	4.9	6.0
	MIN -7.0	-3.5	-9.6	-21.3	-13.2	-12.4	-17.5	-7.0	-14.2	-6.7
CASE15	MAX 0.9	3.2	3.4	7.9	0.8	0.6	0.9	3.6	8.1	0.4
	MIN -8.9	-11.2	-3.1	-2.7	-2.3	-1.9	-2.8	-2.8	-1.7	-2.1
CASE16	MAX 3.3	2.0	8.9	14.8	0.6	0.8	1.2	9.0	13.6	0.8
	MIN -11.4	-29.6	-5.6	-4.0	-3.8	-3.6	-4.3	-3.9	-3.9	-3.8
CASE17	MAX 3.8	10.2	20.3	17.5	9.2	1.0	3.5	16.6	11.3	3.8
	MIN -24.6	-6.9	-10.3	-1.4	-32.5	-6.4	-10.6	-7.1	-0.4	-14.2
CASE18	MAX 3.5	2.0	8.8	15.2	0.7	0.8	1.1	9.4	14.0	0.5
	MIN -13.0	-31.5	-5.3	-3.3	-2.8	-2.6	-4.3	-4.2	-2.8	-2.8
CASE19	MAX 0.3	9.2	9.7	3.0	0.6	4.2	2.6	12.0	2.6	0.7
	MIN -2.0	-5.0	-6.8	-24.9	-18.0	-10.8	-34.2	-5.1	-20.6	-16.2
CASE20	MAX 0.2	8.3	8.3	3.1	0.6	4.9	3.4	11.5	2.6	0.8
	MIN -1.9	-4.5	-6.7	-25.9	-16.4	-9.8	-31.2	-5.4	-20.3	-13.6

④計測結果の考察

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

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

表 5-3.11 健全部と損傷部の応力範囲の比較 (白線上走行時)

速度 (km/h)	CASE	健全部			損傷部			健全部/ 損傷部		
		位置	応力(N/mm ²)	応力範囲	位置	応力(N/mm ²)	応力範囲			
15	6	トラフリブ下面	MAX	9.7	13.7	トラフリブ下面	MAX	8.0	1.06	
			MIN	-3.9			MIN	-4.9		
		トラフリブ側止端	MAX	3.4	21.4	トラフリブ側止端	MAX	2.5		21.0
			MIN	-18.0			MIN	-18.5		
		デッキプレート側止端	MAX	0.7	7.7	デッキプレート側止端	MAX	0.7		16.0
			MIN	-7.0			MIN	-15.3		
20	2	トラフリブ下面	MAX	9.5	13.9	トラフリブ下面	MAX	7.6	1.14	
			MIN	-4.3			MIN	-4.5		
		トラフリブ側止端	MAX	3.0	18.3	トラフリブ側止端	MAX	2.2		18.1
			MIN	-15.3			MIN	-15.9		
		デッキプレート側止端	MAX	1.2	6.9	デッキプレート側止端	MAX	1.1		13.7
			MIN	-5.8			MIN	-12.6		
30	10	トラフリブ下面	MAX	9.7	13.9	トラフリブ下面	MAX	7.8	1.11	
			MIN	-4.1			MIN	-4.7		
		トラフリブ側止端	MAX	3.2	20.6	トラフリブ側止端	MAX	2.6		22.7
			MIN	-17.4			MIN	-20.1		
		デッキプレート側止端	MAX	1.0	7.7	デッキプレート側止端	MAX	0.7		16.2
			MIN	-6.7			MIN	-15.5		
40	19	トラフリブ下面	MAX	12.0	17.1	トラフリブ下面	MAX	9.7	1.03	
			MIN	-5.1			MIN	-6.8		
		トラフリブ側止端	MAX	2.6	23.3	トラフリブ側止端	MAX	3.0		27.9
			MIN	-20.6			MIN	-24.9		
		デッキプレート側止端	MAX	0.7	16.9	デッキプレート側止端	MAX	0.6		18.7
			MIN	-16.2			MIN	-18.0		
50	14	トラフリブ下面	MAX	17.0	24.1	トラフリブ下面	MAX	18.7	0.85	
			MIN	-7.0			MIN	-9.6		
		トラフリブ側止端	MAX	4.9	19.1	トラフリブ側止端	MAX	4.7		26.0
			MIN	-14.2			MIN	-21.3		
		デッキプレート側止端	MAX	6.0	12.7	デッキプレート側止端	MAX	10.1		23.3
			MIN	-6.7			MIN	-13.2		

表 5.3-12 健全部と損傷部の応力範囲の比較（舗装き裂近傍走行時）

速度 (km/h)	CASE	健全部			損傷部			健全部/損傷部		
		位置	応力 (N/mm ²)	応力範囲	位置	応力 (N/mm ²)	応力範囲			
15	7	トラフリップ下面	MAX	13.1	17.9	トラフリップ下面	MAX	11.3	1.01	
			MIN	-4.8			MIN	-6.5		
		トラフリップ側止端	MAX	16.1	18.1	トラフリップ側止端	MAX	20.2		23.1
			MIN	-2.0			MIN	-2.9		
		デッキプレート側止端	MAX	0.3	4.6	デッキプレート側止端	MAX	0.3		9.2
			MIN	-4.3			MIN	-8.9		
20	8	トラフリップ下面	MAX	11.8	16.0	トラフリップ下面	MAX	11.9	0.92	
			MIN	-4.2			MIN	-5.4		
		トラフリップ側止端	MAX	15.7	17.7	トラフリップ側止端	MAX	18.0		20.8
			MIN	-2.0			MIN	-2.8		
		デッキプレート側止端	MAX	1.0	3.3	デッキプレート側止端	MAX	1.1		6.4
			MIN	-2.3			MIN	-5.3		
30	9	トラフリップ下面	MAX	12.5	17.3	トラフリップ下面	MAX	11.9	0.99	
			MIN	-4.8			MIN	-5.6		
		トラフリップ側止端	MAX	15.1	16.7	トラフリップ側止端	MAX	19.9		22.5
			MIN	-1.6			MIN	-2.6		
		デッキプレート側止端	MAX	0.3	3.5	デッキプレート側止端	MAX	0.5		8.1
			MIN	-3.1			MIN	-7.6		
40	18	トラフリップ下面	MAX	9.4	13.7	トラフリップ下面	MAX	8.8	0.97	
			MIN	-4.2			MIN	-5.3		
		トラフリップ側止端	MAX	14.0	16.7	トラフリップ側止端	MAX	15.2		18.5
			MIN	-2.8			MIN	-3.3		
		デッキプレート側止端	MAX	0.5	3.3	デッキプレート側止端	MAX	0.7		3.5
			MIN	-2.8			MIN	-2.8		
50	12	トラフリップ下面	MAX	7.0	10.0	トラフリップ下面	MAX	6.6	0.88	
			MIN	-3.0			MIN	-4.7		
		トラフリップ側止端	MAX	11.6	13.3	トラフリップ側止端	MAX	13.2		16.7
			MIN	-1.7			MIN	-3.5		
		デッキプレート側止端	MAX	0.5	1.9	デッキプレート側止端	MAX	0.7		2.7
			MIN	-1.5			MIN	-2.0		

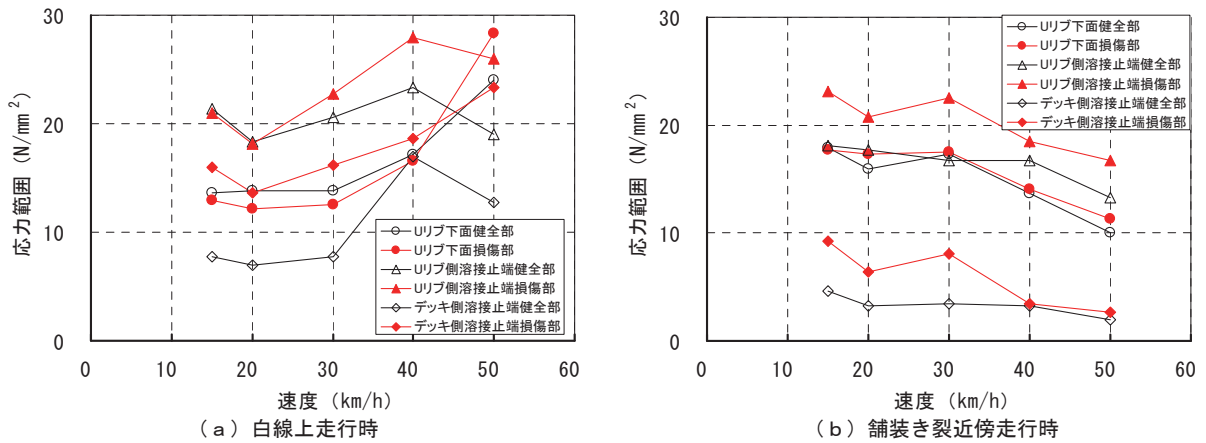


図 5.3-50 走行速度の影響

5.4 まとめ

5.4.1 応力頻度測定結果

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

表 5.4-1 応力頻度測定結果

橋名	トラフリブ溶接部				垂直補剛材溶接部				計測時期
	デッキプレート側		トラフリブ側		デッキプレート側		垂直補剛材側		
	等価応力範囲 N/mm ²	最大応力範囲 N/mm ²	等価応力範囲 N/mm ²	最大応力範囲 N/mm ²	等価応力範囲 N/mm ²	最大応力範囲 N/mm ²	等価応力範囲 N/mm ²	最大応力範囲 N/mm ²	
M2橋	34.5	170.4	33.6	213.1	-	-	-	-	8月(外気温26.0℃~34.0℃, デッキ下面最高47.5℃)
O12橋	15.4	76.0	17.7	107.8	-	-	-	-	3月(デッキ下面5.2℃~26.7℃)
C7橋	10.6	32.0	14.2	48.3	15.9	76.5	28.5	124.8	3月(デッキ下面4.4℃~25.4℃)
H7橋	7.4	35.5	14.9	82.9	-	-	-	-	10月(デッキ下面4.0℃~26.3℃)
C1橋 ^{*)}	33.3	115.0	-	-	-	-	-	-	3月(外気温2.9℃~15.8℃)

*) C1橋は24時間の頻度測定結果より算出している。

本調査で実測された結果の概要を以下に示す。

①デッキプレート下面側の等価応力範囲について

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

②トラフリブ側の等価応力範囲について

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

③その他

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

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

5.4.2 交通実態に関するデータと疲労発生の可能性の相関

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

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

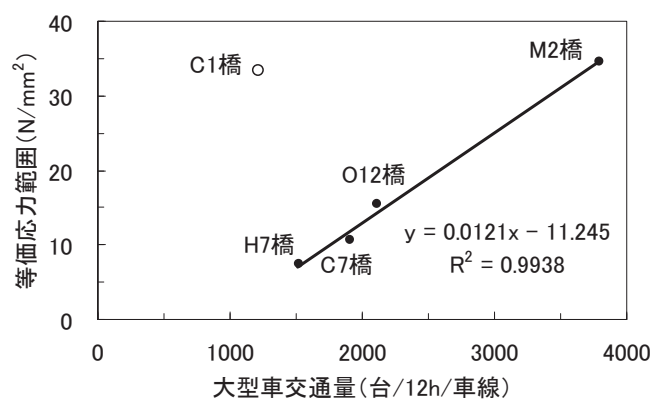
等価応力範囲には大型車交通量だけでなく、輪荷重載荷位置や荷重強度（車輛重量）のばらつき、1 車線に交通荷重が集中する場合の影響なども関係してくる。本来はこれらの詳細な条件も考慮することで各橋梁の疲労損傷の発生傾向と実測される等価応力範囲はより厳密に評価でき、相関が明確に現れる可能性もあるが本検討の段階では明確な対応は示すことができなかった。

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

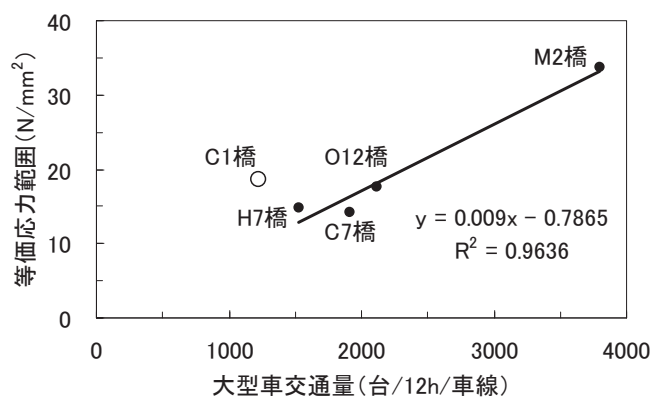
一方で、等価応力範囲の大小や交通荷重の履歴が、鋼床版の疲労耐久性と密接な関係があることは強く疑われることから、鋼床版の合理的な維持管理のためには引き続きこれらの疲労耐久性と関わりの強い事象とき裂損傷発生の可能性の大小についての知見を蓄積していくことが重要と考えられる。

表 5-4.2 交通センサデータと等価応力範囲

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



(a) デッキプレート側



(b) トラフリブ側

図 5-4.1 大型車累積台数と等価応力範囲

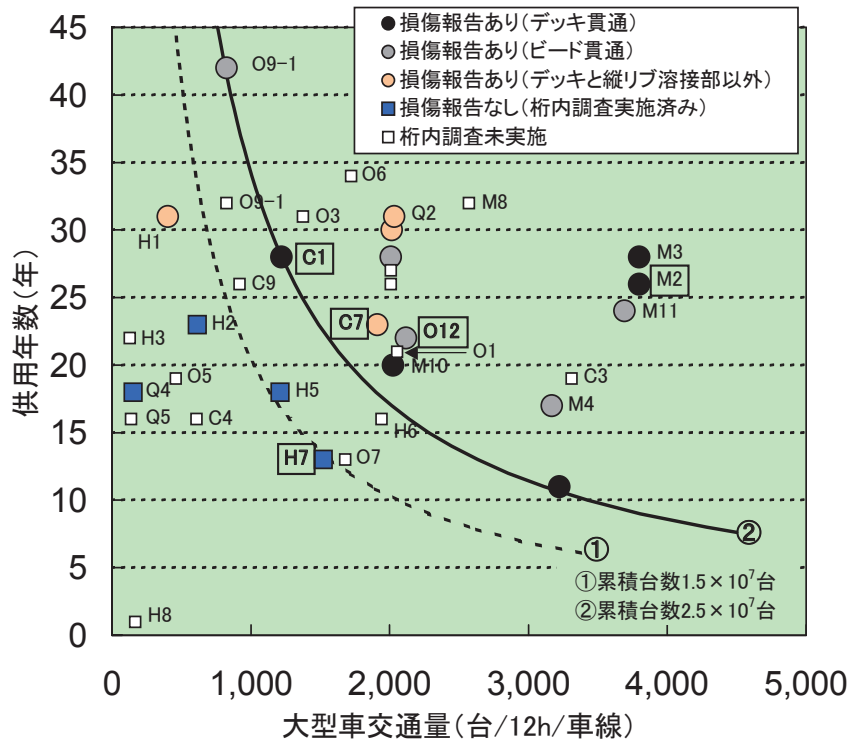


図 5.4-2 大型車交通量、供用年数と損傷の有無