

淀川大橋横桁および縦桁端部の実働応力計測

Stress Measurements on Transverse Beams and Longitudinal Beams End of the Yodogawa Bridge

○ 一ノ瀬 伯子^{ルイザ*} 夏秋 義広^{**} 増田 寛四郎^{***} 坂野 昌弘^{****}
 Luiza H. ICHINOSE Yoshihiro NATSUAKI Kanshirou MASUDA Masahiro SAKANO

ABSTRACT As a result from a series of site measurements and inspections carried out with the objective of evaluating the structural health on an 85 years old truss bridge, repair works were executed at locations having inadequate structural details, defective welding or cracks. After detailed inspections at the longitudinal-to-transverse beam connections, dynamic loading test and stress measurement under traffic load were carried out to investigate the structural behavior of the transverse beams and longitudinal beam ends. Considerations on fatigue life were also made.

Keywords: 動的載荷試験, 応力頻度測定, 疲労寿命, 縦桁・横桁接合部, トラス橋
Dynamic loading test, stress measurement, fatigue life, longitudinal-to-transverse beam connection, truss bridge

1. はじめに

1926年に架設された淀川大橋は、幅員20.8m、橋長723.3mの30径間の橋梁である。2005年の調査では、本橋梁の交通量は20,000台/12時間を超え、大型車混入率が12.7%であることが記録されている。供用80年を超えた淀川大橋の長寿命化を目的として、平成22年から「高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究プロジェクト」の一環として一連の現地調査^{1)~7)}を実施してきた。

淀川大橋の中央部の6径間は、高さ4.0m、支間32.918mの上路式鋼単純トラス橋で構成され、その床組の縦桁と横桁の接合部に複数のき裂が過去の調査で確認されており、緊急性の高い箇所については平成24年度に補修工事が実施された。その年に中央部の6径間のトラス橋を対象として横桁と縦桁の接合部の全箇所でき亀裂の調査が実施された。調査対象となった上路式鋼単純トラス橋の側面図および断面図を図-1に示す。

本稿は中央部の6径間の上路式鋼単純トラス橋の床組を構成する縦桁と横桁の挙動に着目し

て実施した動的載荷試験および応力頻度測定について報告するものである。

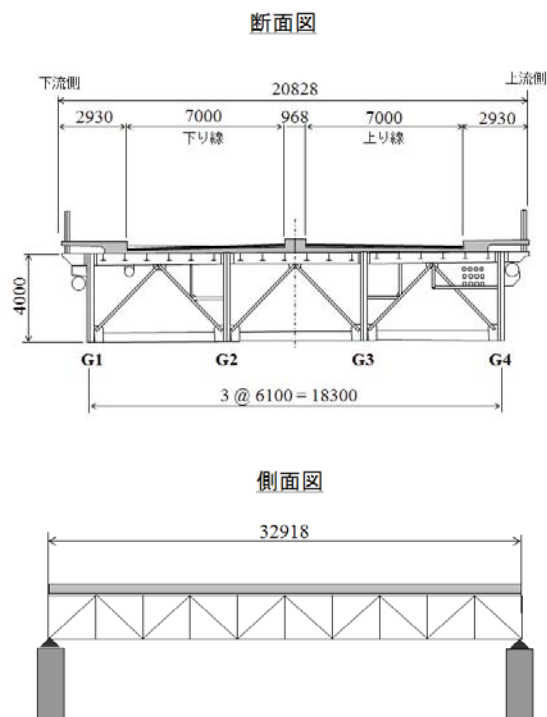


図-1 単純トラス橋

*修士 (工学) (社) 日本非破壊検査工業会 (〒101-0047 東京都千代田区内神田 2-8-1 3F)
 **工博 (社) 日本橋梁建設協会 (〒105-0003 東京都港区西新橋 1-6-11 9F) 特別会員
 ***工修 国土交通省近畿地方整備局 (〒536-0004 大阪市城東区今福西 2-12-35)
 ****工博 関西大学環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35) 第2種正会員

2. 測定位置

平成 24 年度に実施された縦桁および横桁の補修工事の際、中央部の 6 径間の単純トラスで全ての縦桁および横桁の交差部を対象に、横桁側ウェブ上下縁の表裏両面に対して点検を行い、き裂の調査を実施した。き裂の調査結果に基づいて、応力測定を実施する箇所を選定した。

図-2 に選定された応力測定範囲を、選定された 2 径間 P13-P14 径間および P14-P15 径間の磁粉探傷試験結果と応力測定箇所を図-3 に示す。測定場所として、磁粉探傷試験の結果「き

裂無し」と判定された P13-P14 径間の B9 横桁と、1 箇所では長さ 10mm のき裂が確認された P14-P15 径間の B8 横桁を選定した。縦桁については、P13-P14 径間の P14 橋脚上の端横桁に接合され、レーン位置から輪荷重直下となる縦桁を選定した。

P13-P14 径間の G3-G4 主構トラス間の横桁ではき裂が検出されなかった。ここでは過去に大掛かりな補修工事が実施されたため、これらの箇所の横桁にき裂が発見されなかったものと思われる。

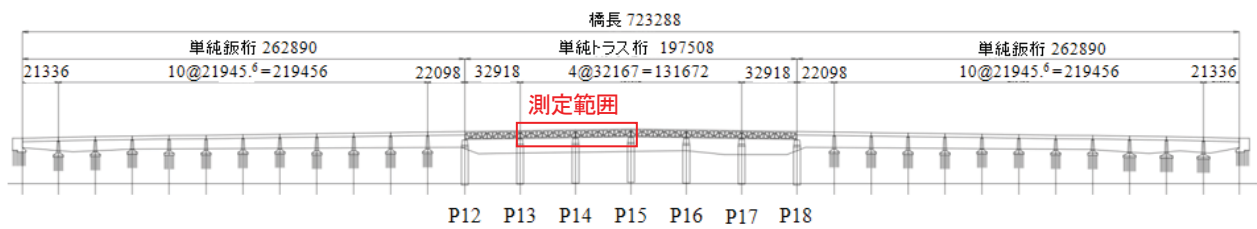


図-2 応力測定範囲

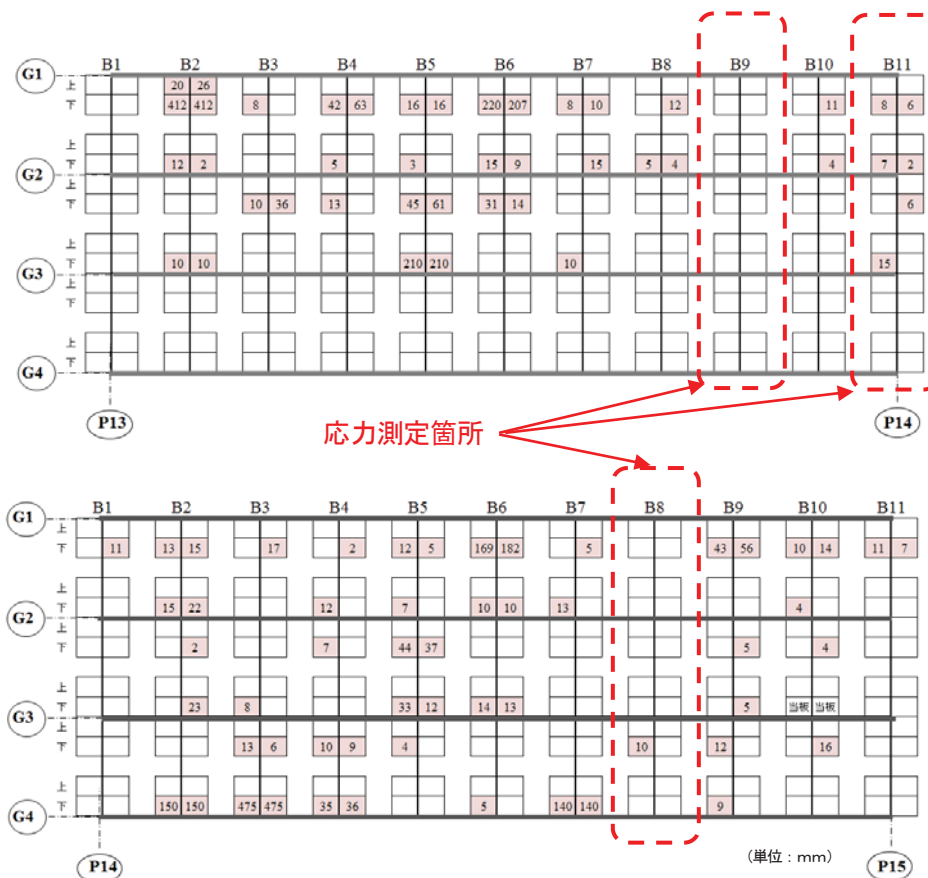


図-3 磁粉探傷試験結果—数字はき裂長 (P13-P14 径間, P14-P15 径間)

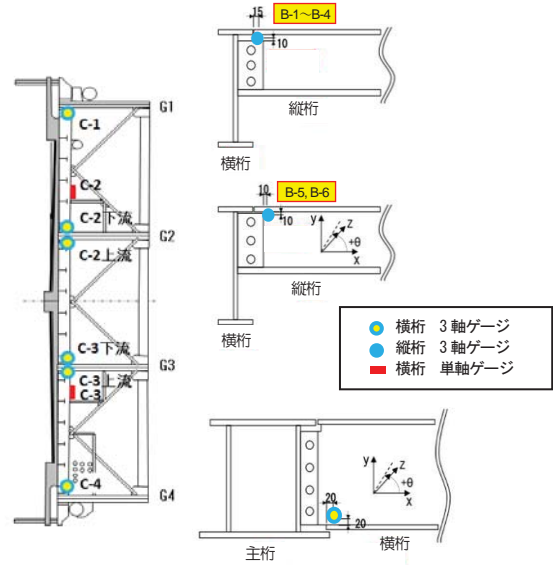
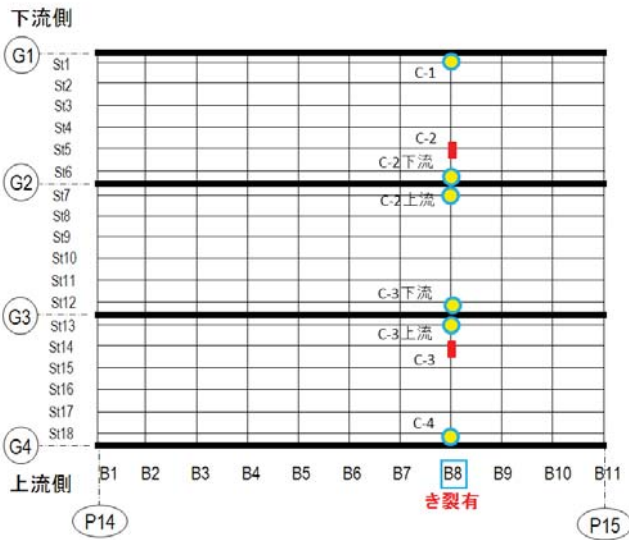
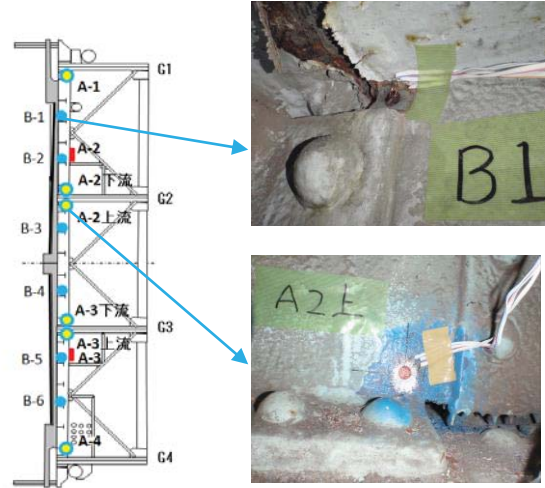
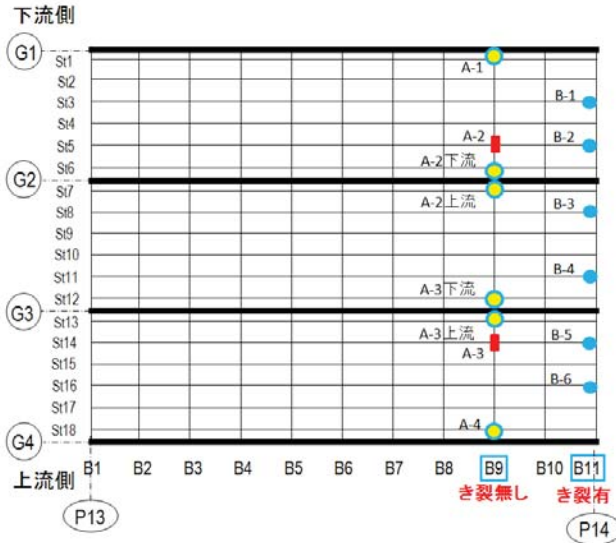


図-4 応力測定位置

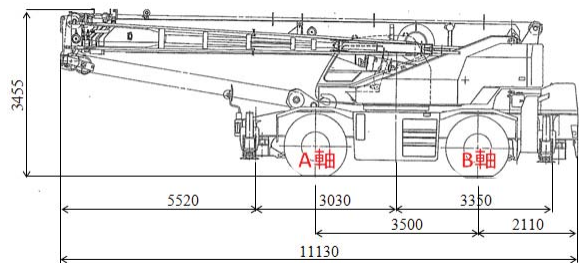
3. 载荷試験および応力頻度測定

平成 24 年度に実施した横桁・縦桁の接合部の調査を踏まえて、比較的健全な横桁および縦桁を選定し応力測定を行った。図-4 にひずみゲージによる応力測定位置を示す。

3.1 動的载荷試験

動的载荷試験は図-5 に示す試験車両を図-6 の通り、走行車線および追越し車線を走行させ(約 40km/h)、ひずみゲージによる応力測定を実施した。動的载荷試験は一般車両が少なく、気温変化が比較的小さい夜間に実施した。

载荷試験車両の走行ルートを図-7 に示す。



	A軸	B軸	計
軸重 (自重+乗員)	14180kg	12670kg	27430kg

図-5 試験車

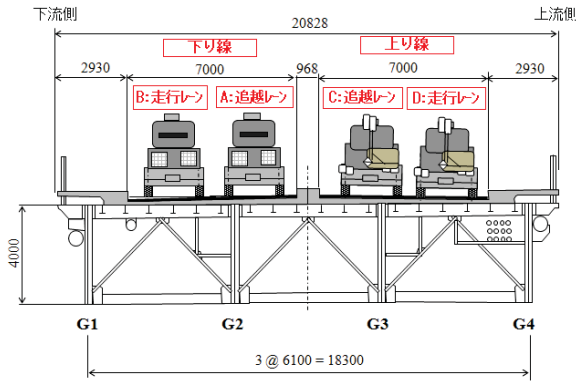


図-6 荷重位置

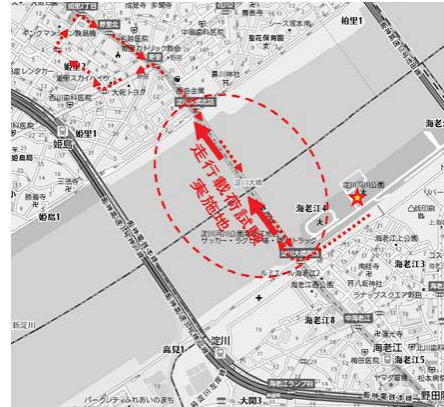


図-7 荷重試験車両走行ルート

3. 2 応力頻度測定

動的荷重試験を実施した後、「応力頻度測定要領（案）」⁸⁾に基づいて、一般車両供用下での平日 72 時間の応力測定を実施し、応力頻度分析を行った。

4. 計測結果および考察

4. 1 動的荷重試験

動的荷重試験で計測された縦桁・横桁の最大・最小応力度とその発生位置をそれぞれ図-8 および図-9 に示す。

走行試験の測定結果から、図-8 に示す通り、

縦桁での応力度の最大値は、下り線の追越し車線走行時において、輪荷重直下に位置する St8 縦桁が B11 横桁と接合する桁端部側で観測された ($\sigma=51.6\text{N/mm}^2$)。一方、応力度の最小値は下り線の走行車線通過時にやはり輪荷重直下の St5 で発生した ($\sigma=-21.4\text{N/mm}^2$)。同じような個所で+-正反対の応力が発生した理由については、図-10 に示す応力波形で明らかのように、車輪の通過に伴いせん断の向きが逆転するためと考えられる。

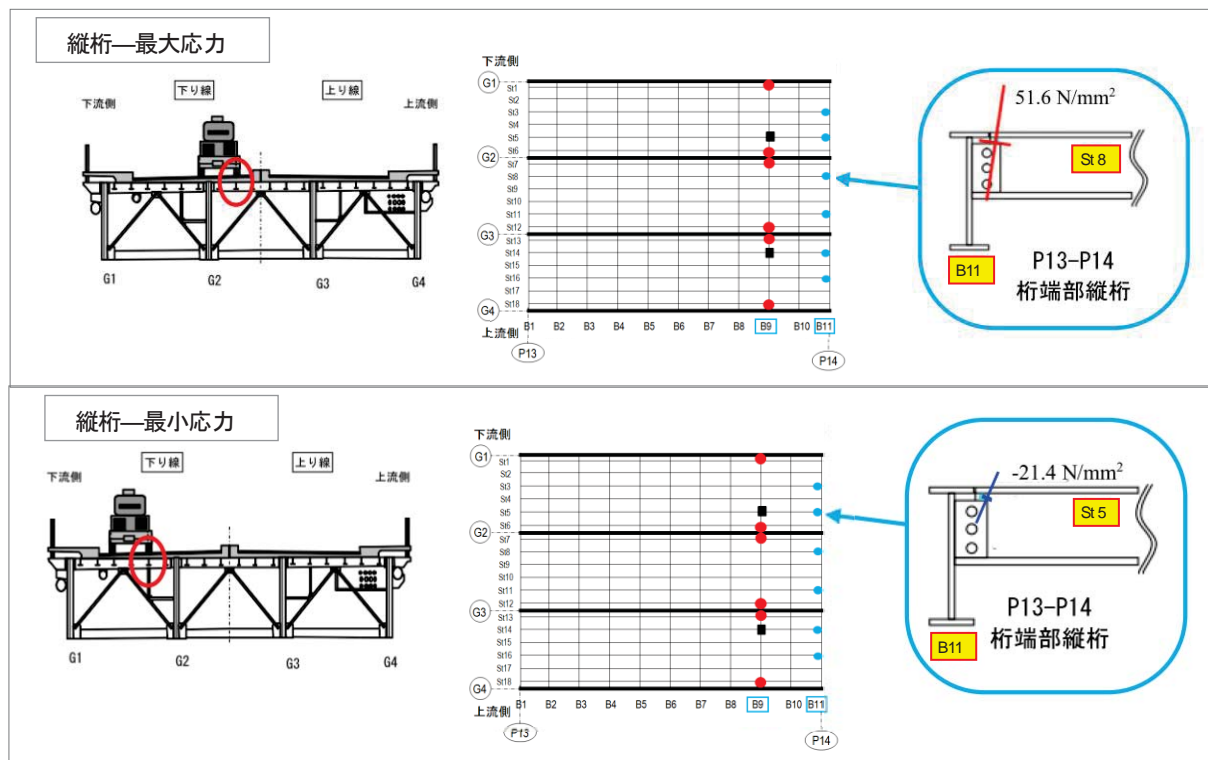


図-8 動的荷重試験結果の一例（縦桁応力最大・最小）

全体的には、輪荷重直下の縦桁が最も大きい応力を示し、走行車線については、上り線より下り線走行、走行車線より追越し車線走行が大きい応力が発生する傾向が見られた。

横桁については、最大応力は、上り線の走行車線走行時において、B8横桁のG3トラス上

流側の接合部付近で $\sigma=15.5\text{N/mm}^2$ と比較的大きな変動応力が観測された(図-9)。この箇所では、ゲージ貼付け位置の裏面に10mmのき裂が確認されており、これに関係するものと推定される。

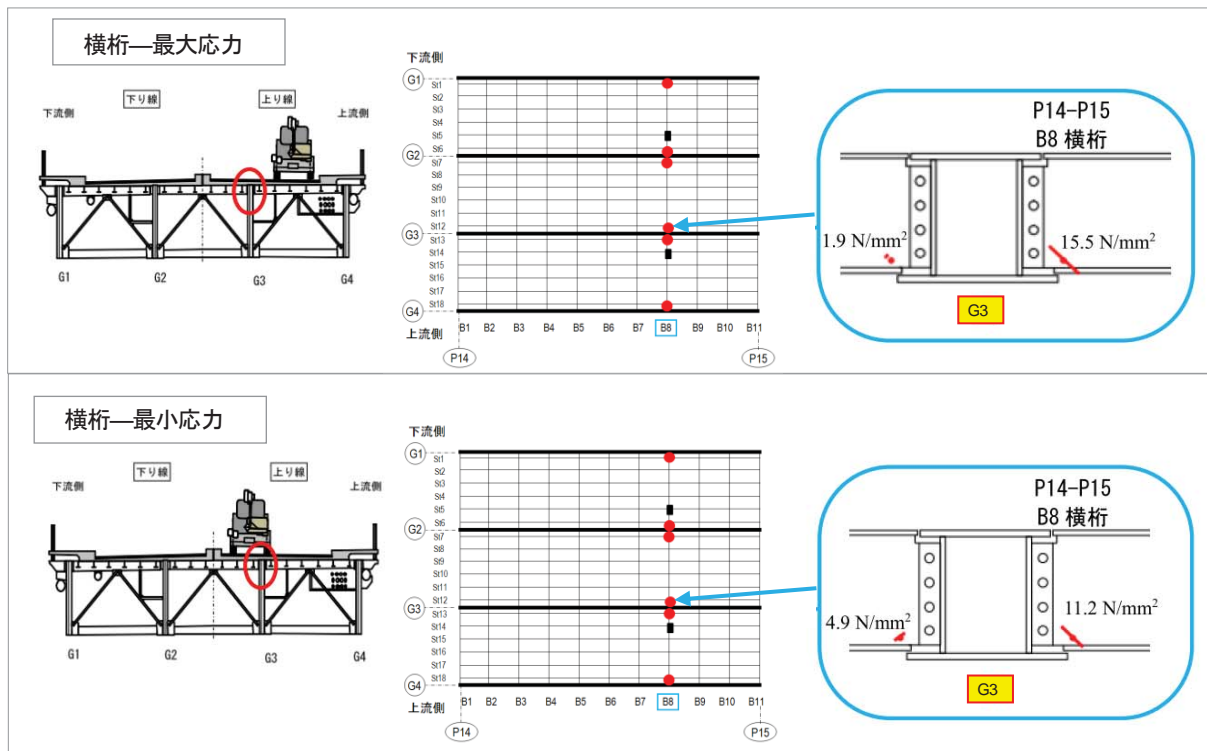


図-9 動的載荷試験結果の一例(横桁応力最大・最小)

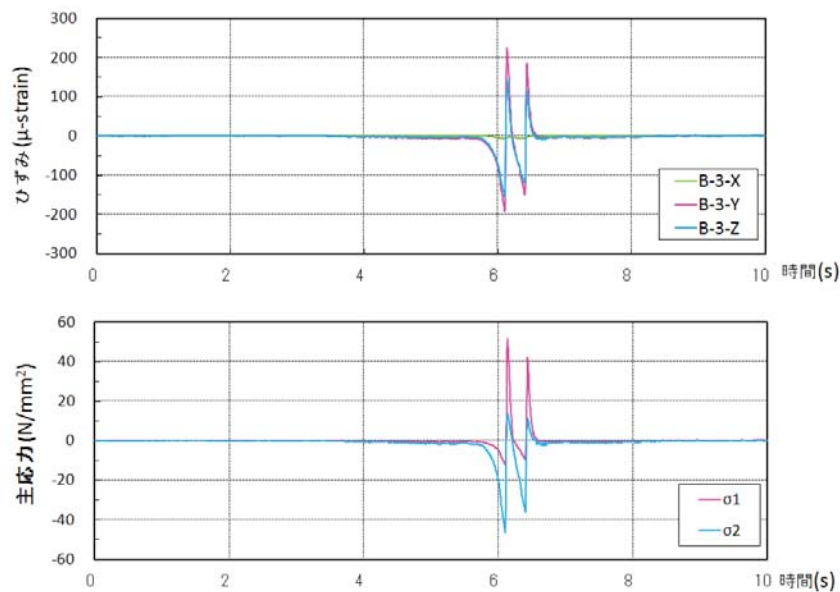


図-10 動的応力測定結果の一例(追越し車線走行時, St8 縦桁)

4. 2 応力頻度測定

応力頻度測定で観測された活荷重応力度は低く、その多くは疲労の打ち切り限界以下であった。

個々の縦桁・横桁において、一般車両通行時の72時間計測を行った結果の例を図-11 および図-12に示す。図は、ピークバレー法による分布図を示すものである。図-11は横桁の測定点で最大応力を示したC-3上流ゲージの応力分布であり、図-12は縦桁中で最大応力度が観測されたB-3ゲージのy方向の応力分布である。縦桁と桁端部横桁の接合部に位置するB-3の測定点では、図-10にも示されているように応力度が正負交番している。

72時間の応力頻度測定結果を基に、各測定点での疲労寿命を算出し、その結果を表-1に示す。疲労寿命を算出する際、横桁端部については、

き裂発生部の母材の切欠きがほぼ直角であるためH'等級を仮定した。その結果、B8横桁では疲労寿命が最短でも476年となり、き裂発生の可能性がほとんどない結果となった。実際にはき裂が生じていることから、さらに強度が低い可能性も考えられる。一方、縦桁端部では、上フランジ打ち切り部がフィレットを有する母材部であるため、強度等級Dを仮定して疲労寿命の計算⁹⁾を行った結果、疲労寿命が最短27年(St8縦桁)となった。こちらは、実際にはき裂は発見されていないことから、応力が大きくなったのは、床版の損傷後であり、それほど年数が経っていない可能性も考えられる。

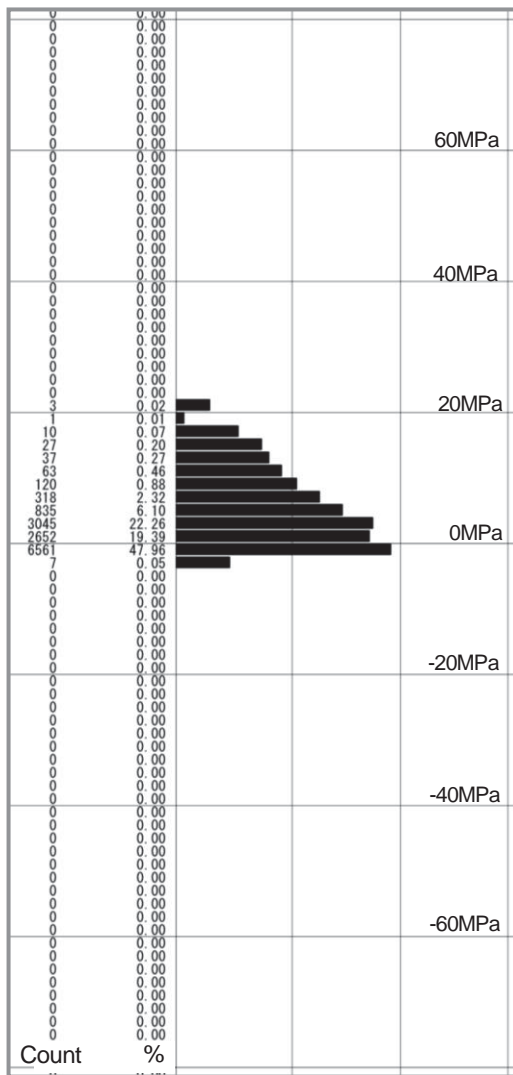


図-11 ピークバレー法による応力分布図 (C-3上-Z)

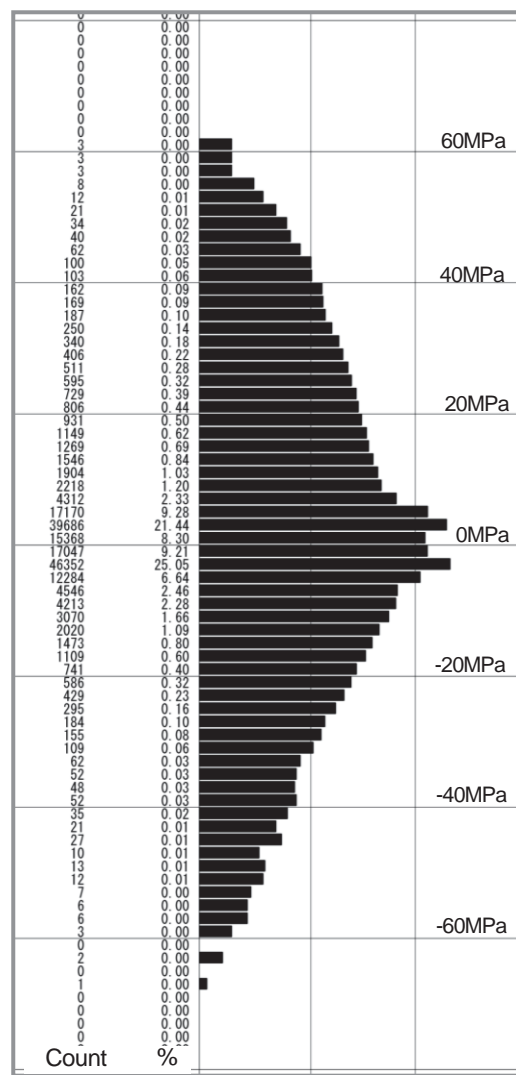


図-12 ピークバレー法による応力分布図 (B-3-Y)

表 1 応力頻度測定結果および疲労寿命の評価

支間位置	測点	部材箇所	疲労強度			応力頻度測定					
			等級区分	応力範囲の打切限界 (N/mm ²)		レインフロー法 応力範囲 (N/mm ²)	ピークバレー法 応力範囲 (N/mm ²)		疲労寿命(年)	等価応力 範囲 (N/mm ²)	
				一定振幅	変動振幅	最大応力範囲	最大応力範囲		変動振幅	(変動振幅)	
				$\Delta\sigma_{ce}$	$\Delta\sigma_{ve}$	$\Delta\sigma_{max}$	$+\sigma_{max}$	$-\sigma_{max}$	(年)	$\Delta\sigma_{eq}$	
P13 P14	A-1-X	B9 横桁	H'	16	7	8	8	-2	866866	8.0	
	A-1-Y		H'	16	7	8	8	-2	66682	8.0	
	A-1-Z		H'	16	7	16	14	-4	2607	9.9	
	A-2上-X		H'	16	7	12	12	-2	11328	8.6	
	A-2上-Y		H'	16	7	6	2	-4	∞	----	
	A-2上-Z		H'	16	7	14	14	-2	2947	8.7	
	A-2下-X		H'	16	7	6	4	-2	∞	----	
	A-2下-Y		H'	16	7	6	4	-2	∞	----	
	A-2下-Z		H'	16	7	0	0	0	∞	----	
	A-3上-X		H'	16	7	8	6	-2	866866	8.0	
	A-3上-Y		H'	16	7	4	2	-2	∞	----	
	A-3上-Z		H'	16	7	14	12	-2	6973	8.7	
	A-3下-X		H'	16	7	10	8	-2	126377	9.6	
	A-3下-Y		H'	16	7	6	4	-4	∞	----	
	A-3下-Z	H'	16	7	4	2	-4	∞	----		
	A-4-X	H'	16	7	6	6	-2	∞	----		
	A-4-Y	H'	16	7	4	2	-2	∞	----		
	A-4-Z	H'	16	7	10	2	-10	43702	8.5		
	B-1-X	D	St3 縦桁	D	84	39	8	2	-8	∞	----
	B-1-Y			D	84	39	24	14	-12	∞	----
	B-1-Z			D	84	39	24	8	-18	∞	----
	B-2-X	D	St5 縦桁	D	84	39	4	2	-4	∞	----
	B-2-Z			D	84	39	42	16	-26	162685	40.7
	B-3-X	D	St8 縦桁	D	84	39	6	2	-4	∞	----
	B-3-Y			D	84	39	130	62	-68	27	57.8
	B-3-Z			D	84	39	100	48	-54	91	52.1
	B-4-X	D	St11 縦桁	D	84	39	6	2	-6	∞	----
	B-4-Y			D	84	39	22	10	-14	∞	----
B-4-Z	D			84	39	18	4	-16	∞	----	
B-5-X	D	St14 縦桁	D	84	39	6	2	-6	∞	----	
B-5-Y			D	84	39	8	2	-6	∞	----	
B-5-Z			D	84	39	12	5	-10	∞	----	
B-6-X	D	St16 縦桁	D	84	39	10	6	-8	∞	----	
B-6-Y			D	84	39	18	8	-10	∞	----	
B-6-Z			D	84	39	20	10	-12	∞	----	
P14 P15	C-1-X	横桁 B8	H'	16	7	6	6	-2	∞	----	
	C-1-Y		H'	16	7	12	10	-2	10282	8.5	
	C-1-Z		H'	16	7	16	14	-4	2010	10.1	
	C-2上-X		H'	16	7	14	14	-2	3218	9.2	
	C-2上-Y		H'	16	7	4	4	-2	∞	----	
	C-2上-Z		H'	16	7	16	14	-2	1780	9.7	
	C-2下-X		H'	16	7	4	4	-2	∞	----	
	C-2下-Y		H'	16	7	6	6	-2	∞	----	
	C-2下-Z		H'	16	7	0	0	-2	∞	----	
	C-3上-X		H'	16	7	12	10	-2	5364	8.7	
	C-3上-Y		H'	16	7	8	6	-2	123838	8.0	
	C-3上-Z		H'	16	7	24	22	-4	476	10.8	
	C-3下-X		H'	16	7	8	6	-2	289956	8.0	
	C-3下-Y		H'	16	7	4	4	-2	∞	----	
	C-3下-Z		H'	16	7	4	2	-4	∞	----	
	C-4-X		H'	16	7	8	6	-2	433433	8.0	
	C-4-Y		H'	16	7	12	10	-4	16234	8.7	
	C-4-Z		H'	16	7	6	2	-4	∞	----	

5. 結論

動的載荷試験では、端横桁と接合された縦桁端部の中、St8 縦桁で最大応力が観測された。

St8 縦桁では、せん断方向に最大応力を示し、その値が正負同様に交番することが確認された。同様な傾向は応力頻度測定でも見られた。全体

的には、輪荷重直下の縦桁が最も大きい応力を示し、走行車線については、上り線より下り線走行、走行車線より追越し車線走行が大きい応力が発生する傾向が見られた。

応力頻度測定から推定した横桁端部の疲労寿命は、H'等級と仮定した場合、最短でも476年となり、疲労損傷の可能性がほとんどない結果となった。実際にはき裂が発生していることから、切欠部の疲労強度がさらに低い可能性も考えられる。

一方、強度等級Dとして算出した縦桁端部の疲労寿命は最短27年となった。今のところき裂が発見されていないが、この結果から今後、経過観察や場合によって予防保全等の対応が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 坂野：高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究プロジェクト，第66回年次学術講演会，CS7-004，2011.9
- 2) 夏秋，坂野，増田，河野：淀川大橋の腐食状況調査，鋼構造年次論文報告集第19巻，pp. 651-656，2011.11
- 3) 河野，増田，坂野，夏秋：淀川大橋補修溶接部の非破壊検査および成分分析，鋼構造年次論文報告集第19巻，pp. 657-664，2011.11
- 4) Ichinose，増田，夏秋，坂野：淀川大橋の動的載荷試験および応力頻度測定，鋼構造年次論文報告集第19巻，pp. 665-670，2011.11
- 5) 森本，河野，増田，坂野：淀川大橋の補修・補強工事に適用した非破壊検査，鋼構造年次論文報告集第20巻，pp. 663-670，2012.11
- 6) 一ノ瀬，夏秋，増田，坂野：淀川大橋補修・補強後の動的載荷試験および応力頻度測定，鋼構造年次論文報告集第20巻，pp. 671-678，2012.11
- 7) 廣瀬，増田，坂野：高齢化長大橋の補修・補強設計，鋼構造年次論文報告集第20巻，pp. 679-684，2012.11
- 8) (財)道路保全技術センター：応力頻度測定要領(案)，1996.3
- 9) (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，2002.3