

淀川大橋の動的載荷試験および応力頻度測定 Dynamic Loading Test and Stress Measurements for the Yodogawa Bridge

報告

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

ABSTRACT A series of studies and investigations were carried out with the objective of obtaining information concerning the evaluation and diagnosis of structural health conditions of aging bridges. Site measurements and inspections were carried out on an 85 years old truss bridge, at locations potentially prone to fatigue cracks, such as members repaired by steel plates welded to the original cross section. The present report focuses on the dynamic loading test and stress measurement under traffic load. Considerations on fatigue life were also made.

Keywords: 動的載荷試験, 応力頻度測定, 疲労寿命, トラス橋

Dynamic loading test, stress measurement, fatigue, truss bridge

1. はじめに

国土交通省大阪国道事務所管内には、昭和初期に建設され、既に 80 年以上供用され続けて高齢化を迎えた橋梁が数橋存在する。これら橋梁の材料および構造特性は、昭和 40 年代の団塊の世代の橋梁群とは異なっており、しかも記録がほとんど残っていない。これらの橋梁に対しても長寿命化対策を進めていく必要がある。

本報告は、今後の長寿命化を目指した維持管理方針案を策定することを目的として新都市社会技術融合創造研究会の活動の一環として立ち上げられた「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」の活動^{1)~7)}の一部を報告するものである。

昭和初期に建設され、約 85 年間供用されている淀川大橋(写真 1)のトラス橋部において、非破壊検査、載荷試験等の一連の試験を実施し、各部材の健全性を評価・診断を行うことによって、橋梁全体の劣化シナリオを作成するための資料を収集することにした。

本報告は一連の調査・検討の内、動的載荷試験および応力頻度測定について報告する。



写真 1 対象橋梁の外見

2. 試験および応力測定法

2. 1 測定位置の選定

対象橋梁は 1926 年に架設されており、30 径間で構成される、幅員 20.8m、橋長 723.3m の橋梁群である。中央部 6 径間は上路式鋼単純トラスである。2005 年の調査では、本橋梁の交通量は 20,000 台/12 時間を超え、大型混入率が 12.7% の重交通の通過を示しており、供用されている期間中、複数の補修・補強工事が行われてきた。

応力測定を実施した上路式鋼単純トラスの寸法を図 1 に示す。

*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 (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

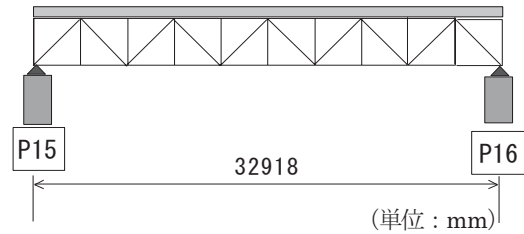
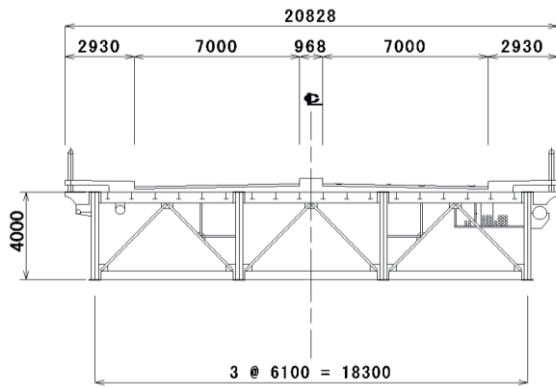


図1 一般図

過去に行われた補修・補強を中心に、疲労弱点部（主構ガセット、主構の補修・補強部、横桁、縦桁）の目視点検を行い、応力集中の疑いがある箇所を測定位置として選定した。選定した測定位置（A部～K部）（図2～4）で応力集中およびき裂などの疑いがある箇所にひずみゲージを取付け、動的载荷試験および応力頻度測定を実施した。

写真2に、補修・補強部の一例（A部）を示す。写真に示すトラスの格点部は、下弦材 L8・L9、鋼板による断面補強を有する斜材 D8、ガセットとの取合い部で当板補強された鉛直材 V9、部材を追加された斜材 D9 により構成されている。この状況は複雑な応力状態を発生させ、応力集中の原因になると思われる。

断面方向の測定位置は以下の図2に示す。図3には、主構トラス G1 および G4 の測定位置を示しており、図4には、床組の測定位置を示す。

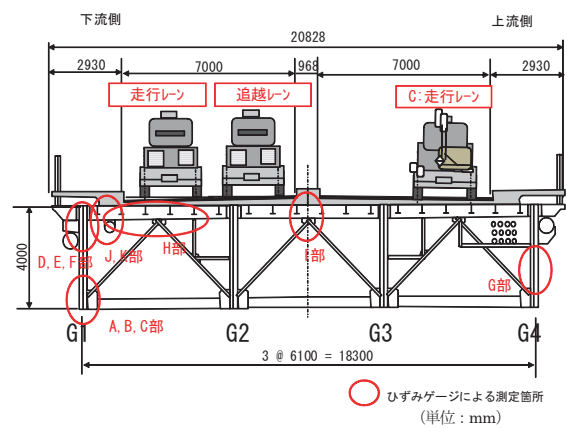


図2 測定位置および载荷位置

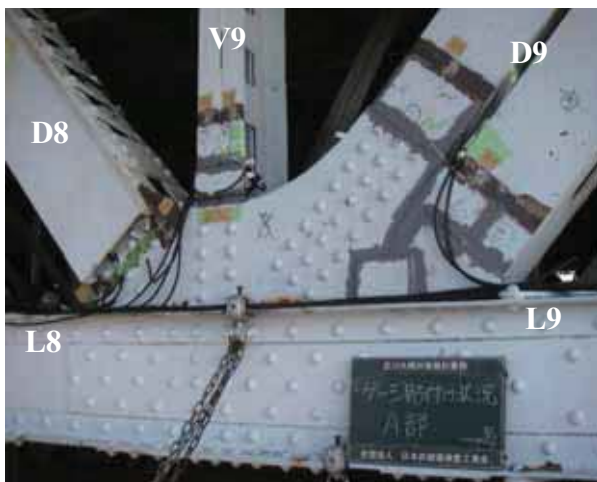


図3 主構トラス測定位置

写真2 補強部の一例（G1 トラス下流側—A部）

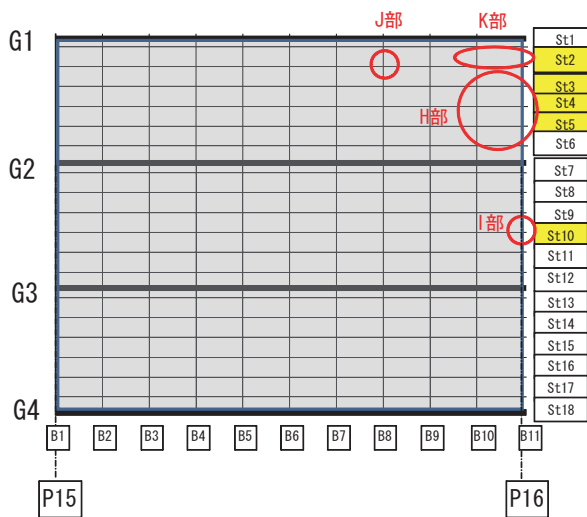


図4 床組測定位置

合計 52 枚の単軸ゲージ(FLA-3-11-1LT), 4 枚の 3 軸ゲージ(FRA-3-11-1LT)を測定位置 (A 部~K 部) の計測箇所へ貼付け、ひずみの測定を行った。き裂の疑いがある箇所では、3 軸ゲージを使用した。表-1 に応力測定実施箇所とそれぞれのゲージの種類および枚数を記す。

図 5 に主構トラス G1 (下流側) のゲージ取付け位置をゲージ貼付け位置の一例として示す。斜材 D9 の両端に 3 軸ゲージを設置した。

床組みについては、図 6 に横桁 B8 の一例を示す。図に示す箇所では、横桁 B8 の下フランジが損傷を受けているため、当板を溶接することによって、補強されている。

表-1 応力測定実施箇所

測定位置	ひずみゲージ枚数	部材
A部	単軸@10枚, 3軸@1枚	斜材 (D8, D9) ・ 鉛直材 (V9) (下弦材側)
B部	単軸@12枚	斜材 (D7) ・ 鉛直材 (V7) (下弦材側)
C部	単軸@2枚	鉛直材 (V10) (下弦材側)
D部	単軸@2枚	斜材 (D8) (上弦材側)
E部	単軸@4枚	鉛直材 (V9) (上弦材側)
F部	単軸@1枚, 3軸@1枚	斜材 (D9) (下弦材側)
G部	単軸@1枚	鉛直材 (V8) (下弦材側 ・ G4桁)
H部	単軸@10枚	縦桁 (St2~St5)
I部	3軸@1枚	縦桁 (St10)
J部	単軸@7枚, 3軸@1枚	横桁 (B8終点側)
K部	単軸@2枚	横桁 (B8起点側)

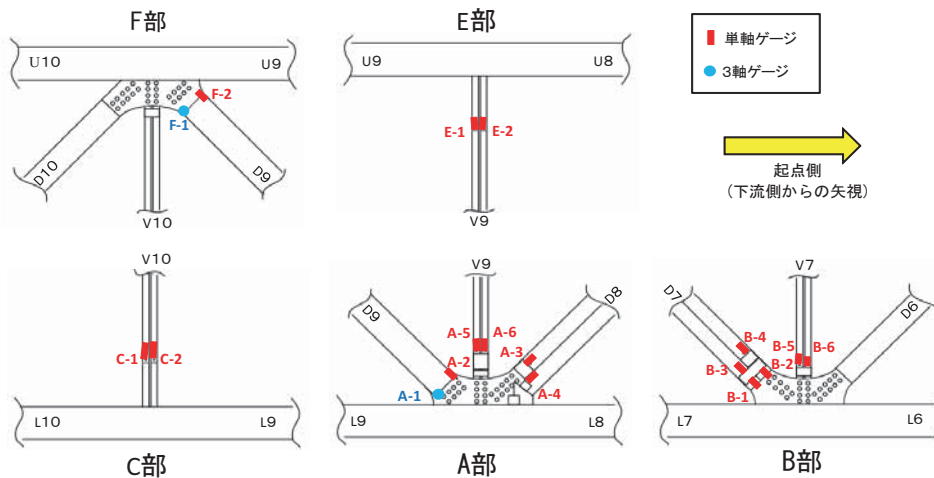


図5 ゲージ取付け位置の一例 (主構トラス G1-下流側)

さらに、その下フランジには、配管を支える金具が取り付けられている。目視点検で、横桁 B8 の腹板 (St2 下フランジ付近) にき裂が確認された。

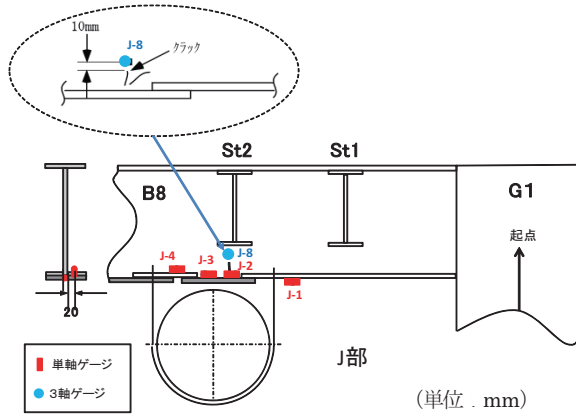
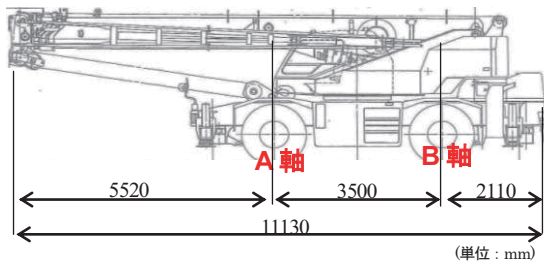


図6 ゲージ貼付位置一例 (横桁 B8)



	A軸	B軸	合計
軸重 (自重+乗員)	13250kg	13245kg	26495kg

図7 試験車寸法および軸重

2. 2 動的載荷試験

動的載荷試験は図7に示す試験車両を図2に示す位置を走行させ (約 50km/h), ひずみゲージによる応力測定を行った。

動的載荷試験は一般車両が少なく, また気温変化の小さい時間帯である夜間を実施した。

2. 3 応力頻度測定

応力頻度測定は耐荷力照査, 疲労照査を目的として実施した。耐荷力照査については, 「応力頻度測定要領 (案)」⁸⁾に基づいて, 一般車両通行時の 72 時間の記録データより応力頻度分析のピークバレー法を用いて評価した。

疲労照査については, 同条件下 (一般車両通行時, 72 時間記録) のデータよりレインフロー法を用いて累積疲労被害則 (マイナー則) により疲労寿命を疲労設計曲線⁹⁾を用いて評価した。動的載荷試験および応力頻度測定については 0.005 s 毎にデータのサンプリングを行った。計測されたひずみは, 新・旧部材と関係なく, 一定の弾性係数, 200GPa, を用いて応力に換算した。

3. 計測結果および考察

3. 1 動的載荷試験

動的載荷試験の結果の一部を表-2 に記す。主構トラス部材については, 斜材および鉛直材の最大値は, とともに試験車下り走行レーン走行時に測定された (斜材 D9, $\sigma=13.5\text{MPa}$; 鉛直材 V9, $\sigma=10.7\text{MPa}$)。

床組については, 試験車下り走行レーン走行時に最大応力が測定された (縦桁 St4, $\sigma=6.2\text{MPa}$; 横桁 B8, $\sigma=14.4\text{MPa}$)。

表-2 動的載荷試験および応力頻度測定結果

		動的載荷試験 (MPa)	応力頻度測定 (MPa)	疲労寿命 (年) (等級区分H')
斜材	D9	(引張)	13.5	1001
		(圧縮)	-0.6	
鉛直材	V9	(引張)	9.1	∞
		(圧縮)	-6.7	
縦桁	St4	(引張)	6.2	4373
		(圧縮)	-1.1	
横桁	B8	(引張)	14.4	522
		(圧縮)	-2.5	

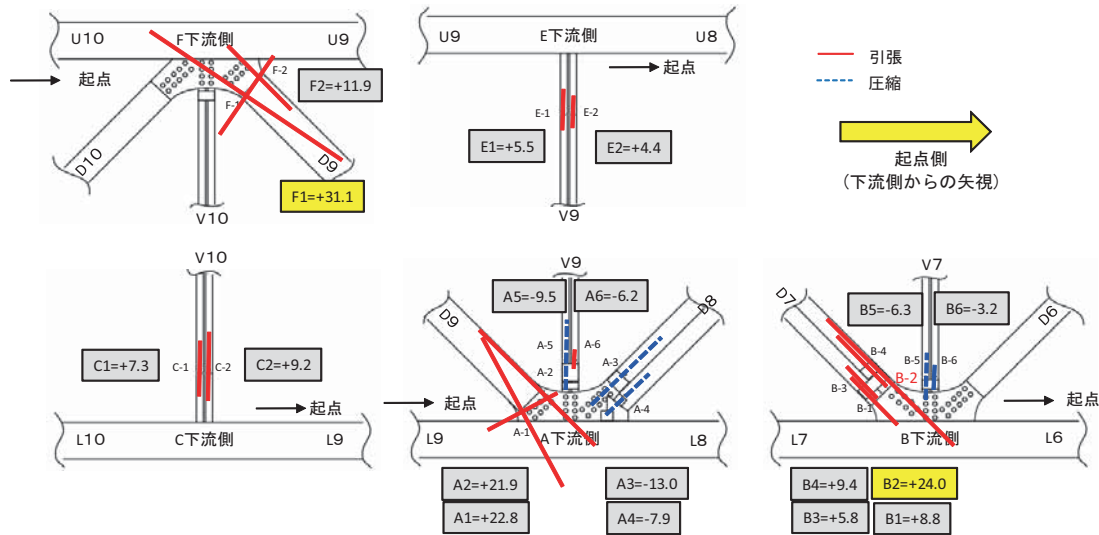


図8 応力頻度測定結果の一例 (トラス, 最大応力度)

3.2 応力頻度測定

個々の部材において、一般車両通行時の72時間計測を行った結果の一例を図8に示す。図8は、今回の計測で測定された最大応力発生時の応力を示し、最大応力は、斜材D9上弦材側 ($\sigma = 31.1\text{MPa}$, 引張) および D7下弦材側 ($\sigma = 24.0\text{MPa}$, 引張) で測定された。鉛直材の最大値については、鉛直材V9で最大引張応力, $\sigma = 19.8\text{MPa}$ および最大圧縮応力 $\sigma = -12.88\text{MPa}$ が発生した。

斜材D9の上弦材側 (F1) および下弦材側 (A1) では、3軸ひずみゲージにより求めた主応力を示している。これら主応力は部材軸と平行ではなく、き裂が生ずる可能性が高い方向を示している。

床組では、図9に示す通り、添加物を支えている横桁B8の補強板溶接部近傍 (測定点J3) で $\sigma = 31.3\text{MPa}$ (引張) が発生し、縦桁についてはSt4で最大応力 $\sigma = 21.0\text{MPa}$ (引張) が計測された。St2下フランジ付近のき裂先端では、主応力がき裂と同様な方向に発生していることが分かる。

図10および図11は、それぞれ、斜材D9 (ゲージF1) および横桁当板補強部 (ゲージJ3) の最大応力が発生した時の波形を示す。

図11では、通過した車両の車軸が2つの大きなピークとしてグラフに現れている。床組の一部である横桁は、輪荷重に敏感であることが分かる。一方、主構トラスでは、輪荷重は分散して現れる (図10)。

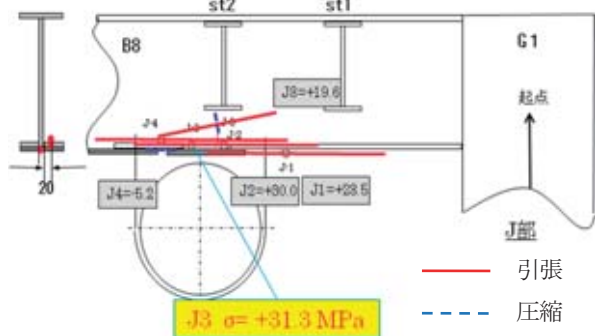


図9 応力頻度測定結果の一例 (横桁補強部, 最大応力度)

一般車両下で実施した72時間の応力測定による応力頻度は、図12・13に示すようなヒストグラムで表し、一般車両による応力の最大・最初値、応力振幅などを求める。図12・13は測定点J3のヒストグラムを示す。

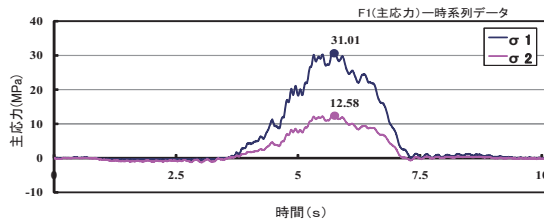


図10 応力頻度測定結果の一例
最大応力 (斜材 D9, ゲージ F1)

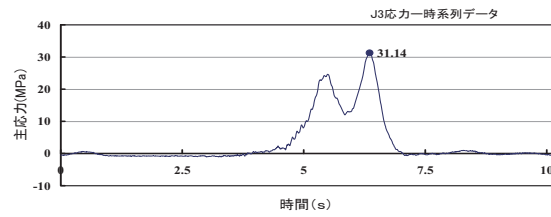


図11 応力頻度測定結果の一例
最大応力 (縦桁当板部, ゲージ J3)

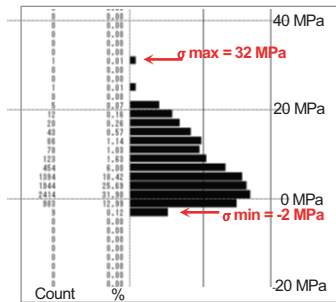


図12 ピーク・バレー法による応力頻度分布図
(測定点 J3)

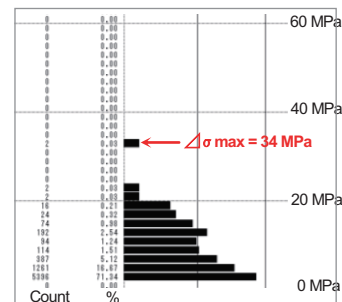


図13 レインフロー法による応力頻度分布図
(測定点 J3)

相対比較のために、測定データを基に、最も低い疲労等級区分の疲労曲線 (H') を用いて疲労寿命を算出した。個々の部材の疲労寿命は表-2 に示す通りであった。最も短い疲労寿命は、B8 横桁の補強板溶接部近傍 (図9) の522年であった。

4. 結論

過去に行われた補修・補強部を中心に、主構トラス部材および床組の目視検査を行い、応力集中が懸念される箇所での応力測定を実施した。試験車走行による動的載荷試験および応力頻度測定を行った結果、選定した部材の内、主構トラス斜材 D9 および D7 の補強部付近で比較的大きな応力が活荷重載荷時に発生することが明らかになった。

また、床組では、横桁 B8 の補強材付近にも、比較的大きな応力が測定された。今回の計測した測定点の内、これら箇所は構造上弱点となると考えられ、早急な疲労強度特性の把握と欠陥の進展状況を確認する必要がある。

【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 回土木学会年次学術講演会，CS7-004，2011.9

- 2) 夏秋，河野，増田，坂野：淀川大橋の腐食状況調査，第 66 回土木学会年次学術講演会，CS7-005，2011.9
- 3) 新幸，河野，増田，坂野：淀川大橋補修溶接部の非破壊検査および成分分析，第 66 回土木学会年次学術講演会，CS7-006，2011.9
- 4) Ichinose，増田，坂野：淀川大橋の動的載荷試験および応力頻度測定，第 66 回土木学会年次学術講演会，CS7-007，2011.9
- 5) 水野他：当板溶接補修部を有する鋼桁試験体の疲労実験，第 66 回土木学会年次学術講演会，CS7-008，2011.9
- 6) 夏秋，増田，河野，坂野：淀川大橋の腐食状況調査，鋼構造シンポジウム 2011，2011.11 (発表予定)
- 7) 河野，増田，夏秋，坂野：淀川大橋補修溶接部の非破壊検査および成分分析，鋼構造シンポジウム 2011，2011.11 (発表予定)
- 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