

# 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

[体制] 産:(社)日本橋梁建設協会, (社)建設コンサルタンツ協会近畿支部  
 (社)日本非破壊検査工業会, (財)海洋架橋・橋梁調査会, 阪神高速道路(株)  
 官:国土交通省近畿地方整備局(道路部, 大阪国道事務所, 近畿技術事務所)  
 学:関西大学 坂野昌弘(プロジェクトリーダー), 京都大学 宇都宮智昭(幹事長)

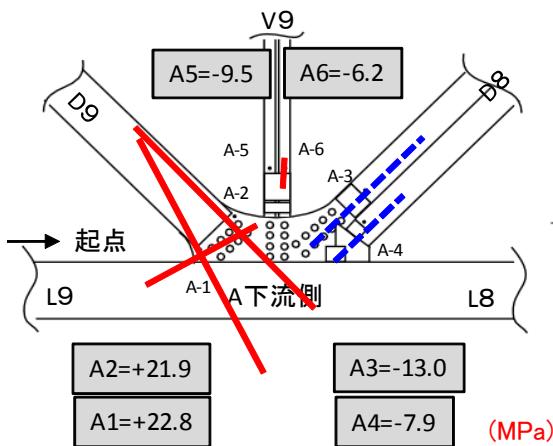
大阪国道事務所管内には、昭和初期に建設され、既に80年以上供用され続けて高齢化を迎えた橋梁が数橋存在する。昭和40年代の団塊の世代の橋梁群とは材料も構造特性も異なり、しかも記録がほとんど残っていないこれらの橋梁に対しても長寿命化対策を進めていく必要がある。



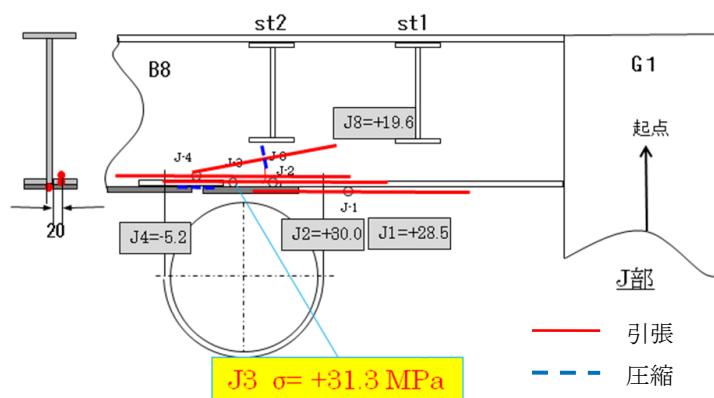
対象橋梁

本プロジェクトでは、これらの高齢化橋梁の中で、特に重要な路線に架設され、また周辺の土地利用状況等から架け替えが困難な長大橋梁を対象として、現状を把握し、健全性の評価・診断を行い、予防保全も含めた最適な補修・補強対策を提案し、その効果を検証した上で、今後100年以上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する。

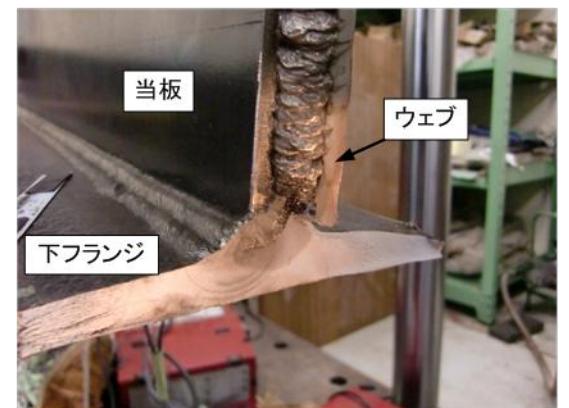
平成22-23年度の成果: 健全性評価・診断, 解析や実験による劣化予測, 劣化シナリオの作成.



トラス格点部の応力測定結果



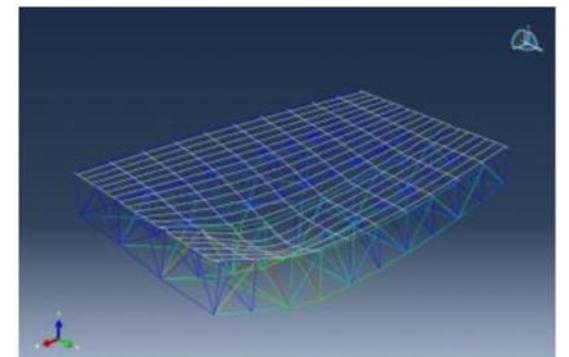
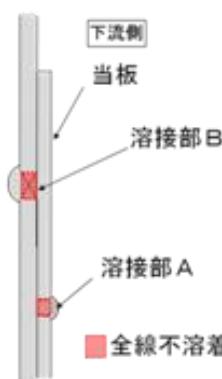
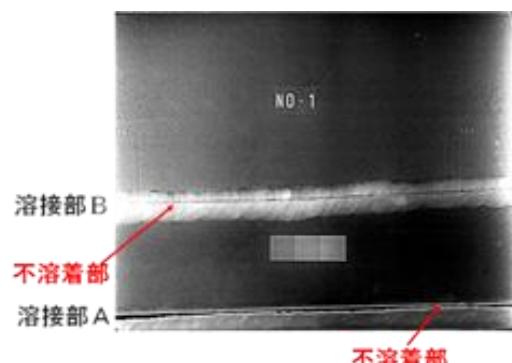
横桁補強部の応力測定結果



縦桁試験体の疲労破断面



新旧トラス斜材突合せ溶接部のRT試験結果



26t車載荷時のFEM解析結果

平成24年度の計画: 解析や実験による補修・補強対策の検討, および効果の検証.

今後100年以上の長寿命化を目指した維持管理方針案の策定.

## 淀川大橋の補強設計

(株)エイト日本技術開発 正会員 ○廣瀬 彰則  
 国土交通省近畿地方整備局 増田寛四郎  
 関西大学 正会員 坂野 昌弘

### 1. はじめに

国土交通省近畿地方整備局 大阪国道事務所の管内には、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。昭和 40 年代の団塊の世代の橋梁軍とは材料も構造特性も異なり、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。

そのような中で、新都市社会技術融合創造研究会<sup>1)</sup>の活動の一環として、これら的高齢化橋梁の中で特に重要な路線に架設され、また周辺の土地利用状況等から架け替えが困難な長大橋梁を対象として現状を把握し、健全性の評価・検証を行い、予防保全も含めた最適な補修補強対策を提案し、その効果を検証した上で今後 100 年以上の長寿命化を目指した維持管理方新案を策定することを目的とした研究プロジェクトがある。

本稿はこの研究プロジェクトのうち、当該橋梁のひとつである淀川大橋の代表径間を対象として補修補強対策を提案し、工事に至った経緯について報告するものである。

### 2. 対象橋梁と設計の概要

写真 1 に対象とする高齢化を迎えた長大トラス橋梁、淀川大橋の外観を、写真 2 に補強設計で取り扱う代表径間のトラス主構側面を示す。

対象橋梁は、大正 15 年 8 月に架設された多径間の長大橋で、国道 2 号が淀川を跨ぐ位置に架かる幹線道路橋であり、利用交通量は、23454 台（昼間 12 時間）うち大型車混入率は 12.7%と、阪神間の重交通を担う道路の機能を支え続けている。このため、幾度かの補修・補強工事が実施され今日に至っており、主な補修・補強履歴を表 1 に示す。



写真 1 対象橋梁外観



写真 2 トラス主構側面

22 年度に淀川大橋のトラス桁現況調査を実施したところ、一部に不溶接部および亀裂が発見されたことから、早急な補修の実施が求められている。具体的には戦時下における被災部分を溶接補強している部位において、不溶着箇所が存在する可能性があることが判明した<sup>2)3)</sup>ため、X 線撮影など非破壊検査による不良部位確定の後、必要な補強策を講じるものとした。

補修・補強工法としては、母材が大正時代の輸入鋼材であり、入熱処理がなされていないものが使用されていることから、溶接に伴う母材の変形が

キーワード 高齢化、長大トラス橋、長寿命化、補強設計、補強工事

連絡先 〒532-0034 大阪市淀川区野中北 1 丁目 12-39 (株)エイト日本技術開発 TEL 06-6397-0804

表1 補修・補強履歴一覧

年代	橋齢	補修・補強項目	内容
大正 15 年(1926)	誕生	—	中央に阪神電鉄国道線(軌道幅 5.5m)が共存
昭和 34 年(1959)	33	嵩上げ	沓の下にコンクリートブロックによる台座設置
昭和 30 年代～	—	—	嵩上げ後, 軌道部の撤去
昭和 50 年前後(1975)	49	補強	沓座縁端拡幅: 全下部工
昭和 60 年(1985)	59	塗装	塗り替え
平成 2 年(1990)	64	塗装	塗り替え
平成 4 年(1992)	66	補修	橋面防水, ノージョイント化, 部材補修
		補強	支承取替え(ゴム支承への交換)
平成 7 年(1995)	69	補修・補強	橋面防水(歩道), 高欄・防護柵補修 ラーメン橋脚のクラック補修(炭素繊維シート)
平成 16 年(2004)	78	補強	落橋防止工事

懸念され、当板と高力ボルトによる摩擦接合を用いるものとした。

### 3. 補強部材設計

補強部材の設計においては、過去に蓄積された橋梁の管理資料に基づいて作成した復元設計図面を基本設計ベースとして使用し、補強が必要なト



写真3 原寸図による細部確認

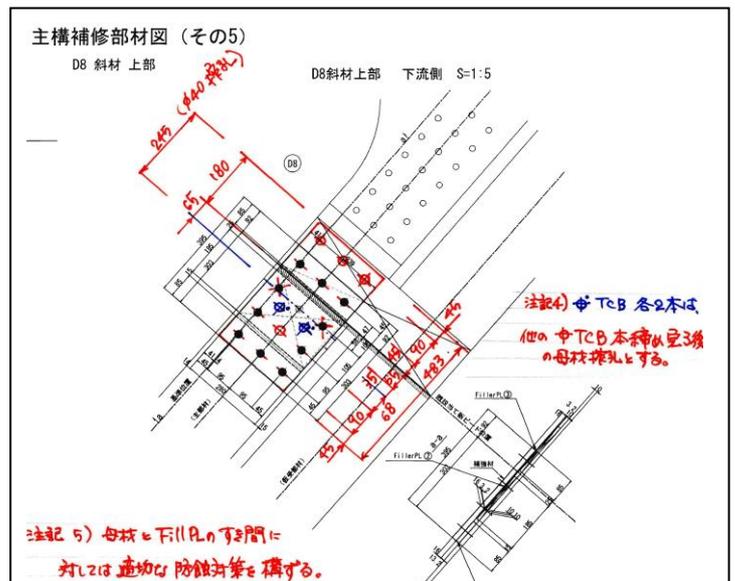


図1 工事指示図面(部分)

ラス格点接合部周辺のディテールについては、足場設置完了後に現橋部材寸法との整合性確保を目的として1/1縮尺図面(プラスチックマイラーペーパーを持ち込み実測することとした。(写真3)

工事指示図面としては、原案をもとに施工者によって作成された図面に対して溶接不良箇所のあるビードから適切に高力ボルトの離隔が保たれるよう、全補強部位にわたって具体的な指示を行うとともに、補強後に不良箇所の溶接ビード(部分)のコアをサンプル確保できる構造とした。

#### 参考文献

- 1) <http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/index.html>
- 2) 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回年次学術講演会, 2011.9
- 3) 夏秋, 河野, 増田, 坂野: 淀川大橋の腐食状況調査, 第66回年次学術講演会, 2011.9



写真4 ビード部確認用捲孔

## 淀川大橋の補修工事に適用した非破壊検査

日本非破壊検査工業会	正会員	○新幸 弘行
日本非破壊検査工業会	非会員	森本 量也
国土交通省 近畿地方整備局	非会員	増田 寛四郎
関西大学環境都市工学部	正会員	坂野 昌弘

## 1. はじめに

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の一環として、約 85 年間供用されている本橋梁のトラス橋部の主構部材および横桁に前年度の研究時に検出した欠陥に対して、内在不連続部の高さ測定や表面き裂の削除を行うために、非破壊検査およびマクロ・マイクロ組織試験を実施した。

## 2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は 1926 年竣工の幅員 20.8m, 橋長 723.3m, 30 径間（中央部 6 径間鋼単純トラス 6@32.918m）を有し、京阪神間の重交通を荷う主要国道の 2 号線を支え、海岸から約 5.5km 地点に位置する橋<sup>1)2)</sup>である。

## 3. 非破壊検査方法およびマクロ・マイクロ組織試験

## 3.1 磁粉探傷試験およびマクロ・マイクロ組織試験

横桁下フランジ付近の補修溶接部で検出した表面き裂<sup>1)2)</sup>の削除時に磁粉探傷試験を適用し、残置したきずの詳細を調べるためにマクロ・マイクロ組織試験を実施した。

## 3.2 X線透過試験

トラス橋部の主構部材の新旧突合せ溶接部に内在する不連続部<sup>1)2)</sup>に対して、X線透過試験（工業用デジタル画像処理システム）を適用してきずの高さ測定を実施して測定精度を確認した。

## 4. 試験結果

## 4.1 磁粉探傷試験およびマクロ・マイクロ組織試験

横桁の当板補修溶接部の欠陥は隅肉溶接部から発生したき裂であり、き裂検出部のグラインダー削除を実施した結果、き裂は深さ 3mm 程度で除去できたが、深さ 5mm 程度まで削り込んでも圧延方向に層状の線状磁粉模様や空洞が残ったので残置した。

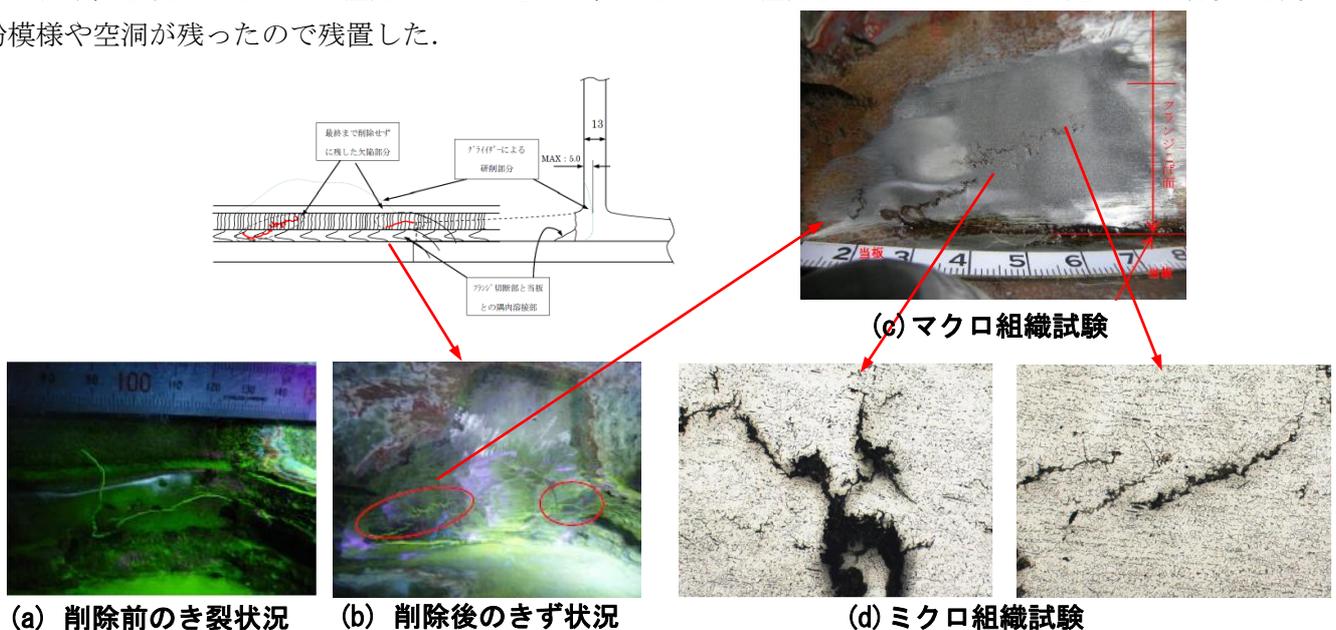


図 1. 横桁補強溶接部の 削除後のきず状況

キーワード き裂, 非破壊検査, X線透過試験, 磁粉探傷試験, マクロ・マイクロ組織試験

連絡先 〒101-0047 東京都千代田区内神田 2-8-1 富高ビル3 一般社団法人 日本非破壊検査工業会 TEL. 03-5207-5961

### 4.2 X線透過試験

本橋の主構トラス材材部の新旧部材の突合せ溶接部には当板が施工<sup>1)~3)</sup>されてるので、X線透過試験を行い不連続部高さを推定した。また精度確認のためにコア採取を行い実高さを測定して比較を行った。

撮影方法と寸法測定は図3の対象となる溶接部を3方向から撮影し、同一箇所の不連続部画像の幅を求め、計算式(図4)を用いて不連続部高さを推定する。画像処理システムには工業用デジタル画像処理システム(DR)を用い、不連続部の投影画像寸法はPC画面上の画像よりデジタル計測し求めた。

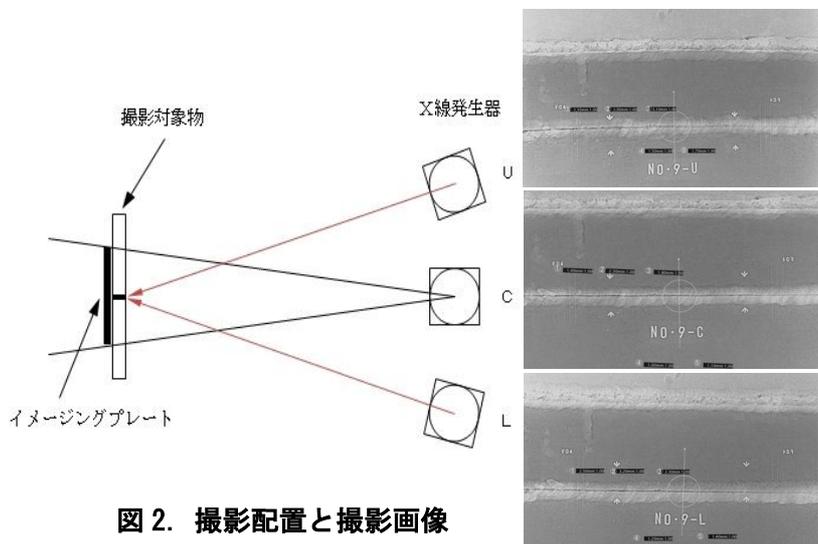


図2. 撮影配置と撮影画像

X線透過試験による不連続部高さ推定とマクロ試験結果による不連続部実高さの比較を表1に示す。不連続部におけるX線透過試験とマクロ試験による実寸法との誤差は-20~+50%であった。

表1 コア採取結果とX線撮影

① G1桁-D8-下-下流側溶接部				
側	コア採取による結果	断面欠損率	X線撮影による結果	断面欠損率
A部	4.6mm	32.6%	5.1mm	36.2%
D部	2.9mm	20.6%	4.3mm	30.5%
② G1桁-D8-上-下流側溶接部				
側	コア採取による結果	断面欠損率	X線撮影による結果	断面欠損率
A部	4.0mm	28.4%	3.6mm	25.5%
D部	5.0mm	35.5%	4.0mm	28.4%
③ G1桁-D7-下-下流側溶接部				
側	コア採取による結果	断面欠損率	X線撮影による結果	断面欠損率
A部	3.2mm	23.2%	3.1mm	22.5%
D部	3.1mm	22.5%	3.4mm	24.6%

### 5. まとめ

横桁のき裂は削除できたが、下フランジ母材に製造時(圧延時)の介在物に起因した板厚方向に層状の微細なきずは残った。

X線透過試験による不連続部の高さ測定は、実測と比較して-20~+50%の誤差で測定できたので、今後同様の断面欠損率の測定に適用できると考える。また、不連続部先端に疲労き裂が懸念されたが、コア採取箇所に限っては見られなかった。

#### 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, 2011.9.
- 2) 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, 鋼構造シンポジウム 2011.11
- 3) 広瀬, 増田, 坂野: 淀川大橋の補強設計, 第67回年次学術講演会, 2012.9.
- 4) 夏秋, 一ノ瀬, 増田, 坂野: 淀川大橋補修後の動的載荷試験および応力頻度測定, 第67回年次学術講演会, 2012.9.

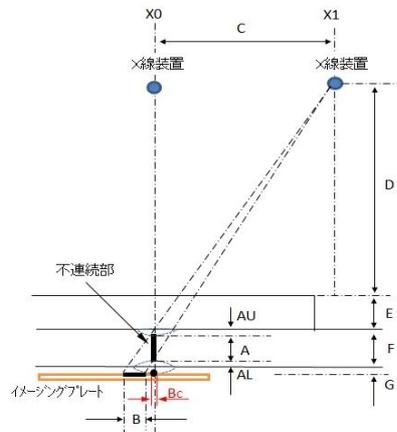


図3. 撮影概要

AU=3mmと仮定

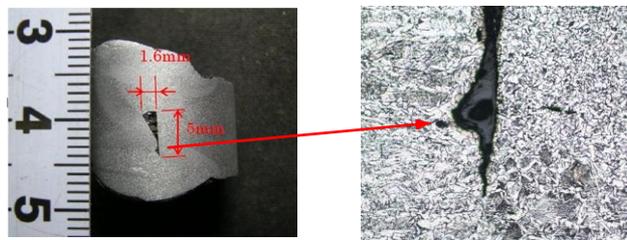
$$A = \frac{B(D+E+AU)^2}{C(F-AU) + (C-B)(D+E+AU)} \quad \text{--- (3.1)}$$

AL=3mmと仮定

$$A = \frac{B(D+E+F-AL)^2}{(B+C)(D+E+F-AL) + C*G + C*AL} \quad \text{--- (3.2)}$$

B=画像計測値+材厚の2% - Bc ----- (3.3)

図4. 計算符号



(a) 不連続部実測値 (b) 不連続部先端

図5. コア採取部マクロ・マイクロ組織試験

## 淀川大橋補修後の動的載荷試験および応力頻度測定

日本橋梁建設協会	正会員	○ 夏秋 義広
日本非破壊検査工業会	正会員	L. H. Ichinose
国土交通省 近畿地方整備局	非会員	増田 寛四郎
関西大学 環境都市工学部	正会員	坂野 昌弘

## 1. 概要

淀川大橋は1926年に架設されており、幅員20.8m、橋長723.3mの30径間の内、中央部6径間が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%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対策として、「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」の初年度(平成22年度)に得られた調査結果<sup>1)~5)</sup>を基に作成した劣化シナリオに対して一連の検討を行い、補修工事<sup>6)</sup>が実施された。補修効果の検証を目的とし、今回、車両走行試験による動的載荷試験および応力頻度測定を実施した。

## 2. 測定位置

平成22年度に実施した一連の調査から作成した劣化シナリオでクリティカル部材として判断され、補強された主構のトラス部材および床組の横桁の補強箇所付近で応力測定を行った。測定位置を図1に示す。

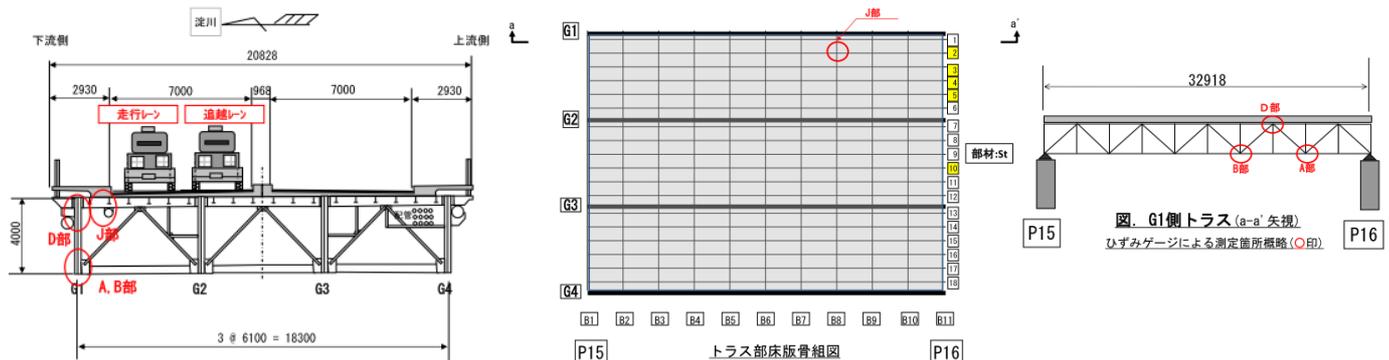


図1. 測定位置

## 3. 応力測定

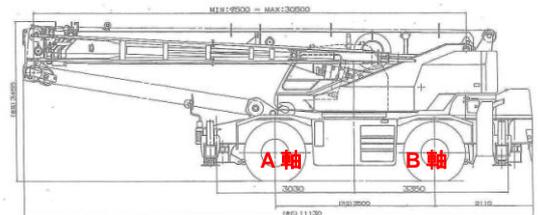
## 3.1 動的載荷試験

動的載荷試験は図2に示す試験車両を図1に示す走行レーンおよび追越レーンを走行させ(約40km/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、気温変動が比較的小さい夜間に実施した。

## 3.2 応力頻度測定

応力頻度測定は補強工事の実施後に行い、補強効果の検証を目的として補強前の測定結果<sup>4)</sup>と比較した。

応力頻度測定は、「応力頻度測定要領(案)」に基づき、一般車両供用下で平日の72時間の応力測定を行った。計測したデータより応力頻度分析を行い、疲労寿命を評価した。



	A軸	B軸	計
軸重 (自重+乗員)	14270kg	12820kg	27430kg

図2 試験車

キーワード 動的載荷試験, 応力頻度測定, 疲労寿命, トラス橋

連絡先 〒101-0047 東京都千代田区内神田2-8-1 富高ビル3F 社団法人日本非破壊検査工業会 TEL. 03-5207-5961

4. 試験結果

4.1 動的載荷試験

動的載荷試験で計測された斜材の補強後の応力度は、補修前とほぼ同様な値を示した(図3)。また、新に設けた測定位置での応力度(グラフ横軸、□内で示す)は、補修前の近傍測定位置の応力値と比較して若干低い応力値を示した。補強後の横桁の応力は、図3に示すように補修前の下フランジの応力値と比較して、引張応力の値が約40%低下した。

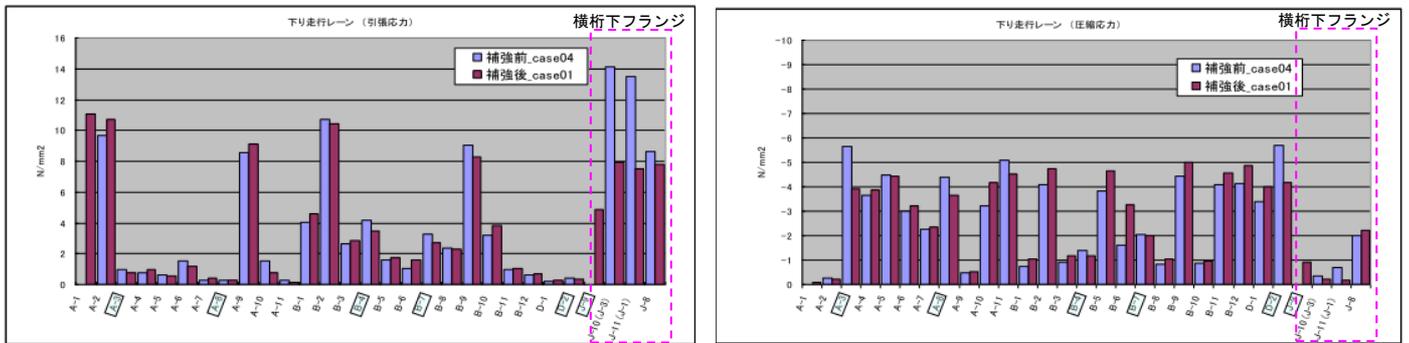


図3 補強前・補強後の応力値の比較

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、その大半が疲労の打ち切り限界以下であった。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4に示す。

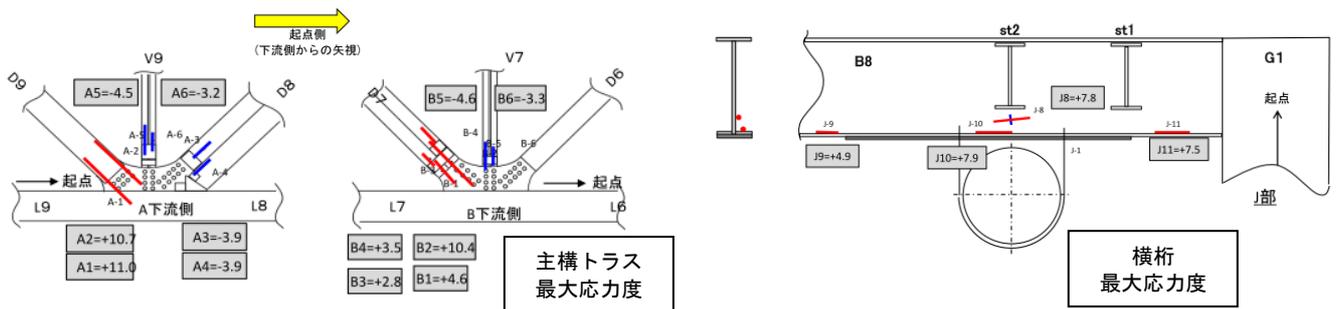


図4 応力頻度測定結果の一例

補強後の応力頻度測定結果を基にH'等級と仮定して疲労寿命を評価した結果、トラス部材では補修前よりも若干長寿命となったがほとんど変わらず、横桁では10倍以上長寿命となった。

5. まとめ

補強後の動的載荷試験結果は、主構トラス部材の応力は全体的に補修前とほぼ同様な値を示した。また、補強後の横桁下フランジ応力は、補修前と比較して引張応力が約40%低下し、補強は効果的であったと考えられる。応力頻度測定から推定された疲労寿命は、トラス部材では補修前後でほとんど変わらず、横桁では10倍以上となった。

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, CS-7-004, 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, 他: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, 他: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) 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回年次学術講演会, CS-7-008, 2011.9.
- 6) 広瀬, 増田, 坂野:淀川大橋の補強設計, 第67回年次学術講演会, CS-5, 2012.9.
- 7) 新幸, 森本, 増田, 坂野:淀川大橋の補修工事に適用した非破壊検査, 第67回年次学術講演会, CS-5, 2012.9.

## 高齡化した長大トラス橋のモデル化の検討と漸次崩壊挙動解析

京都大学 学生会員 ○西村 優希

京都大学 正会員 宇都宮 智昭

関西大学 正会員 坂野 昌弘

(社)建設コンサルタンツ協会 正会員 廣瀬 彰則

国土交通省 近畿地方整備局 非会員 増田 寛四郎

## 1. 背景および目的

高齡化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究の一環として、本研究では万一の部材破断（当板補修部における脆性破壊等）が全体崩壊に至るかどうかの検討を行う。本研究では有限要素法による立体骨組みモデルを作成し、上路トラス橋の部材破断による漸次崩壊（Progressive Failure）挙動の追跡をおこない、当該橋梁の安全性について解析的に検討する。

## 2. 解析対象部位

本研究では1926年に架設された淀川大橋を対象橋梁とする。対象橋梁は30径間で構成される。本解析の解析対象部位はP15, P16間の16径間目とする。（図1）

## 3. 解析モデルの検討

はじめに、床版はモデル化せずに鋼トラスをトラス部材で作成しピン結合させたピン結合モデルと鋼トラスを一般梁要素でモデル化して剛結させた剛結モデルの2つを作成し、動的載荷試験時の応力測定結果との比較を行う。その後、床版はモデル化していないピン結合モデルと、床版をシェル要素でモデル化した床版ありピン結合モデルを作成、動的載荷試験時の応力測定結果との比較を行う。境界条件は3つのモデルで共通であり、P15側ではヒンジ支点、P16側ではローラー支点としている。

動的載荷試験を模擬した荷重は、ピン結合モデルおよび剛結モデルでは縦桁に分布荷重として与え、床版ありピン結合モデルでは縦桁間の表面要素に分布荷重として与える。

ピン結合モデルと剛結モデルと動的載荷試験時の応力測定結果との比較の一例を図3, 4に示す。鉛直材V7の下部において実際の動的載荷試験結果では節点にかかるモーメントは小さく、剛結モデルと応力測定結果の軸応力度の傾向が大きく違う。他の部材でも同様の傾向が確認された。これより、ピン結合モデルの方がより対象橋梁の性質に近いといえる。また、ピン結合モデルの部材軸応力度の方が

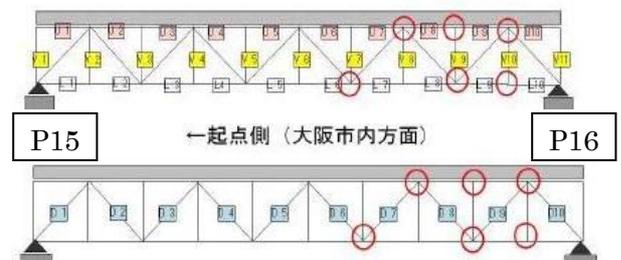
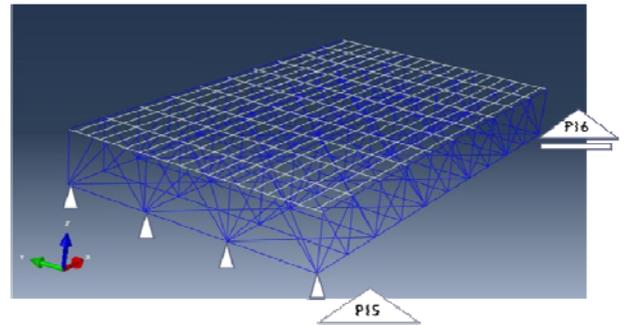


図1 解析対象部位

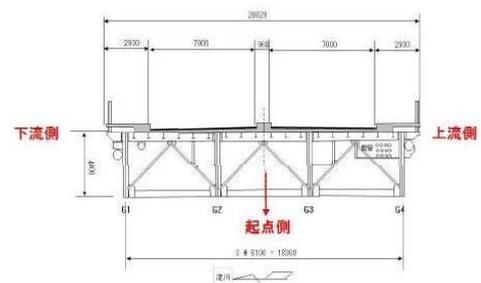


図2 橋梁断面図

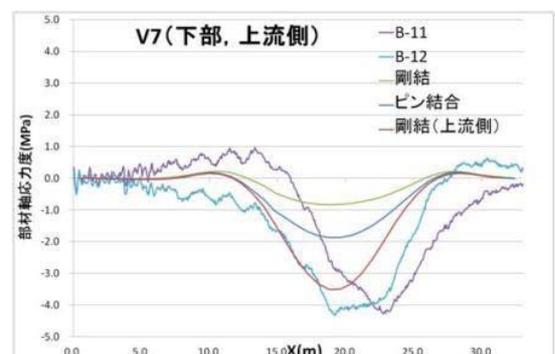


図3 V7下部上流側での応力度

キーワード FEM解析, トラス橋, 崩壊解析

連絡先 〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂キャンパス C1棟2階257 TEL075-383-3164

剛結モデルの中心における部材軸応力度よりも全部材において大きい。したがって、崩壊解析ではピン結合モデルを採用する。

床版はモデル化していないピン結合モデルと、床版をシェル要素でモデル化した床版ありピン結合モデルの軸応力度の結果を図 5 に示す。床版ありピン結合モデルの方がピン結合モデルよりも鉛直材において軸応力度が大きいという傾向が見られた。したがって崩壊解析では床版ありピン結合モデルを採用する。

#### 4. 崩壊解析

はじめにある 1 部材を消去し、線形自重解析を行う。荷重については橋梁の死荷重 7721 (kN) のみを考慮する。他の部材に生じる応力が以下の条件式を満たすとき、部材の終局状態とみなす。<sup>2)</sup>

(a) 軸力が引張の場合

$$\sigma \geq \sigma_u \quad \sigma : \text{軸応力}, \sigma_u : \text{引張強度}$$

このとき、部材にき裂が発生し破断につながると仮定し、その部材を消去する。

(b) 軸力が圧縮の場合

$$\sigma \geq \sigma_y \quad \sigma_y : \text{降伏応力}$$

このとき、部材の軸力による全断面が降伏すると仮定し、部材要素の剛性を 1/1000 に下げる。

座屈に関しては考慮しない。

G1 上の V7, V9, D7, D8, D9 (図 1) をそれぞれ消去して崩壊が起こるかどうかを以下の 3 条件について解析を行った。節点の最大変位が 0.9 (m) 以上になったところで解析を終了することとする。最初の解析結果を Step1, その結果を踏まえた 2 回目の解析を Step 2 とする。

V7, V9, D7, D8, D9 をそれぞれ 1 つずつ消去して線形自重解析を行った結果、条件 1, 2 では、他の部材が終局状態になることはなく崩壊にはつながらない。これより、各部材が SS400 と同等もしくは半分以上の強度を有している場合は、V7, V9, D7, D8, D9 のうちいずれかが重大な欠損に至っても他の部材が終局状態になることはなく安全であるといえる。表 2 に V7 をはじめに消去したケースの条件 3 の解析結果を示す。V7, V9, D7, D8, D9 に欠損の可能性がある場合その部材を補修・補強すべきなのはもちろんのことだが、その次に補修・補強すべき重要な部材は上記の斜材 4 本 (G2 上の D1, D10 と G3 上の D1, D10) であるということがいえる。

#### 参考文献

- 1) 一ノ瀬, 増田, 夏秋, 坂野: 淀川大橋の動的載荷試験及び応力頻度測定, 鋼構造年次論文報告集第 19 巻, 665-670, 2011. 11
- 2) 笹野, 依田: 米国ミネアポリス I-35W 橋の崩壊メカニズムと格点部の損傷評価, 土木学会論文集 A, Vol. 66 No. 2, 312-323, 2010. 6

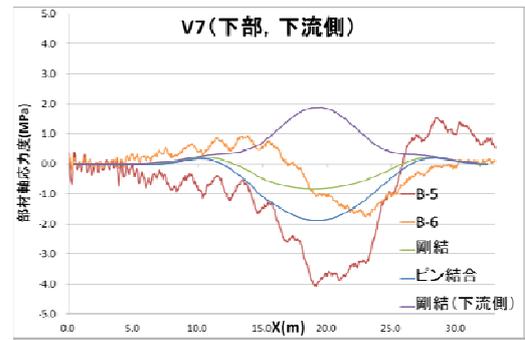


図 4 V7 下部下流側での応力度

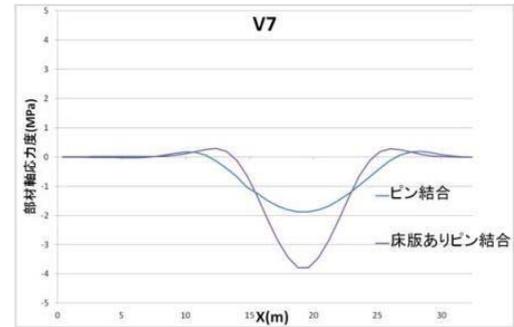


図 5 V7 における軸応力度

表 1 崩壊解析の条件

	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )
条件 1	400	235
条件 2 (1/2)	200	117.5
条件 3 (3/8)	150	88.1

表 2 条件 3 における崩壊解析結果

Step1	破断	0 本
	降伏	斜材 4 本 (G2 上の D1, D10 と G3 上の D1, D10)
step2	破断	0 本
	降伏	鉛直材 5 本 対傾構斜材 16 本
step3	破断	斜材 4 本 (G2 上の D2, D9 と G3 上の D2, D9)
	降伏	斜材 12 本 対傾構斜材 12 本
step4		節点の鉛直方向の最大変位 -0.92(m)

## 新旧突合せ溶接部を有するトラス部材の疲労実験

関西大学 学生員 ○水野哲也 正会員 坂野昌弘  
 日本橋梁建設協会 正会員 夏秋義広  
 国土交通省 近畿地方整備局 増田寛四郎

## 1. はじめに

80年を超えて供用されている上路トラス橋の主構トラス部材の斜材および鉛直材には、新旧部材の突合せ溶接部が存在し<sup>1)</sup>、この突合せ溶接部には、非破壊検査<sup>2)</sup>より不連続部が認められている。この不連続部は最大で母材板厚のおよそ半分に達しており、継手の疲労強度低下が懸念される。そこで本研究では、そのような突合せ溶接継手部を有するトラス斜材部を再現した試験体を用いて疲労試験を行い、不連続部を有する突合せ溶接部の疲労強度特性を検討する。

## 2. 実験方法

## 2.1 トラス試験体の形状と寸法

写真1に実橋トラス部材の突合せ状況を、図1に試験体の形状と寸法を示す。実橋トラス部材は新旧部材どうしを突合せ溶接で接合している。試験体(下弦材)は、長さ1020mm、板厚16mm、幅200mmの鋼板2枚を突合せ溶接で接合し、約2000mmの1枚の鋼板とした。また、その上に長さ400mm、板厚9mm、幅180mmの鋼板を当て、すみ肉溶接で接合した当板溶接部を片側に設けている。さらに、2枚の鋼板の突合せ溶接部の溶込み量を0%、50%、100%の3パターン



写真1. 実橋斜材突合せ状況

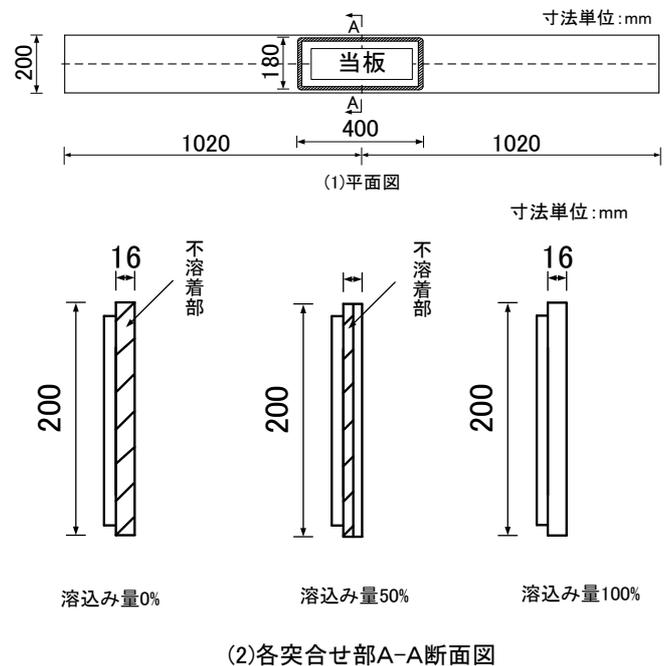


図1. 試験体の形状と寸法

ン設け、それぞれ2体ずつ計6体製作した。

## 2.2 荷重方法

疲労試験に先立ち、図2に示すようなトラス型の試験荷重冶具を設計・製作した。試験体を下弦材として荷重する。静的荷重試験により荷重範囲を決定し、同一荷重をそれぞれ溶込み量の異なる試験体に荷重することで、疲労強度の比較を検討する。

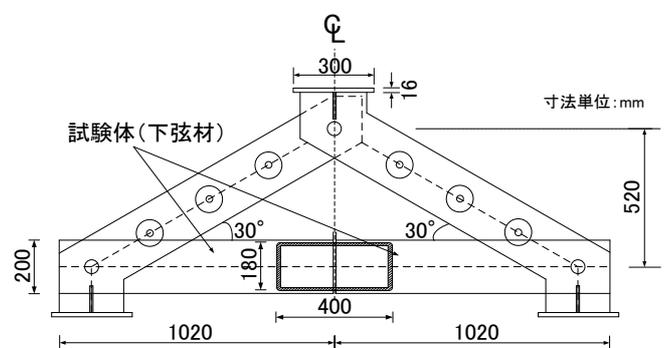


図2. 荷重冶具の形状と寸法

キーワード 上路トラス橋, 新旧トラス部材, 突合せ溶接, 不連続部, 疲労強度

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 関西大学環境都市工学部 06-6368-1111(内線)6506

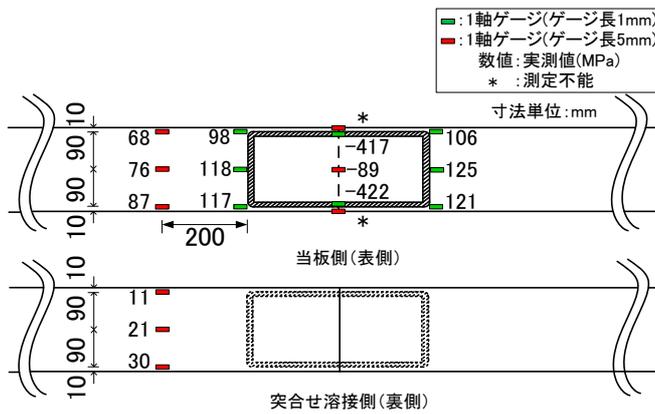


図 3. 溶込み 0%試験体の応力分布

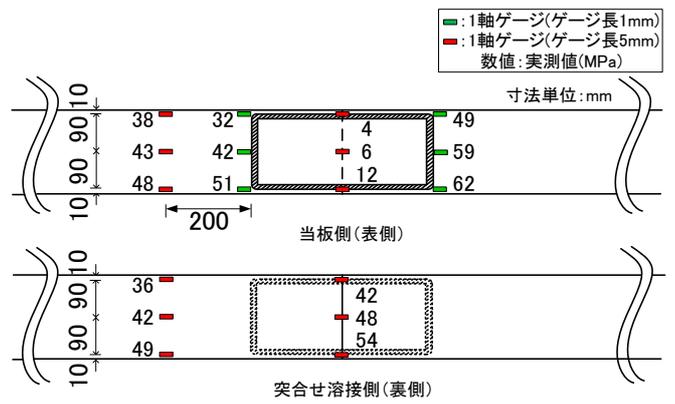


図 4. 溶込み 100%試験体の応力分布

3. 実験結果

3.1 静的载荷試験

図 3 および図 4 に  $\Delta P=200\text{kN}$  ( $P_{\min}=20\text{kN}$ ,  $P_{\max}=220\text{kN}$ ) 時の溶込み量 0%, 100%試験体それぞれの応力分布を示す. 溶込み量 0%試験体では, 当板の溶接止端部から 200mm 離れた位置で, 当板側 3 箇所の平均が 77MPa, 溶接側の平均は 21MPa となり, 表裏最大差は 57MPa であった. これは, 試験体が溶接側(凸側)へ面外変形したためであると考えられる. 一方, 溶込み量 100%試験体では, 当板の溶接止端部から 200mm 離れた位置で, 当板側 3 箇所の平均が 43MPa, 溶接側の平均は 42MPa となり, 表裏最大差は 2MPa と, 溶込み量 0%試験体に比べ面外曲げの影響が小さくなった.

3.2 疲労試験結果

図 5 に溶込み量 0%および 100%試験体の S-N 線図を示す. 荷重範囲  $\Delta P=200\text{kN}$  ( $P_{\min}=20\text{kN}$ ,  $P_{\max}=220\text{kN}$ ) でまず溶込み量 0%試験体の疲労試験を実行した. 約 10 回载荷時に, 当板の中心上部および下部のすみ肉溶接ビード上にほぼ同時に疲労き裂が生じた. その後, 45000 回载荷時に, 当板上部側の疲労き裂は当板下部方向へ約 25mm まで, 当板下部側の疲労き裂は当板上部方向へ約 75mm まで進展し, 疲労き裂が板幅 180mm の当板長さの半分を超えたため, 疲労試験を終了した. これより, 溶込み量 0%試験体の疲労強度は, 鋼道路橋の疲労設計指針<sup>3)</sup>の設計 S-N 線より, H'等級をはるかに下回ることが明らかとなった.

一方, 溶込み量 100%試験体は 400 万回载荷しても

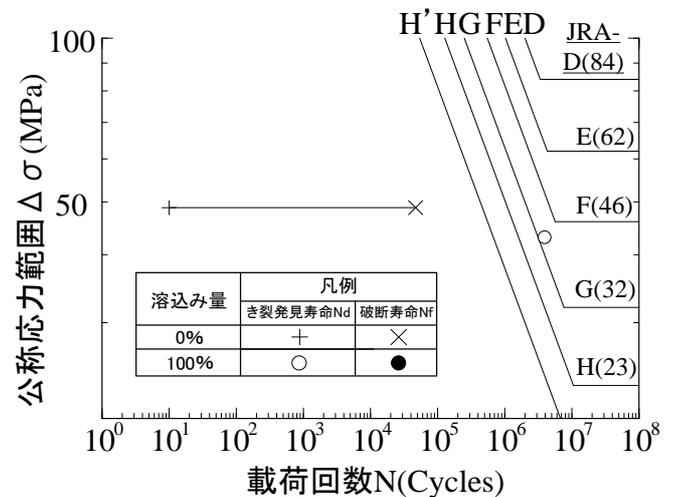


図 5. 溶込み量 0%および 100%試験体の S-N 線図

き裂が見られなかったため, 疲労強度は G 等級以上であることが明らかとなった.

4. まとめ

- 1) 溶込み 0%試験体は载荷 10 回程度で疲労き裂が発生したが, 溶込み 100%試験体では, 400 万回载荷しても疲労き裂は発生しなかった.
- 2) 溶込み 0%試験体の疲労強度は H' 等級以下, 溶込み 100%試験体の疲労強度は G 等級以上となった.

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) 新幸, 河野, 増田, 坂野: 淀川大橋補修溶接部の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
- 3) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002.3

# 淀川大橋の腐食状況調査 Corrosion Investigation for the Yodogawa Bridge

報告

○夏秋 義広\*      増田 寛四郎\*\*      河野 譲\*\*\*      坂野 昌弘\*\*\*\*  
Yoshihiro NATSUAKI      Kannshirou MASUDA      Yuzuru KOHNO      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 inspection 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 corrosion, considering surface salinity distribution on the structural members.

**Key words:** : 腐食, 健全度診断, 非破壊検査, 付着塩分, トラス橋  
*Corrosion, health diagnosis, non-destructive testing, surface salinity, truss bridge*

## 1. はじめに

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<sup>1)~5)</sup>において、約85年間供用されている淀川大橋の各部材の健全性を評価・診断するため各種非破壊試験を実施した。

ここでは本橋の腐食状況調査のために実施した、付着塩分測定と板厚測定の結果について述べる。



写真1 調査対象橋梁全景

## 2. 橋梁の緒元

対象橋梁(写真1, 図1.)は1926年竣工の幅員20.8m, 橋長723.3m, 30径間(中央部6径間鋼単純トラス)を有する橋梁であり、塗替え塗装後20年経過している。本橋は京阪神間の重交通を支える主要国道の2号線に位置し、河口から約5.5km地点に架かる橋である。

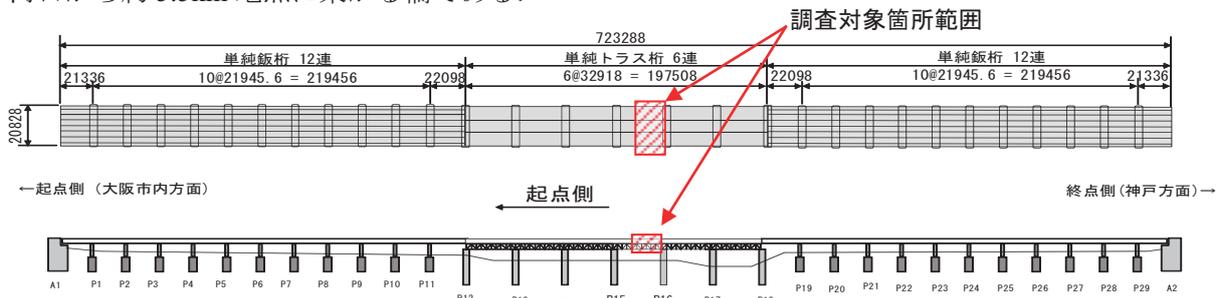


図1. 調査対象橋梁

\*工博 (社)日本橋梁建設協会近畿事務所(〒550-0005 大阪市西区西本町1-8-2 三晃ビル5F)特別会員  
\*\*工修 国土交通省近畿地方整備局大阪国道事務所(〒536-0004 大阪市城東区今福西2-12-35)  
\*\*\* (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 関西大学環境都市工学部(〒564-8680 吹田市山手町3-3-35) 第2種正会員

### 3. 非破壊試験方法の選定

非破壊試験方法は本橋の目視検査結果の塗装劣化状況と腐食状況を考慮して、腐食進展の要因となる付着塩分測定と現状の腐食減肉状況を把握するための板厚測定を調査方法として適用した。

#### 3. 1 付着塩分測定

ポータブル表面塩分計を用いて各部材の付着塩分濃度を測定(写真2)した。測定器を写真3に、測定器の仕様を表1に示す。

測定は水可溶性塩分濃度と電気伝導率とし、測定値の読取を行った。

表1 付着塩分測定装置仕様

使用機材	ポータブル表面塩分計	
製造	㈱サンコウ電子研究所	
型式	SNA-3000	
製造番号	#636745	
測定方式	電気伝導率法	
測定可能範囲	水可溶性塩分濃度	0~1999mg/m <sup>2</sup>
	電気伝導率	0~1999μS/cm
	温度	0~50℃ (表示範囲: 0~99.9℃)
温度補償範囲	0~50℃ 基準換算温度: 25℃	
温度係数	2.0%/℃	
測定時間	1分	
動作温度範囲	0~40℃	
動作湿度範囲	0~85%	
使用水	日本薬局方 精製水	

#### 3. 2 板厚測定

各部材の残存肉厚の測定(写真4)は、局所的な腐食箇所の測定を行うために、表2および写真5に示すデジタル式超音波厚さ計を用いた。

表2 デジタル式超音波厚さ計仕様

測定方法	超音波による厚さ測定	
適用規格	JIS Z 2355 (2005)	
使用機器	超音波厚さ計	37DL PLUS (No.071504807) / ㈱パナソニック
	探触子	D798 (No.556362) 周波数 7.5MHz / ㈱パナソニック
対比試験片	RB-E1 (K-UR-01)	
接触媒質	ソニコートBSL	
表面状態	プラインダー仕上げ (CSN ベベルブラック#120)	



写真2 付着塩分測定状況



写真3 ポータブル表面塩分計



写真4 板厚測定状況



写真5 デジタル式超音波厚さ計

#### 4. 非破壊試験の目的

##### 4. 1 付着塩分測定

塗装補修後 20 年経過しているトラス橋部の主構部材および横桁や縦桁の中から、目視検査で主構トラス上部・下部，外・内桁，外・内向きなどの位置パラメータを考慮して図 2 に示す測定箇所を選定し，腐食進展の大きな要因となる付着塩分濃度をポータブル表面塩分計を用いて測定した。

##### 4. 2 板厚測定

トラス橋部の主構部材および横桁や縦桁の中から，目視検査で補修，補強箇所（修繕工事：昭和 35 年施工）および塗装剥離箇所と腐食の著しい箇所を選定して，超音波厚さ計を用いて図 2 に示す各部材の残存肉厚を測定した。

#### 5. 非破壊試験結果

##### 5. 1 付着塩分測定

付着塩分濃度を表 3 に示す。主構上部では，雨水などによって洗浄されやすい外桁外面（測定点上①）以外の測定点（上②～上⑥）では高い塩分濃度（4,528～6,292mg/m<sup>2</sup>）が測定された。下弦材側の測定点については，最大塩分濃度，1,116mg/m<sup>2</sup>（測定点下②）が測定され，下弦材側の外桁外面（測定点下④）で最も低い値（49.8 mg/m<sup>2</sup>）を示した。

位置パラメータと関連づけた測定値の傾向としては，橋梁部材の外面側より内面側，下流側より上流側，床版に近い部材（主構上部）程，塩分濃度が高い傾向が見られた。

本橋では，ここ数年間凍結防止剤を使用していないので，付着塩分量を飛来塩分として評価できる。

参考文献<sup>6)</sup> に示す図 3 を参考にして，経過年数から付着塩分量を読み取ると約 6,000 mg/m<sup>2</sup> になり，塗装補修後 20 年経過した本橋梁で測定した付着塩分濃度は妥当な数値であると考えられる。

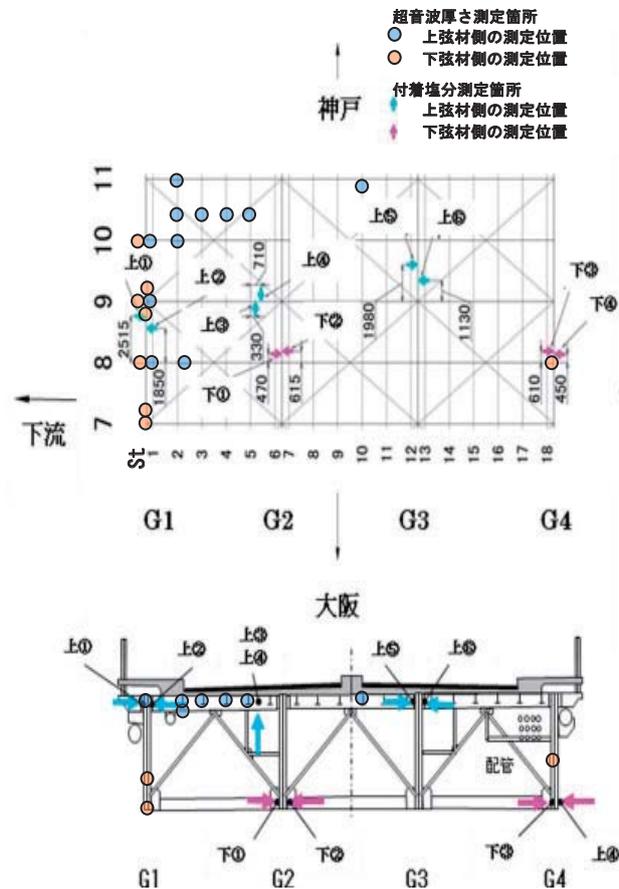
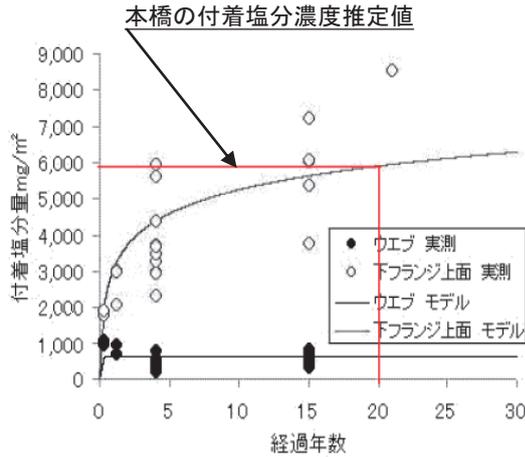


図 2 付着塩分測定，超音波厚さ測定箇所

表 3 付着塩分濃度測定結果

測定位置	部材名	水可溶性塩分濃度 (mg/m <sup>2</sup> )	電気伝導率 (μ S/cm)	温度 (°C)
上①	G1・上弦材下流側 (B8～B9)	120.5	30.1	4.6
上②	G1・上弦材上流側 (B8～B9)	>1999 ( 4528 )	1132	4.8
上③	B9・上弦材起点側 (st5～st6)	>1999 ( 5576 )	1394	5.4
上④	B9・上弦材終点側 (st5～st6)	>1999 ( 6292 )	1573	5.6
上⑤	G3・上弦材下流側 (B9～B10)	>1999 ( 5416 )	1354	4.8
上⑥	G3・上弦材上流側 (B9～B10)	>1999 ( 5488 )	1372	5.3
下①	G2・下弦材下流側 (B8～B9)	404	101.1	3.1
下②	G2・下弦材上流側 (B8～B9)	1116	279	3.4
下③	G4・下弦材下流側 (B8～B9)	826	206	3.5
下④	G4・下弦材上流側 (B8～B9)	49.8	12.4	3.8

注) 測定器の水可溶性塩分濃度の測定範囲は 0～1999 のため、( ) 内の水可溶性塩分濃度は電気伝導率から換算した数値である



図は福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術第 22 号 2009.8 による

図 3 付着塩分量の経年変化

### 5. 2 板厚測定

今回調査した主構トラス上弦材側, 下弦材側について各部材の外・内に部位を区分した場合の腐食状況を表 4 および図 4~11 に示す。

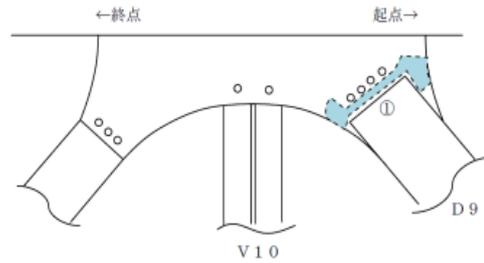
腐食減肉量は, 下弦材より上弦材, 外側部材より内側部材の方が多くなる傾向が見られたが, 塗装が比較的健全な部位では 1 mm 未満であり, 本橋の実測腐食量としてはさほど大きくないと云える。

しかしながら局部的に腐食が進展している部位が見受けられ, 例えばジョイント部近傍の上弦材縦桁端部では漏水の影響で塗装の劣化剥離が著しく, 縦桁端の腹板では, 健全な板厚 10.4mm を貫通する局部腐食が見られた (図 11)。

また, この縦桁端部の塗装剥離部での腐食量は 3~4mm 程度であり, 参考文献<sup>6)</sup> に示す図 12 より推定される裸鋼材の腐食量約 2.8mm (洗浄なし) とほぼ一致している。

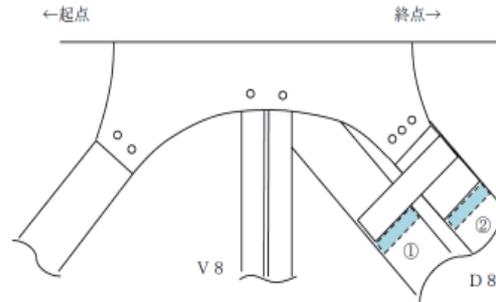
表 4 腐食減肉量概要

位置	部位	腐食減肉量 (mm)
上弦材	主構トラス内側	0.3
	主構トラス外側	0.3
	垂直材内側	0.1
	縦桁外側	0.5~0.6
下弦材	縦桁内側	10.4 (欠損)
	主構トラス外側	0.4
	垂直材外側	0.3
	垂直材外側	0.1



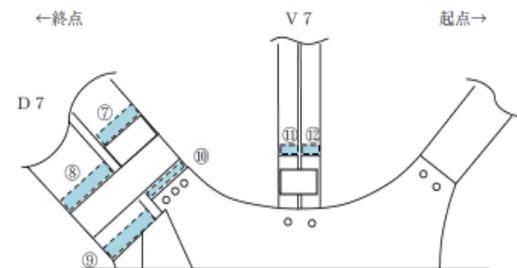
測定位置	部材種別	Max/Min	腐食量
D9①	既設	13.8/13.5	0.3

図 4 上弦材トラス部外側の板厚測定結果



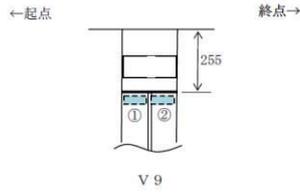
測定位置	部材種別	Max/Min	腐食量
D8①	補強部	13.9/13.6	0.3

図 5 上弦材トラス部内側の板厚測定結果



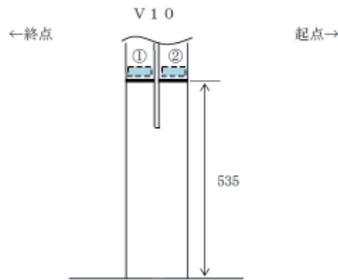
測定位置	部材種別	Max/Min	腐食量
D7⑩	既設	7.3/6.9	0.4
D7⑫	既設	7.2/7.1	0.1

図 6 下弦材トラス部・垂直材外側の板厚測定結果



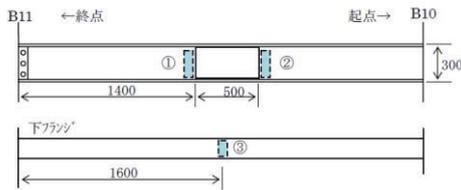
測定位置	部材種別	Max/Min	腐食量
V9①	既設	7.1/7.0	0.1

図7 上弦材側垂直材内側の板厚測定結果



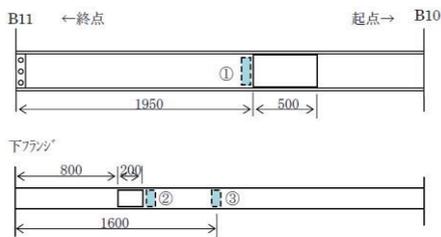
測定位置	部材種別	Max/Min	腐食量
V10②	既設	7.1/6.8	0.3

図8 下弦材側垂直材外側の板厚測定結果



測定位置	部材種別	Max/Min	腐食量
St2①	既設	11.2/10.6	0.6

図9 上弦材側縦桁の板厚測定結果

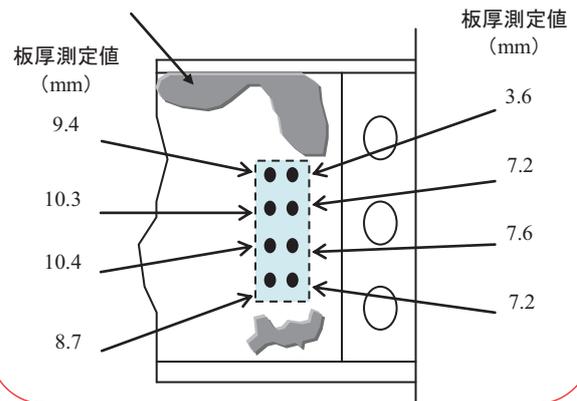


測定位置	部材種別	Max/Min	腐食量
St4①	既設	10.7/10.2	0.5

図10 上弦材側縦桁の板厚測定結果

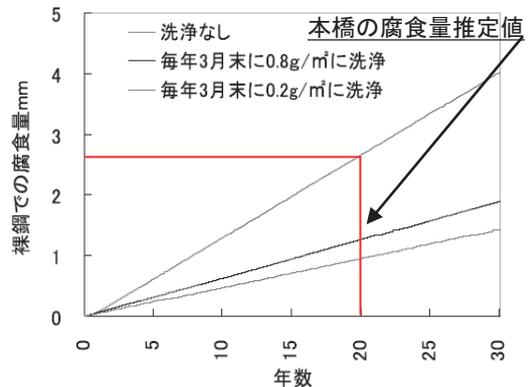


腐食による  
貫通部分



測定位置	部材種別	Max/Min	腐食量
St10①	既設	10.4/0	欠損

図11 上弦材側縦桁端部欠損部の板厚測定結果



図は福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術第22号 2009.8による

図12 裸鋼の腐食量経年変化

なお、図3、図12共に福井県の九頭竜川河口から4.5kmに位置する三国大橋の資料を参考として、河口から約5.5kmに位置する本橋梁を同条件で評価した場合である。

また、主構トラスの斜材(下弦材側)に深さ約4mmの局部腐食が見られた(図13)。これは斜材内面ダイヤフラム上に大量に堆積した鳥糞(写真4)が腐食の原因になったと考える。

類似箇所の鳥糞害対策が今後は必要と考える。

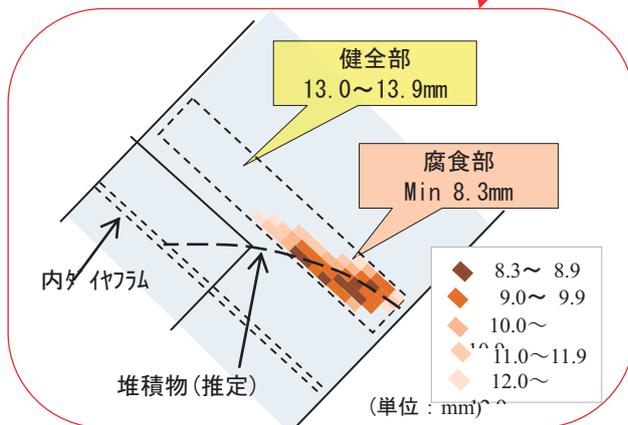
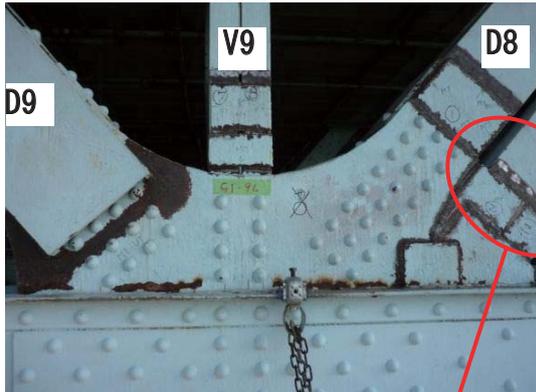


図13 下弦材トラス部の板厚測定結果



写真4 主構トラスの堆積物(鳥糞)

## 6. まとめ

鋼製橋梁の腐食の進展は塗装の経年劣化、剥離および鳥糞等の堆積物や付着物が主な要因であるが、それに加えて付着塩分濃度が要因として考えられる。

本橋梁の場合は塗替え塗装後約20年が経過しており各部に塗装の劣化剥離や発錆が見られ、特に付着塩分濃度の高い上弦材でその傾向が顕著に表れていると考える。

今回の調査結果から本橋梁のように河口から近い橋梁では付着塩分量の測定を行い、塩分濃度が高いと予測される、雨水で洗われぬ上弦材側や風下側の部材に対して、定期的な水洗を行うことにより、付着塩分量を低減することで腐食の進展を遅らせ橋梁の延命化が図れると考える。

## 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) 北嶋浩、宮本重信、奥村茂：海塩粒子が飛来する鋼橋の洗浄における防錆、福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術第22号、pp.43-45、2009.8

# 淀川大橋補修溶接部の非破壊検査と鋼材の成分分析 Non-destructive Tests and Chemical Composition Analysis for Repaired Welds of the Yodogawa Bridge

○河野 譲\*                      増田 寛四郎\*\*                      夏秋 義広\*\*\*                      坂野 昌弘\*\*\*\*  
Yuzuru KOHNO                      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 inspection 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 non-destructive test and chemical composition analysis carried out on welded areas of the repaired members.

**Key words:** 亀裂, 非破壊検査, X線透過試験, 磁粉探傷試験, 化学成分分析

*Crack, non-destructive testing, X-ray, magnetic particle testing, chemical composition analysis*

## 1. はじめに

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<sup>1)~5)</sup>において、約85年間供用されている本橋梁を対象として、各部材の健全性を評価・診断する目的で各種非破壊検査および鋼材の化学成分分析を行い、長寿命化をはかるための予防保全を含めた最適な補修・補強対策を検討するための資料とした。

本橋梁は昭和初期に建設され径間中央部に鋼単純トラス構造部を有する橋梁(図1)である。

トラス構造部は戦時中の米空軍の銃撃を受けると同時に経年的な腐食劣化が見られたことにより、昭和35年に補修・補強が施工されている。

この主構部材および横桁や縦桁の補修・補強が適切に行われているかを調べるために代表箇所を選定して、本橋梁の代表的箇所に対して非破壊検査および化学成分分析を実施して、き裂の有無および材質状況を調査した。

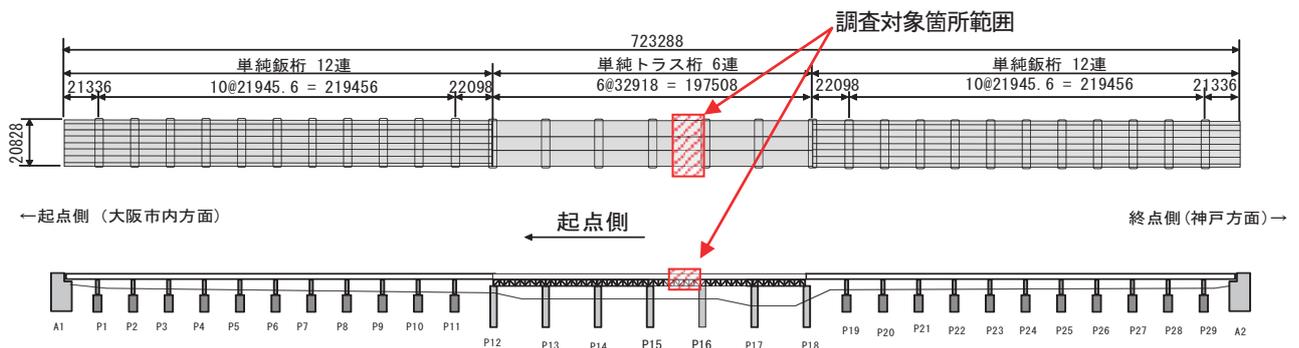


図1 調査対象橋梁

\*工博 (社)日本橋梁建設協会近畿事務所(〒550-0005 大阪市西区西本町1-8-2 三晃ビル5F)特別会員  
\*\*工修 国土交通省近畿地方整備局大阪国道事務所(〒536-0004 大阪市城東区今福西2-12-35)  
\*\*\* (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 関西大学環境都市工学部(〒564-8680 吹田市山手町3-3-35) 第2種正会員



写真1 トラス斜材の銃創跡



写真2 主構腹板の銃創跡



写真3 トラス斜材の補修・補強状況

## 2. 橋梁の緒元

対象橋梁は1926年竣工の幅員20.8m、橋長723.3m、30径間（中央部6径間鋼単純トラス）を有する橋梁であり、京阪神間の重交通を支える主要国道の2号線に位置し、海岸から約5.5km地点

に架かる橋である。

## 3. 非破壊試験方法の選定

非破壊試験方法は図2に示すように表面欠陥と内部欠陥を検出方法に区分される。



図2 非破壊試験方法

今回の非破壊試験の適用に当たり、どの方法を実施するか事前検討を実施した。その結果、表面欠陥に対しては発生が懸念される疲労き裂を検出する目的で磁粉探傷試験、内部欠陥に対しては補修・補強箇所が複雑な板組の溶接形状であることからX線透過試験（工業用デジタル画像処理システム）を適用することとした。

### 3. 1. 磁粉探傷試験条件

表1 磁粉探傷試験条件

適用規格	JIS Z 2320-1
試験装置	ハンドマグナ、ブラックライト
磁化方法	極間法
磁粉の適用時期	連続法
磁粉	蛍光湿式

### 3. 2. X線透過試験条件

表2 X線透過試験条件

適用規格	JIS Z 3105 に準拠
試験装置	X線発生器
	管電圧：245 kVp
デジタル 画像装置	イメージングプレート (IP)
	デジタル画像読取装置

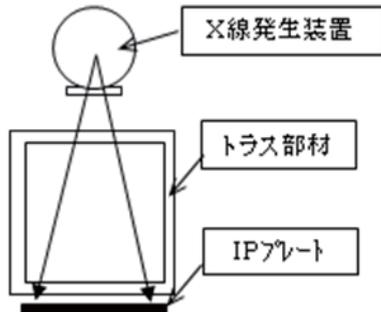


図3 X線透過試験方法



写真4 トラス斜材補強部の非破壊試験箇所例

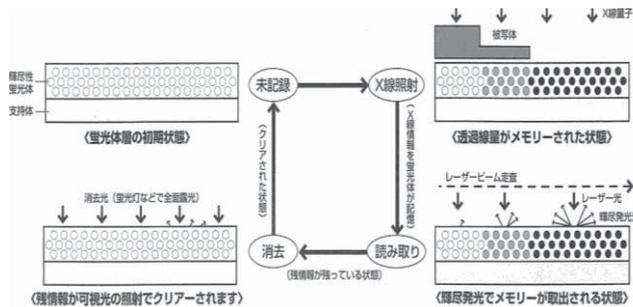


図4 デジタル画像処理方法



写真5 横桁補修部の非破壊試験箇所

### 4. 非破壊試験の目的

#### 4. 1. 磁粉探傷試験

トラス橋部の主構部材および横桁や縦桁の補修・補強溶接部の中から目視検査で場所を選定して、磁粉探傷試験を適用してき裂の有無を確認した。

#### 4. 2. X線透過試験

トラス橋部の主構部材の中から目視検査で補修・補強箇所を選定して、X線透過試験（工業用デジタル画像処理システム）を行い、補修・補強溶接部の内在欠陥およびき裂の有無を確認した。

- 磁粉探傷試験箇所
- 磁粉探傷試験箇所, X線透過試験箇所

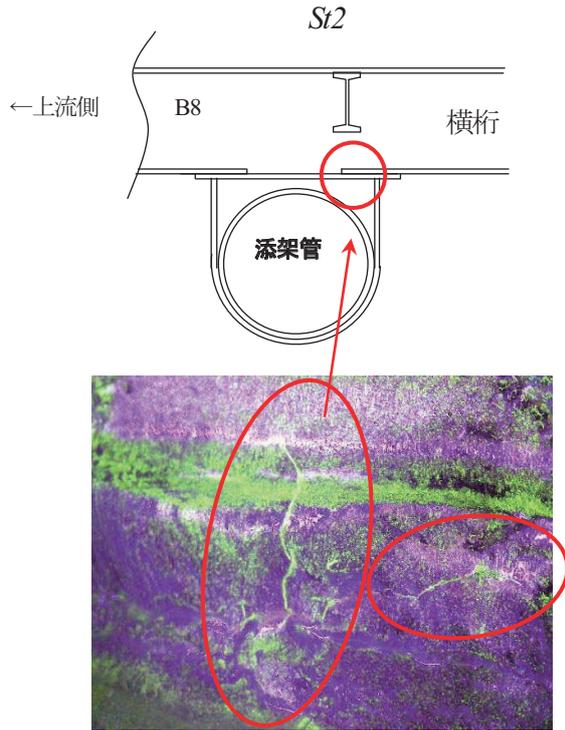
### 5. 非破壊試験結果

#### 5. 1. 磁粉探傷試験

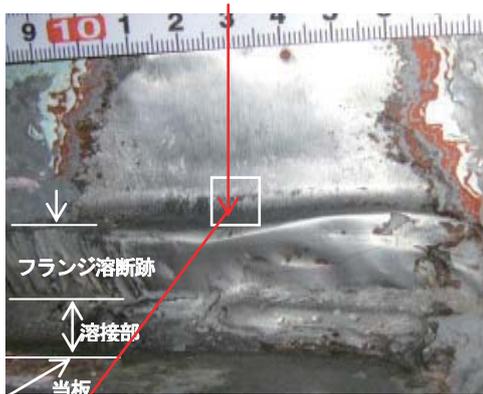
トラス橋部の横桁の当板補強溶接部および縦桁と主構垂直材の母材部に欠陥を検出した。欠陥を検出した箇所に対してその詳細を調べるためにマクロ・マイクロ組織試験（腐食液：5%硝酸アルコール）を実施した。

横桁の当板補強溶接部の欠陥は下フランジ切欠き縁のすみ肉溶接部から発生したき裂であり、ガス溶断部には細かなき裂が多数発生しており、先端（図5）は腹板まで伸びていて、マイクロ試験の結果ではき裂先端が鋭いことから疲労き裂と推定される。

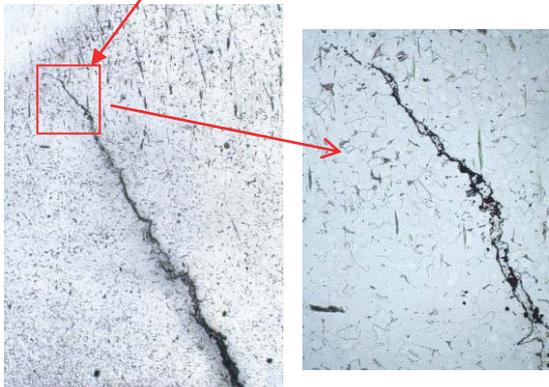
縦桁下フランジの母材部の欠陥は製造時（圧延時）に発生した介在物（図6）と推定される。



下フランジ当板補修部の磁粉探傷試験

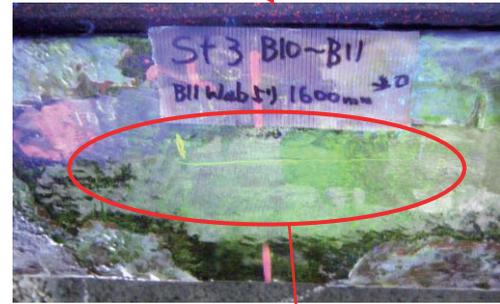
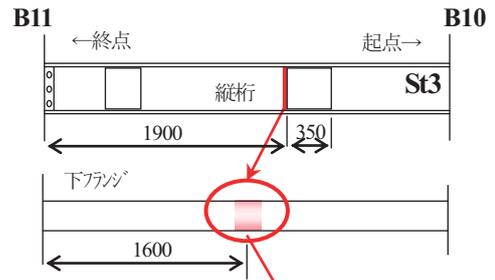


下フランジ当板補修部のマクロ試験

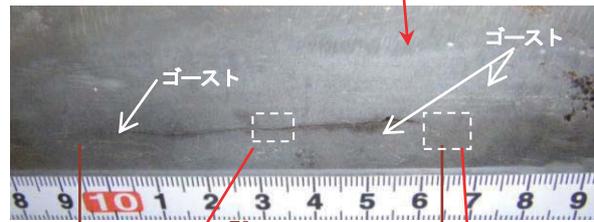


尖鋭なき裂先端×25      尖鋭なき裂先端×100

図5 横桁フランジ当板補強部のき裂



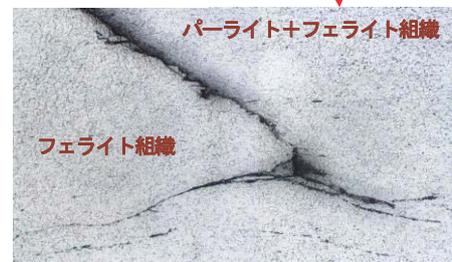
下フランジの磁粉探傷試験



下フランジのマクロ試験：  
きず長さ70mm、きず周辺のゴースト・ライン



きず部の拡大：周辺部はフェライト相 ×25



きず先端付近拡大      周辺部はフェライト相のみの組織 ×25

図6 縦桁下フランジの欠陥

主構垂直材の母材部の切欠き近傍の欠陥は製造時 (圧延時) に発生した介在物 (図7) と推定される。

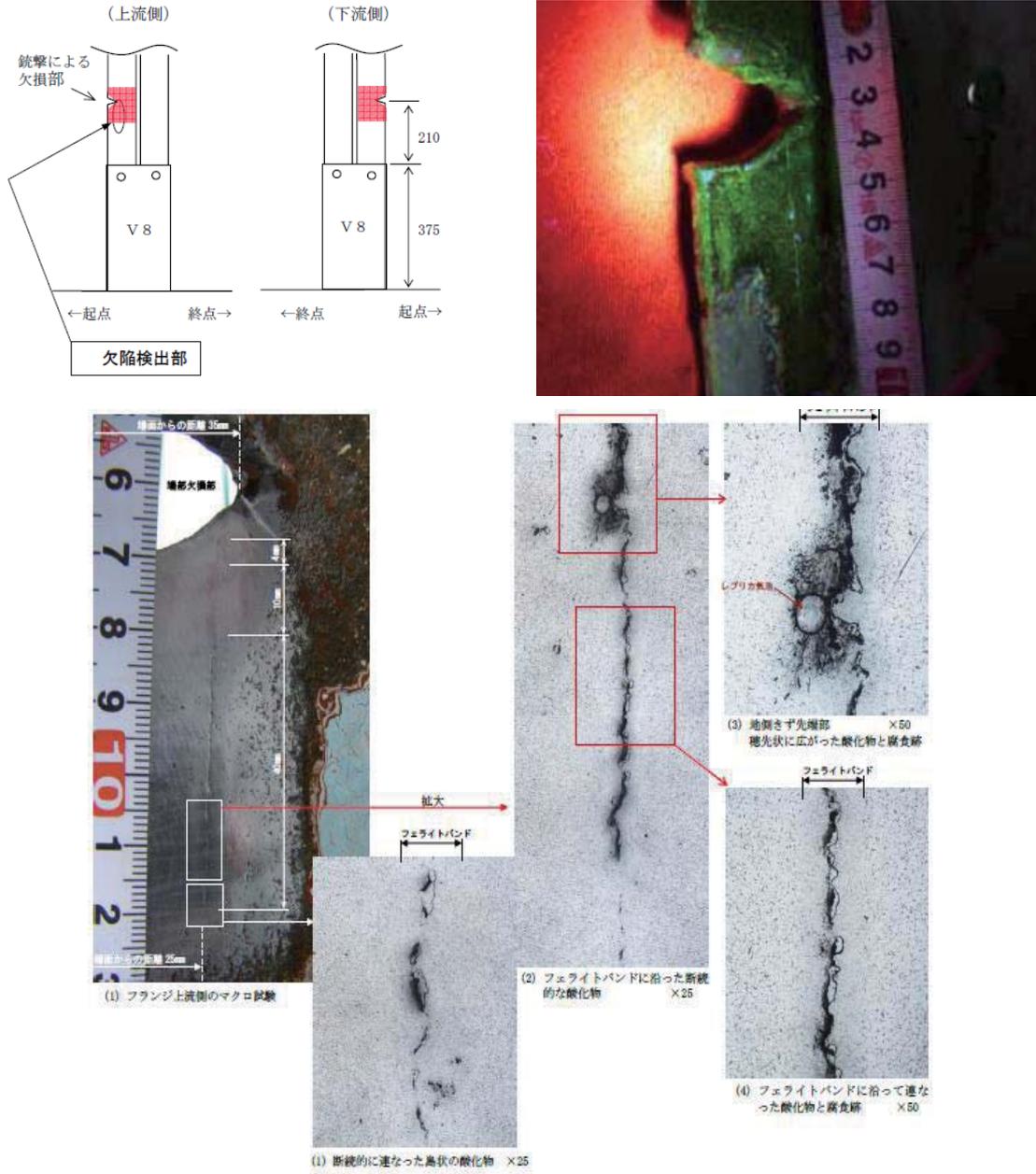


図7 主構垂直材の欠陥

### 5. 2. X線透過試験

トラス橋部の主構トラス斜材部の補修, 補強箇所は既設材に新設材を突合せ溶接し, その上に当板を溶接した構造になっている。また, 主構垂直材は既設材と新設材を突合せ溶接した構造になっていることが今回の調査で判明した。X線透過試験を用いて撮影箇所 (図8) 全ての画像解析を行った結果, 主構トラス斜材の突合せ溶接部に不溶着部や融合不良等の内在欠陥 (図9) を検出した。

また, 主構垂直材の突合せ溶接部にブローホールや融合不良等の内在欠陥 (図10)。

表3 検査結果一覧表

部材名	検査箇所	欠陥箇所
斜材部	8	8
垂直材	12	11

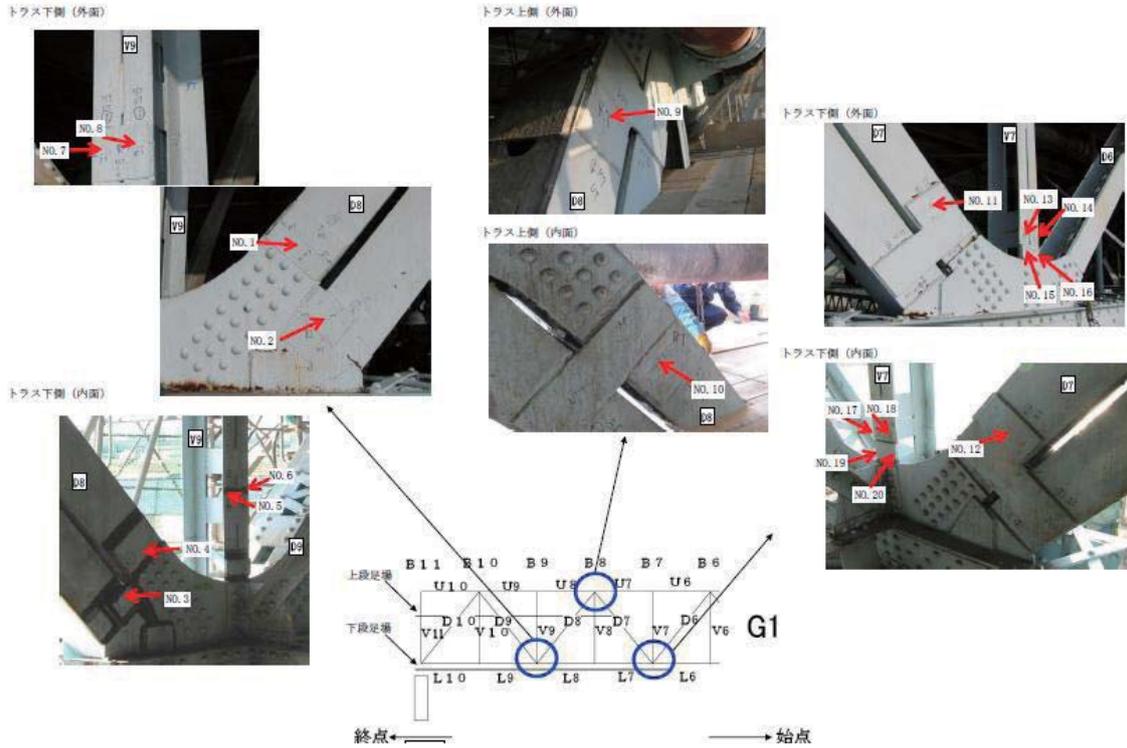


図8 X線透過試験箇所

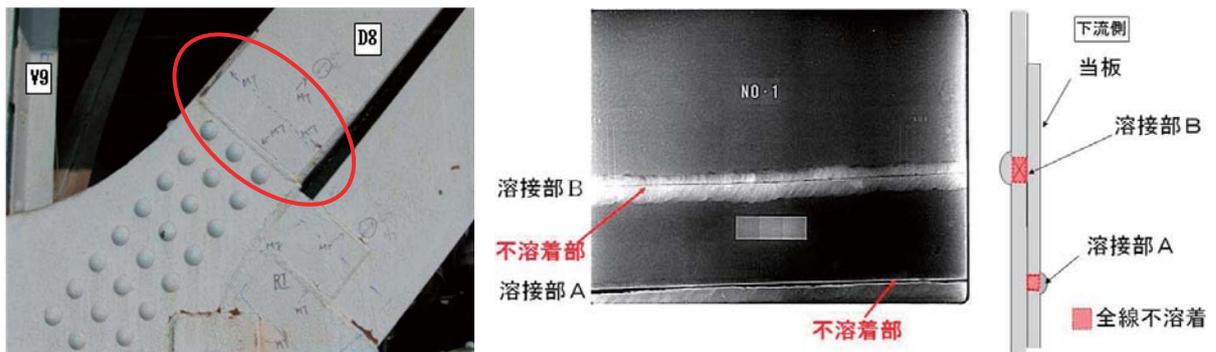


図9 斜材突合せ溶接部 (不溶着・融合不良)

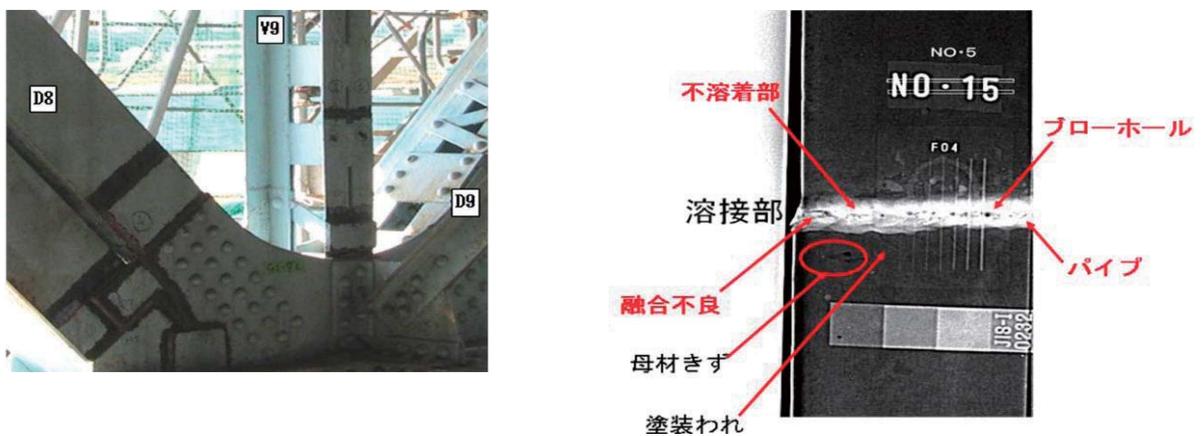


図10 鉛直材突き合わせ溶接部 (ブローホール・融合不良)

### 6. 化学成分分析目的

トラス橋部の主構部材および縦桁の中から、目視検査で既設材と補強材から部材の選定をおこない、コア試料を採取して鉄鋼5元素 (C, Si, Mn, P, S) および溶接硬化性元素 (Cu, Ni, Cr, Mo, V) の化学成分分析を行った。

分析方法は J I S に記載される以下の分析法を適用した。

- 分析法は：JIS G0321「鋼材の製品分析方法及びその許容変動値」
- JIS G0417「鉄および鋼—化学成分定量用試料の採取及び調整」
- JIS G1253「鉄および鋼の光電測光法による発光分光分析法」
- JIS G 0560「鋼のサルファプリント試験方法」

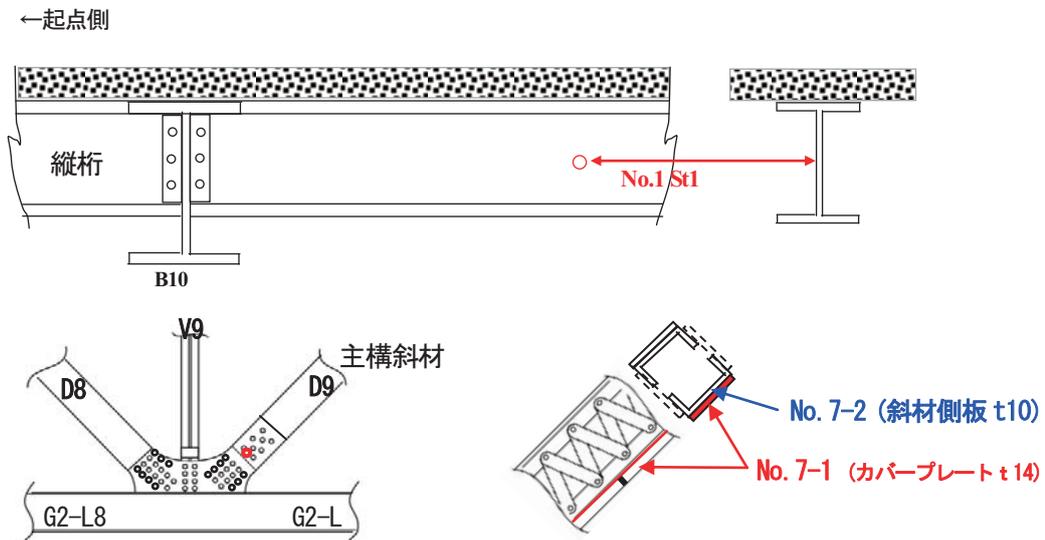


図 11 縦桁および主構斜材部のコア試料採取箇所例

表 4 コア試料採取箇所一覧

コア試料 No.	部材名・記号	板厚 (mm)	部 位
No. 1	St1・縦桁 (B10-B11 間)	10.0	腹板
No. 2	St1・縦桁 (B9-B10 間)	10.2	腹板
No. 4	G1-L9・下弦材 (主桁)	16.1	腹板 (上流側)
No. 3	G1-V10・垂直材	12.6	下端タイプレート
No. 5	G1-D8・補強斜材	14.0	補強斜材下面
No. 6	G1-D7・補強斜材	13.7	補強斜材下面
No. 7-1	G2-D9・既設斜材	14.0	斜材カバープレート
No. 7-2		10.0	斜材腹板

### 7. 化学成分分析結果

分析結果は表 5 に示すが、調査部材によって成分のバラツキが見られた。表中赤字で示すように縦桁腹板の既設材は C 含有量に極端に低く (現在 SM 材の 1/6~1/8 程度)、不純物元素の P や S 量が非常に多い (2 倍から 3 倍) 材料である。斜材についても C 含有量は現在の SM400A に近い値になっているが (約 80%)、S の値は 2 倍程度の値を示している。

また、サルファプリント結果から既設材は表面 1~2 mm にリム層が見られ、補強材にはこれが見られない。さらに化学成分分析では分析値が平均化されるため、P や S が正常に見える部材 (No.3) でも図 12 のサルファプリントの結果から見ると、硫

化物が多く線状偏析の傾向が見られる。

表 5 化学成分分析結果一覧

部材名	分析値	化 学 成 分 (wt%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
No. 1 St1 (B10-B11 間縦桁)		0.031	<0.01	0.39	0.045	0.059	0.03	0.03	0.01	<0.02	<0.002
No. 2 St1 (B9-B10 間縦桁)		0.044	<0.01	0.48	0.11	0.090	0.03	0.04	0.04	<0.02	<0.002
No. 3 G1-V10 垂直材カバーP		0.21	<0.01	0.46	0.023	0.053	0.62	0.03	0.03	<0.02	<0.002
No. 4 G1-L9 下弦材・主桁		0.17	<0.01	0.48	0.015	0.051	0.30	0.03	0.01	<0.02	<0.002
No. 5 G1-D8 補強斜材		0.17	0.07	0.64	0.013	0.033	0.17	0.04	0.04	<0.02	<0.002
No. 6 G1-D7 補強斜材		0.15	0.07	0.62	0.013	0.023	0.16	0.04	0.04	<0.02	<0.002
No. 7-1 G2-D9 斜材カバーP		0.19	0.03	0.64	0.036	0.061	0.04	0.14	0.11	<0.02	<0.002
No. 7-2 G2-D9 斜材腹板		0.18	<0.01	0.48	0.022	0.065	0.38	0.02	0.02	<0.02	<0.002
JIS-1 種 <sup>(1)</sup>		-	-	-	<0.06	<0.06	-	-	-	-	-
JIS-SS41 <sup>(2)</sup>		-	-	-	<0.050	<0.050	-	-	-	-	-
JIS-SM41 <sup>(3)</sup>		<0.23	-	>2.5×C	<0.040	<0.040	-	-	-	-	-
現行-SM400A		<0.23	-	>2.5×C	<0.035	<0.035	-	-	-	-	-



図 12 縦桁および主構斜材部のコア試料のサルファプリント結果

## 8. まとめ

今回の調査において、前回の補修・補強工事(昭和35年)の健全性を磁粉探傷試験およびX線透過試験を適用して調べた。その結果、縦桁補修部の補修溶接部を起点として進展したき裂は、疲労き裂の懸念がある。

斜材部の補強突合せ溶接部に検出した断面欠損率の大きな不溶着部は、負荷応力に直行する欠陥であり、前記のき裂と併せて早急な補修検討が必要なる結果となった。

また、本橋梁の既設部はリベット構造で溶接性が考慮された鋼材ではないと推定されるため化学成分分析を行ったが、既設材はP, Sの不純物量が極めて多い鋼材と推定され、今後の補修・補強工事は、溶接時の高温割れ、硫黄割れ等の発生を考慮した補修方法の検討が必要と考える。

今回の調査結果が今後の補強・補修工事における一助になればと考える。

## 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

## 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<sup>ルイ</sup>\* 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<sup>1)~7)</sup>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

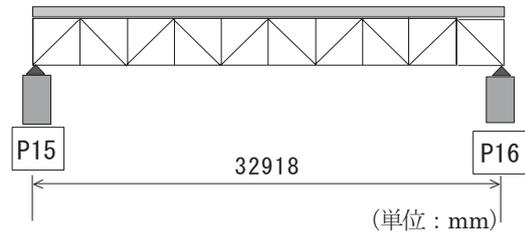
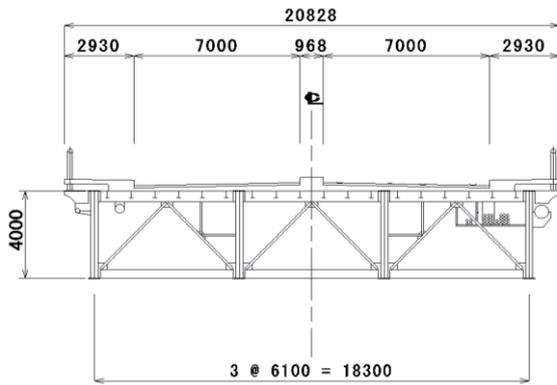


図1 一般図

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。

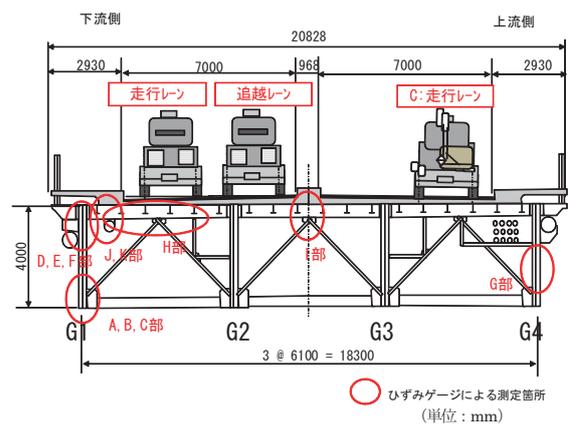


図2 測定位置および载荷位置

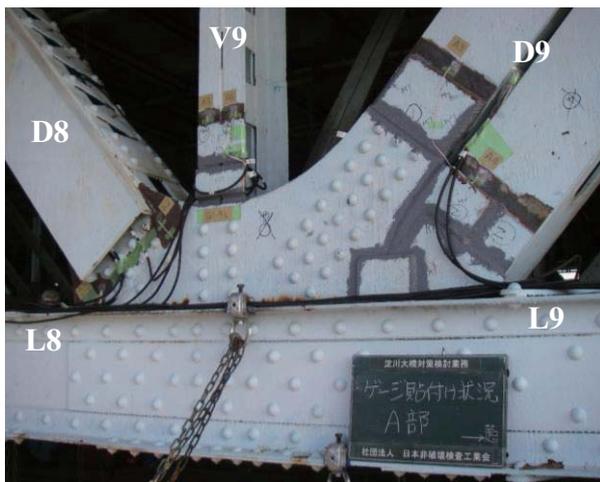


写真2 補強部の一例（G1トラス下流側—A部）

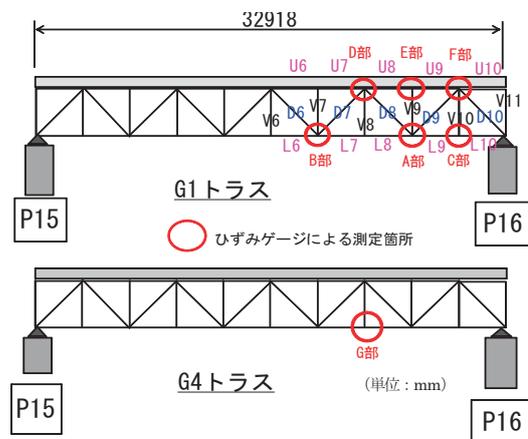


図3 主構トラス測定位置

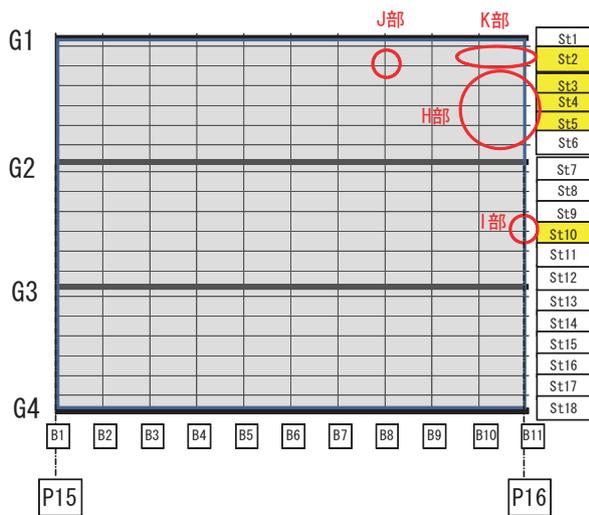


図4 床組測定位置

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)

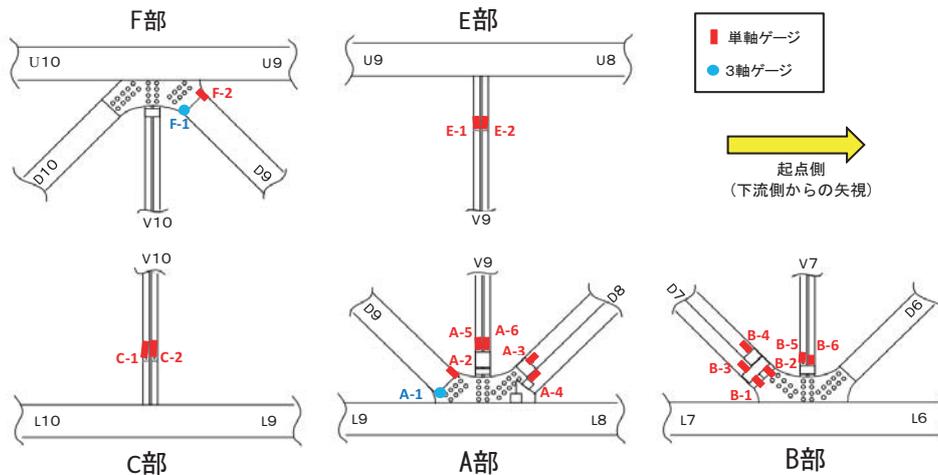


図5 ゲージ取付け位置の一例 (主構トラス G1-下流側)

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。

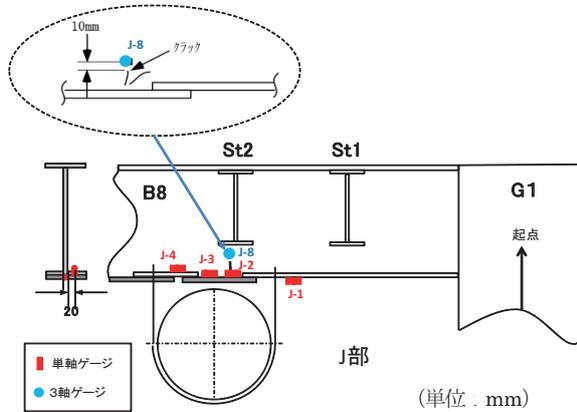
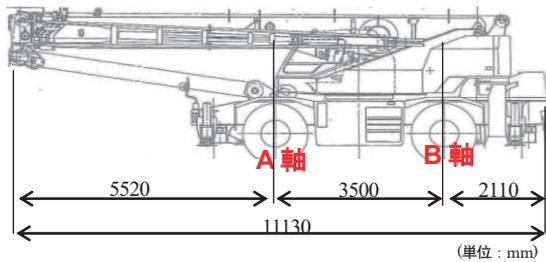


図6 ゲージ貼付位置一例 (横桁 B8)



	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に実施した。

## 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)」<sup>8)</sup>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<sup>9)</sup>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	$\infty$
		(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	

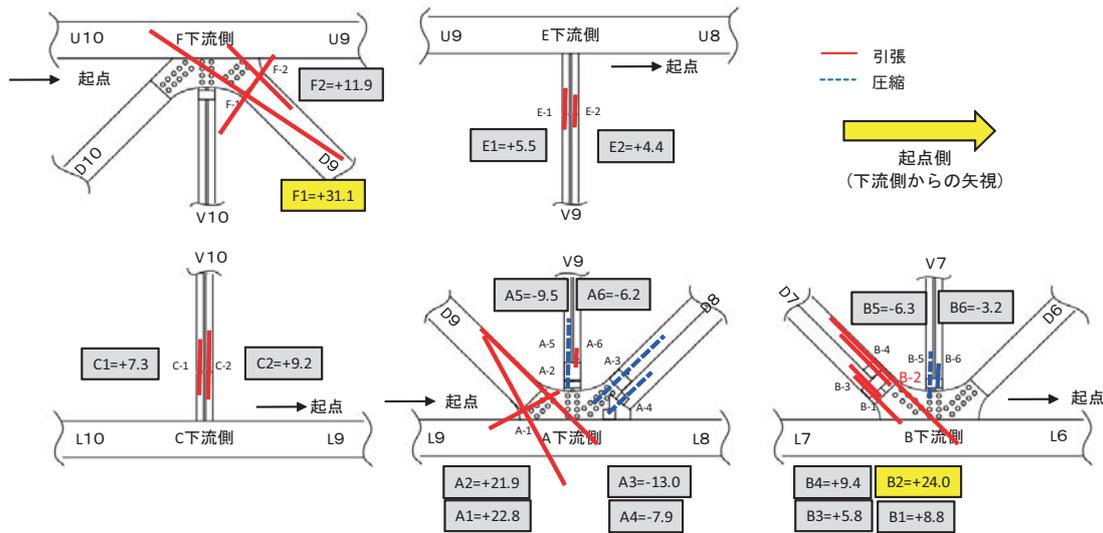


図8 応力頻度測定結果の一例 (トラス, 最大応力度)

### 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)。

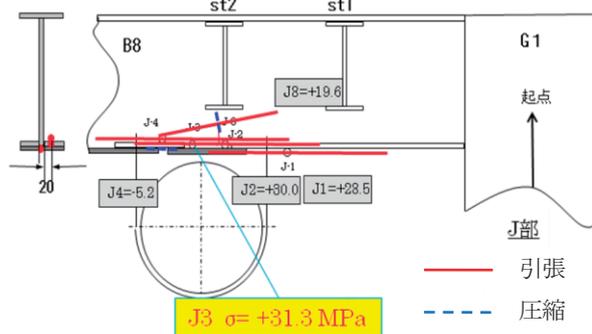


図9 応力頻度測定結果の一例 (横桁補強部, 最大応力度)

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。

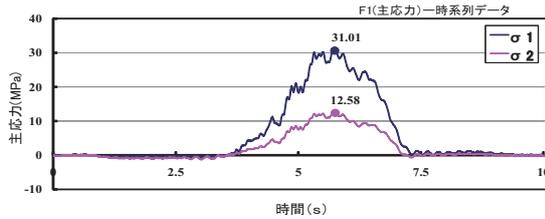


図10 応力頻度測定結果の一例  
最大応力(斜材 D9, ゲージ F1)

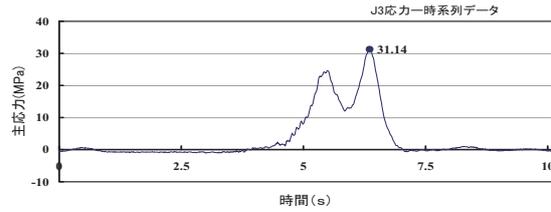


図11 応力頻度測定結果の一例  
最大応力(縦桁当板部, ゲージ J3)

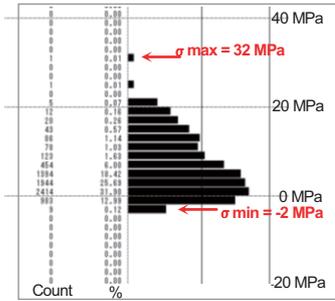


図12 ピーク・バレー法による応力頻度分布図  
(測定点 J3)

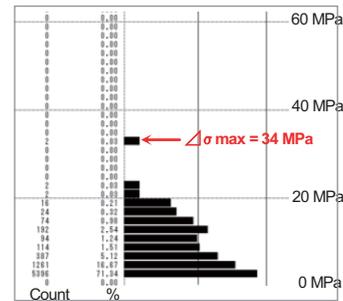


図13 レインフロー法による応力頻度分布図  
(測定点 J3)

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