

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^{1)~5)}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。

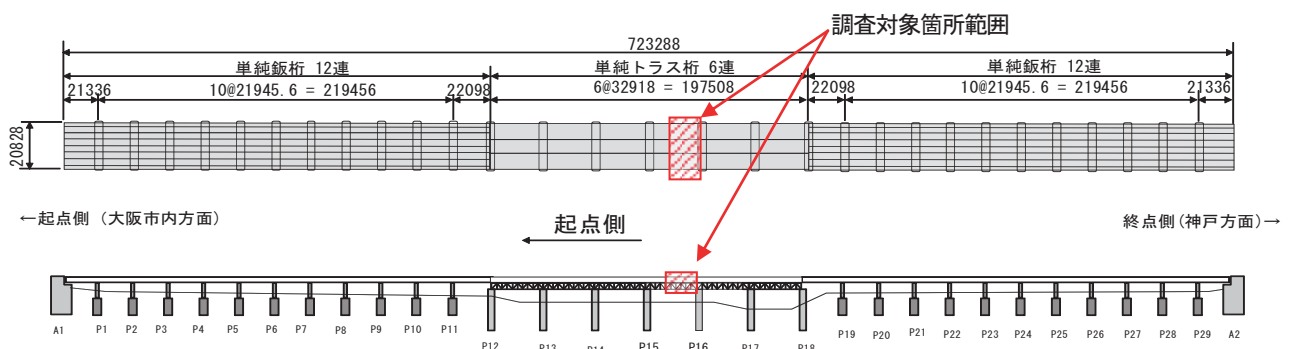


図1 調査対象橋梁

*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

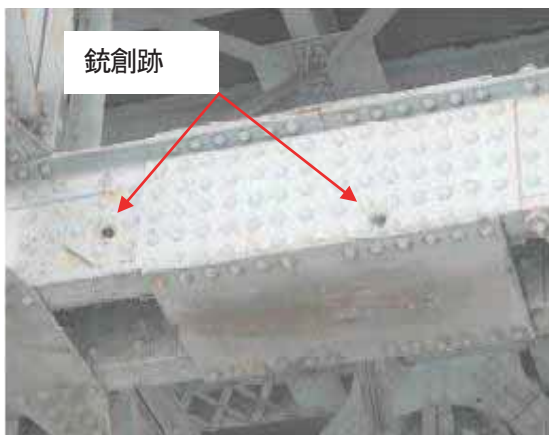


写真2 主構腹板の銃創跡



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。

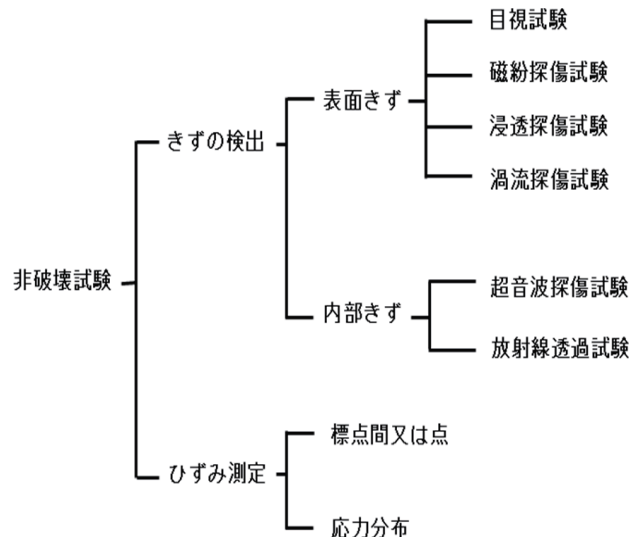


図2 非破壊試験方法

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	ハドマダナ、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

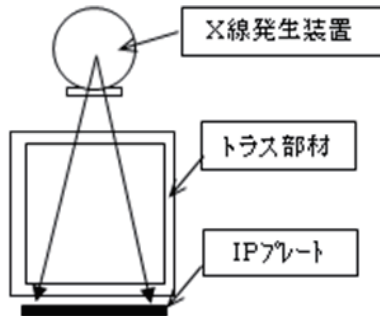


図 3 X線透過試験方法

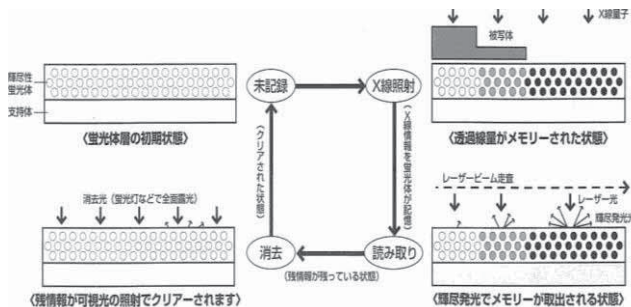


図 4 デジタル画像処理方法



写真 4 トラス斜材補強部の非破壊試験箇所例



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

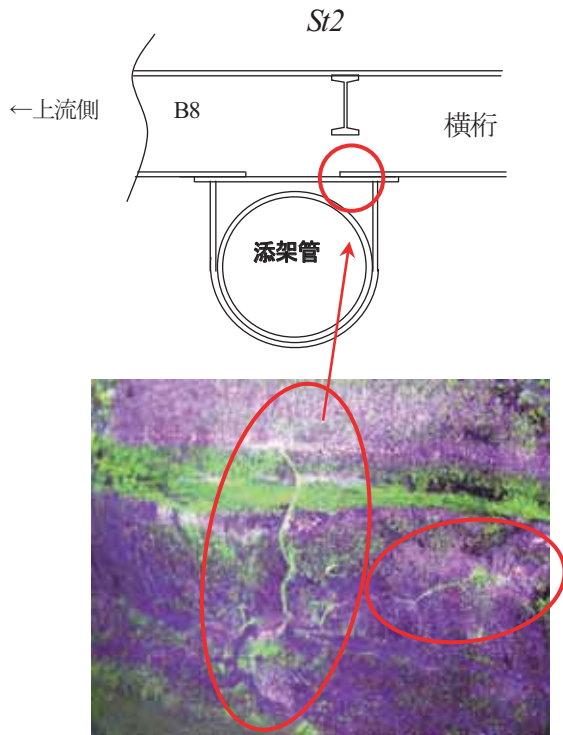
5. 非破壊試験結果

5. 1. 磁粉探傷試験

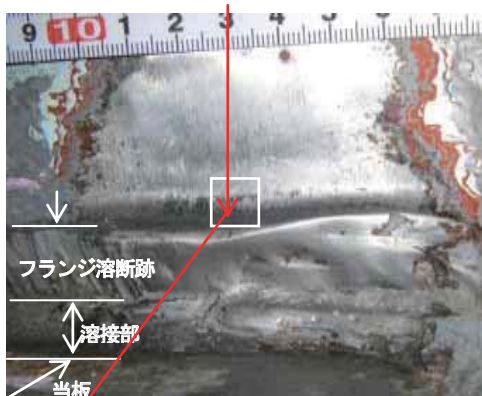
トラス橋部の横桁の当板補強溶接部および縦桁と主構垂直材の母材部に欠陥を検出した。欠陥を検出した箇所に対してその詳細を調べるためにマクロ・マイクロ組織試験（腐食液：5%硝酸アルコール）を実施した。

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。

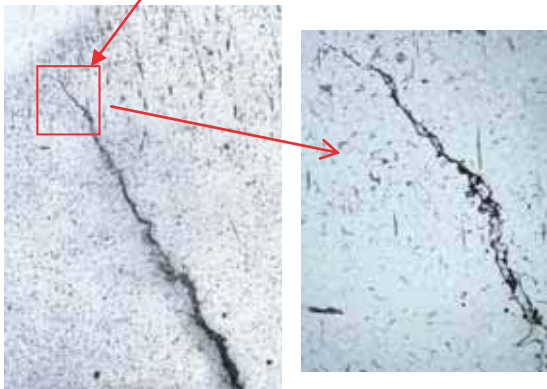
縦桁下フランジの母材部の欠陥は製造時（圧延時）に発生した介在物（図 6）と推定される。



下フランジ当板補修部の磁粉探傷試験

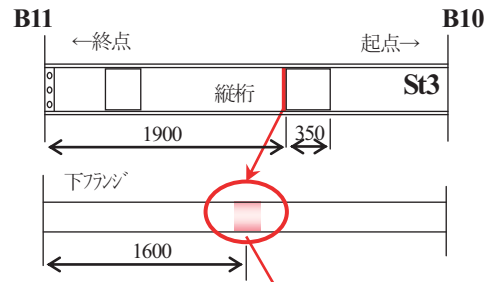


下フランジ当板補修部のマクロ試験

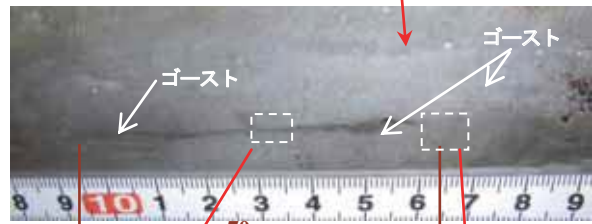


尖鋭なき裂先端×25 尖鋭なき裂先端×100

図5 横桁フランジ当板補強部のき裂



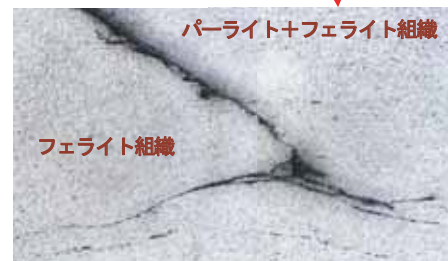
下フランジの磁粉探傷試験



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。

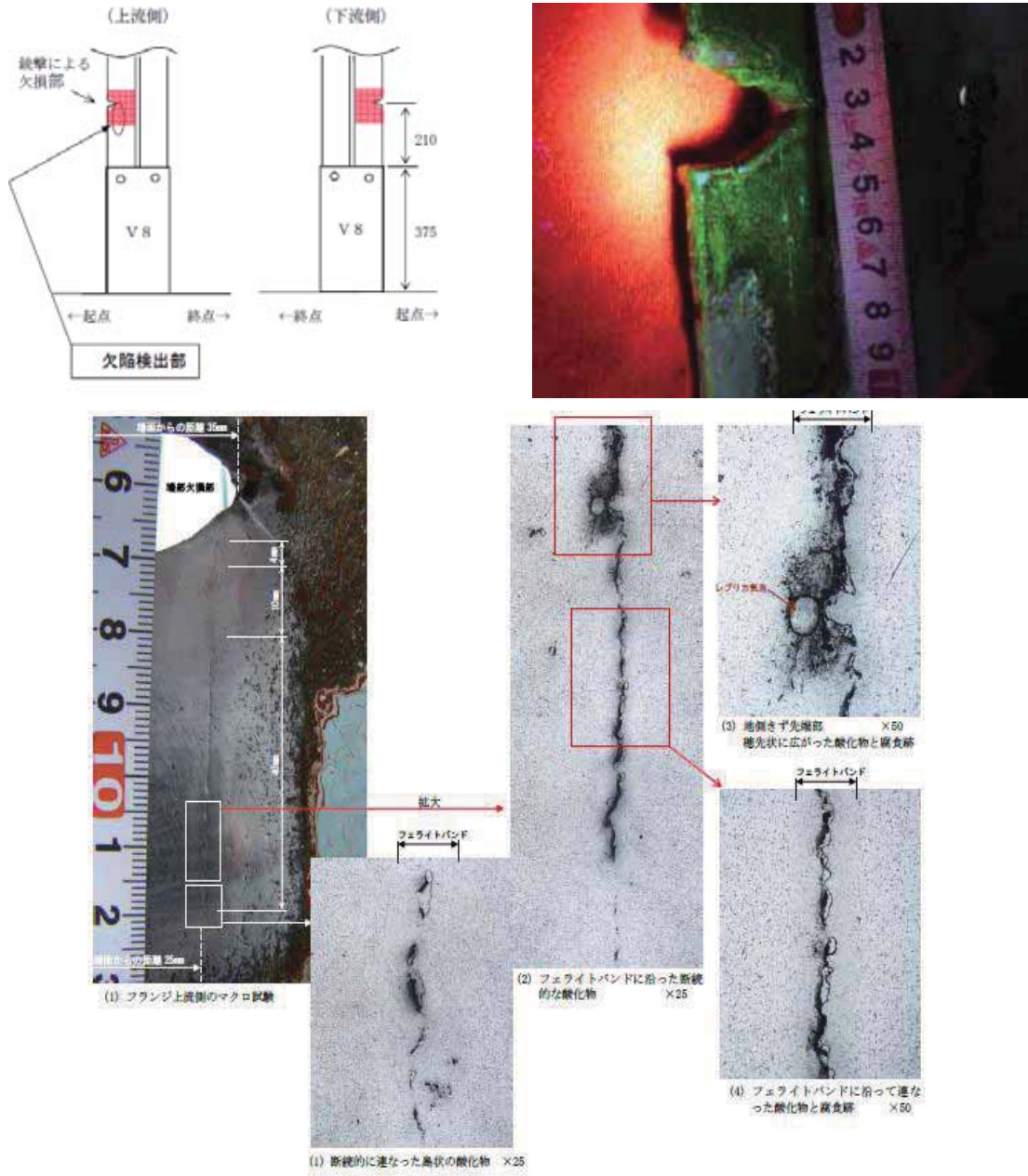


図7 主構垂直材の欠陥

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

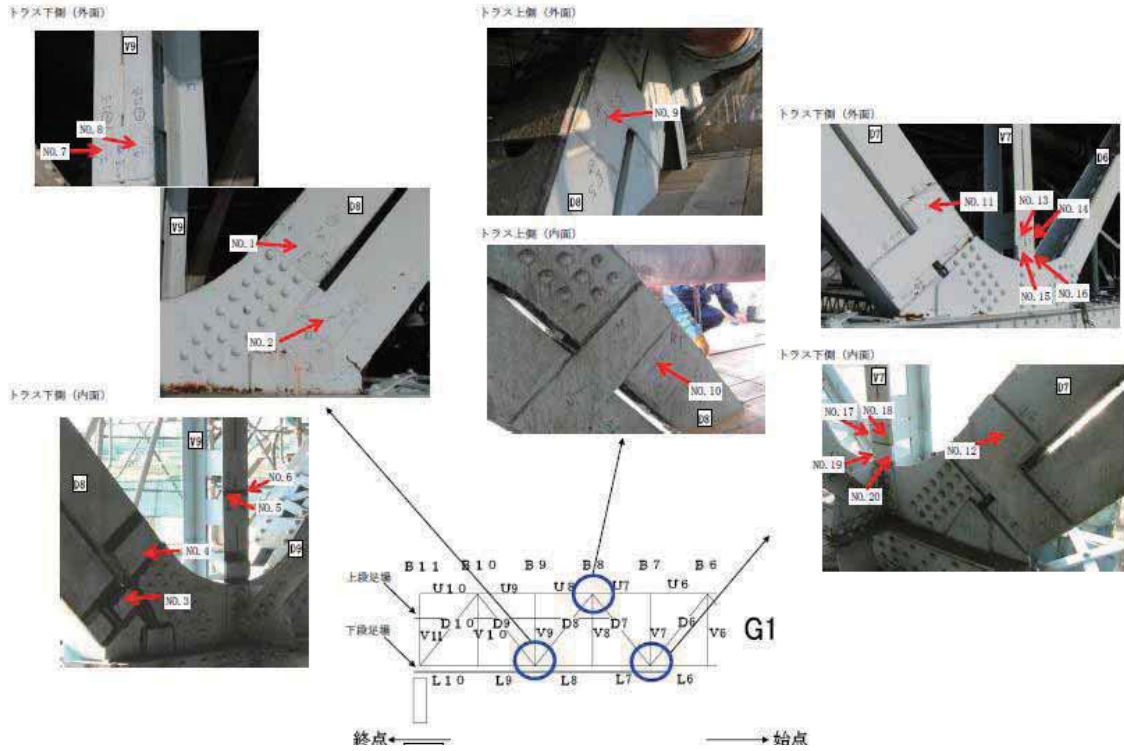


図8 X線透過試験箇所

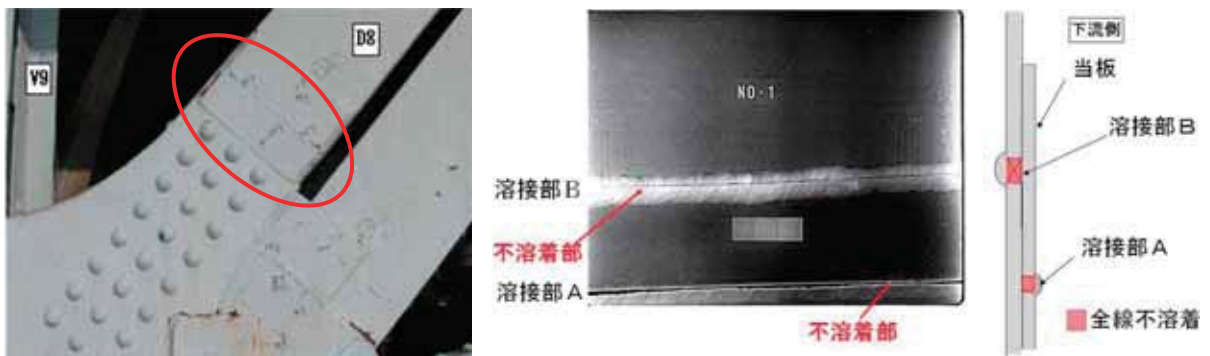


図9 斜材突合せ溶接部 (不溶着・融合不良)

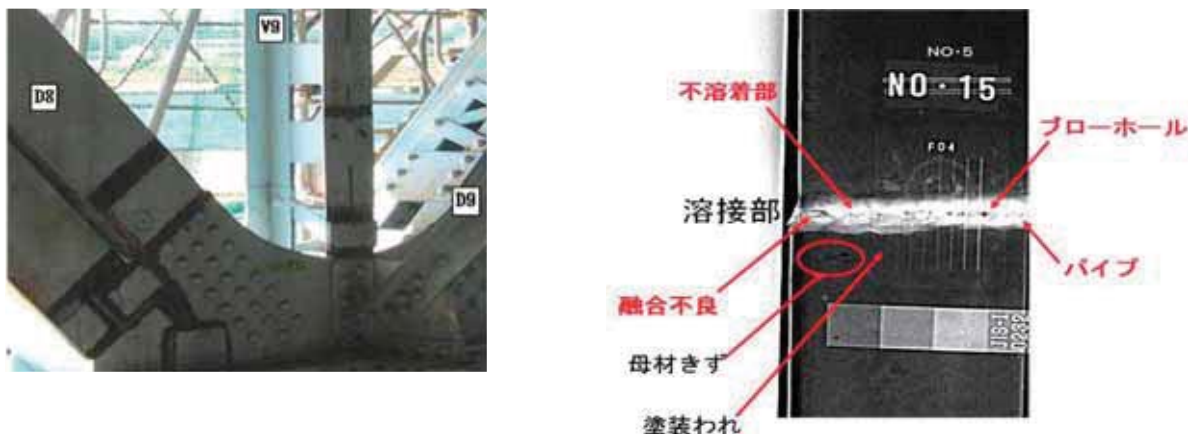


図10 鉛直材突き合わせ溶接部 (ブローホール・融合不良)

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JIS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」

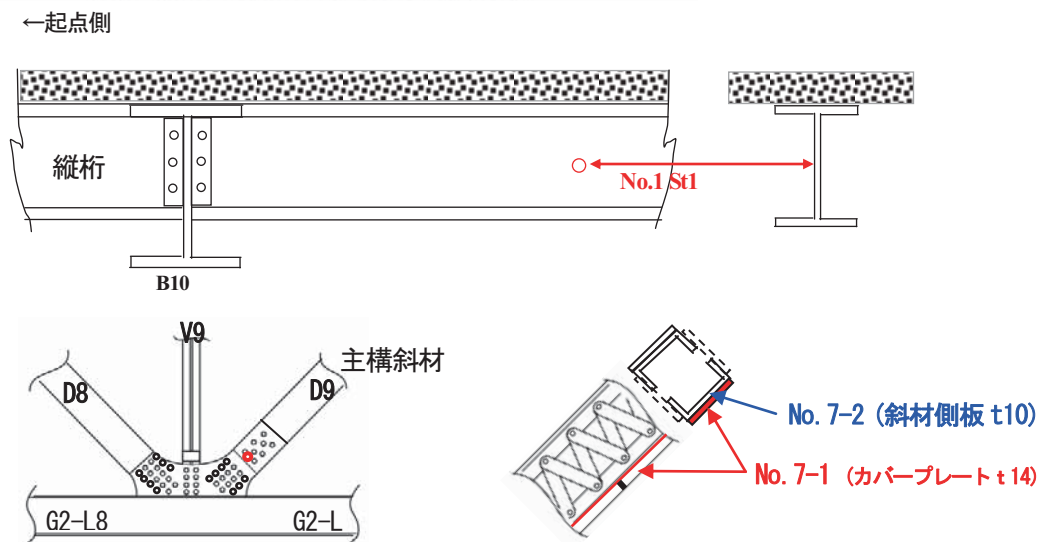


図 11 縦桁および主構斜材部のコア試料採取箇所例

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1~2mm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	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	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	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 ^①	-	-	-	<0.06	<0.06	-	-	-	-	-
JIS-SS41 ^②	-	-	-	<0.050	<0.050	-	-	-	-	-
JIS-SM41 ^③	<0.23	-	>2.5×C	<0.040	<0.040	-	-	-	-	-
現行-SM400A	<0.23	-	>2.5×C	<0.035	<0.035	-	-	-	-	-

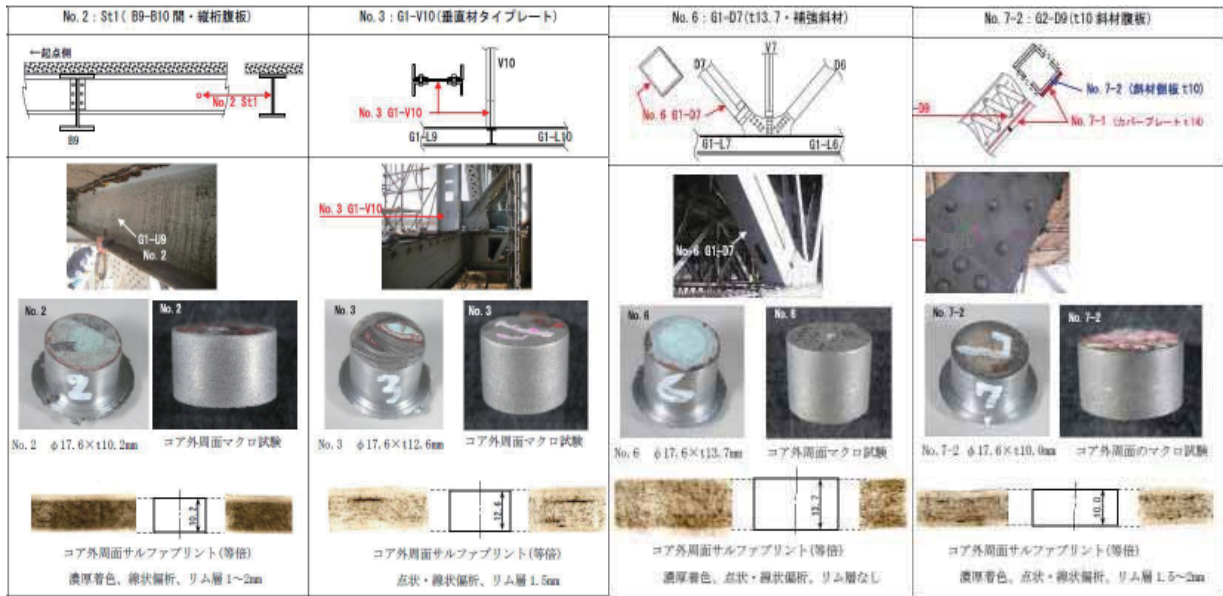


図 12 縦桁および主構斜材部のコア試料のサルファプリント結果

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、横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