

# 鋼道路橋桁端部の腐食断面欠損に対する当て板補強

田中良樹・村越 潤・飯塚拓英

## 1. はじめに

鋼道路橋の桁端部は、伸縮装置からの漏水などにより、一般部に比べて腐食しやすい傾向にある。中には桁端部の鋼桁に著しい板厚減少が見られたり、貫通孔が見られる事例もある<sup>1)~4)</sup>。桁端部では、定期的な塗装の塗替えに加えて、腐食原因除去などの腐食環境の改善が不可欠である<sup>3)</sup>。一方、鋼道路橋の桁端部で腐食による著しい断面欠損が生じた場合、所要の強度や剛性を確保するため部材交換や当て板補強等が必要となる。著者らがこれまで行った、断面欠損部を有する鋼桁の載荷試験では、当て板補強をすることで、断面欠損部の応力集中が大きく改善されることを確認した<sup>4)</sup>。引き続き、桁端部における応急対策としての当て板補強の施工性を確認するため、桁端部が腐食している鋼道路橋で試験施工を行った<sup>5)</sup>。本文では、鋼桁の桁端部腐食の影響を整理した上で、実橋での試験施工の内容と、その効果確認のために行った走行載荷試験及び供用下のひずみ測定の結果について述べる。

## 2. 鋼桁の桁端部腐食の影響

鋼桁端部の支点上には、ウェブのせん断力や支点反力に対する座屈防止を目的として、垂直補剛材が設けられる。このため、支点付近では、ウェブ、フランジ、補剛材が溶接で連結されて、比較的剛な部分を形成している。また、主桁の横倒れ座屈の設計では、一般に上フランジの幅厚比と固定点間距離に配慮されるが、これらは主桁が桁端部で橋軸直角方向に支持されていることが前提である。この横方向に支持される部位という点でも主桁の支点付近は剛な構造である必要がある。

このような桁端部において、著しい腐食を放置した場合には、座屈、疲労亀裂、地震時の破断、段差など、さまざまな損傷の拡大が懸念される(図-1)。写真-1は、地震時に鋼桁の断面欠損に起因して下フランジの破断が生じ、桁端部が沈下した事例である。

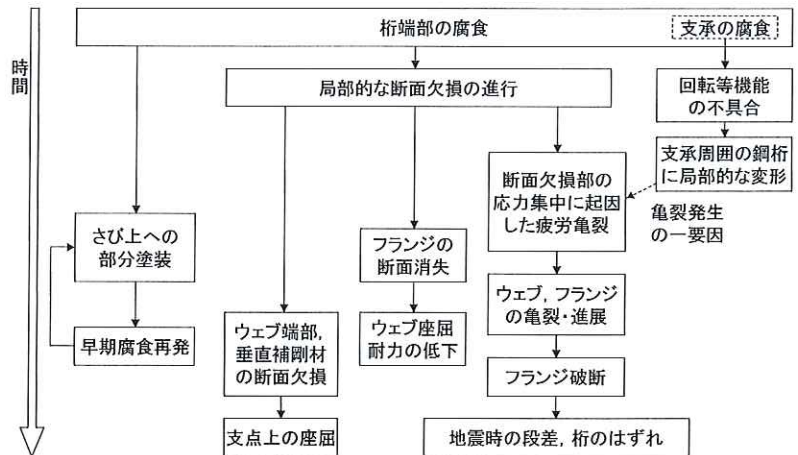


図-1 桁端部腐食により懸念される損傷の拡大<sup>4)</sup>



写真-1 鋼橋桁端部の地震時の破断事例<sup>4)</sup>

この場合は路面、ジョイント部で45mmの段差が生じたものの、桁が左右に大きく偏心するような破壊は見られなかった。主桁本数が少ない場合や、腐食による断面欠損の偏りが大きい場合、沈下に次ぐ、横倒れのようなねじりを伴う損傷の連鎖的発生も想定しておく必要がある。

これらの点から、腐食による著しい断面欠損が生じた主桁支点上付近は、元の腐食のない時と同等の剛な構造に回復する必要がある。

## 3. 当て板の試験施工

### 3.1 対象橋

対象橋梁は、日本海の海岸線から4.7kmに位置し、1970年に架設された単純鋼合成鉄桁橋(7径間×支間長32.1m)である(写真-2)。1998年に塗装の塗替えが行われたが、その後の塗装の劣化、腐食が著しく、特に、桁端部では貫通孔が見られた。これに対して、当て板による補強設計が既に実施されていた。この

Strengthening with Steel Splice Plates for Severely Corroded Steel Girder near Bearing in Existing Highway Bridge





写真-2 対象橋梁

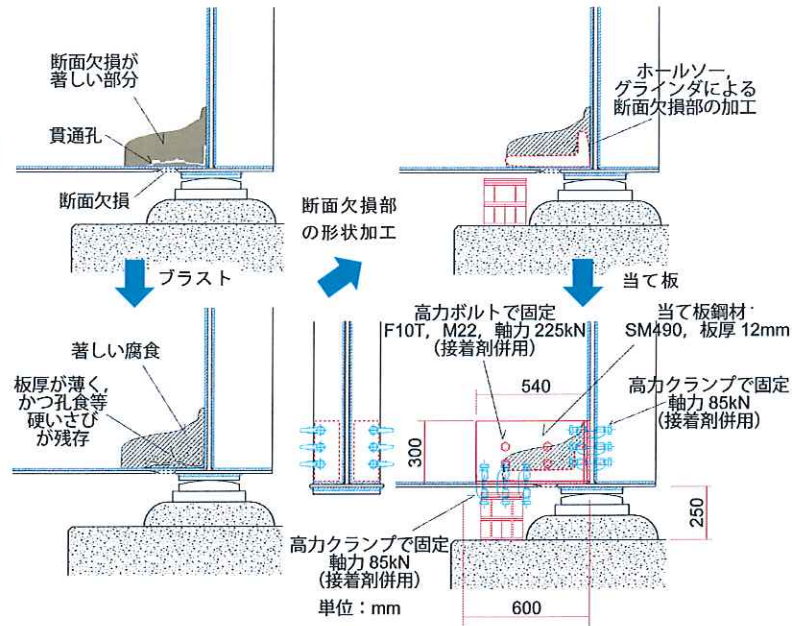


図-2 当て板の施工計画

うち損傷の著しい箇所1箇所(P1橋脚上、第2径間G3桁)に着目して、仮設用の高力クランプを利用した応急的な当て板補強を試験的に行った。

### 3.2 当て板の製作

図-2に、当て板の施工計画を概念図で示す。また、図-3に当て板の製作図を示す。本橋では、支点上付近のウェブに、下フランジ、垂直補剛材との溶接部に沿ったL形の貫通孔が見られるとともに、下フランジがソールプレートとの溶接部に沿って、片側(上流側)半分がほとんど消失する、著しい断面欠損が見られた(写真-3a,b)。ウェブの当て板の範囲は、現地調査と補強設計の図面(当て板高さは対傾構との取り合いが考慮されていた)を参考として決定した。また、ウェブ、下フランジ及び垂直補剛材それぞれの連結を回復する(桁端部の剛な構造を回復する)ため、3面に接する当て板とした。既設部材の溶接ビードと干渉しないように、当て板の下フランジ及び垂直補剛材と接する面にフィラーを設けた。

当て板の範囲には、貫通孔に至っていないまでも腐食断面欠損による凹凸が著しい部分があるため、さびを除去した上で、接着剤と同等の付着強度を有するエポキシ樹脂系パテ材(低温用、以下、接着剤という)を既設部材と当て板の間に充填することとした。充填の施工性、不慮の剥離の防止の観点から、接着剤のみに期待することはできないので、ボルト併用のボルト接着継手<sup>6)</sup>とした。ウェブのボルト本数は、ある程度の接着効果を期待して4本とした。接合面の腐食による凹凸が著しい箇所では接着剤が厚くなり、接着剤のクリープによるボルトの軸力低

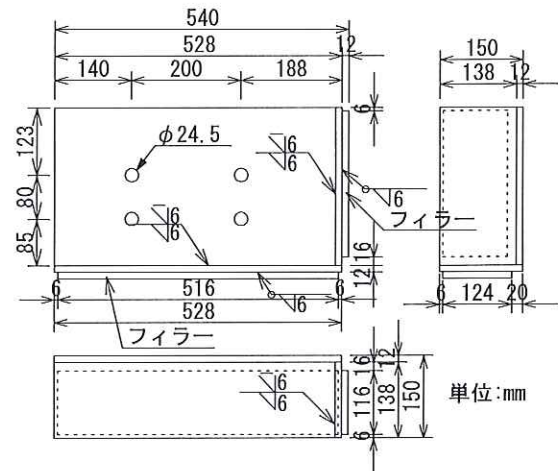


図-3 当て板の製作図(上流側)

下が大きくなるが、残存軸力による接着剤のせん断強度の向上により、ボルトなしの場合よりも高い接合効果が得られることを確認している<sup>6)</sup>。ボルト孔の削孔位置は今後の補強工事(本復旧)の妨げとならないように配慮した(写真-3c,d、写真-4)。また、当て板と下フランジ及び垂直補剛材との接合は、ボルト孔が本復旧の妨げとならないように、ボルトを使用せず、高力クランプ(仮設用挟締金具、S社製、AC50)で固定することとした。

当て板は、ウェブに対して対称となるようにウェブの両面に設置することとした。これにより、万一大きな地震を受けた場合でも、面外に大きく偏心することなく、待ち受けで受けることができると想定した。当て板への工場でのボルト孔の削孔は片方(上流側)のみとし、他方の当て板への削孔は、孔位置のずれを小さくするため、既設部材への仮組の後、現地で行うこととした。



### 3.3 施工

写真-3に、当て板補強の施工状況を示す。また、図-4に主な工程と所要日数(2名/日での実績)を示す。接合面は、腐食再発を防止するため、また所要の接着強度を得るため、グリットブラスト及び電動たがねにより錆の除去を行った(写真-3b,c)。現場で支承との取り合いを確認したところ、支承のストッパー(写真-3c)が当たることから、当て板の切欠き加工



写真-3 当て板箇所断面欠損と当て板補強の施工状況 (いずれも上流側から撮影)

を行った(写真-5)。鋼板を貫通する断面欠損部は、応力集中を軽減させるため、耐力低下に影響しない範囲(断面欠損で力の流れがない部分)で、ホールソー、グラインダを用いて整形した(写真-3c)。応力集中軽減の他、貫通孔の周囲は、著しい腐食により板厚が極端に薄くなっていること、またさびが硬くなっているためさびの除去が難しいために再腐食の原因になることが想定されることから取り除くこととした。

接着剤は、充填不足を防ぐため、主桁側及び当て板側の両接合面に塗布した。当て板は、接合面に接着剤が行きわたるように仮ボルトと高力クランプで軽く押えた上で、ずれないように仮止めて、24時間以上(この施工では36時間)の養生を行った。接着剤の引張せん断接着強さ(JIS K6850)は、22.1N/mm<sup>2</sup>(20℃、7日養生)であった。当て板の周囲及びボルト孔にはみ出た接着剤は、塗装の弱点や軸力導入の妨げとならないように硬化前に除去した。なお、接着及び養生時の気温は、0.2~6.2℃であった。接着剤の硬化後、ウェブ面は高力ボルトを用いて、下フランジ面及び補剛材面は高力クランプを用いて、目標導入軸力(それぞれ205kN、85kN)に相当するトルクで締め付けて、当て板を固定した(いずれも1回目60%の二度締め)。

本体の凹凸が大きく、3面の締め付けのバランス



写真-4 ホールソーによる本体へのボルト孔の削孔

注) ガス切断による切欠き加工や削孔は、母材の変質や切断面の形状の悪さにより、強度や疲労耐久性が低下することから行わない。

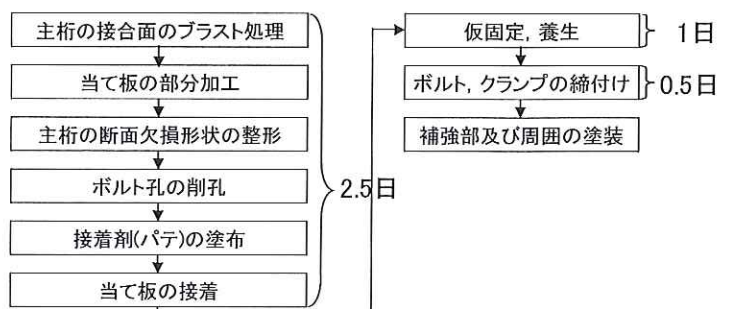


図-4 施工フローと所要日数





写真-5 当て板の切欠き加工

ホールソー(写真右)、ドリルで角部の局面を形成した後、直線部をグラインダ(写真左)で切断しているところ。

を取るのが難しいことから、ウェブのボルトを先に100%まで締め付けた後、高力クランプを支点に近い方からそれぞれ交互に締め付けた。

現地での施工は計測準備を含めて2名で4日間を要した。当て板があらかじめ用意されていれば、比較的短時間で応急的な当て板設置ができると考えられる。桁端部の詳細構造は、支承との取り合い、ガセットプレートや落橋防止装置等の配置によって橋ごとに異なるが、腐食による貫通孔の範囲が図-3に示す当て板で覆い得る範囲であれば、図-3に示す当て板を現地で適宜切断等の加工を施して用いることで、様々な状況にもある程度柔軟に対応できると考えられる。

#### 4. 走行載荷試験と供用下のひずみ測定

##### 4.1 方法

当て板の効果を確認するため、断面欠損部の加工前、当て板の施工前(補強前)、施工後(補強後)及び施工から9箇月後に、荷重車による走行載荷試験を実施した。荷重車は実測総重量20.0トンのダンプ車であり、中後軸の実測合計重量は表-1に示すとおりであった。試験中、G3桁端部を中心に各部のひずみ及び床版のたわみ(1点のみ、9箇月後は測定しなかった)を測定した。また、各段階ともに、走行載荷試験後、供用下での24時間ひずみ測定を行った。ただし、補強前の24時間ひずみ測定は、当て板を接着して仮固定してから行った(測定期間中に接着剤が硬化した)。9箇月後は、さらに第1径間の下フランジ下面及び垂直補剛材のひずみも測定した。

図-5~7に、ひずみ及び変位の測定位置を示す。断面欠損部の加工前は、ウェブの断面欠損部の先端から5mm、55mmの位置でひずみを測定した(図-5、写真-6)。断面欠損部のひずみ測定位置は、加工前の断面欠損部先端の鋭い切欠き近くで、かつ板厚が

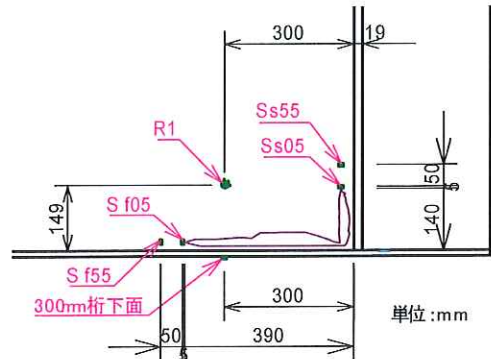


図-5 桁端部のひずみ測定位置(断面欠損部の加工前)  
注) 図中の記号Sf05、R1等はひずみゲージ番号を示す。記号の頭のSは単軸、Rは三軸をそれぞれ表わす(以下同様)。



写真-6 ウェブ断面欠損部先端のひずみゲージ  
注) 右断面図は外観目視による概念図

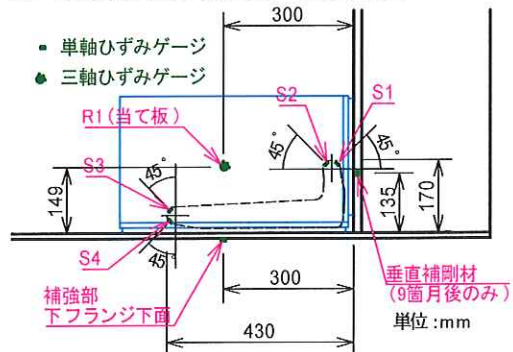


図-6 桁端部のひずみ測定位置(補強前後及び9箇月後)

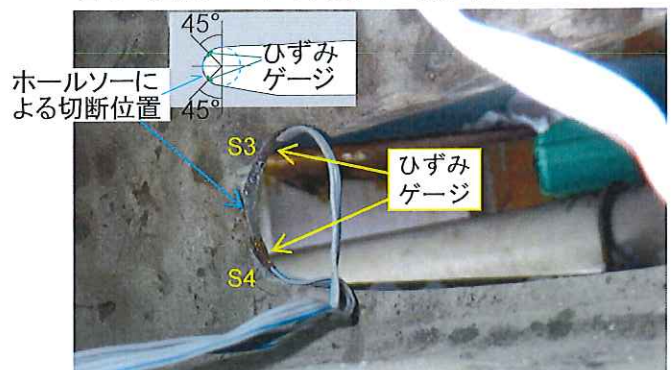


写真-7 当て板の切欠き加工と切断線のひずみゲージ

極端に薄くなっていた箇所であるが、参考として測定した。断面欠損部の加工後は、L形に加工した縁のうち、応力集中が生じる曲線部の45度の位置にひずみゲージを貼り付けた(図-6、写真-7)。また、各主桁の支間1/4点における下フランジ下面のひずみを測定した(図-7)。



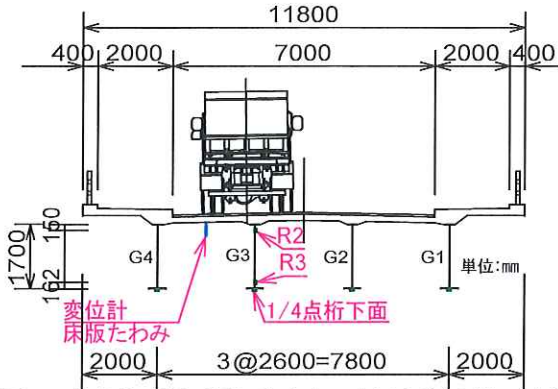


図-7 対象橋の断面図と荷重車の走行車線(支間1/4点)  
注) R2、R3は支点から1575mmの断面で測定した。

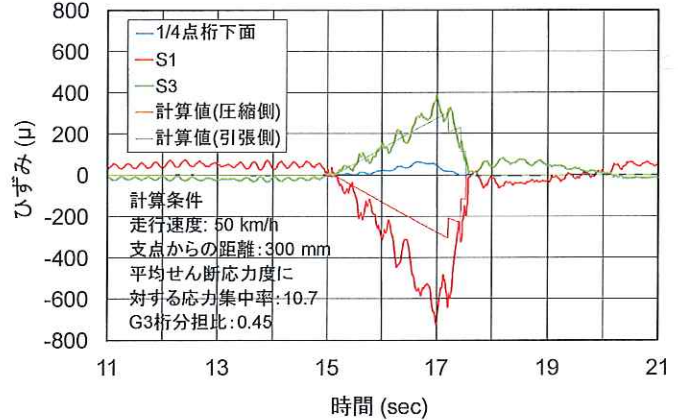


図-8 補強前走行載荷試験における断面欠損部のひずみ

### 4.2 補強前後の比較

図-8に、補強前の荷重車走行時における断面欠損部S1、S3のひずみ変化を示す。図中の計算値は、荷重車によるせん断力と、断面欠損部に作用する応力集中度(四角孔と仮定)<sup>4)</sup>から算定した。その際、G3桁の荷重分担比は、1/4点における各主桁下面の実測ひずみの割合に基づき0.45とした。S1では圧縮側に、S3では引張側に、応力集中による大きいひずみが生じていた。S1のひずみはS3と同様にせん断力の変化と関連していると考えられるが、計算値の約2倍となった理由は明確でない。

表-1に、走行載荷試験における各測定部位の最大値と最小値の差(範囲)を示す。図-8で示したとおり、補強前における断面欠損部S1、S3のひずみはそれぞれ796 $\mu$ (主として圧縮側)、419 $\mu$ (主として引張側)であった。それらの値はいずれも補強後に大幅に減少しており、当て板による、断面欠損部のひず

み軽減の効果が明確に見られた。9箇月後も補強後のひずみの変化は小さく、補強の効果が持続していることが確認できた。なお、支間1/4点のひずみや支点付近のせん断応力度は、補強前後での増減がほとんどなく、荷重車の走行位置の影響は軽微であったと考えられる。

表-2に、24時間ひずみ測定における最大ひずみ発生時の車両(G3桁1/4点のひずみで上位2位)について測定結果を示す。併せて、1/4点における床版のたわみ測定結果より推定した車種を示した。供用下でも、走行載荷試験の結果と同様に、補強後のS1～S4のひずみが、補強前に比べて、ともに顕著に減少していた。なお、供用下の測定結果が走行載荷試験時の値より大きい傾向にあるのは、トレーラやクレーン車等の荷重車の重量を超える大型車両の走行が含まれるためと考えられる。

表-1 走行載荷試験における測定結果

測定時期		実測ひずみ ( $\mu$ )									実測せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )			鋼板温度 (°C)	荷重車の中後軸の合計軸重 (tf)	
		第2径間 (対象径間)						第1径間 (比較)			R1	R2	R3			
		断面欠損部のひずみ集中				300mm桁下面	1/4点桁下面	垂直補鋼材	300mm桁下面	1/4点桁下面						垂直補鋼材
		S1	S2	S3	S4											
補強前	6回目	796	119	419	133	45	69	—	—	—	—	3.4	6.1	4.5	3	13.8
補強後	3回目	66	45	26	22	35	68	—	—	—	—	3.8	6.3	3.7	7	13.4
9箇月後	4回目	58	63	27	24	49	87	57	62	89	97	5.2	7.3	7.1	26	13.9

注) ひずみ、せん断応力度ともに測定結果の範囲(最大値と最小値の差)を示す。それぞれ10回走行したうち、前後及び対向車線に他の車両がない回の結果を示す。

表-2 24時間ひずみ測定における最大ひずみ発生時車両の測定結果 (1/4点桁下面ひずみの上位2位の車両)

測定時期		実測ひずみ ( $\mu$ )									実測せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )			鋼板温度 (°C)	車種	
		第2径間 (対象径間)						第1径間 (比較)			R1	R2	R3			
		断面欠損部のひずみ集中				300mm桁下面	1/4点桁下面	垂直補鋼材	300mm桁下面	1/4点桁下面						垂直補鋼材
		S1	S2	S3	S4											
補強前	7:08:10	1220	187	639	382	101	119	—	—	—	—	0.4	9.9	7.6	2	2軸クレーン車
	17:10:36	1000	102	329	509	163	125	—	—	—	—	3.7	9.2	4.6	7	5軸トレーラ
補強後	6:36:24	65	66	35	28	44	114	—	—	—	—	7.2	10.5	6.8	5	3軸トラック
	14:35:22	90	87	44	37	56	133	—	—	—	—	8.7	10.8	6.6	9	5軸トレーラ
9箇月後	11:44:13	79	76	34	34	64	125	76	82	123	135	6.8	9.3	5.8	21	—
	14:52:25	107	64	45	42	75	145	84	85	124	145	6.8	11.4	8.1	20	—

注) 「補強前」は、当て板を接着して硬化中に測定。ひずみ、せん断応力度ともに測定結果の範囲を示す。車種の判定は、床版のたわみ測定結果による軸数及び変位量から推定した。トラックはダンプの可能性もある。



表-3 断面欠損部の加工前における走行載荷試験及び供用下ひずみ測定の結果

測定時期	実測ひずみ (μ)						実測せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )			鋼板温度(°C)	車種	
	断面欠損部のひずみ集中				300mm 桁下面	1/4点 桁下面	R1	R2	R3			
	Ss55	Ss05	Sf05	Sf55								
荷重車	7回目	96	627	428	22	50	66	4.2	5.5	4.2	1	20トン荷重車
供用下	5:15:35	179	1320	918	44	91	121	7.5	8.1	7.3	2	5軸トレーラ
	7:12:39	160	1170	870	40	83	117	7.9	9.7	7.8	3	2軸クレーン車

注) ひずみ、せん断応力度ともに測定結果の範囲(最大値と最小値の差)を示す。  
車種の判定は、床版のたわみ測定結果による軸数及び変位量から推定した。

補強前の供用下の測定は、前日22時頃に当て板を接着して、深夜0時から、接着剤の硬化中も含めて測定した。表-2に示した補強前の結果のうち、当て板のR1のせん断応力度は、朝7時台では値が小さく、当て板の接着がまだほとんど効いていなかったことがわかる。その後、夕方17時台では3.7N/mm<sup>2</sup>が観測されており、その間に接着剤の硬化が進み、接着の効果が発現したものと考えられる。

9箇月後に行った補強部の垂直補剛材のひずみ(当て板と垂直補剛材が接着剤と高力クランプで固定されている箇所)は、同一橋脚上の隣接する第1径間G3桁(当て板されていない箇所)の値の6割程度と小さい値であった。これは、当て板が垂直補剛材にかかる応力の一部を分担していたことによると考えられる。

以上の断面欠損部のひずみ、当て板上のせん断応力度、垂直補剛材のひずみの測定結果は、当て板が桁端部の補強として有効に機能していることを表わすものと考えられる。

#### 4.3 断面欠損部の加工前の測定結果

表-3に、断面欠損部の加工前における走行載荷試験及び供用下の24時間ひずみ測定の結果を示す。走行載荷試験では、Ss05(主として圧縮側)、Sf05(同引張側)で大きい値であったが、切欠き先端から5mm離れた箇所で測定したことから、切欠き先端ではさらに大きい値が生じていたと考えられる。

#### 5. おわりに

当て板施工後の断面欠損部のひずみは、施工前に比べ、走行載荷試験、24時間ひずみ測定ともに大幅に減少する結果となり、比較的ボルト本数が少

なく、仮設用の高力クランプを併用した接着による当て板補強であっても、本体との接合が有効であることが確認できた。これにより、支点付近の主桁の著しい腐食断面欠損を有する部分を、腐食前と同程度の剛な構造に復旧できたと考えられる。この当て板補強については、さらに地震時の水平荷重に対する効果を室内試験により確認する必要がある。また、当て板の軽量化等、当て板のハンドリングの改善、効率的な本復旧の方法について検討が必要である。

#### 謝 辞

秋田県の方々をはじめ、調査にご協力いただいている関係各位に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 名取暢、西川和廣、村越潤、大野崇：鋼橋の腐食事例調査とその分析、土木学会論文集、No.668、pp.299~311、2001.1.
- 2) 玉越隆史、中州啓太、石尾真理、武田達也、水津紀陽：鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究、国土技術政策総合研究所資料、第294号、2006.1.  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0294.htm>
- 3) 田中良樹、村越潤：道路橋桁端部における腐食環境の評価と改善方法に関する検討、土木技術資料、第50巻、第11号、pp.16~19、2008.
- 4) 村越潤、田中良樹、船木孝仁：鋼橋桁端部の腐食対策に関する研究、土木研究所資料、第4142号、2010.3.  
<http://www.db.pwri.go.jp/pdf/D6681.pdf>
- 5) 飯塚拓英、村越潤、田中良樹：鋼道路橋桁端部の腐食断面欠損に対する当て板補強の試験施工、土木学会第68回年次学術講演会、I、pp.703~704、2013.9.
- 6) 村越潤、田中良樹、船木孝仁：接合面にエポキシ樹脂を塗布したボルト継手の力学的挙動に関する実験的研究、構造工学論文集、No.54A、pp.563~574、2008.3.

田中良樹



(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 主任研究員  
Yoshiki TANAKA

村越 潤



(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員  
Jun MURAKOSHI

飯塚拓英



島根県土木部道路維持課市町村道グループ 主任(前橋梁構造研究グループ 交流研究員)  
Takuei IITSUKA