

論文・報告

清水谷橋補強工事の施工報告

～凍結防止剤により腐食した鋼トラス橋の補修～

Shimizudani Bridge Reinforcement Construction Report

栗山 浩 *1
KURIYAMA Hiroshi

額谷 啓司 *2
NUKATANI Keiji

岩元 泰也 *2
IWAMOTO Yasunari

福岡 聡 *3
FUKUOKA Satoshi

冬期の凍結防止剤の飛沫により腐食が生じた鋼上路式トラス橋の補修工事における主要部材の調査・設計・施工について報告する。調査では、デジタルカメラによる3D撮影を行なうなど損傷状況や減肉量の把握を実施した。下弦材や斜材の溶接部の減肉が多く見られたため、角補強材による当て板補強を実施した。補強対象範囲については、FEMによる検証を実施した上で決定した。補強材の接合に使用するワンサイド高力ボルトは、実際の減肉状況を再現した試験体を用いて性能を確認した上で使用した。下弦材添接部のリベットは、超音波探傷試験できずが検出されたものを支圧接合用高力ボルトへ交換した。

キーワード：トラス橋、当て板補強、リベット、ワンサイド高力ボルト、塗替え塗装

1. はじめに

清水谷橋は、北陸自動車道の金沢森本 IC—小矢部 IC間に架橋された鋼上路式トラス橋である。石川・富山県境付近の山間部に位置し、冬期の凍結防止剤の飛沫の影響で橋体に腐食が生じた。定期点検において、主構斜材ガセットの取り付け部に腐食による減肉が確認され、当て板による応急復旧作業が行なわれた¹⁾。

本工事は、応急復旧作業時の詳細調査で確認された損傷部位について補修・補強を実施するものである。ここでは、清水谷橋補強工事にて実施した調査・設計・施工の中から、主要部材に関する報告を行う²⁾。

発注者：中日本高速道路株式会社 金沢支社

調査・設計・施工：川田工業株式会社

主構斜材ガセットの応急復旧作業時に作業足場から近接目視で確認したところ、他の部位にも腐食が見られた。本工事では、応急復旧作業対象部位以外の調査・計測、設計、補修・補強および全面塗替え塗装を実施した。

- ・橋梁補強工：損傷箇所の当て板補強
 - ・橋梁補修工：下弦材添接板、リベット取替、F11Tボルト取替、アラミド繊維シート保護
 - ・橋梁塗装工：I種ケレン（ブラスト）、C塗装系
 - ・その他：排水装置の補修、点検用梯子の取替、他
- 図1、図2に下り線の補修・補強一般図を示す。

2. 工事概要

(1) 橋梁概要

路線名：高速自動車国道 北陸自動車道

工事場所：自) 石川県金沢市河原市町

至) 富山県小矢部市平桜

形式：2径間連続鋼上路式トラス橋

橋長：133.4 m（上り線）、131.0 m（下り線）

総幅員：11.250 m（上り線、下り線）

供用開始：1974年10月

(2) 清水谷橋補強工事の概要

工事名：北陸自動車道 清水谷橋補強工事

工期：2016年3月15日～2018年9月30日



写真1 下弦材の腐食状況

*1 川田工業㈱橋梁事業部技術部東京技術部富山技術課 主幹
*2 川田工業㈱北陸事業部土木部工事課 工事長

*3 川田工業㈱橋梁事業部橋梁企画部橋梁企画室 主幹

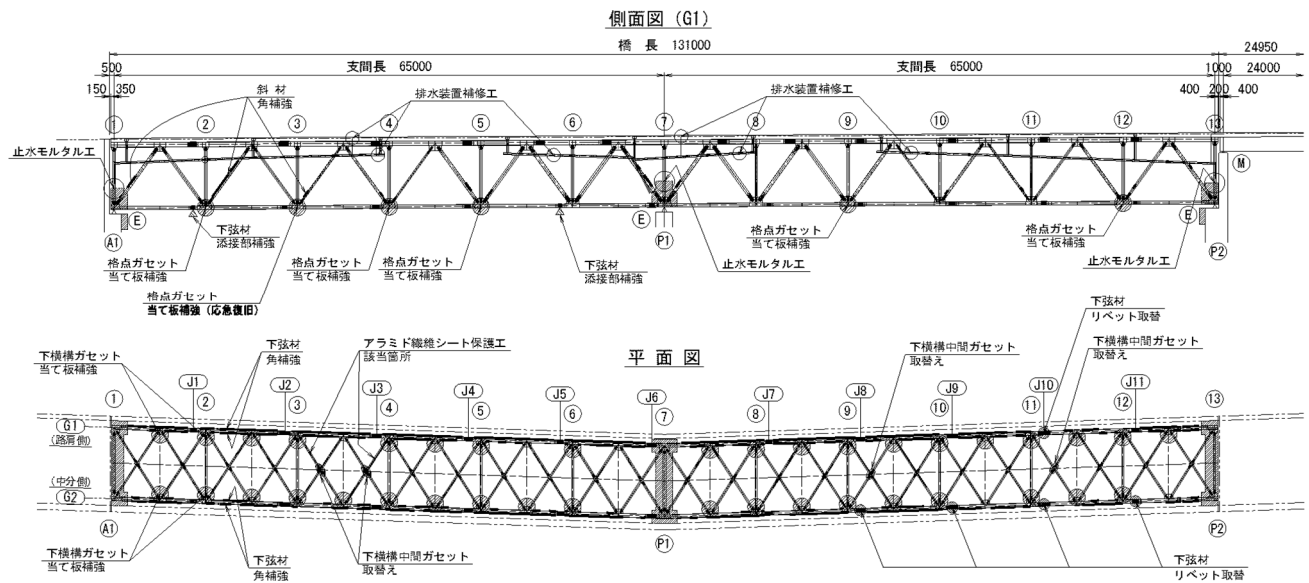


図1 補修・補強一般図(側面, 平面)

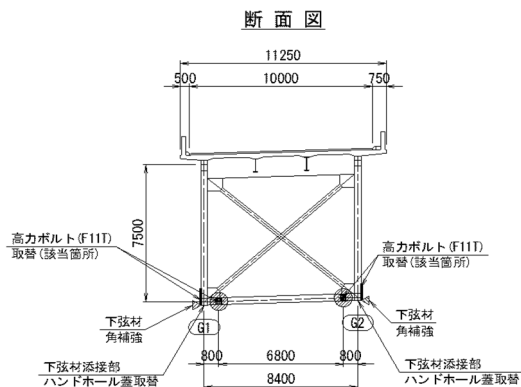


図2 補修・補強一般図(断面)

3. 調査・計測

(1) 腐食の状況

腐食の大半は、凍結防止剤の飛沫の影響を受けやすい橋体の下側に集中していた。特に、塩分が蓄積しやすい下弦材や斜材の溶接部、下横構ガセットなどに多く減肉が見られた。特に下弦材は、腹板と下フランジの接合部付近の腐食が広範囲に見られ溶接ビードも減肉が見られた(写真1)。

(2) 減肉量の計測

腐食状況を把握するため、錆を除去し錆止め用の塗装を施した上で全部材の写真撮影を実施した。また、減肉量が多い数箇所において、写真2に示すデジタルカメラ撮影による3D画像を作成、得られた点群データを元に図3のような減肉形状を再現した。減肉形状から、溶接ビードの減肉量は腹板の減肉量とほぼ一致したため、ノギス等で実測した腹板の減肉深さを溶接部の減肉量とした。各部材を1m毎に区切り、その中の最大減肉箇所を記録した。

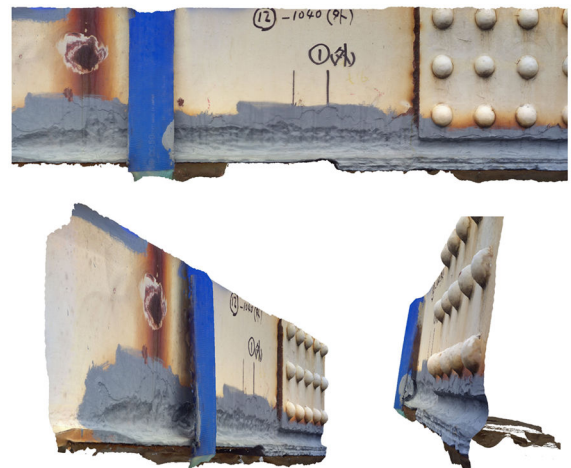


写真2 デジタルカメラ撮影による3D画像

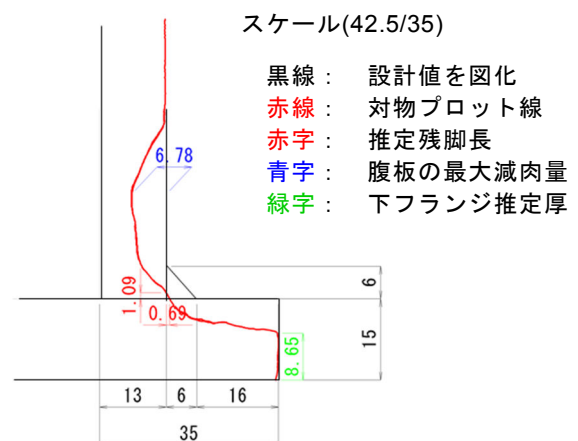


図3 下弦材の減肉形状の再現

4. 補修・補強設計と施工概要

本工事の設計は下記の要求性能に基づき実施した。

- ・設計活荷重：建設時の設計荷重（TL-20）
- ・耐震照査：L1 地震動（当時の震度法レベル）

(1) 再現設計

既存の図面や設計図書を基に立体骨組モデルを作成、解析結果より各部材の断面照査を実施し、減肉による断面欠損を反映した照査も実施した。また、動的解析にて L1 地震動による部材の応力状態を把握した。

(2) 補修・補強設計方針

断面照査にて許容応力度を超過した部位に対して、当て板補強もしくは、部材交換を実施した。許容応力度を満足しても、下弦材や斜材などの角溶接部の減肉量が大きい場合は、当て板補強（角補強）を施した。当て板補強の対象は、溶接残脚長が 4 mm 未満の場合とした。図 4 は、補修・補強フローである。補強範囲の決定方針については、次項に詳述する。

対傾構や横構は、L1 地震動による動的解析で応力超過部位があったが、建設当時の設計の考え方と相違によるものであり、本工事では補強対象外とした。

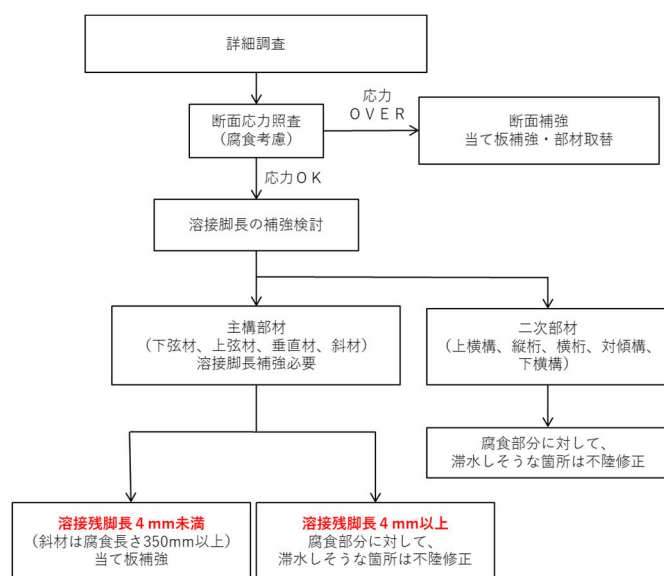


図 4 補修・補強設計フロー

(3) 下弦材の当て板補強

下弦材は、減肉による断面欠損を考慮した応力照査の結果、すべての部位で許容応力度を満足したため、腹板と下フランジとの隅肉溶接部の補強を目的とした当て板補強を実施した。当て板補強材は、鋼板を L 形に溶接した角補強材³⁾とした。腹板面は、フランジ突出部およびフランジの板厚変化に対する調整プレートを紹介したが、当て板上部への滞水を避けるため階段状とした。下弦材の断面寸法は幅 380mm、高さ 380mm で内部へ入れない。そのため、補強材の接合はワンス

イド高力ボルトを使用した。当て板接触面の減肉による不陸部は、当て板補修用エポキシ樹脂系充填材（レジンパッチ）⁴⁾を塗布した。補強材の長さは、現場施工時のハンドリングを考慮し 1 m を標準とした。溶接部の補強が主目的のため補強材は断続配置とし、部材間の隙間は塗装やシール材の施工性に配慮し 20 mm とした。図 5 に補強概要図、写真 3 に設置状況写真を示す。

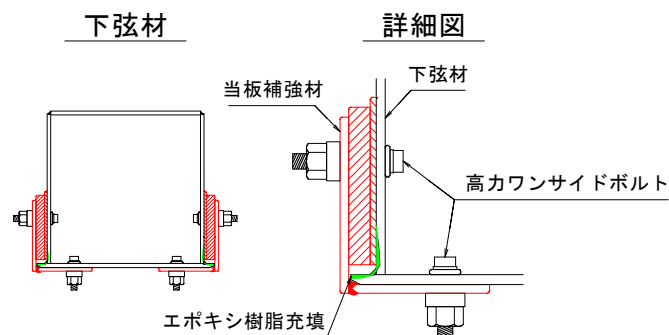


図 5 下弦材の当て板補強



写真 3 下弦材の当て板補強設置状況

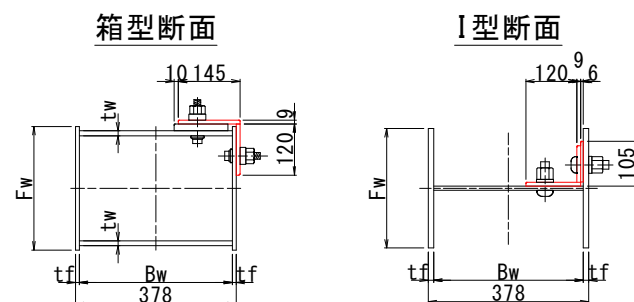


図 6 斜材の当て板補強



写真 4 斜材の当て板補強設置状況

(4) 斜材の当て板補強

斜材についても隅肉溶接部の補強を目的とした当て板補強を実施した。斜材の減肉部位は局部的に存在していたため、FEM による線形座屈解析を実施した上で、隅肉溶接残脚長が 4 mm 未満、かつ減肉長さが 350 mm を超える場合を補強対象とした。補強材上部への滞水を避けるため、上端部を 45° にカットした。図 6 に補強概要図、写真 4 に設置状況写真を示す。

(5) 下横構ガセットの当て板補強・取替

下横構のガセットプレートは、主構下弦材の下フランジと突き合わせ溶接されているが、この溶接接合部が溝状に減肉している。応力照査で許容応力度を超過する部位かつ残存溶接脚長が 4 mm 未満の部位を補強対象とした。補強は、L 形補強材とプレートを挟み込む構造とした。図 7 に補強概要図、写真 5 に設置状況写真を示す。

また、下横構部材交差部の中間ガセットプレートの減肉部位については、ガセットプレートの取替を実施した。写真 6 に設置状況写真を示す。

(6) 下横構の補修

下横構は、T 形断面の水平部分に腐食による孔食が点在していることが確認された。減肉による断面欠損を考慮した応力照査で許容応力度を超過した部位については、L 形補強材による当て板補強を実施した。写真 7 に当て板補強の設置状況写真を示す。

応力超過がない部位においても、孔食部の滞水を避けるため、減肉部を不陸修正材で平坦に仕上げた後、アラミド繊維シート⁵⁾による保護を実施した。図 8 に保護工の断面構成、図 9 に保護工概要図、写真 8 に施工状況写真を示す。

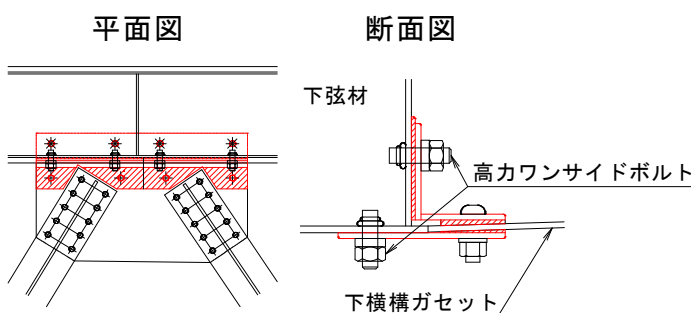


図 7 下横構ガセットの当て板補強



写真 5 下横構ガセットの腐食部と当て板補強設置状況



写真 6 下横構中間ガセットの取替



写真 7 下横構の当て板補強設置状況

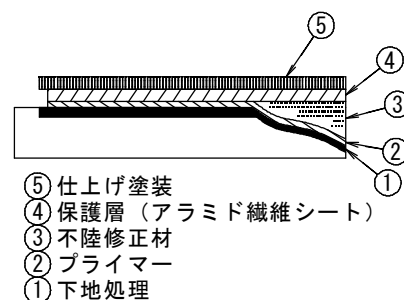


図 8 アラミド繊維シート保護工断面

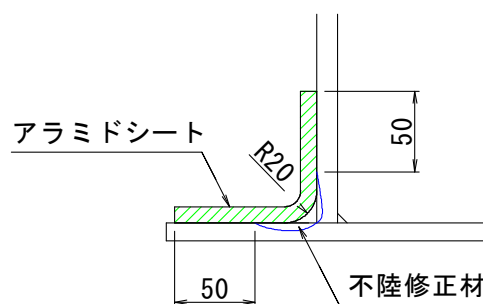


図 9 アラミド繊維シート保護工概要図

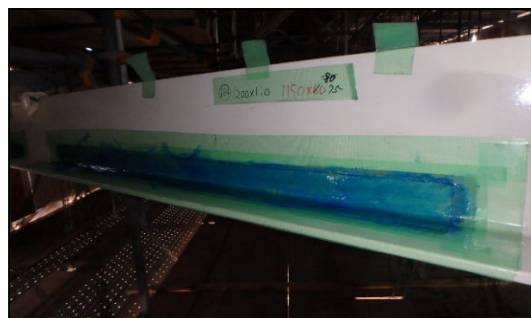


写真 8 アラミド繊維シート施工状況

5. 各種検討および検証

ここでは、施工に先立ち実施した諸検討の中から主要なものについて説明する。

(1) 下弦材補強範囲の決定

下弦材の最小隅肉溶接脚長は 6 mm であるが、補強範囲を最小限にするため FEM による検証を行なった。図 10 に示すような減肉形状を反映したソリッドモデルとし、弾性解析とプッシュオーバー解析を実施した。解析の結果は残存溶接脚長が 2 mm の場合も応力超過等は確認されなかった。そこで、最小限の溶接脚長を確保するために残存溶接脚長が 4 mm 未満を補強の対象とした。

(2) 斜材補強範囲の決定

斜材の補強範囲は、溶接減肉部の連続長さで決定した。溶接切断部の長さを腹板高さ L (350 mm) の係数倍刻みでモデル化し、線形座屈解析を実施した。箱断面をシェルモデルで構成し溶接切断部は完全分離とした。

解析の結果、「切断なし」と「切断長 1.0L」のケースは、1 次座屈モードで全体座屈したが、「切断長 1.5L」と「切断長 2.0L」では、1 次座屈モードで局部座屈することを得た (図 11, 図 12)。

局部座屈を回避するため、残存溶接脚長が 4mm 未満の部位が連続して腹板高さ相当の 350mm を超える場合を補強対象とした。

(3) ワンサイド高力ボルトの性能確認

ワンサイド高力ボルトを採用するに当たり、トルク確認試験を実施した。実施工モデルの試験体により先行締付けボルトにトルクの減少が生じないことを確認した。

(4) 当て板補強用充填材の性能確認⁴⁾

減肉部を再現した試験体 (図 13) によりボルトすべり試験を実施した。母材と当て板補強材との接触面には、不陸修正用の充填材 (レジパッチ) を使用した。写真 9 は、万能試験機によるすべり試験状況である。試験の結果、充填材の有無によってすべり係数に大きな差が見られないことを確認した。

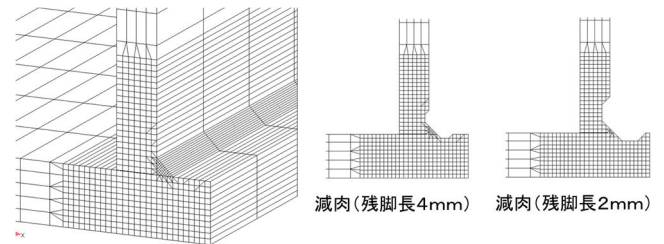


図 10 下弦材の FEM 減肉モデル

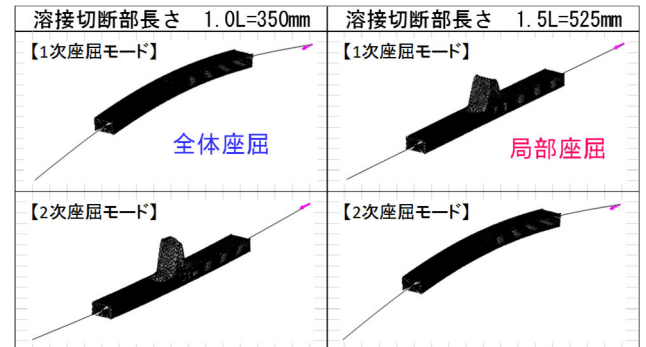


図 11 斜材の座屈解析

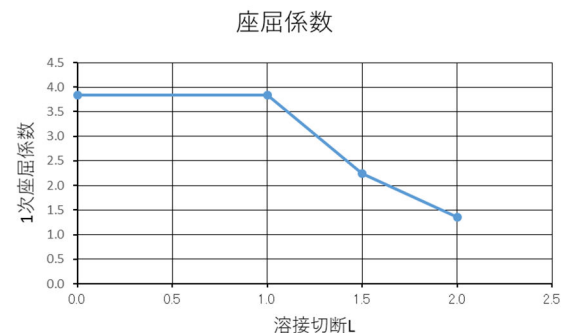


図 12 溶接切断長と座屈係数との関係



写真 9 ワンサイド高力ボルトすべり試験

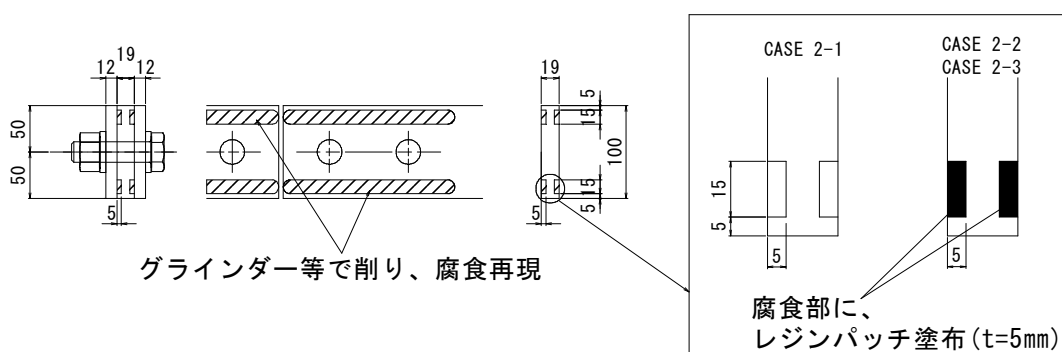


図 13 減肉部を再現したボルトすべり試験体

(5) リベットの健全性確認

下弦材下フランジの添接板は、接触面への塩化物の浸透で発生した錆の膨張で、写真 10 のように反り返りが見られた。添接板の反り返りによるリベットの健全性を確認するため、超音波探傷試験を実施した。事前にテストピースにて人工きずを与えて検出波形で検出できることを確認した（図 14）。現地計測により、きずが検出されたリベットは、支圧接合用高力ボルトへ交換した。写真 11 は、リベットの引き抜きサンプルと断面金属組織である。

(6) アルミニウム製昇降梯子

点検用検査路への昇降用梯子を鋼製（溶融亜鉛めっき）から過酷な環境で高耐久性能を発揮し、耐食性に優れるアルミニウム製への取替を実施した。



写真-10 下弦材の添接部

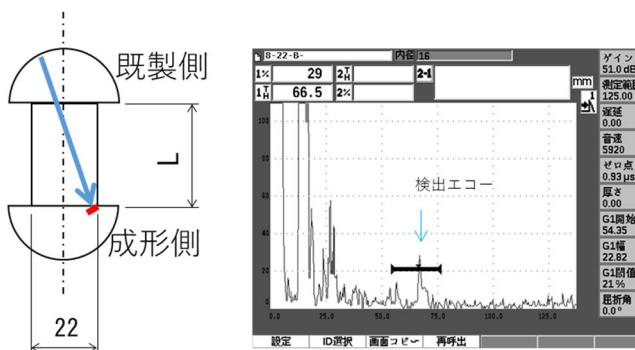


図 14 リベットテストピースの人工きず検出波形



写真 11 リベット引き抜きサンプルと断面金属組織

6. 塗替え塗装

本工事では、塗装の全面塗替えを実施した。1 種ケレン（ブラスト）による旧塗膜の飛散を防止するため、全面防護を施し、作業性を考慮して 5 層の足場を設置した（写真 12）。また、格間毎に間仕切りを設け、ブラストと各塗装工程へのインターバルを維持した。

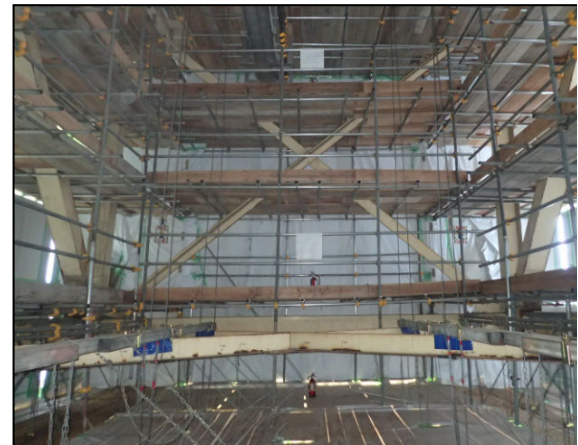


写真-12 主構内部足場設置状況

7. おわりに

清水谷橋補強工事の主たる工種の調査・設計・施工の概要を紹介した。補修・補強工事において参考としていただければ幸いです。清水谷橋は本工事の後、床版のリニューアル工事を実施中である。最後に、本工事においてご指導いただいた中日本高速道路株式会社本社と金沢支社の皆様、補強方法や解析手法などの確なご指導をいただいた長岡技術科学大学の長井正嗣名誉教授、岩崎英治教授ほか関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 岩崎，長井，橋，石川，戎家：腐食減肉の生じたトラス橋の下弦材直上ガセット部の応力評価と維持管理方針の提案：土木学会論文集 A1, Vol.74, No.1, 64-82, 2018
- 2) 畔柳：清水谷橋補強工事の施工報告：北陸道路研究会会報「北陸路」66 号，令和元年 12 月，pp.30-37
- 3) 櫻井，山本，小林，小島，湯本，段下：横浜ベイブリッジ下路トラス桁の耐震補強の施工：橋梁と基礎，2019-12，pp.19-24
- 4) 接合面にエポキシ樹脂を塗布した高力ボルト当て板補強工法 設計・施工の手引き，平成 21 年 4 月，ショーボンド建設株式会社
- 5) 炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法設計・施工マニュアル，平成 25 年 10 月，(株)高速道路総合技術研究所