

腐食損傷が生じた上八橋(コウジヨウハシ)の補修・補強対策

小宮一臣* 濱地英伸** 安波博道*** 中島和俊****

1. はじめに

1.1 概要

桁端部の鋼桁に腐食が生じた福岡県道300号岡垣玄海線 上八橋について、腐食状況の詳細調査、腐食部の補修・補強設計、および腐食対策に関する施工を実施した。

詳細調査および補修・補強設計は(財)土木研究センターが実施し、施工は(社)日本塗装工業会福岡県支部が担当した。

1.2 橋梁概要

本橋は橋長約10mの単純合成鉄桁橋（H形鋼橋梁）である。平成7年、および平成17年の目視による定期点検において、鋼桁および支承に著しい腐食が生じていることが報告されていた。1964年の建設後44年が経過していたが、上部工には補強の形跡や塗替えなどの記録はなく、補修は行われていないものと考えられた。橋梁の外観を写真-1に示す。



写真-1 橋梁概観

2. 詳細調査

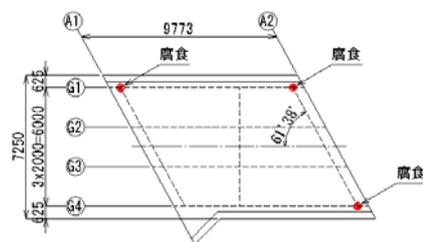
本橋の塗装劣化は著しく、現地踏査により腐食発生箇所はおおよそ特定できるものの、その腐食量は外観目視では把握できない。腐食発生箇所については、ハンマーにより粗いさびを除去した後、残存板厚を計測した。本橋のうち、最も腐食損傷が著しいG1桁のA2橋台付近の状況を写真-2,3に、腐食損傷図を図-1に示す。



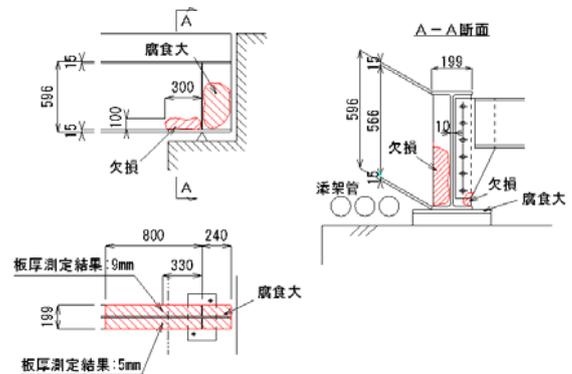
写真-2 主桁腐食



写真-3 腐食部拡大



(a)腐食損傷発生位置



(b)G1桁A2橋台付近の損傷

図-1 腐食損傷図

詳細調査結果によって確認された現況を以下に列記する。

- ① 架設後44年が経過しているが、上部工においてはこれまでに補修された形跡は見られない。また、路面上に伸縮装置が存在しないが、舗装補修時にオーバーレイした模様。
- ② 桁端部の主桁および支承の腐食が著しい。桁端部からの漏水は見られなかったが、過去において漏水により腐食が進行したと思われる。外桁桁端部の外面や下フランジ下面は、降雨時に湿潤状態となっているため、現在も腐食が進行しているものと考えられる。

- ③中間部の塗膜は全面的に風化し、素地にはさびが生じている。しかし残存板厚の測定結果から、断面減少に及ぶような腐食は見られず、今後も腐食進行は遅いものと思われる。
- ④床版、橋台には損傷は観られない。

3. 構造補強の設計と施工

詳細調査によると、主桁端部（ウェブ、下フランジ）や支点上補剛材の腐食が相当進行し、構造安全性に不安のある状態であった。このまま放置した場合には、腐食損傷の進行によっては重大な事故に繋がるのが想定された。

ここでは、腐食損傷が生じた部位に対する構造安全性を照査し、橋の規模や利用実態、補修コストなどを考慮して補強構造を決定した。

3.1 補強構造の概要

本橋の腐食損傷によって引き起こされる終局状態（座屈や破断）と、これを未然に防ぐための補強構造の概要を図-2に示す。

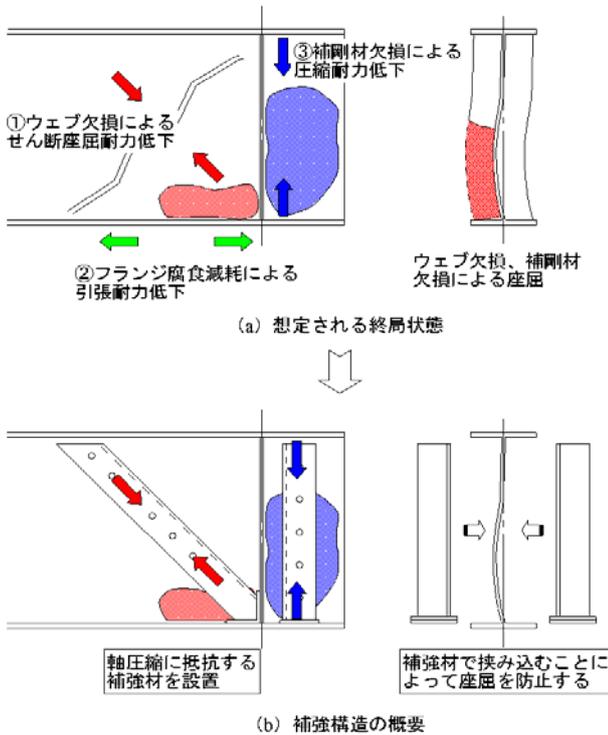


図-2 補強対策

3.2 既設部材の照査と補強部材の断面設計

本橋はTL-14活荷重により建設された橋梁であるが、断面設計に用いる活荷重は、供用実態に合わせてB活荷重とする。

支点付近のウェブ断面欠損に対しては、主桁を仮想ワーレントラスに置き換え、腐食したトラス斜材（ウェブ）に代わるL形鋼斜材を取付けることとした。腐食した下フランジは、現存断面の応力照査を行い、補強不要であると判断した。補強構造の設計モデルを図-3に示す。

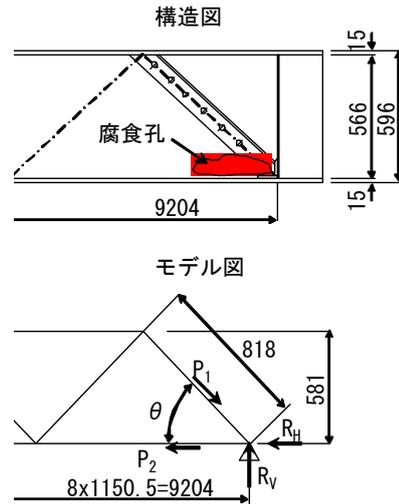


図-3 主桁腐食部補強モデル

ここに、

$$R_H : \text{支点上水平反力} = 0.0 \text{ kN}$$

$$R_V : \text{支点上鉛直反力} = 270.8 \text{ kN}$$

$$P_1 : \text{斜材軸力} = R_V / \sin \theta = 381.0 \text{ kN}$$

$$P_2 : \text{弦材軸力} = P_1 \times \cos \theta - R_H = 268.1 \text{ kN}$$

下フランジの応力照査

平均フランジ厚
 $t = 7 \text{ mm}$ (元板厚 = 15 mm)
 フランジ断面積
 $A = 199 \times 7 = 1,393 \text{ mm}^2$

降伏応力度 $\sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2$ 、安全率 $\gamma = 1.0$
 許容応力度 $\sigma_a = \gamma \cdot \sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2$

下フランジ応力度

$$\sigma = 268.1 \times 10^3 / 1,393 = 192.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a$$

ウェブの補強設計：L-100x100x10(SS400)使用

補強材断面積
 $A = 3,800 \text{ mm}^2$
 許容軸圧縮応力度
 $\sigma_a = \gamma \cdot \sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2$
 補強材応力度
 $\sigma = 381.0 \times 10^3 / 3,800 = 100.3 \text{ N/mm}^2 < \sigma_a$

土研センター

3.3 補強部の施工

主桁端部の腐食、および支点上補剛材の腐食に対する補強後の外観を写真-4に示す。補強材の取付けは、腐食した鋼材面に後述する素地調整程度1種を行い、有機ジンクを塗布した後に高力ボルトによる接合を行った。

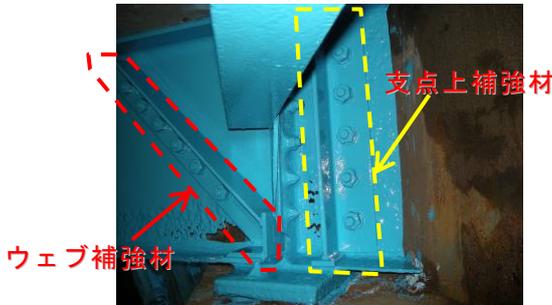


写真-4 補強材取付状況

4. 補修塗装の施工

4.1 素地調整と塗装仕様

鋼材腐食が進行した部位では、除錆が不完全なままさびの上に塗装を施しても、塗膜下で腐食が進行し、早期に塗膜割れなどの損傷が発生する。したがって、現況以上の腐食進行を抑止するために、さびを完全に除去した上で塗替え塗装を行う必要がある。

ここでは、塗替え塗装系に「鋼道路橋塗装・防食便覧」に示されるRc-I塗装系(表-1)を適用し、素地調整程度1種を確実に達成できる素地調整の手段としてブラストを用いた。

表-1 旧塗膜と塗替え塗装系の組合せ(抜粋)

塗替え塗装系	旧塗膜塗装系	素地調整	特徴
Rc-I	A,B a,b,c	1種	ブラスト工法により旧塗膜を除去し、エアレス塗装※する
Rc-III	A,B,C a,b,c	3種	工事上の制約によってブラスト出来ない場合に適用する。耐久性はRc-I塗装系に比べて著しく劣る。

※今回の施工では、狭隘部への塗装施工の確実性、および腐食面(凹凸のある素地面)へ塗料の塗込みを目的として、桁端部はハケ塗り塗装とした。

4.2 ブラスト機材の仕様

現在、鋼材の塗替え塗装に用いるブラスト機材は、オープンブラスト(エアブラスト)とバキュームブラストが挙げられる。いずれの機材も、研掃材を高圧の空気で送り出し、対象物へ衝突させることによりさびや塗膜を除去するものである。

オープンブラスト機材は、造船や石油タンク等の塗替えで一般的に使われ、現在でも比較的容易に機材や作業者を調達することが可能である。しかしながら、研掃材を一方向的に送り出す機材であるため、投射作業者の防護装備などの施工環境対策、研掃材や発生した粉塵の飛散防止対策、投射後には研掃材や発生した粉塵の回収作業が不可欠である。また一般的に用いられる研掃材は、一回の使用で全て産業廃棄物(以下、産廃という)として処理する必要があるなど、問題点も多い。

一方、バキュームブラスト機材は、研掃材の投射と回収を同時におこなう機材であり、研掃材や粉塵の飛散がほとんど生じない。また、回収された研掃材と粉塵は機材内で即座に分級しリユースされるため、産廃量も極めて少ない。しかしながら、鋼橋の補修塗装における使用例は少なく、狭隘部などのディテールに合わせた改良が必要であり、また機材自体も現場での施工を目的とした一般普及が進んでいない状況であった。

このため本橋では、オープンブラストを主体として施工を行ったが、今後の普及を指向し部分的にバキュームブラストを試用して、施工性、作業性、外部環境などの確認を行った。

表-2にそれぞれの特徴を、図-4にバキュームブラストの概念図を掲載する。

表-2 ブラスト機材の比較

	オープンブラスト	バキュームブラスト
機材調達性	比較的容易である	調達に難がある
除錆の能力	研掃材を大量に投射可能なため、除錆能力は高い	バキューム能力によって投射量が決定され、固いさびや厚い塗膜の場合、能率が落ちる
施工可能範囲	従来の動力工具の施工範囲と同等以上である	狭隘な部位では使用できない※1
作業性(作業環境)	研掃材や粉塵の飛散により、作業環境は劣悪なため、防護服の着用が必要である	研掃材や粉塵はバキュームで回収され、作業環境は良い
周辺環境対策	騒音、粉塵対策が必要である(重厚な養生が必要)	騒音対策が必要、粉塵対策は簡易な養生が必要
使用する主な研掃材	ガーネット、スラグ類など、リユースを行わないもの	スチールグリット、アルミナなど、リユースを行うもの
産廃	塗膜かすやさびの他、大量の研掃材が産廃となる※2	塗膜かすやさび、少量の研掃材が産廃となる

※1: バキュームブラスト機材は、バキューム部を分離することでオープンブラストとしても使用可能である。

※2: リユース可能な研掃材を使用した場合は、再生処理を施すことにより産廃量を減らすことが出来る。

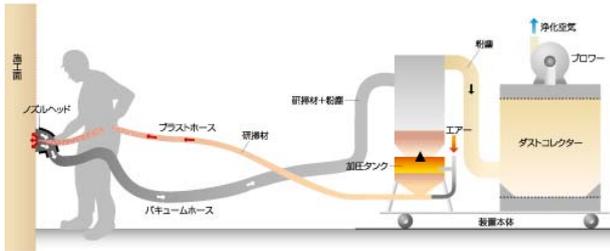


図-4 バキュームプラスト概念図

(乾式プラスト施工協会 ホームページより転載)

4.3 プラストを用いた補修塗装の施工状況

一般に、腐食が生じている鋼材面に対してプラストを用いて素地調整程度1種を施す場合、作業の効率化を図るために予め動力工具によって粗方のさびを除去した後仕上げとしてプラストによる素地調整を行う。

今回の施工に当たっては、従来用いられてきた動力工具による素地調整程度3種を施したのち、今回採用するプラストによる素地調整程度1種 (ISO8501 Sa2 1/2) を行い、それぞれの除錆度の違いを確認する部位を設けた。写真-5に当該部位の各施工段階における状況を示す。素地調整程度3種を施した素地面は、表面の浮きさびは除去されているものの、腐食面の凹凸部の除錆は不完全である。一方、素地調整程度1種を施した素地面は、さびがほぼ完全に除去され鋼材本来の色合いを有していることがわかる。



1種ケレン後



補修完了

写真-5(2) 補修塗装の施工状況

4.4 プラスト施工時の周辺環境

プラスト施工時には、粉塵の飛散と施工騒音の対策が必要である。

粉塵対策としては、写真-6に示す粉塵ろ過装置を用いた換気を行うことによって、外部への粉塵飛散を防止することができた。



素地調整前



3種ケレン後

写真-5(1) 補修塗装の施工状況



粉塵を含む空気をファンにより強制排出 粉塵濾過円筒 (布袋) により粉塵処理

写真-6 粉塵ろ過装置

騒音対策として、板張り+防音シート養生を施す対策を行った (写真-7)。この結果、施工騒音はプラスト作業部付近で100dB程度、10m離れた場所では85dB程度の騒音が記録された。



写真-7 騒音対策

土研センター

5. 技術講習会及び現地見学会

施工の実施に当たっては、ブラストを用いた塗替え塗装の理解を深めるため、技術講習会および現地見学会を開催した。

技術講習会および現地見学会は延べ3回開催され、各回の参加対象者および参加人数は表-3のとおりであった。技術講習会および現地見学会の開催状況を写真-8,9に示す。なお、第1回および第3回は(財)福岡県建設技術情報センターが主催し、第2回は(社)日本塗装工業会福岡県支部の主催により実施している。

表-3 技術講習会および現地見学会参加者

	開催日	参加対象者	参加人数
第1回	H21.2.15	福岡県職員	21名
第2回	H21.2.16	塗装会社	53名
第3回	H21.2.17	橋梁コンサルタント	19名



写真-8 技術講習会状況



写真-9 現地見学会状況

本技術講習会および現地見学会について、第2回、第3回の参加者に対してアンケート調査を行った。アンケート結果を図-5,6に、主な意見を表-4,5に掲載する。

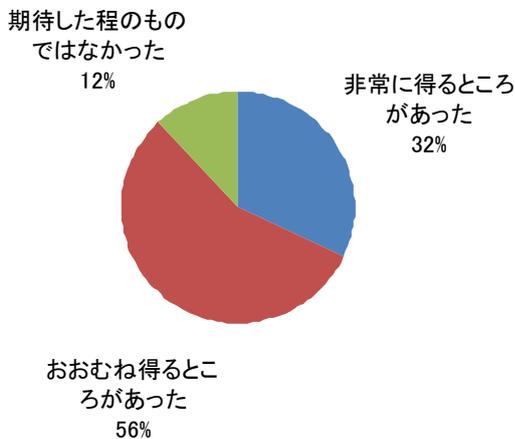


図-5 塗装会社へのアンケート結果

表-4 塗装会社からの意見

1	防塵対策が参考になった
2	現地でブラスト処理を実際に見学できて良かった
3	下地処理1種ケレンの品質の良さを確認できた
4	バキュームブラストの使用状態を見る事ができた
5	作業時の騒音の問題があったのか知りたかった
6	作業体験が出来れば良かった
7	仕上げまでの各工程の現地見本を見ることが出来れば分かりやすいと感じた
8	足場架設は養生を含め単価的にどこまでupを認めてくれるか心配である
9	単価upがなければブラスト機械の購入は無理
10	局部補修の場合は、小面積になるので、工事費の積算が難しいのではないかと
11	コスト(機械リース費・購入費等)の積算及び原価を知りたい
12	今後の鋼橋塗装の考え方、方向性等の講義もあり大変参考になりました。
13	1種ケレンのうち、ブラスト工法に勝る工法は現在、皆無と思われる。代替の処理方法がない現状では、どのような防塵対策をとれば良いのかを模索検証する必要がある。
14	次回は補修塗装の実施状況の見学会を期待しています

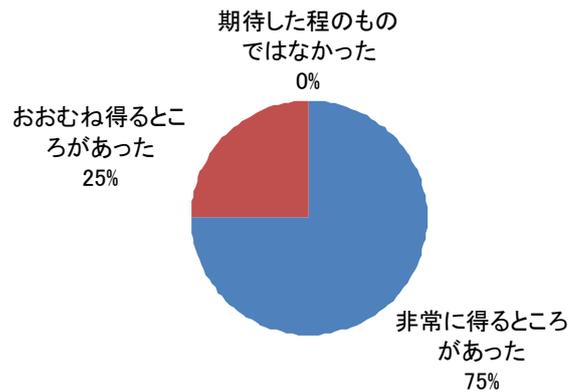


図-6 橋梁コンサルタントへのアンケート結果

表-5 橋梁コンサルタントからの意見

15	今後、提案するためのベースとなった
16	現場の状況や施工時及び施工後の状態を初めて見ることができ大変参考になった
17	従来工法とブラスト工法の標準工程(マニュアル)を知りたい
18	各ケレン作業を実際に見てみたかった。
19	リース料等を知りたい
20	ブラストによるサビ除去効果は有効であると実感した
21	施工前と施工後の状況が見ることができ、また施工中の状況も見学でき、ブラストについて理解できた
22	サビの除去後の塗装方法を確認できればと感じた。
23	調査設計の手法及び歩掛等について早急に作成が必要
24	研削材材料の選定について、珪砂に変わるものの選定は今後どうするか?
25	ブラスト処理費における産廃費により大幅にコストが増となるため、塗装塗り替えを検討する設計段階で県も国も塗膜分析を行う必要があるのでは。産廃処理も業者により処理できないこともあるので目安が必要
26	質問として、メタル橋の健全度の判定基準は?(腐食に対して)
27	発注者側も研削材の選定にはコストだけでなく、安全性環境性施工性を含め、今後の課題ではないかと思う。

6. まとめ

部分的に鋼材腐食が進行した橋梁について、損傷程度や損傷の原因に関する詳細調査を実施し、補修設計に供する調査結果をとりまとめた。補修対策の設計・検討に当たっては、腐食損傷が生じた部位に対する構造安全性を照査し、橋の規模や利用実態、補修コストなどを考慮して補強構造を決定した。また、補修対策工事では特にブラストを用いた素地調整を導入し、塗替え塗装の耐久性向上に必要な施工品質（ISO8501 Sa2 1/2）を確保することができた。

今後の課題として、バキュームブラストの適用部位を拡大するための構造改良や、アンケート意見にもあるような施工歩掛り、資機材コストの一般化が急務である。

なお、このような部分的に腐食損傷を引き起こしている橋梁は地方自治体管理橋において多数存在していると考えられる。限られた維持費の中で、橋の機能を保つためには、腐食の激しい部分に重点的な補修を行うことにより、安価で橋全体として長寿命化を図ることが必要である。本橋で行った補修・補強対策が解決策の一つとして参考になれば幸いである。

小宮一臣*



福岡県宗像土木事務所道路課
維持係 主任技師
Kazuomi KOMIYA

濱地英伸**



日本塗装工業会 福岡県支部
Hidenobu HAMAJI

安波博道***



財団法人土木研究センター
材料・構造研究部長 工博
Dr.Hiromichi YASUNAMI

中島和俊****



財団法人土木研究センター
材料・構造研究部 研究員
Kazutoshi NAKASHIMA

新刊発行

ジオテキスタイルを用いた軟弱路床上舗装の設計・施工マニュアル（改定版） —路床／路盤分離材としての利用—

分離機能を有するジオテキスタイルを用いた軟弱路床対策工法は、(財)土木研究センターから平成13年に「ジオテキスタイルを用いた軟弱路床上舗装の設計・施工マニュアル—路床／路盤分離材としての利用—」を発行以降、軽交通などを中心に実績を積み重ねてきました。最近の年間施工量は約40万m²に及び、それに伴い新たな知見も得られてきています。また、(社)日本道路協会の「舗装設計施工指針」の改定等を機に、これらの技術図書との整合性を図ることも求められています。このため、平成19年に改定委員会を設立し、本マニュアルを改訂することになりました。

今回の改訂では、本マニュアルが対象とする舗装の適用範囲に、交通量区分がS₁～S₄の小型道路を加えています。

【主な内容】

- | | |
|----------|-----------|
| 第1章：総説 | 第5章：管理と補修 |
| 第2章：構造設計 | 第6章：補修 |
| 第3章：材料 | 付録 |
| 第4章：施工 | |

発行：平成21年12月(予定)

体裁：A5判

価格：3,150円(税込、送料別)