

平成30年度 橋梁技術発表会 1

もう、腐食なんかこわくない！

～適切な維持管理と対策で鋼橋は守れる～

保全委員会
【貞島健介, 稲田博史】

一般社団法人 日本橋梁建設協会
Japan Bridge Association

2

1. はじめに
2. 腐食とは
 - ・ 腐食のメカニズム
 - ・ 鋼橋における腐食因子
3. 防食
 - ・ 防食の考え方
 - ・ 防食を考慮した構造・工夫
4. 塗替え
 - ・ 塗替えの考え方
 - ・ 塗膜剥離と素地調整
5. 補修事例
 - ・ 補修・補強の考え方
 - ・ 補修事例

3

1. はじめに

一般社団法人 日本橋梁建設協会
Japan Bridge Association

4

鋼にとって**腐食（酸化）**は**自然現象**
↓
鋼橋の**維持管理上**の**永遠のテーマ**
⋮

しかし、**防食を考慮した構造の採用**、**適切な維持管理**を行うことで**腐食を防ぐことは可能**。
また、たとえ**腐食が進行したとしても鋼橋は補修・補強が可能**。

本発表では「もう、腐食なんかこわくない！」と題して、適切な維持管理方法および腐食の補修・補強事例を紹介します。

一般社団法人 日本橋梁建設協会
Japan Bridge Association

5

2. 腐食とは

日本橋梁建設協会

6

2.1 腐食のメカニズム

自然界では酸化状態（酸化鉄の状態）で安定
 代表例：鉄鉱石

↑ 腐食
 ↓ 溶鉱炉で人工的に還元
 銑鉄
 ↓ 転炉で脱炭や成分調整
 鋼（高強度，廉価，加工容易）

腐食；鉄が大気中で酸化され，さびが発生
 酸化するためには，常温状態では水と酸素の存在が不可欠

日本橋梁建設協会

7

2.1 腐食のメカニズム

$2Fe \longrightarrow 2Fe^{2+} + 4e^{-}$ (アノード反応)
 $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \longrightarrow 4OH^{-}$ (カソード反応)
 $2Fe^{2+} + 4OH^{-} \longrightarrow 2Fe(OH)_2$
 $2Fe(OH)_2 + 1/2O_2 + H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3$
 \downarrow
 $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ (赤さび)

水滴
 $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$ (カソード反応)
 (鉄イオン) Fe^{2+} と OH^{-} が反応
 \downarrow
 $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ (赤さび)

鉄 (Fe) $2e^{-}$ Fe $2e^{-}$ (電子)
 アノード反応

日本橋梁建設協会

8

2.2 鋼橋における腐食因子

腐食因子；

- ・ 酸素と水
 漏水や滞水により局所的に腐食

↓

腐食因子を除けば腐食の抑止ができる

腐食促進因子；

- ・ 飛来塩分（海水，凍結防止剤）
- ・ 大気汚染ガス（排気ガス，工場排出物）
- ・ 異種金属接触電池作用（異種金属腐食）



桁端部の腐食状況

日本橋梁建設協会

3. 防食

9

日本橋梁建設協会

3.1 防食の考え方

10

【鋼構造物の防食方法】

- ・ **表面被覆**
 - 非金属系(塗装, 防錆キャップ, FRPシート)
 - 金属系(溶融亜鉛メッキ, 溶射, クラッド)
- ・ **高耐食性材の使用** (耐候性鋼, ステンレス鋼)
- ・ **環境改善**
 - 腐食因子の除去 (構造改善, 除湿, 水洗い)
- ・ **電気防食** (流電陽極法, 外部電源法)

日本橋梁建設協会

3.1 防食の考え方

11

(1) 表面被覆による防食方法

表面被覆の種類と耐用年数

防食の種類	耐用年数		
	一般環境	やや厳しい環境	厳しい環境
	- 山間部 -	- 市街地部 -	- 海岸部 -
重防食塗装<C5塗装系>	35年 (60年)	30年 (45年)	20年 (30年)
溶融亜鉛メッキ	100年	60年	25年
亜鉛アルミ溶射+封孔処理	100年	70年	60年

() 内は塗膜が防食機能を失い錆が10~15%程度となる期間
技術短信 (2009.10) 日本橋梁建設協会より

- ・ **重防食塗装**では機能が異なる塗料を複数層重ねた塗装系で、防食機能を失い**錆が発生する前の塗り替えが前提**
- ・ **溶融亜鉛メッキ**は厳しい環境で耐用年数が短い点に注意
- ・ **溶射**は塗装に比べ耐久性の高い金属で皮膜を形成

日本橋梁建設協会

3.1 防食の考え方

12

(2) 高耐食性材の使用

耐候性鋼材 (CrやNiを添加し保護性さびを生成)

- ・ **保護性さびの生成により長期防食性が発揮される** (200年以上の耐用年数が期待されている)
- ・ **保護性さびが生成されるまでは** (一般的には5~10年程度) 留意が必要であるが、**実績も多くあり、留意点も明確**である。

さび外観評価補助システム (日本橋梁建設協会HPより)

日本橋梁建設協会

3.1 防食の考え方

13

(3) 環境改善

- ・ 滞水を防止する構造の採用
例. 止水板, 排水孔
- ・ 密閉構造による環境遮断
例. 溶接による密閉化
- ・ 除湿による強制的な湿度調整
例. 箱桁内, ケーブル除湿



トラス部滞水防止構造の例



下フランジ滞水防止構造の例

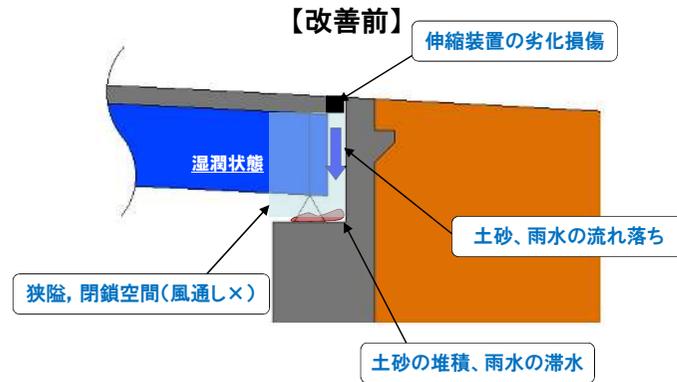
(4) 電気防食

- ・ 電極から直接電流を流し、腐食しない電位を保つ

3.2 防食を考慮した構造・工夫

14

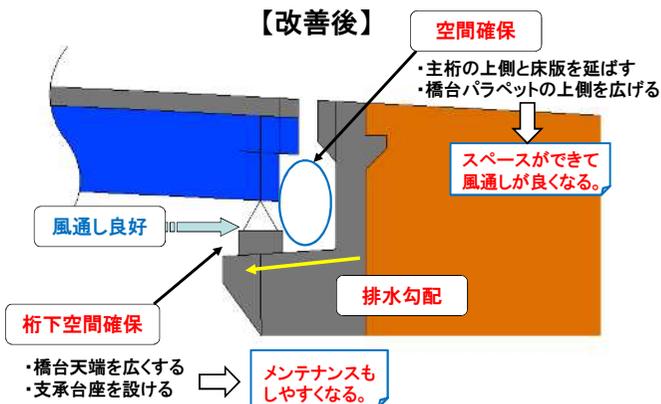
(1) 桁端部での構造詳細



3.2 防食を考慮した構造・工夫

15

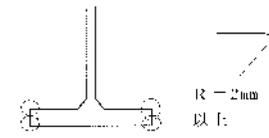
(1) 桁端部での構造詳細



3.2 防食を考慮した構造・工夫

16

(2) 塗装桁における細部構造



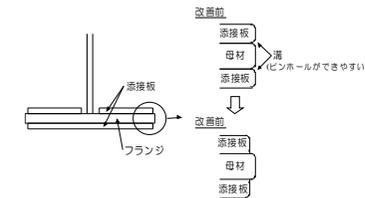
【角部曲面仕上げ】



【角部への先行塗装事例】



【曲面加工用機械】

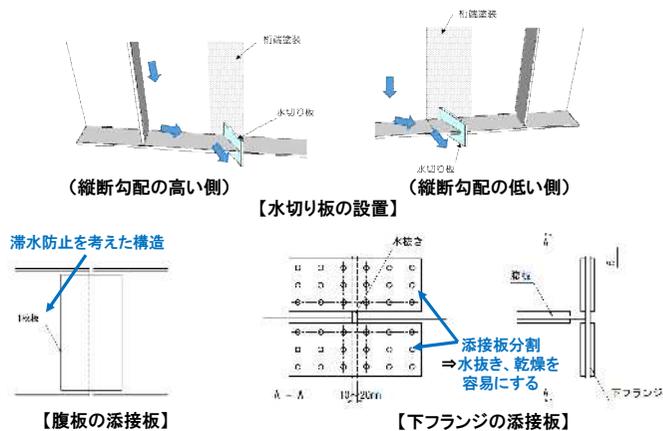


【添接板と母材の構造詳細】

3.2 防食を考慮した構造・工夫

17

(3) 耐候性鋼橋梁における細部構造

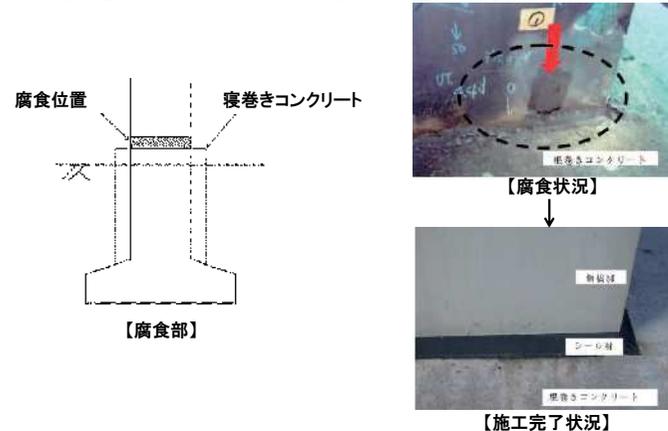


日本橋梁建設協会

3.2 防食を考慮した構造・工夫

18

(4) 鋼とコンクリートの境界付近の防食



日本橋梁建設協会

19

4. 塗替え

日本橋梁建設協会

20

塗装は代表的な防食法だが、そのライフサイクルの中で、必ず塗替えが発生する。4章では、塗替えについて特徴・留意点を紹介

塗装系による塗替えの考え方の違い

- 重防食塗装系 中・上だけ塗替え
- 一般塗装系 全層塗替えで重防食塗装系へ
(一般塗装系での塗替はLCCの考えから、非推奨)

日本橋梁建設協会

4.1 塗替えの考え方

21

(1) 重防食塗装系の塗替え

重防食塗装系は、中・上塗の塗膜厚が減ってきた段階で、目荒らしをして、中・上塗を塗りなおす。



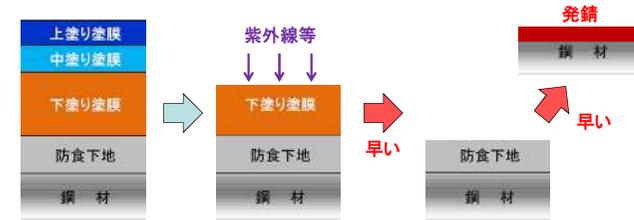
日本橋梁建設協会

4.1 塗替えの考え方

22

(1) 重防食塗装系の塗替え

下塗は紫外線等に弱く、露出すると劣化しやすい。下塗・防食下地を傷め、鋼材を発錆させてしまうと、その錆の除去作業は大掛かりになり、コストも嵩む。



→ 上塗・中塗が劣化した段階で(=下塗露出前に)上・中だけ塗替(前ページの図)を推奨

日本橋梁建設協会

4.1 塗替えの考え方

23

(2) 一般塗装系の塗替え

LCCの観点から、旧塗膜を全層剥離して、防食下地としてジンクリッチペイントを入れる「重防食塗替塗装系」を推奨。

Rc-I 塗装系

素地調整	1種 ※
防食下地	有機ジンクリッチペイント
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗

※ プラスト処理 除錆度 ISO Sa 2 1/2

日本橋梁建設協会

4.1 塗替えの考え方

24

(2) 一般塗装系の塗替え

塗替え作業で難しいのは、塗膜剥離と素地調整
→ 4.2 で少し詳しく説明。

塗膜に鉛・PCB等の有害物質を含有しているものがあり、除去時に相応の対応が必要。

- ・ 周囲に撒き散らさない
- ・ 作業者に吸い込ませない

→ グラインダー等の動力工具 ×
簡易養生でのブラスト ×

→ 次ページの表から選択

日本橋梁建設協会

4.2 塗膜剥離と素地調整 25

施工箇所に応じて幾つかの工法を**組み合わせる**

工法名称	塗膜剥離	素地調整	養生	適用箇所
剥離剤	○	—	簡易	平面・曲面
電磁誘導 (IH)	○	—	簡易	広い平面
ブリストル ブラスター	—	○	簡易	平面・曲面 (小面積)
パキューム ブラスト	○	○	密閉	養生エリア内 ならどこでも
回収分離式 オープンブラスト	○	○	完全 密閉	養生エリア内 ならどこでも

剥離剤や電磁誘導は、**別途素地調整が必要**
パキュームブラストでも、結局漏れるので**密閉養生が必要**

日本橋梁建設協会

4.2 塗膜剥離と素地調整 26

① 剥離剤工法



スクレーパーによる剥ぎ取り



剥ぎ取り後の状況

塗布後24時間程度放置し
スクレーパーで剥ぎ取る

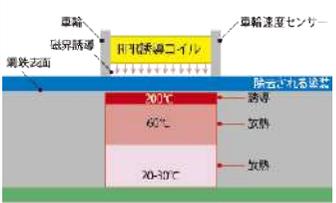
錆やプライマーは除去できない
→ **別途素地調整が必要**

最近は臭いの少ない水系タイプが主流

日本橋梁建設協会

4.2 塗膜剥離と素地調整 27

② 電磁誘導 (IH) 工法



電磁誘導 (IH) 工法のイメージ



電磁誘導 (IH) 工法による塗膜剥離状況

電磁誘導で鋼材表面近傍のみを温め、塗膜の付着を弱める
鋼材裏側の塗装を傷めないとする
錆やプライマーは除去できない → 別途素地調整が必要

日本橋梁建設協会

4.2 塗膜剥離と素地調整 28

③ ブラスト面形成動力工具 (ブリストルブラスター)

金属ブラシを縦回転させ、鋼材表面に
アンカーパターンをつける
面積が大きいと時間がかかる



サンドブラスト



ブリストルブラスター

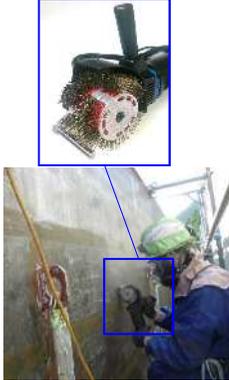


ディスクサンダー



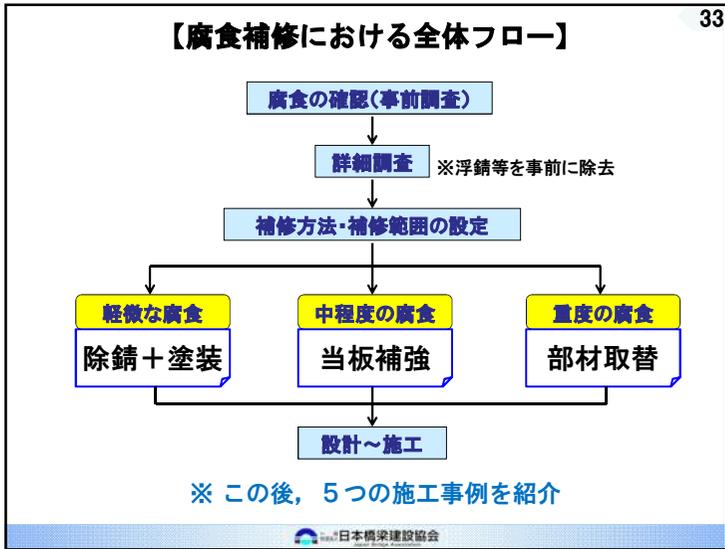
カップワイヤー

各種の方法で処理した鋼材表面写真



素地調整状況

日本橋梁建設協会

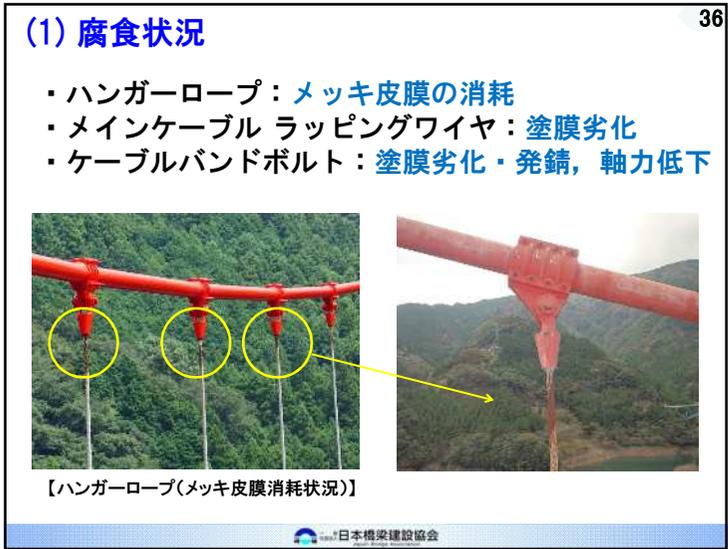
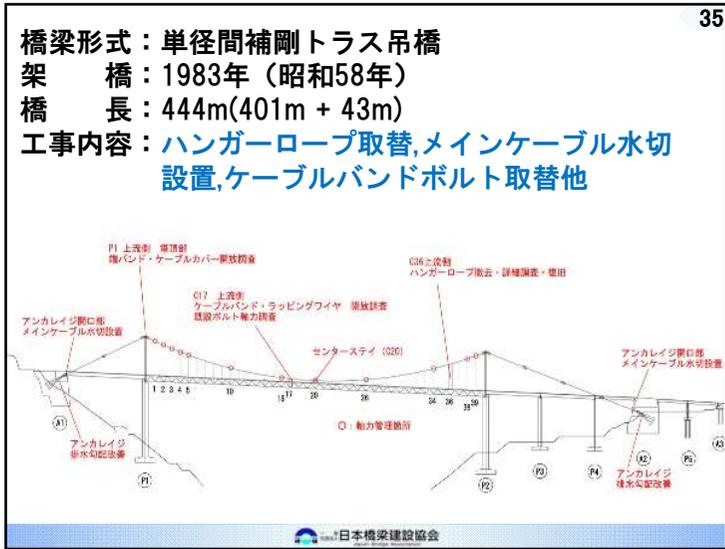


34

事例 1

吊橋ケーブルの腐食補修

日本橋梁建設協会



37

【ラッピングワイヤ塗膜劣化状況】

【メインケーブル腐食レベル：小】

【ケーブルバンドボルト(軸力低下・塗膜劣化)】

日本橋梁建設協会

38

(2) 腐食原因

- ・防食機能（塗膜）の経年劣化
塗装塗替えが行われていなかった
- ・各部材境界部で水が溜まり易い（浸入し易い）構造
ケーブルバンド・ハンガーロープ
アンカレッジ内等

【ケーブルバンド・ハンガーロープ境界部(水の溜まり易い構造)】

【アンカレッジ・メインケーブル挿入部(水の入り易い構造)】

日本橋梁建設協会

39

(3) 対策

- ・境界部滞水箇所の対策（構造対策）

① ケーブルバンド・メインケーブル境界部
⇒ **ブチルゴムとシーリング材による防水処置**
+ ケーブル下面水切りの設置

【ブチルゴムとシーリング材による防水処置】

【ケーブル下面水切りの設置】

- ・メインケーブルは重要部材であることから、二重の対策を実施；**水切り⇒小さな工夫が高い効果を生む**

日本橋梁建設協会

40

②ハンガーロープ定着金具境界部

【水切り設置】

【防食テープ(ペトロラタム系)巻付け+柔軟型塗装】

ペトロラタム系防食テープ

- ・柔軟性に優れ、形状を問わずに密着性が良好
- ・防水性を保持する材料

日本橋梁建設協会

41

・部材取替(構造機能回復)

①ケーブルバンドボルトの取替

- ・ボルト頭, ナット部の発錆, 軸力の低下が大きいものは取替

↓

取り外しが可能なボルトキャップの採用

⇒ 防錆機能を確保しつつ**将来の維持管理性を向上**



ボルト長で軸力管理



【ボルト取替状況】 【ボルトキャップ取付状況】



42

②ハンガーロープの取替

- ・発錆の著しいハンガーロープを取替え(腐食度調査)
- ⇒バイパス材で**無応力にして取替えを実施**



【バイパス材設置(ケーブル側)】



【ハンガーロープ取替】



43

・塗装塗替えの実施(防食機能回復)

- ・定期的な塗替えで基本的な防食機能を保持することが重要



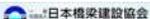
【塗替え塗装状況(外面)】



【塗替え塗装状況(主塔横梁内面)】



【水抜き孔+防虫ネット】



44

(4) 補修のポイント

- ・適切なサイクルでの塗替えで**防食機能を保持**することが重要.
- ・**水仕舞い**の小さな工夫が有効.
⇒水切り構造, 防水シールなど
- ・将来的な**維持管理性**も考慮した**対策**も必要.
⇒取外し可能なボルトキャップなど



【ケーブルバンド・メイン
ケーブル境界部】



【ハンガーロープ定着金具
境界部】



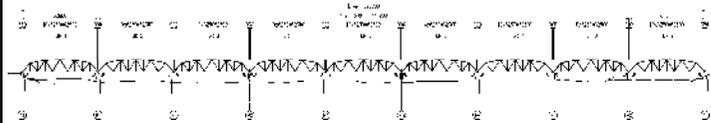
【取り外し可能な
ボルトキャップ】



事例 2

腐食した横桁上フランジの下側に補強部材を追加した事例

橋梁形式：鋼単純ワーレントラス
架 橋：1955年（昭和30年）
橋 長：570.8m(63.5m+7@63.4m+63.5m)
工事内容：横桁補強工，歩道高欄補修工



(1) 腐食状況

- 横桁上フランジ：腐食（断面減少）



【横桁腐食状況】



【腐食部調査状況】



【ケレン後板厚計測】

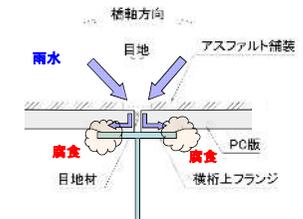
- 腐食部をケレンし，フランジの板厚を計測。
- 断面減少の大きい箇所について対策を実施。

(2) 腐食原因

- PC床版を横桁間隔で敷き詰めた構造（隙間あり）
- 凍結防止剤散布による塩分供給



【横桁上の床版目地】



【横桁部 側面】

(4) 補修のポイント

53

- ・現場切断した既設垂直補剛材と取り合うため、**補強部材製作前に詳細に計測**する必要がある。
- ・部材取付は**ほぼ人力での施工**となるため、**人力施工可能な部材重量で設計**することが必要。
- ・鋼橋では、**損傷部を残して補強部材を別途取り付けるなどの柔軟な補強方法が可能。**
 - ⇒「**損傷部は撤去する**」という固定観念は捨て、**色々なパターンの補修・補強方法を考える**ことも必要。

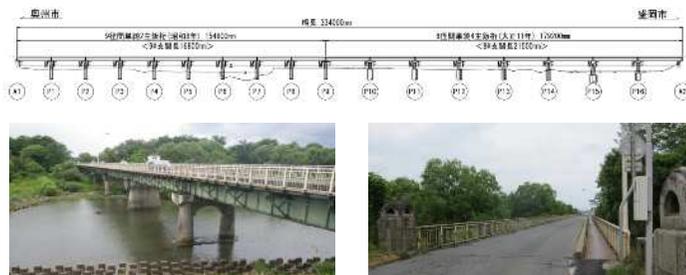
事例 3

腐食減厚部にエポキシ樹脂を塗布した当板補強

54

橋梁形式：①9径間単純2主鈎桁 ②8径間単純4主鈎桁
 架 橋：①1933年(昭和8年) ②1922年(大正11年)
 橋 長：①154.8m(9@16.8m) ②179.2m(8@21.5m)
 工事内容：**主鈎補修**，桁連結，支承取替，床版取替
 付属物・橋面工更新，塗替塗装

55



(1) 腐食状況

56

- ・主鈎腹板(水平補強材部)：**減厚(断面減少)**，孔食
- ・横桁，縦桁，横構：**減厚(断面減少)**
- ・支点部：**支承水平移動機能低下**



【主鈎腹板腐食状況】

【床版下面腐食状況】

【支点部腐食状況】

(2) 腐食原因

57

- 床版劣化による雨水等の床版下面への漏水
- 伸縮装置，床版端部からの漏水
- 車道と歩道との隙間からの漏水



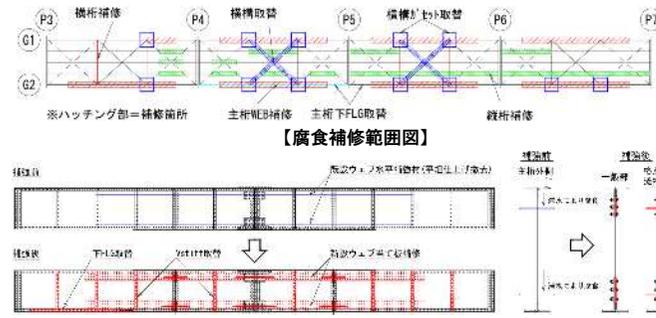
車道と歩道の隙間

日本橋梁建設協会

(3) 対策

58

- 腐食状況に応じて、部材取替・当板補強を実施
- 主桁腹板の水平補強材を撤去し、当板補強部材設置
⇒既設腹板減厚部にエポキシ樹脂塗布



【主桁腹板補強概要図】

日本橋梁建設協会

- 既設水平補強材を撤去し，当板補強部材を設置

59



【施工フロー】



【水平補強材撤去状況完了】

【素地調整】

日本橋梁建設協会



【ボルト孔位置罫書き】

【現場孔明け】

【エポキシ樹脂塗布】

【エポキシ樹脂塗布】

日本橋梁建設協会

61



【エポキシ樹脂塗布】



【ボルト本締め】



【部材設置完了】



【現場塗装完了】

日本橋梁建設協会

62

(4) 補修のポイント

- 腐食補修範囲や補強方針を設定する前の現場計測においては、**腐食部の浮錆を事前に撤去**することが必要。
- 腐食減厚部にエポキシ樹脂を塗布する場合は、**腐食の状況(減厚量)により判断**する。
- 供用開始から80年以上供用している橋でも、**架け替えではなく適切な処置により、長寿命化が可能**となる。



【工事完了（側面）】



【工事完了（路面）】

日本橋梁建設協会

63

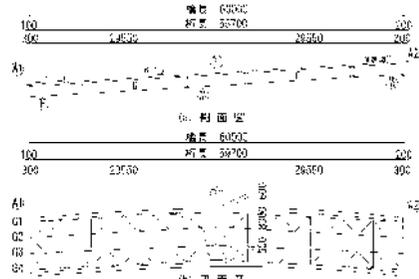
事例 4

耐候性鋼橋梁における 桁端部の腐食補修

日本橋梁建設協会

64

橋梁形式：2径間連続非合成鈹桁橋
架 橋：1989年（平成元年）
橋 長：60m(29.550m+29.550m)
工事内容：主桁・横桁・横構部材取替工，支承受替工，台座改造工，桁端塗装工，伸縮止水工，検査路撤去復旧工，添接部取替工



日本橋梁建設協会

65

(1) 腐食状況

- 主桁，横桁，横構：減厚（断面減少），孔食
- 支承：機能不全

【桁端部の腐食状況】

【主桁の孔食状況】

【支承腐食状況】

【横構の腐食状況】

日本橋梁建設協会

66

(2) 腐食原因

環境要因（湿潤環境）

- 地山や植生が近接し，乾湿が起こりにくい
- 凍結防止剤散布による塩分供給

【架橋位置の環境】

【凍結防止剤の散布】

日本橋梁建設協会

67

(2) 腐食原因

構造要因

- 伸縮装置止水構造の損傷による漏水・土砂流入
- 橋台天端立ち壁構造による，桁端部の湿潤環境
- 桁端部塗装の未実施

⇒ 雨水，土砂の支分部への流入

【桁端部の腐食要因構造】

日本橋梁建設協会

68

(3) 対策

① 腐食損傷部材の部分取替（主桁・横桁・横構）

【ジャッキアップブラケット設置】

【主桁補強材設置】
（フィルム型による野書き・切断）

【支承撤去，鋼桁損傷部切断】

【主桁部材取替え】

日本橋梁建設協会

69

②部分塗装の実施（防食機能向上）

- ・ 湿潤環境になりやすい桁端部の部分塗装
- ・ 付着塩分量が多い下フランジの部分塗装
- ・ 橋台天端にコンクリート表面保護工

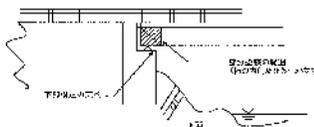


図-Ⅲ-3.8 凍結防止を目的とする橋台部分塗装の概観



異常さび

【主桁下フランジ部の異常腐食】



コンクリート表面保護工

【橋台天端のコンクリート表面保護】

【鋼道路橋防食便覧】

日本橋梁建設協会

70

腐食環境の橋台天端構造の改造

- ・ 橋台縁部立ち壁の撤去



橋台縁部立ち壁

堆積した土砂

【既設の橋台構造】



排水勾配設置

水切り板

【橋台改造】
（橋台縁部立ち壁撤去）

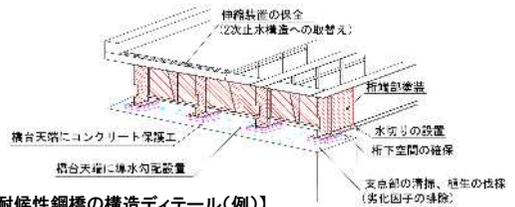
- ・ 橋台天端に水勾配設置
- ・ 主桁下フランジ端部に水切り板設置

日本橋梁建設協会

71

(4) 補修のポイント

- ・ 耐候性鋼材は緻密なさびを生成し、鋼材の断面減耗を抑えることが本来の機能。
「耐候性鋼材＝メンテナンスフリー」という誤った認識を持たない。
- ・ 耐候性橋梁の特徴を理解し適した構造（ディテール）の採用が必要。
- ・ 適切な維持管理計画（定期的な目視点検）が重要。



伸縮装置の保全
（2次止水構造への取替え）

折れ部塗装

橋台天端にコンクリート保護工

橋台天端に排水勾配設置

水切り板の設置
桁下空間の確保

支座位の清掃、継手の点検
（劣化因子の排除）

【耐候性鋼橋の構造ディテール（例）】

日本橋梁建設協会

72

事例 5

腐食したアーチリブの部分取替

日本橋梁建設協会

73

橋梁形式：3径間鋼ソリッドリブアーチ橋
 架 橋：1931年（昭和6年）
 橋 長：134m(42.1995m+49.504m+42.2145m)
 工事内容：アーチリブ腐食部部分取替工，支承防錆
 端部鉛直材，端対傾構，横桁取替工

断面図

日本橋梁建設協会

74

(1) 腐食状況

- ・アーチリブ（端部材）：減厚（断面減少），孔食
- ・リベット：断面欠損，ゆるみ
- ・支承：機能低下（回転不良）

日本橋梁建設協会

75

(2) 腐食原因

環境的要因

- ・日常的な湿潤環境（水面から近い，干満の影響）
- ・船舶による波の跳ね返り

構造的要因

- ・形鋼の組合せ構造のため，局所的に水が溜まり易い
- ・アーチという構造的な勾配により端部に雨水が集まる

日本橋梁建設協会

76

(3) 対策

塗装仕様の変更(防食機能向上)

- ・橋梁本体 ⇒ 重防食塗装(C5塗装系)の採用
- ・支承部 ⇒ Al-Mg合金溶射(機能回復は潤滑剤注入)

日本橋梁建設協会

77

腐食断面減少部の断面回復

・腐食部(アーチリブ)の部分取替
 リベットによる組合せ部材 ⇒ 当て板補強は困難
 ⇒ 部分取替を選択

【施工前】 【施工後】

日本橋梁建設協会

78

腐食損傷部材(アーチリブ)の部分取替手順

① 足場仮設 ② 調査・計測 ③ 既設補強材撤去 ④ 対候構取替 ⑤ バイパス材設置 ⑥ ジャッキアップ(荷重受替え) ⑦ 既設アーチリブ撤去 ⑧ アーチリブ新設 ⑨ ジャッキダウン(荷重受替え) ⑩ 端部鉛直材取替 ⑪ バイパス材撤去 ⑫ 支承溶射 ⑬ 現場塗装 ⑭ 足場解体

【アーチリブ部分取替フロー】 【アーチリブ部分取替要領図(バイパス材)】

日本橋梁建設協会

79

【施工フロー図】

【バイパス材設置】 【ジャッキアップ】

日本橋梁建設協会

80

荷重受替確認

⇒ 可視化による確実な確認

【荷重モニターによるチェック】 【ジャッキアップ時の緑切り確認】

荷重受替後に部材切断～架設

【既設アーチリブ切断・撤去】 【新設部材の架設】

日本橋梁建設協会

(4) 補修のポイント

- ・部材の構造・寸法を正確把握・認識し、これに基づいて計画すれば、複雑な構造でも部分取替は可能。
- ・部分取替では取替える部材を無応力化し、その確認が重要 ⇒ 縁切りの目視確認、応力モニター等
- ・狭隘部での作業、複雑な構造 ⇒ 高い精度の計測が必要 ⇒ 原寸模型による確認、3D計測など



【原寸模型】



【原寸模型による施工確認状況】



【3D計測状況】

- ・支承の腐食対策は、機能回復も併せて実施する。
⇒ 潤滑防錆剤の注入など

今回の発表が
少しでもお役に立てれば幸いです。

ご清聴ありがとうございました。