

調湿剤を用いた鋼箱桁内面塗装の簡素化

—唐戸川新橋への「箱桁内面防錆システム」適用—

庄野好希・内田裕也・田中正明

近年、環境問題の一つとして浮遊粒子状物質や光化学オキシダントによる人体への影響が懸念されている。これらの原因の一つに塗料に含まれる揮発性有機化合物（VOC）があり、環境省から我が国のVOC年間総排出量の大部分が塗料等を扱う業種から排出されていることが報告されている。

当社では、鋼製箱形状構造物の内面防錆方法として、一般的な塗装仕様に代わり調湿剤を用いた防錆システム「箱桁内面防錆システム」を開発してきた^{1), 2)}。

本稿では滋賀県での新設鋼製橋梁において本システムを実橋として初めて適用し³⁾、1年が経過したので報告する。

キーワード：VOC，粉じん，防錆，箱桁内面，調湿剤，コスト削減

1. はじめに

鋼橋工事において初期コスト・ライフサイクルコストの削減を目的とした、従来の塗装仕様に代わる種々の工法が検討され、また実用化されている⁴⁾。当社では取扱いの容易性およびコスト性から調湿剤に着目し、箱桁内部の湿度コントロールによる「箱桁内面防錆システム」を東京大学と共同で開発してきた^{1), 2)}。

近年、大気汚染に関する問題がクローズアップされ大気汚染防止法の改正によりVOC排出規制が開始されている。さらに環境省の報告によると、工場での塗装時に発生するVOCが浮遊粒子状物質や光化学オキシダント生成の原因となる物質の一つであることが明らかになっている。本システムの開発当初は建設コスト削減が大きな目的であったが、このような状況の中で、VOC削減効果も得られることが社会のニーズと合致してきたといえる。

本橋は、鈴鹿山脈の麓に位置し、県道129号線南土山甲賀線道路改築工事のうち唐戸川に架かる新設橋梁である。財滋賀県環境事業公社殿が開業予定のクリーンセンター滋賀へのアクセス道路であったため非常に厳しい工程を厳守する必要があった。本システムの適用により、工事費のコスト削減および工程短縮を実現し、さらに従来の塗装仕様を簡素化することによりVOC排出量の削減を行ったので、本稿にて報告する。

2. 工事概要

本橋の全景、および構造一般図を図—1, 2に示す。橋梁諸元は以下に示すとおりである。

橋梁形式：単純非合成曲線細幅箱桁

活荷重：B活荷重

橋長：50.150 m

総幅員：11.250 m

床版形式：合成床版パイプスラブ

使用鋼材：耐候性鋼材（裸仕様）

鋼重：163.4 t

内面表面積：1,060 m²



図—1 唐戸川新橋全景

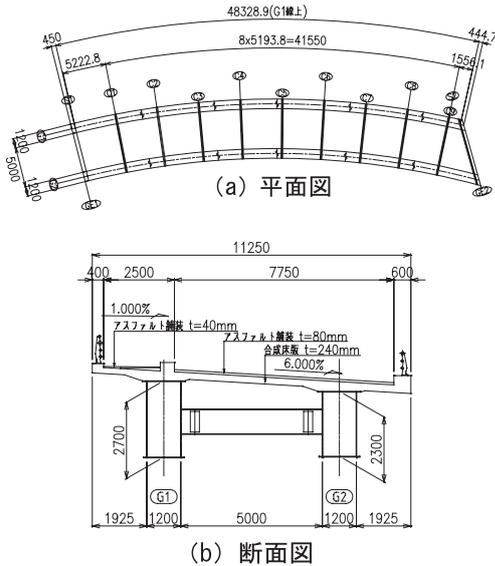


図-2 構造一般図

3. 箱桁内面防錆システムの概要

鋼橋の内部で錆が発生する主な要因は、現場継手部や開口部(マンホール、ハンドホール)などからの漏水、塩分などの腐食性物質を含む外気の流入、および構造物内外の温度差による結露の発生などである。しかし、箱桁内部は密閉に近い状態であり腐食環境としては非常にマイルドであり、箱桁内部の鋼材の大気腐食速度も非常に遅いことが確認されている。本システムは箱桁内部の密閉度を継手部のシーリングなどによりさらに向上させ、漏水および飛来塩分の侵入を防止するとともに、調湿剤による湿度コントロールにより相対湿度を概ね85%以下¹⁾に制御することで結露を防止し、腐食の発生と進行を抑制する防錆技術である。

本システムで調湿剤として用いるB型シリカゲルの特徴を以下に述べる。

- ①毛細管凝縮により、図-3に示すように周囲湿度が高い時に吸湿し、周囲湿度が低い時に常温下で水分を放出する。
- ②化学的に安定な物質であり、半永久的に調湿効果が

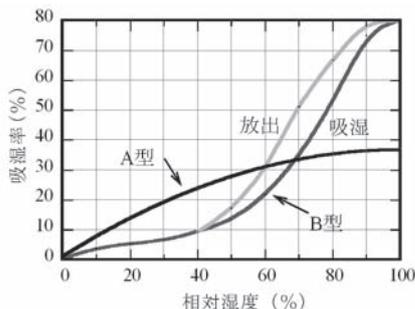


図-3 B型シリカゲルの吸湿特性

期待できる。

③安価である。

④人体への毒性が無く、取扱いが安全である。

本システムの適用により従来の塗装仕様に比べて大幅なコスト削減および工程短縮が可能となり、また塗装の簡素化によりVOC排出量の削減が可能となる。

さらにエアコンを用いた湿度コントロールに比べ、設備が簡易で電源を要しないため、中小規模の橋梁への適用が容易である。

4. 箱桁内面防錆システムの適用

(1) 施工作業の流れ

本システムの適用に関する施工作業の流れを図-4に示す。通常の工事と比べると工場塗装および現場塗装の工程が大幅に短縮可能となり、また作業環境が改善される。

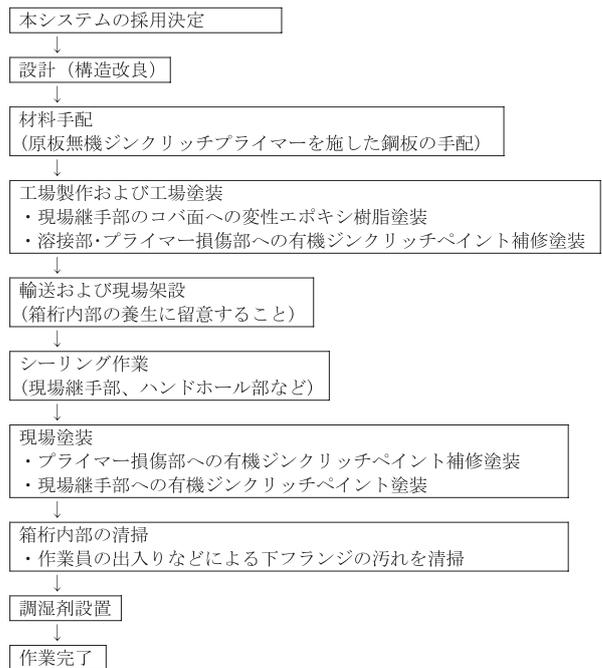


図-4 本システムの施工の流れ

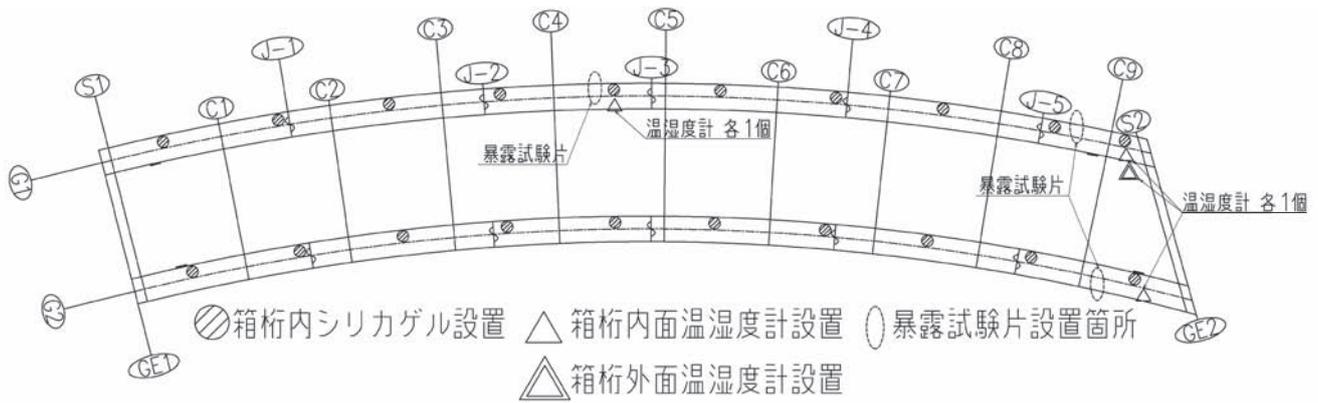
(2) 調湿剤の使用量および配置

調湿剤の使用量は、JIS Z 0301「除湿包装方法」を準用して次式により算出する。

必要調湿剤量 $W = V \times H / [(C_2 - C_1) \times 10^{-2}] \times a$ (g)
 ただし、JIS 規定における各数値を下記のように橋梁の箱桁内部空間用に置き換えて算出するものとする。

V：箱桁内部空間容積 (m³)

H：月平均気温の年間最大値において相対湿度が100%と仮定した容積絶対湿度



図—5 除湿剤配置および追跡調査箇所

(飽和水蒸気量) (g/m^3)

C1 : 年間の平均相対湿度における調湿剤の吸湿過程の吸湿率

C2 : 許容される最高相対湿度 (85%) における, 調湿剤の吸湿過程の吸湿率

a : 割り増し率 ($a = 3$)

気象データとして最近5年間 (2003年~2007年) の気象庁観測値を用いて算出した結果, 橋梁全体の箱桁内部空間 $291m^3$ に対し約 120 kg の調湿剤が必要であった。これを箱桁内部に図—5 に示すようにダイヤフラム間隔毎に設置する方法を採用した。

には保護性の錆が生成されにくいために, 一般的には耐水性能の高い変性エポキシ樹脂塗料が施工される。一方, 本システムを新設橋梁に適用する際の塗装仕様は工場製作時の一次防錆を目的とした原板無機ジンクリッチプライマーのみを標準としている。ただし, 工場溶接部や補剛材などのコバ面 (板厚面), および製作・架設途中での原板無機ジンクリッチプライマー損傷部などについては有機ジンクリッチペイントのタッチアップを行っている。また, 箱桁内部の現場継手部についても, 高力ボルト本締め後に有機ジンクリッチペイントの塗装を行った。

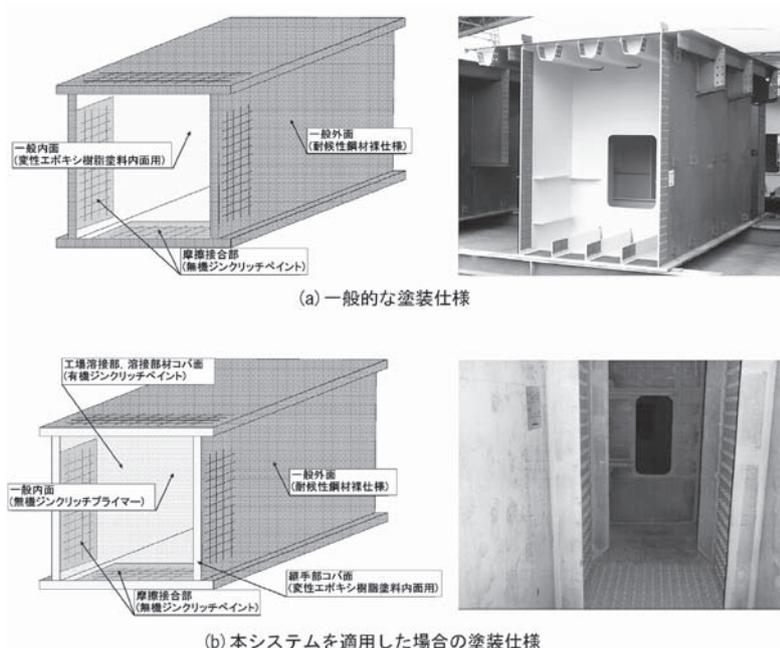
(3) 塗装仕様の変更

耐候性鋼材を用いた場合の一般的な箱桁内面の塗装仕様と, 本橋の塗装仕様の違いを図—6 に示す。無塗装が前提の耐候性鋼材を使用した場合でも, 箱桁内部

5. 環境負荷の低減

(1) VOC 排出量の削減

近年は, VOC 排出量抑制を目的として水溶性塗料



図—6 塗装仕様の比較

・無溶剤形塗料の開発が進められているが、品質および性能の観点から有機溶剤形塗料がまだまだ多く使用されている。大気汚染の抑制や塗装作業員の中毒予防としては、溶剤蒸気を発散させないことが第一であるが、有機溶剤を使用する以上はその蒸気の発生は避けられない。

しかし本システムでは従来の塗装仕様を簡素化することにより有機溶剤形塗料の使用量が削減されるため、VOC 排出量の削減が可能である。本システムを唐戸川新橋に適用することで、一般的な塗装仕様に比べて VOC 排出量を約 524 kg 削減できた。試算の根拠を表一 1 に示す。なお、本表で用いた各塗装仕様の VOC 排出量は、参考文献⁵⁾に記載された各塗料の標準的な加熱残分比率と希釈率から算出した。

表一 1 唐戸川新橋における VOC 削減量の試算

(a) 本橋に一般的な塗装仕様を適用した場合の VOC 排出量

塗装仕様	塗装面積 (m ²)	単位面積当たり VOC 排出量 (g/m ²)	VOC 排出量 (kg)
原板プライマー	1060.0	64	68
内面一般部	1005.0	492	494
内面継手部	55.0	705	39
内面継手部 (接触面)	110.0	240	26
合計			627

(b) 本システムを適用した実 VOC 排出量

塗装仕様	塗装面積 (m ²)	単位面積当たり VOC 排出量 (g/m ²)	VOC 排出量 (kg)
原板プライマー	1060.0	64	68
内面タッチアップ部	50.0	84	4
内面継手部	55.0	84	5
内面継手部 (接触面)	110.0	240	26
合計			103

本システム適用による VOC 削減量

(a) : 627 kg - (b) : 103 kg = 524 kg

(2) 粉じんの防止

従来の箱桁内面用の塗装であれば付着性向上のために入念な素地調整が必要であったが、本システムでは原板無機ジンクリッチプライマーのままとするため、素地調整が不要となる。これにより素地調整による粉じん発生が起こらず、作業環境が改善されたといえる。

6. 防錆効果の追跡調査

本橋での本システムの有効性を確認するため、下記に示す各項目について竣工時より追跡調査を実施した。

(1) 目視点検

竣工後 1 年経過時の目視点検による箱桁内部状況を図一 7 に示す。目視点検の結果、各継手部および開口部からの漏水は一切確認されなかった。また錆の発生も無く、竣工時からの変化は認められない。



図一 7 箱桁内部状況 (竣工後 1 年)

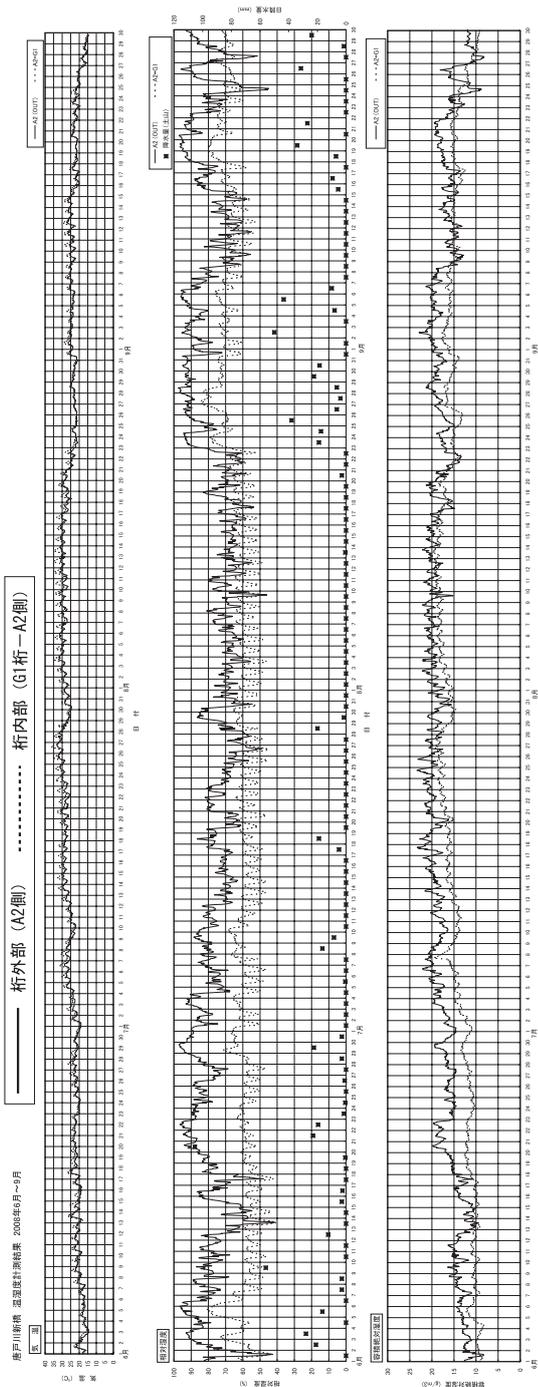
(2) 温湿度計測

竣工後 1 年間の温湿度計測のうち、特に相対湿度が高く本システムにとって厳しい条件と思われる多雨時期 (2008 年 6 月 ~ 9 月) の 4 ヶ月間の計測結果を図一 8 に示す。箱桁外部の相対湿度は気象に合わせて常に大きく変動を繰り返しているが、内部の湿度は比較的安定している。外部では降雨時などにしばしば相対湿度が 100% 近くに上昇するが、一方内部では最大でも 80% 程度に抑えられており、外部より 10 ~ 30% 程度低い状態が保たれている。これらの結果から、一定の密閉度の確保と湿度コントロールが機能していることが確認できる。

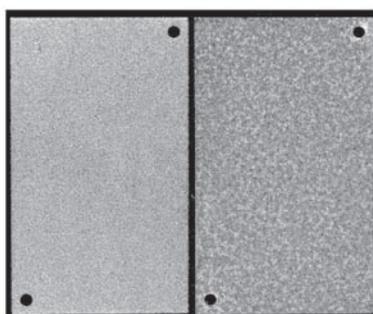
(3) 暴露試験

無塗装の暴露試験片を箱桁の内部、外部に設置して腐食状況を観察した。試験片は幅 60 mm、高さ 100 mm、板厚 2 mm の SPCC 材とし、暴露前にブラスト処理を施した。箱桁内部ではウェブの水平補剛材上に、外部では中間横桁の上フランジ上面にそれぞれ水平に設置した。

図一 9 に竣工後 1 年間暴露した試験片の写真を示す。外部の試験片では一面に赤錆が発生し、素地が見えない状態となっているが、内部の試験片では発錆は一切観察できず、設置前のプラスト素地がそのまま残っている状態である。この結果から、箱桁内部では腐食がほとんど発生しない環境に保たれていることが確認できた。



図—8 温湿度計測結果 (2008年6月~9月)



(a) 箱桁内部 (b) 箱桁外部

図—9 1年間暴露した試験片

7. おわりに

当社で開発した「箱桁内面防錆システム」を唐戸川新橋に適用することで、建設コストの削減や工期の短縮のみならず、塗装仕様の簡素化により VOC 排出量の大幅な削減を実現することができた。

また、竣工後1年間の追跡調査結果から、箱桁内部の湿度コントロールに成功しており、本システムの防錆機能が有効に作用していることが確認された。

本システムを新設橋梁全体に適用するのは本橋が初めての工事であったが、本システムは新設・既設を問わず適用可能であるため、今後より多くの実績を積み重ねることで鋼橋の工事コスト・時間的コスト・ライフサイクルコストの縮減、また VOC 排出量の削減により社会環境コストの縮減に貢献できるものとする。

なお本システムは鋼橋以外にも、鋼製の準密閉空間の内面に対して幅広く適用できることを追記する。

《参考文献》

- 1) 廖 金孫, 松井繁憲, 申田守可, 篠原 正, 藤野陽三: 鋼製箱桁内部の環境腐食性および除湿剤による防錆に関する研究, 土木学会論文集 No.749/ VI-61, pp.137-148, 2003年
- 2) 廖 金孫, 松井繁憲, 申田守可, 篠原 正, 藤野陽三: 準密閉環境における一般構造用鋼の大気腐食, 材料と環境, Vol.54, No.8, pp.383-390, 2005年
- 3) 庄野好希, 浦 剛史, 植谷 直, 庄野 泉, 田中正明: 除湿剤を用いた箱桁内面防錆システムの実橋への適用, 土木学会第63回年次学術講演会 V-198, pp.395-396, 2008年
- 4) 金子正猪, 溝上嘉昭, 内藤 真: 乾燥空気による箱桁内部防食-新尾道大橋-, 橋梁と基礎, Vol.33, No.5, pp.31-34, 1999年
- 5) 鋼道路橋塗装・防食便覧 (社)日本道路協会, 2005年

JCMIA

【筆者紹介】



庄野 好希 (しょうの よしき)
栗本橋梁エンジニアリング(株)
エンジニアリング部設計課



内田 裕也 (うちだ ゆうや)
栗本橋梁エンジニアリング(株)
エンジニアリング部設計課



田中 正明 (たなか まさあき)
(株)栗本鐵工所
技術開発本部
材料技術開発部 材料応用グループ