

塩害劣化 PCI 桁橋への Zn カードリッジ工法の施工

ぜんたろう みなみおおたに
 一善太郎橋, 南大谷橋一

(株)ニューテック康和
 (株)ニューテック康和
 技術本部

事業本部大阪支店
 本社技術部
 技術部

和田直大
 鴨谷知繁
 青山敏幸

概要：本稿では、RC 橋からの架け替え橋である PCI 桁橋（善太郎橋，南大谷橋）の主桁および桁高調整ブロックに対して施工した Zn カードリッジ工法について報告する。本工事の特徴として、サーフェスタイプの適用範囲外になる外桁端部の塩害劣化部に、特注の Zn カードリッジを作成および設置した。また、主桁下面に設置した Zn カードリッジは、モニタリング結果から、十分な腐食抑制効果を発揮しており、本橋の通電量と同種橋梁の通電量との比較により、15 年以上の耐久年数が期待できることを確認した。

Key Words：PCI 桁橋，塩害，Zn カードリッジ

1. はじめに

本稿の対象は、図-1 に示すように兵庫県淡路島西部、播磨灘に近接した善太郎橋・南大谷橋である。両橋はいずれも旧橋（RC 橋）の架替え橋としてそれぞれ 1989 年・1986 年に架設されたプレテンション方式単純床版橋である。概要を表-1 に示す。



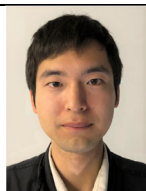
図-1 対象橋梁の位置図

表-1 対象橋梁の概要

項目	善太郎橋	南大谷橋
橋長(m)	7.450	8.500
有効幅員(m)	5.000	7.500
桁本数(本)	18	25
橋種	プレテンション単純床版橋	
桁形状	I桁	
完成	1989年	1986年

両橋の補修前の外観および塩害劣化状況を写真-1 に示す。旧橋と新橋における桁高の相違を調整するためのプレキャストブロック（以下、桁高調整ブロック）の上に、PCI 桁が架設された構造であり、PC 鋼材に沿った腐食ひび割れが主桁下面，側面，外桁端部（支承近傍）に生じていた。

過年度の補修設計時に主桁部および桁高調整ブロック部を対象に実施されたコンクリート中の塩化物イオン量調査において、鋼材位置に腐食発生限界量以上の塩化物イオンが確認され、塩害（加速期～劣化期）と診断された。その塩害対策工として Zn カードリッジ工法を含めた工種選定が行われ、陽極材によって常時



和田直大



鴨谷知繁



青山敏幸

腐食抑制効果があることやライフサイクルコスト、陽極取替の容易さ等の維持管理性への評価から、Zn カードリッジ工法（以下、本工法）が採用され、本工事の施工に至った。

本稿では、本工法の概要、本工事の特徴、Zn カードリッジによる腐食抑制効果および耐用年数に関する検討について報告する。

2. 本工法の概要と本工事における特徴

本工法の概要図を図-2 に示す。直径110mm 厚さ 5mm の防食亜鉛からなる流電陽極材、非硬化型のバックフィル材、収納ケース、M6 ボルトからなるカードリッジをコンクリート表面にアンカー固定し、防食亜鉛と鋼材を電氣的に一体化する。そして防食亜鉛がアノードとなり腐食（消耗）することで、鋼材へ防食電流が供給され、鋼材がカソードとなることで腐食が抑制される工法である。このメカニズムは流電方式電気防食と同様であるが、電気防食工法では鋼材の電位シフト量（以下、 ΔE ） $\geq 100\text{mV}$ を閾値とするのに対し、本工法では鋼材腐食環境の抑制を目的に $\Delta E \geq 25\text{mV}$ を閾値として管理することで、維持管理の簡便化や、コスト削減が図られている。本工法の耐用年数は15年程度を想定しており、その後は陽極の取替を繰り返しながら橋梁の長寿命化を図る。

本工事の塩害対策工の配置概要図を図-3 に示す。流電陽極からの離隔が大きくなるほど防食電流が供給されにくく ΔE が低下する傾向や、塩害劣化程度が大きくなるほど ΔE が閾値を満足する範囲が狭くなる傾向などの既往の知見を考慮して、流電陽極は、塩害劣化程度の大きな外桁は300mm ピッチ、中桁および桁高調整ブロックは450mm ピッチとし、主桁下面およびブロック側面に設置した。また外桁端部の塩害部は、

- ① 支承部直上のため、鋼材裏までコンクリートをハツリ取り、鋼材の錆層を取り除き、防錆処理を行う耐久性を考慮した十分な断面修復が困難である。
- ② 主桁下面の流電陽極のうち桁端部に最も近い流電陽極からも離隔があり、腐食抑制範囲外となる。といった課題があり、耐久性の確保が困難であった。そこで、上述の Zn カードリッジと同じ防食亜鉛とバックフィルを有し、現場条件でも外桁端部の塩害劣化部に設置できるようにインサートタイプに使用される防食亜鉛¹⁾を塩化ビニル製の収納ケース内にバックフィル材とともに収納しサーフェスタイプとした特注の Zn カードリッジ（善太郎橋：外寸：40×40×500mm、南大谷橋：外寸：40×40×350mm）を作成し設置した。

また、山側外桁下面に設置した流電陽極のうち2個を通電停止が可能な独立回路とし、電位測定用のワイヤーセンサーを、両陽極の中間部を目標に設置し、山側側面に可搬式計測器で測定可能なモニタリングボックス



写真-1 対象橋梁の外観、塩害劣化状況

左：善太郎橋 右：南大谷橋

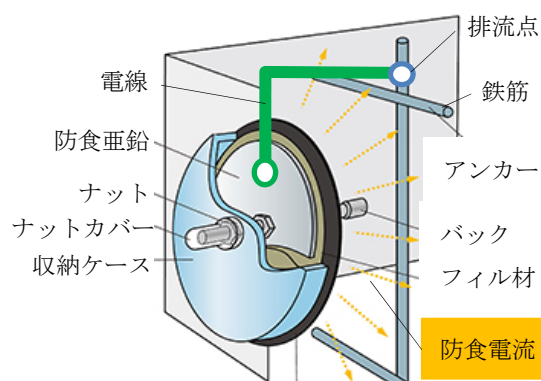


図-2 本工法の概要図

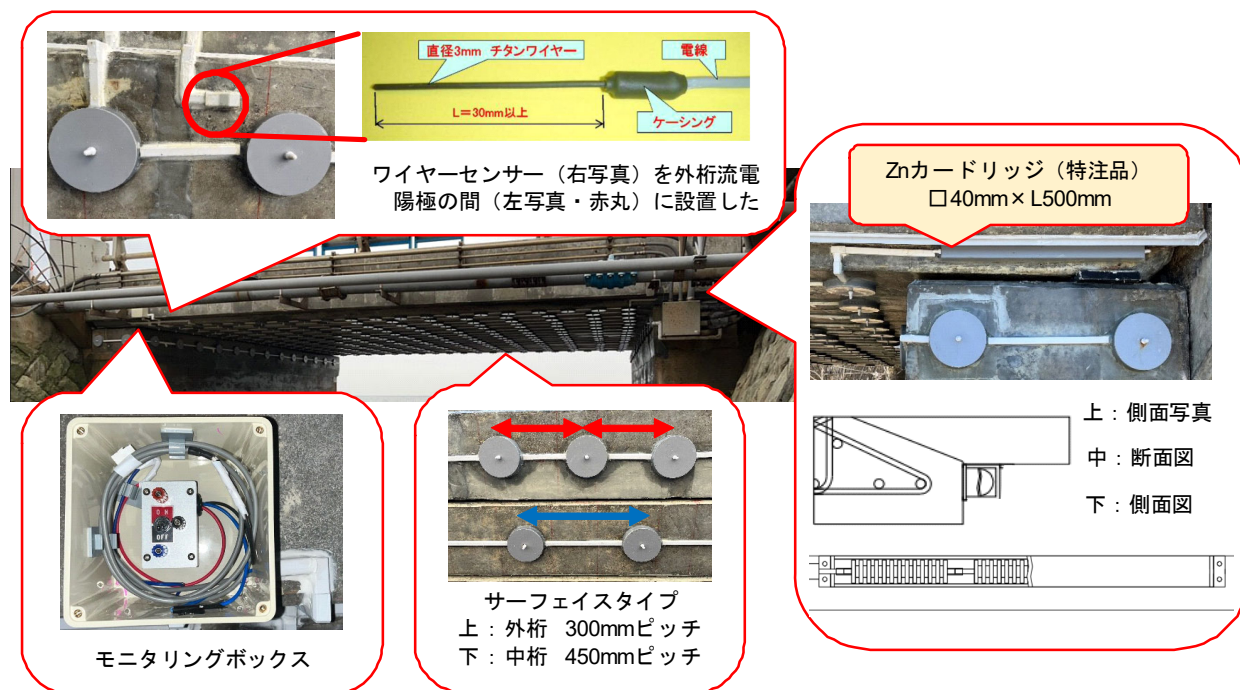


図-3 塩害対策工 配置概要図 (善太郎橋)

スを設置することで、鋼材 (PC 鋼材および鉄筋) および陽極の通電時電位 (E_{on})、インスタントオフ電位 (E_{io})、自然電位 (E_{off}) および通電量のモニタリングを行える仕様となっている。

3. 流電陽極の腐食抑制効果

本工法適用当初における Zn カードリッジの腐食抑制効果の確認結果を表-2 に示す。図-4 に示すように E_{io} と E_{off} との差である ΔE を指標に、閾値 ($> 25\text{mV}$) として評価する。 ΔE は、閾値以上であり、良好な腐食抑制効果が確認された。なお、上述のようにワイヤーセンサーは流電陽極からの離隔が相対的に大きくなる位置に設置しているため、 ΔE の評価は概ね安全側となっている。

4. 流電陽極の耐用年数に関する検討

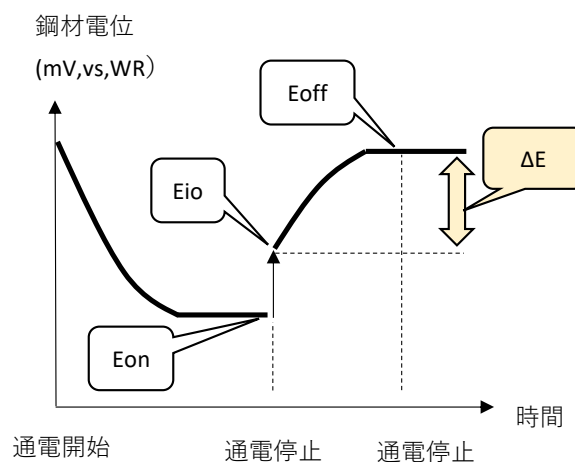
本工法の耐用年数は、少なくとも防食亜鉛の消耗に依存する。そこで、本工事における初期の通電量と同種橋梁におけるモニタリング結果より、本橋における耐用年数について検討した。

本工法開発当初の 2018 年 3 月の試験施工された日本海沿岸に位置する石川県白山市の自転車専用道路の一部を構成するプレテンション方式単純床版橋

「無名橋 245 (写真-3)」の通電量のモニタリング結果を図-5 に示す。これは、文献²⁾公表データに、2023 年 10 月までの計測データを追記したものである。流電陽極 1 個当たりの通電量は、設置当初 $0.4 \sim 1.2\text{mA}$ /程度の比較的大きな値を示すものの、2 年目からは鋼材が腐食しやすい高温環境 (夏場) には 0.4mA 程度まで

表-2 ΔE の測定結果

項目	善太郎橋	南大谷橋
測定時期	2024年2月	2024年2月
鋼材 E_{on} (mV,vs,WR)	-218.8	-309.9
鋼材 E_{io} (mV,vs,WR) ①	-217.4	-305.5
鋼材 E_{off} (mV,vs,WR) ②	-190.4	-271.7
鋼材 ΔE (mV) ②-①	27.0	33.8
鋼材 ΔE の閾値 (mV)	> 25.0	> 25.0
腐食緩和効果	良好	良好

図-4 ΔE の概念図

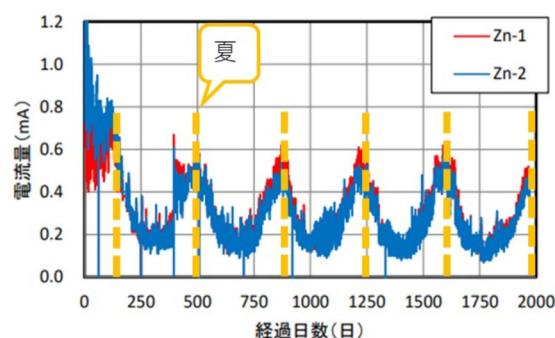


写真-2 無名橋 245 の Zn カードリッジ設置状況

図-5 無名橋 245 の通電量モニタリング結果

表-3 Zn カードリッジの耐久性算定

case	設定条件	項 目	善太郎橋	南大谷橋
case.1	測定時の通電量から 算定した場合	測定時期	2024年2月	2024年2月
		1陽極あたりの通電量(mA)①	0.28	0.06
		15年後の陽極残存率(%) ※1	85	97
		陽極残存率の閾値(%)	> 50	> 50
		15年後の耐久性	OK	OK
case.2	測定時の通電量 に対して年間の 増減を考慮した場合	1陽極あたりの年間通電量平均値(mA)②※2	0.42	0.09
		15年後の陽極残存率(%) ※1	78	95
		陽極残存率の閾値(%)	> 50	> 50
		15年後の耐久性	OK	OK

※ 1 陽極残存率 (%) = $(1 - (m_i / m_0)) \times 100$

ここで、 m_i : 陽極質量減少量 = $0.03 \times i \times t$ (g)

i : 1陽極あたりの通電量(mA) t = 流電陽極設置からの時間 (日)

m_0 : 陽極の元重量 = 307g

※ 2 無名橋245のモニタリング結果より、② = $1.5 \times$ ①と想定

増加し、鋼材が腐食しにくい冬場は 0.2mA 程度まで小さくなる 1 年周期の傾向が継続している。善太郎橋および南大谷橋は、PC 鋼材の種類は異なるものの無名橋 245 と同様の PCI 桁橋であり、流電陽極の種類も同様であることから、両橋の流電陽極は、無名橋 245 と同様の傾向を示すものと考えられる。

ここで、本工事の 1 陽極あたりの通電量と、それに基づく 15 年後の耐久性算定結果について、表-3 に示す。ここで陽極残存率は、表下に示す式より算定した。また 1 陽極あたりの通電量は、1) 2024 年 2 月の測定結果とした場合 (case.1) と、2) 無名橋 245 の傾向を参考に、年間平均値を、冬季（初期測定）値の 1.5 倍と想定した場合 (case.2) の 2 ケースを行った。いずれも、15 年後も陽極残存率は閾値である 50% を上回ることから、15 年後も Zn カードリッジの耐久性確保が期待される結果となった。

5. おわりに

本稿は、RC 橋からの架け替え橋である PCI 桁橋（善太郎橋・南大谷橋）の主桁および桁高調整ブロックに対して施工した Zn カードリッジ工法について報告した。主桁下面に設置したサーフェスタイプの Zn カードリッジは、モニタリングの結果、十分な腐食抑制効果を発揮しており、15 年以上の耐用年数が期待できることを確認した。また、上記タイプの適用範囲外となる外桁端部の劣化部には、特注の Zn カードリッジを作成・設置した。最後に、完成写真を写真-4 に示す。本稿が、同種橋梁の長寿命化の参考となれば幸いである。



写真-3 工事完成写真

左：善太郎橋 右：南大谷橋

参考文献

- 1) 大村信暁 , 宮尾秀一 : Zn カートリッジ工法の継続的補修効果-絵島橋・阿弥陀橋-, ピーエス三菱技報, No.20, https://www.psmic.co.jp/technology/report/pdf/pdf_20/14text.pdf , 2022
- 2) 亀田浩昭, 青山敏幸, 石井浩司, 鳥居和之 : 流電陽極材を用いた腐食抑制工法のプレテンション PC 橋への適用, PC 工学会第 28 回シンポジウム論文集, pp. 593-598, 2019