

ジンク Znカートリッジ工法の試験施工

技術本部 技術部 メンテナンス技術グループ 青山敏幸
技術本部 技術部 メンテナンス技術グループ 深川直利

概要：コンクリート構造物の塩害による鋼材の腐食の緩和対策として、流電陽極材を用いた Zn カートリッジ工法を開発した。本工法は、鋼材よりも錆びやすい流電陽極材と鋼材とを接続することで、内部の鋼材に微弱電流を流し、鋼材の腐食を緩和する工法である。本稿では、RC 床版、RC 栈橋に内部挿入タイプを、プレテンション方式の PCI 桁に表面設置タイプを適用した事例について報告する。

Key Words：Zn カートリッジ工法、塩害、流電陽極材

1. はじめに

塩害により劣化したコンクリート構造物の補修対策のひとつとして電気防食工法がある。本工法は、コンクリート表面や内部に設置した陽極材から鋼材に電流を流し、鋼材の腐食を抑制するものである。日本では、直流電源装置を用いた外部電源方式による方法が多く採用されている。しかし電気防食工法は、断面修復工法や表面保護工法と比較すると施工費用が高く、施工後の維持管理も専門性を有する等の課題が残っている。特に、市長村などの小規模な自治体では、事業費や専門技術者の不足により適切な維持管理が困難な状況にある。

上記に示す課題を解決すべく、鋼材よりも錆びやすい流電陽極材を使用し、流電陽極材と鋼材との電位差により鋼材に電流を流すことで鋼材の腐食を緩和する Zn カートリッジ工法 (NETIS 登録技術：登録 No.KT-180150-A) を開発した。本工法は、外部電源方式の電気防食工法と比較すると、流電陽極材の設置間隔が鋼材腐食の抑制効果に影響を与えるものの、その施工方法は簡単であり施工費用も安価となる。さらに、設置した流電陽極材は容易に取替えることができる構造であり、維持管理が容易となる。Zn カートリッジの配置間隔等の検討は、実験室レベルならびに撤去床版にて確認してきた^{1),2)}。

本稿では、Zn カートリッジ工法の概要と、試験施工の概要について報告する。

2. Zn カートリッジ工法の概要

2.1 工法の概要

Zn カートリッジの概要図を図-1 に示す。Zn カートリッジは設置方法の違いにより内部挿入タイプと表面設置タイプに分類される。

内部挿入タイプは、バックフィル、M6 ボルト付きの流電陽極材、カバープレートから構成される。Zn カートリッジと鋼材を接続することで、コンクリート表面および奥に位置する鋼材に対しても鋼材の腐食を緩和する。表面設置タイプは、バックフィル、流電陽極材、M6 ボルト、収納ケースから構成される。Zn カートリッジと鋼材を接続することで、主としてコンクリート表面に位置する鋼材の腐食を緩和する。



青山敏幸



深川直利

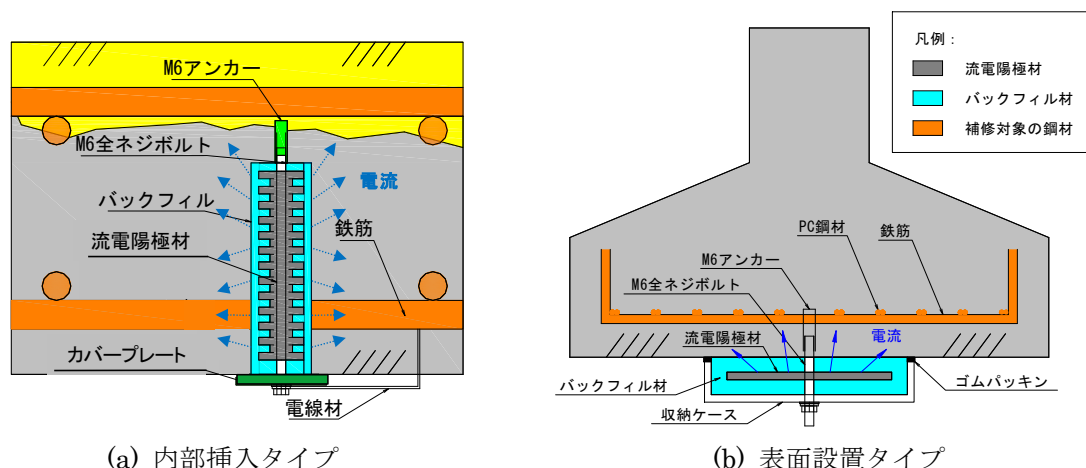


図-1 Zn カートリッジの概要図

2.2 Zn カートリッジ工法の補修の効果

陽極材から鋼材に電気を流した場合、鋼材に電流を流すとその電位はマイナス側に変化し、通電を停止するとその電位はもとの電位に戻る。復活量とは通電時の鋼材電位と通電を停止し自然状態に戻った時の電位の差である。電気防食工法では、防食基準として「100mV 以上の復極量」³⁾が多く採用されている。一方、復極量と防食率に関する既往の研究成果^{4),5),6)}をもとに、復極量 100mV を確保した時の防食効果に対する各復極量における防食効果の比率を防食率と定義した場合の結果を表-1 に示す。試験条件で相違するものの、復極量 25mV でも防食率は 0.9 程度、復極量 50mV のそれは 0.9 以上と復極量 100mV を確保しなくとも十分な防食率を有しているとの報告がある。電気防食工法による防食基準より小さい復極量でも、鋼材の腐食は緩和されること、それにより流電陽極材の設置間隔を広げることで施工コストの削減が可能になるものと考えられる。

そこで今回の試験施工では、復極量が 25～50mV 以上あれば腐食緩和の効果があると判定することにした。

表-1 防食率に関する既往の研究成果

研究者	試験条件			防食率※)	
	Cl ⁻ (kg/m ³)	環境	試験期間 (日)	復極量25mV	復極量50mV
千葉ら ⁴⁾	—	乾湿繰返	534	—	0.99
大谷ら ⁵⁾	2, 5, 10	恒温恒湿	250	0.86-0.92	0.92-0.97
JCI ⁶⁾	7.5	乾湿繰返、乾燥、湿潤	400	—	乾湿繰返：0.84、乾燥・湿潤：0.88

※) 防食率：復極量100mVを確保した時の防食効果に対する各復極量における防食効果の比率

3. RC 床版への内部挿入タイプの適用事例⁷⁾

3.1 構造物の概要

RC 床版への Zn カートリッジの適用事例を図-2 および写真-1 にそれぞれ示す。

RC 床版のように、橋面からの凍結防止剤の散布により上面側から先に鋼材の腐食が生じる構造物に対して、床版下面からの施工が可能であるため、橋面の交通規制を行わずに補修が行える。また、写真-1 に示すようなコンクリート表面に白色析出物がでていたような変状が生じた箇所のみ部分的な補修にも対応が可能である。

対象構造物は、鋼橋の RC 床版であり、1978 年に供用が開始され、約 40 年が経過している RC 床版である。試験施工は、幅約 2m、全長約 10m の範囲で実施した。RC 床版の版厚は 220mm であり、橋軸方向、橋軸直角方向ともに D19 の鉄筋を使用している。橋軸方向の下筋は 150mm、上筋は 300mm、橋軸直角方向の下筋は 125mm、上筋は 250mm の間隔で配置されている。Zn カートリッジは、配筋間隔を考慮し、橋軸方向に 500mm、橋軸直角方向に 450mm の間隔で設置した。

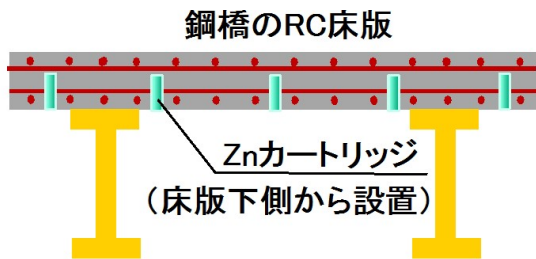


図-2 RC床版への適用事例

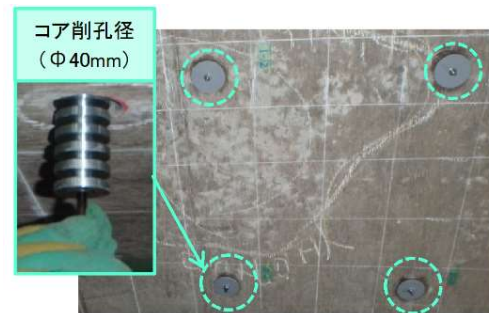


写真-1 RC床版への適用事例

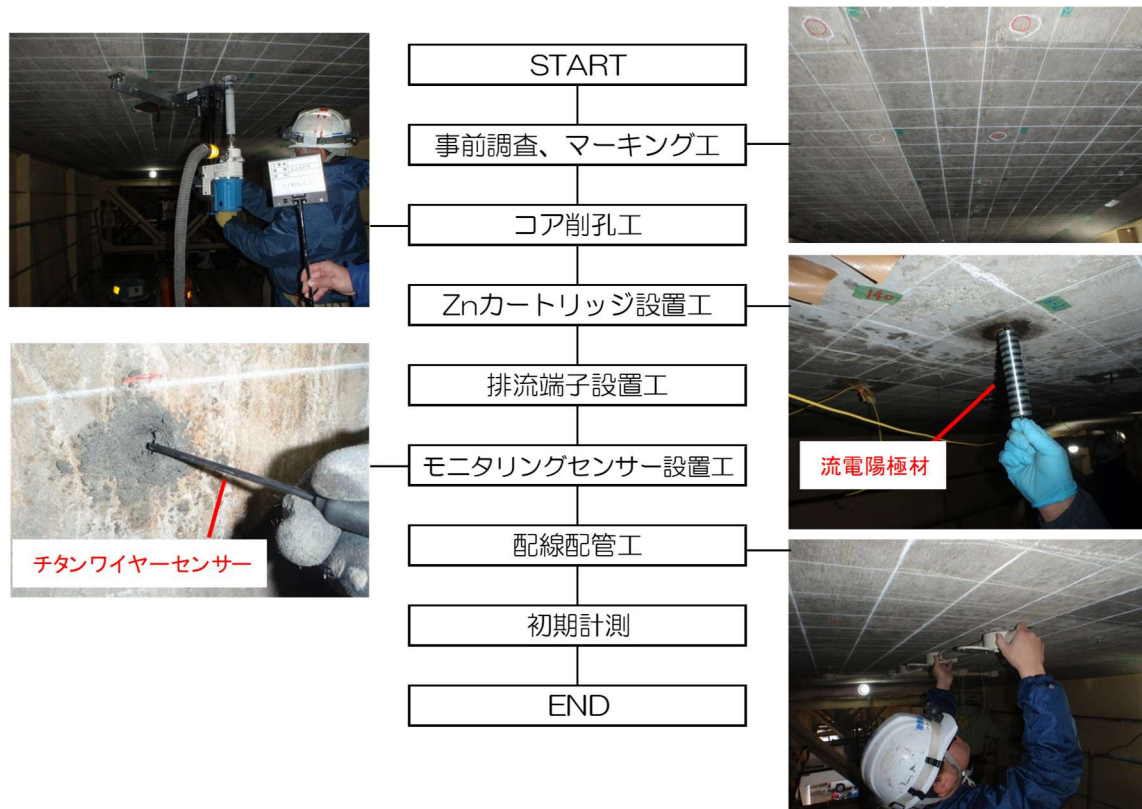


図-3 内部挿入タイプの施工フロー

3.2 施工方法

内部挿入タイプにおける施工フローを図-3に示す。

事前調査・マーキング工では、RCレーダー等を用いて鉄筋位置を非破壊調査し、鉄筋位置、Znカートリッジの設置位置、モニタリングセンサーの設置位置のマーキングを行う。

コア削孔工では、Znカートリッジを設置するためにφ40mm、深さ140mmのコアを削孔する。

Znカートリッジ設置工では、削孔したコアの最深部にアンカーを設置し、流電陽極材をアンカーに固定し、バックフィル材を充填する。

排流端子設置工では、鉄筋と流電陽極材を電線にて接続するために、コンクリートの一部をはつり出し、内部の鉄筋と排流端子を接続した。

モニタリングセンサー設置工では、φ20mmのドリルを所定の深さまで削孔した後に、流電陽極材、鋼材の電位を計測するためのチタンワイヤーセンサー（以下、TWセンサーと称す）を設置する。

配線配管工では、施工後のモニタリングを行うために配線・配管を行った。

3.3 測定項目と結果

補修の効果のモニタリングは、Zn カートリッジの発生電流量および鋼材の復極量とした。復極量の測定はチタンワイヤーセンサー（NETIS 登録技術：登録 No.KT-170081-A）にて行った。本センサーは、直径が 3mm であり、従来の照合電極に比べて小さいため、RC 床版の上筋等も最小限のドリル削孔にて設置することが可能である。

Zn カートリッジの影響範囲のうち遠い鋼材の近傍に設置した本センサーによる復極量の測定値は、上筋、下筋とも 30～40mV 程度であり、目標値を満足していた。また可搬式照合電極により測定した、Zn カートリッジに近い鋼材位置の復極量は、50mV 程度以上であった。

4. RC 栈橋への内部挿入タイプの適用事例⁸⁾

4.1 構造物の概要

RC 床版への Zn カートリッジの適用事例を図-4 および写真-2 にそれぞれ示す。

RC 栈橋のように、足場の空間や波間作業の影響を受けるやすい下面の作業に対して、本工法では側面に Zn カートリッジを設置することで底面の腐食の緩和が可能となるため、下面の作業を最小限に抑えることができ、施工性の向上が図れる。

試験施工対象の RC はりの幅は 800mm であり、主鉄筋は D32 が 7 本、スターラップには D16 の鉄筋が 200mm ピッチで配置されている。今回は、全長約 1.6m を腐食緩和の範囲と設定し、RC はりの両側面に 400mm のピッチで、φ40mm、深さ 200mm のコアを削孔後に、4ヶ所ずつの計 8ヶ所に内部挿入タイプの Zn カートリッジを設置した。

4.2 施工方法

施工は、3.2 に示す RC 床版における施工方法と同様とした。但し、RC 栈橋の場合は RC 床版の場合と異なり、Zn カートリッジ表面に海水がかかる可能性が高いため、カバープレートは用いずに約 20mm の深さをセメント系の断面修復材により後埋めした。また、RC 栈橋の鉄筋のかぶりは 100mm 程度と大きいため、鉄筋位置を φ80mm のコアで削孔した後に、鉄筋と電線とをコンクリートビスを用いて接続した。

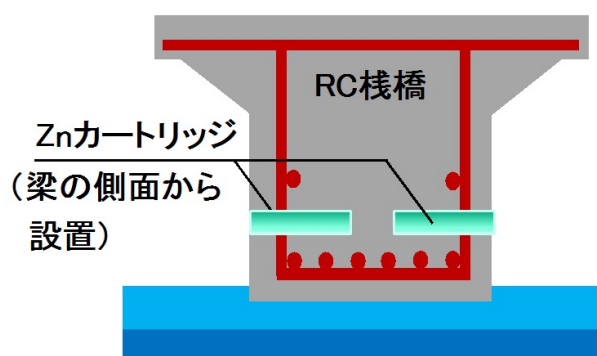


図-4 RC 栈橋への適用事例

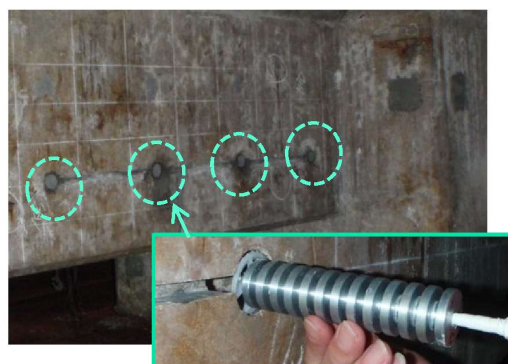


写真-2 RC 栈橋への適用事例

4.3 測定項目と結果

補修の効果のモニタリングは、Zn カートリッジの発生電流量および鋼材復極量とした。発生電流量が継続的に流れることが、長期的に腐食緩和の効果があることを意味する。

Zn カートリッジ 1 本あたりの発生電流量は、通電初期において約 2.5～3.0mA であり、通電から約 50 日経過以降は 1.5～2.0mA 程度で推移していた。また、はり側面に比べて鋼材量の多い底面の復極量が小さい傾向にあるが、Zn カートリッジの施工範囲では 30mV 以上の復極量を確保し、目標値を満足していた。

5. PCI 桁への表面設置タイプの適用事例⁹⁾

5.1 構造物の概要

対象構造物の概要を写真-3に示す。本構造物は、橋長10m、幅員4.2m、桁底面の幅が320mmのPCI桁が並んだプレテンション方式PCI桁橋である。PC鋼材にはφ2.9mmの2本より線が10本配置され、スターラップは約350mm間隔で配置されている。PC鋼材の位置（かぶり30mm）における塩化物イオン濃度は2～3.3kg/m³であり、橋梁の一部はPC鋼材に沿ったひび割れや、鋼材腐食に起因したコンクリートの浮きや剥離が認められた。今回は、12本の主桁のうち1本の主桁の全長約5mを腐食緩和の範囲に設定し、一部の箇所を除き700～800mmの間隔で表面設置タイプのZnカートリッジを、合計で9箇所設置した。

5.2 施工方法

表面設置タイプの施工フローを図-5に示す。

事前調査・マーキング工では、RCレーダー等を用いて鉄筋位置を非破壊調査し、鉄筋位置、Znカートリッジ、排流点、モニタリングセンサーの設置位置のマーキングを行う。

PC鋼材導通処理工では、φ2.9mmの鋼線間を鉄線にて接続し、鋼線間の導通処理を行う。

Znカートリッジ設置工では、スターラップ位置をドリル削孔し、鉄筋と電線とを接続した後に、コンクリート表面にアンカーを設置し、鉄筋と接続した電線とZnカートリッジを接続する。

モニタリングセンサー設置工では、断面修復を実施した箇所にチタンワイヤーセンサー設置する。



写真-3 PCI 桁への適用事例



図-5 表面設置タイプの施工フロー

5.3 測定項目と結果

補修の効果のモニタリングは、Zn カートリッジの発生電流量および鋼材の復極量とした。Zn カートリッジからの発生電流量および外気温と通電日数の関係を図-6 に、チタンワイヤーセンサーにより測定した鋼材電位と通電日数の関係を図-7 にそれぞれ示す。

発生電流量の結果から、通電初期は多くの電流が発生して徐々に低下し、約 50 日後からは外気温の変化と同様な挙動を示している。これは、外気温が高いほど鋼材の腐食反応が進むため、陽極材の発生電流量も大きくなるためであると考えられる。

鋼材電位の測定結果から、Zn カートリッジ設置箇所の鋼材電位は時間の経過に伴い少しずつ卑化し、通電から約 400 日経過後の鋼材電位は-450~-500mV であった。一方、Zn カートリッジの未設置箇所との電位は-300mV 前後であることから、Zn カートリッジ設置部では腐食緩和の効果があるものと考えられる。また可搬式照合電極により測定した復極量の結果からは、Zn カートリッジから 300mm 程度の範囲では 25mV 以上の復極量を確保し、目標値を満足していた。

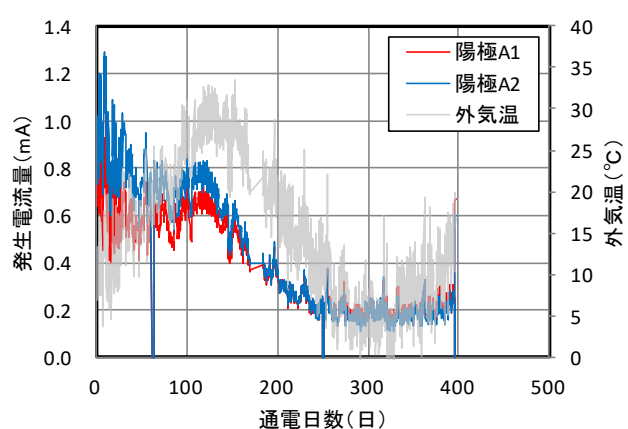


図-6 通電期間と発生電流量の関係

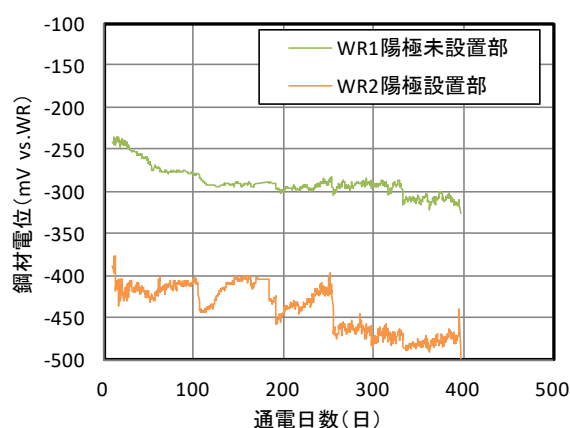


図-7 通電期間と復極量の関係

6. まとめ

本稿では、塩害による鋼材の腐食の緩和対策として開発した Zn カートリッジ工法を、RC 床版、RC 栈橋およびプレテンション方式の PCI 桁橋にて試験施工を行い、本工法の実用性とその効果を検証した。その結果、RC 床版、RC 栈橋、PCI 桁とも、施工性に問題はないこと、施工後のモニタリングから、腐食緩和が期待できる Zn カートリッジの配置間隔が確認できた。

謝辞

本工法は、戦略的イノベーション創造プログラム、インフラ維持管理・更新・マネジメント技術、「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造的評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発」の一環として開発したものである。試験施工にあたっては、構造物の管理者をはじめ多くの方々にご協力をいただいた。ここに関係各位に深く感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 亀田浩昭, 青山敏幸, 石井浩司, 鳥居和之: 積雪寒冷地に建設された塩害劣化 RC 床版の電気化学的補修工法の適用性, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 18 巻, No.1, pp.453-458, 2018.10
- 2) 亀田浩昭, 青山敏幸, 石井浩司, 鳥居和之: 塩害が生じた撤去 RC 床版への流電陽極工法を用いた鋼材の腐食緩和対策に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.753-757, 2018.7
- 3) 土木学会: 電気化学的防食工法設計施工指針 (案), 2001
- 4) 千葉丈夫, 関 博, 阿部正美, 石井浩司: コンクリート中鉄筋の防食基準の検証, コンクリート構造物の補修工法と

電気防食に関するシンポジウム論文報告集, pp.33-38, 1994.10

- 5) 大谷俊介, Muhammad Akbar Caronge, 山本大介, 濱田秀則: 電気防食下におけるコンクリート中鉄筋の復極量と防食効果に関する基礎的検討, コンクリート工学論文集, Vol.28, pp.25-33, 2017
- 6) 社団法人日本コンクリート工学協会: コンクリート構造物の電気防食法 研究委員会報告書, pp.140-159, 1994.10
- 7) 亀田浩昭, 青山敏幸, 石井浩司, 鳥居和之: 積雪寒冷地に建設された塩害 RC 床版に対する流電陽極材を用いた鋼材腐食緩和の試み, 第 10 回道路橋床版シンポジウム論文報告集 土木学会, pp.189-194, 2018.11
- 8) Thanh Tung Tran, Tuan Minh Ha, Toshiyuki Aoyama, Kazuyuki Torii, Saiji Fukada, Depolarization Performance of Galvanic Anode System on a Jetty Beam under Salty Environment Proceedings of 4th International Symposium on Concrete and Structures for Next Generation CSN2019
- 9) 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緩和工法のプレテンション方式 PC 橋への適用, 第 28 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム (投稿中)