

報告 永久型枠式陽極を用いた電気防食工法による塩害劣化構造物の補修

川俣孝治*¹・武若耕司*²・大越威*³

要旨：ガラス繊維補強セメントモルタル製永久型枠の内部にチタンメッシュ陽極を埋設した「永久型枠式陽極」を用いて、飛来塩化物により劣化した鉄筋コンクリート製覆道の柱に電気防食法を適用し、その施工性、通電性について検討した。その結果、外部電源方式の電気防食法において致命的である陽極と鉄筋との短絡について確実に防止できるとともに、従来の方法に比べ、工程の簡略化が可能であることが明らかとなった。また、本型枠式陽極による通電性状（分極性状、防食電流密度など）は、従来の陽極を用いた場合と差異がなく、十分適用可能であることが明らかになった。

キーワード：永久型枠、電気防食、塩害劣化、腐食、補修、チタンメッシュ陽極

1. はじめに

電気防食法は、塩害により劣化したコンクリート構造物の補修対策として、その有効性が広く認められてきている。しかし、この電気防食法は従来の補修工法とは異なり、防食電流を供給するための陽極システムを躯体表面に設置する必要があり、施工の煩雑さが懸念される場合もある。しかし、この陽極システムは、電気防食の“心臓部”にあたり、防食の均一性、安定性、耐久性および施工性など、多くの性能が要求される重要なものでもある。

一方、永久型枠工法は、在来工法に比べて工期の短縮と省力化を図れることから、最近注目を集めている工法の一つである。この工法は、型枠を工場で作製するため安定した品質を確保できることから、コンクリートの保護工としての機能も発揮できる利点を有している。

本報告では、この永久型枠工法の利点を生かし、電気防食の施工において重要かつ手間のかかる陽極施工の簡略化と陽極システムの耐久性の向上を目指して開発した永久型枠式陽極[1]を用いた電気防食法を塩害により劣化したコンクリート構造物の補修に適用した場合の施工性、通電性について報告するものである。

2. 永久型枠式陽極を用いた電気防食法の概要

2. 1 永久型枠式陽極

今回作製した永久型枠式陽極のうち型枠部本体の材料は、ある程度の強度と陽極保護性能を確保でき、また、それ自身の鉄筋防食性能についても期待できるガラス繊維補強セメントモルタル（以下、GRCと称する）を用いることにした[1]。また、陽極材料には、自在に任意の形状に切断でき薄い部材中への設置が可能なチタンメッシュを用いた。このチタンメッシュは、著者らの既往の研究において各種環境および構造物に適用可能であり[2]、特に今回補修対象とした構造物の位置する積雪寒冷地においても適用に際し問題のないことを確認している[3]。表-1に

* 1 住友大阪セメント（株）建材事業部技術開発部、工修（正会員）

* 2 鹿児島大学工学部海洋土木工学科、工博（正会員）

* 3 北海道開発局室蘭開発建設部浦河道路維持事業所所長

GRCの使用材料を、また表-2にGRCの配合を示す。

型枠の製造は、GRCをダイレクトスプレー方式により吹付ける施工方法により行った。施工に際しては、まず、5mm厚さまでGRCを施工し、その上にチタンメッシュを敷設した後、さらに5mm厚さで再度GRCを吹付け、型枠厚を10mmとした。なお、チタンメッシュには陽極間の電気的接続を行うためのチタン製のコンダクターバーを予め溶接している。また、型枠とコンクリートの付着性を確保する目的で、上記施工直後の型枠表面に2.5~5.0mm粒径の道路用7号碎石を1kg/m²の割合で均一に撒き、この上からモルタル分のみを薄く吹付けて骨材を固着させた。なお、この碎石撒き量は、GRC型枠とコンクリートの一体性に関する既往の研究成果を参考に定めた[4]。図-1に作製した型枠の概要を示す。

表-1 型枠に使用したGRC用材料

セメント	C社製GRCセメント
細骨材	最大粒径2.5mm種子島海砂 (比重:2.56)
ガラス繊維	耐アルカリガラス繊維 (比重:2.74, 繊維長:37mm)
高性能減水剤	ナフタリンスルホン酸塩系

表-2 型枠に使用したGRCの配合

W/C (%)	f _{ro} -値 (cm)	単位量(kg/m ³)			繊維量 (%)	SP剤量 (%/C)
		W	C	S		
37	30±1	335	914	914	5	0.85

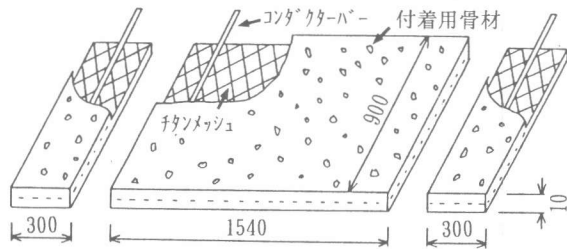


図-1 永久型枠式陽極の概要

2. 2 永久型枠式陽極を用いた電気防食工法

今回作製した永久型枠式陽極を用いた電気防食法は、著者らがこれまで検討してきたチタンメッシュを陽極とする外部電源方式の電気防食法[2][3]と基本的システムは同一である。図-2に永久型枠式陽極を用いた電気防食システムを従来の方法と比較して示す。この図に示すように、これまでのチタンメッシュを陽極とする電気防食法は、断面欠損部を修復後、チタンメッシュ陽極を設置し、これをオーバーレイする方法が一般的である。一方、型枠式陽極を用いた場合、以下の効果を期待できる。

- ① 型枠を設置し、モルタルを注入する2つの工程で済むため、作業工程を簡略化できる。
- ② 工程の簡略化とともに、補修材の養生期間を考慮する必要もないため、工期が短縮できる。
- ③ 陽極と鉄筋の電気的短絡事故を防止し、確実にクリアランスを確保できる。
- ④ 型枠を工場で製作するため、安定した品質を確保できる。
- ⑤ 型枠自身が優れた防食性能を有する[4]。

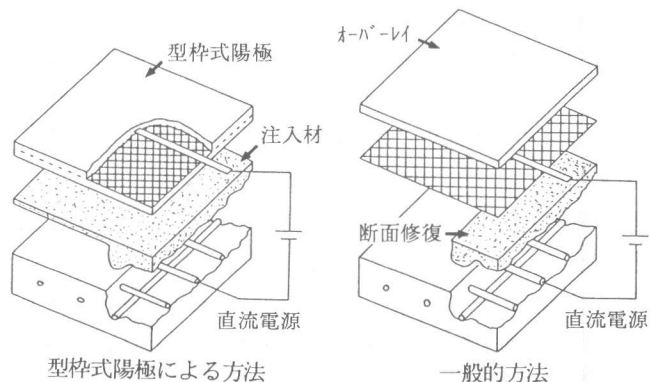


図-2 電気防食システムの比較

3. 塩害劣化構造物への適用

3. 1 補修対象構造物の概要

今回、この永久型枠式陽極を用

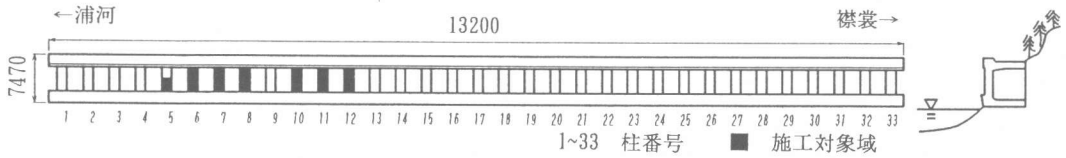


図-3 補修対象構造物

いた電気防食法の適用を検討した構造物は、北海道様似町の襟裳岬へ通ずる国道にある鉄筋コンクリート製の覆道である。この構造物は、図-3に示すような形状で、昭和54年から55年にかけて建設されたものである。

この構造物は、写真-1に示すように太平洋に直接面し、常時海からの強い西風（夏期：7～8m、冬季：10～11m）を受け、また満潮時には波しぶきが覆道柱下部へ吹付ける、いわゆる飛沫帯に属す厳しい塩害環境下にある。

電気防食を適用する部位は、この覆道の7本の柱（図-3中のNo.5～12（No.9を除く））の海側面及び両側面の海側から30cmである。（後述図-7参照）

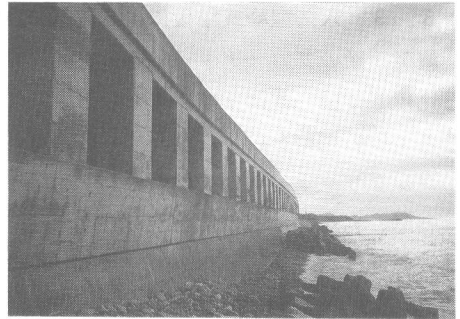


写真-1 補修対象構造物

3. 2 補修前調査結果

電気防食による補修に先がけ、構造物の劣化状況を以下の項目について調査した。

(1) 外観観察

柱部海側の面にかぶりコンクリートの剥落が見られ、露出した鉄筋は全面にわたり腐食していた。この露出した鉄筋を観察すると、柱下部が上部に比べ腐食の程度が大きく、またコンクリート表面から近い配力筋の方が奥に位置する主筋に比べ腐食が進行していた。特に腐食の著しい箇所では、配力筋の断面が痩せ細り、一部に切断している箇所も認められた。このような損傷の著しい箇所のかぶりは10mm程度であり、剥落部の平均かぶりは15～25mm程度であった。

柱部側面は外観に変状が認められず、健全な状態にあった。また、この部分のかぶりは、平均50mm程度確保されており、かぶりの大小が劣化の程度に影響を及ぼしていることは明かである。

(2) 自然電位

柱部海側及び両側面の自然電位を測定し、ASTM C876に準じて自然電位分布図として表した結果を図-4に示す。この結果より、海側の面の自然電位は全般に両側面に比べ卑な値を示し、またこの海側面では、波しぶきが直接吹付ける柱下部から上部に向けて電位が卑から貴へと分布する様子が窺える。

また、柱部両側面を比較すると、年間を通して風上に位置する浦河側側面が風下に位置する襟裳側側面より卑な電位を示している。

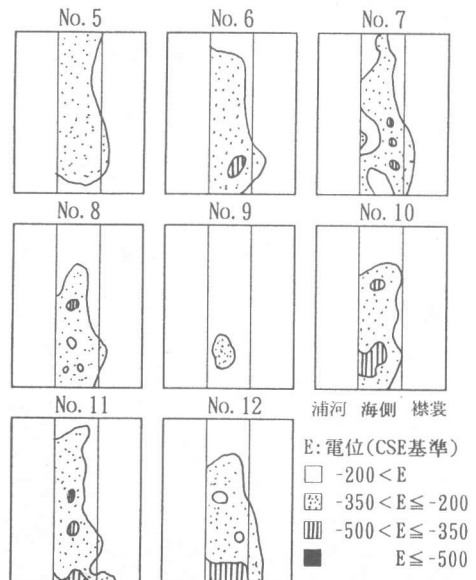


図-4 自然電位測定結果

(3) 含有塩分量

柱部海側の腐食の著しい箇所のかぶりコンクリートの塩化物含有量の測定を行った。その結果、含有塩化物量は、0.10～0.11% (Cl⁻) の値を示し、腐食を誘発する臨界量[例えば5]を越えたものとなっていた。

以上の結果を総合すると、今回補修対象とした覆道柱部は海からの飛来塩化物による損傷を受けており、特に、海側に面するかぶりの薄い部分の損傷が著しいと判断される。また、これらの箇所の塩化物含有量は臨界量を越えた値を示していることから、電気防食法による補修は有効な防食工法となると考えられる。

3. 3 永久型枠式陽極による電気防食法の施工

施工手順のフローチャートを一般的に用いられているチタンメッシュ陽極を用いた電気防食法と比較して図-5に示す。また、写真-2、3に使用した型枠式陽極ならびに設置状況を示す。

各工程の概略を以下に紹介する。

①コンクリート劣化部のはつり

剝離、剝落部などの劣化が存在したコンクリートの部分の浮き石等をエアチッパー等ではつり取った。

②コンクリートの下地処理

露出した鉄筋およびコンクリート表面を超高圧のウォータージェット(約1800kgf/cm²)により下地処理し、旧コンクリートと注入モルタルとが一体となるように処理した。なお、今回ウォータージェットを採用した理由は、構造物が覆道であり通行車両への影響を考慮したためである。

③照合電極の設置

No.5、7、11の柱の鉄筋位置に照合電極を設置し、通電による鉄筋の分極量管理を行った。なお、設置した照合電極は、埋設型Ag/AgCl電極である。

④永久型枠式陽極の設置

型枠式陽極を旧コンクリート表面から10mmの間隔を保つように弾性シール材と支保材で固定した。また、注入による側圧を分散させるため、図-6に示すように縦バタと横バタを配置した。

⑤セメントモルタルの注入

設置した型枠式陽極と旧コンクリートとの隙間に無収縮系のセメントモルタル(W/C=45%, 流下

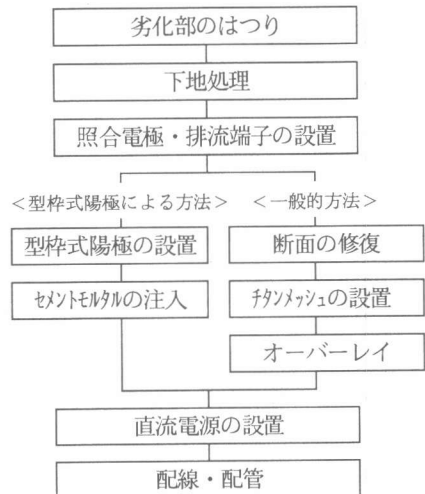


図-5 施工手順のフローチャート

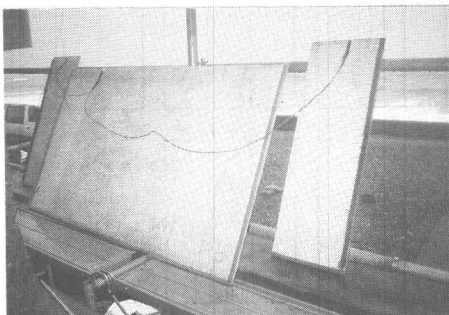


写真-2 使用した型枠式陽極

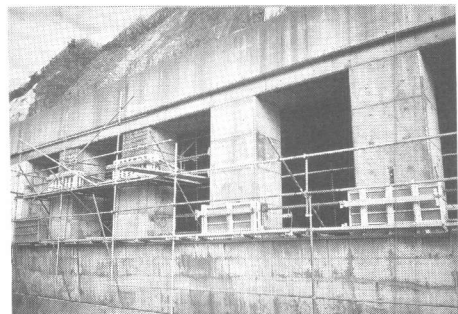


写真-3 型枠式陽極の設置状況

時間8~10秒)をモルタルポンプにより注入した。

⑥ 直流電源装置の設置

直流電源装置とモニタリング装置を収納した制御ボックスを設置した。

⑦ 配線・配管

制御ボックスと型枠式陽極、照合電極及び排水端子との間を配線、配管し、防食回路及びモニタリング回路を形成した。

なお、今回の施工では、作業の省力化を目的として、2, 3人で型枠を設置し、モルタルを注入できるように、型枠式陽極の大きさを最大でも1540×900mmとした。そのため、図

ー7に示すように一つの柱を4分割し、先の④~⑤に示した型枠設置とモルタル注入工程を繰り返した。なお、各陽極は配線時にコンダクターバー間を電氣的に接続している。

以上の施工を実施した結果、工場製品を用い工程を簡略化したことにより、技術者の現場での品質管理項目は大幅に削減できること、特殊技能者を必要としないこと、各工程を2, 3人で作業することが可能なことなどを確認できた。しかし、今回のように型枠をコの字型に配置し型枠間を接合する場合には、この接合部から注入材が流出することもあり、型枠自身の寸法精度をさらに向上させる必要がある。また、型枠のコンクリート面への取付けも、システム化された固定治具を開発することで、さらに省力化を計ることが可能になると考えられた。

3. 4 通電試験結果

型枠式陽極と旧コンクリートとの隙間に注入したセメントモルタルの強度発現が安定したことを確認した後(注入完了後4週間)、E-log I試験による通電試験を実施した。通電電流密度(陽極面積当り)とInstant off電位との関係を図-8に示し、これをもとに所要のシフト量(通電前の自然電位と通電時Instant off電位の差)の得られる電流密度をとりまとめて表-3に示す。これらの結果、柱No.11が他に比べ各シフト量に必要な電流密度が多少増大する傾向にあった。これは、自然電位の測定結果から考えると、鉄筋の腐食量の違いによるものと推察される[5]。従って、この柱No.11が最低でも100mV以上のシフト量の得ら

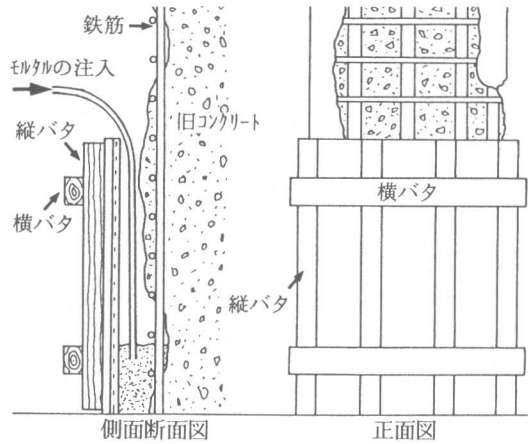


図-6 型枠式陽極による施工の概要

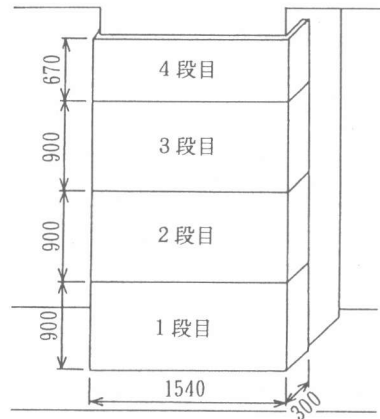


図-7 型枠式陽極の概要

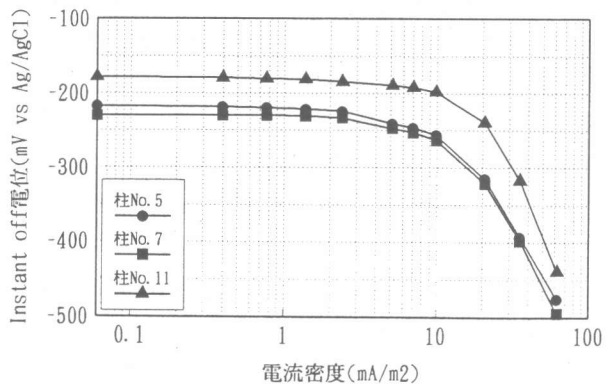


図-8 E-log I試験結果

れる電流密度を初期通電量とし、その値を28.2 mA/m²に設定した。

この初期通電設定量は、これまでの本手法を用いないチタンメッシュシステムによる電気防食の適用例（おおよそ15～35 mA/m²）の範囲にあり、型枠式陽極としたことによる分極性状の差異は認められなかった。また、この通電量で24時間通電後にInstant off電位を測定した結果、分極量は当初の予想値より大きく、4時間後の復極量で130～140 mV程度の値が得られ、十分に防食性が保持されるものと判断された。

表-3 所要シフト量に要する電流密度
(mA/m²)

シフト量	No. 5	No. 7	No. 11
100mV	21.18	22.44	28.11
200mV	30.53	31.86	37.63

4. まとめ

永久型枠式陽極を用いた電気防食システムを塩害により劣化したコンクリート構造物に適用した結果、以下のことが確認された。

- (1) 断面修復後、チタンメッシュをRC構造物表面に設置し、さらにその上からオーバーレイを施す一般的な電気防食施工方法に比べ、作業工程が簡略であり、作業の省力化が可能である。
- (2) 外部電源方式の電気防食において致命的である鉄筋と陽極の電氣的短絡事故を確実に防止できる。
- (3) 工場製品である永久型枠は安定した品質を得ることが可能であり、陽極システムの耐久性向上を確保できる。
- (4) 型枠式陽極を用いたことによる通電性状は、一般的な方法と差異はなく、通常の電流密度の範囲で良好な防食状態を確保できる。
- (5) 型枠式陽極の精度を向上し、システム化された型枠式陽極のコンクリート面への取付け治具等を開発することで、さらに省力化を計ることが可能となる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、型枠製作にご協力を頂いたインフラテック（株）並びに、施工に際してご協力頂いた小野工業（株）の関係諸氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 武若耕司ほか：永久型枠式電気防食用陽極の開発とその性能に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16、No. 1 pp835-840、1994. 6
- 2) 峰松敏和ほか：コンクリート中の鋼材の電気防食に及ぼす各種要因の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 1 pp761-766、1993. 6
- 3) 堺孝司ほか：積雪寒冷地におけるコンクリート構造物の電気防食、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、pp151-158、1994. 10
- 4) 武若耕司ほか：塩害対策を目指したGRC埋設型枠工法の開発に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14、No. 1 pp143-148、1992. 6
- 5) (社)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、1994. 10