

報 告

[1125] 沖縄における鉄筋コンクリート建築構造物への電気防食法の適用

川俣孝治*1・大城 武*2・成底佐一郎*3・峰松敏和*4

1. はじめに

電気防食法は、コンクリート中の鋼材の腐食反応に直接関与し抑制する防食法として近年注目され、コンクリート構造物への適用例や各種実験結果等の報告も増加している [1] [2] [3]。

しかしながら、これまでの我が国での電気防食法の適用例を見ると、栈橋や道路橋などの土木構造物を対象としたものが大部分であり、塩害により劣化した建築構造物を対象とした補修工法の検討は、電気防食法のみに限らず、他の補修工法も含め、土木構造物に比して少ないのが現状である。

一方、全体が飛来塩化物による影響を受ける沖縄県においては、海洋構造物のみならず、一般の陸上建築物においても塩害による構造物の劣化が非常に深刻な問題であり、その抜本的な対策が望まれている。

以上の様な現状に鑑み、温度的にも腐食が促進される環境にある亜熱帯に属し、海砂の使用や飛来塩化物による塩害が大きな問題となっている沖縄県の鉄筋コンクリート建築構造物への電気防食法の適用を試みている。本報告は、この建築構造物への電気防食法の適用事例によって得られた、その施工性や通電による鋼材の分極特性、通電後の鋼材電位の挙動等について報告するものである。なお、電気防食の方式としては、チタンメッシュを陽極とした外部電源方式である。

2. 補修構造物の概要

2. 1 補修対象構造物

今回、建築構造物への電気防食法による補修工を試みた構造物は、沖縄県浦添市内に存在する生コン工場内の鉄筋コンクリート造の資材倉庫で、昭和49年の建設である。また、同時に一般土木構造物との比較を行うため、図-1に示すように、昭和33年に建設された擁壁の一部にも電気防食法の適用を試みた。

本対象構造物のある生コン工場は、東シナ海に面する海岸線に位置し、消波ブロック設置以前は、波しぶきが直接擁壁や資材倉庫の一部に吹き付け、飛来塩分による塩害劣化損傷の著しい環境下に存在していた。

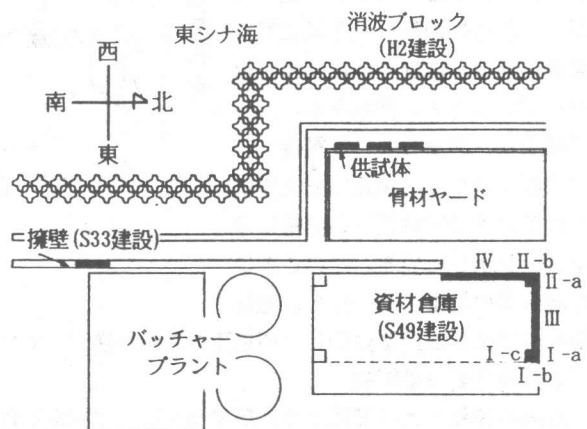


図-1 補修構造物の立地図

* 1 住友セメント (株) 中央研究所セメントコンクリート研究所商品開発室研究員、工修 (正会員)

* 2 琉球大学教授 工学部建設工学科、Ph.D (正会員)

* 3 琉球大学技官 工学部建設工学科

* 4 住友セメント (株) 中央研究所セメントコンクリート研究所商品開発室主任研究員、工博 (正会員)

2.2 補修前調査結果

防食対象構造物の劣化状況を把握するため、以下の項目について補修前調査を実施した。

(1) 外観観察

〔倉庫〕 鉄筋コンクリート造の柱および梁部は、全面に鉄筋腐食に起因すると見られるひびわれが認められ、特に、直接波しぶきがあたっていた柱Ⅱは、柱Ⅰ（位置は図-1参照）に比べてその損傷程度が大きく、柱下部には、かぶりコンクリートの剥離や剥落が非常に顕著であった。なお、本構造物のかぶり厚さは、柱部で1.5cm、梁部で2~3cm程度であった。

〔擁壁〕 コンクリート表面には、鉄筋腐食による錆汁が全面に認められる。また、鉄筋腐食に起因するひびわれは、幅2~3mm程度と非常に大きく、その周辺部は完全にかぶりコンクリートが剥離し、露出した鉄筋は全周にわたり完全に断面欠損が生じていた。

(2) 自然電位測定

ASTM C 876に準じて測定した自然電位の分布を図-2に示す。

〔倉庫〕 図-2に示す測定結果より、一部に-200~-350mV (CSE換算)の腐食不確定領域が存在するが、それ以外の領域は非常に卑な電位を示し、ほぼ全面に腐食が進行しているものと推測される。

〔擁壁〕 図-2の自然電位分布は全面にわたり、腐食領域に規定されている-350mV以下の非常に卑な電位を示している。このことは外観観察の結果とも一致し、直接海岸線に接する擁壁は厳しい環境下で腐食が進行していると判断される。

(3) 含有塩分量試験

倉庫の柱部および擁壁から、部材を貫通して採取したコンクリートコアを用い、コンクリート表面からの深さ方向への含有塩分量を測定した。その結果を図-3に示す。

〔倉庫〕 図-3は、柱Ⅱ-aの海側表面から屋内方向への含有塩化物量の測定結果であるが、海側面の鉄筋周辺には、0.2% (C1⁻; 対コンクリート) 程度の塩化物が浸透しており、また、屋内側からの飛来塩分の浸透も認められる。

〔擁壁〕 海岸線に直接接する擁壁の塩化物含有量は、倉庫に比して大きく、最大で0.6% (C1⁻) 程度の塩化物を含有している。また、擁壁の海側および陸側両面から浸透した塩化物は鉄筋周辺に蓄積される傾向にあることが明らかである。

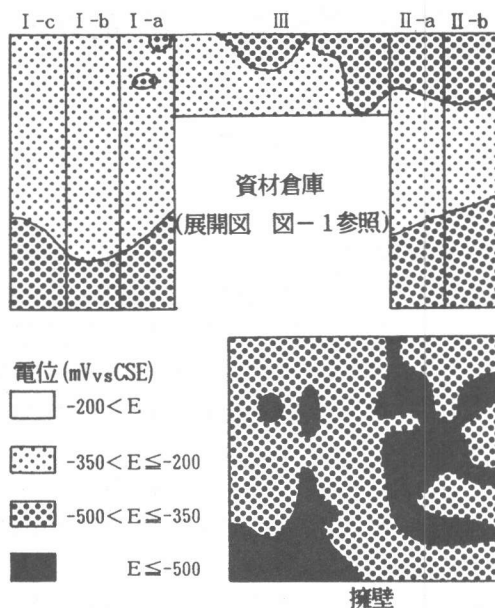


図-2 自然電位測定結果

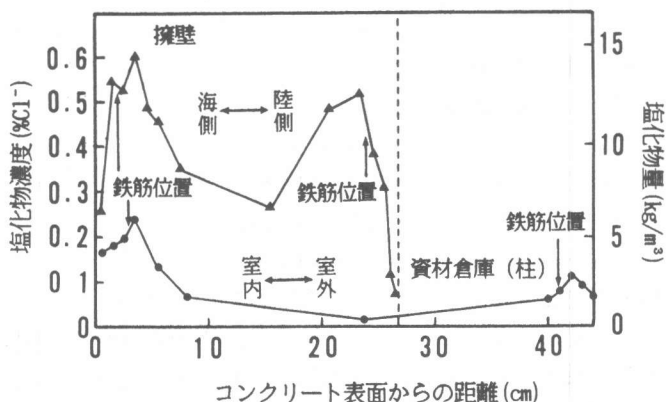


図-3 含有塩分量測定結果

2. 3 調査結果の判定

前述の補修前調査結果に基づくと、直接海岸線に接する擁壁の鉄筋は、建設後約30年間に蓄積された塩化物により著しく腐食していると推測される。一方、倉庫においては、全ての調査結果から、擁壁と比較して、鉄筋の腐食程度は小さいと判断できるが、全面にわたる腐食の進行が推察され、現時点での補修の実施は、非常に有効と判断できる。なお、擁壁におけるかぶりコンクリートのはつりによる観察の結果、海側の鉄筋はその機能を果たすことが不可能なまでに断面が欠損していたため、新たに鉄筋を設置し、電気防食を行うこととした。

3. 防食方法および施工概要

3. 1 防食方法

今回適用した電気防食法は、チタンメッシュを陽極とする外部電源方式である。本方式に用いる陽極は、耐食性、安定性、導電性等に優れた高純度チタンをエキスパンドメタル状に加工し、これに酸化貴金属を焼き付けコーティングすることで塩素ガスの発生が抑制できる陽極で、電流分布や長期安定性に優れている。

3. 2 施工概要

図-4に施工概念図を示す。また、本事例における施工手順は、図-5に示すように、これまでの土木構造物への適用事例と同様に、劣化部のコンクリートをはつり取り、ブラスト処理を行い、断面復旧後、陽極を設置、オーバーレイを施工した[3]。なお、擁壁の鉄筋は、断面が完全に欠損していたため適用領域について撤去後、新たに旧構造物と同量の鉄筋を設置した。

本施工においては、当初、断面修復材およびオーバーレイ材にアクリル系のポリマセメントモルタルを用いて施工し、通電を開始した。しかしながら、この場合の所要シフト量を得るための電流密度は、これまでの適用例[1][2][3]に比べ大幅に増大する傾向にあったため、ポリマーを使用することなくその施工性や付着強度等を改善したモルタル（以下、調整モルタルと呼ぶ）を用いて断面修復およびオーバーレイを再施工し、使用材料による鉄筋の分極特性の差異についても検討することとした。

4. 通電試験結果および考察

図-6に示す位置に設置した参照電極を用い、通電時の防食電流密度を決定するためのE-logI試験を以下に示す3回実施した。

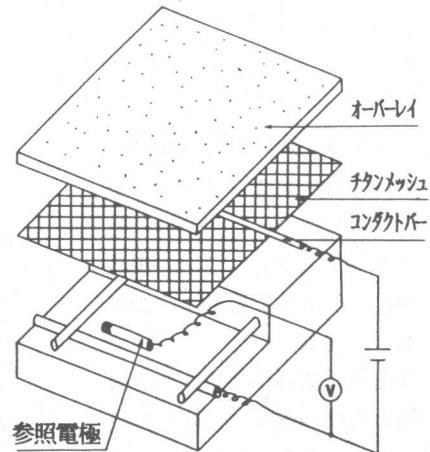


図-4 施工概念図

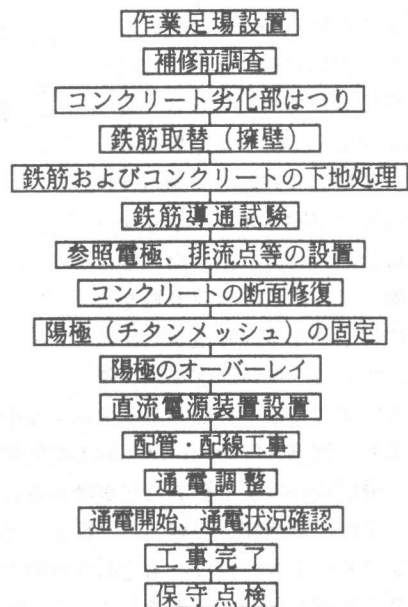


図-5 施工手順

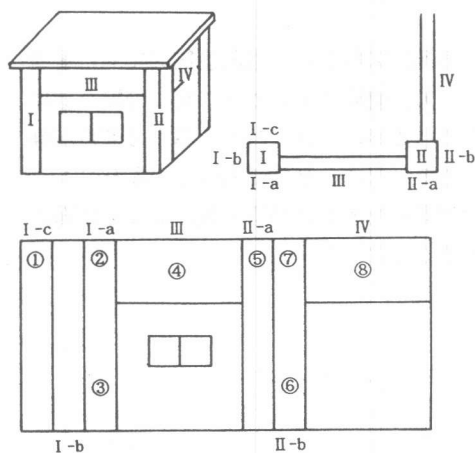


図-6 参照電極設置位置

- ①、断面修復材およびオーバーレイ材にアクリル系ポリマーセメントモルタルを用いた場合
- ②、再施工により調整モルタルを用いた場合
- ③、②の結果に基づき約16か月通電した後の場合（倉庫のみ）

図-7にこれらの試験結果の代表的な傾向を示し、表-1に結果をまとめて示す。

これらの試験結果に基づき、以下のような知見が得られた。

まず、使用材料による鉄筋の分極特性について検討すると、表-1および図-7に示す結果より、使用材料により鉄筋の分極特性が異なることが明らかで、ポリマーを用いた場合には、用いない場合と比較して、所要のシフト量を得るために必要な電流密度が大幅に増大している。この原因を現段階

で特定することはできないが、モルタル中へのポリマーの添加により形成されるポリマーフィルムにより、鉄筋と陽極間の電解質の電気的な連続性が損なわれることやポリマー自体に添加されている分散剤等による影響などが考えられる。

図-8は、構造物への施工と平行して実施した暴露試験用供試体のE-logI試験結果であり、普通コンクリートで作製した劣化のない躯体に電気防食を適用した場合のオーバーレイ材による分極特性の相違を示しているである。この結果は、オーバーレイ材のみにポリマーセメントモルタルを使用した場合でも、その分極特性は影響を受けることが明らかであるが、その程度は断面復旧とオーバーレイ材の双方に適用した場合ほど大きくない。

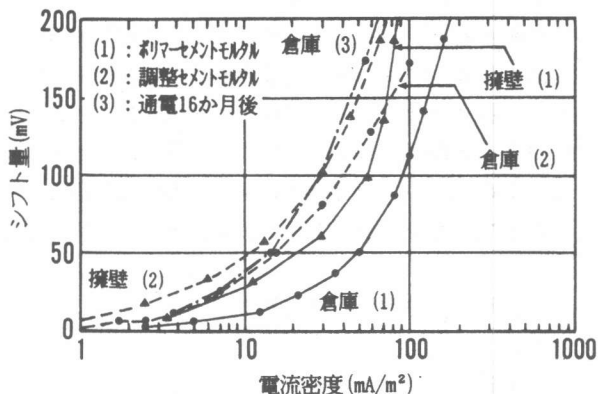


図-7 E-log I 試験結果の一例

表-1 100mV シフトに必要な電流密度

		倉庫		擁壁		Pc1	Ps1
		Pc1	Ps1	Pc2	Ps2	Pc2	Ps2
	ポリマーセメントモルタル	95	153	58	128	1.6	1.2
	調整セメントモルタル	54	87	29	64	1.9	1.4
通電16か月後		36	58	—	—	—	—

Pc: コンクリート単位面積当たり

Ps: 鉄筋単位面積当たり (mA/m²)

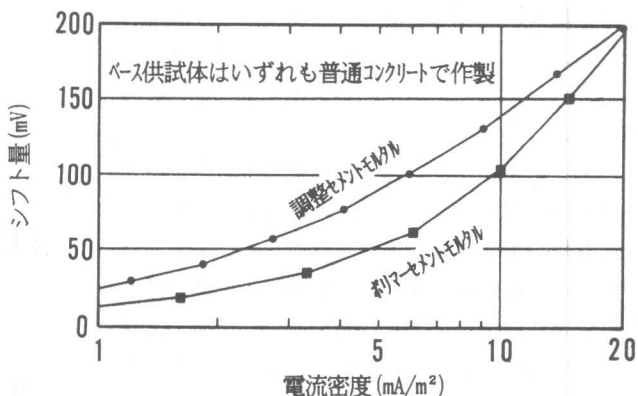


図-8 E-log I 試験結果 (暴露供試体)

次に、表-1の結果を倉庫と擁壁で比較すると、100mVのシフトに必要な電流密度は、倉庫が擁壁に比べコンクリート単位面積当りで約1.7倍程度大きくなる。一般に建築構造物は土木構造物より断面に対する鋼材量の比率が大きく、この点を考慮して鉄筋単位面積当りの電流密度を比較すると、倉庫は擁壁より1.3倍程度大きな値となる。これは、擁壁の鉄筋を新たに取替えたことによる鉄筋の表面状態の違いによるものと考えられる。

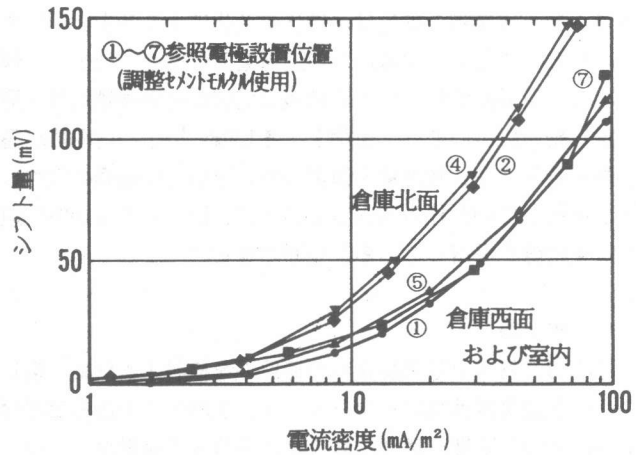


図-9 E-log I 試験結果 (倉庫)

しかしながら、倉庫におけるこれらの試験結果は、上記の鋼材量や鉄筋の表面状態の影響等をを勘案しても、これまでの適用例[2][3]に比して大きな防食電流密度が必要となっている。この原因としては、コンクリート自体の乾燥による影響が考えられる。

図-9は、調整モルタルを用いた場合の倉庫のE-log I試験結果である。この試験結果に基づくと、その分極曲線は、参照電極設置位置により大きく2つの傾向に分類される。すなわち、倉庫北面(図中②および④)と倉庫西面および室内(①、⑤および⑦)とでは、所要のシフト量を得るための電流密度が大きく異なっている。これは、沖縄のような乾燥および湿潤状態の差が大きい亜熱帯環境下の建築構造物においては、コンクリートの乾湿の程度が同一の構造物内でも異なるためと考えられ、直射日光の当たる場所や雨水の影響を受けない室内では、防食電流密度が大幅に増加する傾向にあると判断される。なお、この試験結果に基づくと、このように部位による乾湿の程度の違いが懸念される場合には、防食回路を区別し、異なった防食電流密度で防食を行うことが必要であると考えられる。

なお、通電開始後約16か月後に実施したE-log I試験結果に基づくと、通電により腐食環境が改善され、所要のシフト量を得るために必要な防食電流密度が減少する傾向が確認された。

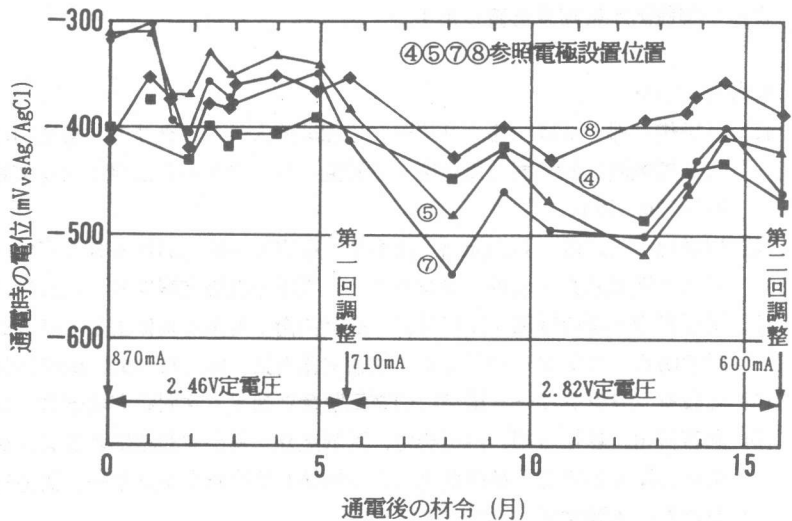


図-10 通电時の電位の経時変化

5. 通电時の電位変化と防食効果の確認
本電気防食における通电は、コンクリートの乾燥状態の変化を考

慮し、定電圧方式による通電とした。この通電時の電位の経時変化を図-10に示す。この結果に基づくと、通電時の電位は、環境の変化により多少上下しているが、全体的な傾向としては卑方向に移動しており、定電圧での通電電流密度は、減少する傾向にあることが確認できる。

また、通電開始後、約5か月後に実施した復極量試験（通電遮断直後とその後4時間後の電位の差）結果においては、目標とする100mV以上の復極量が得られていない箇所が生じたため、設定量を若干増加させ通電を再開した。その後は順調に推移し、通電16か月後の電流量は、通電初期と比較して30%程度減少しているが、目標とする100mV以上の復極量が確保されており、良好な防食状態を保持していると判断できる。

6. まとめ

建築構造物への電気防食法の適用性を検討するため、厳しい腐食環境下にある沖縄の鉄筋コンクリート建築構造物にチタンメッシュを陽極とする外部電源方式による電気防食法を試験的に施工し、その施工性、通電試験等による防食電流量などについて検討した。その結果、以下に示すような知見が得られた。

- 1) ポリマーセメントモルタルによる断面復旧やオーバーレイ層の形成は、防食電流密度を大幅に増加させ、電気防食システム自身の耐久性を低下させる可能性もあるため、その使用にあたっては、十分に注意する必要がある。
- 2) 同一構造物でもコンクリートの環境により分極特性が異なるため、施工時に可能な限り防食回路を区分することが望ましい。
- 3) 防食電流密度は、これまでの適用例に比べ大きくなるが、通電の継続とともに徐々に減少する傾向にある。
- 4) チタンメッシュを陽極とする外部電源方式は、環境の変化に応じた通電が可能であり、陽極の耐久性も優れているため、その適用は効果的である。

なお、今回の報告は通電後約16か月までの結果であり、今後さらに本施工例の追跡調査を継続するとともに、同時に暴露供試体による防食効果の確認等も実施する予定である。

本施工を実施するにあたり御指導・御協力を頂いた、鹿児島大学武若助教授および（合）大城物産の関係諸氏に謝意を表します。

<参考文献>

- [1] 三田俊一郎・武藤一雄・井川一弘・加納伸人：コンクリート構造物における流電陽極方式による電気防食法の実用化に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12, No1, pp 517~520、1990
- [2] 堺孝司・大越威・石川光男・山本悟：積雪寒冷地におけるRC桁橋への導電性被覆電極方式による電気防食の適用、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14, No1, pp803~808、1990
- [3] 川俣孝治・峰松敏和・川田秀夫・高橋久衛：電気防食による港湾コンクリート構造物中の鋼材の防食、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12, No1, pp511~516、1990
- [4] 建設省：コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書、1988.8
- [5] 武若耕司・峰松敏和・内田美生・荒瀬圭介：外部電源法によるコンクリート中の鉄筋の電気防食に関する研究、鉄筋腐食により損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術に関するシンポジウム論文集、pp95~102、1990