

PC 橋梁における塩害対策

～小余綾高架橋における電気化学的脱塩工法の適用～

関東地方整備局 横浜国道事務所
小田原出張所 技術係長 末吉 史郎

1、はじめに

コンクリート構造物は、セメントに含まれる水酸化カルシウムにより、内部が高アルカリ状態に保たれているため、鋼材が不導体被膜という酸化化合物の被膜で覆われ、錆びにくい構造となっている。しかし、コンクリート中の塩分（塩化物イオン）が鋼材の腐食発生限界値を超えた場合、この被膜が破壊され鋼材が腐食を始め、コンクリートの剥離等を引き起こす。これが塩害と呼ばれるものであり、塩分の発生原因としては、海砂等の「初期塩分」及び潮風、海水等の「外来塩分」がある。

国道1号の小余綾高架橋では、海からの飛来塩分による塩害劣化が課題となっており、供用後約40年が経過した現時点で、抜本的な対策が必要となったため、浸透した塩分を除去する**電気化学的脱塩工法**（以下脱塩工法という）を採用した。本稿では、プレストレストコンクリート橋（以下PC橋という）での本格的な採用が国内初となる小余綾高架橋における脱塩工法について報告するものである。

2、橋梁概要

小余綾高架橋は、一般国道1号西湘バイパスの一部として1965年に完成した延長約1100m、50径間のPC橋と鋼橋からなる高架橋である。今回脱塩工法を採用した区間は、海に最も近く劣化が最も著しい第44径間と第45径間である。この区間は、供用後十数年で**塩害劣化が顕在化した**ため、これまで1～2回の補修（断面修復及び表面被覆）を実施してきた。（写真-1、表-1）しかし、一昨年の調査で表面被覆の浮きや剥離、断面修復部の再劣化、未修復部のコンクリートの浮きや剥離・剥落、錆汁などの塩害劣化特有の損傷が多数認められ、また、コンクリートの塩分含有量は、第45径間の海側主桁で**最大 15.62kg/m³** の値を示し、**補修要否の判定値である 2.5 kg/m³**（建設省総合技術開発プロジェクト



写真-1 全体写真

表-1 橋梁概要と補修履歴

橋梁名	小余綾高架橋
位置	神奈川県中郡大磯町大磯地先から東小磯地先
構造形式	単純PCポストテンションT桁橋 単純鋼合成I桁橋
完成年	1965年度
延長	1,098.65m
有効幅員	17.00m
今回の施工区間	第44,45径間
過去の補修履歴	第44径間 完成後20年 断面修復・表面被覆
	第45径間 完成後18年 断面修復・表面被覆
	完成後28年 断面修復・表面被覆
	完成後28年 断面修復・表面被覆

コンクリートの耐久性向上技術の開発（平成元年5月）の6倍という多量の塩分がコンクリート内に浸透していることが判明した。（写真-2、写真-3）



写真-2 主桁の劣化状況



写真-3 断面修復部の再劣化状況

3、工法の選定

塩害等によりコンクリート中の鋼材が腐食する場合、鋼材には健全部分（陽極+）から腐食部分（陰極-）へと腐食電流が発生している。これに着目した塩害対策が電気化学的工法であり、一般に電気防食工法と脱塩工法の2種類がある。

電気防食工法とは、永続的に防食電流を通電して腐食電流を打ち消すことにより、腐食の進行を抑制するものであり、電流密度は10~20mA/m²と微少である。

脱塩工法とは、鋼材を陰極としコンクリート表面に陽極材を設置し、直流電流により、塩化物イオンを鋼材付近からコンクリート表面へと電気泳動させ、コンクリートの塩分含有量を大幅に低減し、健全な状態に戻すものである。また、電流密度は電気防食の100倍程度で、通電期間が施工期間中だけで済み、その後のシステム管理が不要という長所がある。

過去の実績では、PC橋に対する塩害対策としては**電気防食工法が一般的**に採用されてきた。これは、脱塩工法により**PC鋼材の水素脆化**及び通電処理によるアルカリ骨材反応の促進が懸念されてきたことによる。

水素脆化とは、水の電気分解反応により発生した水素（拡散性水素）がPC鋼材に吸蔵されることにより、PC鋼材が脆くなり、最終的には破断に至る現象である。この水素脆化の影響は、電流密度及びPC鋼材の張力にほぼ比例するため、PC橋への脱塩工法の採用が少なかったが、今回**断続的な通電**を実施することにより、水素脆化を防ぐことが可能となり、脱塩工法を採用することとした。具体の通電方法は、月曜日朝から金曜日夕方まで通電し、金曜日夕方から月曜日朝までの通電休止期間中に、鋼材に吸蔵されている水素を発散させ、水素脆化を防ぐものである。

なお、アルカリ骨材反応に対しては、カナダ法及び模擬脱塩実験により、安全性を確認した。

4、脱塩工法の施工

今回の脱塩工法では、コンクリート中の鉄筋やPC鋼材を陰極とし、コンクリート表面

にチタンメッシュ陽極を設置し、さらに電解質溶液の保持方法として、主桁等の複雑な形状にも対応可能なファイバー法を採用した。通電サイクルは先述のとおりで、通電期間は連続通電 8 週間に相当する 12 週間とし、電流密度を 1.0A/m²、電圧 30V 以下の条件で、脱塩工法を実施した。(図 - 1 , 図 - 2、写真 - 4)

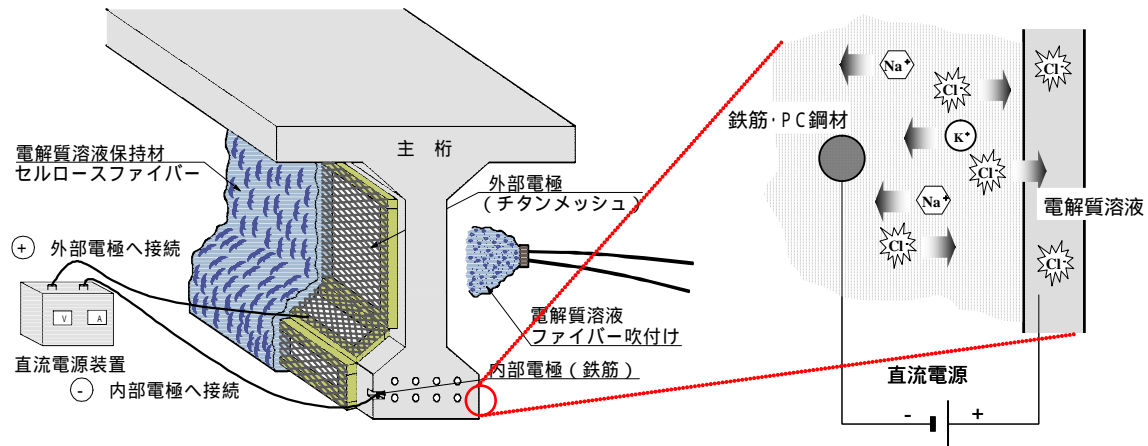


図-1 脱塩工法の模式図



写真-4 脱塩状況

5、脱塩率の推移

脱塩工法の施工管理は、深さ 20 ~ 40mm の鉄筋位置における脱塩率 (サンプル採取による脱塩前後の塩分含有量の比) を管理値として実施した。脱塩完了の目標値としては、各径間の平均脱塩率が 70% 以上、残存塩分含有量が 2.5kg/m³ (補修要否の判定値) とした。各径間の平均脱塩率の推移を図 - 3、図 - 4 に示す。他の橋梁の実例では通電 10 週目の脱塩率が 50% 程度であったのに対し、第 44 径間では 27.1% に留まった。これは他の実例の塩分含有量が多くても 8kg/m³ 程度であったのに対し、本橋では最大 15.62 kg/m³ もの含有量を示し、これを塩分含有量の深さ方

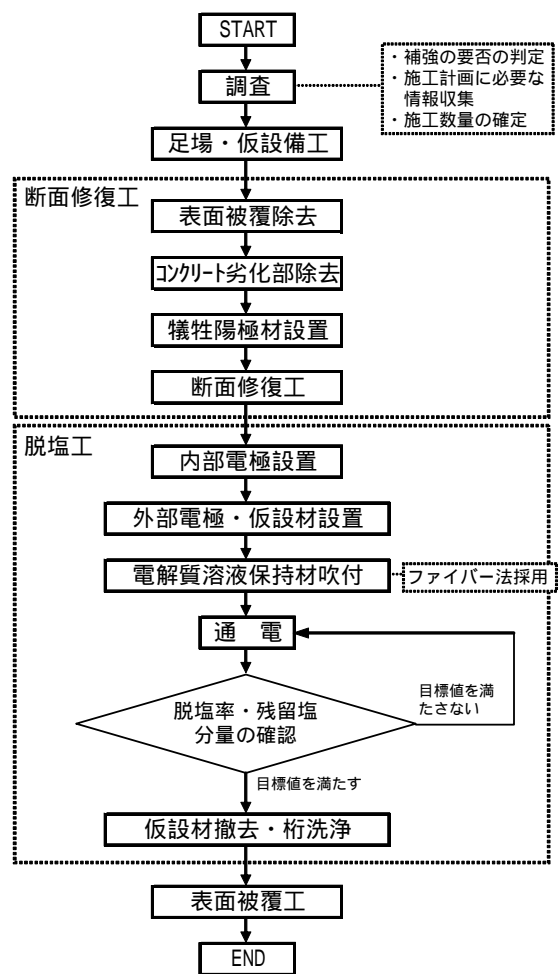


図-2 施工フロー

向の積分値で比較すると、3~4倍に相当する量になるためと想定された。そこで、脱塩効率の向上を図るため、**電流密度**を11~12週以降段階的に2.0A/m²(他の実験事例等から、水素脆化の問題が生じないものと判断)まで引き上げるとともに、通電期間も延長した。その結果、通電16週で79.4%(第44径間) 85.9%(第45径間)の脱塩率が得られた。また、第45径間では、一時的に脱塩率が低下する結果が生じたが、これはサンプル採取のばらつきや分析誤差、塩分含有量のばらつき等が原因と想定される。

第45径間G1桁海側の脱塩前後の塩分含有量を図-5に示す。脱塩前に15.62 kg/m³だった塩分量は1.73 kg/m³まで減少するなど、目標値をクリアすることができた。

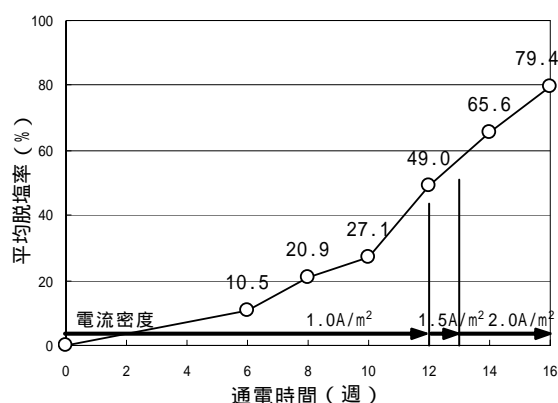


図-3 脱塩率の推移 (第44径間)

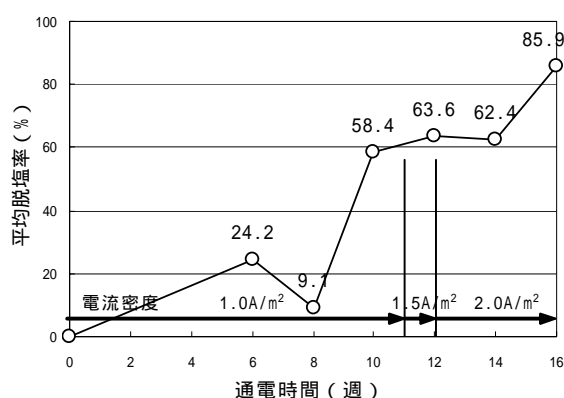


図-4 脱塩率の推移 (第45径間)

6、まとめ

PC橋に対して初めて本格的に脱塩工法を適用した本件において、所定の施工を完了することができた。多量の塩分含有量という条件に対しても、電流密度の増加と通電期間を延長することにより、脱塩を促進し当初の目標値を満足した。また、PC鋼材の水素脆化についても問題は生じなかった。以上のことにより、**PC橋に対する脱塩工法の有効性が確認**できたと考えられる。

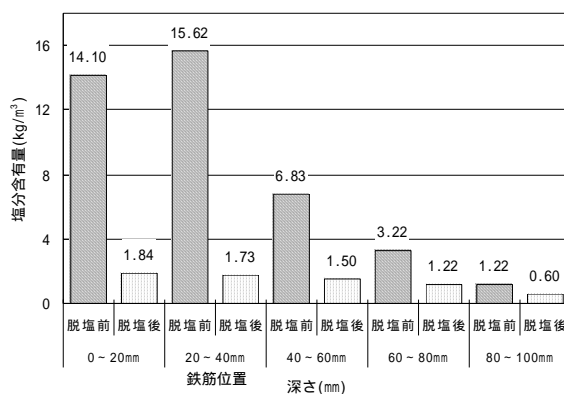


図-5 脱塩前後の塩分含有量

今後の課題としては、施工管理のポイントとなる脱塩率について、サンプルのばらつきや誤差を極力最小化する算定方法の確立、脱塩完了の明確な判断基準作成、ライフサイクルコスト算定に必要な脱塩効果の評価手法の確立、さらにはコスト削減、ファイバー等の産業廃棄物の削減等が挙げられる。