

電気防食を施工した橋りょうにおける陽極チタン溶射皮膜の剥離に関する調査

東日本旅客鉄道株式会社	正会員	○山崎	由紀
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	高山	充直
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	松尾	賢
株式会社ナカボーテック	正会員	蝦名	仁美

1. はじめに

日本海側の海岸線からの距離約 150m に位置し、塩害による損傷を受けた PC 桁に対して、1998 年から電気防食を施工した橋りょうがある。本橋りょうでは、5 連の PC 桁に対して、それぞれ異なる方式の電気防食を施工し、その後継続してモニタリングを行っている。また、施工から 20 年経過後には各陽極システムの耐久性や防食効果に関する大規模調査を行っている¹⁾。

上記の大規模調査では、チタン溶射方式の電気防食を施工した桁において、陽極材のチタン溶射皮膜（以下、陽極皮膜）の一部に剥離が確認され、陽極皮膜の通電試験や復極量の測定により、剥離による防食効果への影響を検討している。また、耐久性に関して、陽極皮膜の剥離原因や、今後剥離が発生、進行する可能性を検討するために、外観観察や、剥離箇所周辺から採取した陽極皮膜およびコンクリート片の分析試験を行った。本稿では、陽極皮膜の表面やコンクリートとの界面（剥離面）で確認された析出物に着目した調査結果を示し、陽極皮膜の剥離との関連性を考察する。

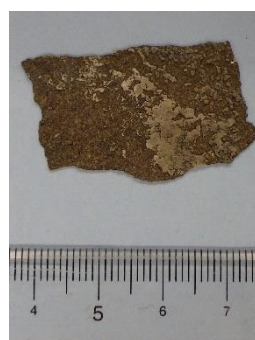
2. 調査対象

調査対象は、1974 年に建設されたポストテンション方式 PC 単純 T 桁（支間長 19.0m、3 主桁）であり、建設から 25 年後に主桁下フランジ部にチタン溶射方式による電気防食が施工された。電気防食の施工時には、主桁の下フランジの隅部において、軸方向鉄筋の腐食、かぶりコンクリートの剥離や剥落が生じており、これらの変状箇所に対して断面修復が行われた。電気防食の施工から 20 年経過後の大規模調査では、主に海側の桁で陽極皮膜の剥離が確認され、剥離面積は計 0.61m²（陽極皮膜を施工した面積 85.5m² の約 0.7%）、最も広範囲に剥離が生じていた箇所は約

30×70 cm であった。

3. 調査方法

図 1 に剥離箇所から採取した陽極皮膜を示す。陽極皮膜の表面から採取した析出物および、析出物が付着した陽極皮膜の剥離面について、それぞれ X 線回折により化合物を調べた。また、陽極皮膜の剥離箇所周辺で、一部、陽極皮膜が付着した箇所からコンクリート片を採取した。図 2、図 3 に採取位置の外観、採取したコンクリート片をそれぞれ示す。陽極皮膜とコンクリートとの界面付近に存在する物質を調べるために、コンクリート片から皮膜が付着している範囲を約 1 cm 角で切り出し、コンクリートおよび陽極皮膜を粉砕して試料とした。X 線回折により試料中



(1) 表面



(2) 剥離面

図 1 剥離した陽極皮膜



図 2 コンクリート片
採取位置の外観



図 3 陽極皮膜が付着
したコンクリート片

キーワード 電気防食工法，チタン溶射，塩害

連絡先

〒141-0031 東京都品川区西五反田 3-5-8 東日本旅客鉄道（株）構造技術センター TEL 03-6878-0017

の化合物を調べ、剥離箇所の析出物と比較した。

4. 結果と考察

図4に陽極皮膜の表面の析出物、析出物が付着した陽極皮膜の剥離面および陽極皮膜が付着したコンクリート片試料のX線回折図を示す。

陽極皮膜表面の析出物は主として二水石膏 (Gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) であると推定された。この二水石膏は、電気防食を施工していない範囲の主桁コンクリートから溶出、あるいは海水飛沫により供給されたカルシウムイオンや硫酸イオン²⁾が、雨水等の水によって主桁下面に運ばれ、水切れ位置で析出したものと推察される。

陽極皮膜の剥離面については、塩化ナトリウムや炭酸カルシウムその他、硫酸ナトリウム (Thenardite, Na_2SO_4) が含まれるものと推定された。一方、陽極皮膜が付着したコンクリート片では、炭酸カルシウムや水酸化カルシウム、エトリンガイト等が含まれるものと推定されたが、硫酸ナトリウムは確認されなかった。

ここで、硫酸ナトリウムがコンクリートに作用し、乾湿等の影響を受けてコンクリート中に析出すると、析出時の圧力によってスケーリング等の劣化が生じる場合がある。陽極皮膜の剥離と硫酸ナトリウムとの関連性について、本調査では硫酸ナトリウムは皮膜の剥離箇所近傍においても、陽極皮膜が付着している箇所では確認されず、剥離箇所において局部的に析出しているものと推察される。また、硫酸ナトリウムは表面に析出していた二水石膏と同様に海水飛沫に起因して析出した可能性や、二水石膏と比較して溶解度が高いことから、主桁表面では雨水等の水に溶解し洗い流されたのに対し、陽極皮膜の剥離箇所ではコンクリートとの間に滞留し、洗い流されにくかったために析出した可能性が考えられる。この場合、陽極皮膜が付着している箇所では、硫酸ナトリウムの析出に伴って新たに剥離が発生することは想定されない。一方、電気防食の施工時にコンクリート表面に残存していた番線等の金属異物の影響等により、陽極皮膜の剥離が生じていた箇所では硫酸ナトリウムの析出に伴い剥離範囲が拡大する可能性も考えられる。

本調査対象における陽極皮膜の剥離の発生原因、進行メカニズムは明らかになっていないが、上記の

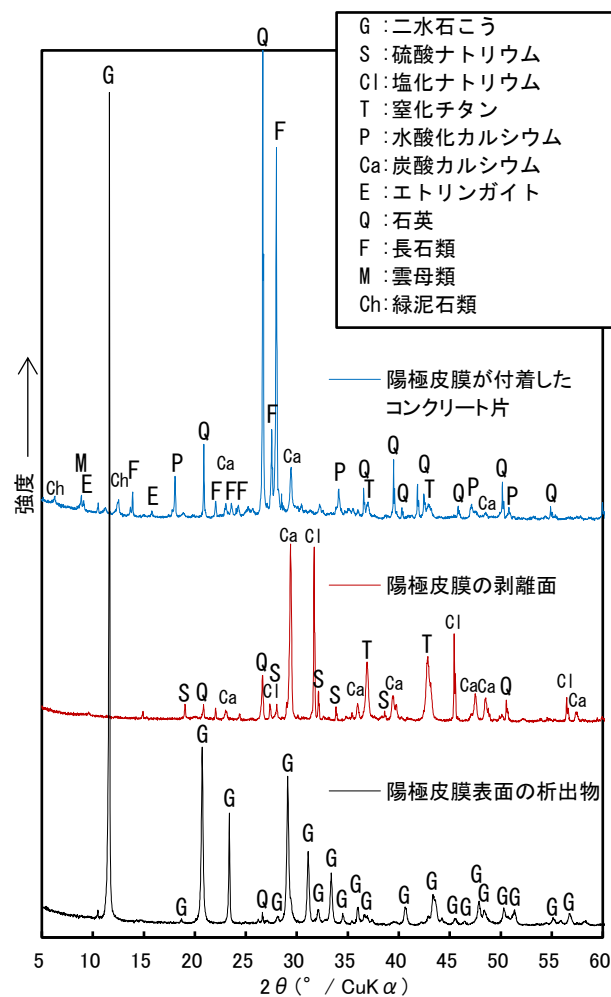


図4 X線回折図

とおり今後、陽極皮膜の剥離が拡大する可能性も踏まえて、剥離箇所の経時変化を観察するとともに、剥離箇所の適切な補修方法等の検討が必要であると考ええる。また、チタン溶射方式の電気工防食工法は、躯体状態を目視で確認可能で、死荷重の増加が少ない等の利点があり、今後施工対象が増えることも想定されることから、本橋りょうにおいて、より長期的な防食効果や耐久性の検討を継続して進めることが重要であると考ええる。

参考文献

- 1) 高山 充直ら：鉄道 PC 桁に適用した電気防食工法の防食効果と耐久性の長期評価，インフラメンテナンス実践研究論文集，Vol. 2, No. 1, pp. 76-85, 2023. 3
- 2) 武邊 勝道ら：耐候性鋼橋梁の表面状態と付着塩類量の関係，土木学会論文集 F, Vol. 63, No. 2, pp. 172-180, 2007. 5