

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○白川 祐太

神戸大学大学院工学研究科 正会員 森川 英典
 (株)ピーエス三菱大阪支店 正会員 鴨谷 知繁

1. はじめに: 供用年数が長い PC 橋において、ケーブル曲げ上げ部より端部側においてグラウト充填不良部を有している橋梁が多数存在する¹⁾。グラウト充填不良部が生じると、定着部もしくはそれ以外の箇所から、水、もしくは塩水の腐食促進物質が浸透した際に、腐食が進展する可能性がある。また、素線と素線、シースと素線の隙間に、腐食促進物質がその隙間から侵入し橋軸方向に広い範囲で、腐食が発生することも懸念される。

本研究では、凍結防止剤が使用されている環境で供用されており、主ケーブルに沿ったひび割れとエフロレッセンスが生じた実橋梁の詳細調査を実施した。その際に、詳細調査において削孔した箇所において、著しい腐食が発生しているケーブルが確認できた。そこで、橋梁調査を実施した橋梁の建設当時に使用されたグラウトを用い、ケーブルの曲げ上げを想定した供試体を作製し促進腐食実験を行った。

2. 供試体概要: 主ケーブルは、12φ7mm を用い、主ケーブル曲げ上げ部を模擬した供試体の概要図を図-1 に示す。また、シースは、グラウトの充填程度を確認することを目的に、透明な塩ビ管を使用した。グラウト充填状況は、シースと素線、素線と素線の間においてグラウトが充填されなかったことが確認できた。グラウト配合は、詳細調査を行った橋梁の建設当時、使用されたものとした。グラウト注入は、図-1 のように下方向より手押しポンプで行った。グラウトには、端部からの塩分供給を考慮して、塩分を追加した場合も設定した。その追加塩分は、腐食限界濃度 C (単位セメント量)×0.3%²⁾を基準に設定した。また、促進腐食は、水、もしくは 3%濃度の塩水を用い、1 日 1 時間腐食液に浸漬させる乾湿サイクルとした。供試体一覧を表-1 に示す。

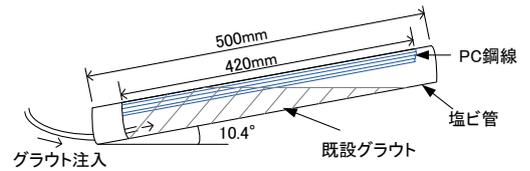


図-1 供試体概要図

表-1 供試体一覧

供試体名	腐食液	グラウト内追加塩化物イオン濃度(C × mass%)	試験日数(日)
H-0.3	H ₂ O	0.3	130
H-1.2	H ₂ O	1.2	130
N-0-1	NaCl(3%濃度)	0	130
N-0-2	NaCl(3%濃度)	0	85
N-0.3	NaCl(3%濃度)	0.3	130

※C:単位セメント量

3. 測定概要: 促進腐食終了後、素線の除錆を実施した。除錆は、常温で 10%濃度のクエン酸二アンモニウム溶液に 2 日間浸漬後、水洗いによる方法を用いた。除錆後の素線の腐食量測定を行った。図-2 に示す腐食量の測定位置は、目視により、孔食、もしくは局部腐食が発生している箇所とし、その位置を把握するため、図-2 に示すように素線の断面を 30° ごとに孔食・局部腐食の発生位置の読み取りを行った。次に、その箇所において、ノギスによる腐食量測定を実施し、

ノギスで測れる範囲内で孔食深さの測定も実施し、グラウト側より孔食・局部腐食が発生している箇所までの距離測定を実施した。また、素線において、グラウトが付着していた箇所では、供試体・腐食条件に関わらず、ほぼ腐食がなく、グラウト付着の境界が明確であり、グラウトが付着していた長さについても測定を行った。

3. 実験結果および考察: 孔食・局部腐食発生位置の断面図を H-0.3 のみ図-3 に示す。図-3 は、目安で測定を行った孔食深さの測定値を考慮せずに、各素線内の最大から第 5 位までの腐食量における孔食・局部腐食発生位置を示している。また、孔食深さを考慮せずにシース内の腐食量が大きい順に第 5 位までの孔食・局部腐食発生位置も示している。さらに、孔食深さを考慮する腐食量が大きい順に第 5 位までの孔食・局部腐食発生位置を示している。図-3 より、シースと素線の隙間、素線と素線の隙間に大きな腐食が発生している。さらに、他の供試体においても、素線と素線、もしくはシースと素線の隙間の大きさが最小になるような位置で腐食量が大きい傾向にあった。

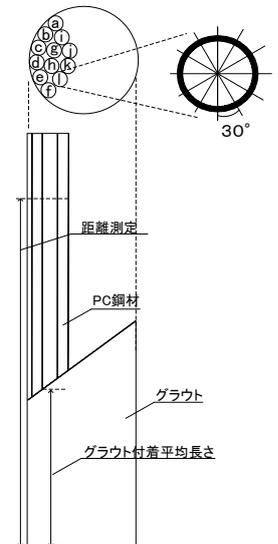


図-2 測定概要図

次に、グラウト境界からの距離 (グラウト付着長さの平均値から算出) と腐食量との関

係の結果を図-4に示す。図-4は孔食腐食の深さを考慮していない腐食量の結果を整理した。

図-4より、H-0.3およびH-1.2は、グラウト境界からの距離150mm程度以上で局部腐食・孔食が確認できず、グラウト位置0mmから離れるにつれ、腐食量が小さくなる傾向が得られた。腐食液である水の液膜にグラウト内塩分が溶けだしたため、グラウトが付着している付近で腐食が大きく進行した。次に、腐食液の違いであるH-0.3およびN-0.3を比較すると、H-0.3では、グラウト付近で腐食が大きく、局部腐食・孔食が確認できているのに対し、N-0.3では、不良部の端部側方向に腐食量が大きくなる傾向であった。腐食液が塩水である場合は、線形で不良部の端部側に腐食量の増加が見られることから、腐食液が塩水である3体の共通の特徴として、グラウトの不良部側の端部では、グラウト側よりも液膜が生じやすく、錆付着後も酸素供給が多かったため、腐食量が大きくなったと推察することができる。凍結防止剤が使用されているような環境の実橋梁では、素線と素線がシースの上部に集まりはじめた箇所(定着部から数10センチの箇所)で腐食が大きいと考えられる。

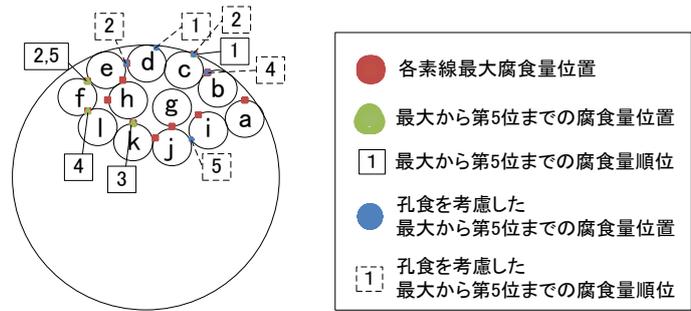
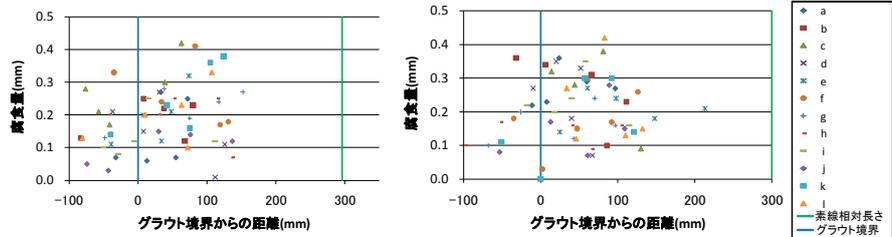
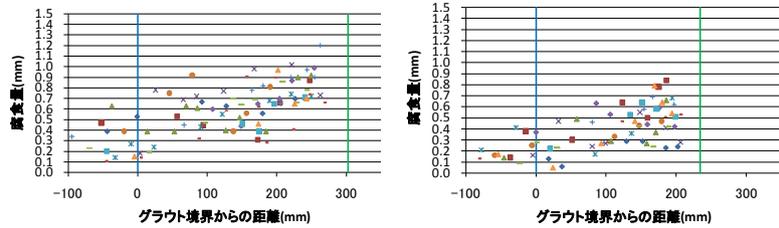


図-3 孔食・局部腐食発生位置



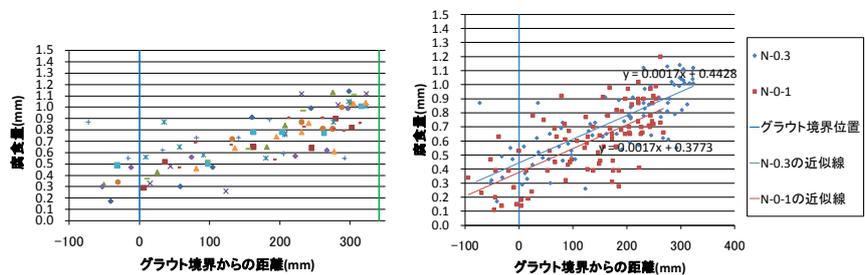
(a) H-0.3

(b) H-1.2



(c) N-0-1

(d) N-0-2



(e) N-0.3

(f) N-0.3とN-0-1の比較図

図-4 腐食量と素線軸方向距離の関係

次に、腐食液が塩水でありグラウト内塩分濃度が異なるN-0-1およびN-0.3を比較する。図-4(f)の各々の供試体の近似直線より、傾きが同じ値を示しており、切片も近い値を示していることがわかり、グラウト内塩分濃度の違いが影響しないといえる。

4. まとめ：実橋梁で使用されるグラウトを用い、曲げ上げ部を考慮した供試体を作製した。また、その供試体を促進腐食させ、グラウト充填不良部の腐食メカニズムについて実験的検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。素線と素線、シースと素線の接している箇所近傍では、腐食液の液膜が生じやすいため、腐食量が大きく、局部腐食・孔食が発生しやすいことがわかった。また、水で乾湿サイクルを行った場合は、グラウト内塩分溶出により、微量の違いでも腐食量の違いが生じた。さらに、塩水で乾湿サイクルを行った場合には、グラウト不良部側・グラウト境界から離れる方向にほぼ線形で腐食量が増え、凍結防止剤などの腐食促進物質がグラウト充填不良部に侵入する場合には、素線がシース上部に集まりはじめた箇所、つまり、定着部から数10センチあたりに最も著しい腐食が発生することが考えられる。

参考文献：1)土木学会：PC 構造物の現状の問題点とその対策，2003。2)二井谷教治，徳光卓，山田一夫，野島昭二，宮川豊章：PC グラウトの塩分濃度が鋼材腐食に及ぼす影響，プレストレスト・コンクリート 52(1)，pp.76-84，2010。