腐食性環境下のシールドトンネルにおける一次覆工の変状調査に関する一考察

東日本旅客鉄道株式会社　正会員　○渡邊　壮
正会員　小瀬　喜巳

１．はじめに

都市鉄道トンネルの維持管理において，シールドトンネルの一次覆工であるセグメントは，周辺環境や地盤等のいかなる現場条件下においても，所定の耐久性が確保され続ける必要がある．

しかし，これまでシールドトンネルにおいて耐久性に関する各種セグメントの調査が実施されているが，いずれも内空側からの調査にとどまり，地山側からの水や塩化物イオンの浸透に着目した調査があまり実施されていない．

そこで今回は，臨海部に近接するシールドトンネルにおいて，地山側からの水や塩化物イオンの浸透に着目した RC セグメントの変状調査を行い，その結果を報告する．

２．調査内容

(1) 対象トンネルの概要

調査の対象としたトンネルの概要を表-1，図-1 に，セグメント製作時の配合を表-2 に示す．

表-1 対象トンネル諸元

トンネル延長	12.9km（一次覆工区間：約2.3km）
経年	48年
地質	粘性土，砂質土
土被り	14～20m
施工方法	開放型シールド工法（圧気工法併用）
セグメント種類	RCセグメント
一次覆工厚	350mm

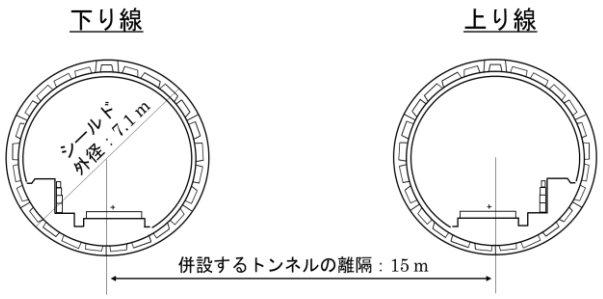

図-1 対象トンネルの標準断面図

表-2 セグメント製作時の配合

設計基準強度 (N/mm²)	スランプ (%)	空気量 (%)	W/C (%)
58	1～4	1.5～3.5	32
セメント (kg)	水 (kg)	粗骨材 最大寸法(mm)	粗骨材率 (%)
470	152	20	40

(2) 調査内容および方法

以下に今回実施した調査内容および方法を示す．

1) 塩化物イオン濃度測定

セグメント内部への塩化物イオンの供給ならびに浸透・蓄積を把握するため，JIS A 1154 に準拠して塩化物イオン含有量試験を実施した．具体的には，桁高 350mm のセグメントにおいて，φ16mm の削孔を地山方向に向かって 310mm 実施し，ドリル法によって試料を採取した（図-2）．その後，採取した試料を用いて深さ方向の塩化物イオン濃度を測定した．

2) 内部含水率測定

セグメント内部への水の浸透・供給を把握するため，選定位置において削孔径 φ6mm，削孔長 150mm 以上実施した（図-2）．そして，孔内にセンサを差し込んで，センサ間の電気抵抗を深さ方向 10mm 間隔で測定し，含水率を求めた．

3) ボルト腐食調査

継手ボルトの腐食状態を把握し，保有している耐久性能を評価するため，側壁部の継手ボルトの腐食量調査を行った（図-2）．調査は，8 箇所のボルト 16 本を抜き出し，腐食状況を目視で確認した後，10%ク

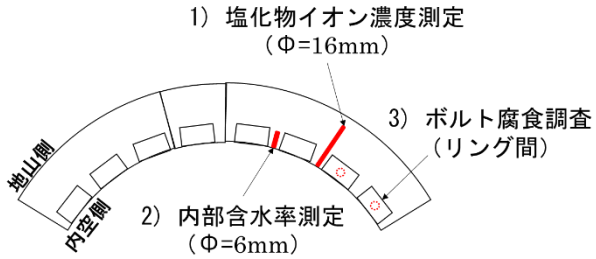

図-2　セグメント断面および調査イメージ

キーワード　腐食性環境，シールドトンネル，一次覆工，塩化物イオン，含水率，ボルト腐食
連絡先　〒101-0041 千代田区神田須田町 2-10-1 JR 神田総合事務所 3F 東京土木技術センター TEL 03-3257-1694

© Japan Society of Civil Engineers

エン酸二アンモニウム溶液により表面の腐食生成物を除去し，腐食面積率および腐食減少率を算定した．加えて，ボルト中心とそこから 25mm ずつ離れた両側 2 点の計 3 点の平均断面を算出し，引張試験による破断強度と平均断面から，引張強度を算出した．

３．調査結果

(1) 塩化物イオン濃度測定結果

塩化物イオン濃度の深さ方向の分布を図-3 に示す．全体の傾向として，塩化物イオン含有量は内空側(0～50mm)と地山側(270～310mm)では多くの箇所でコンクリートの塩化物含有量の限界値である 1.2kg/m³を超えていた．一方で，中間部(50～270mm)では最大 0.6kg/m³であった．

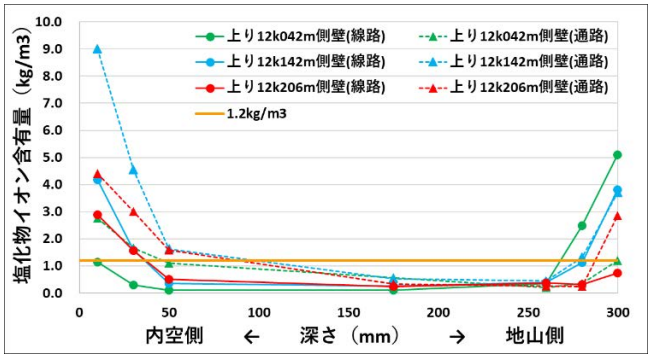

図-3 塩化物イオン濃度測定結果

(2) 内部含水率測定結果

深さ方向の内部含水率を図-4 に示す．全体的に内空側で 1～3%であり，セグメント中間部(150mm)付近において 2～4%であった．これは，セグメント製作時の空気量の 1.5～3.5%と同程度の結果となった．また，地山側になるほど高くなる傾向がみられた．

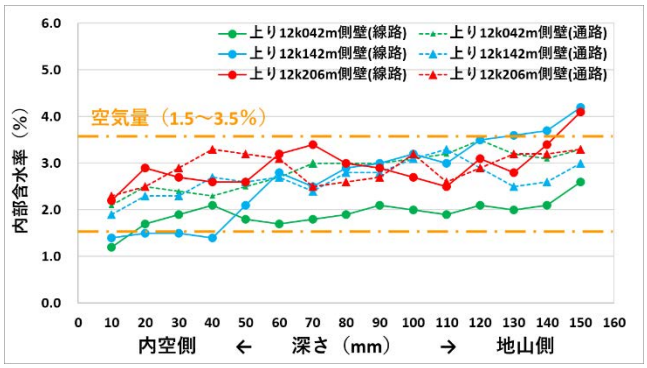

図-4 内部含水率測定結果

(3) ボルト腐食調査結果

ボルトの腐食状況を図-5 に示す．ボルトの頭部および端部の腐食は進んでいるが，軸部においては腐食減少がみられなかった．また，ボルトの引張強度は最低で 1081N/mm²であり，いずれも規格値（970N/mm²）を上回る結果となった．

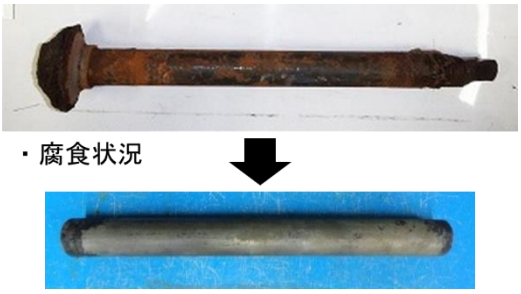

図-5 ボルトの腐食状況

４．考察

今回の調査を通じて以下の知見が得られた．

・内空側と地山側のかぶり部において，塩化物含有量の限界値である 1.2kg/m³以上を示したのは，内空側から列車に付着した飛沫水や地山側からの漏水が浸透・供給された結果と考えられる．

・セグメント中間部では，塩化物含有量は最大 0.6kg/m³と，かぶり部と比較して非常に少なく，セグメント内部への浸透は小さい．

・含水率測定結果とセグメント製作時の空気量が同程度であったことを評価すると，セグメントの気密性が高く，今回の調査結果をふまえると地山側からの酸素供給は乏しく，セグメントの鉄筋は腐食しにくい環境にあると考えられる．

・ボルト頭部および端部において腐食が進行していたのは，水と酸素が供給される環境に曝されているためである．今後も，定期的にボルトの抜き取り・腐食調査を実施し，経過観察する必要がある．

５．おわりに

今回の調査結果をふまえ，セグメントの継目部や継手部，注入孔等の変状箇所に着目し，塩化物イオン混じりの漏水に起因する鋼製部材の腐食を抑制する対策として防錆工を実施する予定である．また，継手ボルトやRCセグメントの鉄筋等の鋼製部材に関する腐食調査を定期的に実施し，腐食性環境下におけるRC セグメントの耐久性を確認していく方針である．

６．参考文献

・土木学会：2016 年制定 トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[シールド工法編]・同解説，2016

© Japan Society of Civil Engineers