# 現用の通信用シールドトンネルの 一次覆工減肉量調査結果

松本 安弘<sup>1</sup>·水野 等<sup>2</sup>·明里 慶祐<sup>3</sup>·後藤 和彦<sup>4</sup>

 
 <sup>1</sup>正会員
 NTT
 アクセスサービスシステム研究所(〒 305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1) E-mail: matsumoto.yasuhiro@lab.ntt.co.jp

 <sup>2</sup>正会員
 NTT
 アクセスサービスシステム研究所(〒 305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1) E-mail: mizuno.hitoshi@lab.ntt.co.jp

 <sup>3</sup>正会員
 NTT
 アクセスサービスシステム研究所(〒 305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1) E-mail: akari.keisuke@lab.ntt.co.jp

 <sup>4</sup>正会員
 NTT
 アクセスサービスシステム研究所(〒 305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1) E-mail: goto.kazuhiko@lab.ntt.co.jp

構造物に対して最適な維持管理や補修を行うためには、劣化機構の把握が重要である.しかし通信用シールド トンネルでは、二次覆工があり一次覆工の状態が目視確認できないため、劣化機構が明らかではないだけでな く、一次覆工の劣化データも十分には収集されていない.そこで劣化機構解明に向けた検討方針を得るために、 一次覆工の大規模な劣化調査を行った.その結果、どのトンネルでも継手からは漏水する一方、一次覆工の劣 化が進行した場合にはスキンプレートの孔食からの漏水が増加することを確認した.よって、スキンプレート の孔食の発生機構やその進行の速さについて検討していく方針を得た.

Key Words: shield tunnel, secondary lining, partially reinforement, model test, beam spring model

# **1.** はじめに

主に都市部において,大量の通信用ケーブルを収容 するためにシールドトンネルが設置されている.通信 用シールドトンネルの年度別建設量と累積設備量とを 図-1に示す.図-1からわかるように,近年では通信用 シールドトンネルの新規建設はほとんどなく,また2018 年現在,延長にして約55%のトンネルが建設後30年 以上経過している.さらにシールドトンネルはその設 置条件から撤去新設が困難であることから,現在存在 する設備を適切に維持管理することで,設備を使用可 能な期間をできるだけ延長したいという需要がある.

構造物に対して最適な維持管理や補修を行うために は、劣化機構の把握が重要となる.しかし通信用シー ルドトンネルは通常、鋼製セグメントの一次覆工に二 次覆工が施されており、一次覆工が二次覆工に覆われ ている.そのため一次覆工の劣化状況は目視確認が困 難であり、調査のためには二次覆工をコア抜き等によ り撤去して一次覆工を露出させる必要がある.ただし コア抜き等には通常高いコストが必要となるため、地 上構造物と比較して、サンプル数が少なくならざるを 得なく、従って主要構造部材である鋼製セグメントの 劣化機構が明らかとなっていないだけでなく、一次覆



図-1 通信用シールドトンネルの年度別建設量と累積設備量

工の劣化データも十分には収集されていない.そのた め劣化機構解明に向けた検討方針を得ることが急務で ある.本報告では,劣化機構の解明に資するデータの 収集を目的として実施した,通信用シールドトンネル の一次覆工の劣化調査の結果について報告する.

# 2. 調査トンネルと調査方法

調査対象は建設後約20年が経過した現用の通信用 シールドトンネルA, B, C, Dの4トンネルである.そ



図-2 A トンネルの軸方向における 4 測定断面の場所



図-3 Bトンネルの軸方向における 19 測定断面の場所

れぞれのトンネルにおける調査区間の延長はそれぞれ, Aトンネルでは約270m, Bトンネルでは約1250m, C トンネルでは約650m, Dトンネルでは約900mとし た. これらの4トンネルはそれぞれ,一部区間におい て別件の工事により二次覆工が撤去されており,鋼製 セグメントの一次覆工が露出している.

劣化調査では、まず漏水の発生原因箇所を特定する ために、それぞれのトンネルの調査区間にわたって、目 視による漏水状況調査を実施した.具体的には、確認 されたそれぞれの漏水において、その漏水箇所(スキン プレート、リング間継手など)を記録した.

次に、鋼製セグメントの腐食の速さを把握するため に,設計時の板厚に対する現在の残存板厚の計測を行っ た. 立坑近辺や最深部, 急曲線部などを中心にそれぞ れ, 延長約270mのAトンネルでは4断面(図-2), 延 長約 1250 m のトンネル B では 19 断面 (図-3), 延長約 650 mのトンネルCでは10 断面(図-4),延長900 mの トンネルDでは11断面(図-5)を測定断面として設定 した. また,図-6に示すように,それぞれ1つの測定 断面につき,インバート部を除く断面周上の7箇所を測 点とした.1測点につき、それぞれ主桁、スキンプレー ト,縦リブの肉厚を超音波厚さ計により計測した.ま た,1測定断面あたり4~5箇所存在するセグメント継 手版およびその周辺のスキンプレートに対しても同様 に肉厚を計測した.ただし孔食等の腐食箇所では,超 音場厚さ計により安定して板厚が計測できないため,板 厚計測は孔食等を避けて実施した. さらに, 上記残存 板厚計測に関連して、劣化環境の調査のために、漏水 のが存在する測定断面については漏水を採取し、イオ ンクロマトグラフ分析により塩化物イオン濃度を測定 した.



図-4 Cトンネルの軸方向における 10 測定断面の場所



図-5 Dトンネルの軸方向における 11 測定断面の場所



図-6 各測定断面における周方向の測定箇所

なお B トンネルについては,文献<sup>1)</sup> と重複する結果 が含まれるが,参照の都合のため再掲する.

#### 調査結果

#### (1) 劣化状況概要

はじめに目視等により確認できた全体的な劣化状況 について述べる. A, C, Dトンネルでは,継手等から の漏水や,図-7 に示すような,鋼材が大気中にさらさ れた結果発生したと考えられる腐食生成物が見られ,比 較的劣化は進行していなかった.ただし,図-8に示す ような孔食も,数は少ないが確認された.

一方, B トンネルでは全体的にスキンプレートに孔 食および孔食からの漏水,また継手部(リング継手およ びセグメント継手)からの漏水が多く見られた.図-9~ 図-11に, B トンネルで確認された特徴的な劣化状況を 示す.図-9では,スキンプレートに生じた孔食から浸



図-7 A トンネルで確認された腐食生成物



図-8 Cトンネルで確認された孔食(最大深さ 0.7 mm)



図-9 Bトンネル測定断面 9, 測点 7, 縦リブ腐食状況



図-10 Bトンネル測定断面 14, 測点 6, 主桁腐食状況

入した水により作られた水みち上にて,縦リブの腐食 減肉が確認された.腐食減肉量をノギスで計測したと ころ,トンネル内側方向の縦リブにて最大4.4 mmの板 厚減少が確認された.しかし,図-9に示す通り,水み ちの近傍において,水みちの外側では,縦リブに腐食 減肉は認められなかった.主桁についても,図-10に示 すように,図-9の縦リブと同様に水みち上での腐食が 確認され,さらにトンネル内側に向かって板厚減少量 が大きくなっていた.さらに図-11からは,トンネル内 側の縦リブの,腐食が原因と考えられる一部消失が確 認できる.



図-11 Bトンネル測定断面 19, 測点 2, 縦リブ腐食状況



図-12 漏水状況調查方法

### (2) 漏水状況調査の結果

漏水状況調査では、各4トンネルにおいて、スキン プレート部からの漏水およびリング継手部からの漏水 ならびにセグメント継手部からの漏水をそれぞれ目視 結果から集計した.なお図-6に示す通り、目視できる 範囲はインバート部を除く範囲に限られることに注意 されたい.

図-12に、漏水状況調査方法の概要を示す.一つのセ グメントリングの内, 主桁や縦リブに囲まれた範囲を1 枡と数えることにすると,本調査において,二本主桁の 鋼製セグメントの場合,一つのセグメントリングにお けるスキンプレートは21 枡ほどに区分される. 例えば Bトンネルではスキンプレートは約64500 枡に区分さ れる.この区分された枡の全数に対する,漏水が確認 された枡の割合をスキンプレート部からの漏水率とし て集計した.また、リング継手部については、一つのセ グメントリング間に存在するリング間継手を、図-12の ように左下, 天井部など5部位に区分する. それを全 リング間継手で考えたときの全部位に対する、漏水が 確認された部位の割合をリング間継手部からの漏水率 として集計した.最後に、セグメント継手に関しては、 その全数に対する漏水のあったセグメント継手の数の 割合をセグメント継手部からの漏水率として集計した.

表-1に漏水状況調査結果を示す.表-1より,Bトン ネルでは他のトンネルに比較してスキンプレート部お よびセグメント継手部からの漏水が多いことが確認で

#### スキン リング間 セグメント プレート部 継手部 継手部 Aトンネル 0.05 % 12.50 % 0.29 % Bトンネル 4.20 % 14.08 % 4.17 % Cトンネル 0.03 % 1.94 % 0.51 % Dトンネル 0.10 % 0.17 % 10.66 % 0.04 5000 0.035 4500 植代物イオン (mg/1) 0.030 4000 3500 **年間平均腐良速度** â (mm/年) 3000 □pH ・主桁 ・縦リブ 2500 0.01 2000 スキン 継手板 1500 0.010 ◆継手部スキ 1000 0.000 測定断面

表-1 漏水状況調査結果

図-13 A トンネルの測定断面ごとの各部材の年間平均腐食速 度および漏水の塩化物イオン濃度



図-14 Bトンネルの測定断面ごとの各部材の年間平均腐食速 度および漏水の塩化物イオン濃度

きる.また,リング間継手部からの漏水は4トンネル すべてでスキンプレート部,セグメント継手部からの 漏水よりも多かった.なおCトンネルでは他のトンネ ルに比較してリング間継手部からの漏水が少ない理由 として,建設当時の施工品質が関係しているのではな いかと考えられるが,リング間継手部からの漏水が最 も多い点については他のトンネルと同様であった.

# (3) 残存板厚計測および漏水の塩化物イオン濃度調査 の結果

図-13~図-16 に各トンネルにおいて縦断方向に設定 した,それぞれの測定断面ごとの各部材の年間平均腐 食速度および採取した漏水の塩化物イオン濃度を示す. なお図-13~図-16での年間平均腐食速度は,それぞれ の測定断面内の周方向の各7測点で計測した主桁等の 各部材の残存板厚の平均値を用いて,設計時の板厚と の差を建設からの経過年数で除することで,各部材に



図-15 Cトンネルの測定断面ごとの各部材の年間平均腐食速 度および漏水の塩化物イオン濃度



図-16 Dトンネルの測定断面ごとの各部材の年間平均腐食速 度および漏水の塩化物イオン濃度

ついてそれぞれ算出した.また漏水を採取できなかった箇所については,塩化物イオン濃度の値は0としている.

図-13~図-16からわかるように, Bトンネルの漏水 からのみ高い塩化物イオン濃度が検出された.特に, B トンネルの測定断面 12 において漏水の塩化物イオン濃 度は最大の 5000 mg/l を示し,これは海水の約4分の1 の濃度であり,コンクリート中の鉄筋の標準的な腐食 発生塩化物イオン濃度が 2.2 kg/m<sup>3</sup> である<sup>2)</sup> ことを考 慮すると,非常に高い濃度である.従って,Bトンネル の環境条件は鋼製セグメントが劣化を促進する環境と なっていることがわかる.このことは,小節(1)の目視 結果において B トンネルが他の 3 トンネルに比較して 劣化が進行していたことおよび,小節(2) においてスキ ンプレート部からやセグメント継手部からの漏水が多 かった点と符合する.

実際,図-13~図-16からわかるように,Bトンネル の各部材の年間平均腐食速度は他の3トンネルに比較 して速い傾向にある.ただし,図-14における主桁およ び継手版において最大の年間平均腐食速度となってい るのは測定断面14であり,最大の塩化物イオン濃度で あった測定断面12とは一致しなかった.



図-17 水みち上の腐食機構

# 4. 調査結果に対する考察

A, C, Dトンネルでは一部孔食が存在するが, 鋼製 セグメント各部材の腐食による年間平均腐食速度は概 ね 0.01 mm 以下であった.また,高い塩化物イオン濃 度が計測された Bトンネルでは年間平均腐食速度は最 大 0.027 mm であった.この年間平均腐食速度は,一つ の測定断面の 7 測点での板厚計測値の平均値であるた め,断面一様な板圧減少速度に読み替えられる.

一方で,図-10に示すように,Bトンネルの主桁のト ンネル内側部に局部的に 3.9 mm,年間平均約 0.2 mm の腐食による板厚減少が確認されている.この局部的 な腐食は,断面一様な腐食に比較して約 9 倍と,極め て速く進行していた.このため,鋼製セグメントの一 次覆工を有するシールドトンネルの終局状態を検討す る上で,局部的に速く進行する腐食のメカニズムを明 らかにする必要があると考えられる.

この主桁や図-9,図-11で観測された,縦リブの水み ち上にて,スキンプレート側からトンネル内側に向け て,腐食減肉量が大きくなっている腐食形態の原因と しては,図-17に示すように,トンネル内側からの酸素 の供給と,スキンプレートの孔食からの水の供給が重 なったことが考えられる.

したがって本調査のケースでは、スキンプレートの 孔食から水が供給が、その水みちにおいて、主桁や縦リ ブなど、他の部材の劣化速度を大きく増加させる原因 となったと考えられる.そのため、スキンプレートの 孔食の発生機構,孔食発生の進行の速さについて検討 することで,鋼製セグメントの一次覆工を有するシー ルドトンネル自体の劣化機構,その劣化進行の速さの 解明につなげられる可能性がある.

なお, B トンネルにおいてスキンプレートの孔食か らの漏水が多い原因としては,周辺環境の高い塩化物 イオン濃度の影響と考えられるが,表-1の漏水状況調 査結果からは, B トンネルにおいてはスキンプレート 部からの漏水だけでなくセグメント継手部からの漏水 も, A, C, D トンネルに比較して多くなっている.し かしセグメント継手部からの漏水は,スキンプレート 部からの漏水に比較して,他の部材に水みちを作る可 能性が低いと現状では判断し,スキンプレートの孔食 に着目したほうがよいと考えた.

#### **5.** おわりに

本稿では4つの通信用の現用シールドトンネルに関 して、軸方向および断面周方向にわたって主要構造部 材の劣化状況の調査結果を報告した.調査結果を考察 し、主桁や縦リブ上の水みち上での局部的な腐食の進 行速度が断面一様に進行する腐食よりも著しく速いこ とに着目し、主桁や縦リブに水みちを形成する原因と なるスキンプレートの孔食が、鋼製セグメントの一次 覆工を有するシールドトンネルの劣化の原因となる可 能性を指摘した.今後はスキンプレートの孔食の発生 機構を解明するための検証実験に取り組み、最終的に 鋼製セグメントの一次覆工を有するシールドトンネル の劣化予測手法の確立を目指す.

#### 参考文献

- 松本安弘,水野等,後藤和彦.シールドトンネルの一次 覆工減肉量調査結果の報告.土木学会第73回年次学術 講演会論文集,2018(8月末に口頭発表予定).
- 2) (社) 土木学会, コンクリート標準示方書維持管理偏, pp.174–175, 2013.
- 3) (社) 土木学会, 2016 年制定トンネル標準示方書 「シー ルド工法」・同解説, 2016.

(2018.8.10 受付)

# THE SURVEYS OF DETERIORATION OF PRIMARY LINING OF COMMUNICATION SHIELD TUNNELS

# Yasuhiro MATSUMOTO, Hitoshi MIZUNO, Keisuke AKARI and Kazuhiko GOTO

To perform optimum maintenance and repair for shield tunnels, it is important to grasp the deterioration mechanism. However, deterioration data of the primary lining is not sufficiently collected, and the deterioration mechanism is not clear. This is because current states of primary lining cannot be visually confirmed as the primary lining is covered with secondary lining. For this reason, we conducted a large-scale deterioration survey of the primary lining to obtain the investigation policy for clarification of deterioration mechanism. Through the surveys, it was observed that water leakage from the pitting corrosion of the skin plate increased when the deterioration of the primary lining progressed. Hence, we will focus on the mechanism of occurrence of pitting corrosion on skin plates for further study.