

スチール系セグメントを用いたシールドトンネルの長期耐久性について

早稲田大学 正会員 岩波 基

1. はじめに

高度経済成長期には多くの社会資本が整備され、これらは供用されて 40 年近く経過しており、補修・改修時期が迫っている。一般に、トンネルは完成後の改築が困難であるため、長期間にわたり供用する必要があり、維持管理による延命化が重要である。今後、トンネルの維持管理にあたっては、安全性や利用者満足度を確保しつつ、長期的な費用を低減させることが必要となっており、そのため、トンネルの建設時から長期耐久性を確保できるトンネル建設が必要となっている。

スチールセグメントにより構築されるシールドトンネルは急曲線部等以外では、比較的小口径の電力トンネル、通信トンネルそして下水幹線等に使用されることが多い。


東京電力では首都圏の電力需要に対応し、東京オリンピックを控えた昭和 30 年代後半から、随時地中送電設備の建設を推進してきた。その結果、約 450km に達する延長を管理している。また、現在も建設を進めている。一方、通信トンネルは、1928 年（昭和 3 年）に東京中央電話局に建設された長さ 365m のものが我が国初のトンネルである。戦後の 1953 年（昭和 28 年）から積極的に大規模なトンネルが建設されるようになり、1963 年（昭和 38 年）東京白金電話局トンネルでシールド工法が採用されて以降、現在、NTT が管理するシールドトンネルの総延長が約 350km に至っている。

東京都下水道局では、近代的な下水道を 1900 年（明治 33 年）に建設後、約 1500km の延長を建設し、その 80%以上がシールドトンネルである。

2. シールドトンネルの劣化状況

スチールセグメントを用いたシールドトンネルは直径 3m 程度よりも小さい場合に用いらてきたが、内面がコンクリートセグメントと異なり、二次覆工コンクリートを内側に打設して、トンネルの使用性を高めてきたため、スチール製セグメントの内面が二次覆工コンクリートで空気から遮断されることで劣化を生じないものと考えられてきた。

しかし、スチールセグメント製のシールドトンネルでも劣化が顕著となってきている。電力洞道の劣化変状の項目は、桁やボイルの腐食、二次覆工コンクリートのひび割れ、漏水量などがある。桁やボイルの腐食により洞道耐力が低下していると考えられる洞道の観察単位数は、洞道全体の極少量であり、現時点でその他の大部分の洞道は健全である。二次覆工コンクリートのひび割れについては、その発生原因は塩害や中性化等による桁・ボルトの腐食によるものや、乾燥収縮によるものなどさまざまな要因が複合したものだと考える。したがって、洞道の延命化を図るには、これらのひび割れの原因を見きわめたうえで補修を行なう必要がある。漏水は、直接に洞道耐力に影響しないが、付帯設備の影響（腐食）や漏水程度によっては、土砂流入に伴う周辺への影響（沈下など）を防止しなければならない。しかし、「滴下する程度の漏水」が生じている洞道は全長の約 1.7%程度あり、それ以外は「にじみ出し程度以下の漏水」もあった。

NTT シールドトンネルのうち二次覆工を持つトンネルでは、一次覆工が隠れた状態となっているが、トンネル移設や近接防護工事で一次覆工を露出させたとき、セグメントスキンプレーットの孔食や主桁の腐食が見つかることがある。さらに、洪積層内で二次覆工のあるトンネルから採取したセグメントサンプルで、1 のようにスキンプレーットに孔食が発生して大量な漏水を生じた事例がある。

キーワード シールド, セグメント, 耐久性

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3 丁目 4 番 1 号 早稲田大学 社会環境工学科 TEL 03-5286-3402

3. 補修・補強工法

スチールセグメントによるシールドトンネルは、二次覆工コンクリートによってスチールセグメントは覆われているため、腐食は継手部の主桁やボルトで生じていることが確認できるだけであり、日本においては耐荷力の低下で補強が必要になった事例がない。これは、地中の鋼材の平均腐食速度 $0.01 \sim 0.02 \text{mm/年}$ で有ることが、多くの地中で用いられている鋼材の実績から確認されており、設計の段階で、腐食代を設けて構造性能の安全性を確保しているためと考えられる。また、継手部のひび割れ部から露出している主桁やボルトが腐食を生じていても、優れた塗布材料が開発されているため、腐食による劣化速度を大幅に低減することが可能な状態となっている。また、継手部からの漏水が多く生じているトンネルがあるが、継手部からの漏水に対しては、水が流入する経路が特定できるため、セグメントやボックスカルバートの明確な漏水箇所に対する高品質な注入材料が開発されている。これによって、スチールセグメントによるシールドトンネルの継手における漏水を止めることが可能になりつつある。

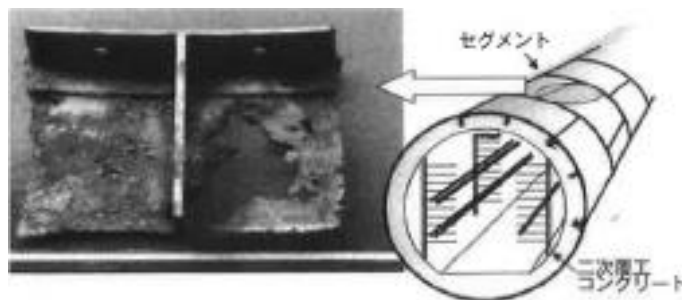


図1 影響検討方法概要¹⁾

4. 高耐久性セグメントについて

図1から分かるように、今までのトンネル研究者が想定していなかった漏水状況があることが判明した。つまり、スチールセグメントのスキンプレートが、二次覆工コンクリートと地盤に挟まれて、酸素の供給がほとんど無いと考えられる状況でも大きな腐食によって原形をとどめない状態となることである。報告によるとこの現象は、東京23区の広範囲に生じており、地下水の塩分が検出されないところにも多く出現している。確認された劣化対策の事例として、劣化の主要因である鋼材腐食の抑制に着目することとし、調査時点のデータを基に将来補修が必要となる箇所を予測し、劣化が軽微な段階で対策を実施している。

このような、スチールセグメントのスキンプレートに劣化によって孔が空くと、二次覆工では止水することが不可能となり、大量の漏水が生じる。この現象は、漏水が生じているところで、地下水が流入する位置を特定するため二次覆工にひび割れが入った箇所を研ったところ、多量な出水量となったため、地盤改良をして、スキンプレートの破損している場所を特定することができた。したがって、このような漏水を坑内から止水材注入で止めることは不可能である。

図1のような漏水は、全国の都市部のスチールセグメントのシールドトンネルで生じている。また、この地中内の腐食速度が想定より10倍以上である場合があると考えられるので、スチールセグメントの耐力性を向上する必要があるといえる。

スチールセグメント耐食性能を向上させる方法として、ダクタイルの採用やラッピングシールドなどが開発されてきたが、ダクタイルセグメントでは多くの補強が必要となる腐食事例があり、ラッピングシールドはその複雑な機構と費用の問題で採用されていないのが現状である。そこで、通常のスチールの外面を高品質な塗装材料で保護することで耐食性能を構造することが可能であると考えている。この塗装材料には、耐久性だけでなく施工時の局所荷重に対しても十分な耐荷性能を有することが求められる。このような材料の開発により、今後、供用年数が100年に変更されても対応できるような高性能のスチールセグメント製シールドトンネルの構築が可能となる。

参考文献

- ・ JTA 保守管理小委員会：トンネル保守管理における Q&A(最終回)，トンネルと地下，2019. 10