

NTTインフラネット(株) 正会員 大竹昌志
 NTTインフラネット(株) ○ 間崎 亮
 名古屋大学 正会員 木全博聖

1. はじめに

大都市内の通信地下設備は、多条数・大容量の通信ケーブルを収容するためとう道(トンネル)方式としている。

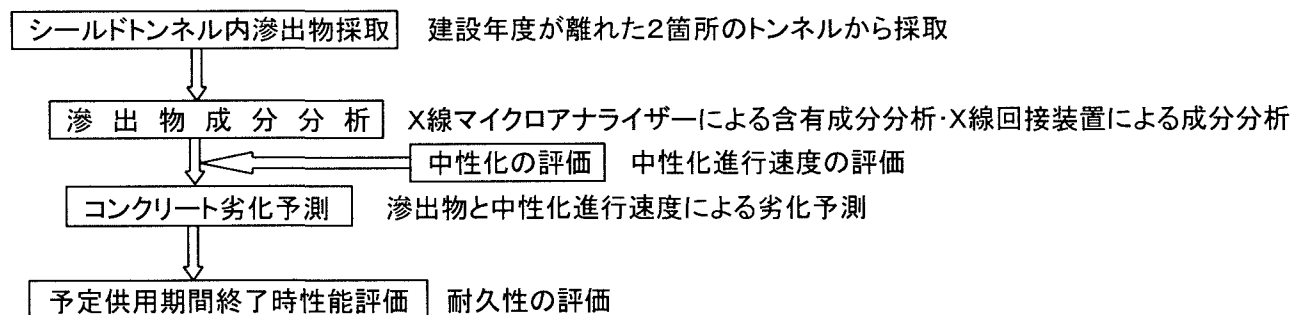
有効な都市土木の工法として定着しているシールドトンネルは、時間軸の増加に伴いシール材の劣化、地下水の変動(主に復水)、近接施工の影響を主原因とした二次覆工のひび割れ箇所から漏水が発生する。

漏水中に含まれる多量の微粒子は短期的には排水路に固結し、トンネル内通路を冠水させ作業に支障を来すだけでなく、排水先の下水道管渠の断面阻害に繋がる恐れがある。また、長期的には二次覆工コンクリートの耐久性低下、セグメント主部材の腐食による剛性の低下に繋がりシールドトンネルの耐久性を大幅に縮める懸念がある。

2001年には土木学会コンクリート標準示方書[維持管理編]が制定され、要求性能に対する劣化予測、耐久性評価を行うこととしており、維持管理の重要性からトンネル内滲出物の化学的分析と中性化の評価により長期的な性能評価を行った。

2. 性能評価手順

シールドトンネルの性能評価は以下の手順により行うこととした。



3. シールドトンネルのサンプリング

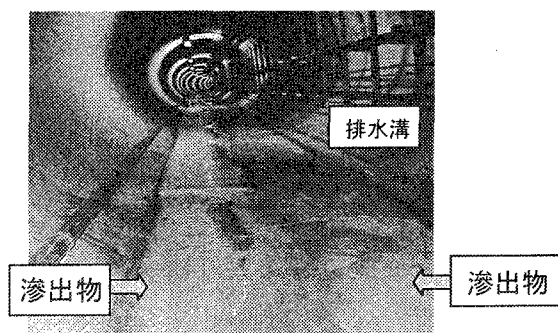
名古屋市内における通信用トンネルは39km保有しており、その中でシールドトンネルは18kmを占めている。

劣化予測を行うトンネルは、経年劣化を把握しやすくするため建設後25年経過と建設後7年経過したトンネルを選定して滲出物を採取した。

(1) 25年経過とう道

- ・セグメント外径: $\phi 3,100\text{mm}$ (6分割)
- ・トンネル内径: $\phi 2,550\text{mm}$ (二次覆工厚: 275mm)
- ・シール材: 非膨張系シール(シール溝なし)
- ・滲出物発生量: トンネル延長800mのほぼ全区間に点在して発生しており、 $1.3\text{m}^3/\text{年}$ の発生量と概測した。

写真-1 滲出物状況



(2) 7年経過とう道

- ・セグメント外径: $\phi 2,750\text{mm}$ (6分割)
- ・トンネル内径: $\phi 2,200\text{mm}$ (二次覆工厚: 275mm)
- ・シール材: 水膨張シール(シール溝なし)
- ・滲出物発生量: トンネル延長1,100mの内、200区間で発生しており、 $2.0\text{m}^3/\text{年}$ の発生量と概測した。

5. 滲出物の化学的成分分析

サンプリングした微粒子の結晶をX線マイクロアナライザーで元素分析した結果はCa(カルシウム)などが大半を占めており、X線回接装置により分析した結果は CaCO_3 であることが判明した。

なお、コンクリート中の次の化学反応により CaCO_3 が発生したものと判断できる。

すなわち、①コンクリート中の水和生成物の中の CaO (酸化石灰)が漏水により

②水に溶けて $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ となり

③空気中の炭酸ガスと化学反応し $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ の炭酸カルシウムとなる。

この炭酸カルシウムがトンネルに堆積、固結化して白い粉・霜柱・氷柱状となることが判明した。

写真-2 X線マイクロアナライザー-元素分析

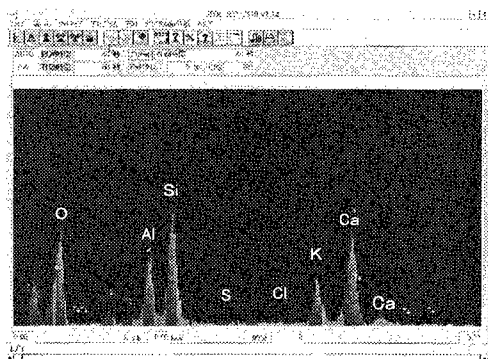
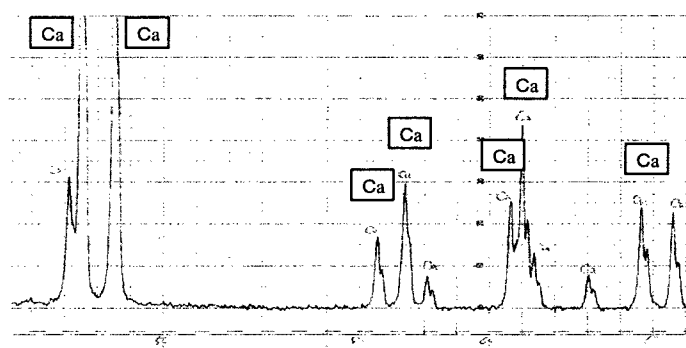


写真-3 X線回接装置分析写真



6. 中性化に対する評価

中性化の進行速度に大きな影響を及ぼす要素として①有効水結合材比、②中性化が最大となる湿度(50%程度)環境、③塩化物イオン総量があげられ、それぞれについて評価をした。

(1)有効水結合材比による評価

中性化深さと水結合材比の関係の回帰式 $y = (-3.57 + 9.0 \times W/C) \sqrt{t}^1$ で中性化深さを求めると、

・建設後25年経過とう道における中性化深さ $y = 6.9\text{cm}$

・建設後 7年経過とう道における中性化深さ $y = 3.7\text{cm}$

となるが、1%のフェノールフタレインエチルアルコール溶液の噴霧によっても中性化の進行はみられなかった。

また、シュミットハンマーによる強度確認においても設計圧縮強度の20.6MPa(210kgf/cm²)を越える値を示しており、コンクリートの脆弱化はないものと判断した。

(2)構造物設置環境

シールドトンネル内は夏季においては流入した高温空気が急激に冷却され、水分飽和状態となり結露が発生するため常時湿潤状態となる。また、冬季においてもトンネル内への少量の漏水により高湿度を保っており、乾燥状態とならない好条件を保っている。

(3)塩化物イオン総量

トンネル建設時のコンクリート配合表は保存がないため電子顕微鏡による分析結果による判定となるが、Clが僅かに含まれているだけであり、有害な塩化物イオン総量(0.3kg/m³以上)となっていないと推定できる。

以上のとおり、建設年度に相違はあるがいずれも良好な状態を保っている構造物といえる。

7. トンネル内滲出物の推定

フェノール溶液によるトンネル内面の中性化判定で「無色」を示し健全体であることから、トンネル内への滲出物はシールド一次覆工時の裏込注入グラウトと推定できる。

これまで裏込注入に用いたグラウトの標準的な配合における化学成分は以下のとおりである。

表-1 裏込グラウト硬化発現材 2)

化学成分(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fl ₂ O ₃	CaO	MgO
25~27	14~16	0.5~0.7	52.3~56.5	2~4

8. 性能評価

シールドトンネルは100年以上の耐用年数を期待しているが、中性化進行速度が微量であること、構造物設置環境が良好であることからの確な維持管理により十分な性能を有するものと判断できる。

9. 今後の維持管理

トンネル内への滲出物は今後も続くため、中性化の進行、コンクリートひび割れの定期的な点検・記録を継続し、構造物の変状を早期に発見し、ひび割れ進展期・加速期に至る前段の初期欠陥で補修を実施する。

<参考文献> 1) 土木学会:平成11年版 コンクリート標準示方書[施工編]-耐久性照査型-改定資料
2) 三木・斎藤・下田・木村:裏込注入工法の設計と施工