

開削トンネルのLCC低減を目的とした面的補修設計法の提案（その1）

－面的補修設計法の構成－

エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社	正会員	○橋本 暁典
エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社	正会員	竹内 光
エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社	非会員	工藤 輝生
西日本電信電話株式会社	正会員	田中 実

1. はじめに

通信ケーブルを敷設することを目的とした開削トンネル（以下、開削とう道と称す）は、建設から20～30年経過したものが多く、一部の開削とう道で劣化が進行している。特に鉄筋の露出により劣化した開削とう道では、目視で確認された鉄筋露出に対して補修を行う事後保全型の維持管理が行われていた。これに伴い補修した近傍で新たに鉄筋露出が現れることが往々に見られ、同じ区間で繰り返し補修を行う必要が生じるなどの問題が発生していた。

そこで筆者らは、劣化予測からLCC評価までの予防保全型の維持管理を目指した一連の仕組みを“面的補修設計法”と称し、検討を行った。本報告では、面的補修設計法の構成とその核となる劣化予測について述べる。

2. 開削とう道の特徴

開削とう道の主な特徴を写真-1、図-1に示す。開削とう道は、鉄筋コンクリート部材により構成された箱型ラーメン構造である。その環境は、乾燥と湿潤を繰り返し、かつ湿度も平均で50%程度であるため、中性化が進行しやすい環境下にある。また塩害は、内在的な塩分によるものが大半を占め、飛来塩分による影響は少ない。



写真-1 開削とう道の全景

◆開削とう道の主な特徴

- 鉄筋コンクリート構造
- 箱型ラーメン構造で1層1区間が多数
- 内空高 2.25～3.65m×内空幅 2.05～4.70m
- 25年以上経過した構造物が約40%
- 主な劣化因子は中性化と塩害に集約
- 通信ケーブル敷設が目的の構造物
- ケーブルを敷設するための筋金物が0.8～1.0m間隔に設置
- 補修時のケーブル養生費が高額

図-1 開削とう道の主な特徴

3. 面的補修設計法

面的補修設計法は、目視で確認できる鉄筋露出の補修のみならず、劣化予測によって設計耐用期間内に鉄筋質量減少率が一定値を上回ることが予測される箇所を面として捉え、予防保全的に補修・補強を施す設計法である。ここで、面的補修設計法のフローを図-2に示す。面的補修設計法は、将来的に劣化することが考えられる箇所を予防保全的に補修することで、長期の維持管理コストを見越したLCCの低減を目的としている。各種必要なデータを得る点検（以下、面的点検と称す）を行った後、そのデータにより劣化予測をする。劣化予測結果から、劣化レベルごとにゾーン分けをし、各ゾーンに見合った補修・補強工法を選定する。それによってLCCを算出し、その開削とう道に合った補修工法、さらに維持管理計画を策定する。このような一連の補修設計の仕組みが面的補修設計法であり、この考え方を取り入れることで、開削とう道の維持管理を計画的、かつ経済的に実施できると考える。

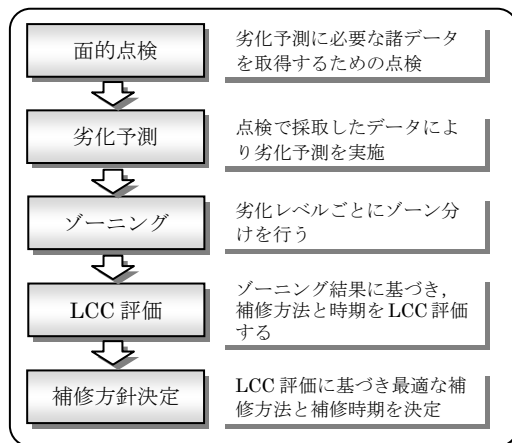


図-2 面的補修設計法のフロー

4. 面的点検および劣化予測

面的補修設計法では、劣化予測により対象構造物のどの部位がいつ劣化するかを把握することが重要となるため、劣化予測式により劣化の進行過程を明確にする必要がある。劣化予測を行うためには、鉄筋かぶりや中性化、塩化物イオン量など諸数値を要することから、これらのデータを面的点検によって取得する。ここで表-1に面的補修設計

キーワード 予防保全、面的補修設計法、劣化予測、開削トンネル、鉄筋露出

連絡先 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-31-1 浜町センタービル 15F NTT インフラネット(株) TEL03-5645-1019

計法で用いる劣化予測式¹⁾²⁾を示す。なお開削とう道では、2項に示した通り、劣化因子が中性化と内在塩分に集約されるため、劣化予測においてもこれらの複合劣化を考慮している。

表-1 面的補修設計法で用いる劣化予測式

劣化過程	目視による劣化状況	鉄筋の腐食速度の適用式	劣化進行のイベント
①潜伏期	コンクリートは異常無し (鉄筋も健全)	—	中性化残りが 10mm 以下 or 塩化物イオン量 1.2kg/m ³ 以上で進展期に移行
②進展期	コンクリートは異常無し(コンクリート内部では鉄筋が腐食を開始)	$\frac{dr}{dt} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{c}} \times (19.34Cl^- + 0.748W/C - 49.4)$ ここで、 dr/dt : 腐食速度 (mm/年) c : 鉄筋かぶり (mm) Cl^- : 塩化物イオン量 (kg/m ³) W/C : 水セメント比 (%)	腐食ひび割れが発生 ^{*1} すると加速期前期に移行
③-1 加速期(前期)	コンクリート表面に微細な腐食ひび割れを確認		コンクリートが剥離・剥落 ^{*2} すると加速期後期に移行
③-2 加速期(後期)	表面のコンクリートが剥離・剥落し鉄筋が露出	$\frac{dr}{dt} = A \times t^n$ ここで、 dr/dt : 腐食速度(mm/年) A : 係数 0.14 (一般工業都市地帯) n : 係数 0.60 (一般工業都市地帯)	鉄筋質量減少率が 15%以上で劣化期に移行
④劣化期	露出した鉄筋の腐食を確認		—

※1 腐食ひび割れが発生する腐食深さ : $\Delta h_{cr} = 13 \times (c/\phi) \times 10^{-3}$
※2 剥離・剥落が発生する腐食深さ : $\Delta h_{sp} = 56 \times (c/\phi) \times 10^{-3}$ ここで、 c : 鉄筋かぶり (mm), ϕ : 鉄筋径 (mm)

これらの劣化予測式は、実験から得られた式であり、現在供用している全ての開削とう道の劣化事象に合致するとは考えにくい。このため劣化予測は、一つのシミュレーション結果として捉え、実際に発生している劣化の状態と劣化予測結果を比較しながら、カスタマイズしていくことが重要であると考える。

5. ゾーニング

劣化予測結果は、鉄筋質量減少率が 15%を超える時期を閾値としてゾーン分けする。ここで、表-2 に面的補修設計法のゾーニングの考え方を示す。表-2 に示すように、劣化予測結果ごとにゾーン分けすることで、鉄筋露出しているゾーンⅠ、Ⅱ-1 に加えゾーンⅡ-2 を補修の対象範囲にすること、さらにゾーンⅢが無処置で良いことを明確にすることができる。

表-2 ゾーニングの内容

ゾーニング	内容	露筋	処置	主な工法
ゾーンⅠ	点検から 5 年後までに鉄筋質量減少率が 15%を超過	有	補強	断面修復 表面被覆
ゾーンⅡ-1	設計耐用期間中に鉄筋質量減少率が 15%を超過	有	補修	断面修復
ゾーンⅡ-2		無	補修	表面含浸
ゾーンⅢ	設計耐用期間中に鉄筋質量減少率が 15%以下	無	無処置	—

※設計耐用期間は 100 年と設定³⁾した。

6. LCC 評価

LCC 評価は、各ゾーンに補修・補強工法を設定し、対象となる開削とう道に適した補修方法や補修時期を選定することを目的に行う。ここで、LCC 評価を表した一例を図-3 に示す。図-3 のように対象となる開削とう道の維持管理費用を時系列で示すことで、長期的な維持管理費用の観点から投資判断を行うことができるツールとなる。

7. まとめ

本報告では、LCC の低減を目的とした面的補修設計法の構成と、その核となる劣化予測を主として述べた。この面的補修設計法を取り入れることにより、全国の開削とう道で効率的な維持管理計画を策定し費用の平準化を図れることができ、さらに個々の開削とう道では繰り返し補修を最小限にし、LCC を低減できると考える。今後は、供用中の開削とう道で面的補修設計法を運用し、データを積み重ねることで劣化予測や LCC の精度を高めていくことが望まれる。

【謝辞】本稿をまとめるに際して、ご指導・ご助言を賜りました京都大学大学院宮川豊章教授、財団法人鉄道総合技術研究所鳥取誠一氏に深謝致します。

【参考文献】

- 1) 鳥取誠一, 宮川豊章：中性化の影響を受ける場合の鉄筋腐食に関する劣化予測, 土木学会論文集, No.767/V-64,35-46,2004.8
- 2) 鳥取誠一, 宮川豊章：初期塩化物イオンの影響を受ける場合の鉄筋腐食に関する劣化予測, 土木学会論文集, No.781/V-66,157-170,2005.2
- 3) 土木学会：トンネル標準示方書 [開削工法]・同解説, 2006 年制定

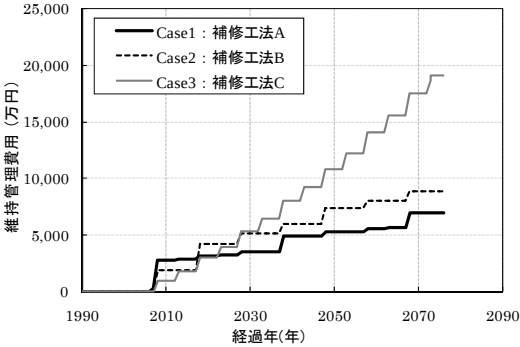


図-3 LCC 評価の一例