

箱型トンネルにおける材料劣化が構造物の力学性能に与える影響に関する解析的検討

東京地下鉄(株) 正会員 ○河畑 充弘

東京地下鉄(株) 正会員 辻 貴大

(株)メトロレールファシリティーズ 正会員 渡邊 貞之

(株)コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史

1. はじめに

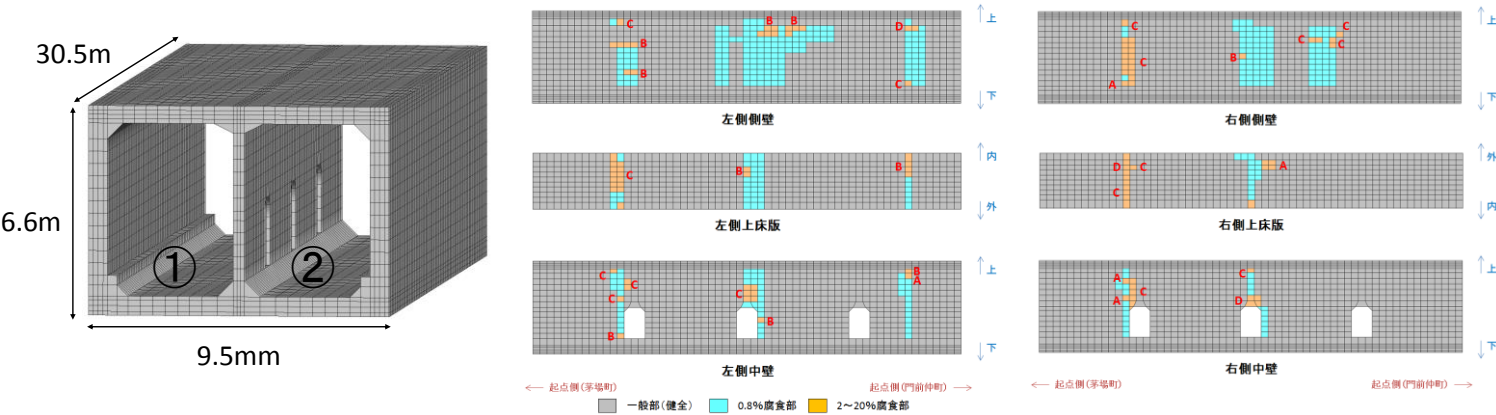
現在、構造物の長寿命化対策の研究は、多くが材料劣化に特化したものである。東京地下鉄株式会社（以下、東京メトロ）においても、これまでに外部有識者を交えた委員会により、中性化や塩害に対する劣化予測や補修方法を検討し、継続的に対策を実施している¹⁾。一方で、RC 構造物にとって塩害のような急激な鉄筋腐食を伴う劣化現象の発生は、将来に渡っての耐久性に影響を与えることは想像できるものの、その相互関係を定量的に検討した事例はあまり存在しない。

本検討では、基礎研究として箱型トンネルの材料劣化が構造物の力学性能に与える影響を解析的に検討した。

2. 解析概要

検討断面の要素分割図を図－1 に示す。解析には3次元有限要素非線形解析モデル「COM3」²⁾を用いて、荷重状態は常時を想定した。解析ケースとして、健全状態と実際のトンネルにおける劣化状態の2 ケースを実施した。ここで、後者の劣化状態は東京メトロにおいて漏水に含まれる塩分による塩害が顕著な実際の区間の情報を模擬した。現地の劣化位置・範囲・状態を対応する要素に反映させ、図－2 に示す鉄筋腐食要素分布図に再現した。

塩害区間の補修は、浮きのあるかぶりコンクリートを除去し断面修復を行う構築補修と表面含浸材塗布を劣化状態・塩害範囲によって組み合わせて実施している。構築補修を実施した箇所においては、コンクリートはつり時に計測した鉄筋腐食度³⁾を反映したが、はつりを行わない表面含浸材塗布を行った箇所は腐食率0.8%と仮定した。各グレードにおける鉄筋の腐食率は、表－1 のように設定した。



図－1 要素分割図

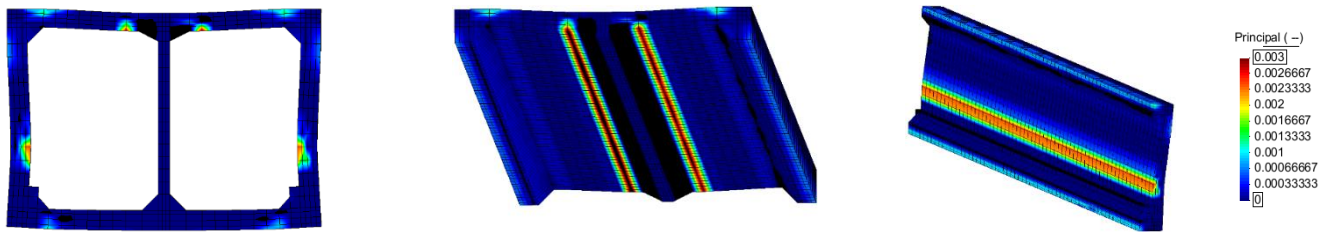
図－2 鉄筋腐食要素分布図（左：①側、右：②側）

表－1 解析で設定した鉄筋腐食率

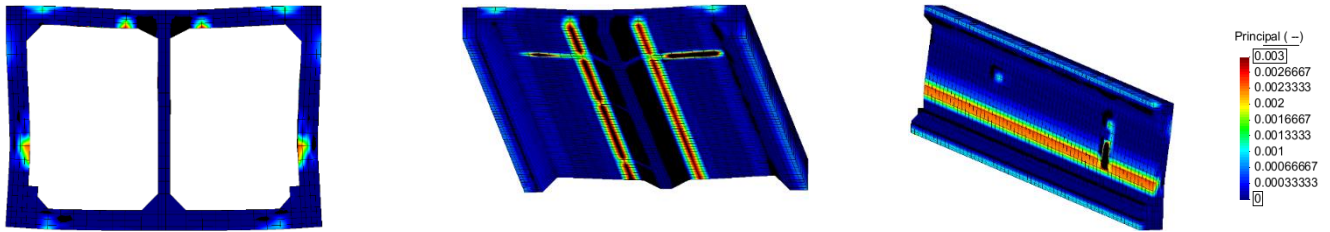
	表面含浸材	腐食度：A	腐食度：B	腐食度：C	腐食度：D
腐食率(%)	0.8	2.0	5.0	10.0	20.0
鉄筋の状態 ³⁾	はつりによる目視確認なし				

キーワード 材料劣化、力学性能、3次元解析、塩害、鉄筋腐食度、常時

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄株式会社工務部土木課 TEL03-3837-7264



図—3 健全状態における解析結果（変形を 20 倍に拡大）（左：横断面、中央：上床版、右：側壁）



図—4 劣化状態における解析結果（変形を 20 倍に拡大）（左：横断面、中央：上床版、右：側壁）

3. 解析結果及び考察

(1) 健全状態の解析結果

健全状態の解析結果を図—3に示す。これによれば、トンネル上床版及び側壁下部に縦断的に降伏ひずみを超える比較的、大きな引張ひずみが発生している。これは、鉄筋の重ね継手部分はどちらか一方の細い方の鉄筋のみ考慮して、安全側にモデル化しているためと考えられる。実際には、構造面では鉄筋の重複が存在すること、加えて環境面において漏水は通常、横断面方向に伝播するため、本解析結果と重なるような変状は発生しづらい。しかしながら、漏水の弱点となる側壁の打継目などの位置によっては上記、解析上の弱点と重なる可能性があるため、力学性能に着目した維持管理上の注目点を考える上で、一助となる検討結果となった。

(2) 劣化状態の解析結果

次に、劣化状態の解析結果を図—4に示す。これによれば、塩害による鉄筋腐食部分で大きな引張ひずみが発生しているものの、側壁における変位は健全状態と比較して数 mm 程度の増加に留まり、過大な変形は発生していない。変形モードも健全状態と大きく変わらず、構造物全体系は保たれていることが確認できる。これは、トンネルが不静定構造であることと、3次元モデル化したことで局所的に生じる鉄筋腐食の影響が構造全体では緩和されることにより、構造性能が著しく低下しないためと推察される。また、別途、静的に水平加速度を付与した簡易的な解析を実施しているが、3次元構造とした場合、健全状態と比較して大きな差異はないことを確認している。これより、材料劣化が厳しいといわれる塩害区間の変状であっても、本稿で検討した程度の劣化状態では、常時荷重に対する箱型トンネルの構造性能が大きく低下する状況は認められないと言える。

4. 結論及び今後の展望

本解析検討で得られた知見を下記に示す。

- ① トンネル上床版及び側壁下部に縦断的に大きな引張ひずみが発生しているが、これは鉄筋継手部のモデル化に起因するものであり、力学性能を考慮した維持管理上の着目点を考える一助となる検討結果を得た。
- ② 常時荷重において、鉄筋腐食部で大きな引張りひずみが生じているものの、変位モードとしては構造物全体系を保っていることが確認され、現状の劣化状態では構造物の力学性能に与える影響は小さいと言える。
- ③ 今後の展望として、将来にわたり更に劣化が進行した状態や様々な劣化位置・範囲での検討を実施とともに、地震荷重も対象としながら力学性能から見た維持管理上の着目点や管理値の設定を目標としていきたい。

参考文献

- 1) 亀井啓太, 武藤義彦, 諸橋由治, 辻貴大, 保栖重夫, 野口正則: 感潮河川下を横断する地下鉄トンネルの塩害対策工事報告, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016
- 2) Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanmas, A. : Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, SPON PRESS, 2003.
- 3) 日本コンクリート工学会: コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針, 2013