

## トンネルの漏水による劣化挙動の検討

早稲田大学 学生会員 ○坂口 裕樹 (株)熊谷組 正会員 山口 哲司  
早稲田大学 正会員 岩波 基

### 1. はじめに

我が国のトンネル構造物において漏水が生じることは一般的に起こっており、漏水が構造物の経年劣化を促進するものと考えられている。しかし、トンネルの漏水が劣化要因となるメカニズムは明らかになっていないのが現状である。

そこで、本研究では、コンクリートひび割れからの漏水によるカルシウムイオンの溶出に着目し、ひび割れ面における酸化カルシウムの溶出からコンクリートの pH の低下および圧縮強度の低下について、実験結果から推定を行った。

### 2. 目的

本研究では、77 日間の漏水実験で溶出した酸化カルシウム量を EPMA 分析により求めた。そして、酸化カルシウムの減少割合とカルシウムイオンの減少割合が同程度であると仮定の元に、水酸化物イオンのコンクリート細孔内濃度を推定して pH を算出した。また、圧縮強度についても、コンクリートカルシウム成分についても同様の仮定でセメント水比を算出し、低下した圧縮強度推定した。

さらに、コンクリートの低下後の pH から 50 年後の鉄筋の半径変化量を計算した。

以上の値から、50 年後のトンネルコンクリートの耐荷力を算出し、漏水がコンクリート構造物に与える影響を定量化することを目的とした。

### 3. 漏水実験

ひび割れの入れたコンクリートのひび割れ部に、77 日間にわたって地下鉄の平均漏水量の通水を行い、実験終了後に通水した表面と通水した水の化学成分分析をおこなった。図-1 にその概要図を示す。

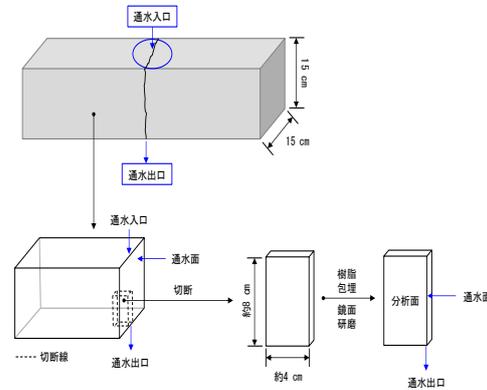


図-1 漏水実験の概要図

### 4. カルシウムイオンの溶出量の計算方法

前述の仮定に基づき漏水実験で得られたデータについてカルシウムイオン溶出量の計算をおこなった。イオン移動式として Nernst-Planck 式、Debye-Hückel 理論および電気的中性条件を用いて計算をおこなった<sup>1)</sup>。

### 5. 圧縮強度低下量の算出方法

カルシウムイオンの溶出によりコンクリートの緻密性は低下し、圧縮強度が低下する。また、一般的にコンクリートの圧縮強度とセメント水比は比例関係にあると言われている。以下の圧縮強度とセメント水比の関係式を採用した<sup>2)</sup>。

$$\sigma = 31.5C/W - 19.7 \quad (5.1)$$

カルシウムイオンの溶出量より、実験後のセメント水比を求め、式(5.1)に代入して実験後の圧縮強度を求める。計算結果を表-1 に示す。

表-1 セメント水比と圧縮強度

	実験前	実験後
セメント水比	1.582	1.467
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	30.133	26.511

キーワード 地下構造物, 漏水, 経年劣化, カルシウムイオン, コンクリート成分の溶出

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 構造研究室

6. pH 低下による鉄筋腐食の定量化

カルシウムイオンの溶出によりコンクリート内の pH が低下する. 77 日間における pH 低下量の計算結果を表-2 に示す.

表-2 pH の変化

	実験前	実験後
pH	13.025	13.021

その結果生じる鉄筋腐食による半径変化量を図-2 のグラフより定量化する<sup>3)</sup>.

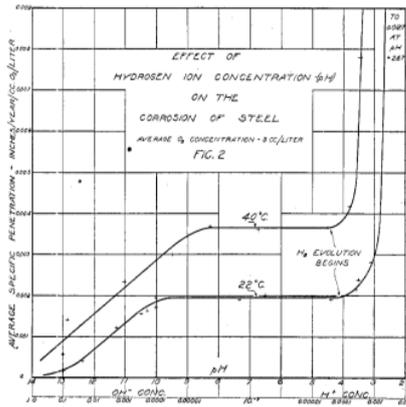
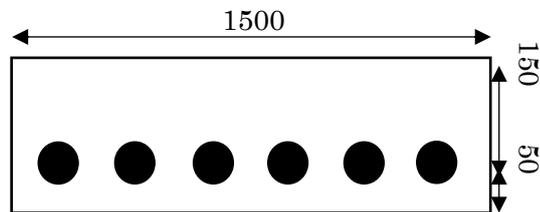


図-2 pH と鉄筋腐食速度の関係

実験後の半径変化速度は約  $5.080 \times 10^{-3}$  mm/year となり, 50 年後の減少量は 0.254mm で有効径は 21.492mm となった.

7. コンクリート構造への影響の検証

図-3 の断面図について, pH が低下したことによる影響を終局曲げモーメントを求めることで評価することにした.



鉄筋の直径は 22mm

計算結果を表-3 に示す.

表-3 終局曲げモーメントの比較

	実験前	50 年後
終局曲げモーメント	96.609	91.715

(単位: kN・m)

8. 結果に対する考察

7 で得られた結果より, pH 低下に伴う鉄筋腐食が原因で生じた半径の減少により終局曲げモーメントが 96.909kN・m から 91.715kN・m となった. この結果より, 鉄筋の腐食はわずかな量でもコンクリートの耐久性に大きな影響をもたらす可能性があることが判明した.

9. おわりに

本研究では, 漏水による地下構造物の経年劣化のメカニズムを定量的に解明するため, 短期的な漏水実験と既往の研究から解明を試みた. 経年劣化は様々な要因が絡み合っているものであり, 計算通りに劣化が進んでいくとは言い難い. 今後は, さらに長期にわたる漏水実験をおこなうとともに既存の地下構造物の経年劣化状況のデータ収集および分析をおこなうことでメカニズムの解明を試みる予定である.

参考文献

- 1) 皆川浩・大即信明・宮里真一・西田孝弘「複数イオンの移動を考慮したコンクリートからのカルシウムイオン溶出に関する数値解析的予測手法の構築」, 土木学会論文集 Vol.54 No.3 2002.2
- 2) 太平洋セメント株式会社 セメント総合技術資料 2012.3
- 3) G.W.Whitman, R.P.Russell, V.J.Altieri 「Effect of Hydrogen-Ion Concentration on the Submerged Corrosion of Steel」, ACS Publications Vol.16 No.7 1924.7

※今回の実験で推定した鉄筋半径の減少速度は一定と仮定しているが, 腐食により生じる電位差で大幅に増大することが考えられる.