

早期に水酸化カルシウムが溶脱するセメントペーストの微細構造

金沢工業大学大学院 学生会員 ○土橋 朋生*1

金沢工業大学 正会員 木村 定雄*1

1. はじめに

無筋コンクリートからなる山岳トンネルの覆工コンクリートの変状要因には、外的要因と内的要因がある¹⁾。このような変状要因によって、道路や鉄道など一般人が利用するトンネルでは、コンクリート片がはく落する現象が生じるケースがある。ここで、水酸化カルシウムの溶脱は、コンクリート中に多孔化を生成し、ひび割れ進展を促す。さらに、溶脱の過度な進展はコンクリート片のはく落現象の素因となると考えられる。

筆者らは、覆工コンクリート中の水酸化カルシウムの溶脱現象²⁾を素因として、セメント硬化体の自己収縮、環境作用および外力作用などの外的要因が誘因となってコンクリート片がはく落する現象メカニズムの仮説³⁾を立てた(図1参照)。図1中のフェーズⅠは覆工コンクリートに何らかの原因によって生じた貫通ひび割れを通して、地山から水が流入し、水酸化カルシウムの溶脱が開始する早期の段階である。フェーズⅡは、水酸化カルシウムの溶脱によってひび割れ近傍が多孔化し、さらにひび割れが進展する段階である。

筆者らは、貫通ひび割れの発生および漏水が開始するフェーズⅠの段階において、覆工コンクリート中の水酸化カルシウムが溶脱して、多孔化が進展する現象を確認することを試みた。本報告は、示差熱重量分析(TG-DTA)および走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウムの含有率の測定結果ならびに水酸化カルシウムの溶脱によるセメントペーストの微細構造の変化について述べるものである。

2. 実験概要

トンネル内の漏水環境を模擬するために、直径25mmのセメントペースト供試体を作製し、8日間の標準養生を経て、長さ10mmずつに切断し、また割裂によって覆工コンクリートのひび割れ面をモデル化した。写真1は供試体を示したものである。なお、水セ

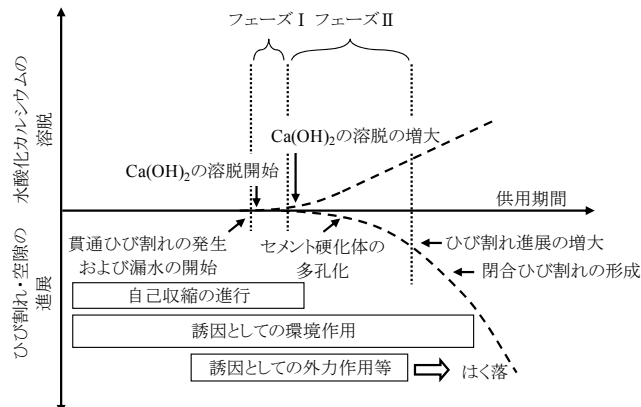


図1 水酸化カルシウムの溶脱とひび割れ進展

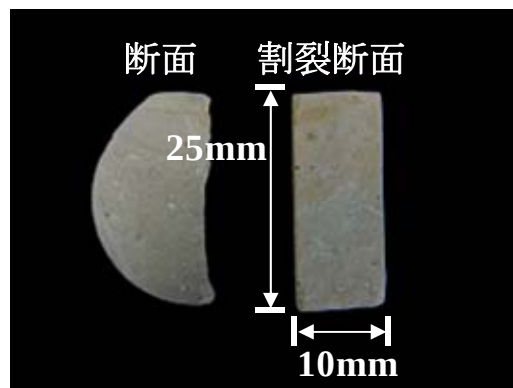


写真1 セメントペースト供試体

メント比の影響を検討するため、30%、50%、70%の3ケースを設定した。次に、トンネル内の環境を模擬して、乾燥状態(20℃, 60%RH)、湧水状態(20℃), 促進中性化状態(30℃, 60%RH)の3種類の環境状態を設定した。

フェーズⅠの早期の段階を6ヶ月間までとし、1ヶ月ごとに試料を採取し、割裂断面をこれらの環境状態に曝した。その後、TG-DTAによって水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの含有率を測定した。また、SEMによって割裂断面の表面の微細構造を観察した。

3. 実験結果およびその考察

本報告では、早期に変化が確認された水セメント比70%の供試体の結果について示す。

キーワード ひび割れ, 水酸化カルシウムの溶脱, トンネル覆工, 劣化

連絡先 *1:〒924-0838 石川県白山市八束穂3-1 地域防災環境科学研究 TEL:076-274-7704 FAX:076-274-7102

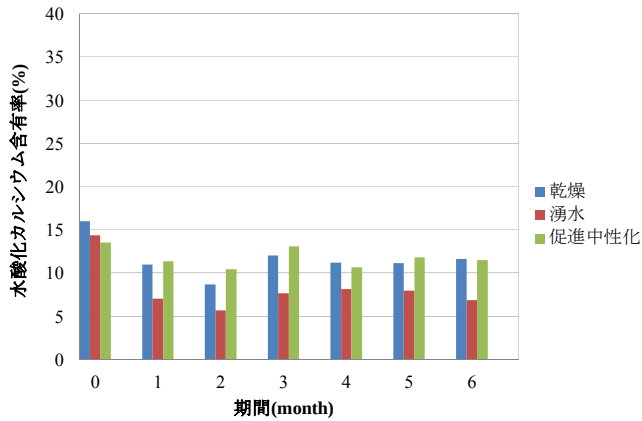


図2 各環境状態における水酸化カルシウムの含有率

図2および図3に、初期状態から6カ月後までの割裂断面の表面の水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウムの含有率を示す。乾燥状態と促進中性化状態では、水酸化カルシウムの含有率に顕著な変化は認められない。また、炭酸カルシウムの含有率は両者ともに増加する傾向がある。湧水状態では、水酸化カルシウムの含有率は若干減少する傾向がある。また、炭酸カルシウムの含有率は安定した傾向が認められない。

写真2、写真3および写真4に、乾燥状態、湧水状態および促進中性化状態の6カ月後の割裂断面の表面のSEM画像を示す。乾燥状態と湧水状態とを比較すると、湧水状態では微小な空隙が存在している可能性が高い。これは、湧水状態において割裂断面の表面から水酸化カルシウムが溶脱したためと考えられる。乾燥状態と促進中性化状態とを比較すると、促進中性化状態では角張りの大きな粒子が存在している可能性が高い。これは、C-S-Hの形成とセメントに含まれる水酸化カルシウムが炭酸化カルシウムに変化したためと考えられる。

以上のことから、貫通ひび割れによって漏水が生じる早期の段階においては、水酸化カルシウムの溶脱現象が進展する可能性が高いと考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルライブラリー12号 山岳トンネル覆工の現状と対策, pp.63-71, 2002,9
- 2) 土木学会：化学的侵食・溶脱研究小委員会報告書, pp.72-75, 2001,2
- 3) 辻本剛士, 木村定雄：覆工コンクリート中の水酸化カルシウムの溶脱とひび割れ進展のメカニズムの考察, 第65回年次学術講演会, V-214, 2010,9

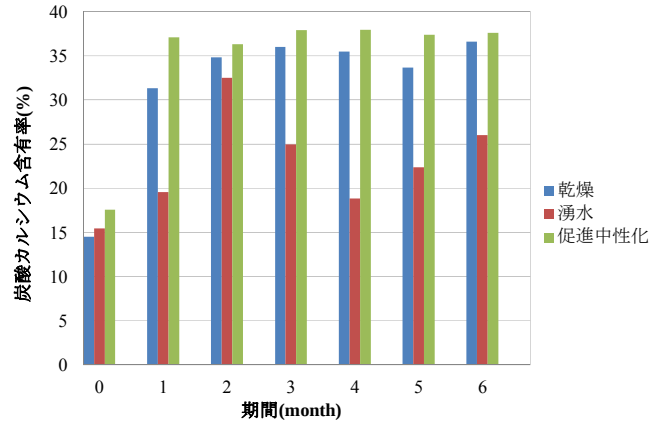


図3 各環境状態における炭酸カルシウムの含有率

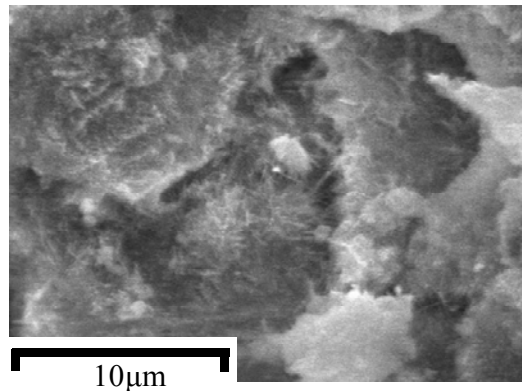


写真2 乾燥状態(W/C 70%)のSEM画像

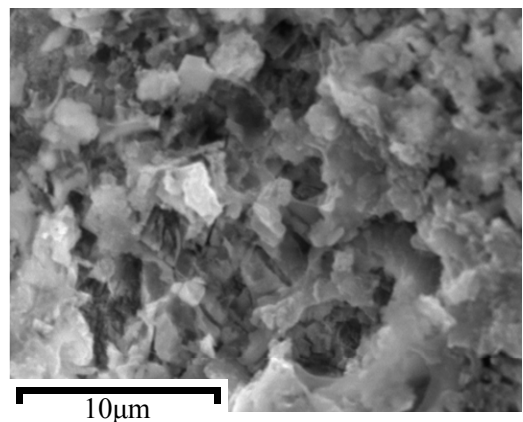


写真3 湧水状態(W/C 70%)のSEM画像

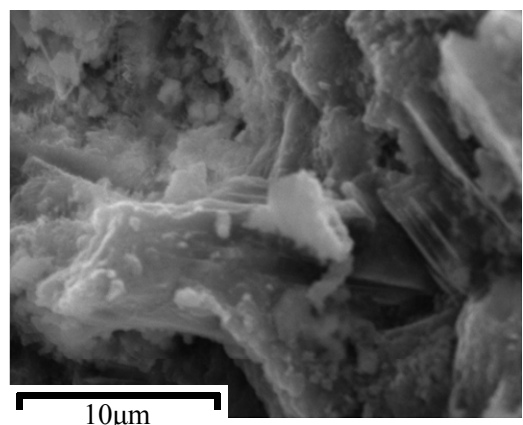


写真4 促進中性化状態(W/C 70%)のSEM画像