

トンネル覆工コンクリートの早期段階のカルシウム溶脱現象の解明

金沢工業大学大学院 学生員 ○望月秀太郎*1
金沢工業大学 正会員 木村 定雄*1
金沢工業大学 正会員 大嶋 俊一*2

1. はじめに

覆工コンクリートの材質劣化によるはく離現象は目地付近に多い。一般に、コンクリートがはく離する変状は、覆工コンクリート中のジャンカの存在や乾燥収縮作用などによるひび割れの進行によって生じるものと考えられている。また、この変状の進行では漏水を伴うことが多い。そこで、筆者らは漏水によって覆工コンクリート中のカルシウムが溶脱することが変状の進行に強く影響すると考え、図1に示す仮説を立てた¹⁾。

カルシウム溶脱は、硬化体組織の変化が極めて長期間にわたり緩やかに生じる現象とされている²⁾。このため、そのメカニズムの解明が難しく、現象の確認のための実験方法も確立されていない実情にある。

本報告はコンクリート打設後、早期のカルシウム溶脱現象を確認する手法として、キレート滴定をとりあげ、その適用性を検討したものである。

2. カルシウム溶脱現象

カルシウム溶脱とは、コンクリート中の水和物が供用環境に存在する硬度の低い水分に溶解し、組織が粗になる現象を言う。すなわち、セメントペースト中の水和物はケイ酸カルシウム水和物(以下、C-S-Hと呼ぶ)とCa(OH)₂が多くを占める。まず、比較的水に溶解しやすい水酸化カルシウムが溶出する(図2参照)。次に図3に示すように拡散現象により細孔溶液中のCa²⁺とOH⁻が外部溶液へ移動する。その後、化学平衡の維持により外部溶液へ移動したCa²⁺とOH⁻に見合う量のCa²⁺とOH⁻が水和物の溶解によって供給される。皆川ら³⁾によると、漏水に伴うカルシウム溶脱はCa(OH)₂がC-S-Hよりも先行するとしている。

3. カルシウム溶脱の分析

(1) 供試体の概要

供試体は、普通ポルトランドセメントのペーストを用いて、内径 20mm の塩化ビニル管を型枠として作製した。トンネルの覆工コンクリートの配合を模擬するため、

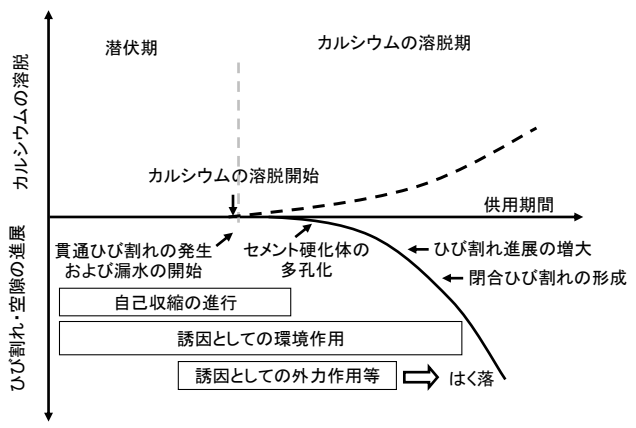


図1 カルシウム溶脱によるひび割れ進行の仮説

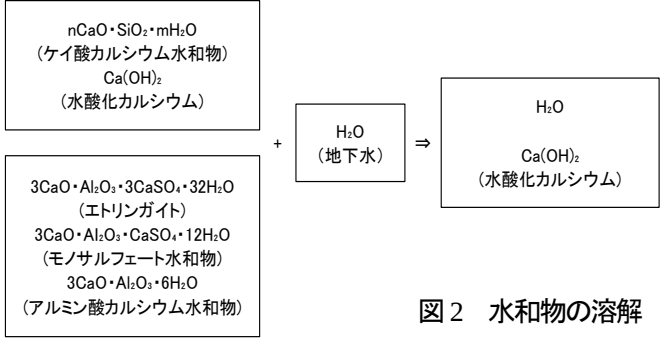


図2 水和物の溶解

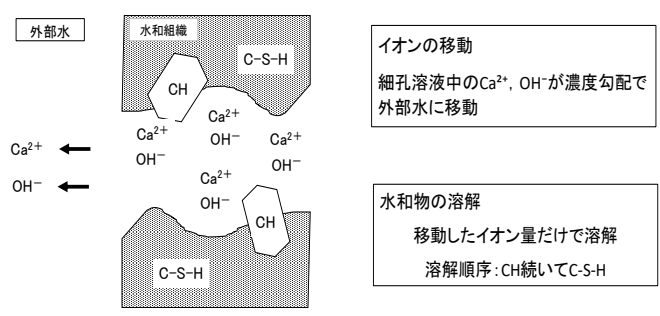


図3 溶脱機構の模式図²⁾

表1 供試体の配合

W/C(%)	単位量				
	(kg/m ³)				
	W	C	VT	T	Ad
50	602	1225	6.1	3.1	1.0

VT: 特殊増粘剤 T: 消泡剤 Ad: 流動性調整剤

キーワード カルシウム溶脱, トンネル, 材質劣化, キレート滴定, 覆工コンクリート
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所 TEL:076-274-7009 FAX:076-274-7102
*2:〒924-0838 石川県白山市八束穂3-1 生活環境研究所 TEL:076-274-9266 FAX:076-274-9251

W/Cは50%とした。表1はその配合を示したものである。ここで、ブリーディングを抑止する目的でVT, TおよびAdを加えている。なお、VT, TおよびAdにはカルシウム成分が含まれない。セメントの水和反応は時間経過とともに進行し、C-S-Hの生成が十分に進行すると、カルシウム溶脱現象の進行が遅くなる。本実験は、一般に覆工コンクリートの脱型時期が2～3日と比較的短期なことを考慮し、供試体の養生は48時間(20℃、密封)とし、この段階を早期段階と呼ぶ。表2は供試体の養生およびひび割れ面作製の手順を示したものである。

(2) キレート滴定

供試体を写真1に、また、写真2にカルシウムの溶出環境を示す。溶出環境は、水温 20℃のイオン交換水を用いている。キレート滴定においてカルシウム溶出量を安定的に測定するため、6つの割裂によるひび割れ面を1つの浸漬試料とし、2つの試料を設けた。なお、割裂面以外は、エポキシ樹脂を塗布した。キレート滴定はEDTA溶液を用いてイオン交換水中に溶出するカルシウム量を測定するものである。本実験におけるキレート滴定の測定期間は、初期のカルシウム溶出がほぼ安定する30日間までとした。各キレート滴定測定後は、イオン交換水を入れ替えている。また、キレート滴定は浸漬開始後9日までは24時間ごとに、また10日以降は72時間ごとに行った。

(3) 分析結果とその考察

キレート滴定による割裂面の単位面積あたりの累積カルシウム溶出量の測定結果を図4に示す。ここで、見かけの表面積は、割裂面の凹凸を考慮しないひび割れ面の表面積としている。イオン交換水中に溶出したカルシウム量は式(1)⁴⁾により求まる。

$$Ca^{2+}[mg/l] = a \times \frac{1000}{V_{ca}} \times 0.401 \times f \quad \dots (1)$$

f : ファクター(EDTAは $f=1$)
 V_{ca} : 試料水量
 a : 滴定液量

2つの試料のカルシウム溶出量を見ると、ほぼ同じであり、キレート滴定の精度が高いことがわかる。したがって、キレート滴定による方法によってカルシウム溶出量を定量的に測定できると考える。本実験で溶出した累積カルシウム量は単位表面積当たり、約0.12mg/mm²となった。一般に地下水は酸性を呈することが多く、この場合はより多くのカルシウム溶脱が進行するものと考ええる。

表2 供試体の養生およびひび割れ面の作製

時間経過	内容
0 hr	打設完了時
6 hr	脱型(20℃, ラップにより密封)
24 hr	エポキシの塗布
48 hr	割裂によるひび割れ面の作製, イオン交換水への浸漬

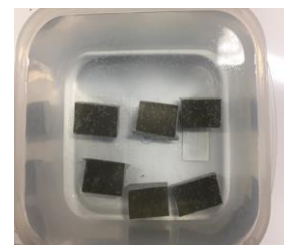
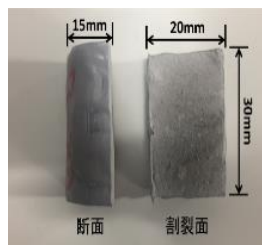


写真1 供試体

写真2 カルシウムの溶出環境

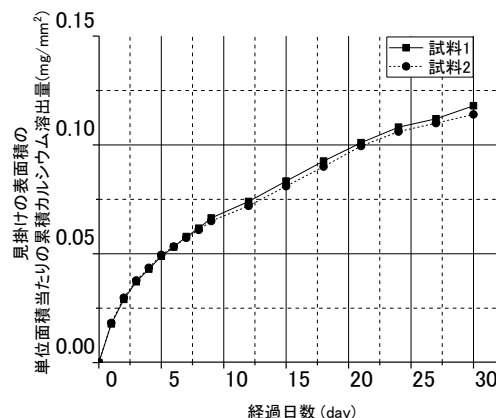


図4 キレート滴定による割裂面の単位面積当たりの累積カルシウム溶出量

4. まとめ

本実験はコンクリート打設後、早期段階の漏水によるカルシウム溶脱を確認した。今後、さらに長期期間におけるカルシウム溶脱の進行を定量的に把握する予定である。なお、本研究は科研基盤研究(C)26420441の成果の一部である。

5. 参考文献

- 1) 辻本剛士, 木村定雄: トンネル覆工コンクリート中の水酸化カルシウムの溶脱に関する一考察, 第66回年次学術講演会, V-165, 2011,9.
- 2) 土木学会: 土木学会コンクリート技術シリーズ, コンクリートの化学的浸食・溶脱に関する研究の現状, pp73-74, 2008.
- 3) 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のカルシウム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, No.697, V-54, pp.85-96, 2002.2.
- 4) 日本分析化学会北海道支部: 水の分析 第5編, 化学同人, pp.211-216, 2005.6.