

# 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

金沢工業大学大学院 学生員 辻本剛士\*<sup>1</sup>  
 金沢工業大学 正会員 木村定雄\*<sup>1</sup>

## 1. はじめに

無筋コンクリートからなる山岳トンネル覆工コンクリートの変状要因には、外的要因と内的要因とがある<sup>1)</sup>。道路や鉄道トンネルに代表される山岳トンネルでは、このような変状要因が素因や誘因となって、覆工コンクリートの一部がはく落する現象(写真1参照)が問題となる。しかしながら、RC構造物に比べて無筋コンクリートのはく落現象のメカニズムは、未だ明確にされていない現状にある。そこで、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<sup>2)</sup>が素因として、セメント硬化体の自己収縮や環境作用・外力作用などの外的要因が誘因となるコンクリート片がはく落する現象メカニズムの仮説<sup>3)</sup>を立てた(図1参照)。

本文は、この仮説を検証する初期段階として、覆工コンクリートの打設直後をモデル化した水酸化カルシウムの溶脱現象の再現実験の結果ならびにその考察を述べるものである。

## 2. 実験概要

本実験はトンネル内の環境を模擬して、乾燥状態(20℃, 60%RH)、促進中性化状態(30℃, 60%RH)、湧水状態(20℃)の3種類の環境状態を設け、水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウムの量的変化を測定するものである。測定は、各々の環境状態下に1ヶ月間供試体を曝露し、その後、試料を採取し、示差熱重量分析(TG-DTA分析)によって行った。TG-DTA分析の昇温速度は20℃/min、目標温度は900℃とし、解析温度は水酸化カルシウムでは400~500℃、炭酸カルシウムでは600~800℃とした。各々の成分の含有量はモル換算<sup>4)</sup>によって算出した。なお、実験に用いた供試体は普通ポルトランドセメントを用いたペースト硬化体とした(写真2参照)。配合は既存の覆工コンクリートの配合(W/C=50~65%)を包摂するものである(表1参照)。

## 3. 実験結果およびその考察

表2および表3に、乾燥状態、促進中性化状態および湧

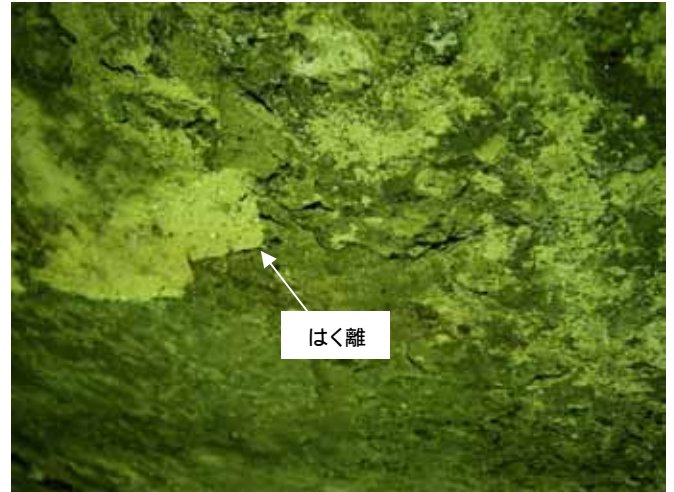


写真1 覆工内面のはく離現象

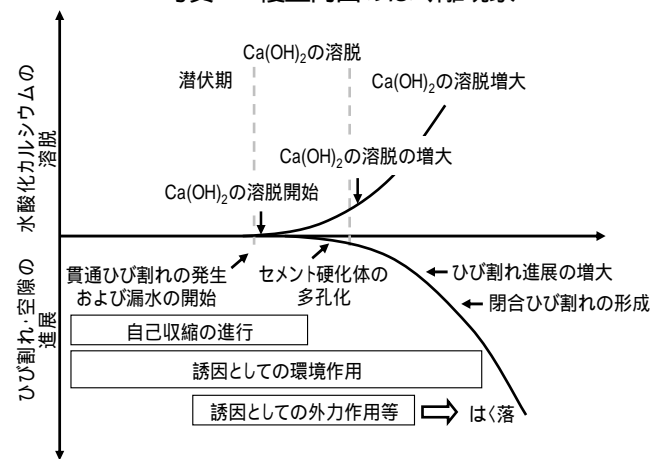


図1 水酸化カルシウムの溶脱とひび割れ進展<sup>3)</sup>

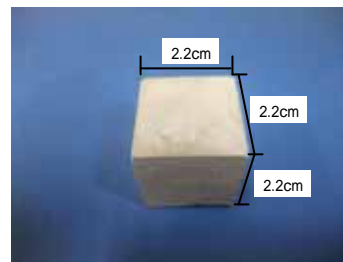


写真2 セメントペースト供試体

表1 実験ケースと供試体の配合

実験ケース	配合	W/C(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
			W	C	VT	T
乾燥状態(20℃, 60%RH)	60	60	647	1090	6.5	0.033
促進中性化状態(30℃, 60%RH)						
湧水状態(20℃)						

VT: 特殊増粘剤 T: 消泡剤

キーワード 溶脱, 水酸化カルシウム, トンネル覆工, 無筋コンクリート

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:076-274-7704 FAX:076-274-7102

水状態の暴露開始から1ヶ月後の水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウムの含有量をそれぞれ示す。また、初期状態および湧水状態の暴露1ヶ月後のTG-DTA分析結果を図2および図3に示す。

促進中性化状態では、水酸化カルシウムが減少し、炭酸カルシウムが増大している。一方、乾燥状態と湧水状態では、水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウムの含有量に顕著な変化はみられなかった。これは、初期状態の段階から炭酸カルシウムの存在が確認されており、供試体の表層部に存在するC-S-Hと炭酸カルシウムによって、水酸化カルシウムが溶脱し難い状態であったためと推測される。

ここで、図3に示すように、湧水状態でも水酸化カルシウムが検出されているが、これは表面から深さ5mmまでの位置から試料を採取したためと考えられる。

以上のことから、実覆工コンクリートの初期状態を考えてみると、脱型直後の覆工内表面部では湿気や散水などによって、早期に水酸化カルシウムが溶脱することはほとんどないものと考えられる。一方、覆工コンクリートを貫通し、地山からの湧水現象がある場合を考えてみる。

写真3は、円柱コンクリートに割裂ひび割れを導入し、そこに地下水を流した湧水実験の状況を示したものである<sup>5)</sup>。これによると、地下水の流出部でつらら現象が確認されている。コンクリートの内部に未水和反応の水酸化カルシウムが多く残存しているため、水酸化カルシウムが溶出してつららが形成されたものである。したがって、覆工コンクリートを貫通し、地山からの湧水現象が認められる場合には、水酸化カルシウムが溶出する速度は、覆工内表面部と比較して相当に早くなるものと考えられる。

今後は、このような現象のモデル実験を行い、水酸化カルシウムの溶脱現象を把握する予定である。

#### 4. 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，p.p.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，p.p.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に関する考察，第69回年次学術講演会，-214，2010,9
- 4) 小林一輔編著：図解 コンクリート構造物の総合診断法，オーム社，p.p.12-16，2007,8
- 5) 伊藤正寛，木村定雄：漏水を有するRCセグメントの鉄筋腐食の初期進展に関する実験的研究，地下空間シ

表2 各種供試体のTG-DTA分析結果(水酸化カルシウム)

実験ケース	w/c(%)	水酸化カルシウム含有量(%)	
		初期	1ヵ月後
乾燥状態	60	23.252	19.273
促進中性化状態			11.067
湧水状態			21.563

表3 各種供試体のTG-DTA分析結果(炭酸カルシウム)

実験ケース	w/c(%)	炭酸カルシウム含有量(%)	
		初期	1ヵ月後
乾燥状態	60	6.691	6.680
促進中性化状態			23.738
湧水状態			6.260

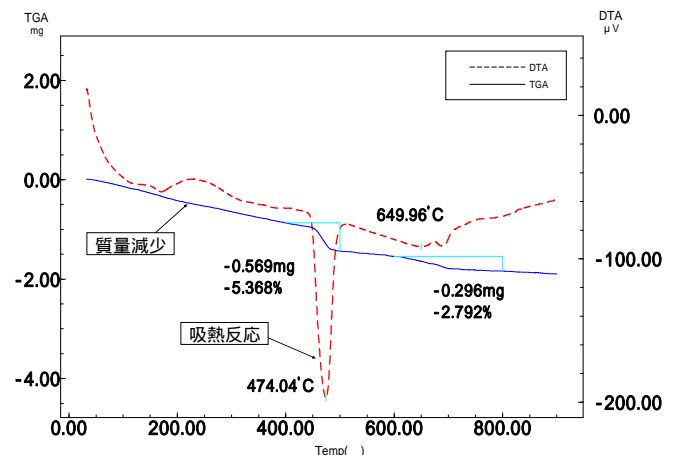


図2 TG-DTA分析結果(初期状態)

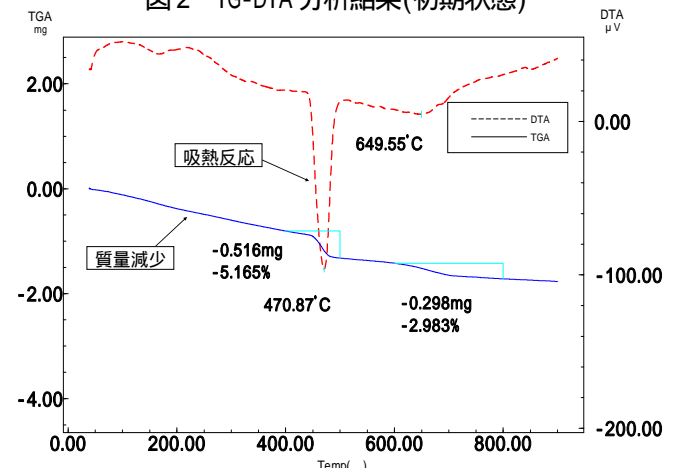


図3 TG-DTA分析結果(湧水状態1ヶ月後)



写真3 つらら現象<sup>5)</sup>