

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の進展メカニズムの考察

金沢工業大学大学院 学生員 〇辻本剛士*¹
金沢工業大学 正会員 木村定雄*¹

1. はじめに

一般にトンネル覆工の変状には外的要因と内的要因がある。外的要因には外力や環境に起因するものがあり、内的要因には材料劣化や施工・設計不良等に起因するものがある¹⁾²⁾。このような変状などにより、道路トンネルに代表される山岳トンネル覆工では、コンクリート片がはく落する現象が生じることが少なくない。道路トンネルは無筋コンクリートであることから鉄筋コンクリート構造物の場合と比べて、その材料劣化によるはく落現象の解明はなされていないのが現状である。ここで、筆者らは、セメント硬化体の性質の観点に立ち、水和物であるけい酸カルシウム水和物は安定状態、また水酸化カルシウムは不安定状態という性質をもっている³⁾ことに着目した(図1参照)。

すなわち、トンネル覆工に貫通ひび割れが生じている箇所では、地山からの漏水により水酸化カルシウムが溶脱することによってひび割れ近傍が多孔化することで、さらにひび割れが進展し、場合によってはコンクリート片がはく落するという劣化のメカニズムを仮定した。

そこで、本研究では、道路トンネルの覆工コンクリート内の水酸化カルシウムの溶脱に着目し、健全箇所(ひび割れ等の変状がない箇所)と変状箇所(漏水を有する貫通ひび割れ等がある箇所)において、水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの含有量を把握し、両者の差異を検討することで、水酸化カルシウムの溶脱現象を確認した。

2. 実験概要

2. 1 コンクリートコアの概要

供用年数が40年経過していた道路トンネルの覆工から、コンクリートコアを採取し分析した。対象としたコンクリートコアは、ひび割れがない箇所から採取したコンクリートコア(以下、健全コア)とひび割れを有し、漏水している箇所から採取したコンクリートコア(以下、ひび割れコア)の2種類である。図2に健全コアを、図3にひび割れコアを示す。健全コアは中性化の進行は認められなかった。一方、ひび割れコアのひび割れ面は中性化の進行が認めら

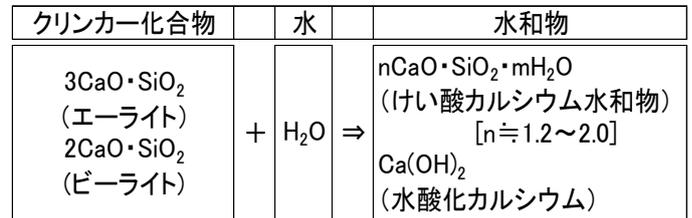


図1 シリケート相の水和反応

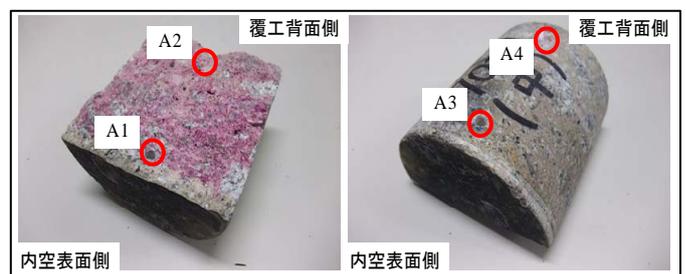


図2 健全コア DTG 分析試料採取位置

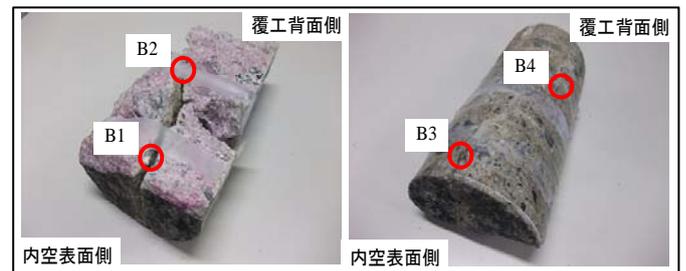


図3 ひび割れコア DTG 分析試料採取位置

れた。

2. 2 分析方法

本分析では、示差熱重量分析(以下、DTG分析)を用いた。DTG分析に用いた試料は、健全コアは中性化が認められない箇所(図2参照)のA1~A4とし、ひび割れコアはひび割れ沿いの中性化が認められる箇所(図3参照)のB1~B4とした。分析条件は、試料セルに白金を用い、昇温速度を $20^\circ\text{C}/\text{min}$ および目標温度を 1000°C とした。

解析温度は、水酸化カルシウムでは $400^\circ\text{C}\sim 500^\circ\text{C}$ とし、炭酸カルシウムでは $600^\circ\text{C}\sim 800^\circ\text{C}$ とした。なお、各々の成分の含有量はモル換算⁴⁾により求めた。

キーワード 劣化、水酸化カルシウム、ひび割れ、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

表1 健全コアの水酸化カルシウム含有量

試料名	分析結果	吸熱反応温度 (°C)	初期試料質量 (mg)	水酸化カルシウム	
				上段: 含有量 (mg)	下段: 含有率 (%)
A1		474.15	10.07	0.23 2.32	
A2		472.65	10.05	0.19 1.84	
A3		472.72	10.02	0.20 1.97	
A4		468.42	10.03	0.12 1.23	
平均				1.84	

表2 ひび割れコアの炭酸カルシウム含有量

試料名	分析結果	吸熱反応温度 (°C)	初期試料質量 (mg)	炭酸カルシウム	
				上段: 含有量 (mg)	下段: 含有率 (%)
B1		688.78	10.08	0.65 6.48	
B2		729.80	10.00	1.31 13.05	
B3		705.15	10.05	0.79 7.85	
B4		692.91	10.09	0.50 4.96	
平均				8.08	

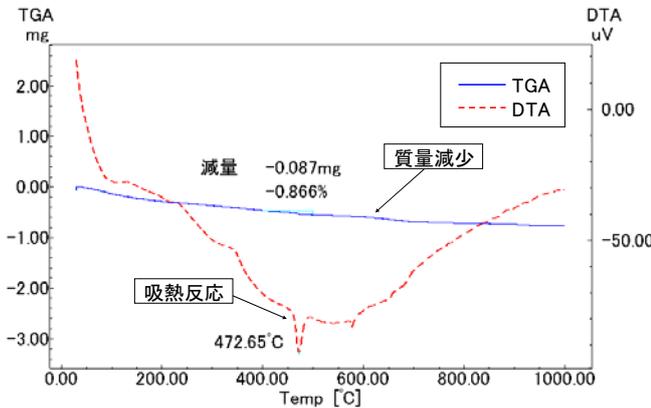


図4 健全コア DTG 分析結果の例 (A2)

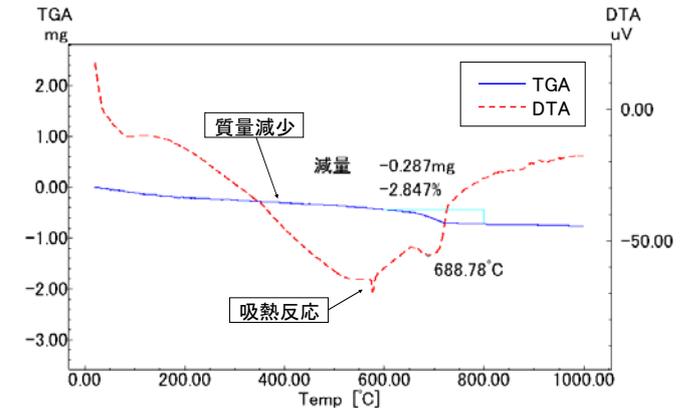


図5 ひび割れコア DTG 分析結果の例 (B1)

3. 健全コアとひび割れコアのDTG分析結果とその考察

表1および表2に、健全コアおよびひび割れコアの吸熱反応温度、ならびに、水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの含有量をそれぞれ示す。また、健全コアとひび割れコアのDTG分析結果の例を図4と図5にそれぞれ示す。図4に示すように、健全コアでは吸熱反応温度が470°C付近で認められ、水酸化カルシウムの存在が確認された。なお、この傾向はA1~A4のすべての供試体で同じであった。一方、これに対して、図5に示すように、ひび割れコアでは400°C~500°Cでは吸熱反応がみられず、600°C~800°Cにおいて吸熱反応がみられ、炭酸カルシウムの存在が認められた。この傾向はB1~B4のすべての供試体で同じであった。

以上から、水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの含有量の精密な検討はしていないが、少なくとも、漏水を有するひび割れコアでは水酸化カルシウムが溶脱していることがわかる。一般に、水酸化カルシウムが溶脱すると多孔化するため、コンクリート中のひび割れの進展は促進されるものと考えられる。

4. 結論

前述の結果から、水酸化カルシウムの溶脱とひび割れ進展の関係について考察する。図6は、そのイメージを示したものである。図6のように水酸化カルシウムが溶脱することにより、セメント硬化体が多孔化し、ひび割れが進展した後に、閉合ひび割れとなって一部のコンクリート片はく落するものと考えられる。その一方で、コンクリート

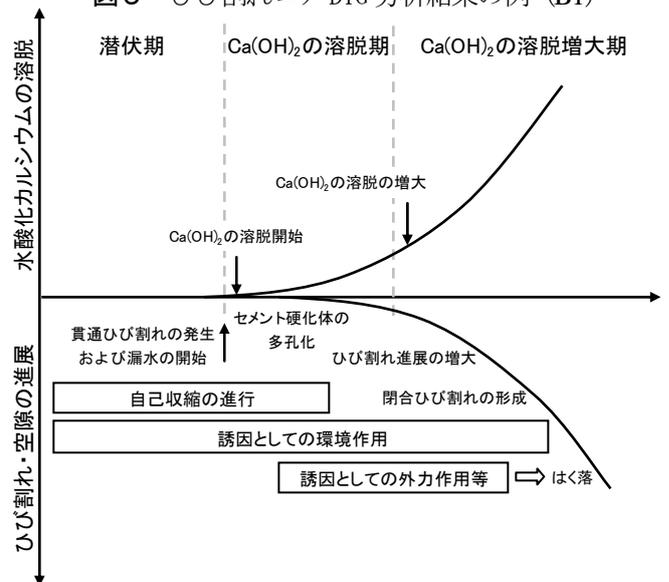


図6 水酸化カルシウムの溶脱とひび割れ進展

の自己収縮や環境作用、または地震等の外力作用などの誘因の影響は大きいものと考えられる。

5. 参考文献

- 1)土木学会：トンネル・ライブラリー12 山岳トンネル覆工の現状と対策, 丸善, p.p.63-71, 2002,9
- 2)土木学会：トンネルの変状メカニズム, 丸善, p.p.40-43, 2004,3
- 3)魚本健人監修：コンクリート構造物のマテリアルデザイン, オーム社, p.p.2-3, 2007,7
- 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