

## 御影石を模擬したコンクリート二次製品の異常膨張現象の特徴と再現試験

九州大学大学院 正会員 ○濱田 秀則 九州大学大学院 学生員 川端 雄一郎  
九州大学大学院 フェロー 松下 博通 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

## 1. 目的

近年、御影石を模擬したコンクリート二次製品が異常膨張する報告が見られ、原因究明が急務となっている。本研究は、異常膨張を生じたコンクリート二次製品の特徴を抽出し、それらを基にした再現試験を行った結果を報告するものである。

## 2. 異常膨張を生じたコンクリート二次製品の特徴

写真-1はコンクリート二次製品の縁石ブロックが異常膨張を生じている状況である。同じ曝露場所であっても膨張を生じていないものも多数あり、製造ロットによる影響が大きいことが推察される。多くの異常膨張を生じたコンクリート二次製品に見られた特徴として、以下の3点が挙げられる。

- (1)天然の御影石に模擬するため、粗骨材および細骨材として石灰石を使用している。銅スラグを細骨材体積の15%程度混入し、白色ポルトランドセメントを使用している。
- (2)蒸気養生を行ったコンクリート二次製品のみ膨張している。
- (3)水分が供給される屋外に曝露されたコンクリート二次製品のみ膨張している。

図-1はコンクリート二次製品から採取したモルタル片の粉末X線分析結果を示している。コンクリート二次製品中には二水石膏とともにエトリングイトが生成している状況が確認される。図-2に異常膨張を生じたコンクリートの石灰石骨材界面におけるBSE像とS分布を示す。石灰石骨材界面において10 $\mu$ m程度のレイヤーにSが多く見られ、この付近を点分析した結果、エトリングイトの組成に近いことが確認された。また、湾曲IPX線回折装置により石灰石骨材界面を分析した結果、エトリングイトが生成している状況が確認された。

以上の点から、コンクリート二次製品の異常膨張現象の原因として、石灰石骨材界面において生成されるエトリングイトの可能性が考えられる。本研究によるコンクリート二次製品工場の調査では、製造ロットによって80 $^{\circ}$ C以上となるような過剰な蒸気養生が行われていた。一般的にエトリングイトは80 $^{\circ}$ C以上において分解することが知られている。よって、過剰な蒸気養生によってコンクリート硬化後において膨張性のエトリングイトが生成したものと推測される。この現象は海外において多く報告されているDelayed Ettringite Formation (DEF)に類似した劣化現象であると推察され、劣化を生じたコンクリートの主な共通点として石灰石と蒸気養生の2つの要因が考えられる。



写真-1 縁石ブロックの異常膨張現象

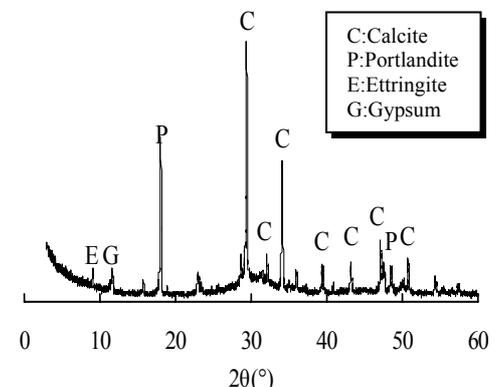
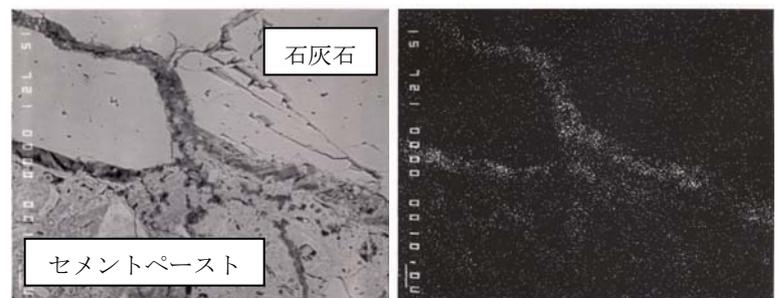


図-1 コンクリート二次製品中の生成物



(a) BSE 像 (b) S マッピング  
図-2 EPMAによる分析結果

キーワード 異常膨張, エトリングイト, DEF, 石灰石, 蒸気養生, 白色セメント

連絡先 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL092-642-3270

### 3. コンクリート二次製品の異常膨張の再現試験

#### 3.1 実験概要

本研究は異常膨張の原因を特定することを目的として、上述した劣化を生じたコンクリート二次製品の特徴を考慮してコンクリートの異常膨張の再現を試み、室内試験を行った。

使用材料及び示方配合を表-1、表-2に示す。Nは異常膨張を生じたコンクリートに使用した配合、Lは細骨材を全て石灰石で置換したもの、Cは細骨材を全て銅スラグとしたものである。

コンクリートの養生方法として、蒸気養生(S)と気中養生(A)を行った。以後、各要因の記号を(コンクリートの配合)-(養生方法)とする。供試体は10×10×40cmの角柱供試体とし、打設時の長さを基長とした。長さ変化はノギスで測定した。

#### 3.2 実験結果および考察

図-3に各要因の膨張率の経時変化を示す。試験は水中浸漬させていたが、材齢12ヶ月後から劣化を促進させるため、乾湿繰返し試験とした。乾湿繰返し後においてN-SとL-Sの膨張率が非常に大きいことが分かる。すなわち、御影石を模擬したコンクリートの異常膨張は、石灰石骨材および蒸気養生の組み合わせの影響が大きい。また、銅スラグを細骨材に全量使用した場合には膨張挙動を示しておらず、銅スラグによるコンクリートの異常膨張への影響は小さいといえる。さらに、乾湿繰返し試験を行った後に急速な膨張挙動が見られることから、実環境の乾湿を受けるような環境において劣化が促進されるといえる。

以上から、コンクリート二次製品の異常膨張現象は石灰石と蒸気養生の組み合わせの影響が大きく、石灰石骨材界面に多く生成したエトリングサイトによる膨張である可能性が推察される。写真-2は蒸気養生を行った供試体の外観を示している。N-S、L-Sにのみ多くのひび割れが見られる。ひび割れ密度が高いが、ひび割れ幅は小さく、実際に異常膨張を生じた緑石ブロックと同様のひび割れ状況<sup>2)</sup>である。また、現在も膨張は継続中であり、今後も長期的なデータを蓄積する予定である。

#### 4. 結論

本論は異常膨張を生じたコンクリートの共通点を調査し、それらを基に再現試験を行った。本研究で得られた結論を以下に示す。

- 1)コンクリート二次製品が膨張を生じる要因として、石灰石骨材および蒸気養生の組み合わせの影響が大きく、銅スラグの影響は小さい。
- 2)コンクリートの異常膨張は乾湿繰返しによって促進され、これが実環境において劣化に繋がったと推察される。
- 3)コンクリート二次製品の異常膨張は、劣化を生じたコンクリートにおけるエトリングサイトの生成状況と再現試験による試験結果から、Delayed Ettringite Formation (DEF)による可能性が推察される。

参考文献:1)松下博通, 川端雄一郎:御影石を模擬したコンクリート二次製品の異常膨張現象, コンクリート工学, pp.32-38, Vol.43, No.12, 2005.12

2)川端雄一郎ほか:異常膨張を生じたコンクリート二次製品における遅延型エトリングサイトの生成, 土木学会第60回学術講演会講演概要集(CD-ROM)第5部, pp.409-410, 2005.9

表-1 使用材料

		使用材料
セメント	C	白色ポルトランドセメント
		密度 $3.06\text{g/cm}^3$ , 比表面積 $3580\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	S	石灰石
		絶乾密度 $2.70\text{g/cm}^3$ , 吸水率 $0.54\%$
S	S2	銅スラグ
		絶乾密度 $3.46\text{g/cm}^3$ , 吸水率 $0.42\%$
粗骨材	G	石灰石
		絶乾密度 $2.70\text{g/cm}^3$ , 吸水率 $0.54\%$

表-2 コンクリートの示方配合

記号	W/C (%)	単位量( $\text{kg/m}^3$ )				
		W	C	S		G
				S1	S2	
N	49	180	367	1201	272	422
L				1414	0	
C				0	1809	

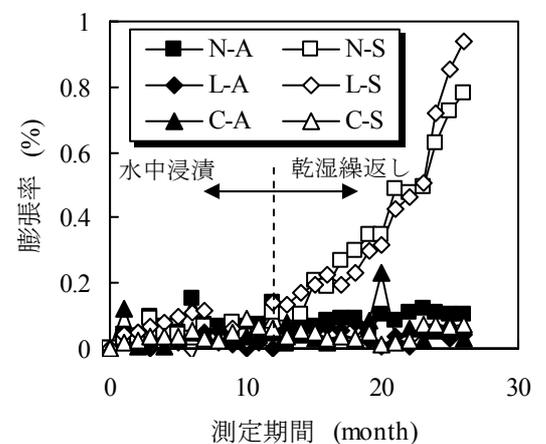


図-3 膨張率の経時変化

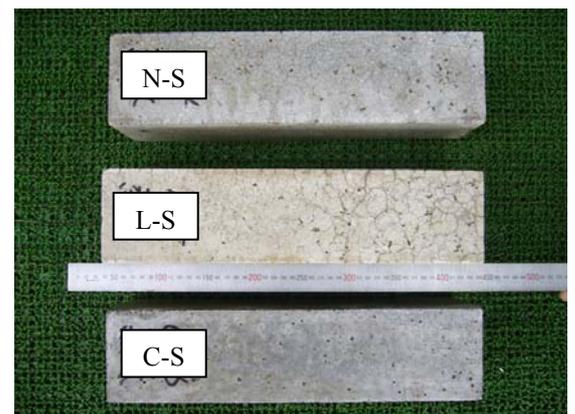


写真-2 供試体外観