

# 加圧養生下における膨張モルタルの強度特性に関する実験的検討 Experimental Study on Strength Properties of Expansive Mortar Cured under High Pressure

○境 美緒\* 鈴木麻里子\* 日吉恵理\* 井上一哉\*

Mio SAKAI, Mariko SUZUKI, Eri HIYOSHI, Kazuya INOUE

## 1. 緒論

膨張材はコンクリートのひび割れ低減のために使用される混和材料であり、拘束条件下でケミカルプレストレスを発現する。膨張材の使用による適切な強度発現は、構造物の安全上極めて重要な問題であるが、膨張コンクリートにおける拘束力と強度の関係については十分な検討がなされていない<sup>1)</sup>。そこで本研究では、膨張材を配合したモルタル供試体を作製し、養生時の拘束条件の変化が強度発現に与える影響を評価した。さらに、強度特性に影響する要因を検討するためFE-SEMを用いて供試体の微細組織観察を実施した。

## 2. 実験概要

### 2.1 養生方法の違いによる強度比較

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材には硬質砂岩を用い、膨張材はエトリンガイト系、石灰系、エトリンガイトと石灰の複合系の3種類を使用した。モルタル供試体の作製方法や配合はJIS R 5201に準拠し、1バッチあたりの配合は質量比でセメント：細骨材：水＝1：3：0.5である。膨張材は外割で配合し、細骨材の一部と置換した。供試体は40×40×160 mmの角柱である。モルタルの充填から脱型までの作業は、室温20℃、湿度80%の恒温恒湿の実験室にて実施した。

本研究の養生条件を表1に示す。養生方法は、翌日脱型したモルタル供試体を20±1℃の水の中にて静置した水中養生と三軸圧縮試験機の円筒シリンダー内にて異なる水圧を与えた2種類の加圧養生である。各ケース3本の供試体を作製し圧縮試験をJIS R 5201に準じて実施した。

表1 実験条件

Experimental conditions	
Case 1	水中材齢7日
Case 2	加圧材齢7日(500kPa)
Case 3	加圧材齢7日(900kPa)

### 2.2 微細構造観察

FE-SEMによる観察用試料は、試料交換室内を真空に保つため水分を除去する必要がある。本実験では、圧縮試験後に得られた粉碎供試体を約5g採取し、約100mlのアセトンに24時間浸漬して自由水を除去後、真空デシケーターを用いて粉碎供試体内の脱気を実施した。元素分析としてスペクトル分析とマップ分析を実施し、SEM画像内に含まれる元素の二次元分布を測定した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 加圧養生による拘束力と圧縮強度の関係

膨張材の種類と圧縮強度の関係を図1に示す。石灰系、複合系モルタルでは、拘束圧の増大に伴

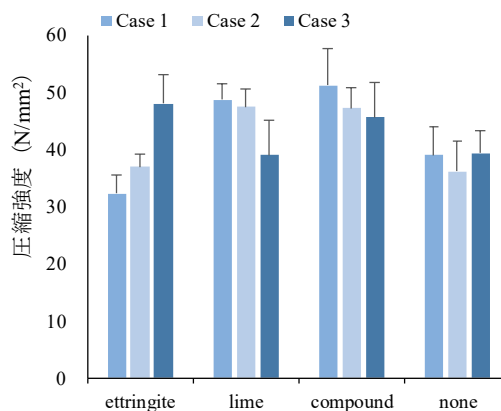


図1 圧縮強度の比較

Comparison of compressive strength

\*神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

キーワード：モルタル、膨張材、加圧養生、圧縮強度、FE-SEM

い圧縮強度の低下が見られた。石灰系、複合系膨張材に多く含まれる遊離石灰の膨張性は、材齢初期に発現するため<sup>2)</sup>、水圧により拘束された膨張ひずみが硬化途中のセメントペーストに微細ひび割れを引き起こし、圧縮強度が低下した可能性がある。

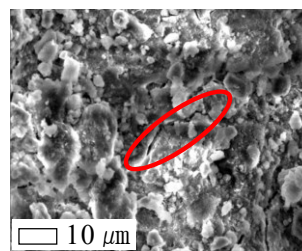


図2 複合モルタルのSEM画像（1500倍）  
Image on SEM of compound mortar

### 3.2 膨張材結晶の生成と元素分析

Case 3 で得られた複合系膨張材を添加した粉砕供試体のSEM画像を図2に示す。図中の赤枠内に微細な亀裂が確認され、亀裂部分を拡大して観察した結果を図3に示す。膨張生成物である水酸化カルシウムの六角板状結晶とエトリンタイトの針状結晶が密に生成している様子が確認された。このことから、図2に見られる亀裂は結晶が生成する際の膨圧により発生したと推察される。

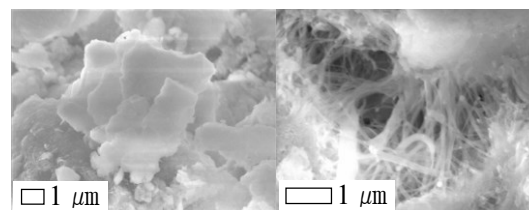


図3 複合モルタル結晶のSEM画像  
(左：10000倍 右：20000倍)  
Image on SEM of compound mortar crystal

Case 2 で得られた複合系膨張材を添加した粉砕供試体を10000倍で撮影し、元素分析を実施した。スペクトル分析の結果を図4、撮影画像とマップ分析の結果を図5に示す。図4より、撮影画像内からセメントの成分であるFeやMgが検出されていること、図5より、FeやMgは元の撮影画像内の赤枠で囲まれた物質中に多く含まれていることが分かる。本実験で用いた複合系膨張材にMgは含まれないため、撮影された物質は未水和のセメント粒子であると考えられる。よって、材齢7日の加圧養生ではセメントの水和反応が進行中であると言える。膨張生成物である結晶が亀裂内部に生成していることと、セメントの水和反応が進行中であることから膨張性の拘束により硬化途中のセメントペーストにひび割れが発生し圧縮強度が低下したとする考察を支持する結果が得られた。

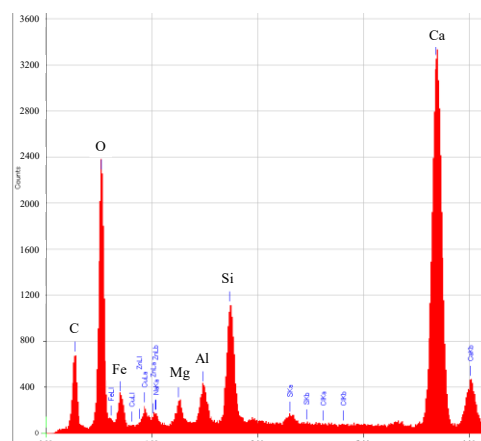


図4 スペクトル分析  
Spectrum analysis

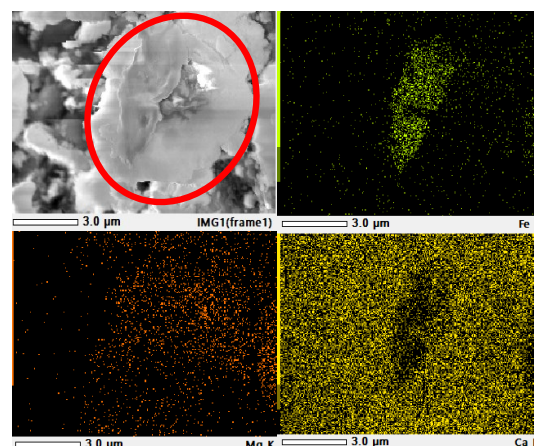


図5 マップ分析  
(左上：元の撮影画像)  
Map analysis

## 4. 結論

本研究では、膨張性の拘束がモルタル強度に与える影響を力学特性と微視的な視点から検討した。遊離石灰含有量の多いモルタルでは、結晶生成時の膨張性が拘束されることによってセメントペーストに微細ひび割れをもたらし、圧縮強度の低下を引き起こす可能性が示唆された。

参考文献：1) 日本建築学会：膨張材・収縮低減剤を使用したコンクリートに関する技術の現状，p.13, 2013  
2) 盛岡実・坂井悦郎・大門正機：遊離石灰-アウイン-無水セッコウ系膨張材の性能に及ぼす調整方法の影響，コンクリート工学論文集，Vol.14, No.2, pp.43-50, 2003