

反射電子像の画像解析による拘束した膨張性モルタルの空隙率評価

苫小牧工業高等専門学校
 苫小牧工業高等専門学校 正会員 博（工）
 苫小牧工業高等専門学校 博（工）

○土門 寛幸
 渡辺 暁央
 近藤 崇

Abstract : Mortar and concrete made by replacing a part of cement with burned surf clam shell show expansion behavior. We examined the chemical prestress with the expansion characteristic. For mortars in which the cement was replaced with 0% to 10% burned shells, the mortar was placed in a load bearing form made of steel, and it was sealed and cured under restraint conditions. Small-diameter cores were collected at 7 days of age, we performed the compressive strength test and the porosity evaluation of backscattered electron images obtained by scanning electron microscope. It was found that the strength decreased and the porosity increased with an increase in the amount of substitution with the burned surf clam sell.

Key words : Burned surf clam shell powder, Chemical prestress, Expansion, SEM-BEI

1. はじめに

近年のコンクリートは体積安定性の観点から、水和反応の過程において膨張を付与して、収縮を低減させる手法が行われている。この膨張をセメントの水和反応などによる収縮以上に与えると、膨張性を有するコンクリートとなり、拘束条件で利用するとケミカルプレストレスが得られる。鉄筋コンクリート構造物にケミカルプレストレスを導入すると曲げひび割れ耐力の向上などが期待でき、有効に活用できる¹⁾。

著者らの研究^{2,3)}では、焼成したホッキ貝殻粉末をセメントの一部に置換したモルタルが膨張する現象が認められた。膨張の原因は焼成ホッキ貝殻粉末に含まれるCaOが水(H₂O)と反応することでCa(OH)₂が生成され、これが膨張を引き起こしていることが明らかになった。また、JIS A 6202の拘束膨張試験器具を用いて、焼成ホッキ貝殻粉末混入モルタルを作製すると無拘束のモルタルに比べて内部組織が緻密になることを示した⁴⁾。その一方、拘束膨張は軸方向の拘束のみであり、横方向に対して膨張を拘束していない。そのため、ケミカルプレストレスが発生するような完全な拘束条件においても同様の傾向になるかは不明である。

そこで、完全に膨張が拘束できる型枠を使用して焼成ホッキ貝殻粉末混入モルタル供試体を作製した。本研究では、この供試体から小径コアを採取して、反射電子像の画像解析を行い粗大毛細管空隙を評価することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 供試体の配合

ホッキ貝殻は粒径が75 μ m以下になるまで粉砕し、1000 $^{\circ}$ Cで1時間焼成した。モルタルは水(W)、普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)(C)、細骨材(セメント強さ試験用標準砂 JIS R 5201)(S)を質量比で0.5:1:3の割合で作製することとした。

ここに焼成したホッキ貝殻粉末(焼成HP)をセメント質量に対して内割で0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%置換し、表-1の配合でモルタルを作製した。

表-1 配合表

置換率	W/C	C(kg/m ³)	W(kg/m ³)	S(kg/m ³)	焼成 HP(kg/m ³)
0%	0.5	524	262	1572	0
2%		513			10
4%		503			21
6%		492			31
8%		481			41
10%		471			52

2.2 長さ変化試験

ASTM C 1698-09に準じて、直径約30mm、長さ約425mmのポリエチレン製コルゲートチューブを振動台の上に鉛直に設置し、振動を加えながら、モルタルを上部から注ぎ込んだ。そののち、テフロン性の栓をして、長さ変化測定用の供試体とした。これを20℃の恒温室で30°の角度に固定した台に設置し図-1の長さ変化測定装置を用いて長さ変化を測定した。

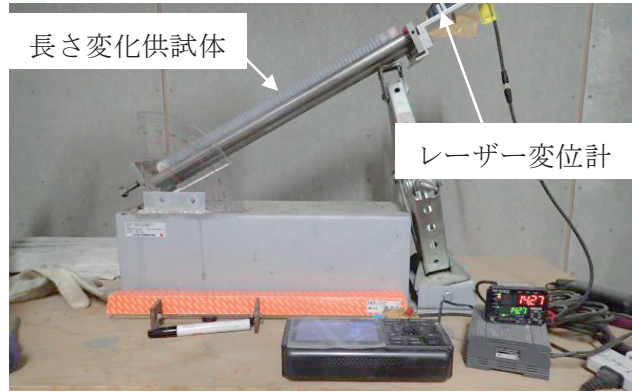


図-1 長さ変化試験装置

2.3 拘束供試体の作製

モルタルは、φ50mm×100mmの円柱供試体を作製可能な耐荷重性の鋼鉄製拘束型枠(図-2)に打設し、上下に拘束板を設置してボルトで固定し、20℃の恒温室において拘束した状態で7日間養生を行った。

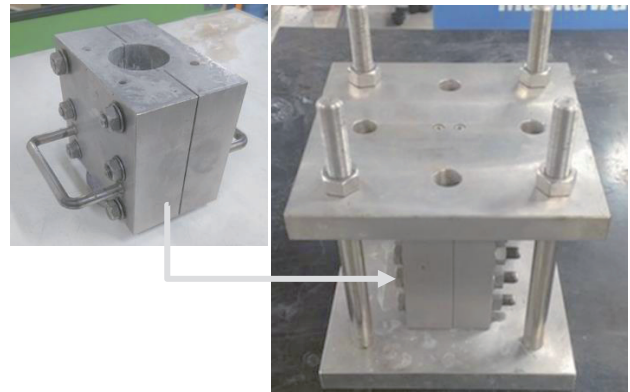


図-2 鋼鉄製拘束型枠

2.4 圧縮強度試験

膨張圧により鋼鉄製型枠からの脱型は不可能であったため、φ50mmの円柱供試体の中央付近から、乾式コアドリルによりφ20mm×40mmの小径コアを1本採取した。この鋼鉄製型枠を3個使用し、それぞれの型枠から1本ずつコアを採取し、計3本のコアについて端面処理を実施したのち、材齢7日で圧縮強度試験を行った。

2.5 反射電子像観察用試料の作製

圧縮強度試験後の状態の良いコアから約1cm²の破片を切り出し、エタノールに浸漬して水和反応を停止させたのちに、真空樹脂含浸装置にて低粘度のエポキシ樹脂を含浸させた。この表面を耐水研磨紙およびダイヤモンドスラリーを使用して粒度1/4μmまで注意深く研磨し、白金蒸着を行った。

2.6 反射電子像の画像解析

2.5節で作製した試料について反射電子検出器を備えた走査型電子顕微鏡を使用し、倍率500倍で骨材を避けるようにセメントペーストマトリック

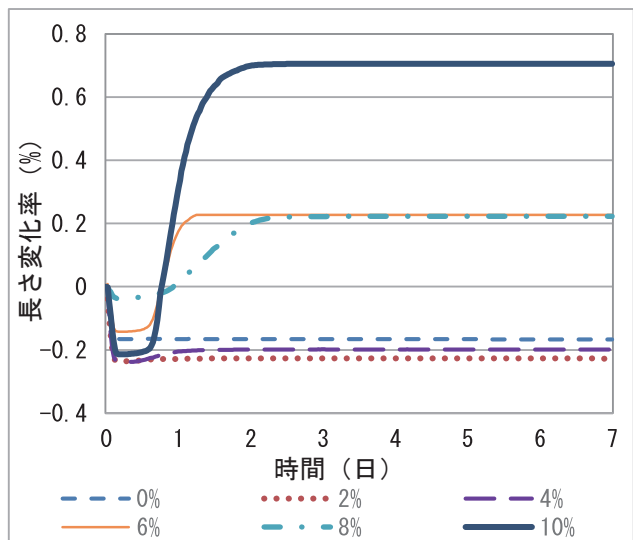


図-3 長さ変化試験結果

スに対して反射電子像を観察し、画像をパーソナルコンピュータに取り込んだ(加速電圧: 15kV)。

反射電子像は、256段階のグレーレベルで構成されており、化合物の平均原子番号が大きいほど白色になる。白色の粒子の相が未水和セメント、明るい灰色の相が水酸化カルシウムであり、黒色の相が粗大毛細管空隙である。黒色の閾値を決定し二値化処理を行い、粗大毛細管空隙を抽出した。

3. 結果および考察

3.1 長さ変化試験

長さ変化試験の結果を図-3に示す。長さ変化率は425mmからの膨張をプラスとした長さの変化割合を示す。すべての供試体で打設から終結までの4~5時間ごろまで水和によるものと考えられる収縮を確認した。8%のみ収縮量が小さい原因として、焼成貝殻を使用するまでに時間がかかったことや打設時に不備が考えられる。0%および2%ではそれ以降の変化が見られないが、4%以上では膨張が確認で

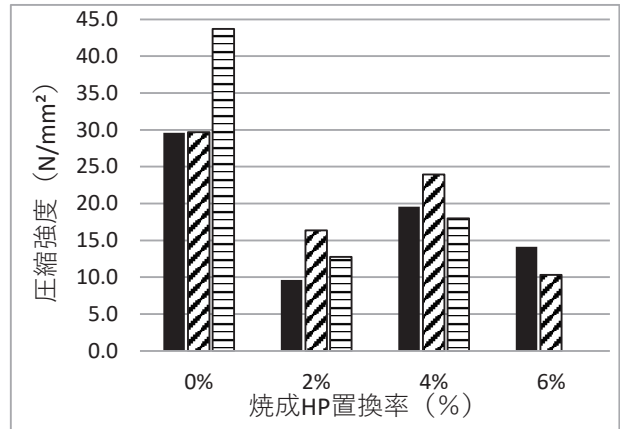


図-4 圧縮強度試験結果

未水和セメント

粗大毛細管空隙

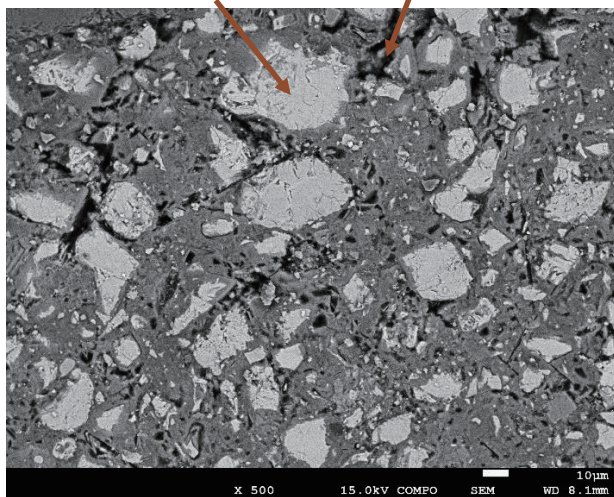


図-5 置換率0%の反射電子像例

C-S-H 水和物

水酸化カルシウム

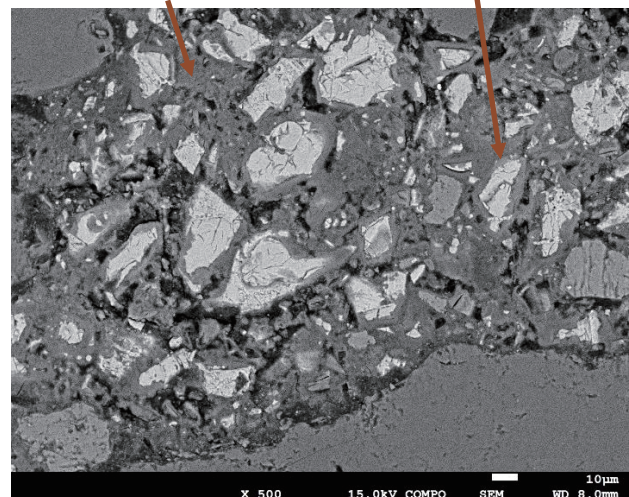


図-6 置換率2%の反射電子像例

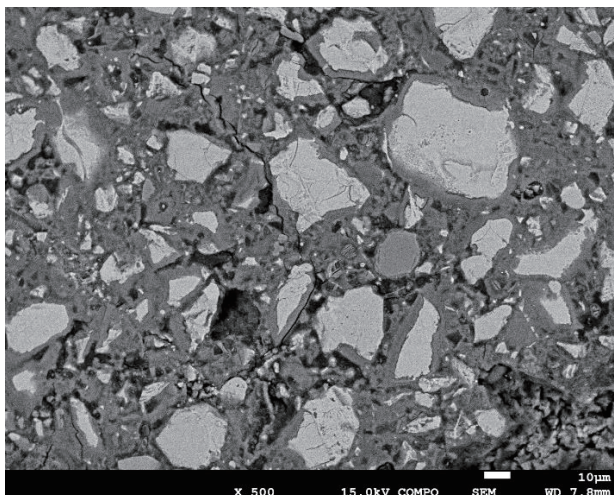


図-7 置換率4%の反射電子像例

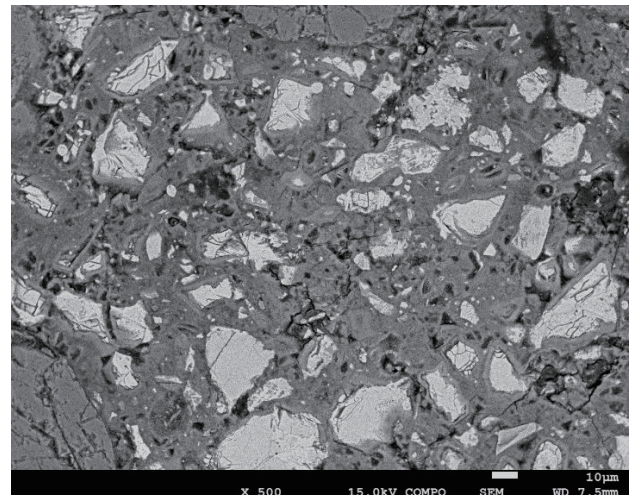


図-8 置換率6%の反射電子像例

きた。特に10%では0.7%程度の比較的大きな膨張を示しており、焼成HPの置換量を増やすことで膨張量も大きくなるが、コルゲートチューブ内で崩壊している可能性がある。

3.2 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を図-4に示す。置換率6%の1本および置換率8%、10%についてはコア採取時に崩壊したため強度試験を行うことができなかった。長さ変化試験において変位がプラス側まで膨張を生じる配合で崩壊しており、市販されている膨張材よりも低添加で大きな膨張を期待できる。置換率0~6%では0%が最も強度が高くなり、焼成ホッキ貝殻での置換率が大きくなると強度が低下する傾向が認められる。置換率2%でも強度が低い理由は不明であるが、試験結果がばらついていることに関しては小径コアの成型等に問題があった可能性もあり、さらにデータを蓄積する必要がある。

3.3 反射電子像解析

図-5~8は反射電子像の例である。置換率0%に比べて置換率2~6%は、水酸化カルシウムの生成量が増加しており、粗大毛細管空隙も多くなっている。各試料の反射電子像10枚を毛細管空隙について二値化を行い、空隙率の平均を算出すると、表-2の結果が得られた。この結果から、置換率が増加すると空隙率は増大していることが明らかになった。既往の研究では、膨張を拘束すると空隙率が低下して、組織が緻密になる傾向が確認できたが、本研究の条件下では逆の結果になっており、空隙が多くなるほど強度は小さくなる結果になっており、強度試験結果と同様にばらついていることが原因と考えられる。このことはケミカルプレストレスを与える場合、拘束の条件や配合など適切な条件下で拘束した上で使用することが求められるといえる。

表-2 空隙率

HP置換率	空隙率(%)	誤差範囲(%)
0%	7.8	-3.5,+3.9
2%	11.9	-2.3,+4.5
4%	15.8	-4.0,+4.9
6%	21.5	-6.3,+7.9

4. まとめ

本研究ではセメントを焼成ホッキ貝殻粉末に置換したモルタルについて、長さ変化試験、圧縮強度試験および反射電子像解析を行った。得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 焼成ホッキ貝殻粉末での置換率を大きくすると膨張量が大きくなる。
- (2) 本研究での条件下では明確な緻密化は確認できず、置換率を増加させると空隙率も増大する。

謝辞

本研究を行うにあたり、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C), 研究課題番号:18K04336, 研究代表者:渡辺暁央)の交付を受けた。ここに記し謝意を表す。

参考文献

- 1) 辻幸和: コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, 第235号, pp. 111-124, 1975
- 2) 上村清志, 廣川一巳, 渡辺暁央: 焼成ホッキ貝殻粉末を混入したモルタルの初期膨張特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No. 1, pp. 556-561, 2012
- 3) 石井允都, 廣川一巳, 渡辺暁央: 焼成ホッキ貝殻粉末および焼成ホタテ貝殻粉末混入モルタルの膨張特性の相違について, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, No. 1, pp. 1567-1572, 2013. 7
- 4) 土門寛幸, 渡辺暁央, 近藤崇, 廣川一巳: 焼成貝殻粉末により膨張を付与したモルタルの反射電子像の画像解析による内部組織評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No. 1, pp. 1585-1590, 2017. 7