

焼成貝殻の混入によりケミカルプレストレスを与えたモルタルの強度特性

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) ○土門 寛幸
 苫小牧工業高等専門学校 博(工) 渡辺 暁央
 苫小牧工業高等専門学校 博(工) 近藤 崇
 苫小牧工業高等専門学校 廣川 一巳

Abstract : Mortars and concrete prepared by burned surf clam shell powder and mixing them into cement show expansion behavior. In this study, chemical prestress using this expansion characteristic was studied. For the mortar with the burned surf clam shell powder replaced with 0 to 10% of cement, mortar was cast on a steel load-bearing formwork and sealed curing was performed in the restrained condition. A small diameter core was sampled on 7th day of age and a compressive strength test was conducted. As a result, the compressive strength of the mortar substituted by the burned surf clam shell powder was larger than that of the unsubstituted mortar. In addition, when the substitution rate was 3 to 5%, the strength peaked, and the compressive strength at this time was about twice that of the unsubstituted mortar.

Key words : Burned surf clam shell powder, Chemical prestress, Expansion, Compressive strength

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。拘束せずに自由膨張の状態では、内部組織がポーラスになり、そのままの状態では強度が低下すると考えられる。一方、JIS A 6202の拘束膨張試験器具を使用して、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と比べて内部組織が緻密になることを示した⁴⁾。このことは拘束条件下で適切な膨張を与えると、毛細管空隙が減少し、強度特性が改善する可能性があることを示唆している。

表-1 配合表

置換率	W/C	C(g)	W(g)	S(g)	焼成HP(g)
0%	0.5	200	100	600	0
1%		198			2
3%		194			6
5%		190			10
7%		186			14
10%		180			20

本研究では、焼成ホッキ貝殻粉末を混入したモルタルを、鋼鉄製の型枠に打設して完全に拘束した状態で養生を行った供試体の圧縮強度特性について検討することを目的とした。また、ASTM C 1698-09のコルゲートチューブ法による自由膨張との対応から、膨張特性と強度特性の対応について考察を行った。

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になるまで粉碎し、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(産地:浜厚真産陸砂, 密度:2.71 g/cm³, 粗粒率:2.36) (S)を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0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 10%置換し、表-1の配合でモルタルを作製した。

2.2 長さ変化試験

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こんだ。そののち、テフロン製の栓をして、長さ変化測定用の供試体とした。これを20 $^{\circ}$ Cの恒温室で30 $^{\circ}$ 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。

2.3 拘束供試体の作製

モルタルは、図-2に示す ϕ 50mm \times 100mmの円柱供試体を作製可能な耐荷重性の鋼鉄製型枠に打設し、図-3のように上下に拘束板を設置してボルトで固定し、20 $^{\circ}$ Cの恒温室において拘束した状態で7日間養生を行った。

2.4 圧縮強度試験

鋼鉄製型枠の脱型を試みたが、焼成ホッキ貝殻粉末を混入した供試体は膨張圧により脱型が不可能であった。そのため、拘束板を外して、鋼鉄製型枠の内部にある ϕ 50mmの円柱供試体の中央付近から、乾式コアドリルを使用して ϕ 20mm \times 40mmの小径コアを1本採取した。鋼鉄製型枠を3個使用し、計3本のコアについて、端面処理を実施したのち、圧縮強度試験を行った。



図-1 長さ変化試験装置

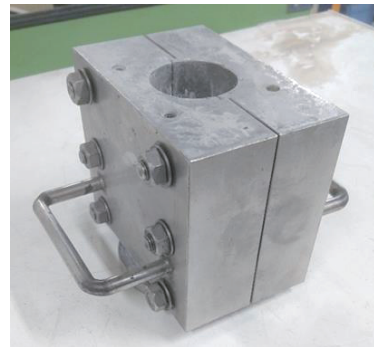


図-2 鋼鉄製型枠



図-3 拘束した型枠

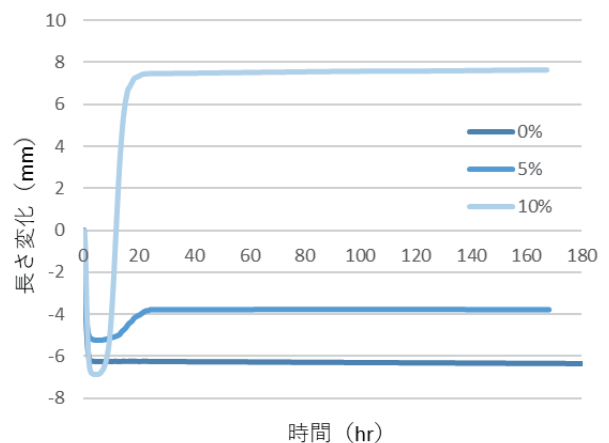


図-4 長さ変化試験結果

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-4に示す。変位は初期の長さ425mmからの長さ変化を示している。すべての供試体で4~5時間頃まで水和によるものと考えられる収縮を確認した。それ以降0%では変化は見られないが、5%および10%では膨張が確認され、CaOとH₂Oの反応によりCa(OH)₂が生成されたためであると考えられる。また、20時間頃までの膨張は5%では1mm程度であるのに対し10%では10mm以上の著しい膨張を示しているため、焼成HPの配合量を増やすことで膨張量も大きくなると予想できる。24時間以降長さ変化が見られなかったのはコルゲートチューブの密閉空間内では反応する水量が限られていたためと考えられる。

3.2 圧縮強度

図-5は、焼成ホッキ貝殻粉末の置換率を変化させたときの圧縮強度の違いを示したものである。無置換の圧縮強度が約10N/mm²であり、低い値を示している。無置換モルタルについて通常の40×40×160mmの角柱供試体に打設してセメント強さ試験に準じた圧縮試験を行うと、約35N/mm²を示す²⁾。このことから、小径コアを乾式コアドリルで採取したことおよび、小径のため偏心载荷が避けられなかったことが要因で強度が低くなったことが考えられる。

焼成ホッキ貝殻粉末の置換率を増大させると圧縮強度が増大し、置換率3~5%で圧縮強度が約27N/mm²と最大になる。それより置換率が大きくなると圧縮強度が低下し、置換率10%で約17N/mm²である。いずれにしても、無置換と比較すると、膨張を拘束したモルタルは強度が増大している。

この原因は既往研究で示した内部組織から説明できる。図-6に無置換と図-7に置換率10%の反射電子像を示す。反射電子像は、256段階のグレーレベルで構成されており、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。無置換モルタルと置換率10%の簡易拘束モルタルを比較すると、置換率10%の方が粗大毛細管空隙の黒色の相が少なく、膨張の要因である水酸化カルシウムの相が多くなっている⁴⁾。一般に空隙が少なければ強度が

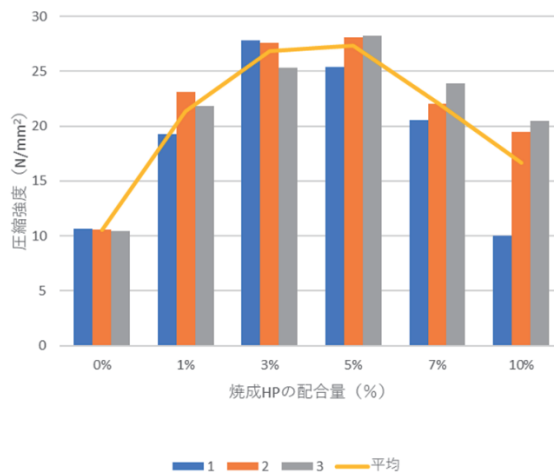


図-5 小径コアの圧縮試験結果

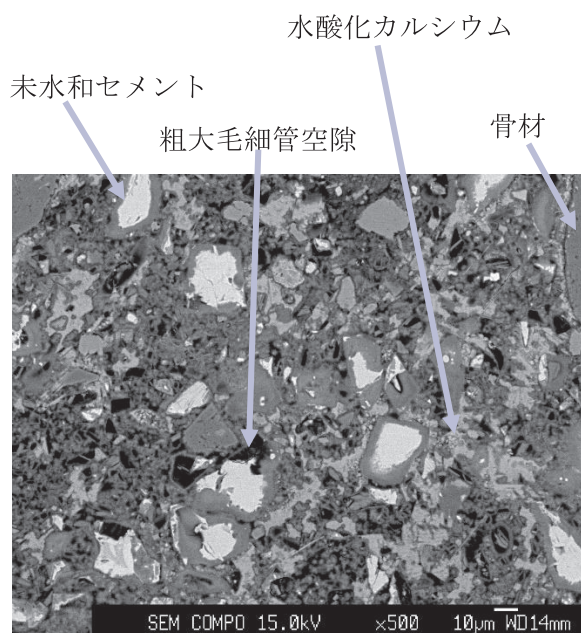


図-6 無置換モルタルの反射電子像³⁾

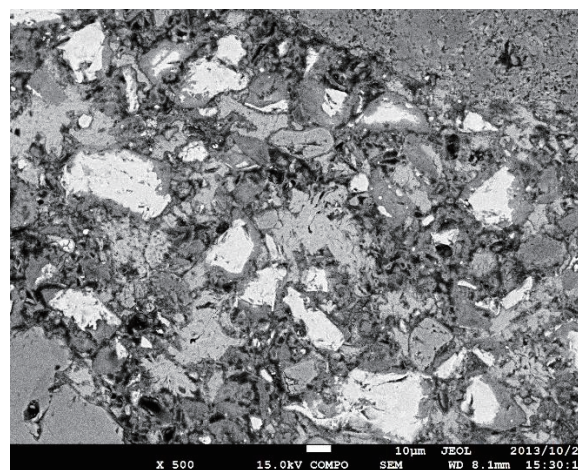


図-7 置換率10%モルタルの反射電子像³⁾

増大することから、膨張を拘束することにより内部組織が緻密になり（空隙が減少）、強度が増大したと考えられる。

3.3 膨張特性と強度特性の対応

図-4のコルゲートチューブによる長さ変化試験の結果では、置換率5%は1mm程度の膨張であり、置換率10%のときの10mm以上の膨張から比べると小さいものである。しかし、拘束時の圧縮試験の結果では置換率5%が最大の強度となっている。膨張能力が大きいほど拘束による強度増大が大きくなるわけではない。これは、膨張力が大きすぎることで、拘束板を外した時およびコア採取時の応力開放により、強度低下の原因となっていることが考えられる。あるいは、置換率が大きくなると単位セメント量が減少するため、強度が低下した可能性も考えられる。いずれにしても、拘束条件で適切な膨張を付与するケミカルプレストレスにより、セメント硬化体の強度の向上が可能であると考えられる。今後は、小径コアの反射電子像観察などにより内部組織を評価して強度特性の解明を進める必要がある。

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および強度試験を行った。得られた主な結果は次のとおりである。

- (1) 焼成ホッキ貝殻の置換率を大きくすると膨張量が大きくなる。
- (2) 拘束して養生したコアについて強度試験を行うと、置換率3～5%で27N/mm²程度の強度のピークが得られる。

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:16K06452, 研究代表者:廣川一巳, および基盤研究(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