

産業廃棄物のホッキ貝殻を利用したコンクリートの基礎的研究

Basic research of concrete using surf clam of industrial

苫小牧工業高等専門学校専攻科環境システム工学専攻
苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科
マルゼン食品株式会社

○学生員 藤澤尚隆 (Naotaka Fujisawa)
正会員 廣川一巳 (Kazumi Hirokawa)
三小田吉邦 (Yoshikuni Sankoda)

1 はじめに

近年、セメント産業では資源の有効利用¹⁾および地球温暖化防止策として、石灰石微粉末(炭酸カルシウム)を用いたフィラーセメントの利用が注目されている²⁾。この一環として、炭酸カルシウムを有するホタテ貝の貝殻をコンクリート用細骨材および漁礁への利用を試みた研究が行われている^{3, 4)}。

本研究では苫小牧市の貝に認定⁵⁾され、特産品ともなっているホッキ貝(写真-1)の貝殻に着目した。ホッキ貝は苫小牧市の象徴的存在であり、ホッキ貝殻(写真-2)の利用用途が増えれば地域環境の活性にもつながる。そして、地域のものを利用することにより、研究および地域使用にいたるまでの運送距離が短縮でき、環境負荷を低減することもできる。



写真-1 ホッキ貝



写真-2 ホッキ貝殻

ホッキ貝殻を粉末状(100 μ m 以下)および細骨材粒度規格に加工し、両材料がコンクリートにおけるセメント増量材および細骨材として有効利用が可能であるかを検討すること、ホッキ貝殻に関する基礎的なデータを得ることを目的とした。

2 実験概要

2.1 ホッキ貝殻の加工作業

ホッキ貝殻を粉砕機で粉砕し 100 μ m メッシュを通過したホッキパウダー(以下、HP と示す)と、ホッキ貝殻を細骨材規格(JIS A 1102)に調整したホッキ砂(以下、HS と示す)の両材料を作製し、実験を行なった。両材料の加工過程を図-1 に示す。

2.2 HP の密度試験および HS の密度・吸水率試験

HP の密度を、セメントの物理試験(JIS R 5201)に準拠して測定した。

また、HS の密度と吸水率を、細骨材の密度及び吸水率試験方法(JIS A 1109)に準拠して測定した。

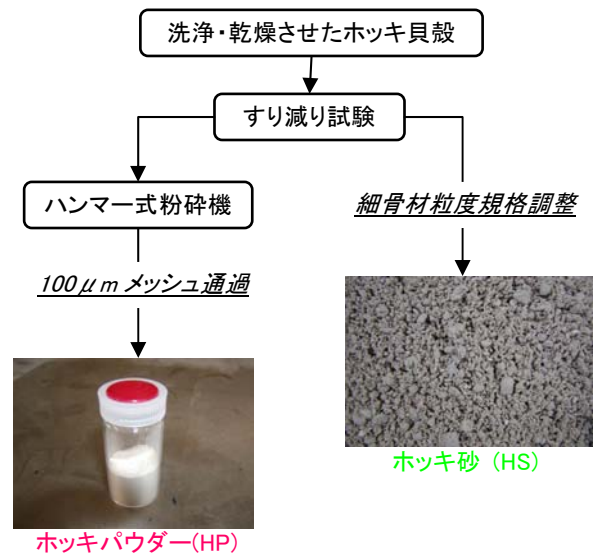


図-1 ホッキ貝殻の加工工程

2.3 走査型電子顕微鏡(SEM)による観察

走査型電子顕微鏡(SEM)とは、電子銃から放出された電子線が試料表面に照射された際に発生した2次電子を検出して立体的な像として微細構造を観察できる顕微鏡である。

本研究では、HP および HS の粒形を調べるために SEM による観察を行なった。

2.4 粉末 X 線回折によるホッキ貝殻の分析

粉末 X 線回折(XRD)とは、X 線を結晶に照射した際に生じる回折 X 線の回折角度と回折強度から、未知試料と既知データの比較によって、どのような結晶を含むか同定する方法である。

ホッキ貝殻を構成している化合物を同定するために、XRD 装置による分析を行なった。XRD 用の試料は、HP を真空処理し 75 μ m フルイを通過したものを試料とした。

2.5 モルタル供試体の配合および作製

本研究において、HP をセメント使用量の一部として置換したモルタル供試体を作製した。また、細骨材に HS を用いたモルタル供試体を作製した。使用材料は、普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm³)、浜厚真産陸砂(密度: 2.77 g/cm³, 吸水率: 1.96%, 以降から普通砂と示す)、水道水、HP(密度: 2.75g/cm³)、HS(密度: 2.59 g/cm³, 吸水率: 4.58%)である。詳細を以下に記述する。

2.5.1 HPと普通砂を用いたモルタル供試体の配合

セメント使用量の 5, 10, 20%を HP で置換し、細骨材に普通砂を用いたモルタル供試体の配合表を表-1 に示す。HP 置換率 0%とは HP を使用していないものであり、他の供試体と比較するために作製した。

表-1 HPと普通砂を用いたモルタル供試体の配合表

HP置換率 [%]	水セメント 比 [%]	水 [g]	セメント割合 [g]		普通砂 [g]
			普通ポルトランド セメント	HP	
0	50	1306	2613	0	6677
5			2482	131	
10			2352	261	
20			2094	523	

2.5.2 HPとHSを用いたモルタル供試体の配合

セメント使用量の 5, 10%を HP で置換し、細骨材に HS を用いたモルタル供試体の配合を表-2 に示す。なお、細骨材の違いによる流動性・強度を比較するために、HP 置換率 0%において、細骨材を普通砂および HS を用いたモルタル供試体を作製した。

また、表-2 に示す HS は気乾状態における重量であるため、水重量は HS を表乾状態になるように補完した重量となっている。

表-2 HPとHSを用いたモルタル供試体の配合表

HP置換率 [%]	水セメント 比 [%]	水 [g]	セメント割合 [g]		HS [g]
			普通ポルトランド セメント	HP	
0	50	1529	2323	0	6677
5			2207	116	
10			2091	232	

2.6 モルタルフロー試験

モルタルに HP および HS の両材料を用いた場合における流動性を比較・検討するために、セメントの物理試験(JIS R 5201)に準拠してモルタルフロー試験を行なった。

2.7 モルタル供試体の強度試験

モルタル供試体の圧縮試験を、セメントの物理試験(JIS R 5201)に準拠しておこなった。表-1、表-2 に示すモルタル供試体ともに、材齢 7, 28 日における強度試験を行なった。

2.8 モルタル供試体の粉末 X 線回折

ホッキ貝殻がセメント水和反応に与える影響を調べるために、XRD 装置によってセメント水和生成物[水酸化カルシウム, $\text{Ca}(\text{OH})_2$]の生成状況を確認した。この水酸化カルシウムの生成状況を確認することで、セメント水和反応の進行度合いを把握することができる。

XRD 用の試料は、任意の材齢における強度試験終了後、破壊試片をアセトンに漬け真空処理し 75 μm フリイを通過したものを試料とした。

3 結果と考察

3.1 HPの密度試験およびHSの密度・吸水率試験結果

HP の密度試験結果を表-3 に示す。また、HS の密度・吸水率試験結果を表-4 に示す。両材料の比較対象として、普通ポルトランドセメントと普通砂も示す。

表-3 HPの密度試験結果

	普通ポルトランド セメント	HP
密度 [g/cm ³]	3.16	2.75

表-4 HSの密度・吸水率試験結果

	普通砂	HS
密度 [g/cm ³]	2.77	2.59
吸水率 [%]	1.96	6.20

表-3 から、HP は普通ポルトランドセメントより密度が小さいことがわかった。表-4 から、HS は普通砂より密度が小さく、吸水率が大きいたことがわかった。このことから、両材料は多孔質な材料であると考えられる。

3.2 SEMによる粒形の観察結果

SEM により、HP、HS および普通砂の粒形を観察した。写真-3, 4, 5 に観察写真を載せる。

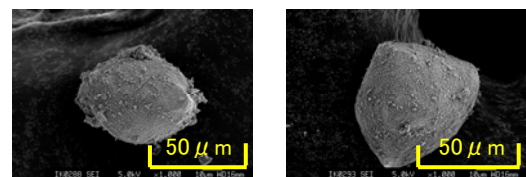


写真-3 HPの粒形

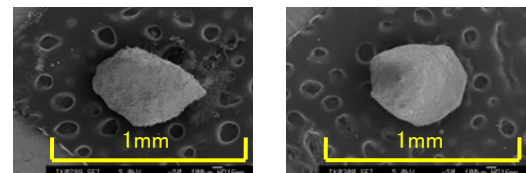


写真-4 HSの粒形

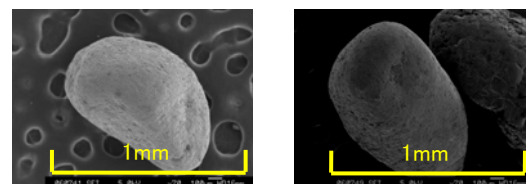


写真-5 普通砂の粒形

HP と HS の粒形を比較すると、角形が多く存在し、全体的に不定形であった。また、大きな空隙は存在しなかった。このことから、HP と HS は粒子の大きさは異なるものの、その粒形は酷似していることがわかった。

次に、HS と普通砂の粒形を比較すると、普通砂は丸形が多く存在するのに対して、HS は角形が多く存在することがわかった。このことから、HS を細骨材として用いる場合、角形の影響により骨材同士の抵抗が増し、モルタルの流動性が低下すると考えられる。

3.3 XRD によるホッキ貝殻の分析結果

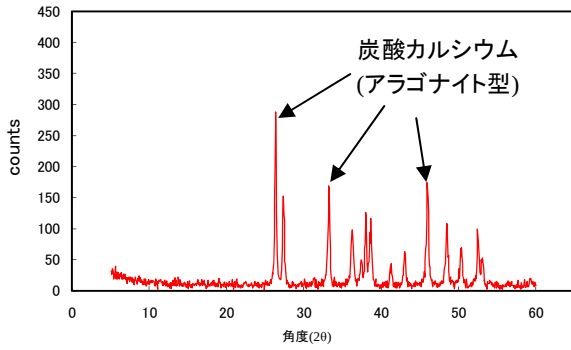


図-2 ホッキ貝殻の XRD 結果

ホッキ貝殻の XRD 結果を図-2 に示す。XRD の結果から、ホッキ貝殻は炭酸カルシウムであり、結晶構造はアラゴナイトであることがわかった。フィラーセメントに使用されている石灰石の結晶構造はカルサイトであるのに対して、ホッキ貝殻の結晶構造はアラゴナイトであった。しかし、結晶構造は異なっているものの、炭酸カルシウム自体は水には難溶性であることから、セメント水和反応に及ぼす影響は少ないと考えられる。

3.4 流動性の比較

表-1、表-2 におけるモルタル供試体のモルタルフロー試験結果を図-3 に示す。なお、図中()上は HP の置換率、()内は使用した細骨材の種類を示している。

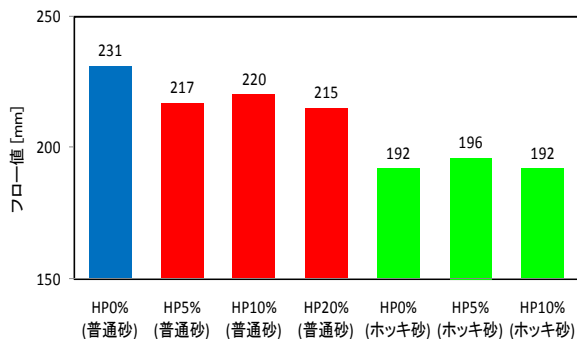


図-3 モルタルフロー試験結果

HP に着目すると、細骨材の種類に問わず、HP 置換率を変化させてもフロー値に大きな差異が現れなかった。このことから、HP は流動性に大きな影響を与えない材料であることが考えられる。

HS に着目すると、HS を用いたモルタルは普通砂を用いたモルタルと比較して、流動性が著しく低下していることがわかった。流動性が著しく低下した原因は、前述したように HP は流動性に大きな影響を与えない材料であることから、HS が原因であると考えられる。これは粒形が角形を成している HS(写真-4)の影響により、骨材同士の抵抗が増したためモルタルの流動性が低下したと考えられる。また、表-4 に示すように、HS は吸水率が高く、吸水率分を補正した水量以上を吸水したことによる要因も考えられる。

3.5 モルタル供試体の圧縮強度試験結果

3.5.1 HP と普通砂を用いたモルタル供試体の強度結果

セメント使用量の一部を HP で置換し、細骨材に普通砂を用いたモルタル供試体の材齢 7、28 日における圧縮強度試験結果を図-4 に示す。

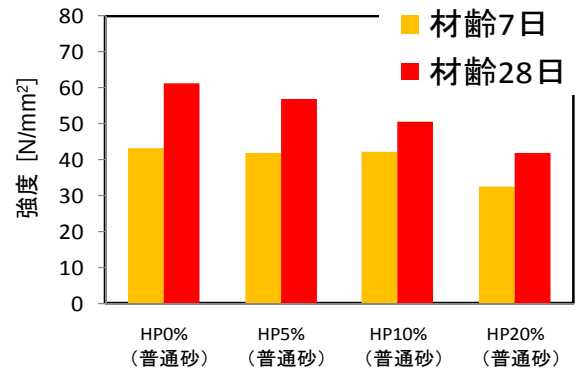


図-4 HP と普通砂を用いたモルタル供試体の圧縮強度結果

材齢 7 日において、HP 置換率 5、10%はセメント量が減量しているにもかかわらず、HP 置換率 0%の強度と同等であった。しかし、材齢 28 日においては、HP 置換率の増加に伴い強度が低下していた。このようなことから、HP は初期材齢においてセメント水和反応を促進することが示唆される。石灰石微粉末がセメント水和反応を促進させ強度増加に寄与する報告²⁾があることから、HP も石灰石微粉末と同様な効果により、強度増加に寄与していると考えられる。

3.5.2 HP と HS を用いたモルタル供試体の強度結果

セメント使用量の一部を HP で置換し、細骨材に HS を用いたモルタル供試体の材齢 7、28 日における圧縮強度試験結果を図-5 に示す。

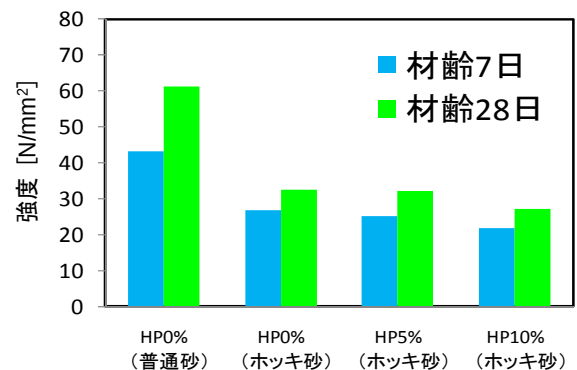


図-5 HP と HS を用いたモルタル供試体の圧縮強度結果

図-5 に示すように、普通砂を用いたモルタル供試体と比較して、HS を用いた供試体は HP の置換率に関係なく、強度が著しく低下していた。このことから、HS が強度の低下を引き起こした原因であると考えられる。これは HS の吸水率が高いために、吸水率を補正した水量以上を吸水したことで、セメントペーストと HS の付着が悪くなったことが強度低下の要因であると考えられる。

3.6 モルタル供試体の粉末X線回折結果

セメント使用量の一部を HP で置換し、細骨材に普通砂を用いたモルタル供試体の XRD 結果を図-6～図-9 に示す。なお、比較として HP 置換率 0%のモルタル供試体の XRD 結果(図-6)も示す。

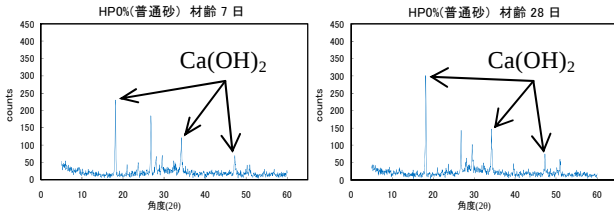


図-6 XRD 結果(HP0%, 普通砂, 左:材齢 7 日, 右:材齢 28 日)

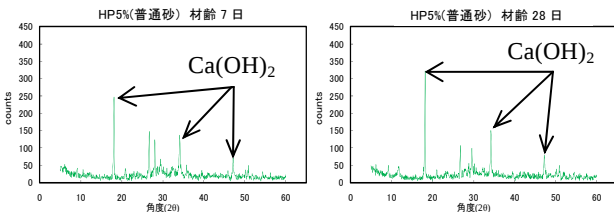


図-7 XRD 結果(HP5%, 普通砂, 左:材齢 7 日, 右:材齢 28 日)

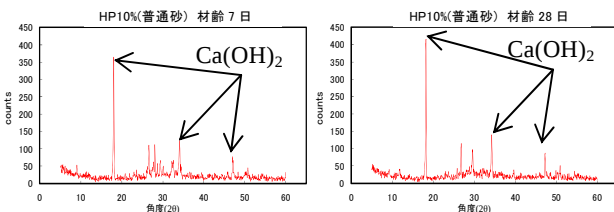


図-8 XRD 結果(HP10%, 普通砂, 左:材齢 7 日, 右:材齢 28 日)

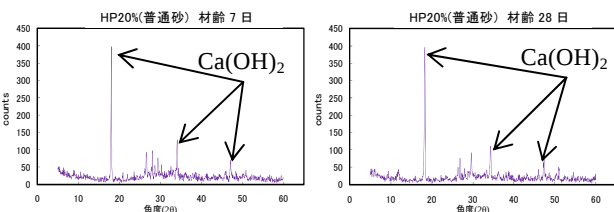


図-9 XRD 結果(HP20%, 普通砂, 左:材齢 7 日, 右:材齢 28 日)

セメント水和生成物である水酸化カルシウムに着目すると、図-6～9 に示すように HP 置換率の変化に関係なく、材齢の経過に伴い水酸化カルシウムは順調に生成されていることがわかった。このことから、HP はセメントの水和反応を阻害していないと考えられる。

材齢 7 日に着目すると、HP 置換率の増加に伴い、水産カルシウムの生成量が増加していることがわかった。この結果から、HP はセメント水和反応を増進させていることがわかった²⁾。

よって、図-6～図-9 および図-4 の結果から、初期材齢において、HP はセメント水和反応を増進させていることが確認できた。

4 結言

ホッキ貝殻を粉末状(ホッキパウダー)および細骨材(ホッキ砂)に加工し、両材料がコンクリートにおけるセメント増量材および細骨材として有効利用が可能であるかを検討すること、ホッキ貝殻に関する基礎的なデータを得ることを目的として、各種試験的な検討を実施した。明らかとなった事項を以下に示す。

- 1) ホッキパウダーは普通ポルトランドセメントより密度が小さいことがわかった。また、ホッキ砂は普通砂より密度が小さく、吸水率が高いことがわかった。
- 2) ホッキパウダーおよびホッキ砂の粒子は、粒形が角形であり全体的に不定形であった。
- 3) ホッキ貝殻の化合物は、炭酸カルシウムであり、結晶構造はアラゴナイトであった。
- 4) ホッキパウダーはモルタルの流動性に大きな影響を与えず、ホッキ砂は流動性を著しく低下させることがわかった。
- 5) ホッキパウダーは初期材齢におけるセメント水和反応の促進に寄与している。
- 6) ホッキ砂を用いた場合、著しく強度が低下することがわかった。

引用・参考文献

- 1) 黒柳要次, 大黒英二, 澤登信子, 鍋田一夫, 宮崎武: 循環型社会をめざして, 環境社会検定試験 eco 検定公式テキスト, pp82-83, 2006
- 2) 坂井悦郎, 中川晃次, 三原敏夫, 大門正機: フィラーセメント, わかりやすいセメント科学, No.6, pp.54-60, セメント協会, 1993
- 3) 山内匡, 清宮理, 横田季彦, 八木展彦: ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートの基本的性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1649-1654, 2006
- 4) 多田克彦, 福田康昭, 福田一見, 外崎正: ホタテ貝殻を用いたコンクリートの漁礁ブロックへの適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1655-1660, 2006
- 5) 苫小牧市の水産業
<http://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/nogyosuisan/suisan/hokkikai.htm>