

論文 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

山内 匡^{*1}・清宮 理^{*2}・横田 季彦^{*3}・八木 展彦^{*4}

要旨：全国で年間約 20 万トンのホタテ貝殻がリサイクルできず廃棄されている。本研究では、有効な大量リサイクル方法として、ホタテ貝殻を回転式破砕機によって細粉砕し、細骨材として活用したコンクリートの基本的性質について検討を行った。その結果、ホタテ貝殻を活用したコンクリートは、石灰石微粉末を混和した場合と同様な水和物が生成され、また、細粉砕したホタテ貝殻の微粒分が主体となり強度を向上させることが分かった。

キーワード：ホタテ貝殻、細骨材、回転式破砕機、リサイクル、石灰石微粉末

1. はじめに

全国で年間 50 万トン程度のホタテ貝が生産され、そのうち約 20 万トンの貝殻がリサイクルできず、動植物残渣として廃棄されている。一部では長期間野積み状態にされ、悪臭の発生や景観を損ねる場合も出てきている。肥料や飼料の添加材など、多方面においてリサイクルが進められているが、有効な大量リサイクル方法としては確立されていないのが現状である。

ホタテ貝殻の主成分が炭酸カルシウムであることから、大量リサイクル方法としてコンクリート用骨材としての活用の研究¹⁾が行われている。しかし、貝殻は扁平であるため、コンクリート用骨材として用いるためには、適用可能な大きさまで細粉砕することが求められる。

そこで、土質材料と添加材の破砕混合などに多数の工事実績を有し、また、ニシ貝やツメタ貝などの粉砕機としての実績もある回転式破砕(混合)機を用いて、ホタテ貝殻の破砕を行った。

本研究では、回転式破砕機を用いて細粉砕した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について、室内検討を行った。

2. 回転式破砕機

貝殻をコンクリートに適用可能な大きさまで

細粉砕し、粒度を調整することは、一般砂より大きなコストアップとなる場合が多い。しかし、回転式破砕機の場合、円筒内で高速回転する複数のチェーンの打撃力で貝殻を細粉砕し、また、チェーンの回転数等の仕様を変えることにより細骨材の粒度標準に近い分布に調整することが可能なため低コストとなる。図-1に回転式破砕機概念図を示す。

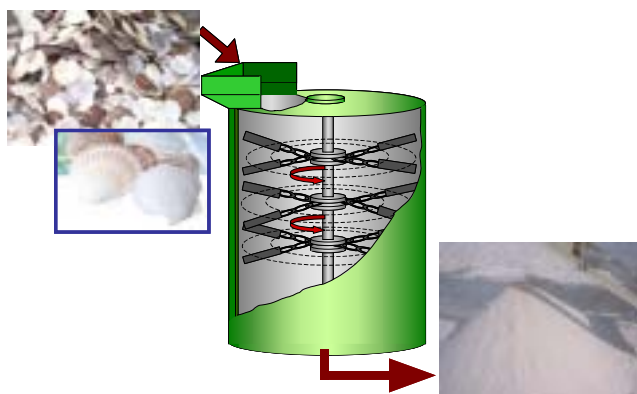


図-1 回転式破砕機概念図

3. ホタテ貝殻

3.1 炭酸カルシウムの種類

炭酸カルシウムは結晶構造の違いによりカルサイト、アラゴナイトおよびバテライトに分類される。細粉砕したホタテ貝殻は、粉末 X 線回折によって分析した結果、コンクリートの流動

*1 日本国土開発(株) 技術事業センター コンクリート研究室 (正会員)

*2 早稲田大学 理工学部社会環境工学科教授 工博 (正会員)

*3 日本国土開発(株) 技術事業センター 事業企画 G 工博

*4 早稲田大学 理工学部社会環境工学科

性改善，水和発熱低減等を目的として用いられているコンクリート用石灰石微粉末の主体であるカルサイト²⁾と同様なピークを示した。

図-2 にホタテ貝殻の粉末 X 線回折図を示す。

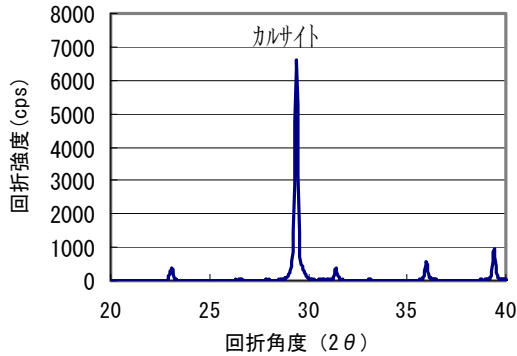


図-2 ホタテ貝殻の粉末 X 線回折図

3.2 粒度分布

回転式破砕機のチェーン回転数を 1200rpm としして細粉砕した，本実験で用いたホタテ貝殻を写真-1 に，その粒度分布を図-3 に示す。図中の実線は細骨材（砕砂）の粒度標準（JIS A 5308）の範囲であるが，細粉砕した貝殻は概ね粒度標準に近い分布であった。



写真-1 細粉砕後のホタテ貝殻

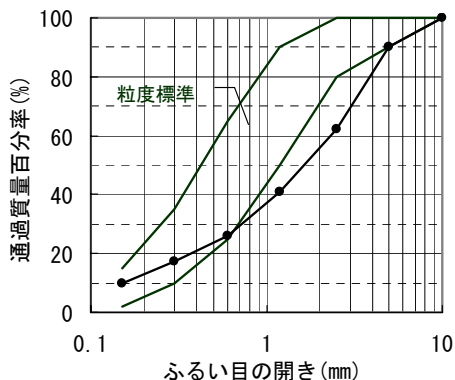


図-3 細粉砕後のホタテ貝殻の粒度分布

3.3 物理的特性

本実験で使用した細粉砕後のホタテ貝殻の物理試験結果を表-1 に示す。

微粒分量の物性値以外は，細骨材としての規格（JIS A 5308）を満足する値であった。

表-1 細粉砕後のホタテ貝殻の物理的特性

試験項目	物性値	試験方法
表乾密度 (g/cm ³)	2.63	JIS A 1109
吸水率 (%)	0.86	
実積率 (%)	55.0	JIS A 1104
微粒分量 (%)	8.9	JIS A 1103

3.4 NaCl 含有量および有機不純物

細粉砕後のホタテ貝殻に含まれる NaCl 含有量および有機不純物試験結果を表-2 に示す。NaCl 含有量は許容値 0.04%以下（JIS A 5308）を十分満足する値であり，また，有機不純物についても問題のない結果であった。これらの原因としては，本実験で使用した貝殻は加工用にボイルされたものであり，また，屋外に長期間集積されていたため，この間に雨水等によって洗われていたことが考えられる。

表-2 NaCl 含有量および有機不純物

試験項目	試験結果	試験方法
NaCl 含有量	0.004%	JASS 5T 202
有機不純物	淡い	JIS A 1105

4. 実験概要

4.1 使用材料およびコンクリート配合

表-3 に使用材料を，表-4 にコンクリート配合を示す。配合実験は，細骨材容積の一部を細粉砕したホタテ貝殻で置換えた（0～100%）場合について，水セメント比を 50%に固定し，スランプ 8±2.5 cm，空気量 4.5%±1.5 %が得られるように，単位水量および AE 剤を調整して行った。セメントは普通ポルトランドセメント，高炉セメント B 種の 2 種類をそれぞれ用いた。

4.2 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜには、容量 55 リットルのパン型強制ミキサーを使用し、1 バッチの練り量は 40 リットルとした。練混ぜ方法は空練り 30 秒、本練りを 90 秒とした。

4.3 試験項目

練上がった直後のコンクリートのフレッシュ性状として、JIS A 1101 に準拠したスランプ試験、JIS A 1128 準拠した空気量試験を行った。

力学的特性の検討として、材齢 7 日、28 日のコンクリートの圧縮強度および静弾性係数、また、材齢 28 日においては割裂引張強度および曲げ強度の試験を行った。なお、試験用供試体は 1 配合あたり 3 本とし、打込みの翌日脱型後、所定の材齢まで 20℃ の水中養生を行った。

表-3 使用材料

使用材料	種類および主な性質
セメント (C)	普通ポルトランドセメント(N) 密度:3.16 g/cm ³
	高炉セメント B 種(BB) 密度:3.04g/cm ³
細骨材 (S)	大井川産川砂 表乾密度:2.58g/cm ³ ,吸水率:2.19%
ホタテ貝(SS)	表-1
粗骨材 (G)	相模川産 2005 砕石 表乾密度:2.66g/cm ³ ,吸水率:1.06%
AE 減水剤 (Ad)	リグニンスルホン酸化合物

表-4 コンクリート配合

記号	セメント の種類	水セメント比 W/C (%)	ホタテ貝殻 置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)					(C×%)	
				W	C	SS	S	G	Ad	AE 剤*
N0	N	50	0	157	314	0	808	1025	0.25	2.4A
N25			25	172	344	190	559	1025	0.25	1.0A
N50			50	188	376	346	339	1025	0.25	0.5A
N100			100	204	408	623	0	1025	0.25	0.0A
BB0	BB	50	0	155	310	0	806	1025	0.25	2.9A
BB25			25	170	340	190	557	1025	0.25	2.2A
BB50			50	186	372	344	337	1025	0.25	1.2A
BB100			100	204	408	610	0	1025	0.25	0.3A

*1A=0.001%

5. 実験結果

5.1 フレッシュ性状

ホタテ貝殻の置換率の増加にともない、スランプ 8cm を得るのに必要な単位水量は増える傾向にあった。各配合において、良好なワーカビリティが得られたが、置換率 100% の場合については、貝殻が扁平な形状のため、突き棒がやや突き難い状態であった。空気量はホタテ貝殻の置換率の増加にともない、増える傾向にあったため、AE 剤の添加量を低減させ、空気量を調整した。高炉セメント B 種を使用した場合について、スランプの試験状況を写真-2 に示す。

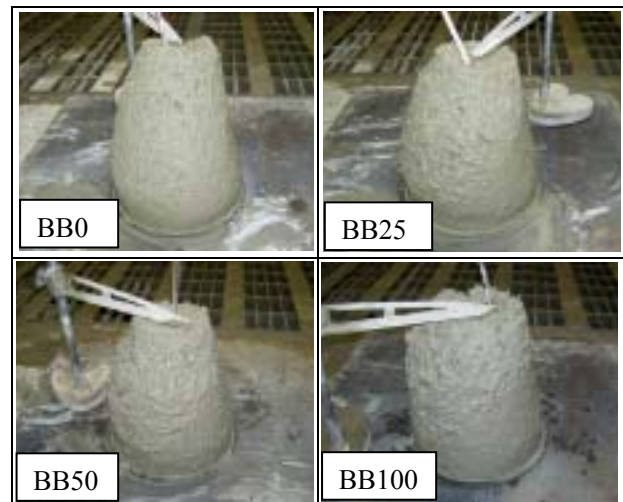


写真-2 スランプの試験状況

5.2 力学的特性

(1) 圧縮強度

それぞれのセメントについて、ホタテ貝殻の置換率と各材齢における圧縮強度の関係を図-4に示す。細骨材として海砂を使用した場合、細かい貝殻片が30%以下ならば、強度への影響は少ないといわれている³⁾。しかし、細粉碎したホタテ貝殻を細骨材として置換した本研究では、置換率25~100%の範囲で圧縮強度は向上した。

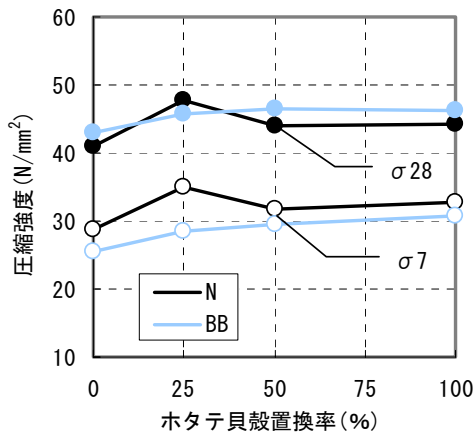


図-4 ホタテ貝殻置換率と圧縮強度の関係

(2) 静弾性係数

それぞれのセメントについて、ホタテ貝殻の置換率と各材齢における静弾性係数の関係を図-5に示す。貝殻置換率の増加に伴い、静弾性係数は低下した。また、図-6に示す圧縮強度と静弾性係数の関係(N)からは、貝殻置換率の増加に伴い、圧縮強度に対する静弾性係数の値も低下していることが分かる。

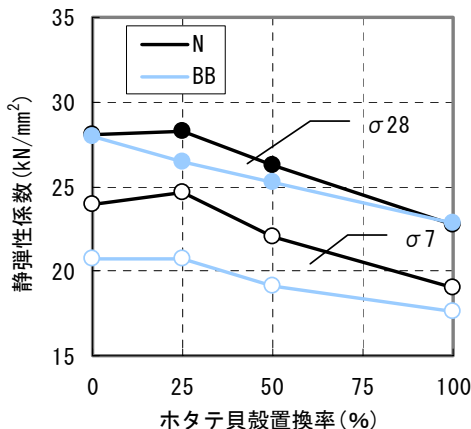


図-5 ホタテ貝殻置換率と静弾性係数の関係

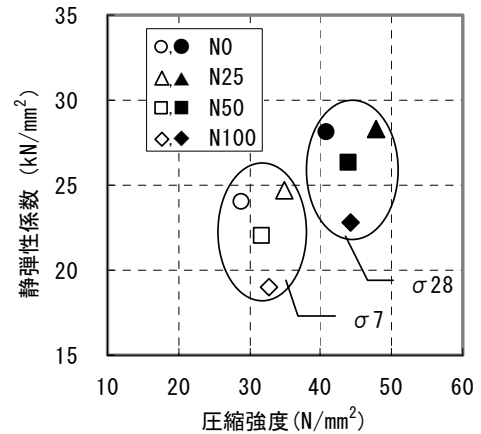


図-6 圧縮強度と静弾性係数の関係

(3) 引張強度, 曲げ強度

それぞれのセメントについて、ホタテ貝殻の置換率と引張強度および曲げ強度の関係を図-7, 9に示す。また、圧縮強度と引張強度および曲げ強度の関係を図-8, 10に示す。

引張強度は、圧縮強度と同様に、貝殻置換率の増加に伴い向上した。貝殻置換率50%以降においても、圧縮強度に比べ、若干の向上がみられるが、圧縮強度と引張強度の関係から、引張強度の向上は、圧縮強度の向上に伴うものと考えられる。

曲げ強度も、圧縮強度と同様に、貝殻置換率の増加に伴い向上した。しかし、圧縮強度と曲げ強度の関係からは、引張強度のような、圧縮強度の向上に伴った顕著な強度増加は得られていない。

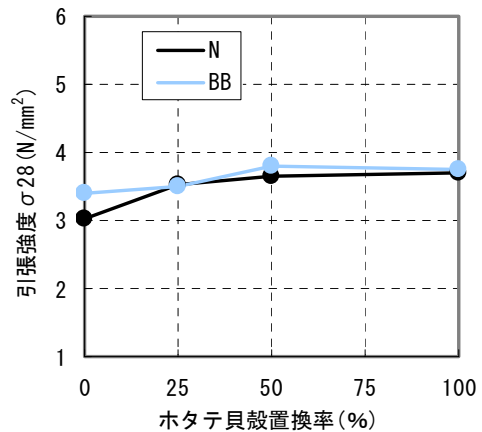


図-7 ホタテ貝殻置換率と引張強度の関係

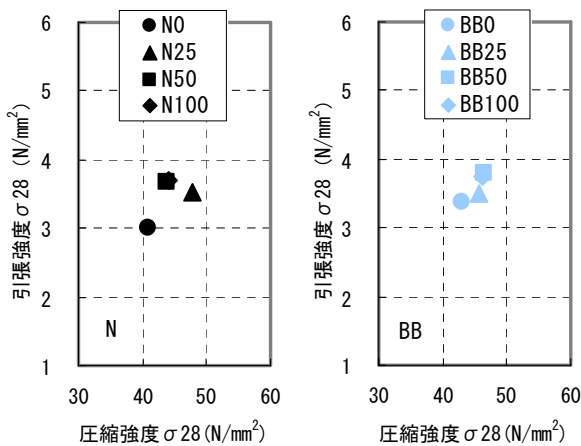


図-8 圧縮強度と引張強度の関係

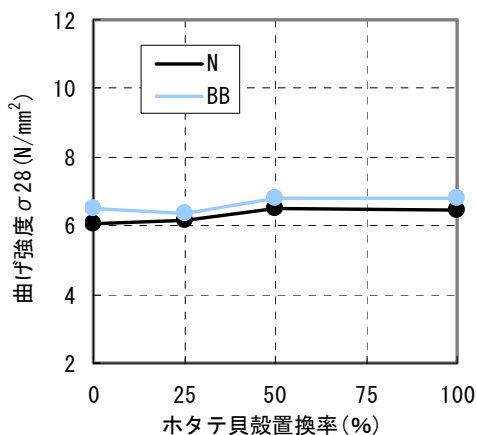


図-9 ホタテ貝設置換率と曲げ強度の関係

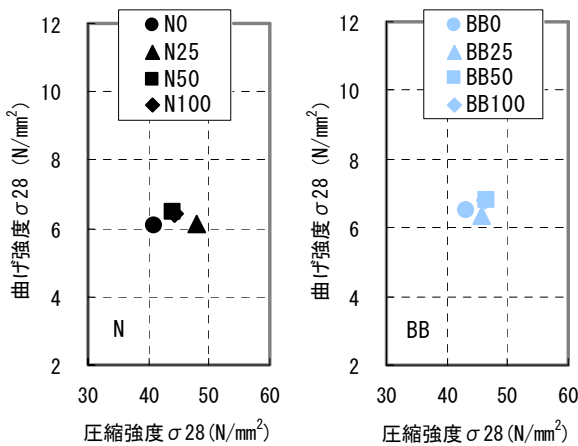


図-10 圧縮強度と曲げ強度の関係

6. 強度の向上する原因

同じようにカルサイトを主体とする石灰石微粉末を細骨材の一部に置換えた場合、微粉末効果による初期水和の促進と、炭酸カルシウムと各種カルシウムアルミネートとの反応によって初期強度は向上する²⁾とされている。こうしたコンクリート用石灰石微粉末の比表面積は、水

和発熱低減等を目的として、セメントなどと同様な細かさを有する粉体として期待されており、品質規格(案)として、 $2500\text{cm}^2/\text{g}$ 以上と下限値が規定されている。JIS R 5201のセメントの物理試験に準拠して行ったホタテ貝殻の微粒分の比表面積は $3980\text{cm}^2/\text{g}$ と規格値を満足する。

このことから、細粉碎したホタテ貝殻を細骨材として置換したことによる強度向上は、石灰石微粉末と同様なことが原因と考えられる。しかし、細粉碎したホタテ貝殻の微粒分量は8.9%と大きいものの、貝殻置換率25%の場合、 1m^3 当たりの微粒分量は17kg程度と少ない。

そこで、微粒分の強度への影響を確認するとともに、貝殻を置換したことによって生成される水和物の特定を粉末X線回折によって行った。

6.1 微粒分による影響

微粒分の強度への影響を確認するため、微粒分を $75\mu\text{m}$ の網ふるいで洗い落としたホタテ貝殻を用いて、追加試験を行った。試験ケースは、貝殻の置換率0%と、原材料(洗い前)、洗い材料、原材料+洗い材料(50:50)のそれぞれの貝殻で細骨材の25%を置換した場合について行った。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。各ケースにおける置換率0%に対するそれぞれの圧縮強度比を図-11に示す。

微粒分を洗い落とした貝殻で多く置換した場合でも、圧縮強度の向上はみられるものの、その強度比は低下した。このことから、強度の向上には細粉碎したホタテ貝殻の微粒分が主体となり、影響を与えていることが考えられる。

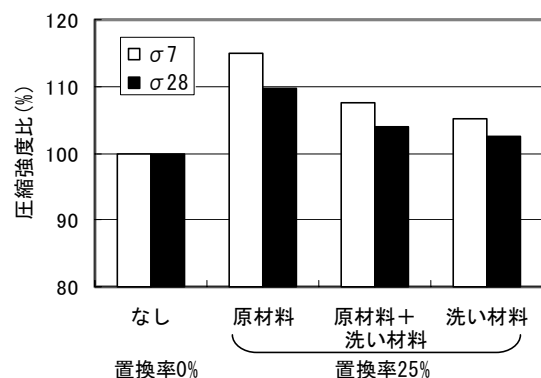


図-11 微粒分の圧縮強度への影響

6.2 粉末 X 線回折

石灰石微粉末は各種カルシウムアルミネートと反応して、モノカーボネートやヘミカーボネートを生成する²⁾。そのため、粉末 X 線回折による反応生成物の特定は、各種カルシウムアルミネートの生成がしやすい高炉セメント B 種について行った。試料は材齢 28 日におけるコンクリート圧縮強度試験後の供試体より採取したモルタル部分をアルミナ乳鉢の中でアセトンに浸して軽く摩砕し、懸濁液に浮遊する部分をろ過し、常温で真空乾燥したものを用いた。

図-12 の粉末 X 線回折図に示すように、貝殻を置換したことによって、石灰石微粉末を混和した場合と同様の反応生成物が確認された。

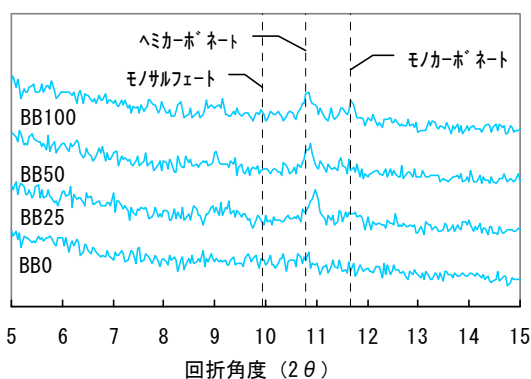


図-12 粉末 X 線回折図

7. 耐凍害性

空気量はホタテ貝殻の置換率の増加にともない増える傾向にあったことから、AE 剤の添加量を低減させることが必要であった。そのため、ホタテ貝殻の置換によって、エントレインドエアが少なくなり、硬化コンクリート中の気泡分布は、気泡径の大きい側へシフトし、耐凍害性の減少が懸念された。

しかし、普通ポルトランドセメントを用いた場合の、貝殻置換率 0%、25%、50%のそれぞれについて、リニアトラバース法によって気泡分布の測定を行った結果(図-13)、貝殻を増加した場合においても、置換率 0%と比べて、直径 30

~300 μm の微細な気泡の分布は、大きい側へシフトする傾向はみられなかった。

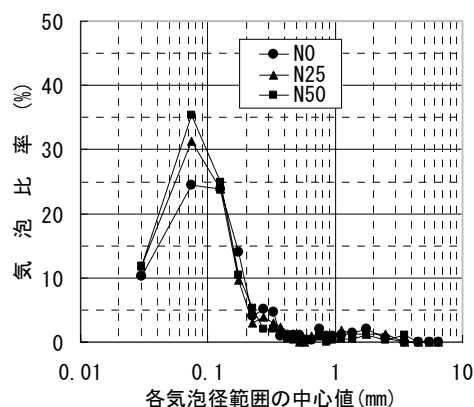


図-13 気泡分布の測定結果

8. 結論

回転式破砕機は、ホタテ貝殻をコンクリート用細骨材として適用可能な粒度に直接破砕することができた。細粉碎したホタテ貝殻を細骨材として置換したコンクリートは、置換率 25~100%の範囲で圧縮強度、引張強度、曲げ強度は向上し、静弾性係数は低下する傾向がみられた。

強度の向上には細粉碎したホタテ貝殻の微粒分が主体となっていることが考えられ、また、貝殻を置換したことによって生成される水和物は、石灰石微粉末を混和した場合と同様に、炭酸カルシウムと各種カルシウムアルミネートとの反応によるものであった。

参考文献

- 1) 多田 克彦, 福田 一美, 下倉 政志, 笹 正雄: ホタテ貝殻を用いたコンクリートのフレッシュ性状, 硬化性状, 耐海水性, 土木学会, 第 60 回年次学術公演会, 5-411, 2005.9
- 2) 坂井 悦郎, 市川 牧彦, 大門 正機: 石灰石微粉末の特性とその利用, コンクリート工学, Vol.36, No.6, pp.3-9, 1998.6
- 3) コンクリート技術の要点'98, 日本コンクリート工学協会, pp.17, 1998