

報告 ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートによるケーソン根固めブロックの製作

山内 匡^{*1}・清宮 理^{*2}・横田 季彦^{*3}・若崎 正光^{*4}

要旨：ホタテ全体の約 50%を占めている貝殻の有効な大量リサイクル方法の確立を目指し、回転式破砕機によって細粉碎したホタテ貝殻を、細骨材としてコンクリートに活用する研究を進めている。こうしたコンクリートの実用性確認のため、実証試験として八戸港湾内で実規模のケーソン根固めブロックを製作し、耐久性能の確認を目的とした長期暴露試験を開始した。これまでに、品質や施工性は普通コンクリートと同等であることが確認された。

キーワード：ホタテ貝殻、細骨材、回転式破砕機、リサイクル、ケーソン

1. はじめに

筆者らは、ホタテ全体の約 50%を占めている貝殻の有効な大量リサイクル方法の確立を目指し、破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（以下、シェルコンクリートと略称）の研究を行っている。

ホタテ貝殻の破砕には、コンクリート用細骨材として適用可能な大きさまで細粉碎することが可能な回転式破砕機（図-1）を用いた。これまでの室内試験では、細粉碎したホタテ貝殻の物性や、シェルコンクリートの配合、および圧縮強度等の基本的性質についての検討を行い、その結果については先に報告した¹⁾。

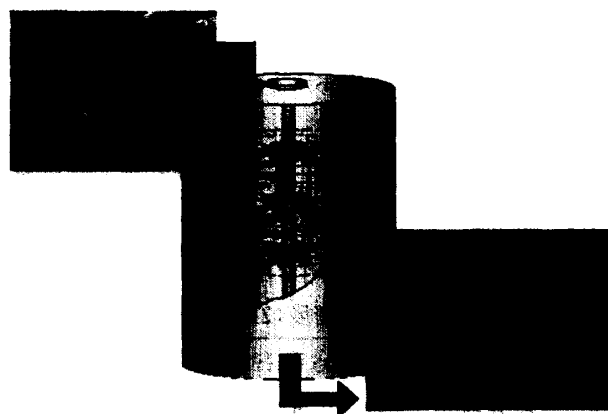


図-1 回転式破砕機概念図

本稿では、実機プラントでシェルコンクリートを製造・運搬し、八戸港湾内において実規模のケーソン根固めブロックを製作・沈設した一連の実証試験結果を報告する。

2. 実証試験の目的

シェルコンクリートに要求される事項としては、作業に適するワーカビリティ、所要の強度、耐久性、ひび割れ抵抗性等が挙げられる。強度については、これまでの基本的性質の検討結果¹⁾から、シェルコンクリートの材齢 28 日の圧縮強度は、普通コンクリートと同等以上であり、問題のないことが確認されている。

しかし、ホタテ貝殻の生産量の多い地域は北海道や青森県といった寒冷地であるため、コンクリート用細骨材として活用できる地域も限定される。そのため、特に要求される事項としては、過酷な環境下におけるシェルコンクリートの耐久性能が考えられる。

実証試験では、細骨材の 25%、50%を細粉碎したホタテ貝殻で置換したそれぞれのシェルコンクリートについて、実規模のケーソン根固めブロックを製作し、品質・施工性および各種コンクリート強度結果が普通コンクリートと同等で

*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 国土交通省 東北地方整備局 仙台港湾空港技術調査事務所

あるか否かの確認，また，耐久性能の評価のひとつとして挙げられる長期（気中・海中）暴露試験の実施を目的とした。

3. 実証試験の内容

普通コンクリートとホタテ貝殻の置換率 25%，50%としたシェルコンクリートについて，気中暴露試験用と海中暴露試験用で，それぞれ 2 個（計 6 個）の根固めブロックを製作した。

3.1 実施場所

八戸港湾内における，根固めブロックの製作および気中暴露試験ヤード，また，沈設および海中暴露試験の実施場所を図-2に示す。



図-2 実施場所

3.2 根固めブロックの形状

寸法は長さ 5.0m，幅 2.5m，高さ 1.4m の有孔型，コンクリート数量は 16.0m^3 /個である。根固めブロックの形状を図-3に示す。

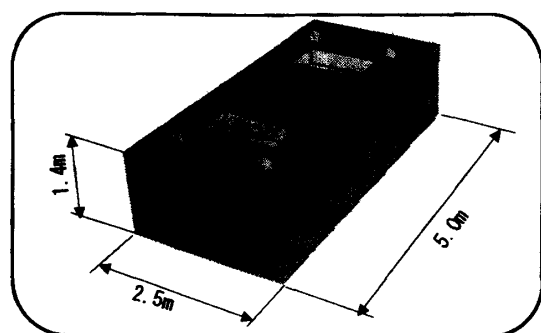


図-3 根固めブロックの形状

3.3 使用材料

表-1 にプラントの通常使用材料を，表-2 と図-4 に細粉碎したホタテ貝殻の物性値と粒度分布を示す。図中には細骨材（置換率 0%）およびホタテ貝殻で置換した細骨材全体（置換率 25%，50%）の粒度分布を示し，また，コンクリート用砕砂（JIS A 5005）の粒度標準範囲を実線で示す。なお，普通コンクリートに使用する細骨材（置換率 0%）の場合，山砂と砕砂の混合比は通常の 65:35 としたが，シェルコンクリートの場合には山砂のみを使用した。

微粒分量の物性値および粒度以外は，細骨材としての規定（JIS A 5308）を満足する値であった。微粒分量の物性値は，規定を満足しないものの，その主成分は炭酸カルシウムであり，結晶構造の違いによる分類は，これまでの検討結果¹⁾から，コンクリート用石灰石微粉末と同じカルサイト²⁾とされる。また，細粉碎したホタテ貝殻自体は粒度標準を満足しないものの，置換後（置換率 25%，50%）の細骨材全体では，粒度標準を概ね満足する粒度分布であった。

ホタテ貝殻は，これまでの研究で使用したものと同じ，加工用にボイルされ，屋外に長期間集積された青森県産のものを使用した。

表-1 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: 3.15g/cm^3
細骨材 (S)	①山砂 表乾密度: 2.62g/cm^3 , 吸水率:2.10% ②砕砂 表乾密度: 2.66g/cm^3 , 吸水率:1.08%
粗骨材 (G)	①2505 碎石 表乾密度: 2.70g/cm^3 , 吸水率:0.34% ②4020 碎石 表乾密度: 2.93g/cm^3 , 吸水率:0.33%
AE 減水剤 (Ad)	リグニンスルホン酸塩と オキシカルボン酸塩

表-2 細粉碎したホタテ貝殻(SS)の物性値

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(%)	1.02	
微粒分量(%)	8.5	JIS A 1103
有機不純物	淡い	JIS A 1105
NaCl含有量(%)	0.003	JASS 5T 202

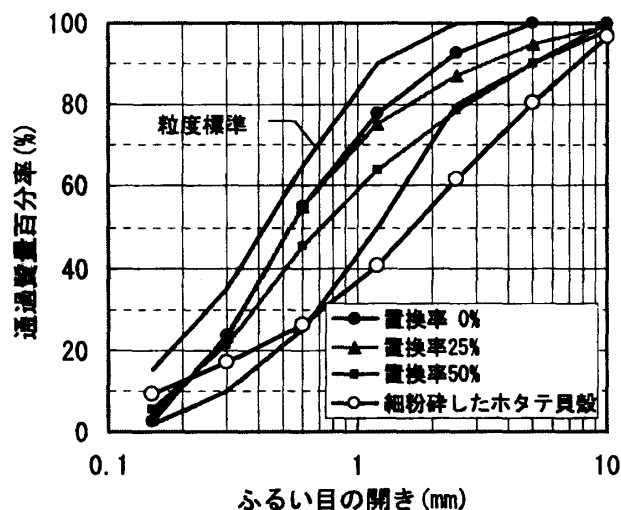


図-4 粒度分布

3.4 コンクリート配合

表-3 にコンクリート配合を示す。配合条件は水セメント比 65%，粗骨材最大寸法 40mm，設計基準強度（ σ_{28} ）を 18N/mm^2 とし，スランプ $8 \pm 2.5\text{ cm}$ ，空気量 $4.5\% \pm 1.5\%$ 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。

ホタテ貝殻の置換率の増加に伴い，目標スランプを得るのに必要な単位水量は増える傾向にあり，また，空気量は増える傾向にあったため，AE 剤の添加量を低減させて空気量を調整した。

4. 実証試験の結果

コンクリートの練混ぜには，容量 2.5 m^3 の強制 2 軸ミキサを用い，1 バッチ 2.0 m^3 の練混ぜ量とした。細粉碎したホタテ貝殻は，あらかじめプラントのホッパーに投入し自動計量した。

4.1 品質・施工性の確認

(1) 品質のばらつきや運搬による経時変化

プラントから根固めブロックの製作ヤードまでの運搬時間は 15～20 分程度であった。全生コン車を対象に，プラントと製作ヤードで行ったスランプと空気量の試験結果をそれぞれ図-5，6 に示す。また，普通コンクリート (SS0) とシェルコンクリート (SS25, SS50) のスランプの試験状況を写真-1 に示す。

図中の太線は，荷卸し地点でのスランプの許容差 $8 \pm 2.5\text{ cm}$ ，空気量の許容差 $4.5 \pm 1.5\%$ である。いずれのシェルコンクリート (SS25, SS50) も，品質のばらつきや運搬による経時変化は，普通コンクリート (SS0) と同等であることが確認された。プラントでは，事前に行った実機試験練り結果より，運搬による経時変化を想定し，目標スランプを 0 cm ，目標空気量を 5.0% とした。

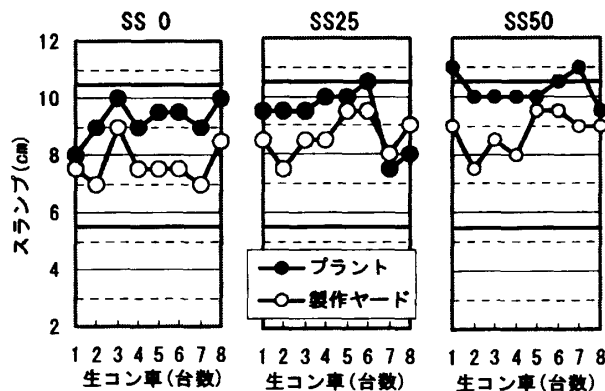


図-5 スランプの品質のばらつきや経時変化

表-3 コンクリート配合

記号	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	S①	S②	G①	G②	Ad	AE 剤
SS 0	65	0	149	229	0	534	292	623	553	1.00	9.0A
SS25		25	160	246	195	584	0	623	553	1.00	6.0A
SS50		50	172	265	367	366	0	623	553	1.00	4.5A

*1A=0.001%

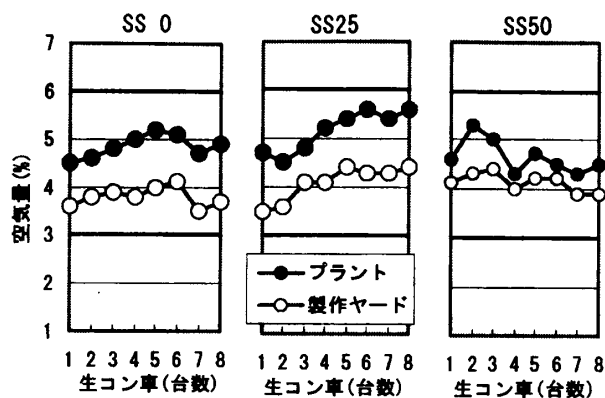


図-6 空気量の品質のばらつきや経時変化

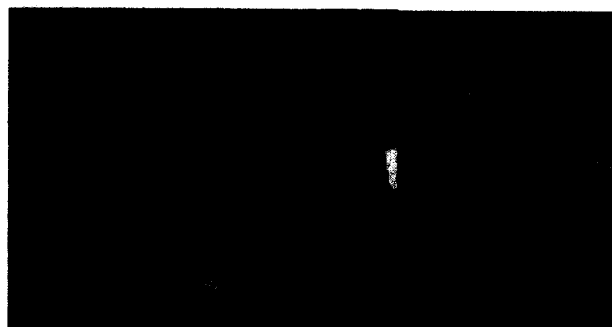


写真-1 スランプの試験状況

(2) 施工性

コンクリート打設はバケットによる2層打ちとした。いずれのシェルコンクリート (SS25, SS50) も普通コンクリート (SS0) と同様に、良好なワーカビリティが得られ、また、バケット打設への適用性も確認された。しかし、ホタテ貝殻を置換したことによるスランプ調整は、単位水量によって行っているためか、シェルコンクリートのブリーディング量は増加し、凝結時間は遅くなる傾向がみられた。事前に室内試験で行った凝結時間試験結果を図-7に示す。

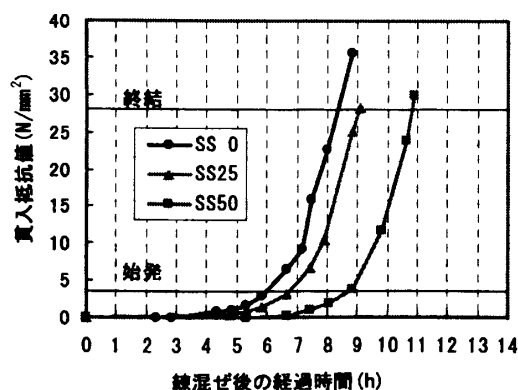


図-7 凝結時間試験結果

(3) 材料分離抵抗性

コンクリートの材料分離抵抗性が低下する場合には、振動締め等によって、深い位置でのコア単位容積質量は増大する傾向がみられることから、シェルコンクリートの材料分離抵抗性の評価は、根固めブロックの深さ方向から採取したコアの深さ位置の単位容積質量で行った。

試験用試料には、深さ方向90cm程度まで採取したコア (φ12.5cm) を3分割して、それぞれ圧縮強度用に成形したものを用いた。また、コアの採取は、普通コンクリート (SS0) とシェルコンクリート (SS25, SS50) について、気中用と海中用のそれぞれの根固めブロックから行い、各平均値を用いた。コアの深さ位置と平均単位容積質量の関係を図-8に示す。

深さ方向に採取したコアは、いずれも深い位置ほど単位容積質量は増大する傾向がみられた。シェルコンクリートの方が、その傾向はやや顕著であるが、シェルコンクリートの材料分離抵抗性に問題はないことが確認された。

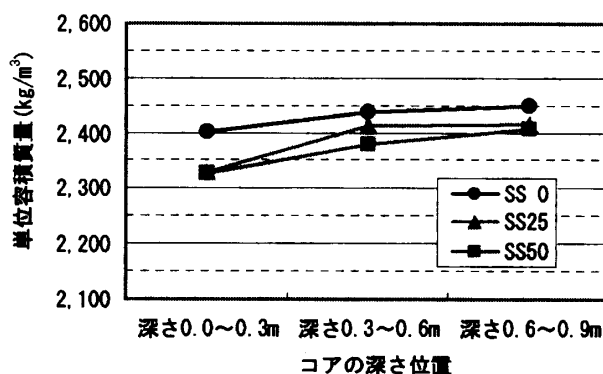


図-8 コアの深さ位置と単位容積質量

4.2 各種コンクリート強度の確認

各種強度試験で使用する供試体数は1材齢につき3本とし、その採取方法は、根固めブロックの製作ヤードにおいて、3台の違う生コン車からそれぞれ1本採取して合計3本とした。

各種コンクリート強度の確認として、普通コンクリートおよびシェルコンクリートについて、圧縮強度および静弾性係数、また、割裂引張強度および曲げ強度の試験を行った。

(1) 標準供試体

標準供試体は打込みの翌々日脱型後、所定の材齢まで 20℃ の水中養生を行った。普通コンクリート (SS0) およびシェルコンクリート (SS25, SS50) について、圧縮強度の発現状況を図-9 に示す。また、材齢 28 日における圧縮強度と静弾性係数の関係を図-10 に示す。図中には、標準示方書「設計編」に示されている特性値を示す。

これまでの検討結果¹⁾では、細粉碎したホタテ貝殻を細骨材として置換したシェルコンクリートの強度は、普通コンクリートに比べて、向上する傾向がみられていたが、本試験結果では、圧縮強度は幾分低下する傾向が認められた。いずれも設計基準強度 18N/mm^2 を満足しており、実用上は問題ないが、この原因については、現在、検討を行っている。シェルコンクリート (SS25, SS50) の静弾性係数については、普通コンクリート (SS0) に比べて低下する傾向が認められた。

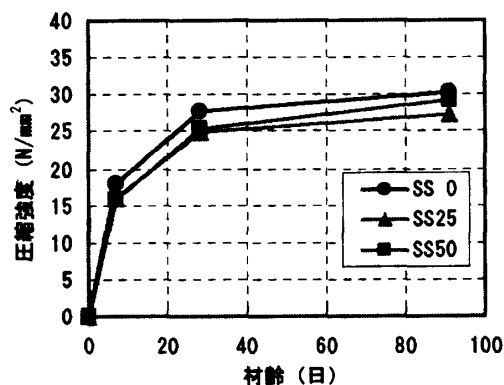


図-9 圧縮強度の発現状況

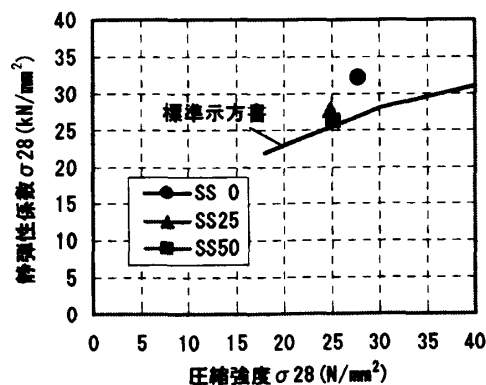


図-10 圧縮強度と静弾性係数の関係

材齢 28 日における、引張強度と圧縮強度の関係、曲げ強度と圧縮強度の関係をそれぞれ図-11, 12 に示す。図中には、標準示方書「設計編」に示されている特性値を示す。

シェルコンクリート (SS25, SS50) の引張強度と曲げ強度は、圧縮強度との関係から、普通コンクリート (SS0) と同等であるといえる。

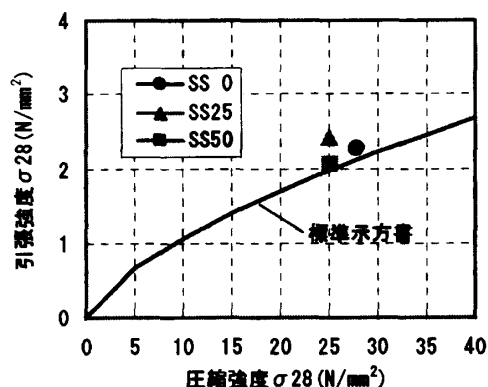


図-11 圧縮強度と引張強度の関係

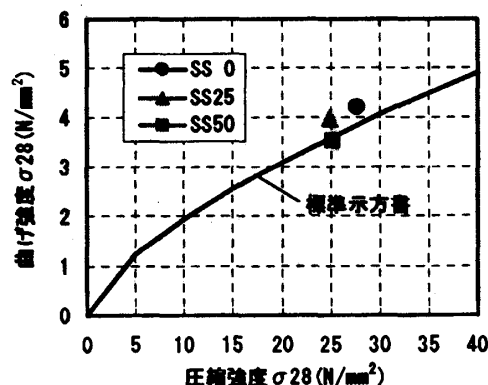


図-12 圧縮強度と曲げ強度の関係

(2) コア供試体

材齢 28 日におけるコア圧縮強度は、気中用と海中用のそれぞれの根固めブロックから採取したコアの各平均値とした。コアの深さ位置と平均圧縮強度の関係を図-13 に示す。

標準供試体と同様に、シェルコンクリートの圧縮強度は普通コンクリートに比べて、幾分低下する傾向が認められた。

普通コンクリートとシェルコンクリートはともに、深い位置ほど単位容積質量は増大する傾向がみられたが、深さ位置の違いによる圧縮強度への明らかな影響はみられなかった。

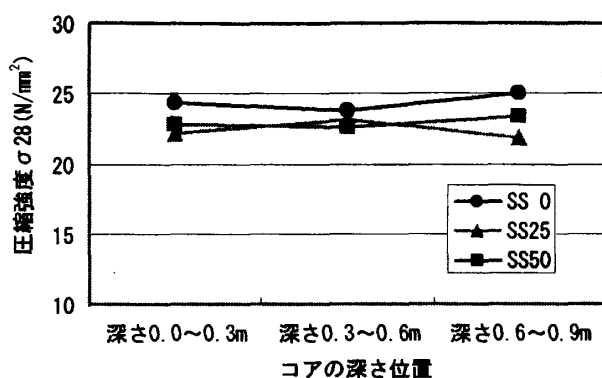


図-13 コアの深さ位置と圧縮強度

4.3 長期（気中・海中）暴露試験の実施

材齢28日において根固めブロックからコアを採取後、八戸港湾内において長期（気中・海中）暴露試験を開始した。根固めブロックの全景および海中沈設状況を写真-2, 3に示す。



写真-2 根固めブロックの全景

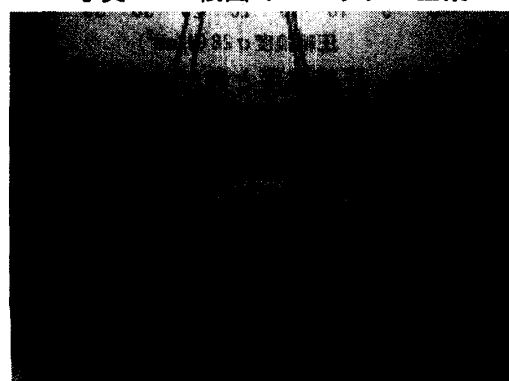


写真-3 海中沈設状況

今後、材齢1年、2年において、気中と海中の根固めブロックの外観調査や、採取したコアの圧縮強度および全塩化物イオン濃度の測定を行

い、耐久性能を確認する計画である。また、参考値として、標準供試体についても同材齢で圧縮強度試験を行う計画である。なお、根固めブロックは、それ以降についても、定期的に追跡調査を行っていく予定である。

5. まとめ

本実証試験では、細破碎したホタテ貝殻を細骨材として活用したシェルコンクリートを、実機プラントで製造・運搬し、実規模のケーソン根固めブロックを製作した。

シェルコンクリートの品質のばらつきや運搬による経時変化、バケット打設等の施工性、また、材料分離抵抗性は普通コンクリートと同等であることが確認された。各種強度試験についても、静弾性係数以外は普通コンクリートとほぼ同等の結果が得られた。

現在、製作したケーソン根固めブロックは、八戸港湾内において、気中および海中で暴露試験を実施している。今後、長期のデータを測定し、シェルコンクリートの各種耐久性能について確認するとともに、用途の拡大に向け、更なる検討を進めていく予定である。

なお、本実証試験を行うにあたり、事業者である国土交通省東北地方整備局八戸港湾・空港整備事務所の関係者各位、また、施工者の大館建設工業（株）や八戸地区生コンクリート協同組合の方々には、多大なるご協力をいただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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, 2006.7
- 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