

報告 ホタテ貝殻を用いたコンクリートの魚礁ブロックへの適用

多田 克彦^{*1}・福田 康昭^{*2}・福田 一見^{*3}・外崎 正^{*4}

要旨：水産副産物として発生しているホタテ貝殻は、ほとんどが野積み状態で保管されているため有効利用する技術開発が急務となっている。そこで、ホタテ貝殻をコンクリート骨材として利用することに着目し、製造コストを考慮して簡易的に破砕した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、耐久性状を確認し、一般のコンクリートとの比較を行った。また、魚礁ブロックへの適用性を確認するために、ホタテ貝殻を混入したコンクリートブロックを製造して実海域に沈設し、追跡調査により魚類の蝸集効果を確認した。

キーワード：リサイクル, ホタテ, 貝殻, 水産副産物, 魚礁, コンクリート製品

1. はじめに

ホタテ貝殻は、北海道、青森県を中心として全国で年間 20～30 万 t 発生し、その一部は地盤改良材、埋立て材などに利用されているが、その量は全体からみるとごくわずかであり、ほとんどは写真-1 の様に一時保管として野積みされている。しかし、その量は年々増加し、保管場所の逼迫、異臭の発生、景観への悪影響などが危惧されており、ホタテ貝殻のリサイクルの早急な対応が迫られている。

そこで、ホタテ貝殻をコンクリート骨材として利用することに着目し、高い圧縮強度が要求されないマスなブロック形状の魚礁に適用することを考えた。なお、ホタテ貝殻をむき出しにして魚礁に取り付けた事例は多くあるが、コンクリート用骨材として実製品に適用した事例は少ない。

本報告は、一般のコンクリートと比べて製造コストが上昇しないように簡易的に破砕したホタテ貝殻を用いたコンクリートを実機プラントで製造して各種基本物性を評価するとともに、魚礁ブロックとしての性能を確認するために、実海域において試験施工を実施し、追跡調査を

行った。



写真-1 ホタテ貝殻の一時保管状況

2. ホタテ貝殻混入コンクリートのフレッシュ性状、硬化性状

2.1 実験概要

シリーズ 1 では室内試験により、ホタテ貝殻を混入したコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係を確認した。シリーズ 2 では実機試験により、ホタテ貝殻の混入率が各種性状に与える影響を確認した。なお、ホタテ貝殻は細骨材への置換としたため、本報告での置換率はホタテ貝殻の細骨材の容積に対する比率とした。また、連続的に実物大のコンクリートブロック（重量 11t）を製作し、製造性を確認した。ホタテ貝殻は、ブロックを製造した工場にてホイー

*1 太平洋セメント（株） 中央研究所技術企画部技術情報チーム（正会員）

*2 太平洋セメント（株） 品質技術部技術グループ

*3 太平洋マテリアル（株） 商事営業部

*4 銭亀沢漁業協同組合

ルローダーを用いて大きさが 40mm 以下となるように破碎し実験に供した。破碎後のホタテ貝殻を写真-2 に示す。



写真-2 使用したホタテ貝殻

2.2 シリーズ 1

(1) 実験概要

使用材料として、セメントは普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm^3)、細骨材は陸砂 (表乾密度 2.60g/cm^3 , 吸水率 1.61%, F.M.2.84), 粗骨材は碎石 2005 (密度 2.64g/cm^3 , 吸水率 0.71%, F.M.6.72, $G_{\max}20\text{mm}$), ホタテ貝殻 (密度 3.14g/cm^3 , 吸水率 1.67%), 混和剤はポリカルボン酸系高性能減水剤および空気量調整剤を用いた。配合を表-1 に示す。ホタテ貝殻混入コンクリート (以下, 貝殻コンクリートと記す) の配合は, ホタテ貝殻を混入していない一般のコンクリート (以下, プレーンコンクリートと記す) の配合をベースに目標スランプ ($15\pm 2.5\text{cm}$) および空気量 ($4.5\pm 1.5\%$) を満足するように, 細骨材率もしくは混和剤の添加率を変化させた。なお, 貝殻コンクリートのホタテ貝殻置換率 (以下, 貝殻置換率と記す) は 15% で固定し, 水セメント比は 40, 45, 50% の 3 種類とした。ミキサは, 50L 強制練り 2 軸ミキサを用い, セメント, 粗骨材, 細骨材, ホタテ貝殻をミキサに投入して 30 秒間空練りした後, 水, 混和剤を投入して 90 秒間本練りした。養生は蒸気養生とし, 前置き 3 時間, 昇温速度 20°C/h , 最高温度 65°C で 3 時間保持, 以降は自然放冷とした。蒸気養生後は所定材齢まで気中養生とした。測定項目は, スランプ (JIS A 1101), 空気量 (JIS A 1128), 圧

縮強度 (JIS A 1108) とした。

表-1 配合

配合名	W/C (%)	貝殻置換率 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
				W	C	SH	S	G
50-0	50	0	43.0	171	342	0	756	1015
50-15	50	15	41.0	171	342	130	612	1052
45-0	45	0	42.0	171	380	0	725	1015
45-15	45	15	40.0	171	380	125	587	1049
40-0	40	0	40.7	171	428	0	686	1015
40-15	40	15	38.7	171	428	118	555	1049

W: 水, C: セメント, SH: ホタテ貝殻
S: 細骨材, G: 粗骨材

(2) 実験結果

フレッシュ性状の結果を表-2 に示す。ホタテ貝殻は練混ぜによりミキサ内で多少破碎されたが事前に試し練りを行いフレッシュ性状を確認しておいた。貝殻コンクリートのスランプはプレーンコンクリートのスランプとほぼ同等もしくは若干小さくなった。これは, 貝殻コンクリートはホタテ貝殻がモルタルの形状を保ち, くずれにくくしているためであると考えられる。また, 貝殻コンクリートはプレーンコンクリートと比べて空気量を連行しにくく, 所定の空気量を得るための空気量調整剤の使用量が若干多くなった。

圧縮強度を図-1 に, 蒸気養生を実施した材齢 14 日のセメント水比と圧縮強度の関係を図-2 に示す。貝殻コンクリートはプレーンコンクリートと同様にセメント水比と圧縮強度は直線関係で示されることが分かった。貝殻コンクリートの圧縮強度はプレーンコンクリートに対して 75~85% の値であり, 水セメント比が小さくなるほどプレーンコンクリートとの差は小さくなった。これは, 水セメント比が小さいほど細

表-2 フレッシュ性状の結果

配合名	高性能減水剤添加率 (C×%)	空気量調整剤添加率 (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
50-0	0.25	0.0015	16.0	4.7
50-15	0.25	0.0030	13.0	5.1
45-0	0.30	0.0015	15.0	4.3
45-15	0.30	0.0030	14.0	5.3
40-0	0.35	0.0015	15.0	5.1
40-15	0.35	0.0025	15.0	5.4

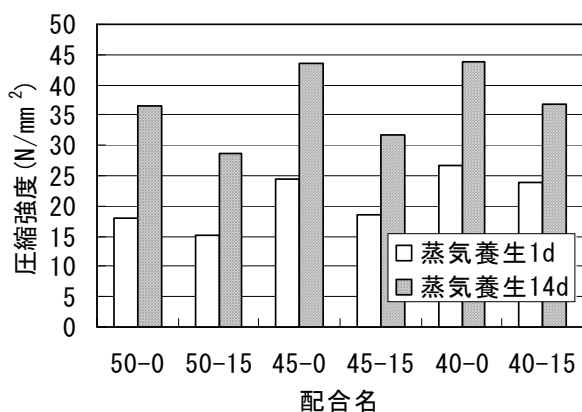


図-1 圧縮強度

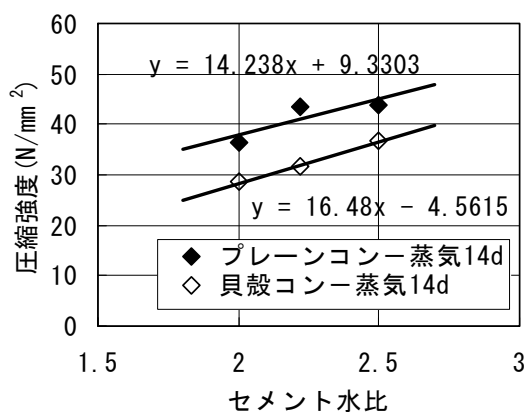


図-2 セメント水比と圧縮強度の関係

骨材率が小さくなるため同一の貝殻置換率でもコンクリート中に占めるホタテ貝殻の割合が小さくなったためと考えられる。また、貝殻コンクリートの材齢14日の材齢1日に対する圧縮強度の増加率は1.5~1.9程度であり、プレーンコンクリートとほぼ同等であった。

2.3 シリーズ2

(1) 実験概要

使用材料として、セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3)、細骨材は陸砂(表乾密度 2.58g/cm^3 、吸水率1.70%、F.M.2.47)、粗骨材は砕石2005(密度 2.70g/cm^3 、吸水率0.89%、F.M.6.69、 $G_{\text{max}}20\text{mm}$)、ホタテ貝殻(密度 3.14g/cm^3 、吸水率1.67%)、混和剤はポリカルボン酸系高性能減水剤および空気量調整剤を用いた。配合を表-3に示す。シリーズ1と同様に、目標スランブは $15\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量は $4.5\pm 1.5\%$ とした。なお、水セメント比は45%に固定

し、貝殻置換率は15、20、30%の3種類とした。ミキサは、コンクリート製品工場の実機の2500L強制練り2軸ミキサを用い、練混ぜ方法、養生方法はシリーズ1と同様とした。測定項目はシリーズ1の項目に加えて、フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量(JIS A 5308 簡易法)、静弾性係数(JIS A 1149)を行った。圧縮強度は蒸気養生と比較するために標準養生を行った。なお、製造にあたっては、ホタテ貝殻をあらかじめ製造プラントの骨材ビンに投入し自動計量した。

また、置換率20%の貝殻コンクリートを用いて実物寸法法のブロックを製造し、製品の外觀(気泡、有害なひび割れなど)を目視で確認した。15日間にわたって連続的に製造を行い、フレッシュ性状、圧縮強度を測定した。

表-3 配合

配合名	W/C (%)	貝殻置換率 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
				W	C	SH	S	G
45-0	45	0	43.0	171	380	0	719	1040
45-15	45	15	45.0	171	380	141	655	986
45-20	45	20	47.0	171	380	196	643	950
45-30	45	30	49.0	171	380	306	587	914

W: 水、C: セメント、SH: ホタテ貝殻
S: 細骨材、G: 粗骨材

(2) 実験結果

フレッシュ性状の結果を表-4に、スランブ試験の状況を写真-3に示す。貝殻コンクリートのフレッシュ時の塩化物イオン量は貝殻置換率に関わらず $0.02\sim 0.03\text{kg/m}^3$ となりプレーンコンクリートとほぼ同等で、上限値の 0.3kg/m^3 を十分に満足した。これは、本実験に使用したホタテ貝殻は、水揚げ時に熱湯処理されており、また雨水にさらされて保管されていたため、そ

表-4 フレッシュ性状の結果

配合名	高性能減水剤 添加率 (C×%)	空気量調整剤 添加率 (C×%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	塩化物イオン量 (kg/m^3)
45-0	0.40	0.006	17.5	5.2	0.02
45-15	0.40	0.008	15.5	5.3	0.02
45-20	0.60	0.008	15.5	5.5	0.03
45-30	0.60	0.008	16.0	5.2	0.03



写真-3 スランプ試験の状況

の時点で海水の塩分が抜け、プレーンコンクリートとほぼ同等になったものと考えられる。貝殻置換率 20%までは打込み、締固め、仕上げはプレーンコンクリートと同様に行うことができたが、貝殻置換率 30%ではホタテ貝殻が非常に目立ち、ワーカビリティが悪くなった。

圧縮強度を図-3に、貝殻置換率と圧縮強度の関係を図-4に示す。材齢 14 日の貝殻コンクリートの圧縮強度はプレーンコンクリートに対して 85~90%の値であり、貝殻置換率が大きくなるほど圧縮強度は小さくなり、プレーンコンクリートとの差が大きくなった。材齢 1 日の貝殻コンクリートの圧縮強度は、プレーンコンクリートと比較して同等かやや小さい程度であり、11~12N/mm² 得られたためブロックの脱型作業は十分に行えるものと思われる。圧縮強度と静弾性係数の関係を図-5に示す。圧縮強度と静弾性係数の関係はプレーンコンクリートとほぼ同等であった。

製造した貝殻コンクリート製ブロック（寸法：2.7×2.0×高さ 1.3m、重量：11t）を写真-4に示す。製造性はプレーンコンクリートと同等であり、ブロックの表面はホタテ貝殻が見えることもなく、有害なひび割れ、欠け、ジャンカなどは認められなかった。

日間変動を確認するため、15 日間の製造期間中にわたってフレッシュ性状、圧縮強度を測定した。その結果を図-6および図-7に示す。スランプ、空気量に関しては、規格値を満足するとともにばらつきも小さかった。圧縮強度に関しても、材齢 14 日の圧縮強度は設計基準強度を上回った。なお、得られた変動係数を用いて設計基準強度を下回る確率を 5%以下として配

合強度を計算すると 24N/mm²となる。これらの結果から、連続生産により性状が安定していることが確認された。

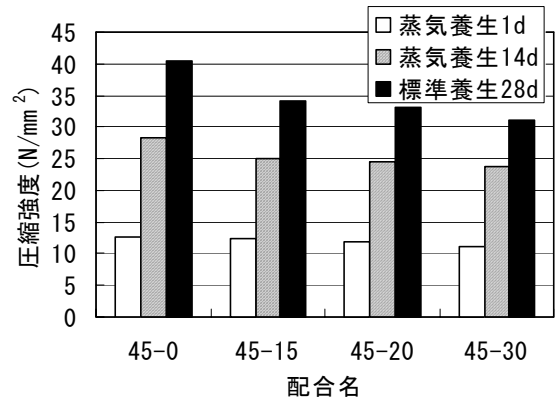


図-3 圧縮強度

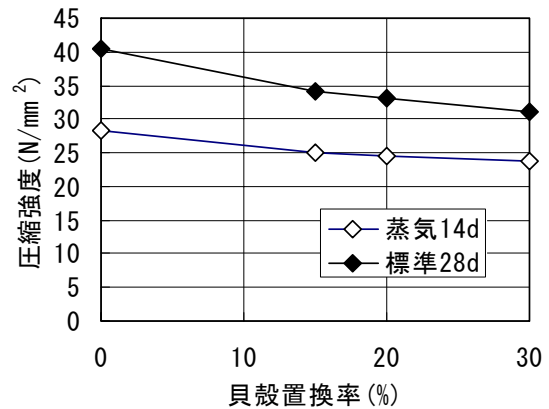


図-4 貝殻置換率と圧縮強度の関係

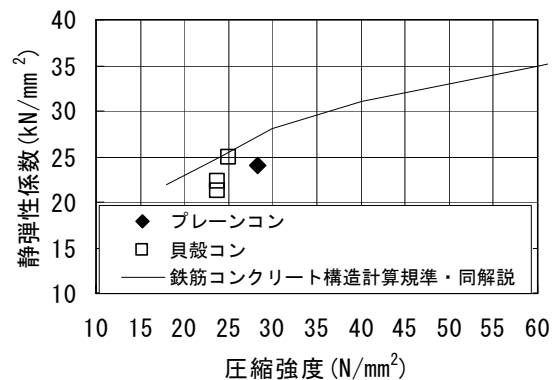


図-5 圧縮強度と静弾性係数の関係



写真-4 貝殻コンクリート製ブロック

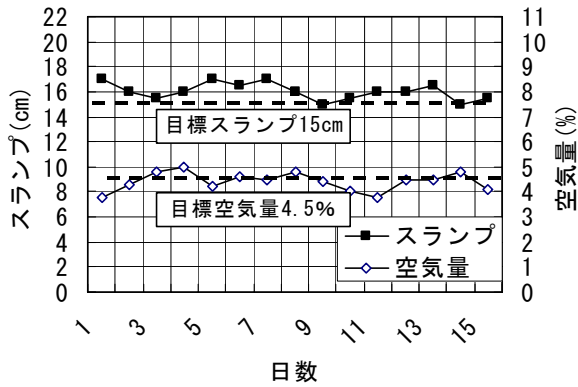


図-6 フレッシュ性状

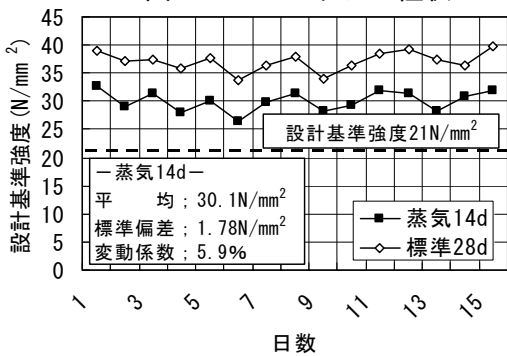


図-7 圧縮強度

3. ホタテ貝殻混入コンクリートの耐久性試験

3.1 実験概要

ホタテ貝殻を混入したコンクリートブロックを魚礁ブロックに適用するために、海中供用時における耐久性を評価した。

3.2 人工海水浸漬試験

(1) 実験概要

試験体は、シリーズ 2 で製造したコンクリート采取了したφ10×20cmの円柱供試体である。塩分量 3.5%、水温 20℃の人工海水を作製し、その人工海水を溜めた水槽に試験体を所定の材齢まで浸漬した¹⁾。測定項目は、圧縮強度 (JIS A 1108)、動弾性係数 (JIS A 1127)、塩分浸透量 (EPMA 分析による全塩分浸透量測定、X線マイクロアナライザー、6ヵ月後) とした。

(2) 実験結果

浸漬期間と圧縮強度の関係を図-8に示す。貝殻コンクリートは、プレーンコンクリートと同様に浸漬 12ヵ月後でも圧縮強度は増加しており、浸漬開始直後に比べてプレーンコンクリートが 60%増となったのに対して、貝殻コンクリートは貝殻置換率による大きな差はなく 40～

50%増であった。浸漬期間と動弾性係数の関係を図-9に示す。圧縮強度の挙動と同じ様に、貝殻コンクリートはプレーンコンクリートと同様に浸漬 12ヵ月後でも相対動弾性係数は増加しており、浸漬開始直後に比べてプレーンコンクリート、貝殻コンクリートともに差はなくおよそ 20%増であった。

EPMA 分析による浸漬 6ヵ月後の Cl⁻の分布を図-10に示す。貝殻コンクリートの塩化物イオン浸透量はプレーンコンクリートとほぼ同等であった。ホタテ貝殻により水みちがで、プレーンコンクリートよりも内部まで塩分が浸透す

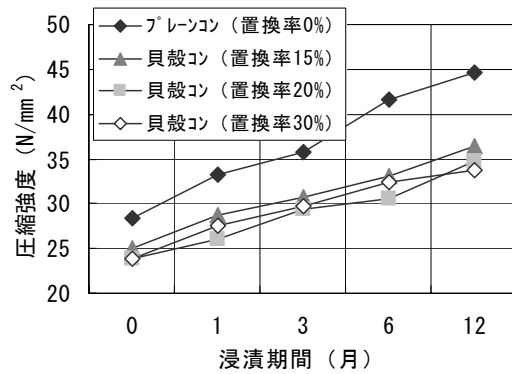


図-8 浸漬期間と圧縮強度

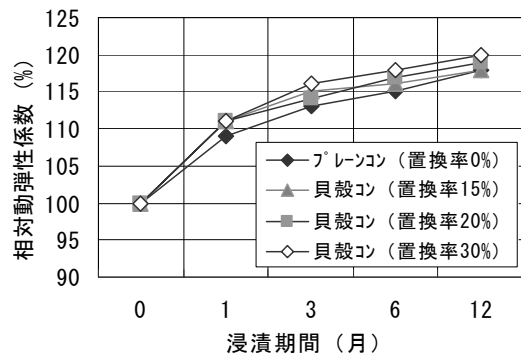


図-9 浸漬期間と相対動弾性係数

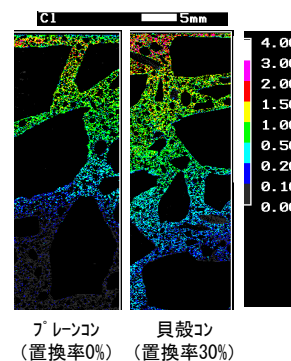


図-10 EPMA 分析による Cl⁻分布

ることが危惧されたがそのようなことは認められなかった。

4. ホタテ貝殻混入コンクリート製ブロックの実海域沈設実験

4.1 実験概要

ホタテ貝殻混入コンクリート製ブロック（重量 11t）の魚礁のかさ上げ材としての適用性を評価するために、実海域に一般のコンクリート製魚礁とともに試験沈設した。沈設場所は北海道函館市銭亀沢沖、水深 40m の部分である。200t クレーン付き台船で GPS 誘導によりなだらかな山を形成するようにブロックを 30 基、その上部にコンクリート製魚礁をランダムに設置した。礁の配置イメージ図を図-11 に、施工状況を写真-5 に示す。ブロックは破損などの異常なく海底に設置された。

4.2 追跡調査結果

沈設 12 ヶ月後の 6 月に魚類の蛸集効果の調査（ダイバー潜水による写真，ビデオ撮影）を実施した。魚類の蛸集状況を写真-6 に示す。コンクリート製魚礁の中に大量のクロソイ，キツネメバルが確認され，貝殻コンクリートブロックを魚礁のかさ上げ材として適用できることが分かった。今後も定期的に追跡調査していく予定である。

5. まとめ

ホタテ貝殻を簡易に破砕したものを骨材として使用したコンクリートを実機プラントで製造し各種基本物性を把握するとともに，実海域において試験沈設を行い，魚礁のかさ上げ材としての性能評価を行った。その結果をまとめる。

- (1) 細骨材への置換率が 20%程度であればホタテ貝殻混入コンクリートのワーカビリティは一般のコンクリートと同等で，打込み，締固め，仕上げなどは十分可能であった。
- (2) ホタテ貝殻混入コンクリートの圧縮強度は，同一水セメント比の一般のコンクリートに比べて 10~20%程度低下した。また，一般のコ

ンクリートと同様にセメント水比と圧縮強度の関係は直線関係で示されることが分かった。

- (3) 人工海水に浸漬した結果，一般のコンクリートと比較して塩化物イオンの浸透量，圧縮強度の変化率はほぼ同等であった。
- (4) 実海域にホタテ貝殻混入コンクリート製のブロックを一般の魚礁とともに試験沈設した結果，12 ヶ月経過後魚礁部分に魚類の蛸集効果が認められた。

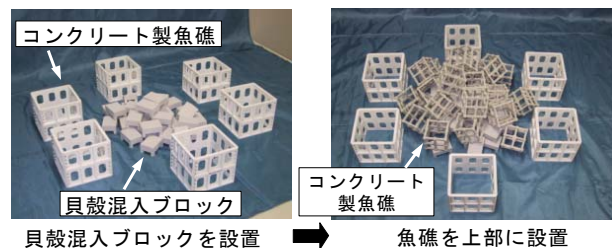


図-11 礁の配置イメージ



写真-5 施工状況



写真-6 蛸集状況（12 ヶ月後）

謝辞

本実験の実機プラントでの製造を行うにあたっては株式会社カイトの下倉政志氏にご協力いただきました。また，試験施工を行うにあたっては北海道の笹正雄氏からご指導いただきました。ここの感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西林新蔵：コンクリートの耐海水性 その研究の現状と将来，セメント・コンクリート，No.410，pp.2-9，1981.4