

シェルコンクリートの港湾工事への適用

木村秀雄*・高橋久雄**・清宮理***

* 前(財)沿岸技術研究センター 調査役

** 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 技術開発課長

*** 早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 教授

循環型社会形成と地域産業への支援を図るため、青森県で有効活用が望まれているホタテ貝殻を破碎して製造したシェルサンドの港湾構造物への適用性を検討した。平成18年度から実施されたシェルコンクリート実証実験の結果を整理し、「シェルコンクリートの港湾工事への適用ガイドライン(案)」として取り纏めた。また、シェルコンクリートを実用化する上での問題点・課題を抽出し、それらに対する方策を示した。

キーワード: ホタテ貝殻, 港湾工事, 細骨材, 置換率, シェルサンド, シェルコンクリート

1. はじめに

わが国で生産されるホタテ貝は年間約 60 万 t であり、貝殻の発生量はその半分の約 30 万 t に上る。これらの多くは動植物残渣として廃棄されており、一部は長期間野積み状態で放置されている(写真-1)。このため、ホタテ貝殻の有効利用に対する期待は高く、恒常的に、かつ大量に使用できる分野への用途の拡大が望まれている。

一方、コンクリート用骨材については、天然骨材の枯渇、環境保全に伴う骨材採取区域の制限等から、産業副産物等の活用が進められている。

このような状況の下、ホタテ貝殻をコンクリート用細骨材の標準粒度程度に破碎(以下、シェルサンドと記す)して、天然骨材と混合してコンクリート用細骨材として適用しようとする研究が始まり、技術的な知見と実績が積み重ねられてきた。

そこで、これらを整理し、「ホタテ貝殻利用コンクリート(以下、シェルコンクリートと記す)」を港湾構造物へ適用する際の配合設計上、ならびに施工上の留意点をガイドライン(案)として取り纏め、併せて実用化に向けた課題を抽出し、それらに対する方策を示した。



写真-1 ホタテ貝殻置置場

2. 実証実験結果等のとりまとめ

早稲田大学、(独)港湾空港技術研究所、仙台港湾空港技術調査事務所、日本国土開発(株)からなる共同研究グループは平成18年度からシェルコンクリートの各種実証実験を実施してきた。これらの成果を整理すれば、下記に示すとおりで、後述する「港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン(案)」(以下、ガイドライン(案)と記す)の検討時の基礎資料とした。

2.1 シェルサンドの性質

(1) 主成分

シェルサンドの原材料であるホタテ貝殻の主成分は炭酸カルシウムである。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が、破碎されたホタテ貝殻は、コンクリート用石灰石微粉末の主成分と同じくカルサイトである。

(2) 破碎方法

従来、ホタテ貝殻の破碎はブルドーザやマカダムローダー等の建設重機、砕石工場等で使用されているジョークラッシャーによるものがほとんどであった。これらでホタテ貝殻を破碎した場合、破碎後の粒径は前者で数 cm から 10 cm 程度、後者でも数 mm から 20 mm の範囲であり、粒度調整のため別途ふるい分けが必要であった。

これに対して、コンクリート塊等の破碎に使用されている回転式破碎方法(図-1)は、円筒内で高速回転するチェーン(ブレードバー)の打撃エネルギーでホタテ貝殻を破碎するもので、破碎後の粒径を 5 mm 以下にすることができ、粒度分布が JIS A 5005 に規定されるコンクリート用細骨材の標準粒度程度まで破碎することができる。

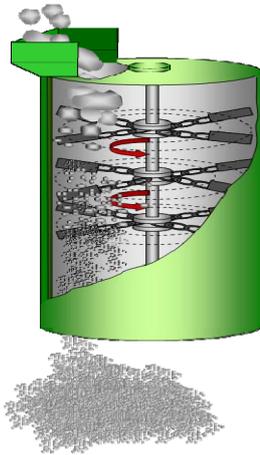


図-1 回転式破碎方法

(3) 形状

この破碎方法によって製造されたシェルサンドの形状は、写真-2 に示すように扁平な薄片や棒状となる。破片のアスペクト比（縦横比）は0.8～2.0の範囲にあり、平均的には1.2程度である。

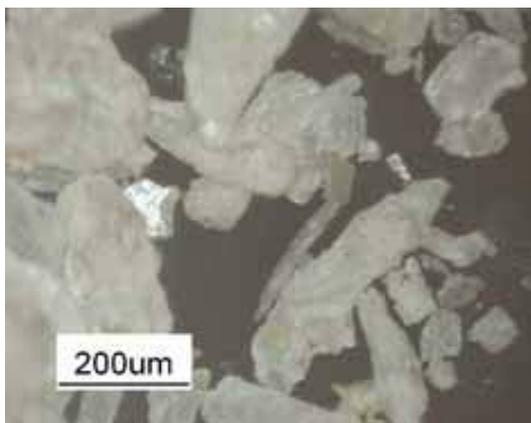


写真-2 シェルサンドの顕微鏡写真

(4) 密度および吸水率

一般の天然骨材は粒度が同程度であれば、絶乾密度が小さく、吸水率が大きい細骨材は多孔質となり強度が小さくなる傾向にある。シェルサンドも絶乾密度が小さく、吸水率が大きいものは多孔質で層状の部分破碎されずに多く残っていることを意味する。

シェルサンドの絶乾密度は2.59～2.63 g/cm³の範囲であり、吸水率は0.9～2.1%程度で、JIS A 5308 の附属書1「レディーミクストコンクリート用骨材」の規定値（3.5%以下）を満足する。

2.2 シェルコンクリートの性質

(1) フレッシュコンクリートの性質

単位水量（162kg/m³）を一定にした場合、シェルサンドの全細骨材に対する容積置換率を変化させたシェルコンクリート（W/C=60%、高炉セメントB種使用）のスランプ値

は置換率の増加とともに小さくなり、同じ配合条件で置換率を変化させ、スランプ8±2.5cmを満足させようとすると単位水量は置換率の増加とともに大きくなる。

また、運搬時間の経過にもなうフレッシュコンクリートの性状の変化も、通常のコンクリートとほぼ同様であり、プラントから現場までの運搬は天然骨材を使用した通常のコンクリートと同様と考えてよく、ブリーディングや凝結特性も同様である。

(2) 硬化したコンクリートの性質

シェルコンクリートの圧縮強度の経時変化は通常のコンクリートと比べて大きな違いはない。また、その変動も通常のコンクリートと同程度である。

ただし、通常のコンクリートに比べ、置換率の増加に伴い、圧縮強度に対する静弾性係数の値が若干であるが、小さくなる傾向がある。

凍結融解抵抗性についても、シェルサンドの細骨材置換率25%、および50%のいずれのケースにおいても、凍結および融解の1サイクルを300回繰り返して動弾性係数の低下の割合によって求める耐久性指数は85～90%の範囲にあり、一般に凍結融解抵抗性を確保する上で必要とされている60%以上を満足しており、凍結融解がしばしば繰り返される寒冷地の港湾構造物に対してもシェルコンクリートの適用は可能である。

2.3 シェルコンクリートの適用実績

(1) ケーソン根固ブロックへの適用

国土交通省東北地方整備局八戸港湾・空港整備事務所が平成18年度八戸港技術開発実証工事として、シェルサンドの細骨材置換率0%、25%、50%の3種類のコンクリートについて、バケットでの打設性をはじめとする施工性を確認する目的でケーソン根固ブロックを製作した。各置換率に対してそれぞれ2個製作したブロックを、1個を陸上、もう1個を海中で曝露し、異なる環境条件下での長期耐久性を検証した¹⁾。



写真-3 根固ブロック海中投入状況

(2) ケーソン蓋コンクリートへの適用

写真-4 は同事務所による平成 19 年度八戸港外港地区防波堤（第二中央）築造工事の実施状況である。ケーソンの蓋コンクリートへのシェルコンクリートの適用性を検討する目的でコンクリートミキサー船でシェルコンクリートを製造し、ケーソンの蓋コンクリートを海上打設した。置換率は25%とし、通常の配合の蓋コンクリートと比較して、良好な施工性が確認されている。

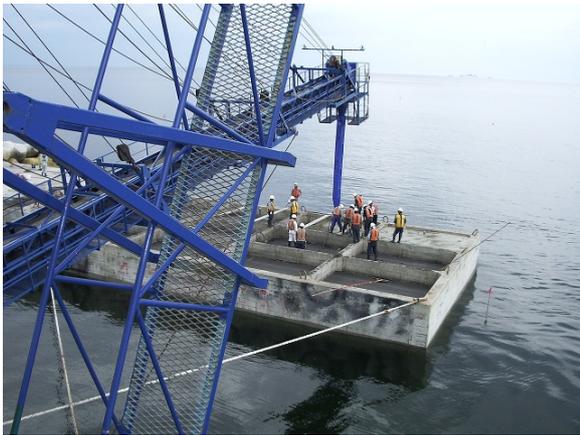


写真-4 シェルコンクリートの打設状況

3. ガイドライン(案)の概要

「港湾構造物へのシェルコンクリート適用ガイドライン(案)」の構成は前述の実証実験結果等を付属資料として、以下の通りである。

- 第1章 総則
- 第2章 シェルサンドの製造方法
- 第3章 シェルサンドの性質
- 第4章 シェルコンクリートの製造方法
- 第5章 シェルコンクリートの耐久性
- 第6章 港湾構造物での適用性
- 第7章 関係法規との関連について
- 付属資料

上記のうち、特筆すべき事項について以下に解説する。

3.1 総則(適用範囲)

本ガイドライン(案)は、コンクリート用細骨材の粒度に適合できる程度に破碎したホタテ貝殻を、細骨材の一部に置換して製造されたコンクリートを港湾構造物へ適用する際の配合、および施工上の留意点を示すものである。本ガイドライン(案)に示されていない事項は、原則として土木学会コンクリート標準示方書「施工編」による。なお、本ガイドライン(案)は、原則として普通コンクリートに適用し、無筋コンクリート構造物を対象としている。

3.2 シェルサンドの製造方法

(1) 原材料

ホタテ貝は、貝殻が6~8cm程度で水揚げ・出荷され、加工処理を経て冷凍ホタテや干貝柱として販売されている半成貝（新貝とも呼ばれる）と、貝殻が10数cmまで成長した段階で水揚げ出荷される大型貝（三年貝とも呼ばれる）とに大別される。

前者は生産の過程でボイルされていることから貝殻に有機物、塩分含有量が少なく、後者は多くが貝殻の付いた状態で販売店、飲食店等へ出荷されるため、廃棄される貝殻の量自体は多くないが、有機物等の付着や規定値を越える塩分含有量を含むものもあり注意が必要である。

そこで、シェルサンドの製造には、ホタテの加工過程で原貝の洗浄とボイル加工処理を施した貝殻を使用することを原則とした。

(2) 破碎と粒度

回転式破碎方法によるシェルサンドの粒度分布と、これを粗目砂代わりに25%、および50%置換した細骨材の合成粒度分布の一例を図-2に示す。シェルサンドは2~5mmの粒径のものが少なく、単体では標準粒度を満足していないが、25%、50%置換した合成粒度はコンクリート用細骨材の標準粒度の範囲とすることは容易である。

ただし、破碎が不十分で大きな貝殻が多く含まれる場合は、フレッシュコンクリートのワーカビリティを低下させるほか、生コン工場の骨材ビンの閉塞を生じるおそれがある。逆に、微粒分が必要以上に多い場合には、コンクリート中の総粉体量が増加して粘性を増加させるので注意が必要である。

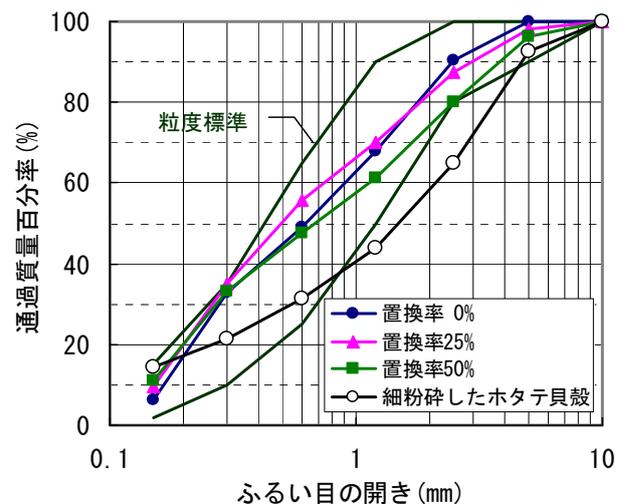


図-2 シェルサンド置換率毎の粒度分布

3.3 シェルサンドの性質

シェルサンドの品質がばらつくと、シェルコンクリー

トの品質特性もばらつくので、品質のばらつきが少ないものを使用することが望ましい。従って、シェルサンドの品質管理上の基準値はJIS A 5308の附属書1「レディームイクストコンクリート用骨材」によるとした。

ただし、通常の砂では3%以下、コンクリート用砕砂では7%以下と規定されている微粒分量については、ホタテ貝殻の主成分はコンクリート用石灰石微粉末と同じカルサイトであり、既往の研究^{2),4)}において、シェルサンド中の微粒分による強度への悪影響はないことが報告されていることから、微粒分は石灰石微粉末と同様の混和材³⁾とみなして、細骨材としての微粒分量の規定の適用を除外している。

なお、シェルサンドの塩化物量であるが、原材料のホタテ貝殻がボイル加工を経ていることや保管場所で1年以上野積み状態であるなどから、実測された塩化物量はシェルサンド単体でも0.003~0.004%の範囲で、規定値(0.04%)より1桁小さい値であった²⁾。

3.4 シェルコンクリートの製造方法

既往の研究では、置換率を増加させた場合には、単位水量が増えるだけでなく、コンクリートのワーカビリティを低下させる。置換率50%までの場合においては良好な施工結果が報告されている¹⁾。しかし、置換率100%の場合にはコンクリート中の貝殻量が多くなり、スランプ試験時の突き棒が突き難い状態になる²⁾。

このため、本ガイドライン(案)では置換率は50%以下を標準とし、これを超える場合は所定の品質を確認して定めるとした。

3.5 港湾構造物での適用性

適用時の検討では、輸送コストに留意しなければならない。シェルサンドの製造場所とシェルコンクリートの製造、あるいは打設場所とが遠く離れている場合、シェルサンドの運搬費が高くなり、大幅なコストアップを招くおそれがあり⁵⁾、その距離は概ね50km以内であることが望ましい。従って、シェルコンクリートの適用可能な地域は自ずと限定される。

3.5 関係法規との関連

ホタテ貝殻は「不要物」として取引される場合、産業廃棄物として「産業廃棄物の処理及び清掃に関する法律」が適用される。また、「有価物」であれば、同法の適用外であり、ホタテ貝殻は扱い易くなってその有効活用に利するが、事業コスト面では原材料の購入費と破碎費が必要となるので、一般的には競争力を失う。

一方、「不要物」として産業廃棄物として処理するスキームは、シェルサンドの製造コストを産業廃棄物処理費である程度補うことができることからコスト面では有利となるが、その保管・運搬・処理の各工程で同法の種々の規制を受けることになる。

4. 実用化に向けた方策

原材料供給、破碎装置、生コン工場、発注仕様、利用促進策と関係法令等にわたり課題と方策を検討した。特にシェルサンドに限らず産業副産物を公共工事に適用する場合、一般に輸送コストや加工コストが付加されるために、天然骨材以下の単価設定が困難なことが多く、経済性の面からだけでは採用に至らないケースが殆どである。このため、リサイクル材の使用に対して何らかのインセンティブが働く利活用促進制度および優遇措置が不可欠となる。

青森県では平成17年度からリサイクル製品の使用を推進し、資源の循環的な利用、廃棄物の減量化、およびリサイクル産業の育成を目的に「青森県リサイクル製品認定制度」を新設しており、シェルサンド、およびシェルコンクリートも同制度の適用を得ることが望ましい。

5. おわりに

ガイドライン(案)が規定したシェルサンド置換率50%以下の範囲であれば、シェルコンクリートは港湾工事に限らず、普通コンクリートと同様に扱うことができることを示した。平成19年度は無筋コンクリートを対象としたが、20年度は適用範囲の拡大、普及促進を目的に、鉄筋コンクリートを対象としたガイドライン(案)に改訂する予定である。

謝辞

ガイドライン(案)の取り纏めでは、弘前大学万木教授をはじめ、多くの委員から貴重なご助言を賜りました。また実用化への議論では、ホタテの産地である青森から参加頂いた関係者に多くのご提言を頂戴しました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山内匡, 清宮理, 横田季彦, 若崎正光: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, 2007.07
- 2) 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, 2006.07
- 3) (社)土木学会: コンクリート標準示方書「標準編」(2002年制定), p.73, 2002.03
- 4) (社)日本コンクリート工学協会 石灰石微粉末研究委員会: 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム 委員会報告書, p.60, 1998.05
- 5) (社)土木学会 エネルギー土木委員会 新技術・エネルギー小委員会 石炭灰有効利用分科会: 石炭灰有効利用技術について 報告書, p.82, 2003.09