

第67回(2023年度) 北海道開発技術研究発表会論文

ホタテ貝殻を細骨材に活用したコンクリートの海洋構造物への適用性について

—漁業地域における循環型社会の形成に向けて—

函館開発建設部 函館港湾事務所 第2工務課 ○峰尾 大樹
加藤 直樹
株式会社アルファ水工コンサルタンツ 清水 裕

ホタテガイは、森町の主要な水産物であるが、発生する貝殻の処理が課題となっている。ホタテ貝殻を細骨材に活用したマッシュェルコンクリートは、貝殻の有効なリサイクル方法として研究・開発が進められており、平成27年度には、砂原漁港東防波堤の胸壁コンクリートの一部で試験施工を行った。今回、試験施工後の性状を把握するため各種調査を実施し、寒冷地における波浪の影響を受けやすい海洋構造物への適用性を検証した。

キーワード：ホタテ貝殻、リサイクル、マッシュェルコンクリート

1. はじめに

ホタテガイは道内の主要な水産物であるが、年間約11万トン（2021年実績）¹⁾に及ぶホタテ貝殻の処理が課題となっている。発生した貝殻は埋立材やケーソン中詰材に活用した実績があるが、本格的なリサイクルまでには至っていない現状である。一方、コンクリート用骨材については、天然骨材の枯渇や環境問題から、ホタテ貝殻を含む代替品の活用について様々な研究が進められている。

道内有数のホタテ産地である森町では官民連携の下、「マッシュェルコンクリート利用促進協議会」を立ち上げ、ホタテ貝殻を粉砕したマッシュェルパウダーを使用した「マッシュェルコンクリート」を開発し、魚礁ブロックなど、プレキャスト部材での使用実績を積み上げている。

このような状況から、函館港湾事務所では、平成27年度に海洋構造物への適用性を検証する目的として、砂原漁港東防波堤の胸壁コンクリートの一部でマッシュェルコンクリートを使用した試験施工を行った。その結果、現地に適応したコンクリート配合により打設した場合は、フレッシュコンクリート特性及び材齢91日における硬化コンクリート特性に普通コンクリート（C-5PS）と大きな差異がないことを確認した。²⁾しかし、海洋コンクリートは海水の物理的及び科学的作用、凍結融解や温度変化に伴う気象作用などの各種有害な作用のために次第に劣化しやすい。本胸壁コンクリートは、平成27年度に打設されてから8年経過しているが、これまで施工後における劣化の評価はされていない。このことから、今回、

試験施工後の性状を把握するため各種調査を実施し、寒冷地における波浪の影響を受けやすい海洋構造物への適用性を検証した。



写真1 調査範囲(砂原漁港東防波堤)



写真2 マッシュェルコンクリート施工箇所
(施工後8年経過)

2. コンクリート打設時の条件

平成27年度に打設したマッシュェルコンクリートを含む、胸壁コンクリート7スパン(スパンNo.1~7とする)を調査対象とした。マッシュェルコンクリートはスパンNo.1、No.7に打設し、他のスパンでは普通コンクリート(C-5PS)を打設した。打設した箇所は図-1のとおりである。また、マッシュェルコンクリートおよび普通コンクリートの配合は表-1となっている。²⁾



図-1 調査箇所平面図

表-1 コンクリート配合表²⁾

配合名	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kg/m ³)				
			水 W	セメント C	マッシュェル パウダー	細骨材 S1 S2	粗骨材 G1 G2
普通コンクリート C-5PS	48.0	43.6	139	290	0	325 487	650 433
マッシュェル コンクリート	43.2	49.2	144	333	100	419 419	581 313

3. 調査方法

マッシュェルコンクリートの海洋構造物としての適用性を評価するための手法は確立されていない。そこで、今回の検証ではコンクリートの劣化状況を比較することに着目し、水産施設の劣化状況を規格化された方法で評価できる水産庁の「水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン」³⁾を準用した。

3.1.簡易調査(重点項目)

簡易調査(重点項目)は表-2の項目について調査を行い、胸壁のひび割れ・損傷等の変状を把握した。また、目視調査では定量的な調査が困難なスケーリングについては、画像処理による把握を行った。

表-2 簡易調査(重点項目)項目

対象施設	調査項目		調査方法
重力式 防波堤	上部工 (胸壁)	コンクリートの劣化、 損傷	目視 ・ひび割れ、損傷、欠損 ・劣化の兆候など

3.1.1目視調査

コンクリートの劣化が進行すると、その変状がコンクリートの表面に顕在化してくることが多い。そのため、調査対象区域全体となる、スパン No.1~7 の胸壁陸側面を対象として、目視による調査を行った。

3.1.2スケーリング調査

寒冷地コンクリートの初期劣化現象として、コンクリート表面のスケーリングやポップアウトが想定される。変状はコンクリート表面の小規模なものが多く、規模の把握が困難である。そのため、胸壁コンクリートの撮影画像の解析により、健全な平滑面と粗面の割合からスケーリング等の劣化進行状況を調査した。写真-3のとおり画像処理後は平滑面が黒、粗面が白と表示されるように画像処理し、画像内のピクセル割合をカウントすることで、単位区間内のスケーリング割合を把握した。調査はマッシュェルコンクリートのスパン No.1、7と比較対照として、普通コンクリートのスパン No.3、5を調査した。

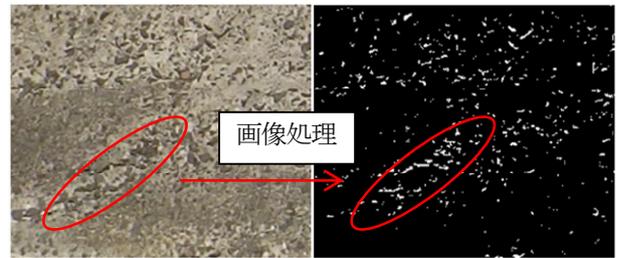


写真-3 劣化コンクリートでの画像処理事例

3.2詳細調査

詳細調査は表-3の項目について調査を行った。胸壁コンクリートの表面に顕在化し、目視調査により把握可能な変状の他、潜在的なコンクリートの状態を把握するため、詳細調査として機器を用いた調査を実施した。

表-3 詳細調査項目⁴⁾⁵⁾

調査項目		調査方法	関連基準類
コンクリートの状態	強度	反発度法	JSCE-G 504
外観の変状、変形の有無	浮き、剥離、剥落の有無	赤外線サーモグラフィ法	NDIS 3428

3.2.1.コンクリート強度試験

コアを採取して強度試験を行う方法は、実構造物のコンクリート強度の測定方法として最も基本的かつ重要な試験であるが、構造物にわずかな損傷を与えることから、多用することはできない。そのため、非破壊検査によってコンクリートの強度を求めた。シュミットハンマー(Proceq社製 シュミットLive N型)(写真-4)を用いてコンクリート表面の反発度からコンクリートの強度を推定した(写真-5)。調査時に材料分離が生じている可能性を考慮し、スパン内で5箇所(右上、右下、左上、左下、中央)

の強度確認を行い、強度確認は1箇所当たり20回実施した。また、マッシュェルコンクリート打設部のスパンNo.1およびNo.7と、比較対照として、普通コンクリートのスパンNo.3、5を調査した。



写真4 シュミットハンマー

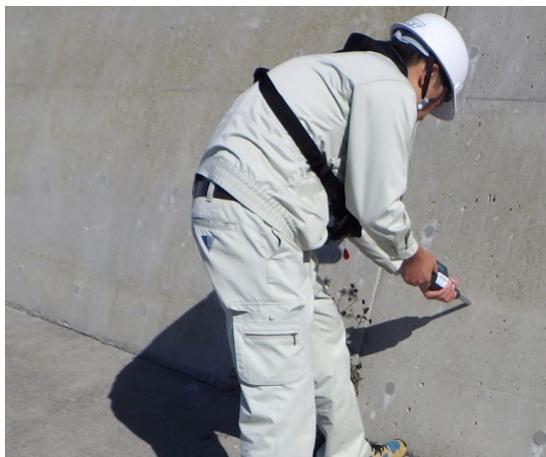


写真5 コンクリート強度試験実施状況

3.2.2.赤外線調査

コンクリートの表面に浮き、剥離、空隙、ひび割れ等が存在すると、その部分において熱伝導率が異なることを利用して、赤外線カメラによる撮影画像中の表面温度の分布状況から、浮きや剥離等の箇所を非接触で調査した。コンクリートに変状がある場合は写真-6のとおり、温度分布に特異点が出現する。温度測定は、コンクリート表面の汚れ、水、日照の程度等により影響を受け、探査深度限界は30～50mm程度の表面までである。赤外線カメラを搭載した UAV(DJI社製 Mavic2 Enterprise)(写真-7)により、調査対象区域全体となる、スパンNo.1～7の胸壁陸側面を対象として、画像撮影による調査を行った。

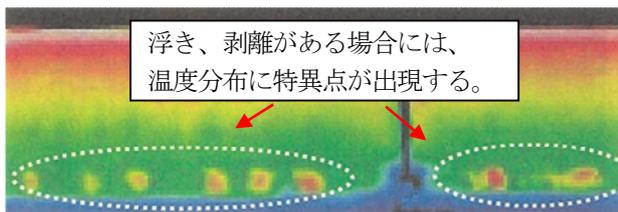


写真6 赤外線調査事例⁷⁾



写真7 赤外線カメラ搭載UAV

4. 結果および考察

4.1.簡易調査(重点項目)

ガイドラインに準拠した簡易調査(重点項目)を行った結果、以下のような変状を確認した。

4.1.1.目視調査

マッシュェルコンクリート打設部のスパンNo.1とNo.7について、セパレータ下部の軽微なひび割れや、エフロレッセンスの析出があり、スパンNo.7の上部では横方向に発達するしわ状の跡を確認した(写真-8)。C-5PS打設部に関しても、スパンNo.3とスパンNo.5にて、胸壁中央部の下端から発達する幅1mm程度のひび割れを確認したが、マッシュェルコンクリートおよび普通コンクリートに顕著な差異は無かった。



写真8 目視調査結果(エフロレッセンスの状況)

4.1.2.スケーリング調査

調査結果を表4に示す。スパンNo.7の粗面部の割合が他のスパンより大きくなっているが、スパンNo.7にコケ状の付着物が多数生じていたためである。したがって、普通コンクリートと比較してマッシュェルコンクリートに問題は無かった。

表4 スケーリング調査結果

コンクリート区分	スパン	画像解析結果	
		平滑部	粗面部
マッシュェル コンクリート	No.1	99.3%	0.7%
	No.7	81.2%	18.8%
普通コンクリート C-5PS	No.3	96.5%	3.5%
	No.5	94.9%	5.1%

4.2詳細調査

機器を用いた詳細調査を行った結果、以下のような結果が得られた。

4.2.1.コンクリート強度試験

シュミットハンマーによるコンクリート強度試験の結果を表5に示す。強度試験値は、胸壁スパン内5箇所所で測定した試験値を平均して示す。材齢35日のシュミットハンマーにより測定したコンクリート強度と比較して、強度が低下していないことを確認した。また、マッシュェルコンクリートおよび普通コンクリートは互いに設計基準強度(18N/mm²)を満足していた。このことから、マッシュェルコンクリートおよび普通コンクリートのコンクリート強度に関して問題は無く、強度変化の傾向は同じである。

表5 コンクリート強度試験結果

スパン	配合	σ35強度 (N/mm ²)	令和5年度 調査 (N/mm ²)	伸び率 (%)
No.1	マッシュェル コンクリート	30.2	36.7	21.5
No.7			34.0	12.6
No.3	C-5PS	27.8	29.2	5.0
No.5			34.5	24.1

4.2.2.赤外線調査

コンクリート表面の温度分布において、特異点が出現しなかったことから、マッシュェルコンクリートおよび普通コンクリートに浮きや剥離といった変状は生じていない。また、目視調査において、スパンNo.3とスパンNo.5にてひび割れを確認したが、ひび割れ部での顕著

な温度変化はみられないことから、ひび割れの深さは浅いものと判断した。なお、写真9の2枚とも右下に温度分布が周囲と異なっている箇所があるが、その箇所に植物が自生しているためである。したがって、普通コンクリートと比較してマッシュェルコンクリートに問題は無かった。

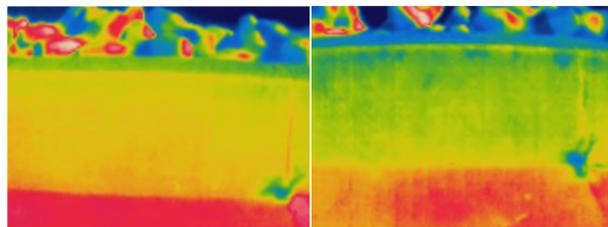


写真9 赤外線調査結果

(左:マッシュェルコンクリート、右:普通コンクリート)

5.まとめ

施工後8年が経過した防波堤胸壁のマッシュェルコンクリートについて、目視調査・スケーリング調査・コンクリート強度調査の調査を行ったが、著しい変状は確認されなかった。寒冷地における海洋構造物として、波浪、凍結融解や塩害作用に伴う、コンクリートの劣化状況はマッシュェルコンクリートおよび普通コンクリート(C-5PS)に大きな差異は無く、現時点で胸壁コンクリートとしてマッシュェルコンクリートの適用性は普通コンクリートと同程度である。なお、胸壁コンクリートとしての長期的な評価を行うため、劣化状況の把握を継続していきたい。また、海洋構造物施工においてマッシュェルコンクリートを普遍的なコンクリートとして利用するためには、他の港への施工や波浪状況が異なる等、様々な利用条件に対応する配合検討を含めた試験施工を行い、実績を積み上げていく必要がある。

参考文献

- 1)北海道庁：令和4年度(2022年度)水産系廃棄物発生量等調査(令和3年度発生分)
- 2)亀尾実愛 三上雅徳 茂庭孝司：細骨材にホタテ貝殻を活用したコンクリートの海洋構造物への適用性について—漁村地域での循環型社会形成を目指して—
- 3)水産庁：水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン
- 4)日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'14「基礎編」
- 5)土木学会：土木学会 コンクリート標準示方書(2018年制定)【基準編】
- 6)日本非破壊検査協会：赤外線サーモグラフィ法による建築・土木構造物表層部の変状評価のための試験方法
- 7)日本コンクリート工業協会：コンクリート診断技術'17