

海洋環境における超高性能ひずみ硬化型セメント系材料の長期耐久性の検討

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○松本 拓也, 正会員 岩崎 英治
(独) 港湾空港技術研究所 正会員 加藤 絵万, 川端 雄一郎
東京工業大学大学院 正会員 岩波 光保

1. 目的

超高性能ひずみ硬化型セメント系材料(以降 UHP-SHCC と記す)は高強度、高靱性で、物質透過抵抗性にも優れ、海洋環境における鋼管杭のライニング材として使用した場合、補強と長寿命化を同時に実現できる材料として期待されている。UHP-SHCC の港湾構造物への適用に関して検討が進められているが¹⁾、海洋環境における長期耐久性に関する知見は少ない。そこで海水と接することで生じる劣化に対する抵抗性(以降、耐海水性と示す)、波浪や飛沫などに対する被覆表面の耐摩耗性について、従来の被覆防食との比較を行った。

2. 試験概要

2.1. 耐海水性試験

飛沫帯環境で1年間曝露した直径200mmのUHP-SHCC(繊維混入率2.0%)と水中不分離性コンクリートのコア試験体を試験対象とした。UHP-SHCC(繊維混入率2.0%)の配合を表-1に、水中不分離性コンクリートの配合を表-2に示す。これらについて耐海水性試験として、ビッカース硬さ試験、EPMA分析を行った。ビッカース硬さは劣化が表面から進行する場合、劣化を表す指標として用いられる²⁾。ビッカース硬さ試験では、コア表面から中心方向に0.1~12.8mmの8点でビッカース硬さを測定した。また、EPMA分析では、コンクリートのビッカース硬さに影響を及ぼす要因となるコンクリート中のSO₃、MgOの質量濃度分布を測定した。

2.2. 摩耗試験

試験対象は表-3に示した6供試体とした。ASTM C 418に準拠して各供試体に410kPaの空気圧で1分間ブラスト砂を噴射し、これを1供試体につき9回繰り返した。その後、噴射によって生じた直径約29mmのくぼみに粘土を充填し、その質量の平均から摩耗した体積を換算した。この際、粘土の密度は2.7g/cm³と仮定した。ブラスト砂を噴射するノズルと供試体間の距離は75mmとし、研摩材には相馬硅砂4号を使用した。

表-1 EPMA分析・ビッカース硬さ試験に用いたUHP-SHCCの配合

水結合材比 (%)	砂結合材比 (%)	単位量(kg/m ³)							
		水	セメント	シリカフューム	膨張材	砂	繊維	高性能AE減水剤	消泡剤
22.0	10.0	345	1290	235	40.0	157	19.3	31.4	6.90

セメント:普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)、シリカフューム(密度2.20g/cm³)、膨張材(密度3.10g/cm³)、砂:珪砂7号(密度2.68g/cm³)
繊維:ポリエチレン繊維(密度0.97g/cm³)、高性能AE減水剤(1.10g/cm³)、消泡剤(1.00g/cm³)

表-2 EPMA分析・ビッカース硬さ試験に用いた水中不分離性コンクリートの配合

水セメント比 (%)	単位量(kg/m ³)				
	水	セメント	砂	水中不分離性混和剤	流動化剤
52	320	620	1000	3.2	9.3

セメント:普通ポルトランドセメント(密度3.2g/cm³)、砂:山砂(千葉県君津産:表乾密度2.6g/cm³)

表-3 摩耗試験供試体概要

検討ケース		供試体概要
UHP-SHCC(繊維混入率1.5%)	UHP-SHCC(繊維混入率2.0%)	繊維混入率を変化させた2配合のUHP-SHCC(200×200×30mm) *配合は表-4に示す。
UHP-SHCC(繊維混入率2.0%)		
従来の被覆防食 (比較用)	モルタル	水中不分離性モルタル(供試体サイズ:200×200×30mm) *配合は表-5に示す。
	FRPカバー	水中不分離性モルタル+FRPカバー(引張強さ:100N/mm ² 以上、曲げ強さ:150N/mm ² 、バーコル硬さ:40以上、比重:1.4~1.7)
	水中硬化形樹脂	水中硬化形エポキシ樹脂(下塗り材:500μm、上塗り剤:800μm)
	鋼板	鉄板 PL-6(SS400)

キーワード 超高性能ひずみ硬化型セメント系材料、UHP-SHCC、耐海水性、耐摩耗性、長期耐久性、海洋曝露

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 長岡技術科学大学 TEL 0258-46-6000

表-4 摩耗試験に用いた UHP-SHCC の配合条件及び圧縮強度

繊維混入率(%)	水結合材比(%)	シリカヒューム結合材比(%)	石灰石微粉末/(石灰石微粉末+セメント) (%)	砂結合剤比(%)	高性能AE減水剤	消泡剤	圧縮強度(N/mm ²)
1.5	22.0	14.8	20.7	9.90	結合材×3%	結合材×3%	110
2.0	22.0	14.8	20.7	9.90	結合材×3%	結合材×3%	107

結合材:[セメント:低熱ポルトランドセメント(密度 3.24g/cm³), シリカヒューム(密度 2.20g/cm³), 石灰石微粉末(密度 2.70g/cm³), 膨張材(密度 3.10g/cm³)]
 珪砂7号(密度 2.62g/cm³), 繊維:ポリエチレン繊維

表-5 摩耗試験に用いたモルタルの配合及び圧縮強度

水セメント比	単位量(kg/m ³)					圧縮強度(N/mm ²)
(%)	水	セメント	砂	水中不分離性混和剤	流動化剤	
52	340	659	1080	3.40	16.5	34.0

セメント:普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³), 砂:山砂(千葉県君津産:表乾密度 2.60g/cm³)

3. 試験結果および考察

3.1. 耐海水性試験

ビッカース硬さ試験の結果を図-1に示す。UHP-SHCC, 水中不分離性コンクリートともにコア中心部と比較して, 表面付近のビッカース硬さの低下は見られなかった。

図-2(a)より水中不分離性コンクリートはコアの表面から約2mmまでSO₃の侵入が見られた。また, 図-2(b)よりMgOの侵入は両者とも見られなかった。

曝露1年の時点では, 両者ともに硬度の低下を引き起こすほどの劣化因子の侵入はなかったと考えられる。しかし, SO₃の侵入程度から, 水中不分離性コンクリートと比較して, UHP-SHCCは劣化因子に対して高い物質透過抵抗性があり, 耐海水性についてUHP-SHCCの方が優れている可能性が示された。

3.2. 摩耗試験

摩耗試験の結果を図-3に示す。モルタルと比べて, UHP-SHCCは約1.3倍の耐摩耗性を有した。また, UHP-SHCCの繊維混入率1.5%と2.0%で耐摩耗性に顕著な差はなかった。

試験結果を, 一般的に用いられる被覆厚さに対する摩耗割合として換算したものを図-4に示す。UHP-SHCCは摩耗割合が1%未満と小さく, 実構造物に適用した場合も高い耐摩耗性を有することが考えられた。

4. まとめ

UHP-SHCCの長期耐久性に関して, 以下の知見を得た。

- (1) 水中不分離性コンクリートよりも, UHP-SHCCは劣化因子に対して高い耐海水性がある可能性が示された。
- (2) 一般的に被覆防食に用いる材料と比較して, UHP-SHCCは高い耐摩耗性があることが確認できた。

以上の点から, UHP-SHCCは耐海水性, 耐摩耗性において, 優れた長期耐久性があると考えられる。

参考文献

- 1) 例えば, 網野貴彦ほか: 超強度ひずみ硬化型モルタル巻き立てによる栈橋鋼管杭の曲げ耐力向上効果に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集 34, No. 1, pp.292 - 297, 2012.7
- 2) 例えば, 山路徹ほか: 海洋環境におけるコンクリートの劣化性状および劣化指標に関する検討, 土木学会論文集 E, Vol.66, No.1, pp.21-37, 2010.2
- 3) 日本鉄鋼連盟: 被覆防食 <http://www.jisf.or.jp/business/tech/civil/corrosion/film.html>, 2013.03.07

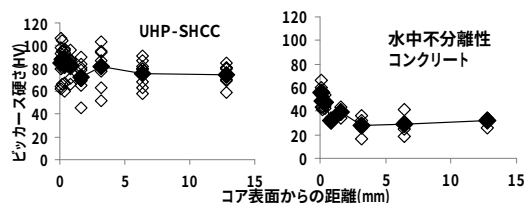


図-1 ビッカース硬さ試験結果

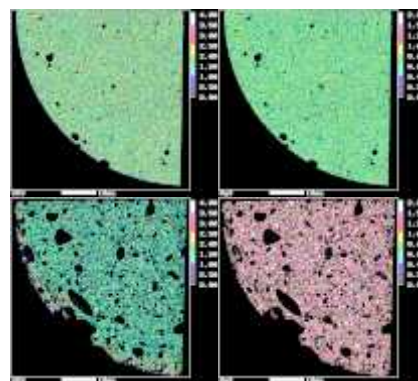
(a)SO₃ (b)MgO

図-2 EPMA 分析の結果

(上: UHP-SHCC,

下: 水中不分離性コンクリート)

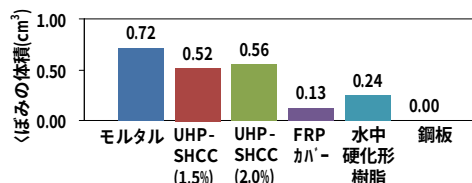
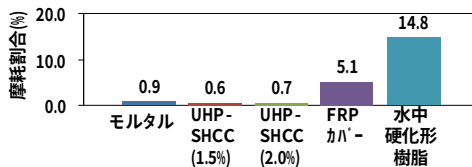


図-3 摩耗試験結果



*1 3)を参考に被覆厚さをモルタル(100mm), FRPカバー(3mm), 水中硬化形樹脂(2mm)と仮定した。

*2 UHP-SHCCの被覆厚さはモルタルと同じとした。

*3 鋼版の被覆厚さは定義できないので省いた。

図-4 一般的な被覆厚さに対する摩耗割合