

海洋環境に暴露した重量コンクリートの耐久性に関する検討

太平洋セメント株式会社

正会員

○野崎 隆人

太平洋セメント株式会社

正会員

肥後 康秀

太平洋セメント株式会社

正会員

杉山 彰徳

国立研究開発法人 港湾空港技術研究所

正会員

山路 徹

1. はじめに

津波による人的・物的被害を最小限に抑える上で、港湾コンクリート構造物による防災・減災機能の強化は重要である。波力に対して海洋構造物の安定性を保持するには、構造物の自重を増加させることが有効であり、一つの方策として重量コンクリートの使用が考えられる。前稿では、海洋構造物への重量コンクリートの適用性を確認するため、海洋環境下で暴露試験を行い、暴露1年経過時の結果を示した¹⁾。本稿では2年間暴露した重量コンクリートの性能について確認し、骨材の種類による強度の違いについて考察を加えた。

2. 試験概要

2. 1 使用材料およびコンクリート配合

使用材料やコンクリート配合は前稿と同一である。使用材料を表-1に示す。重量骨材には、鉄鋼二次製品である金属スラグ系骨材、酸化鉄粉、および天然鉱物である重晶石を用い、比較用の普通骨材には砕砂と碎石を使用した。

試験水準は、重量コンクリート3水準（設計単位容積質量3.6, 3.4, 3.2t/m³）、および普通コンクリート（2.3t/m³）の計4水準とした。各水準における骨材の組合せを表-2に、コンクリートの配合を表-3に示す。コンクリートの目標スランプは8±2.5cm、目標空気量は2.0±1.0%として混和剤量により調整した。

2. 2 試験項目

コンクリート試験体は標準水中養生28日後に暴露試験に供した。暴露試験は、海水噴霧が1日2回（1回約4時間）繰り返される環境（飛沫環境）と干満（潮位差1.5m）が1日2回繰り返される環境（干満環境）にて実施しており、材齢2年が経過した。測定項目は外観観察、圧縮強度とした。

加えて飛沫環境については塩化物量の測定、EPMA、XRDによる分析を行った。塩化物量は表面から5cmまでの深さを1cm毎に切断して試料を調製し、JSGE-G 572に準拠して測定した。EPMAは試験体表面から幅4cm×深さ4cmの面分析を行った。XRDは表面から深さ1cmまでの部分と深さ2cmから3cmの部分それぞれ切り取って粉砕し、分析に供した。

3. 結果

(1) 外観観察

1年経過時と同様に、HWC-3.6以外の配合では、剥離や欠損等の変状は認められなかった。

表-1 コンクリートの使用材料

材料	記号	備 考
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
細骨材 (S)	HS1	酸化鉄粉 表乾密度 4.95g/cm ³ , 吸水率 1.65%
	HS2	金属スラグ系骨材 表乾密度 4.27g/cm ³ , 吸水率 1.12%
	HS3	重晶石 表乾密度 4.03g/cm ³ , 吸水率 1.41%
	NS	埼玉県産砕砂 表乾密度 2.65g/cm ³ , 吸水率 1.93%
粗骨材 (G)	HG1	金属スラグ系骨材 表乾密度 4.27g/cm ³ , 吸水率 0.47%
	HG2	重晶石 表乾密度 4.12g/cm ³ , 吸水率 0.54%
	NG	茨城県産碎石 表乾密度 2.65g/cm ³ , 吸水率 0.55%
混和剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系高性能 AE 減水剤
	AD	リグニンスルホン酸系 AE 減水剤
	DF	消泡剤

表-2 コンクリートの水準と骨材の組合せ

配合名	HWC-3.6	HWC-3.4	HWC-3.2	NC-2.3
使用骨材	HS1, HG1	HS2, HG1	HS3, HG2	NS, NG

表-3 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						単位容 積質量 (kg/m ³)
			W	C	S	G	SP[AD]	DF	
							(C×%)		
HWC-3.6	50	48	170	340	1668	1559	0.6	0.06	3737
HWC-3.4		50	170	340	1524	1473	1.0	—	3507
HWC-3.2		45	170	340	1302	1561	1.0	—	3373
NC-2.3		46	170	340	856	1004	[0.3]	—	2370

キーワード：重量骨材、重量コンクリート、塩分浸透性、EPMA、XRD、耐海水性

連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント（株）中央研究所 TEL043-498-3905 FAX043-498-3849

一方、HWC-3.6 の表面では、1 年経過の段階で細骨材中の金属鉄による錆汁や部分的な膨れが確認されていたが、膨れの進行が認められ、表層付近の断面の欠損が考えられた。

(2) 圧縮強度

図-1 に、海洋暴露と標準水中養生における圧縮強度の結果を示す。海洋環境暴露では、暴露から 2 年で強度の低下やばらつきが認められ、特に飛沫環境暴露では HWC-3.4 を除き強度の低下が認められた。

(3) 塩分浸透性

図-2 に、飛沫環境における塩分浸透量を示す。HWC-3.6 や HWC-3.2 に比べて HWC-3.4 と NC-2.3 の塩化物量が少なかった。特に HWC-3.4 では、表面から 0-1cm の部分における塩化物量が低かった。

(4) EPMA 分析

図-3 に、HWC-3.4 と NC-2.3 の EPMA 分析による CaO 濃度分布を示す。表面部で骨材の存在しないペースト部分に着目すると、NC-2.3 と比較して HWC-3.4 は CaO 濃度が高く、組織がより健全であることを示している。

(5) XRD 分析

海水の作用による強度低下の原因には、Ca の溶脱による組織の多孔化や、エトリンガイトの生成による表層の膨張破壊が考えられる²⁾。特に海水では、 Cl^- と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が反応して溶解度の高い CaCl_2 を生成し、溶脱が進行しやすい。図-4 に、NC-2.3 の XRD の回折パターンの一部を示す。深さ 2-3cm の内部と比べて 0-1cm の表面部では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の減少が認められた。一方で表面部のエトリンガイトの顕著な増加は認められなかった。また、HWC-3.2 でも NC-2.3 と同様の傾向が認められた。以上より、強度低下の主な原因は、Ca の溶脱による水和組織の多孔化によるものと考えられた。

4. まとめ

重量コンクリートの海洋環境暴露試験を行った。材齢 2 年の時点において、飛沫環境では HWC-3.4 を除く配合で強度の低下が認められ、HWC-3.6 では金属鉄の膨れによる表面部の断面の欠損が、その他の配合では Ca の溶脱による水和組織の多孔化が主な原因と考えられた。

【参考文献】

- 1) 肥後 康秀 他：海洋環境下での暴露試験による重量コンクリートの耐海水性評価，土木学会第 68 回年次学術講演会，V-054，pp.107-108，2013
- 2) 福手 勤 他：海洋環境に 20 年間暴露されたコンクリートの耐久性に関する研究，土木学会論文集，No.442，V-16，pp.43-52，1992

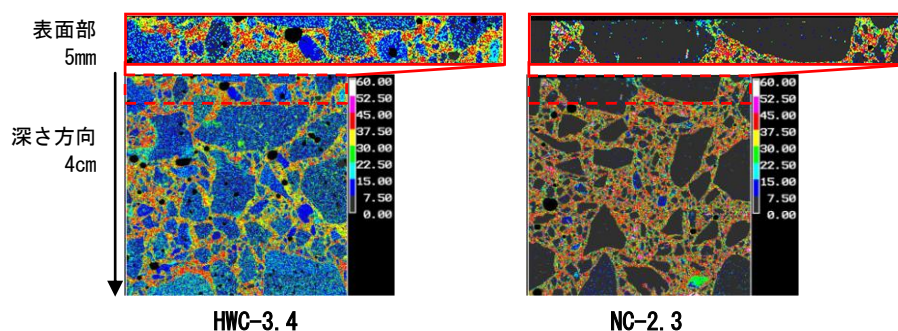


図-3 EPMA による CaO 濃度分布 (飛沫環境)

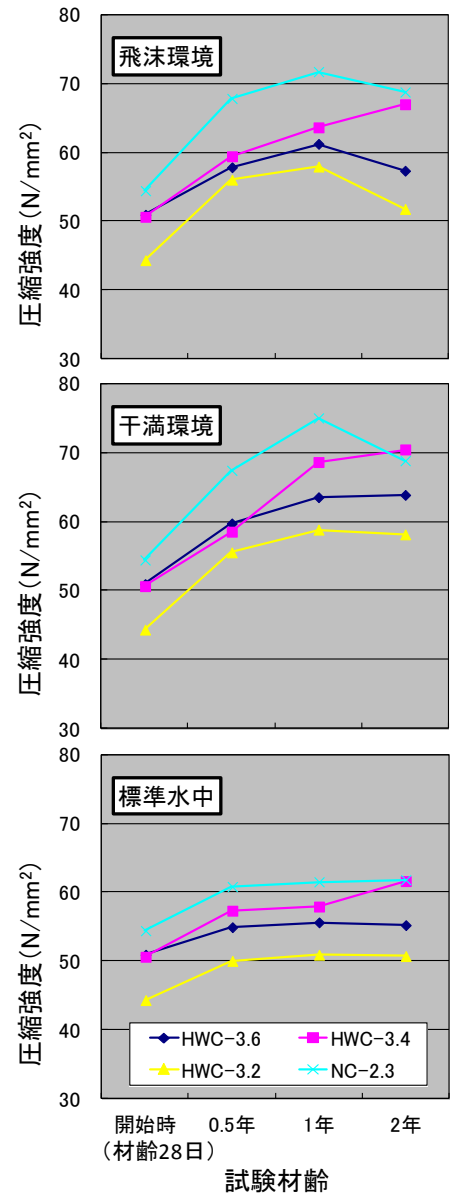


図-1 暴露材齢と圧縮強度の関係

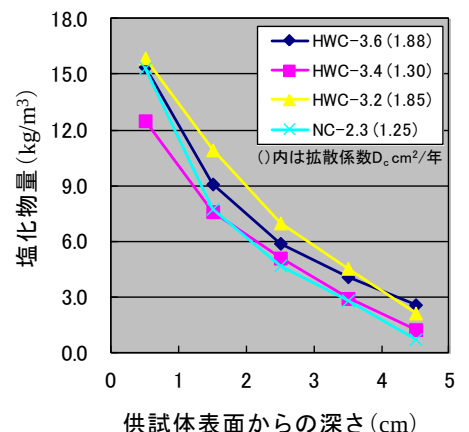


図-2 塩分浸透量 (飛沫環境)

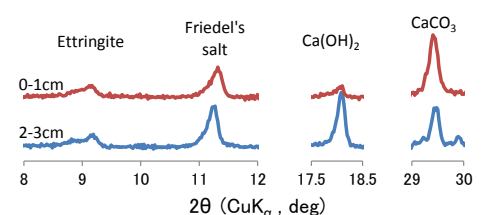


図-4 XRD 回折パターン (NC-2.3)