

海洋環境下における低発熱性コンクリートの耐久性状

立命館大学理工学部 学生員 疋田奈緒也 立命館大学大学院理工学研究科 正会員 鈴木宏信
住友大阪セメント(株) 正会員 小林茂広 立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1.はじめに

本研究は、低発熱性セメントを用いた鉄筋コンクリート供試体を海洋環境下に暴露し、コンクリートの耐久性状について検討したものである。暴露試験は、1986年から、太平洋に面し気候が温暖で多量の飛沫塩分の影響を受ける三重県鵜殿で行っている。本報告は、暴露期間 14 年のデータをもとにした検討結果である。

2.実験概要

(1)暴露供試体の作製

供試体寸法は 12×12×130cm で、D10(SD295)の異形鉄筋を 2 本配置した。供試体の両端部には鉄筋のかぶり 25mm を確保するためにモルタルスペーサーを配置した。配合要因は表 1 に示す 6 種類であり、セメントの種類、水セメント比(W/C)を変化させた。また、実験に用いた低発熱性セメントの水和熱および水和熱比強度を表 2 に示す。

(2)暴露供試体の設置および測定状況

供試体は 1986 年秋に設置し、1～2 年毎に(3)に示す現地調査項目を実施した。暴露 14 年となる 2000 年 11 月に現地調査を実施した後、供試体を実験室に持ち帰り、各種室内試験を実施した。

(3)調査項目

現地調査：①外観観察 ②超音波伝播速度 ③自然電位 ④分極抵抗 ⑤コンクリート抵抗 ⑥鉄筋間電流

室内試験：⑦静的曲げ載荷試験(支点間距離 90cm、載荷点距離 30cm の対称 2 点載荷) ⑧圧縮強度・静弾性係数試験(材齢 4 週強度は標準養生供試体、暴露 14 年後の強度は供試体から採取したコアを用いて実施(JIS A 1107、JIS A 1108、JIS 原案)) ⑨含有塩分量試験(JCI-SC5) ⑩アルカリ量試験(40℃温水抽出した溶液の原子吸光分析) ⑪鉄筋の腐食量測定(クエン酸 2 アンモニウム溶液中に 24 時間浸漬) ⑫鉄筋の引張試験(JIS Z 2241、JIS Z 2202、JIS B 7721)

3.実験結果および考察

暴露 9 年目に HB55 供試体(早強高炉 W/C=55%)に、鉄筋に沿った軸方向ひび割れが発生した。その他の供試体では暴露 14 年まで軸方向ひび割れは発生していない。ただし、各供試体とも供試体端

表 1 配合要因

配合 No.	供試体名	セメント	W/C(%)	混和剤
1	HB45	早強高炉 ¹⁾	45	AE減水剤
2	HB45(SP)	早強高炉	45	AE減水剤 +高性能減水剤
3	HB55	早強高炉	55	AE減水剤
4	M45	中庸熱	45	AE減水剤
5	BB45	高炉B	45	AE減水剤
6	MB45	中庸熱高炉 ²⁾	45	AE減水剤

※1)早強高炉:早強セメント20%、高炉スラグ80%

2)中庸熱高炉:中庸熱セメント50%、高炉スラグ50%

表 2 各セメントの水和熱及び水和熱比強度

セメントの種類	水和熱(J/g)			水和熱比強度					
				曲げ $\left(\frac{N/mm^2}{J/g} \right)$			圧縮 $\left(\frac{N/mm^2}{J/g} \right)$		
	7日	28日	91日	7日	28日	91日	7日	28日	91日
超低熱	221	230	246	0.028	0.028	0.028	0.115	0.164	0.201
高炉B	301	339	—	0.014	0.021	—	0.063	0.119	—
中庸熱	265	321	355	0.014	0.021	0.021	0.056	0.110	0.119
中庸熱高炉	237	301	—	0.014	0.019	—	0.054	0.122	—
普通	342	374	388	0.014	0.021	0.021	0.066	0.108	0.115

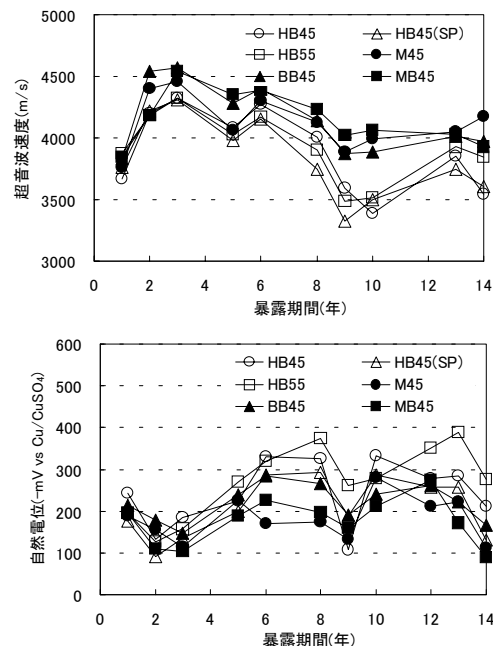


図 1 超音波伝播速度および自然電位の経時変化

keywords:低発熱性セメント、暴露試験、耐久性、塩化物腐食

連絡先:〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 TEL/FAX077-561-2805

部のモルタルスパーサー近傍にひび割れあるいは欠けが生じ、鉄筋の発錆が確認されており、スパーサー部が欠陥部となっている。

図1に超音波伝播速度および自然電位の測定結果を示す。暴露3年目から超音波伝播速度の低下が、また、自然電位においては暴露5～6年目頃から卑化が確認された。分極抵抗、コンクリート抵抗および鉄筋間電流の数値は変動が大きく、明確な傾向を得ることができなかった。

表3に強度・中性化深さ・荷重試験結果を示す。軸方向ひび割れが発生しているHB55供試体(早強高炉 W/C=55%)は、曲げ耐力の低下が確認された。これは鉄筋とコンクリート間の付着低下によるものと考えられる。

暴露14年後には、材齢4週時と比較して圧縮強度で91%～114%、静弾性係数で80%～96%の範囲にあり、いずれにおいても顕著な低下は認められない。

中性化は、スラグ混入量の多い早強高炉を使用した配合で大きくなる傾向にあったが、鉄筋位置まで達した供試体はなかった。

コンクリート中の塩分量測定結果を図2に示す。暴露供試体から採取したコアを2cm毎にスライスした試験体中の含有塩分量を測定した。各セメントとも、W/C=45%の供試体では、塩化物イオンの浸透量は表面2cm程度までにとどまっている。しかし、水セメント比が大きいHB55供試体(早強高炉 W/C=55%)のみ、鉄筋近傍(打設上面から8～10cmの部位)での塩化物イオン量が 1.54kg/m^3 と他の配合に比べて著しく大きな値であった。これは、鉄筋に沿って発生した軸方向ひび割れの影響を受けたものと推測される。

鉄筋の発錆面積率、質量減少率および引張強さの試験結果を表4および図3に示す。比較的腐食の少ない鉄筋は引張試験時に明確な降伏点が認められたが、発錆面積率が100%の供試体は、引張強さが平均 400N/mm^2 と規格下限値(440N/mm^2)を下回った。また、明確な降伏点が認められず脆性的な破壊性状を示した。

4. まとめ

1) 海洋環境下で14年間の暴露を行ったいずれの低発熱性セメントコンクリートとも、強度と静弾性係数は材齢4週時とほぼ同等の値を保持していることが確認された。

2) 塩化物イオンの浸透深さは、いずれの低発熱性セメントともW/C=45%ではほぼ2cm程度であった。

表3 圧縮強度・静弾性係数・中性化深さおよび曲げ荷重試験結果

供試体名	4週強度		暴露14年後強度		暴露後/4週強度		中性化深さ	曲げ荷重試験	
	f'_c	E_s	f'_c	E_s	f'_c	E_s		M_{cr}	M_u
	N/mm^2	kN/mm^2	N/mm^2	kN/mm^2	%	%		$\text{kN}\cdot\text{m}$	$\text{kN}\cdot\text{m}$
HB45	40.4	29.3	38.1	26.9	94	92	4.2	3.2	7.6
HB45(SP)	39.6	31.1	38.7	25.0	98	80	5.1	3.2	7.5
HB55	34.9	29.4	39.9	26.3	114	89	7.0	1.6	7.1
M45	42.7	31.8	46.9	29.3	110	92	0.4	3.8	7.6
BB45	42.1	29.5	45.5	28.3	108	96	0.6	2.7	7.5
MB45	43.7	30.2	39.8	28.2	91	93	1.0	3.2	7.6

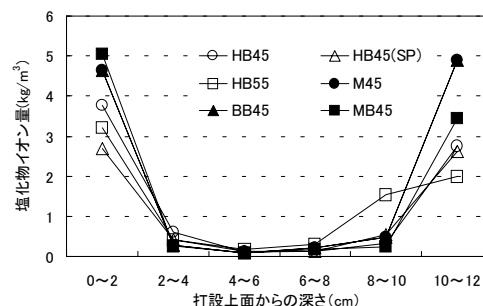


図2 含有塩分量分析結果

表4 鉄筋試験結果

供試体名	No.	発錆面積率(%)	質量減少率(%)	引張強さ(N/mm^2)
HB45	1	24	0.7	508
	2	27	0.6	492
HB45(SP)	1	34	0.7	515
	2	36	0.8	530
HB55	1	100	2.5	368
	2	100	2.8	431
M45	1	19	0.6	487
	2	12	0.6	479
BB45	1	7	0.6	498
	2	8	0.6	479
MB45	1	14	0.6	471
	2	18	0.6	474

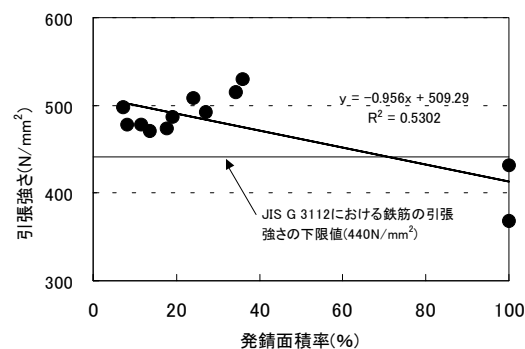


図3 鉄筋の発錆面積率と引張強さとの関係

謝辞 本研究は、若手コンクリート研究会 海洋コンクリートWG(代表・宮川豊章教授)の皆様のご協力により、調査・測定を遂行することができました。ここに深く感謝いたします。