

V-35 耐海水コンクリートに関する実験的研究 —— 耐海水性の評価 ——

鳥取大学 正員 ○西村新蔵
KK吉田組 正員 宮内克之
KK鴻池組 正員 田中英男

1. まえがき

本研究は、コンクリートの耐海水性に関する研究プロジェクトの一環として行なったものである。ここでは、海岸・海洋構造物における潮汐部を想定し、コンクリートが乾・湿の繰返し作用を受ける場合の劣化を採り上げ、約3ヶ年に及び劣化促進結果をもとに、耐海水性の評価を試みることにする。

2. 実験概要

コンクリートの配合を表-1に、実験計画表を表-2に、それぞれ一括して示す。

3. 結果と考察

- (1) 試験結果、劣化促進試験の結果を表-3に示す。
- (2) 耐海水性の評価方法

i) 耐久性指数：凍結融解に対する耐久性を評価する際に採用されている耐久性指数を本試験結果に準用した。

$$D.F. = \pi P_n / N$$

ここに、 π ：相対動弾性係数が0.6に低下した時のサイクル数、0.6に達しない場合には $\pi = 200$ とする。 P_n ：促進処理 n サイクルにおける相対動弾性係数。 N ：試験の目的によって定めた促進処理回数、ここでは $N = 200$ サイクルとする。

ii) 長さ変化を考察した耐久性指数（修正耐久性指数、M.D.F.）

$$M.D.F. = m P_m / N$$

ここに、 m ：ひずみ量が 7×10^{-4} に達した時のサイクル数（乾燥繰返しによる耐久性試験（米岡開拓局法）における限界ひずみを参考にした）、 7×10^{-4} に達しないときには $m = 200$ とする。 P_m ：促進処理回数 m サイクルにおける相対動弾性係数

2種類の耐久性指数の計算結果を表-4、表-5に示す。

(3) 耐久性指数による考察

①水道水に浸漬したコンクリートは、200サイクルの促進処理を施した後も、相対動弾性係数が60%まで低下したものはない。②海水に浸漬したものは、全般的にD.F.が小さく、とくに普通セメント、海水練り、若材令のもので著しい。③普通セメントの方が耐海水セメントよりも海水浸漬の影響が大きい。④練混ぜ水の影響は、

表-1 示方配合

セメントの種類	粗骨材の最大寸法 (cm)	スランプの範囲 (cm)	空気量 (W/C) (%)	水セメント比 (%)	細骨材の割合 (%)	単位量 (kg/m³)					配合比	配合率 (%)
						水	セメント	粗骨材	細骨材	水和剤		
普通ポルトランドセメント	20	7.5±2	50	40	37	145	363	661	1152	0.91	G	0.65
	20	7.5±2	50	60	42	158	263	797	1127	0.66	G	0.60
耐海水セメント	20	7.5±2	50	40	37	144	360	655	1143	0.90	G	0.65
	20	7.5±2	50	60	42	164	272	782	1113	0.68	G	0.63

表-2 実験計画

要 因	水 準
セメントの種類	普通ポルトランドセメント (N) 耐海水セメント (S)
水セメント比	40 (%) 60 (%) (40, 60)
練混ぜ水	水道水 海水 (W, S)
促進試験*	3S 28S 3W 28W } 2日サイクル
測定項目および測定条件	長さ変化、重量変化 (10×10×40 cm) 動弾性係数変化 混濁状態、浸漬終了後乾燥開始直前
長期浸漬試験 測定項目	長さ変化、重量変化、動弾性係数変化 (10×10×40 cm) 圧縮、引張強度 (φ10×20 cm)

* 3, 28 は促進試験開始材料

表-3 劣化促進試験の結果

コンクリートの種類	促進処理回数	動弾性係数 E	ひずみ E (10 ⁻⁴)	長さ変化 W/W ₀ (%)	コンクリートの種類	促進処理回数	動弾性係数 E	ひずみ E (10 ⁻⁴)	長さ変化 W/W ₀ (%)
NW40-3W	200	1.23	- 1.9	0.990	SW40-3W	200	0.67	0.5	1005
NW40-3S	200	0.59	27.0	0.990	SW40-3S	200	0.78	- 62	0.990
NW40-28S	200	0.49	21.5	0.984	SW40-28S	200	0.18	375	1010
NW60-3W	200	1.24	- 4.0	0.990	SS40-3W	200	0.87	35	1002
NW60-3S	200	0.75	24.0	0.968	SS40-3S	200	0.42	236	1013
NW60-28S	200	0.51	34.0	0.968	SS40-28S	200	0.24	280	1014
NS40-3W	200	0.64	46.0	1.001	SW60-3W	154	2.85	- 60	0.991
NS40-3S	200	0.32	48.0	0.994	SW60-3S	149	2.28	- 30	0.989
NS40-28S	200	0.30	22.3	0.980	SW60-28W	137	0.96	- 32	0.995
NS60-3W	200	0.89	10.6	0.995	SW60-28S	136	0.77	- 0.8	0.995
NS60-3S	200	0.50	41.0	0.976	SS60-3W	140	1.30	- 25	0.996
NS60-28S	200	0.36	21.5	0.973	SS60-3S	144	1.00	1.0	0.996
					SS60-28W	127	0.98	- 20	0.994
					SS60-28S	134	0.70	- 0.5	0.996

○ は試験終了時、耐水性試験後の測定値、促進処理回数とは異なる。

普通セメントで、かつ若材令に海水へ浸漬したものが著しく、耐海水セメントでは長期材令で海水に浸漬したものでやや大きい。

(4) 修正耐久性指数による考察

全般的に(3)のD.F.とほぼ同じ傾向を示すことが分る。M.D.F.では、とくに普通セメントで、海水練りと海水浸漬の影響が顕著に評価できる。

(5) 促進試験の妥当性・適合性について

湿潤・乾燥の繰返しによる促進試験と実際の構造物における耐久性との関係を検討しておく必要がある。そこで、本試験における長期試験(促進試験を施さないコンクリートの物性)と促進試験の結果を比較してみる。長期浸漬試験で動弾性係数が明らかに低下したNS-40-3W, 3Sについて、基準(測定開始時)の E_0 に等しい動弾性係数になったサイクル数と材令を求めると、促進試験では5~6サイクル、長期試験で500~600日となり、1サイクルに相当する日数は約100日となる。同様な比較をひずみの変化及び強度について試みると、ひずみでは1サイクル当り50~60日、強度で110~140日となる。従って、本試験で採用した促進試験では、乾湿繰返し1サイクルが浸漬材令約100日に相当すると考えられる。1サイクル当り100日と仮定すると、1年は約4サイクルとなり、構造物の耐用年数を50年と見積ると、構造物の耐海水性を評価するためには少なくとも200サイクルの促進試験を行なう必要のあることがわかる。このような考えのもとに、本試験に供したコンクリートの耐海水性の総合評価を行なうと表-6のようなになる。すなわち、耐海水性の最も優れているのは耐海水セメントと水道水(練混ぜ水)との組合わせで、逆に最も劣るのが普通セメントと海水練り、あるいは高水セメント比の組合わせの場合である。さらに、海水浸漬の影響が著しいのは普通セメントを使用する場合、海水を練混ぜ水として使用した際の影響は同じく普通セメントにおいて著しく、前養生の効果が大きいのは、普通セメントと海水練りの組合わせの場合である。これらの総合評価の妥当性は、同一コンクリートに対する30~50年に及び長期浸漬試験の結果が得られてはじめて判断できるものである。なお、D.E. GJORV(Norway)は25~30年間海水浸漬した18種類のコンクリートの強度変化について報告している。これによると、普通セメントは5~10年頃から強度が低下しはじめ、とくにC/Aの含有量の多いセメントほど強度低下が著しいこと、高炉セメントの耐海水性が優れていることなどを明らかにしている。この結果のうち普通セメントのD.F.(但し、強度比と30年を特性値にとる)を概算すると0.3~0.7程度となり、本研究の促進試験、200サイクルのD.F.(普通セメント0.20~0.65、耐海水セメント0.24~0.84)に近い値となっている

表-4 耐久性指数

コンクリートの種類	P_n	m	DF	海水練りの影響 (3W-3S)	海水練りの影響 (1W-5)	海水練りの影響 (28S-3S)	海水練りの影響 (60-60)
NW40-3W	1000	200	1.00				
NW40-3S	0500	80	0.24	0.76			
NW40-28S	0575	119	0.34	(0.66)		0.10	
NW60-3W	0984	200	0.98				
NW60-3S	0654	200	0.65	0.33			0.41
NW60-28S	0594	68	0.20	(0.78)		0.45	-0.14
NS40-3W	0634	200	0.63		0.37		
NS40-3S	0589	42	0.13	0.50	0.11		
NS40-28S	0599	102	0.31	(0.22)		0.18	
NS60-3W	0883	200	0.88		0.10		
NS60-3S	0570	106	0.38	0.58	0.35		0.17
NS60-28S	0575	127	0.19	(0.89)	0.01	-0.11	-0.12
SW40-3W	0839	137	0.83				
SW40-3S	0766	200	0.77	-0.14			
SW40-28S	0523	91	0.24	(0.39)		-0.53	
SS40-3W	0893	200	0.89		-0.06		
SS40-3S	0589	111	0.32	0.37	0.45		
SS40-28S	0563	85	0.24	(0.45)	0.00	-0.08	
SW60-3W	0821	154	0.82				
SW60-3S	0855	149	0.85		0.16		
SW60-28W	0824	200	0.82				
SW60-28S	0649	136	0.65	0.19		-0.01	
SS60-3W	0865	140	0.87		-0.05		
SS60-3S	0849	144	0.85	0.22	0.01		
SS60-28W	0881	127	0.88		-0.04		
SS60-28S	0631	134	0.63	0.25	0.02	-0.02	

表-5 修正耐久性指数

コンクリートの種類	P_n	m	MDP	海水練りの影響 (3W-3S)	海水練りの影響 (1W-5)	海水練りの影響 (28S-3S)	海水練りの影響 (60-60)
NW40-3W	1000	200	1.00				
NW40-3S	0592	92	0.27	0.73			
NW40-28S	0573	122	0.35	(0.65)		0.08	
NW60-3W	0984	200	0.98				
NW60-3S	0776	31	0.12	0.88		-0.15	
NW60-28S	0638	45	0.14	(0.84)		0.02	-0.21
NS40-3W	0865	11	0.05		0.95		
NS40-3S	0817	13	0.05	0.00	0.22		
NS40-28S	0405	177	0.36	(-0.31)	-0.01	0.30	
NS60-3W	0938	27	0.12		0.85		
NS60-3S	0872	13	0.06	0.07	0.06	0.01	
NS60-28S	0849	80	0.19	(-0.08)	-0.05	0.13	-0.17
SW40-3W	0832	200	0.83				
SW40-3S	0768	200	0.77	-0.14			
SW40-28S	0499	103	0.26	(0.37)		0.51	
SS40-3W	0893	200	0.89		-0.06		
SS40-3S	0528	132	0.35	0.34	0.42		
SS40-28S	0426	147	0.31	(0.38)	-0.05	-0.04	
SW60-3W	0821	154	0.82				
SW60-3S	0893	149	0.86		0.16		
SW60-28W	0839	137	0.84				
SW60-28S	0649	136	0.65	0.19		-0.01	
SS60-3W	0865	140	0.87		0.05		
SS60-3S	0849	144	0.85	0.22	0.01		
SS60-28W	0881	127	0.88		-0.04		
SS60-28S	0631	134	0.63	0.25	0.02	-0.02	

表-6 耐海水性の総合評価

コンクリートの種類	耐海水性		海水練りの影響		海水練りの影響		海水練りの影響		海水練りの影響	
	DF	MDP	DF	MDP	DF	MDP	DF	MDP	DF	MDP
NW40-3W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NW40-3S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NW40-28S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NW60-3W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NW60-3S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NW60-28S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NS40-3W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NS40-3S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NS40-28S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NS60-3W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NS60-3S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
NS60-28S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SW40-3W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SW40-3S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SW40-28S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SS40-3W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SS40-3S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SS40-28S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SW60-3W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SW60-3S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SW60-28W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SW60-28S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SS60-3W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SS60-3S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SS60-28W	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
SS60-28S	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●

* D.E. GJORV: Long-time Durability of Concrete in Seawater, Jour. of ACI, 1971, 1