

北海道開発局札幌開発建設部 正員 前川 静男
北海道開発局土木試験所 正員 今井 益隆
同 上 大川 守

1 まえがき コンクリートの凍結融解抵抗性の判定方法として、一般にASTM規格による水中急速試験法が行なわれている。しかし、供試体に与える条件が自然の気象作用に比較して厳しく、得られた成果で実際の構造物が受ける凍害を適確に把握することはできない。一方、暴露試験は結果が判明するまでに長期間を要するが、実際の気象条件下での試験である点が長所であり、すでに国内、外における試験の成果も報告されている。

本文は、港湾構造物を対象とした暴露試験と、凍害を目的として開設した暴露実験場での試験で得た若干の資料に基づき、耐久性に与える諸要因の効果について検討を加えたものである。

2 試験の概要 海水の作用を受ける構造物に多く認められる表面はく離の対策を求める目的で、網走（オホーツク海）、増毛（日本海）両港で行なった暴露試験および自然暴露によって凍害に影響する諸要因の効果を明らかにして、耐久性を考慮した材料あるいは配合の選定基準の作成資料を得る目的で開設した苫小牧市郊外の暴露実験場（以下単に実験場という）における長期計画の一部の試験であり、その試験規模と内容は表-1に示すとおりである。

表-1 暴露試験の概要

暴露箇所	網 走		増 毛		苫 小 牧													
暴露開始	43.12		44.12		45.12		48.1			48.11								
供試体寸法	15×15×53		30×24×10		45×30		15×15×33		30×24×10		45×10×20		10×10×42		30×24×10			
供試体個数	32		64		58		96		32		24		312		52		32	
試 験	セメント		N . S		N . F . S		N		N . F . S									
	W/C (%)	50.60	50.60		60		50.60.70.85.100		50.60.70									
要 因	粗骨材	G	CS. G		G		G		G									
	混和剤	W.R.A	W.R.A		A.E.A		A.E.A		A.E.A		W.R.A							
要 因	養生期間(日)	0.3.7.28	1.3.7.28		0.3.7.28		7		0.3.7.28									
	養生温度(℃)	20	20		21.19.2*		20		10.20									
打設時期(日)	—		—		7.8.11		—		—									

*養生中の平均気温

**AEコンクリート

実験場の選定は、気象（積雪量、温度条件）、交通（道路事情、距離）、維持、管理などの諸条件を考慮して決定したものであり、気温0℃を境とした凍結融解可能回数は、日最高、最低気温を分類した表-2によると、網走の年間67回、増毛67回に対し、苫小牧は116回となる。

表-2 気温出現度数（48-1～48-12）

地名	網 走				増 毛				苫 小 牧			
気温(℃)	≦ 0	0.1	5.1	10.1	≦ 0	0.1	5.1	10.1	≦ 0	0.1	5.1	10.1
≧ 0	0	8	25	180	0	5	39	192	0	2	17	191
-0.1～-5.0	7	15	19	3	16	44	11	0	5	9	14	16
-5.1～-10.0	59	16	3	0	44	11	1	0	13	33	4	1
-10.1	29	1	0	0	2	0	0	0	21	39	0	0

3 試験方法 所定の養生を終えた供試体は、以後気乾状態とし、28日間標準養生終了後、同時に暴露を開始した。供試体は網走および増毛では、防波堤々頂に並列させて山形鋼で固定し、実験場では鋼製台上に設置したが、供試体の形状によっては上面に水を溜め、あるいは湿砂で覆ったほか、南北方向にそれぞれ傾斜させて設置した。（写真-1）暴露供試体の凍害評価は、外観の観察、動弾性係数、重量の変化などにより、経年的に観測を実施した。



写真-1 実験場における供試体暴露状況

4 試験結果と考察 (1) 凍害試験法との比較—増毛— 暴露試験に用いた供試体は 表-1にも示したとおり面積24×30cm、厚さ10cmの平板であり、上面に鉄板製枠を埋設して深さ約5mmの水が溜まるようにした。（写真-2と同型）気象作用によるはく離重量損失を、はく離促進試験（-10～+10℃、2回）および急速凍結融解試験の結果と比較した。図-1は高炉セメントB種を用いたコンクリートの場合について、3種の試験方法による重量減少率を示したものであり、供試体は横軸に示す期間だけ湿潤養生を行なったのち、気乾状態として枚令28日から試験を行なった。増毛では前述のとおり、年間約70回の

凍結融解が繰り返されると推定できるため、同回数の試験結果を示した。その結果、重量減少率は急速>暴露>促進の順となり、また、海水に接する場合は淡水に比べて2~3倍の重量減少を示した。急速試験の作用が最も厳しいことは温度範囲、温度勾配、周囲の環境が苛酷であり当然と考えられる。暴露試験では促進試験と殆んど同一の温度条件と認められるが、乾燥・湿潤の繰り返りや波浪の影響により、重量減少率が大きくなったと推定される。(2) 養生程度とはく離-網走-表面はく離の程度を重量減少率で表現する場合

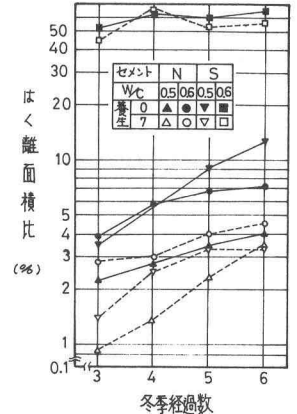
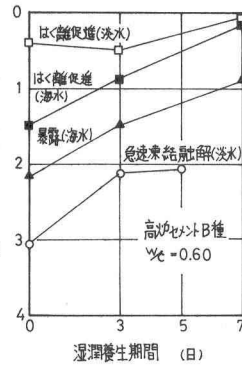


図-2 表面はく離の経年変化

図-1 凍結融解70回のときの重量減少率
供試体の形状による影響を考慮しなければならないことから、写真によって縦面積に対するはく離面積の比を求めた。図-2は曲げ強度用供試体の側部を上面とした場合について経年変化を示したものであるが、%、養生程度の影響は顕著であり、とくに高炉セメントB種、 $W_c=0.6$ では1冬経過の時点で0.5の6年経過と同程度で、7日程度の養生でも改善は認められない。

(3) 気温と供試体温度-苫小牧- 供試体表面下1cmに埋設した熱電対によって、気温との関係を求めた一例を図-3に示す。晴天時においては供試体の設置方向、すなわち南か北かで5~6℃の差異が生ずるのに対し、曇天時では8℃程度であり日射の影響が大きい。また、天候に関係なく北向の供試体の最高温度は8~4時間の遅れがあるが気温にほぼ等しい。(4) 暴露による強度変化-苫小牧- 写真-2に1冬経過後で異状の認められなかったフレーションコンクリート($W_c=1.00$)の2冬経過後のはく離状況を示す。気乾状態にある円柱体では降雨などの影響により水和が増進し、表-3に示すように1冬経過後の強度に比較して2冬経過後では、1~13%の強度の増進を示している。

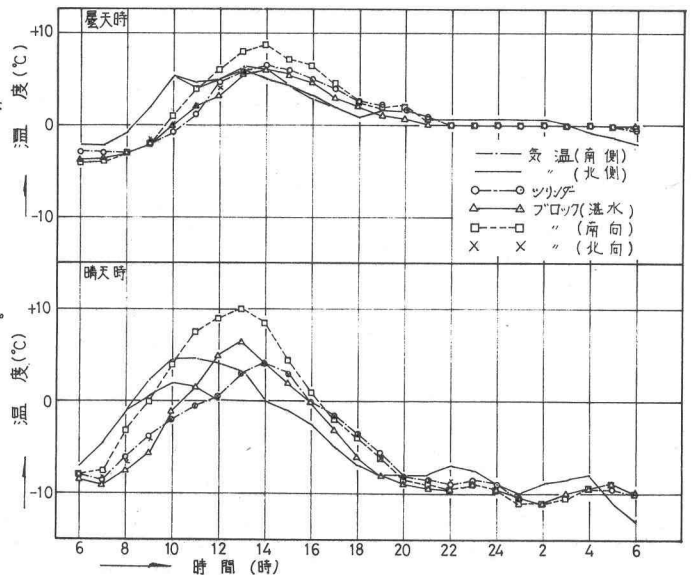


図-3 気温と供試体温度の関係(暴露実験場)

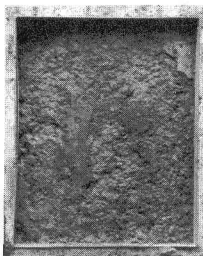


写真-2 供試体表面のはく離状況(2冬経過)

表-3 暴露供試体の強度変化

コンクリートの配合		養生終了時 合計47.12		1冬経過時 48.6		2冬経過時 49.6			
湿和剤	Wc	A		B		C		D	
		0.7 (215)	0.702 (202B)	0.756 (185)	0.756 (185)	0.756 (185)	0.756 (185)		
無	0.5	157	397	1.85	402	1.87	1.01		
	0.7	108	219	2.03	246	2.28	1.12		
	0.85	68	145	2.13	164	2.41	1.13		
	1.0	51	101	1.98	113	2.22	1.12		
	0.5	183	344	1.88	373	2.04	1.08		
有	0.6	162	287	1.77	294	1.81	1.02		
	0.7	99	200	2.02	209	2.11	1.05		

5 あとがき コンクリートの凍害暴露試験で得られた資料より、(1)急速試験、はく離促進試験は暴露試験との相関性が認められ、ともに促進試験の手段として有効である。(2)高炉セメントB種で、 $W_c=0.6$ の場合、養生期間が7日以下でははく離作用に対して不利となる。しかし、 $W_c=0.5$ では養生程度によっては長期において、普通セメントを上回る抵抗性を示す。(3)供試体設置方向、形状寸法、暴露条件で温度の推移が異なるとともに水分の状態によっては、 $W_c=1.00$ のフレーションコンクリートでも2冬経過後も強度増進が認められる。などが明らかになった。実験場における試験はまだその緒についたばかりであり、今後得られる成果に期待したい。