

V—5 海水の作用を受けるコンクリートの耐凍害性に及ぼす空気量の影響

北見工業大学 正会員 ○ 鮎 田 耕 一
北見工業大学 正会員 林 正 道
北見工業大学 正会員 猪 狩 平三郎

1 ま え が き

海岸、港湾のコンクリート構造物は海水の化学作用、波浪によるすりへり作用等のために内陸の構造物に比べて劣化しやすい傾向にある。寒冷地ではこれらの作用の他に凍結融解作用が加わるために、さらに劣化が促進されやすい。例えば、前川、今井が昭和47年から行った北海道開発局所管の土木構造物の凍害調査結果^{1) 2)}によれば、海岸あるいは港湾の構造物はその他のものに比較して2倍以上の凍害発生率を示している。

凍結融解に対する耐久性を高めるためには、適当量のエントレインドエアを含む強度の大きいコンクリートを作ればよいから、単位水量とW/Cの小さいAEコンクリートを十分に湿潤養生することが必要である³⁾。このことは海水の作用を受ける構造物にも当然適用されることであろう。

土木学会コンクリート標準示方書（昭和55年版）では、海洋構造物に用いられる鉄筋コンクリートの耐久性から定まる水セメント比の最大値を凍結融解がしばしば繰返される地域で構造物の露出状態が潮風を受ける部分、波しぶきを受ける部分で0.50～0.55、潮の干満作用を受ける部分、海水で洗われる部分で0.45～0.55と定めている。これらの値は、潮風、海水の影響を受けない構造物に比べて0.05～0.10小さい値となっている。諸外国の中では米国のW/Cの規定⁴⁾が厳しく、海水の作用のみを受ける場合で0.40～0.45としていて、凍結融解作用を受ける場合よりも0.05小さい値となっている。しかし、前述の凍害調査の結果、あるいは筆者らの行った急速凍結融解試験の結果⁵⁾から判断すると、W/Cを0.05～0.10程度小さくし強度を大きくするだけでは海水の作用を受けない場合と同程度の耐久性を確保することは、むづかしいようである。

一方、海水の作用を受けるコンクリートの凍結融解抵抗性を増すためには、エントレインドエアの量を多くすると効果的であるという報告⁶⁾がある。しかし、この結果をそのまま適用することについては異論もあるようである⁷⁾。筆者らも普通ポルトランドセメントコンクリートを用いて、海水中の急速凍結融解試験を行い、空気量の評価を試みたが⁸⁾、その後、さらにフライアッシュセメントコンクリートを用いて実験を行

表 1 コンクリートの性状

セメント	配 合					練りあがり性状			硬化コンクリート			凍結融解 試験の 作用水	
	単 位 量 (Kg)				W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温 度 (℃)	空気量 (%)	σ_{28} (kgf/cm^2)		Es (tf/cm^2)
	セメント	水	細骨材	粗骨材									
普通ポルトランド	298	155	694	1303	52.0	35.0	8.5	1.8	20.0	1.7	312	293	淡・海
	260	135	643	1320	51.9	33.0	{ 8.5 8.0	4.1	18.0	(4.1)	261	302	淡
								4.3	20.0		262	302	海
	233	121	613	1317	51.9	32.0	8.5	8.8	19.0	8.7	242	259	淡・海
	202	105	563	1329	52.0	30.0	6.5	12.5	18.5	10.3	169	262	〃
	181	94	509	1324	51.9	28.0	7.5	15.0	19.0	12.5	168	250	〃
	162	84	456	1312	51.9	26.0	7.0	19.2	19.5	17.4	139	236	〃
フライアッシュB種	294	150	693	1302	51.0	35.0	9.0	1.4	19.5	0.9	281	308	〃
	260	133	639	1313	51.2	33.0	{ 8.5 8.0	5.4	19.0	(5.0)	217	263	淡
								4.8	19.0		243	279	海
	235	120	609	1308	51.1	32.0	7.0	9.2	20.0	8.3	197	315	淡・海
	212	108	554	1308	50.9	30.0	7.5	10.1	20.0	9.8	179	254	〃
		184	94	505	1314	51.1	28.0	7.0	11.7	20.5	11.0	175	266

ったので、本報ではその結果も合わせて報告し、海水の作用を受けるコンクリートの耐凍害性に及ぼす空気量の影響について検討する。

2 実験概要

セメントは混合材を加えていない普通ポルトランドセメント（比重 3.17，比表面積 $2960\text{cm}^2/\text{g}$ ）と、これを母体としてフライアッシュを15%混合したフライアッシュセメントB種（比重 2.94，比表面積 $3030\text{cm}^2/\text{g}$ ）の2種類を用いた。細骨材は札内川産の川砂（比重 2.64，吸水率 2.25%）と川砂利（最大寸法 30mm ，比重 2.67，吸水率 1.38%），A E 剤はヴァインソルWを使用した。練りませ水は水道水である。

用いたコンクリートの配合，練りあがり性状，硬化コンクリートの空気量，及び材令28日（標準養生）の圧縮強度，静弾性係数（初期接線係数）を表1に示した。硬化コンクリートの空気量はASTM C457のポイントカウント法に準じて求めた。材令の経過に伴う圧縮強度の伸びを空気量別に図1に示した。

凍結融解試験は1サイクル4時間（凍結温度 -18°C ，融解温度 $+5^\circ\text{C}$ ）の海水または淡水中における急速試験で標準養生材令28日から開始した。

海水はオホーツク海から採取して使用した。供試体寸法は $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ であり，本数は1条件につき3～9本である。ほぼ30サイクルごとに動弾性係数，長さ，質量を測定した。

3 実験結果

普通ポルトランドセメントコンクリートの淡水中の凍結融解試験の結果を図2

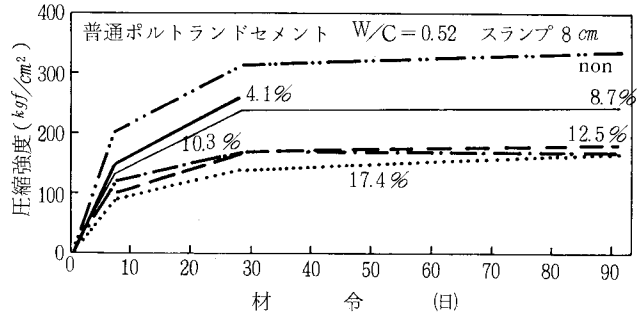


図1 コンクリートの圧縮強度

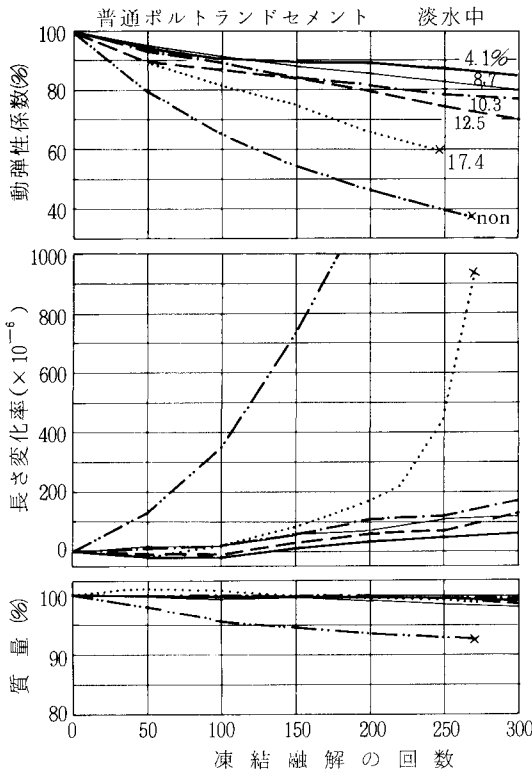


図2 凍結融解試験結果－1

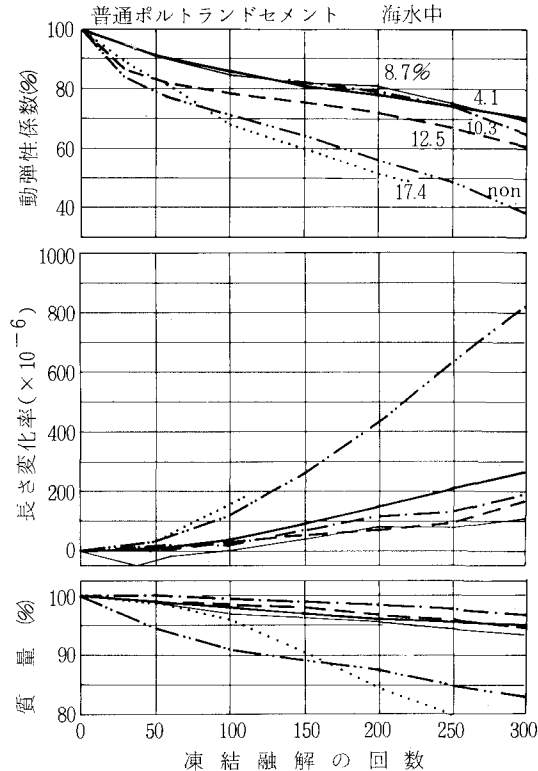


図3 凍結融解試験結果－2

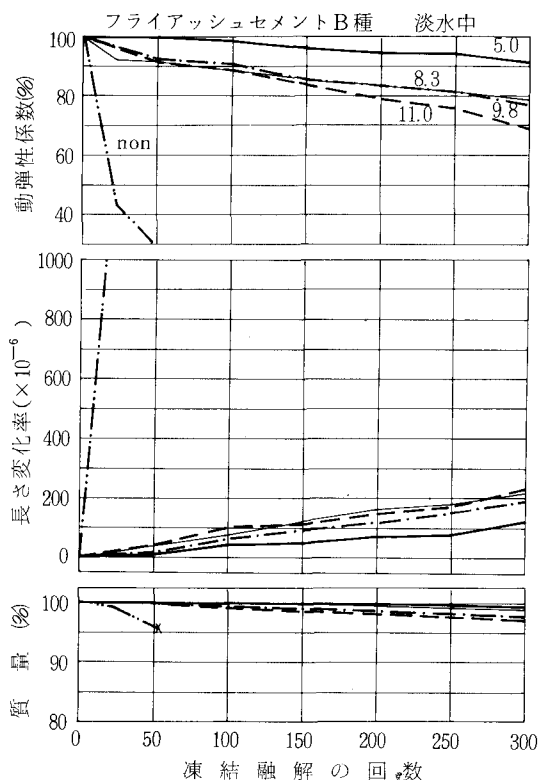


図4 凍結融解試験結果－3

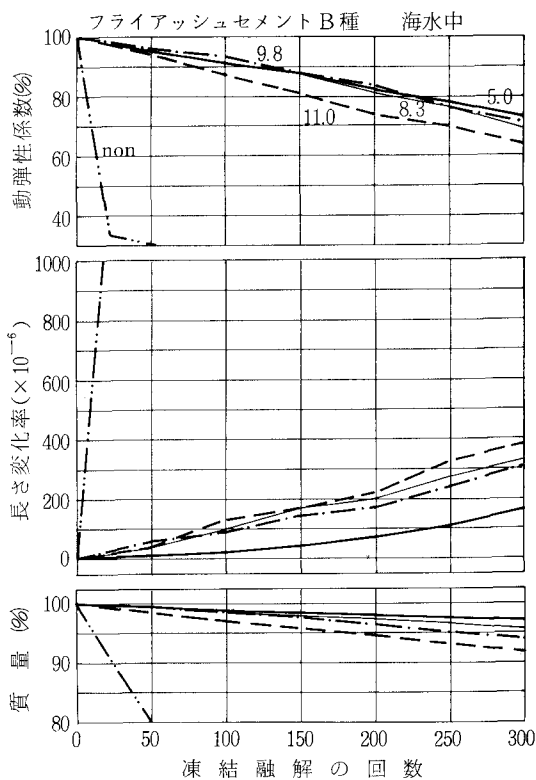


図5 凍結融解試験結果－4

に、海水中の結果を図3に示した。また、フライアッシュセメントB種コンクリートの淡水中の急速試験の結果を図4に、海水中の結果を図5に示した。

4 考察

硬化コンクリートの空気量と、凍結融解試験開始時（材令28日）の圧縮強度、凍結融解300サイクル終了時の劣化程度の関係をもセメント別に図6に示した。

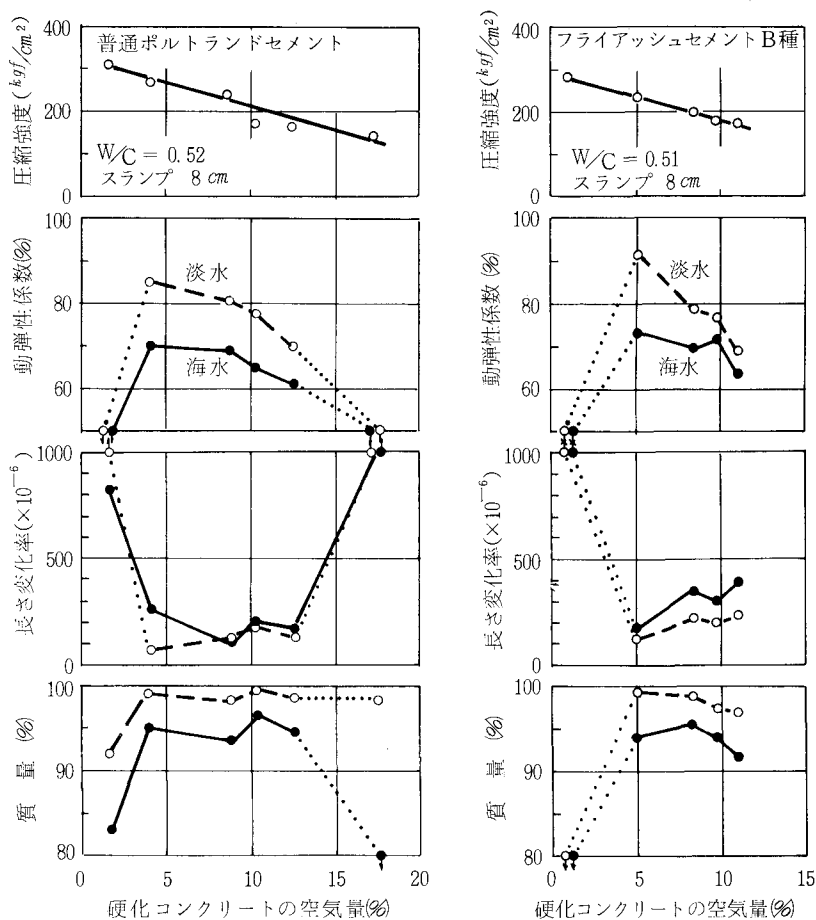
普通ポルトランド、フライアッシュいずれのセメントを用いた場合も、空気量が1%増加するごとに、圧縮強度が約5%低下する結果となっている。

淡水中の凍結融解300サイクルまでの範囲では、普通ポルトランド、フライアッシュセメントコンクリートとも、non AEコンクリートを除き、ほとんどスケーリングが発生していない。動弾性係数、長さ変化率の測定結果からAEコンクリートの空気量が5%から多くなるのに伴い耐久性が漸減する傾向がうかがえる。空気量の増加に伴う圧縮強度の低下も合わせて考慮すると、淡水中で凍結融解作用を受ける場合、空気量が5%前後のコンクリート（粗骨材の最大寸法30mm）が最も耐久性にすぐれているといえる。この結果は土木学会コンクリート標準示方書あるいは既応の実験結果とはほぼ同じである。

次に海水中の場合は、淡水中に比べてスケーリングが多く発生し、それに伴い動弾性係数も低くなっている。AEコンクリートでは空気量が多くなるほど、動弾性係数が低下し、長さ変化率が増加（膨張）する傾向にある。海水中で凍結融解作用を受けるコンクリートの耐久性確保のための適当な空気量として、同様の実験を行ったLyseは10～12%を推奨しているが⁶⁾、本実験の結果では5～10%の空気量の範囲では耐久性に大きな差はない。ただ、Lyseの論文に示されている空気量はtheoretical air contentであり、また使用粗骨材の最大寸法が小さいこと⁷⁾などを考慮すると、この推奨されている空気量は本実験の粗骨材の最大寸法30mmの硬化コンクリートの空気量に換算するともっと少なくなると考えられる。また、空気量の増加に伴

図 6

空気量と圧縮強度
(材令28日), 劣化
程度 (300 サイクル)
の関係



う圧縮強度の低下という不利益を考慮すると、淡水中に比べて海水の場合、特に所要の空気量を極端に多くする必要はなさそうである。この実験の範囲からは、粗骨材の最大寸法が30mmの場合、空気量は5%程度でよいと考えられる。

5 ま と め

標準養生(材令28日)のコンクリート(普通ポルトランドセメント, フライアッシュセメントB種使用, 粗骨材の最大寸法30mm)を用いて, 淡水中と海水中で急速凍結融解試験を行い, 耐久性に及ぼす空気量の影響を比較検討した。その結果, 淡水中の場合空気量が5%前後のとき凍結融解抵抗性がすぐれていることが確認された。また, 海水の場合, 空気量が5~10%の範囲では抵抗性に大きな差はないが, 圧縮強度を考慮すると, 所要の空気量は淡水中の場合と同じく5%前後でよいと思われる。

参考文献

- 1) 前川静男, 今井益隆: 養生程度がコンクリートの耐久性に与える影響, セメント・コンクリート No. 345, pp. 22~29, 1975. 11
- 2) 今井益隆: コンクリート構造物の凍害調査, コンクリート工学, vol. 14, No. 11, pp. 16~22, 1976. 11
- 3) 林正道: コンクリートの耐久性について, 土木学会北海道支部講習会テキスト, 昭和51年度, pp. 16~22, 1976. 12
- 4) ACI Committee 211, Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavy-weight Concrete (ACI 211.1-77)
- 5) 鮎田耕一, 林正道: 海水の作用を受けるコンクリートの凍結融解に対する耐久性, セメント技術年報35, pp. 311~314, 1981
- 6) Lyse, I.: Durability of Concrete in Sea Water, ACI Jour., proc., vol. 57, pp. 1575~1584, 1961. 6
- 7) Hadley, H. M.; Klieger, P.; Mather, B.; and Tyler, J. L.: Discussion of a paper by I. Lyse, ACI Jour., proc., vol. 58, pp. 1917~1921, 1961. 12