

V-19

寒冷地海洋環境下におけるコンクリートの劣化防止対策

島田建設(株) 正員 木村 伸之
 島田建設(株) 安藤 輝夫
 北見工業大学工学部 正員 鮎田 耕一
 北見工業大学工学部 正員 桜井 宏
 北見工業大学大学院 学生員 小笠原育穂

1. はじめに

海岸・港湾コンクリート構造物は、陸上の構造物に比べて過酷な環境にあるため劣化しやすい。特に、寒冷地では海水の化学的侵食作用のほかに凍結融解作用が加わるため劣化が促進されやすく、その対策は重要な課題である。

筆者らは、寒冷地の海岸・港湾コンクリート構造物のスケーリング防止を目的として、種々の実験を行ってきた。その結果、常用のコンクリートよりも空気量を多めにしたコンクリートがスケーリングの抑制に適していることを明らかにした¹⁾。しかしながら、これらの結果は主に促進試験によるものであり、実気象・海象条件下での耐凍害性の評価はいまだ十分に行われていない。

本研究では、7年前から流氷海域であるオホーツク海で行っている暴露実験の結果から、促進試験で得られた結果を検証するとともに、実気象・海象条件下でのスケーリング抑制に及ぼす空気量の影響について検討した。

2. 暴露実験の概要

2.1 実験要因：外的要因として海水の作用（干満帯、潮風帯、非海洋環境＝内陸）、内的要因として空気量（Non～10%）をとりあげた。

2.2 暴露実験場

暴露箇所として流水海域であるオホーツク海沿岸の飛沫帯と潮風帯を選んだ。また、これらの箇所に暴露したコンクリートと劣化性状を比較するために内陸（北見）にある建物屋上にも供試体を暴露した。

それぞれの暴露箇所の詳細は以下のとおりである。

(1)干満帯：オホーツク沿岸の漁港の干満帯にある排水トラフの内部に小型コンクリート供試体(10×10×40 cm)を暴露している。満潮時には排水トラフそのものが水没するために供試体は完全に水浸された状態になり、干潮時には供試体は大気中にある。このように、潮の干満作用による乾湿の繰返しを受ける厳しい環境にあり、「土木学会コンクリート標準示方書（以下、示方書）」海洋コンクリートの環境区分の「飛沫帯」に相当する。以下、この暴露場での実験を「干満帯暴露」と称する。供

試体中心部の温度から凍結温度を-2℃として求めたコンクリートの凍結融解回数を表1に示す。

(2)潮風帯：(1)の漁港から約5 km離れた港湾にある小島に消波プロ

表1 凍 結 融 解 回 数

暴露環境	1989年秋 ～1990年春	1990年秋 ～1991年春	1991年秋 ～1992年春	年平均 回数
干 満 帯	3 1	6 6	2 0	3 9
内 陸	1 3 7	1 3 7	1 4 0	1 3 8

Scaling Resistance of Concrete Exposed to the Ice Covered Sea

by Nobuyuki KIMURA, Teruo ANDOH, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Ikuo OGASAWARA

ック(約2 t)を暴露している。常時潮風を受け、波しぶきをまれに受ける環境であり、示方書の環境区分の「海上大気中」に相当する。以下、この暴露場での実験を「潮風帯暴露」と称する。

(3)内陸：(1),(2)の暴露地から約50km内陸にある北見工業大学の建物屋上に小型コンクリート供試体(10×10×40cm)を暴露している。供試体は、屋上スラブ上に直接静置し、冬期間も除雪は行わなかった。以下、大学屋上での暴露を「内陸暴露」と称する。供試体中心部の温度から凍結温度を0℃として求めたコンクリートの凍結融解回数を表1に示す。

2.3 使用材料

使用材料を表2に示す。粗骨材の最大寸法は、小型コンクリート供試体では25mm、消波ブロックでは40mmである。

2.4 配合、練上がり性状、強度及び養生

配合、練上がり性

状及び材令28日におけるφ10×20cm円柱供試体の圧縮強度 f'_{28} 、動弾性係数 E_D を表3に示す。実験ケースAは、干満帯と内陸環境の違いによるコンクリートの性状を検討するために用いた配合であり、干満帯と内陸に暴露している。ケースB、ケースCは、スケーリングに及ぼす空気量の影響を検討するために用いた配合であり、ケースBは干満帯に、ケースCは潮風帯に暴露している。

ケースA、Bの小型コンクリート供試体は、打込み後24時間湿空養生(室温 $20\pm2^\circ\text{C}$ 、湿度 $90\pm5\%$)を行い、脱型後、暴露開始材令(28日)まで水中養生(水温 $20\pm2^\circ\text{C}$)を行った。

ケースCの消波ブロックは麻袋・散水養生を7日間行った後にそれぞれ暴露を開始した。なお、暴露材令は、ケースAは6年、ケースBは7年、ケースCは5年である。

表3 配合、練上がり性状、圧縮強度、動弾性係数

供試体の種類	ケース	空気量	配合			練上がり性状			硬化コンクリート	
			W/C (%)	s/a (%)	セメント量 (kg/m ³)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	f'_{28} (kgf/cm ²)	E_D (tf/cm ²)
小型コンクリート 供試体 (10×10×40cm)	A	4%	54.2	33.0	260	7.0	3.7	19.0	299	346
	B	Non	51.2	35.3	303	7.0	1.7	18.0	350	394
		4%	53.3	33.3	259	7.0	3.7	18.5	308	365
		6%	51.7	33.3	259	7.0	5.5	18.5	331	356
		8%	50.6	33.3	259	7.0	8.0	18.0	243	338
消波ブロック (2tトラホット)	C	Non	50.0	39.9	308	5.0	1.6	17.5	378	---
		4%	50.0	39.6	270	6.0	5.2	17.0	298	---
		6%	49.4	39.1	261	6.5	6.0	17.5	270	---
		8%	46.9	38.0	260	5.5	7.3	17.5	288	---
		10%	43.5	37.0	262	6.0	10.8	18.0	189	---

2.5 劣化指標

小型コンクリート供試体では動弾性係数、質量を、消波ブロックではスケーリングで剥離した部分の面積とその平均深さをそれぞれ毎年一回測定し劣化指標とした。消波ブロックの測定面の寸法は50×50cmであり、測定箇所は、供試体の上部、下部の2面である。測定面を図1に示す。剥離面積は、測定面に透明のビニー

ルシートを当て、剥離部分を油性インクでなぞり、シートに描かれた剥離部分を画像解析装置で求めた。剥離深さは、一測定面につき数点（最大10点）測定し、その平均値で表した。なお、剥離深さの経年変化を把握するために、深さは毎年同じ点で測定した。結果は、剥離面積率と剥離度（剥離面積率×剥離深さ）で表した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 干満帯暴露と内陸暴露の比較

表1によれば、内陸に比べて干満帯の凍結融解回数がかなり少ない。これは冬期間に、干満帯ではトラフ内が結氷と流水により海水の移動がなく積雪しているのに対し、内陸では屋上暴露のため日中の日射により融雪するとともに温度が上がったためである。

図2に干満帯と内陸にそれぞれ6年間暴露した小型コンクリート供試体の動弾性係数と質量の経年変化を示した。干満帯の動弾性係数は内陸に比べて大きくなっている。海洋環境下では水に接している期間が長いため、セメントの水和が進み強度が増加していることを示しており、劣化の傾向は顕著に表れていない。既報²⁾³⁾の傾向と同様に、質量は干満帯の方が少なくなっており、凍結融解回数が少ないにもかかわらずスケーリングが進行していることを示している。

以上の結果から、干満帯という厳しい海洋環境下にあるコンクリートは動弾性係数の低下はあまり認められないものの、内陸のコンクリートに比べてスケーリングが多く発生することが確認された。

3. 2 空気量の影響

図3に暴露7年経過の小型コンクリート供試体の動弾性係数、質量に及ぼす空気量の影響を示した。空気量8%のコンクリートでは、暴露7年経過後も動弾性係数の低下は認められない。また、質量も空気量6%以下のコンクリートに比べて減少の度合いが低く、スケーリングの発生が少ないことを示している。

図4に暴露5年経過の消波ブロックのスケーリングに及ぼす空気量の影響を示した。暴露5年経過後も剥離面積率は、空気量8%のコンクリートでは0.6%、10%のコンクリートでは0.2%であり、剥離度は空気量8%のコンクリート、10%のコンクリートそれぞれ0.006mm、0.002mmと干満帯にある空気量8%の小型コンクリート供試体と同じくスケーリングはほとんど発生していない。空気量8%と10%のコンクリートを比較すると、スケーリングの発生には大きな差が認められないものの、表3に示したように、強度は空気量8%のコンクリートの方が空気量10%のコンクリートよりも大きい点を考慮すれば、海洋環境下のコンクリートに適した空気量は8%程度であると思われる。

以上の結果から、海岸・港湾コンクリートでは空気量を8%にするとスケーリングの発生、進行が抑制され耐凍害性確保に効果的であることが実証された。スケーリング抑制のために内陸のコンクリートより多くの

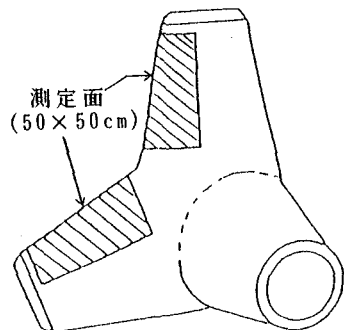


図1 測定面（消波ブロック）

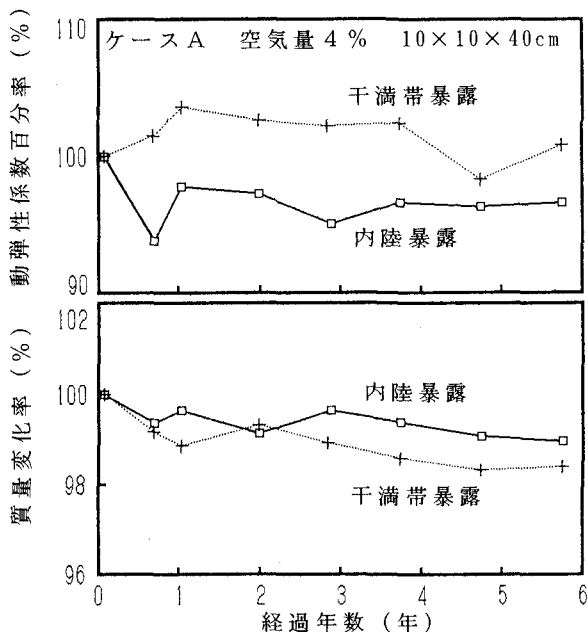


図2 干満帯暴露と内陸暴露の比較

空気量が必要なのは、海水の作用によりセメントペースト硬化体組織がポーラスになり⁴⁾、凍結水量が多くなったためであると思われる。

4. まとめ

流水海域であるオホーツク海沿岸の干満帯、潮風帯及び非海洋環境として海岸から50km内陸の建物屋上で5～7年間行った本暴露実験の範囲から以下のことが明らかになった。

- (1) 干満帯暴露コンクリート(空気量4%)は内陸暴露コンクリート(同)に比べてスケーリングが多く発生する。
- (2) 空気量8%のコンクリート(粗骨材の最大寸法; 25mm、40mm)は干満帯、潮風帯の環境下であってもスケーリングの発生が抑制される。

本研究の遂行にあたり、御協力いただきました北見工業大学 猪狩平三郎氏に感謝申し上げます。また、本研究は平成5年度文部省科学研究費補助金(一般研究C, 課題番号04650416)の交付を受けて行われました。併せて謝意を表します。

【参考文献】

1) 鮎田耕一, 林正道: 海水の作用を受けるコンクリートの耐凍害性確保のための適正空気量, 第8回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.93~96, 日本コンクリート工学協会, 1986.6

2) 鮎田耕一, 桜井宏, 猪狩平三郎, 木村伸之, 安藤輝夫: オホーツク海に5年間暴露したコンクリートのスケーリング性状, 土木学会47回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.442~443, 1992.9

3) 鮎田耕一, 桜井宏, 木村伸之, 安藤輝夫, 小笠原育穂: 寒冷地海洋コンクリートのスケーリング防止対策, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.236~237, 1993.9

4) 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.325~328, セメント協会, 1981.12

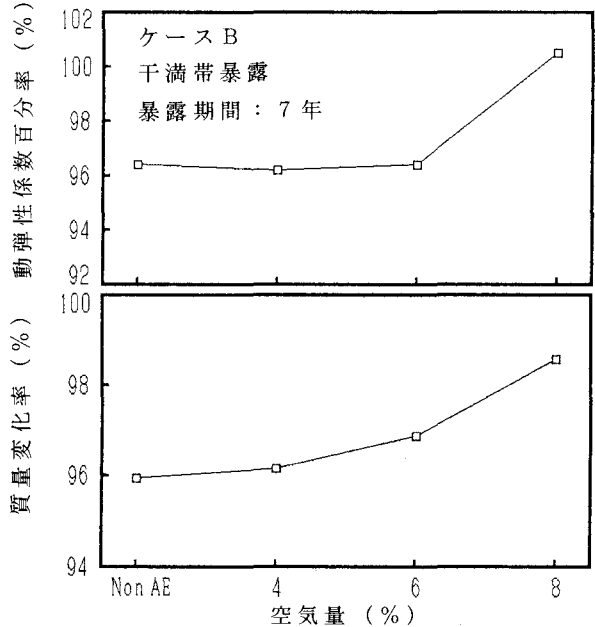


図3 空気量の影響
(小型コンクリート供試体)

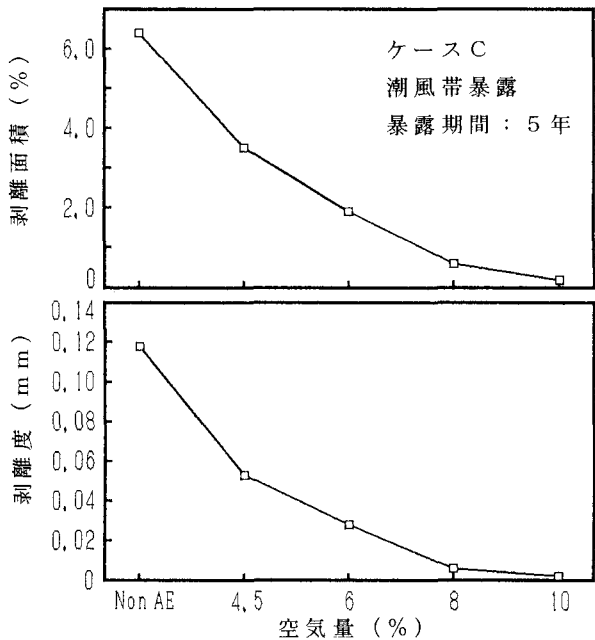


図4 空気量の影響
(消波ブロック)