

V-11

配合及び養生条件の異なる海洋暴露コンクリートの耐凍害性評価

島田建設(株)	正員	木村伸之
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	日下陽一郎

1. はじめに

海岸・港湾コンクリート構造物は海水の化学的作用、波浪による物理的作用等のために劣化しやすい。特に積雪寒冷地では凍結融解作用が加わるために劣化が促進されやすい。北海道の海岸・港湾コンクリート構造物の劣化状況を見ると、コンクリート表層部のスケーリングが大部分である。スケーリングは、年数の経過とともにコンクリート内部に進行し、その結果コンクリート構造物の耐久性を低下させる。さらに、スケーリングの発生により景観、美観が損なわれるという面からも、スケーリング防止対策は重要な課題である。

筆者らは、積雪寒冷地における海岸・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。しかしながら、これらの実験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はまだ十分に行われていない。

本研究では、8年間の暴露実験で得られた結果から空気量、セメント種類、養生条件の異なるコンクリートの劣化傾向を明らかにして、スケーリング防止に対する効果を検討した。

2. 暴露実験の概要2.1 実験要因

実験要因として外的要因と内的要因を取り上げた。外的要因として暴露環境（干満帯、潮風帯、内陸）、内的要因として空気量、セメント種類及び養生日数を取り上げた。

2.2 暴露箇所

暴露箇所には、流水海域であるオホーツク海沿岸の干満帯と潮風帯を選んだ。また、これらのコンクリートと劣化性状を比較するために、海水の作用を受けない内陸にも暴露した。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：オホーツク海沿岸の漁港の干満帯にある排水用トラフ内に小型コンクリート供試体（10×10×40cm）を置いてある。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自然環境下にあり、「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、この暴露箇所での実験を「干満帯暴露」とする。供試体中心部の温度を熱電対を用いて1989年から継続して測定している。コンクリートの凍結温度を-2℃として求めたコンクリートの凍結融解回数は年平均40回程度であった。

表1にオホーツク海沿岸に位置する網走の1989年からの年最高気温と年最低気温を示す。

(2) 潮風帯：(1)の漁港から約5km離れた港湾にある小島に消波ブロック（約2t）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、この暴露箇所での実験を「潮風帯暴露」とする。

(3) 内陸：(1)(2)の暴露箇所から約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

Scaling of Concrete Exposed to the Ice Covered Sea

by Nobuyuki KIMURA, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Yoichiroh KUSAKA

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」とする。供試体中心部の温度を熱電対を用いて継続して測定している。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は年平均140回程度であった。

表1に北見における1989年からの年最高気温と年最低気温を示す。

表1 年最高気温と年最低気温

気温(℃)	1989年	1990年	1991年	1992年	1993年	1994年
網						
走						
北						
見						
最高	33.0	33.4	31.7	31.8	32.2	36.9
最低	-15.5	-17.4	-13.2	-15.5	-13.6	-17.8
最高	33.4	32.8	32.0	31.3	30.8	37.0
最低	-23.3	-24.4	-21.3	-23.0	-19.4	-23.2

注) 1994年については1月～9月まで

2. 3 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(記号NN)、高炉セメントB種(記号BB)、フライアッシュセメントB種(記号FB)、細骨材は川砂と丘砂、粗骨材は川砂利を用いた。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。使用材料の品質を表2に示す。

表2 使用材料の品質

供試体の種類	材 料	品 質
小型コンクリート 供試体 (10×10×40cm)	セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16, 比表面積3270cm ² /g
	細骨材	川砂(比重2.61, 吸水率2.40%, 粗粒率2.68)
	粗骨材	川砂利(比重2.66, 吸水率2.40%, 粗粒率6.78)
消波ブロック (24×24×40cm)	セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16, 比表面積3340cm ² /g
		高炉セメントB種 比重3.05, 比表面積3880cm ² /g
		フライアッシュセメントB種 比重2.95, 比表面積3320cm ² /g
	細骨材	丘砂(比重2.60, 吸水率1.73%) 川砂(比重2.56, 吸水率2.08%) 丘砂 : 川砂 = 容積比 6 : 4で混合(粗粒率2.56)。
		川砂利:最大寸法25mm(比重2.57, 吸水率2.22%, 粗粒率6.86) 川砂利:最大寸法40mm(比重2.57, 吸水率2.13%, 粗粒率7.20) 最大寸法25mm : 最大寸法40mm = 容積比 6 : 4で混合。

2. 4 実験ケース

実験は、A, B, C, D, Eの5ケースに分けて行った。配合, 練上がり性状, 材令28日の圧縮強度(f'_{cs}), 動弾性係数(E_D), 質量(W)を表3に示す。小型コンクリート供試体はケースA, B, C、消波ブロックはケースD, Eで用いている。実験ケースによる検討項目を以下に示す。なお、()内は暴露年数である。

- (1) ケースA(7年): 干満帯暴露と内陸暴露の比較
- (2) ケースB(8年): 干満帯暴露コンクリートに及ぼす空気量の影響
- (3) ケースC(7年): 干満帯暴露コンクリートに及ぼす養生日数の影響
- (4) ケースD(6年): 潮風帯暴露コンクリートに及ぼす空気量の影響
- (5) ケースE(6年): 潮風帯暴露コンクリートに及ぼすセメント種類の影響

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±2℃、湿度90±5%)を行い、脱型後所定材令(5日または28日)まで水中養生(水温20±2℃)を行った。5日間養生の供試体は、水中養生後暴露開始材令まで実験室で気乾状態で保存した。なお、消波ブロックは麻袋・散水養生を7日間行った後に暴露した。暴露開始材令はいずれも28日である。

表3 配合、練上がり性状、圧縮強度、動弾性係数、質量

			配 合			練上がり性状			硬化コンクリート *		
供試体の種類	実験 ケース	空気 量(%)	W/C (%)	s/a (%)	セメント量 (kg/m ³)	スラブ ^o (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	f' ₂₈ (kgf/cm ²)	E _D (tf/cm ²)	W (kg)
小型コンクリート 供試体	A	4	54.2	33.0	260	7.0	3.7	19.0	299	372(368)	9.604(9.575)
	B	Non	51.2	35.3	303	7.0	1.7	18.0	350	402	9.803
		4	53.3	33.3	259	7.0	3.7	18.5	308	391	9.659
		6	51.7	33.3	259	7.0	5.5	18.5	331	368	9.525
		8	50.6	33.3	259	7.0	8.0	18.0	243	353	9.367
	C	4	54.2	33.0	260	7.0	3.7	19.0	276	344	9.445
消波ブロック	D	Non	50.0	39.9	308	5.0	1.6	17.5	378	—	—
		4.5	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	—	—
消波ブロック	E	4.5	50.0	39.6	NN	270	6.0	5.2	17.0	(215) 298	—
		4.5	50.0	41.5	BB	266	6.0	4.3	17.0	(145) 296	—
		4.5	50.0	39.7	FB	262	5.5	4.0	16.0	(180) 269	—

* ケースAの()内の数値は内陸暴露用供試体の値。ケースCは5日間標準養生の値、ケースEの()内は7日間標準養生の値、それ以外は28日間標準養生の値である。

2. 5 劣化指標

小型コンクリート供試体及び消波ブロックの劣化指標を以下に示す。

(1) 小型コンクリート供試体：動弾性係数と質量を毎年1回測定している。

(2) 消波ブロック：スケリングで剥離した部分(剥離面積)とその平均深さ(剥離深さ)をそれぞれ毎年1回測定している。測定箇所は、消波ブロックの上部、下部の2面である。測定面を図1に示す。剥離面積は、測定面に透明ビニールシートを当て、剥離部分を油性マジックでなぞり、シートに描かれた剥離部分を画像解析システムで求めた。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。

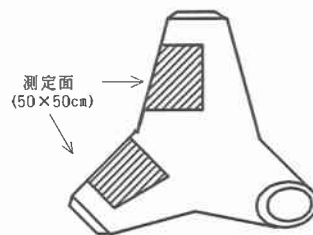


図1 測定面(消波ブロック)

なお、剥離深さの経年変化を把握するために、測定は毎年同じ点とした。剥離面積と剥離深さから剥離度(剥離面積率×剥離深さ)を求めた。

3. 実験結果及び考察

3. 1 干満帯暴露と内陸暴露の比較(ケースA)

図2、図3に干満帯と内陸にそれぞれ7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。干満帯暴露における動弾性係数は、内陸暴露のそれより大きくなっている。海洋環境下では内陸に比べて水に接している期間が長いので、水和が進行したためと思われる。また、質量は干満帯暴露のほうが少なくなっており、内陸暴露に比べてスケ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環境条件下にあるコンクリートでは、動弾性係数の低下はあまりみられないものの、内陸のコンクリートに比べてスケリングが進行することが確認された。

3. 2 空気量の影響（ケースB）

図4、図5に干満帯に8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。また、図6、図7に暴露8年経過時における小型コンクリート供試体の動弾性係数と質量を示した。空気量Non、4%、6%のコンクリートは、暴露してから8年経過後における動弾性係数は多少低下きみであるが、空気量8%のコンクリートでは、動弾性係数の低下はみられない。また、質量も、空気量6%以下のコンクリートに比べて空気量8%のコンクリートは、減少の度合いが低く、スケーリングの発生が抑制されていることを示している。

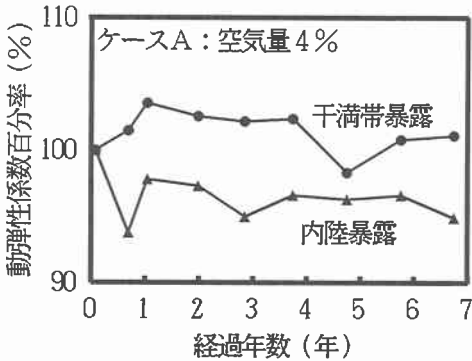


図2 干満帯暴露と内陸暴露の比較
(小型コンクリート供試体)

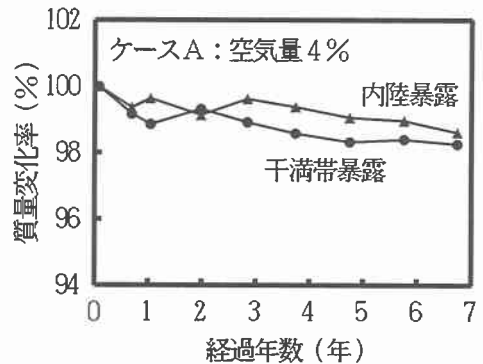


図3 干満帯暴露と内陸暴露の比較
(小型コンクリート供試体)

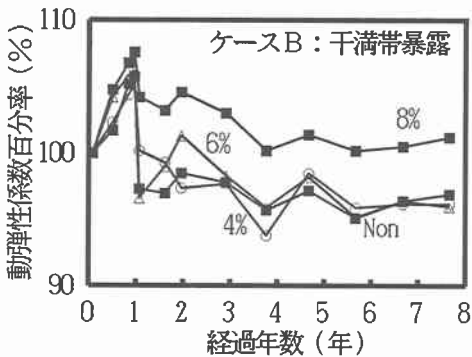


図4 空気量の影響
(小型コンクリート供試体)

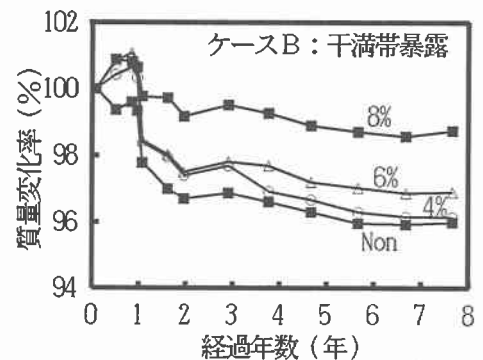


図5 空気量の影響
(小型コンクリート供試体)

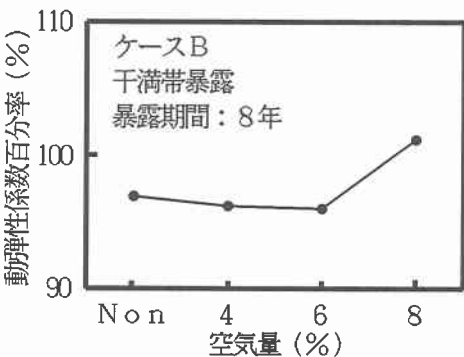


図6 空気量の影響
(小型コンクリート供試体)

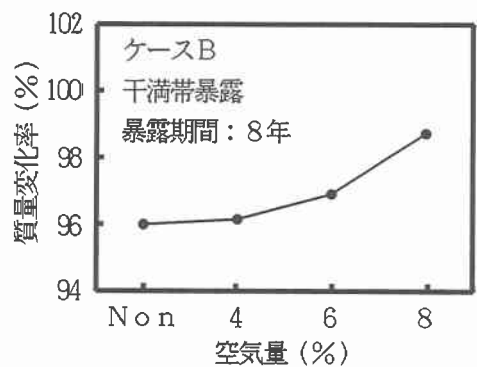


図7 空気量の影響
(小型コンクリート供試体)

3. 3 養生日数の影響（ケースC）

図8、図9に養生日数が5日、28日の小型コンクリート供試体を干満帯に7年間暴露したときの動弾性係数と質量の経年変化を示した。5日間養生が28日間養生に比べて暴露1年目における動弾性係数の伸びが大きく、7年経過後においてもその差がそのまま続いている。また、質量は、28日間養生の場合、年数の経過とともに減少する傾向にあるが、5日間養生の場合は7年経過後も暴露開始時とほぼ同じ値を保っており、スケーリングがほとんど発生していないことを示している。

以上の結果から、初期養生後の乾燥がスケーリング抑制に効果的であることが確認された。

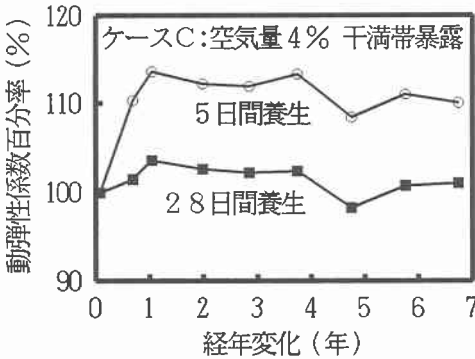


図8 養生日数の影響
(小型コンクリート供試体)

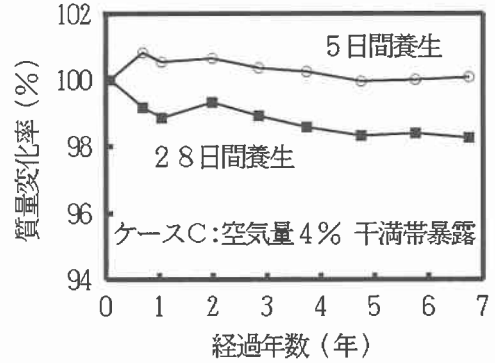


図9 養生日数の影響
(小型コンクリート供試体)

3. 4 空気量の影響（ケースD）

図10に潮風帯に6年間暴露した消波ブロックの剥離度の経年変化を示した。また、図11に暴露6年経過時における消波ブロックの剥離度及び材令28日の圧縮強度に及ぼす空気量の影響を示した。暴露から6年経過後の剥離度は、空気量6%以下に比べて空気量8%、10%では低い値を示しており、ほとんどスケーリングは発生していない。空気量8%と空気量10%のコンクリートを比較すると、剥離度は両方ともに低く、大きな差はみられないものの、強度は空気量8%のコンクリートが空気量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。海洋環境下のコンクリートが内陸のコンクリートに比べてより多くの空気量が必要なのは、海水の作用によりコンクリート表面部分のセメントペースト硬化体組織がポーラスになり、凍結可能水量が増大するためと思われる¹⁾。

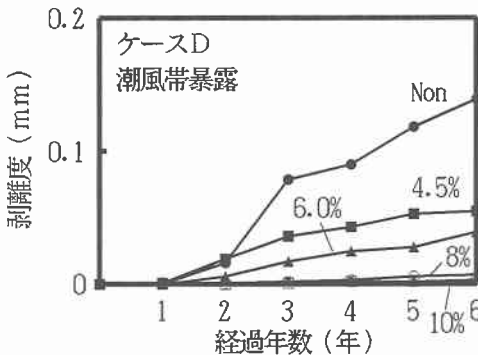


図10 空気量の影響
(消波ブロック)

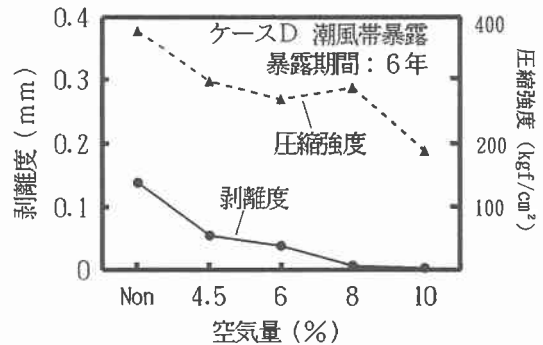


図11 空気量の影響
(消波ブロック)

3. 5 セメント種類の影響（ケースE）

図12に潮風帯に6年間暴露した消波ブロックの剥離度の経年変化を示した。また、図13に暴露6年経過時における消波ブロックの剥離度及び暴露開始時の圧縮強度に及ぼすセメント種類の影響を示した。暴露から6年経過後の剥離度は、高炉セメントB種（BB）に比べてフライアッシュセメントB種（FB）、普通ポルトランドセメント（NN）では低い値を示している。暴露開始材令における強度はNNと比較して、FBは若干低く、BBはかなり低い。

以上の結果から、セメント種類による影響は、セメント中の混和材の分量の違いによるところが大きく初期強度増進の低いBBはNN、FBに比べてスケーリングが進行しているといえよう。

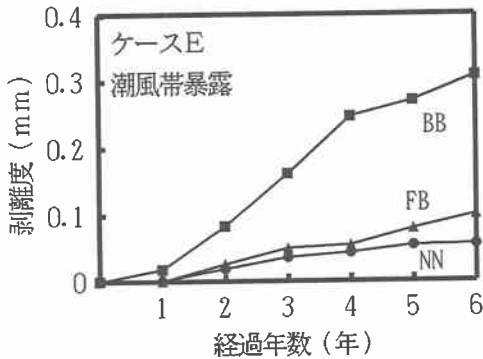


図 1 2 セメント種類の影響
(消波ブロック)

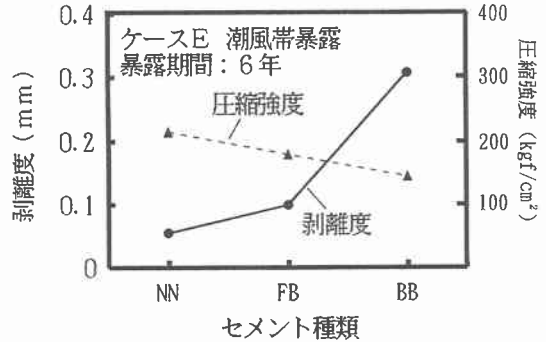


図 1 3 セメント種類の影響
(消波ブロック)

4. まとめ

コンクリート中心部の凍結融解回数が、年平均40回程度である流水海域のオホーツク海沿岸の潮風帯、干満帯及びコンクリート中心部の凍結融解回数が年140回程度である海岸から約50km内陸の屋上でそれぞれ6～8年間行った暴露実験から以下のことが明らかになった。

- (1) 干満帯にあるコンクリート（小型コンクリート供試体：空気量4%）は内陸のコンクリートに比べてスケーリングが発生しやすい。
- (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。
- (3) 初期養生後の乾燥はスケーリング防止に効果的である。
- (4) 普通ポルトランドセメント（NN）及びフライアッシュセメントB種を用いたコンクリートは、高炉セメントB種を用いたコンクリートに比べてスケーリングの発生の度合いが少ない。

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。なお、本研究は平成6年度文部省科学研究費補助金（一般研究C、課題番号0665041）の交付を受けて行ったものである。

〔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凍結融解に対する耐久性、セメント技術年報35、pp. 325～328, 1981