

V-11 寒冷地海洋暴露コンクリートの劣化防止対策

北見工業大学 学生会員 斎藤 爾
 北見工業大学 フェロー 鮎田 耕一
 北見工業大学 正会員 桜井 宏
 北見工業大学 学生会員 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剥離が大部分である。剥離は、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、剥離の発生により景観、美観が損なわれるという面からも剥離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剥離防止を目的として、種々の実験を行ってきたが、それらで得られた結果を検証するために7年前からオホーツク海に面している網走港で暴露実験を行っている。本研究では、暴露実験の結果を基にセメント種類、混和材種類、水セメント比の異なるコンクリートの劣化傾向を明らかにして、剥離防止に対する効果を検討した。

2. 暴露実験の概要

2.1 暴露箇所

暴露箇所の網走港は常時潮風を受け、波しぶきをまれに受ける環境であり、土木学会コンクリート標準示方書の海洋コンクリートの環境区分の「海上大気中」に相当する。暴露状況を写真1に示す。暴露供試体は消波工に広く使用されている2tfの消波ブロックを用いている。表1に網走の1989年からの年最高気温と年最低気温及び1日の最高気温と最低気温から海水の凍結融解温度を -2°C として求めた年間推定凍結融解回数を示す。

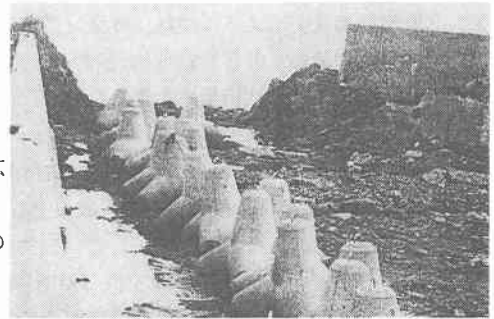


写真1 暴露状況

2.2 使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント（記号：NN）比重3.16、比表面積3340 cm^2/g

高炉セメントB種（記号：BB）比重3.05、比表面積3880 cm^2/g

フライアッシュセメントB種（記号：FB）比重2.95、比表面積3320 cm^2/g

骨材：粗骨材は最大寸法25mm（比重2.57、吸水率2.22%）と40mm（比重2.57、吸水率2.13%）の川砂利を容積比率6:4で混合。細骨材は丘砂（比重2.60、吸水率1.73%）と川砂（比重2.56、吸水率2.08%）を容積比率6:4で混合

混和材：高炉スラグ微粉末（記号：FS）、シリカフェーム（記号：SF）

表1 年最高気温、年最低気温、凍結融解回数

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995*1	合計
年最高気温 ($^{\circ}\text{C}$)	33.0	33.4	31.7	31.8	32.2	36.9	33.3	—
年最低気温 ($^{\circ}\text{C}$)	-15.5	-17.4	-13.2	-15.5	-13.6	-17.8	-17.2	—
凍結融解回数 (回)	83	74	68	76	82	80	49	512

*1：1995年については1月～7月まで

Scaling of Marine Concrete Exposed to Cold Regions
 by Chikashi SAITOH, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Yoichiroh KUSAKA

表2 配合、練上がり性状、圧縮強度

実験 ケース	セメント 種類	配 合			練上がり性状		圧縮強度	
		W/C (%)	s/a (%)	セメント量 (kg/m ³)	スラブ (cm)	空気量 (%)	f' ₇ (kgf/cm ²)	f' ₂₈ (kgf/cm ²)
A	NN	50.0	39.6	270	6.0	5.2	215	298
	FB	50.0	39.7	262	5.5	4.0	180	269
	BB	50.0	39.6	266	6.0	4.3	145	296
B	NN	44.9	38.7	303	4.5	4.9	255	352
	NN+SF	44.9	41.5	218+38	3.5	4.8	223	367
	NN+FS	44.9	40.5	137+137	5.5	4.8	142	256
C	NN	44.9	38.7	303	4.5	4.9	255	352
	NN	50.0	39.6	270	6.0	5.2	215	298
	NN	54.9	40.3	246	5.0	4.7	166	280
	BB	45.0	38.7	298	6.0	4.5	166	299
	BB	50.0	39.6	266	6.0	4.3	145	296
	BB	55.0	40.4	240	4.5	3.8	133	279

2.3 実験ケース

次に示すA、B、Cの3ケースに分けて検討を行った。配合、練上がり性状、標準養生材齢7日、28日の圧縮強度 (f'₇、f'₂₈) を表2に示す。なお、目標空気量は4.5±1.0%である。

ケースA：セメント種類の影響

ケースB：混和材種類の影響

ケースC：水セメント比の影響

暴露供試体は麻袋・散水養生を7日間行った後に暴露した。暴露は1988年10月から開始した。

2.4 劣化指標

剥離した部分（剥離面積）とその深さ（剥離深さ）をそれぞれ毎年1回測定している。測定箇所は図1に示す上部、下部の2面とした。剥離面積は、測定面に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。なお、剥離深さの経年変化を把握するために、測点は毎年同じ点とした。剥離面積と剥離深さから剥離度(mm) (剥離面積率(%)×剥離深さ(mm)/100) を求めた。剥離度0.1(mm)、0.5(mm)の例を図2に示す。

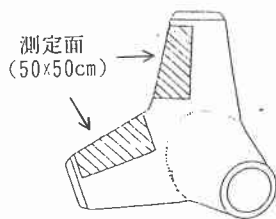


図1 測定面

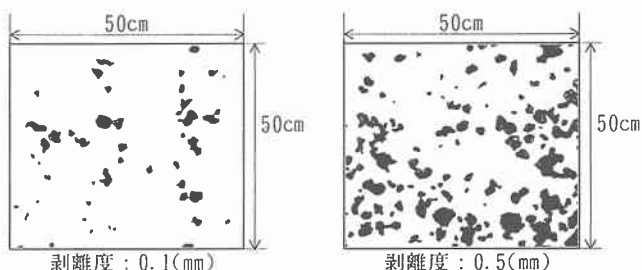


図2 剥離度の例

3. 実験結果及び考察

3.1 セメント種類の影響 (ケースA：W/C=50%)

図3に7年間暴露したコンクリートの剥離度の経年変化を示す。図4に暴露7年経過時における剥離度及び暴露開始時(材齢7日)の圧縮強度に及ぼすセメント種類の影響を示す。剥離度はBBに比べてFB、NNでは低い値を示している。暴露開始時の強度はNNに比べてFBは若干低く、BBではかなり低い値を示しており、これが剥離の発生に影響を及ぼしたと考えられる。すなわち、暴露開始後のごく早い時期に強度の低いコンクリートでは粗骨材の界面にボンドクラックが発生し、その後、冬期の凍結融解の繰返しとともに剥離に進行した¹⁾と思われる。

3.2 混和材種類の影響 (ケースB：W/C=45%)

図5に7年間暴露したコンクリートの剥離度の経年変化を示す。NN+FSは普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を50:50(重量比)で混合、NN+SFは普通ポルトランドセメントとシリカフュームを85:15(重量比)で混合したものである。図6に暴露7年経過時における剥離度及び暴露開始時(材齢7日)の圧縮強度に及ぼす混和材種類の影響を示した。暴露開始時の強度はNN、NN+SFに比べてNN+FSでは低い値を示している。剥離度はNN、NN+SFに比べてNN+FSは高い値を示しており、3.1セメント種類の項で述べたのと同じく初期強度の違いが剥離の発生に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

3.3 水セメント比の影響(ケースC: NN、BB)

図7に7年間暴露したNNを用いたコンクリート、図8に7年間暴露したBBを用いたコンクリートの剥離度の経年変化を示す。剥離はNNのW/C=45%を除いて毎年少しずつ進行している。図9に7年経過時におけるNN、BBを用いたコンクリートの剥離度に及ぼす水セメント比の影響を示した。剥離度はNN、BBともにW/C=45%、50%、

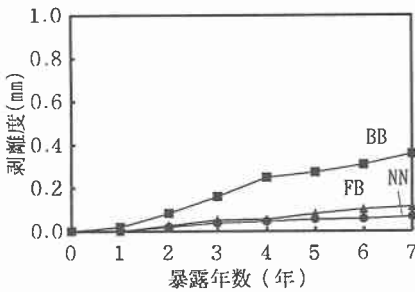


図3 異なるセメントを用いたコンクリートの剥離度の経年変化

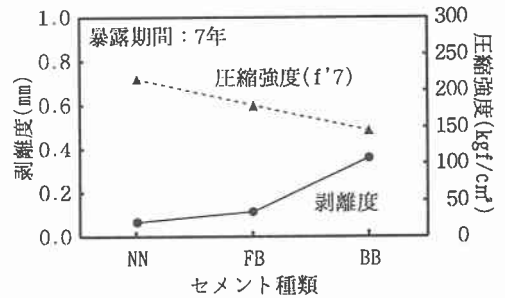


図4 セメント種類が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

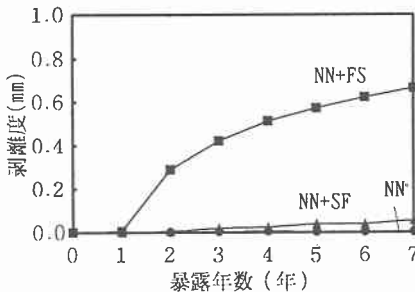


図5 異なる混和材を用いたコンクリートの剥離度の経年変化

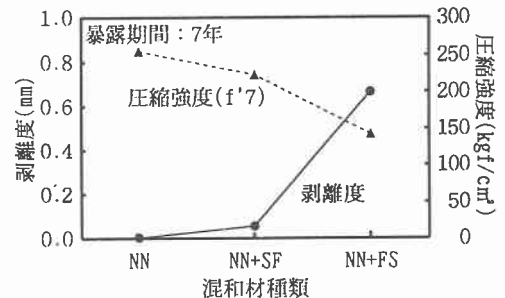


図6 混和材種類が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

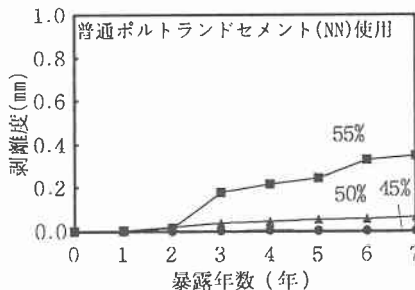


図7 水セメント比の異なるコンクリートの剥離度の経年変化

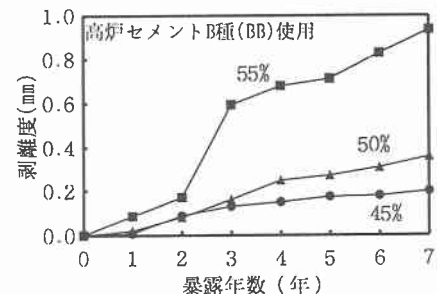


図8 水セメント比の異なるコンクリートの剥離度の経年変化

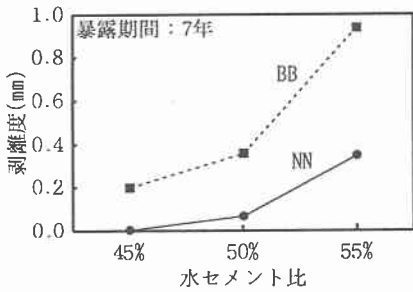


図9 水セメント比が剥離度に及ぼす影響

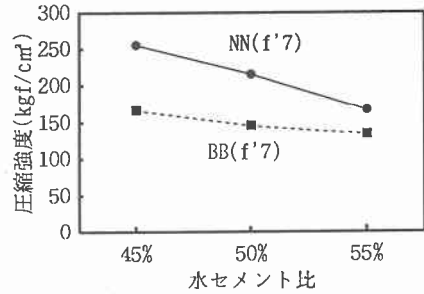


図10 水セメント比が圧縮強度に及ぼす影響

55%の順に大きくなっている。図10に暴露開始時（材齢7日）の圧縮強度に及ぼす水セメント比の影響を示した。圧縮強度はNN、BBともにW/C=45%、50%、55%の順に低くなっており、3.1、3.2で述べたのと同じく初期強度の違いが剥離の発生に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

3.4 剥離と暴露開始時の圧縮強度

図11に7年経過時における各暴露供試体の剥離度と暴露開始時の圧縮強度の関係を示す。本研究の範囲から、セメント種類、混和材種類、水セメント比が異なってもコンクリートの剥離度と暴露開始時の圧縮強度には相関があり、暴露開始時の圧縮強度が

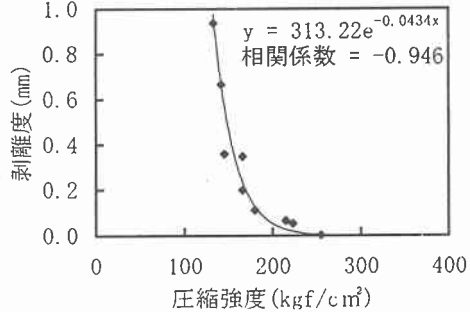


図11 剥離度と圧縮強度

150kgf/cm²以上だと剥離度は0.5mm程度（図2参照）以下に、200kgf/cm²以上だと剥離度は0.1mm程度（図2参照）以下になっている。

4. まとめ

オホーツク海沿岸で7年間行った暴露試験の結果から以下のことが明らかになった。

- (1) ①普通ポルトランドセメント、②フライアッシュセメントB種及び③普通ポルトランドセメントに分量で15%（重量比）シリカフェームを使用したコンクリートは、④高炉セメントB種及び⑤普通ポルトランドセメントに分量で50%（重量比）高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートに比べて剥離の発生の度合いが少なかった。高炉セメントB種あるいは高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートに剥離が発生しやすいのは、暴露開始後の早い時期の強度発現が遅いためと思われる。
- (2) 普通ポルトランドセメント及び高炉セメントB種を使用したコンクリートではW/C=45%、50%、55%の順で剥離が発生しやすく、暴露開始時の圧縮強度は低くなっている。このことから暴露開始時の強度が剥離の発生に影響を及ぼしていると思われる。
- (3) セメント種類、混和材種類、水セメント比が異なってもコンクリートの剥離度と暴露開始時の圧縮強度には相関があり、暴露開始時の圧縮強度が150kgf/cm²以上だと7年経過後の剥離度は0.5mm程度以下、200kgf/cm²以上だと同じく0.1mm程度以下となる。

なお、本研究は平成7年度文部省科学研究費補助金（一般研究C、課題番号06650491）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・佐伯昇・藤田嘉夫：海洋コンクリートの剥離損傷に及ぼす粗骨材とモルタルの界面性状の影響、セメント技術年報37、pp. 333～336(1983)