

# [13] 寒冷地における海岸曝露コンクリート供試体の表面剝離性状

正会員 ○ 鮎 田 耕 一 (北見工業大学工学部)  
 正会員 林 正 道 (北見工業大学工学部)  
 正会員 佐 伯 昇 (北海道大学工学部)  
 正会員 藤 田 嘉 夫 (北海道大学工学部)

## 1. まえがき

北海道の海岸・港湾のコンクリート構造物には、表面のモルタルが剝離して粗骨材が露出するという現象が非常に多くみられている。北海道土木技術会コンクリート研究委員会(委員長、藤田嘉夫)が昭和53年度施工の海岸・港湾コンクリート構造物を対象に行った実態調査<sup>1)</sup>の結果によれば、施工から1冬経過後に調査対象構造物の約70%にこの種の剝離が発生していて、かつ、北海道の沿岸全域に及んでいる。筆者らはこの剝離の発生原因の解明と防止対策の確立に資するために実験的研究を行ってきているが、その一環としてオホーツク海沿岸に昭和54年8月から供試体を曝露して、材料・配合・養生方法などが剝離に及ぼす影響について検討をしている。この曝露実験の目的は実験室における促進試験では十分に把握しきれない剝離の要因を明らかにすることであり、冬期間の着雪・日照条件なども配慮して供試体の形状・位置を決めている。また、北海道の海岸・港湾コンクリート構造物では混合セメントの使用率が高く、前述の実態調査の結果でもフライアッシュセメント、高炉セメントの使用率の合計は93%にも及んでいて、いわゆる省資源、省エネルギーの一翼を担っているが、これらのセメントの使用と表面剝離との関係も明らかにするために、混合セメント使用の供試体を多く曝露している。

曝露実験の概要と曝露開始から1冬経過後の剝離状況については、すでに報告<sup>2)</sup>したが、本文では2冬経過後の剝離状況を中心に剝離に及ぼす諸要因について検討した結果を報告する。

## 2. 実験概要

### (1) 曝露方法と供試体の形状、寸法

図-1に示す形状・寸法の大型供試体を紋別市から約17km南下した地点(図-2参照)に側面の1つが汀線に平行になるように曝露した。海側の面は、ほぼ北(北北東)に面している。供試体から汀線までの距離は約30mであり、大シケの時以外は直接波はかぶらない。砂上に供試体を設置しているが、冬期間のみ下部を砂中に埋めている。供試体の個数は、使用材料・配合・養生方法の異なる21個である。供試体のうち1個の天端及び海側の側面のそれぞれ表面から1cmの深さに熱電対(cc線)を埋め込み温度を記録している。

曝露状況を写真-1に示す。

この他に同じ条件で圧縮強度試験用供試体(φ15×30cm)を材令3か月まで曝露した。

### (2) 使用材料

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(記号N, 比重3.17, 比表面積3150 cm<sup>2</sup>/g)と高炉ス

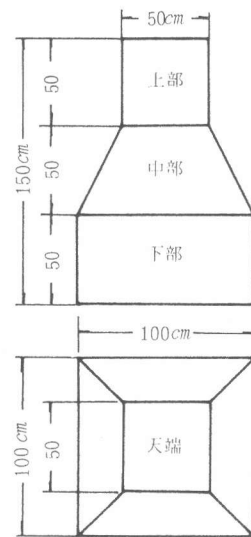


図-1 曝露供試体の形状と寸法

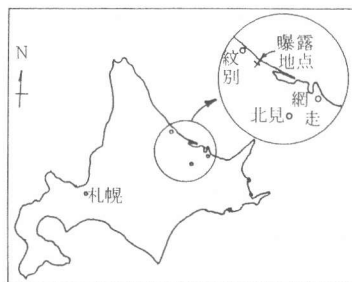


図-2 曝露地点

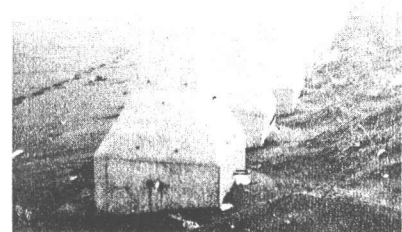


写真-1 曝露状況

ラグの分量が40%の高がセメントB種（記号BB、比重3.05、比表面積 $3930 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）の2種類であるが、練りませ時にフライアッシュ（比重2.18、比表面積 $3660 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）を普通ホルトランドセメントに加え、フライアッシュセメントA種（記号FA、フライアッシュ分量8%）、B種（記号FB、同15%）、C種（記号FC、同22%）に相当させた。骨材は渚滑産の海砂（比重2.60、吸水率1.52%）と渚滑川産の川砂利（最大寸法40mm、比重2.62、吸水率1.76%）を用いた。

表-1 コンクリートの配合

セメントの種類	W/C (%)	S/a (%)	単位量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				$\sigma_{28}$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
			C	W	S	G	
N	45	38	300	135	718	1117	372
N	55	40	248	136	770	1116	280
FA	55	40	224	123	790	1194	298
FB	45	38	274	123	733	1205	325
FB	55	40	222	122	790	1194	254
FC	55	40	220	121	790	1194	231
BB	45	38	289	130	722	1186	338
BB	55	40	233	128	780	1182	258

表-2 供試体の内訳

セメント	W/C (%)	養生* 水	養生* 日数	セメント	W/C (%)	養生* 水	養生* 日数	セメント	W/C (%)	養生* 水	養生* 日数
(1) N	45	F	5	(8) FA	55	F	5	(15) FC	55	F	5
(2) N	45	F	14	(9) FB	45	F	5	(16) BB	45	F	5
(3) N	55	F	0	(10) FB	45	F	14	(17) BB	45	F	14
(4) N	55	F	5	(11) FB	55	F	0	(18) BB	55	F	0
(5) N	55	F	5	(12) FB	55	F	5	(19) BB	55	F	5
(6) N	55	F	14	(13) FB	55	F	14	(20) BB	55	F	14
(7) N	55	S	5	(14) FB	55	S	5	(21) BB	55	S	5

\*F:淡水養生, S:海水養生 \*\*温度測定用熱電対埋込供試体

### (3) 配合

配合は表-1に示す8種類であり、目標スランブは5cm、空気量は4.5%である。

### (4) 養生

型わくは合板を用い、材令2日で取りはずした。養生は供試体に麻袋（材令10日以降は養生マット）をかけ散水養生を行ったが、供試体の下部には麻袋類をかけなかった。養生日数は5日及び14日間の2種類であるが、この他に養生を全く行わなかったものを加え3種類とした。養生水は淡水と海水の2種類である。

### (5) 供試体の内訳

21個の供試体の内訳を表-2に示した。

### (6) 剝離面積の測定方法

剝離箇所と健全な箇所の境を油性インクを用いてなぞり、定規をあてて天端、上部、中部、下部の各面ごとに写真撮影をした。写真に1cm角のメッシュを描き剝離面積を測定した。また、一面につき数か所、剝離深さをデブスゲージを用いて測定したが、剝離深さは2冬経過後で最大5mm、平均で1.5mm程度であった。

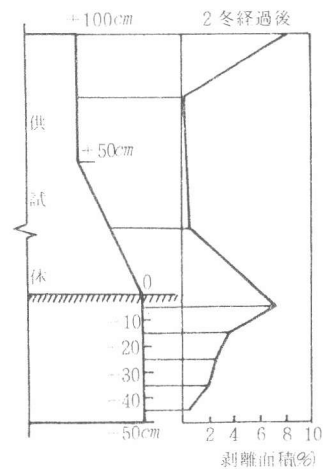


図-3 供試体における測定位置と剝離面積の関係

## 3. 実験結果と考察

### (1) 凍結融解の回数

表面から深さ1cmのところの1冬間の凍結融解回数は0°Cを境に計算して天端では105回、底面から47.5cmの位置では56回を記録している、天端の凍結融解回数が最も多い。

### (2) 表面剝離の発生状況

曝露開始から1冬経過後にすべての供試体に剝離が生じた。1冬経過後の剝離面積は最も広い供試体で5.3%、平均で1.1%、2冬経過後では最も広い供試体で9.0%、平均で2.0%である。図-3は供試体の部位と2冬経過後の剝離面積の関係を示したものである。測定値は養生を全く行わなかった3個の供試体の平均値である。剝離が多く発生しているのは天端及び下部の上側部分である。天端の剝離面積が広い原因は他の面に

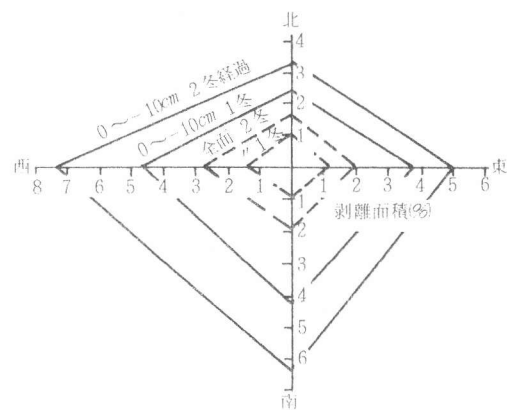


図-4 方位と剝離面積の関係

比べて凍結融解の回数が多いためであろう。また、下部は凍結融解が繰返される11月～12月、3月～4月の間、埋め戻し砂のためにほぼ飽水状態にあり、埋め戻し砂の上側の層は冬期間でも日中は日照により融解するために剝離が促進したのであろう。

図-4は供試体の面の向いている方位と剝離面積の関係をすべての供試体の平均値で示したものである。方位による剝離の発生の差異は側面全面ではあまり顕著ではないが、下部のうち上から10cmまでの部分(図中では0～-10cmと表示した)では、海側に面している北面の剝離は少なく、西・南面の剝離が多い。この部分の2冬経過後の剝離面積が25%に達している供試体もある。西・南面は北面に比べて日当たりがよいため凍結融解の繰返し回数が増えて剝離が進行したものとと思われる。

図-3、4の結果から、コンクリートの飽水度が高く、かつ凍結融解の回数が多い程、表面剝離は促進されるといえる。

(3) 水セメント比の影響

図-5は $W/C$ と2冬経過後の剝離面積、及び材令14日、28日の圧縮強度(現場養生)の関係を示したものである。剝離面積と圧縮強度はいずれも養生日数5日と14日の供試体の測定値の平均である。普通ポルトランドセメントを用いた場合には $W/C$ による差は明確でないが、混合セメントを用いた場合は $W/C = 0.45$ に比べて0.55では剝離が多く発生している。

(4) セメントの種類及びフライアッシュの分量の影響

図-5の結果から明らかなように、普通ポルトランドセメント使用の場合は混合セメント使用の場合に比べて剝離の発生は少ない。また、フライアッシュセメントB種と高炉セメントB種は母体セメントが異なるので、その比較は厳密にはできないが、後者のセメント使用の場合の剝離が多い。図-6はフライアッシュの分量と2冬経過後の剝離面積及び材令28日、91日の圧縮強度(現場養生)の関係を示したものである。フライアッシュの分量が多くなるにつれて剝離が多く発生する傾向にあり、分量が22%になると剝離面積が特に広がっている。

図-5、6の結果を総合すると、混合材の分量が多い程剝離が多く発生する傾向にあり、コンクリートの強度発現性状が剝離の発生に影響を及ぼしていると考えられる。

(5) 養生水の影響

表-3は淡水または海水養生を5日間行った供試体の1冬及び2冬経過後の剝離面積と材令5日と28日の圧縮強度(現場養生)を示したものである。麻袋類をかけて養生を行った天端、上部、中部面は凍結融解期間中、着雪の融解

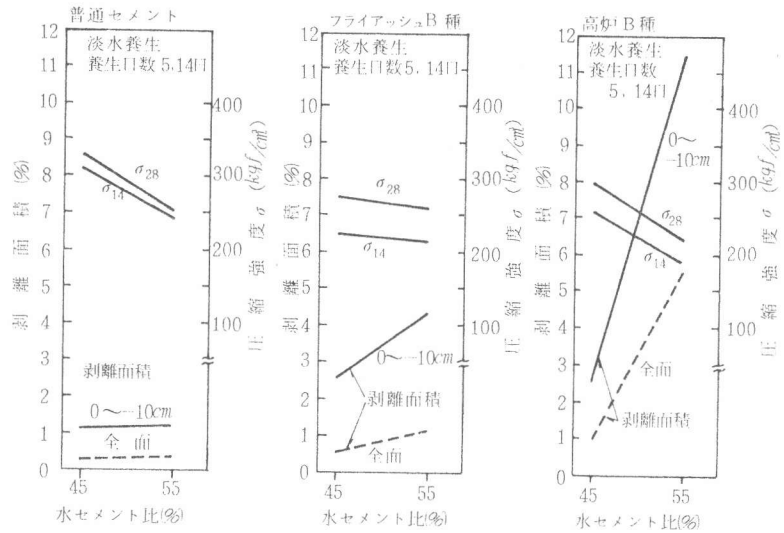


図-5 水セメント比と剝離面積の関係

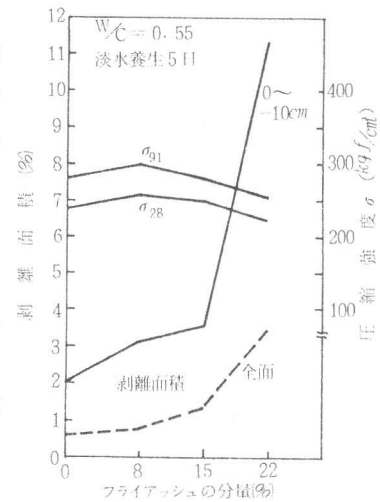


図-6 フライアッシュの分量の影響

表-3 養生水の影響(養生日数5日,  $W/C=0.55$ )

養生水	セメント	現場養生		剝離面積(%)							
		圧縮強度		1冬経過後				2冬経過後			
		$\sigma_5$	$\sigma_{28}$	天端	上部	中部	平均	天端	上部	中部	平均
淡水	N	165	238	0	0.04	0.08	0.06	0.10	0.42	0.13	0.23
	FB	153	251	0.04	0.04	0.02	0.03	0.04	0.16	0.36	0.26
	BB	136	225	0.08	0.04	0.21	0.14	0.80	0.43	2.68	1.75
海水	N	174	241	0	0.05	0.02	0.03	0.32	0.02	0.07	0.07
	FB	149	247	0	0.03	0.04	0.03	0	0.43	0.13	0.22
	BB	138	196	0	0.14	6.35	3.69	0	0.14	14.21	8.20

によって濡れることはあるが飽水度は極めて低いと考えられ、その結果、これらの面には剝離があまり発生していない。海水養生を行った高炉セメントB種使用コンクリートの中部面の剝離が他に比べて多く発生しているものの、養生水の違いが剝離の発生と圧縮強度に及ぼす影響は明確には認められない。

(6) 養生日数の影響

表-4は淡水養生日数0, 5, 14日間の供試体の1冬及び2冬経過後の剝離面積と材令5日と28日の圧縮強度(現場養生)を示したものである。一部を除き剝離面積は極端に少なく、養生日数と剝離面積との関係は2冬経過後の段階では明らかになっていない。

(7) 圧縮強度の影響

図-7は材令28日の圧縮強度(現場養生)と2冬経過後の剝離面積の関係を示したものである。剝離面積は下部の上から10cmまでの部分の測定結果である。使用セメントにより剝離の程度はやや異なっているが、剝離面積は圧縮強度と密接な関係がある。材令28日の圧縮強度が250 kgf/cm<sup>2</sup>以下になると、凍結融解期間中の飽水度が高い部位では剝離面積が増大する傾向にあるといえる。

4. 結論

寒冷地における海岸・港湾コンクリート構造物の表面剝離性状を明らかにするために、材料・配合・養生方法の異なる21個の大型供試体をオホーツク海沿岸に曝露した。曝露開始から2冬経過後の剝離状況を要約すると次のようになる。

- (1) 曝露開始から1冬経過後にすべての供試体に剝離が生じたが、供試体の部位・配合などにより、剝離の程度にかなりの差異があった。2冬経過後の剝離面積は全面を対象にした場合、最も広い供試体で9.0%, 平均で2.0%である。
- (2) 凍結融解回数を多く受ける部位、あるいは凍結融解回数が少なくても飽水度が高い部位に剝離が多く発生した。後者の例では、2冬経過後の剝離面積が25%に達している部位をもつ供試体がある。
- (3) 混合セメントを使用した場合  $W/C = 0.55$  の供試体の剝離は  $W/C = 0.45$  の供試体に比べて多い。
- (4) 混合セメント使用の供試体の剝離は、普通ポルトランドセメント使用の供試体に比べて多い。混合材の分量が多い程、剝離が多く発生する傾向にある。このことから強度発現性状が剝離の発生に影響を及ぼしていると考えられる。
- (5) 養生水、養生日数が剝離に及ぼす影響は、2冬経過後の段階では明らかになっていない。
- (6) 使用セメントの種類により程度は異なるが、材令28日の圧縮強度(現場養生)が250 kgf/cm<sup>2</sup>以下になると、凍結融解期間中の飽水度が高い部位では剝離面積が増大する傾向にある。

本研究の遂行にあたり御協力いただいている北海道網走土木現業所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 北海道土木技術会コンクリート研究委員会, 資料第91号, 昭和56年4月
- 2) 鮎田耕一, 佐伯昇, 高田宣之, 海岸コンクリートの凍害曝露実験, 土木学会年講V-95, 昭和56年10月

表-4 養生日数の影響(淡水養生,  $W/C = 0.55$ )

セメント	養生日数	現場養生		剝離面積(%)							
		圧縮強度		1冬経過後				2冬経過後			
		$\sigma_5$	$\sigma_{28}$	天端	上部	中部	平均	天端	上部	中部	平均
N	0	151	199	0	0	0	0	0.48	0.03	0	0.05
	5	165	238	0	0.04	0.08	0.06	0.10	0.42	0.13	0.23
	14	174	270	0	0	0.08	0.04	0	0.01	0.13	0.08
FB	0	130	208	0.04	0.05	0.10	0.08	19.40	0.32	0.20	1.88
	5	153	251	0.04	0.04	0.02	0.03	0.04	0.16	0.36	0.26
	14	149	268	0	0.02	0.08	0.05	0	0.18	0.31	0.24
BB	0	138	192	0.04	0	0.54	0.31	4.96	0.25	1.36	1.29
	5	136	225	0.08	0.04	0.21	0.14	0.80	0.43	2.68	1.75
	14	138	211	0.20	0.59	1.63	1.15	0.28	1.24	6.39	4.11

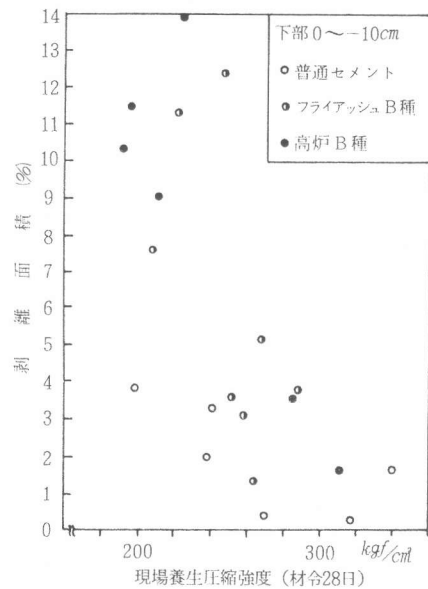


図-7 剝離面積と圧縮強度(材令28日現場養生)の関係