

寒地防波堤上部工天端のスケーリング抵抗性の判定に関する一考察

(独)土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○遠藤 裕丈 田口 史雄 嶋田 久俊

1. はじめに

寒冷地の沿岸部では、凍結融解と海水との複合作用によって劣化を受けたコンクリート構造物の事例は少なくない。凍害は現在、劣化予測が困難であるが故に、事前に耐凍害性の高いコンクリートを用いるが、被害が生じた場合は適当な対策を施す事後保全の形がとられている¹⁾のが実情である。この複合劣化の代表的な形態の一つとしてスケーリングがあるが、ライフサイクルコスト縮減の観点から将来に亘りスケーリングを経済的に抑制するには、自然環境下での経時的なスケーリングの進行性を明らかにし、構造物の保全計画の策定に資するスケーリング抵抗性の判定および照査手法を構築することが不可欠である。そこで、本論では、建設から10数年および約40年経た防波堤にて調査を実施し、その結果をもとにスケーリング抵抗性の判定法について検討を行ったので報告する。

2. 調査・試験の概要

北海道内のA, B, C, D, E, F港の防波堤から未嵩上かつ未補修の上部工天端を調査部位として選定した。A, B港の防波堤は建設から約40年、他の防波堤は10数年経過している。セメントは高炉B種が用いられている。現地ではスケーリングが著しい面での剥離度²⁾の測定ならびにコア採取を実施した。その後、配合推定（深さ350~400mm）、EPMA分析（深さ0~20mm）、薄片試料の顕微鏡観察（深さ0~30mm）を行った。なお、前述のカッコ内は分析に用いた部位の深さを示す。剥離度は天端に据付けた50×50cmの方形フレーム枠内における10箇所の平均剥離深さ(mm)と剥離面積率の積で定義した（図-1）。剥離度30.9mmの状況を一例として写真-1に示す。配合推定は、骨材に石灰石が使用されているA港の防波堤はICPによる方法³⁾、他の防波堤はセメント協会法F-18に準じて行った。

各港の冬期環境については表-1の通りである。tamin は日最低気温極値(°C)、Dw は凍結融解総日数(日)、Df は凍結持続日数(日)を表す。凍結融解日数を推算すると10数年経た防波堤は約900~1300日、約40年経た防波堤は約2400~3000日であった。凍結融解の厳しさを表す地域係数⁴⁾($T = -tamin \cdot \{1 - [Df/Dw]\}$)の平均は0.9~4.8であった。

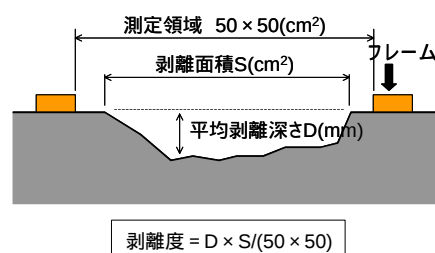


図-1 剥離度の定義²⁾

3. 結果・考察

図-2に配合推定で求めた水セメント比（以下、W/Cと記）と剥離度の関係を示す。10数年経た防波堤では推定W/Cと剥離度に相関がみられた。一方、約40年経た防波堤はB港では相関が認められたが、A港はデータにばらつきがみられた。A港のコア試料を観察したところ、ジャンカやブリーディング（白色部）が一部多くみられた。このことは、W/Cに加え、品質の良否もスケーリングに影響を及ぼすことを示唆している。

スケーリング深さの上限についてオーソライズされた基準は少ないが、自己充てん型高強度高耐久コンクリート構造物設計施工指針(案)⁵⁾では、粗骨



写真-1 剥離度30.9mmの剥離状況

表-1 各港の冬期の環境（一冬）ならびに地域係数

月	A港 (Tの平均=0.9)				B港 (Tの平均=2.2)				C港 (Tの平均=2.5)				D港 (Tの平均=4.5)				E港 (Tの平均=3.1)				F港 (Tの平均=4.8)			
	tamin	Dw	Df	T	tamin	Dw	Df	T	tamin	Dw	Df	T	tamin	Dw	Df	T	tamin	Dw	Df	T	tamin	Dw	Df	T
11	3.3	5	0	-3.3	1.1	6	0	-1.1	0.6	7	0	-0.6	-0.2	9	0	0.2	0.5	8	0	-0.5	-0.7	12	0	0.7
12	-3.0	12	6	1.5	-5.3	19	8	3.1	-5.5	19	8	3.1	-6.7	23	4	5.5	-7.2	23	4	5.8	-8.8	24	4	7.2
1	-4.5	18	5	3.2	-8.4	19	10	3.8	-8.4	20	10	4.3	-8.2	25	5	6.5	-9.5	18	11	3.5	-10.1	20	8	6.4
2	-4.2	15	6	2.6	-7.4	15	10	2.4	-7.5	15	11	2.1	-8.1	21	5	6.2	-9.9	16	12	2.5	-10.4	18	8	5.6
3	-0.5	12	0	0.5	-3.9	15	4	2.9	-3.8	18	3	3.3	-4.2	20	1	4.0	-4.9	19	3	4.2	-4.9	18	2	4.3
Σ		61	17			75	32			79	31			98	15			83	30			93	23	

各月のデータは、過去5年間(2000~2004年度)のアメダスの平均値

キーワード 防波堤, 凍結融解, 海水, 複合劣化, 剥離度

〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 TEL 011-841-1719 FAX 011-837-8165

材の剥落を防ぐ観点から、粗骨材の最小寸法の1/2にあたる2.5mmが提案されている。これを準用して剥離度の上限を2.5mmと仮定すると、本論で調査した構造物での供用10数年においてはW/Cの許容範囲は55%以下、剥離の発生を抑えるには45%以下が望ましいと言える。

図-3にEPMA画像から推算したCaO濃度と剥離度の関係を示す。剥離度が大きい防波堤では表層のCaO濃度が比較的小さい傾向が全般的にみられる。濃度が小さい要因としてはセメント使用量や供用期間中におけるCa成分の溶脱などが推察されるが、低濃度状態は組織の密実性が劣弱傾向にあることを示唆しており、海水が内部へ容易に通過拡散しやすい、すなわち、凍結融解も含め様々な劣化を受けやすい状態にあると思われる。このことから、表層のCaO濃度は表面剥離の抵抗性を判定する上で有効な指標と言える。

写真-2, 3にA港の剥離度40mm, 1.5mmの薄片試料の顕微鏡写真を示す。遷移帯にクラックが観察されたが、剥離度40mmの試料はフェノールフタレイン試験で事前に中性化を確認したモルタルにも網目状クラックが確認された。遷移帯のクラックはスケーリングと密接な関係にある⁶⁾が、遷移帯に沿ったクラックも中性化していた。中性化でモルタル水和物の脆弱化が進んだ後にクラックが顕在化したのか、凍結融解により生じたクラックに中性化を促す物質が浸透したのか、プロセスの断定は難しいが、図-3で示したCaO濃度と剥離度の関係を裏付ける結果と言える。

【謝辞】調査にご協力いただきました北海道開発局関係各位、共同研究で貴重な御意見を賜りました日鐵セメント株の星俊彦氏、前日本データサービス株の太田利隆氏、第三者社会基盤技術評価支援機構・北海道の佐伯昇氏に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 2001年制定、コンクリート標準示方書「維持管理編」、土木学会
- 2) 海洋環境下におけるコンクリートの耐久性向上技術検討業務報告書、北海道開発局、2000.3
- 3) 吉田八郎ほか：石灰石骨材を使用した硬化コンクリート中のセメント量推定方法、コンクリート工学年次論文報告集、12-1、p.347-352、1990
- 4) 浜幸雄ほか：気象因子を考慮したコンクリートの凍害劣化予測、日本建築学会構造系論文集、第523号、p.9-16、1999.9
- 5) 自己充てん型高強度高耐久コンクリート構造物設計・施工指針(案) - 新世代交通システム用構造物への試み -、コンクリートライブラリー105、p.332-333、土木学会、2001
- 6) Andrzej Cwirzen, Vesa Penttala, Aggregate-cement paste transition zone properties affecting the salt-frost damage of high performance concrete, Cement and Concrete Research 35, 2005, p.671-679

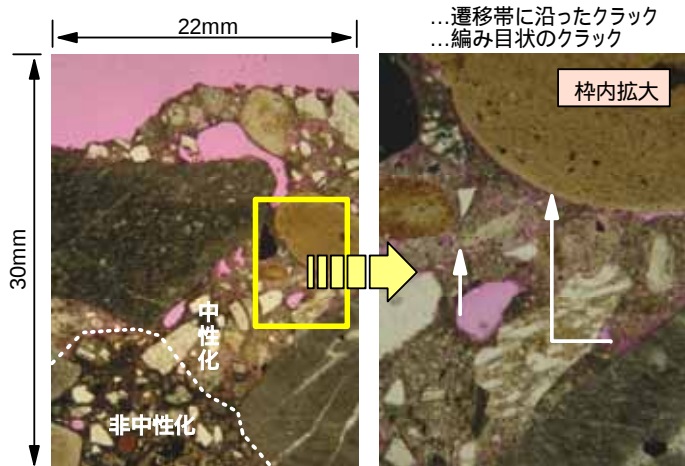


写真-2 顕微鏡観察写真 (A港, 剥離度 40mm)

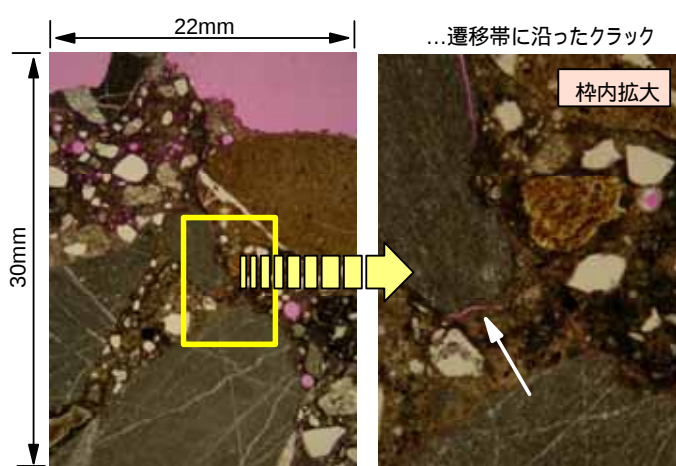


写真-3 顕微鏡観察写真 (A港, 剥離度 1.5mm)

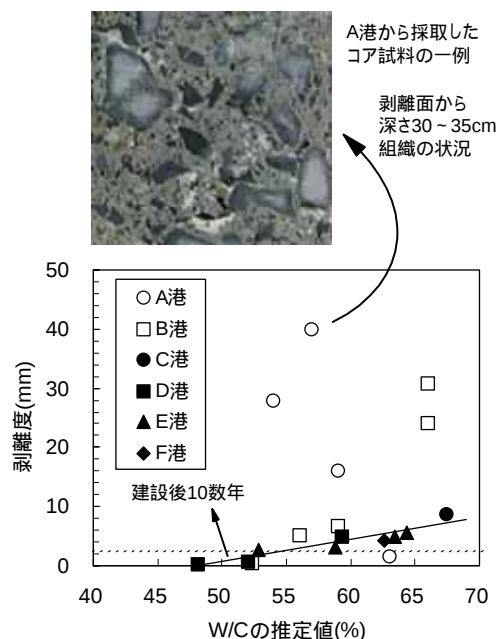


図-2 推定W/Cと剥離度の関係

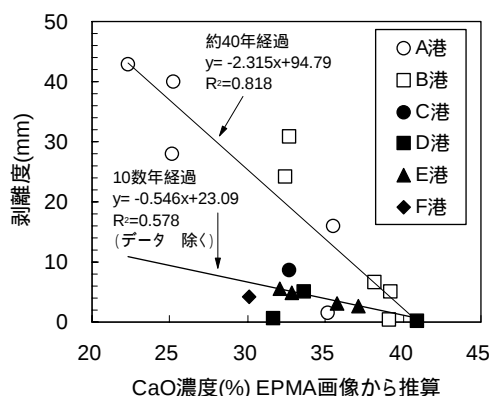


図-3 CaO濃度と剥離度の関係