

1 ま え が き

海水、潮風の作用を受ける海岸コンクリート構造物は海水の化学的侵蝕、凍結融解作用、海岸地方特有の乾燥あるいは乾燥湿潤の繰り返しなど内陸の構造物にくらべて厳しい環境条件のもとにある。特に、寒冷地においては凍結融解作用によるものと思われる被害が他の要因によるものより多くなる。なかでも、コンクリート表層部のモルタルが剝離する現象は、施工後わずか一冬たらずのあいだの凍結融解の繰り返しにより生じることが少なくない。

そこで、本研究では実態調査並びに凍結融解試験を行ない、表面剝離に及ぼす諸因子を明らかにし、その防止対策の基礎資料を得ることを目的として行なった。

2 表面剝離の実態と発生要因の推定

表面剝離の被害の実態を把握するために、北海道沿岸のコンクリート構造物のうち、主として、施工後一冬経過した構造物について調査した。その結果、以下のようなことが判明した。

- (1) 表面剝離の被害は全道一円に生じていて、気象条件による差は顕著にあらわれていないが、オホーツク海沿岸にやや多いように見受けられた。
- (2) 混合セメントを使用している構造物に表面剝離が目立ったが、道内では夏季施工の海岸コンクリートには、ほとんど混合セメントを使用していて、普通ポルトランドセメントの使用例が少ないので、セメントの種類による影響についての検討は十分にできなかった。
- (3) 外観では堅硬に見える骨材の上にも表面剝離は発生している。また、オホーツク海沿岸では表面剝離の他に、ポップアウト現象が多くみられた。

なお、以上の調査をさらに広範囲に行なうために、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 北海道大学教授）において筆者も参加して現在実態調査を進めている。

次に、表面剝離の発生要因を推定するために、既報のように¹⁾オホーツク海沿岸（網走市鱒浦）の海岸擁壁（測定面は海側で北東に面している）の打設時（7月下旬）に熱電対と電極棒を埋め込み、表面剝離発生までの温度・水分の測定を行なった。さらに、表面剝離発生（12月上旬）後の剝離片の塩分含有量を測定した。それらの結果、夏季には表層部分が高温乾燥状態になり、そのため強度の発現が阻害される可能性があること、また、波しぶきにより、含水量、塩分含有量が増加したところに凍結融解作用を受けて、表面剝離が生じることなどが明らかになった。

3 乾燥状態における表層部の強度性状²⁾

夏季の乾燥がコンクリート表層部の強度性状に与える影響を明らかにするために、各種の乾燥状態において小型円柱供試体（直径0.5～5 cm）の圧縮強度、結合水量を求めた。ここで、供試体の径を0.5～5 cmに変化させた理由は、径の小さい供試体ほど乾燥の影響を受けやすい、すなわち、より表層部の性状をあらわしているという考えからであり、径の大きさが、コンクリート部材の深さ方向の距離に相似であると考えた。この実験から乾燥条件のもとでは、コンクリート表層部の強度は著しく低くなり、たとえば、材令91日まで水中養生（20℃）を行なった場合にくらべて強制乾燥（30℃、25% R. H.）した場合の強度は約0.3となることなどが明らかになった。

4 表面剝離に及ぼす各種要因の凍結融解試験による検討

急速（1サイクル4時間、凍結温度-18℃、融解温度+5℃）及び緩速（1サイクル24時間）の水中における凍結融解試験を行ない、表面剝離に及ぼす海水の作用、セメントの種類、配合及び養生条件の影響について検討した。緩速試験は前述の海岸擁壁の冬季の温度をシュミレートし、表面部分のみが凍結融解（-6～+12

℃) し、内部は常に融解 (3~8℃) のままの状態として行なった。なお、急速試験用の供試体は10×10×40cm、緩速試験用は15×15×15cmである。これらの試験の結果から次のことが明らかになった。

- (1) 海水の影響：普通ポルトランドセメントとB種フライアッシュセメントを用いたAEコンクリートを材令28日(標準養生)で急速試験した。その結果、いずれのセメントを使用した場合でも、淡水中にくらべ海水中では表面剥離量が多くなり、300サイクル終了時の重量減少率は淡水中では1%以下であるのに対し海水中では7%前後となった。³⁾ さらに、普通ポルトランドセメントを用い、5日間屋外(夏季)に曝露したコンクリートを材令7日で緩速試験に供した。25サイクル終了時で淡水中の供試体には剥離が発生しなかったが海水中では試験面積の30%強が剥離した。また、海水の濃度を薄めると剥離が少なくなった。このように海水中のコンクリートの表面剥離が淡水中より進行する理由は、海水中の硫酸塩による化学的侵蝕作用のためとも考えられるが、空気量を10~12%混入することにより重量損失が軽減されたという実験結果⁴⁾もあり、物理的作用が卓越しているのではないかと推測される。
- (2) セメントの種類の影響：材令28日(標準養生)で急速試験を開始したときの海水中の抵抗性を比較すると、フライアッシュセメントB種と普通ポルトランドセメントを用いたAEコンクリートの凍結融解300サイクル終了時の重量損失の程度はほぼ同じであり、フライアッシュセメントA種を用いると普通ポルトランドセメントよりやや抵抗性が大きくなる。³⁾
- (3) 配合及び養生条件の影響：3種類の水セメント比(43, 51, 62%)で、凍結融解試験までの条件を(イ)標準養生、(ロ)標準養生7日後乾燥(33℃, 25% R. H.), (ハ)1日1回乾(33℃, 25% R. H.)湿(20℃, 90% R. H.)繰り返し、(ニ)乾燥の4種類とし、材令28日から海水中の緩速試験を行なった結果、水セメント比が62%の供試体に表面剥離が比較的多く発生したが、温度・湿度条件により表面剥離の程度が異なり、(ロ)の条件では表面剥離はほとんど発生しなかった。このことは、急速試験を行なった場合も同様であり、4種類のセメント(普通、フライアッシュB種、C種、高炉B種セメント)を使用し、5日間標準養生後屋外に曝露(夏季)し、材令28日で海水中の急速試験を行なったところ、標準養生あるいは屋外曝露を28日間行なった場合にくらべて、凍結融解抵抗性が著しく大きくなり表面剥離が少なかった。これらのことは、初期養生を行なったあとの乾燥が表面剥離を抑制する働きがあることを示している。

5 む す び

寒冷地の海岸コンクリート構造物の表面剥離の発生要因を明らかにするために行なった以上の調査・実験により、表面剥離を防止するための基礎資料を得ることができたと考えている。

なお、これらのことを実際に確認するために、北海道大学工学部コンクリート工学講座及び北海道と協同して、配合、セメント、養生方法を変えた21個の大型供試体(1個約1m³)をオホーツク海沿岸(紋別市)に曝露している(写真参照)。打設は昭和54年8月上旬に行ない、一冬経過した現在一部の供試体に表面剥離が発生しているが、これらの結果の詳細については別の機会に報告したいと考えている。



本研究を遂行するにあたり、御指導いただいた北見工業大学林正道教授、北海道大学 藤田嘉夫教授に厚く御礼申し上げますとともに、本研究に対して昭和53年度吉田研究奨励金を授与されましたことを記し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鮎田耕一, 猪狩平三郎, 林正道：海岸コンクリート構造物の表面剥離の発生要因について、土木学会年次講演概要集, 1979
- 2) 鮎田耕一, 林正道：微小モルタル供試体の強度に及ぼす乾燥の影響、コンクリート工学年次講演論文集, 1980
- 3) 林正道, 鮎田耕一, 猪狩平三郎：フライアッシュセメントコンクリートの海水に対する凍結融解抵抗性、土木学会道支部論報, 1979
- 4) I. Lyse: Durability of Concrete in Sea Water, Journal of A.C.I. vol. 57, 1961