

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 19 日現在

機関番号：50102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760353

研究課題名(和文)毛管現象と細孔構造の組合せによる凍結防止剤の塩害劣化モデルの構築

研究課題名(英文) Experiments on chloride deterioration in concrete specimen modelled like piers in bridges

研究代表者

渡辺 暁央 (Watanabe, Akio)

苫小牧工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：00422650

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)： 高速道路等に冬季に散布される凍結防止剤は、路面排水とともに橋脚等に流出して、コンクリート塩害劣化させる。この劣化は、構造物の局所的な範囲で進行するとともに、劣化の進行が非常に早いことが問題となっている。本研究では、この劣化が急速に進行する要因を明らかにすることを目的とした実験的検討である。

実験では、コンクリート供試体の一部に定期的に塩水を流下させる乾湿繰り返し試験を実施した。その結果、塩水を流下範囲の境界において、湿潤側から乾燥側に毛細管浸透現象が発生して、直接塩水が流下する部分より非常に高濃度の塩分がコンクリート中に蓄積されることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)： Many bridge substructures are damaged by de-icing salt in Japan Expressways. This experimental study focuses on the water leakage from bridge expansion joint and the penetration of chloride ion at the bridge substructures. We prepare a concrete specimen(W/C 55%) and 3.5% salt water pour on the concrete specimen. A specimen is wet by salt for one day and dry for another six days, we continue this process twelve times.

As a result of this experiment, the dense of salt is measured at bound of wet surface. This phenomenon describes that salt water moves from the boundary part to the dried part by capillary action. Some of the salt water disappear into thin air by evaporation phenomenon. Therefore, it is predictable that the water is concentrated from salt density point of view, that is, only salt remains.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリートの塩害 凍結防止剤 塩化物イオン濃度

1. 研究開始当初の背景

従来、塩害は海岸付近での飛来塩分によるもの、除塩不足の海砂を使用した内在塩分によるものが主流であったといえる。これらの劣化は構造物全体に発生するため、劣化が進行した場合は大規模な補修や更新が必要となる。そのため、劣化対策の費用は非常に大きいものになり、発注者にとっては予算の確保が問題になるものの、補修を請負う業者にとってはまだ採算に合う工事である可能性がある。一方、高速道路等で冬季に散布される凍結防止剤は、コンクリート構造物に対して局所的な塩害劣化を発生させている。この場合、1つの構造物の劣化箇所が限られており、補修を実施するにも工事規模が非常に小さく、請負業者にとっては全く採算に合わない工事になりやすい。したがって、凍結防止剤の塩害を受ける可能性のある構造物は、予防・保全をしっかり行ない、劣化が致命的に進行しないように維持管理を行うことが重要であるといえる。そのためには、凍結防止剤による塩害の劣化機構を把握し、維持管理計画に反映させることが必要と考える。

凍結防止剤による塩害の特徴は、塩化物イオンの供給が冬期に限られること、劣化が路面排水の流れる箇所および飛散箇所付近に限定されること、ならびに、雨水(冬季は塩化物イオンを含む)が無い場合は乾燥するため、乾湿繰返し作用を受けることなどが挙げられる。そのため、定常的に塩化物イオンが供給され、環境条件の変化が少ない海岸部の飛来塩分による塩害と比較して、構造物の劣化予測は非常に難しいものといえる。そのため、凍結防止剤の塩害における塩分浸透性を評価し、浸透方法について解明することが求められている。

2. 研究の目的

本研究では、凍結防止剤が路面水とともに橋脚や橋台に流出するケースを想定した実験を実施して、冬季の塩分供給によるコンクリート中への塩分浸透性を評価することを目的とした。また、夏季に雨水が流出することを想定した実験を行い、コンクリート中に蓄積された塩分がどのような挙動を示すのかを検討した。

3. 研究の方法

実構造物の調査では、塩分供給境界において塩分濃度が高くなる可能性が示されたが、その理由については特定できていない。そのため、壁面を模擬したコンクリート供試体を作製して、供試体の半分に定期的に塩水を流下させる実験を行い、塩分供給境界において浸透する塩分量を把握し、実構造物と同様に塩分濃度が高くなるかを確認することを目的とした模擬実験を行った。

寸法は高さ 600mm × 幅 400mm × 厚さ 120mm で、W/C=55%のコンクリート供試体を打設した。打設後 1 週間の湿潤養生を行った後、3

ヶ月間、屋外にシートを覆って放置した。図 - 1 に示すように、供試体の型枠脱型面(600 × 400mm の面)の半分に濃度 3.5%の塩水を流下させる装置を作製した。塩水の流下頻度は、1日の塩水流下と6日間の放置(室内での自然乾燥)を繰返すものとした。

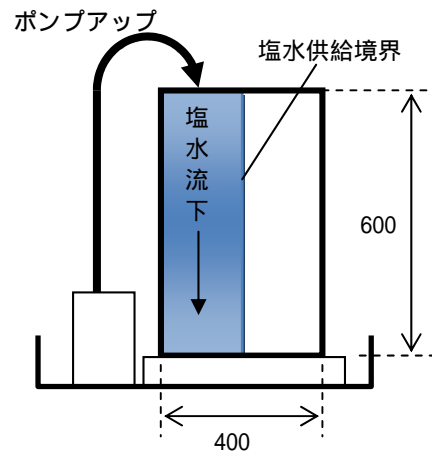


図 - 1 実験装置概要

塩水流下実験開始後は、塩水流下停止後に外観観察を実施するとともに、試験期間1ヶ月および3ヶ月にて塩水供給境界付近の数カ所において、JSCE-G 573-2003に準じて 20mm のドリルを使用して、深さ 0-20mm、20-40mm、40-60mm、60-80mm で粉末試料を採取し、JIS A1154 の電位差滴定法により塩化物イオン濃度を測定した。3ヶ月の塩水流下試験終了後、夏季の雨水の流出を想定して、1日間の真水流下と6日間の室内乾燥を1サイクルとする実験を3ヶ月間行い、塩水供給時と同様に試料を採取して塩化物イオン濃度を評価した。

4. 研究成果

(1) 外観の状況

写真 - 1 は、塩水流下実験開始後の1週目および4週目の塩水流下停止後の塩水供給境界付近の外観を示したものである。1日間の塩水流下後には、供給境界線(点線)より乾燥側に塩水が浸透して濡れている状態となっており、その濡れている範囲と乾燥部の境界線上に白華現象が確認された。塩水供給境界の外側の濡れの範囲は、1週目の流下実験後に5~10mm程度であったが2週目以降も徐々に拡大し、4週目では約20mmの幅になってい

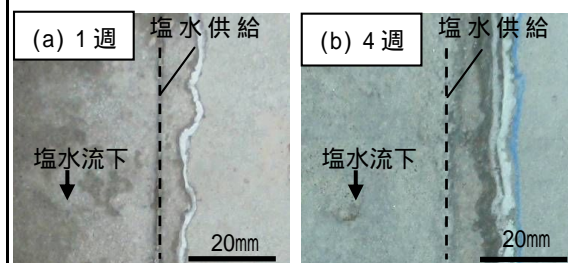


写真 - 1 塩水供給境界付近の外観

た．また，白華現象もこの濡れの範囲の拡大にもとない外側に移動した．図 - 2 は，この白華現象による析出物を採取してX線回折を実施したものである．その結果，塩水作製に使用した食塩(NaCl)よりピークの大きさが小さいものの，NaClを主成分とする結晶であると判断される．このことは，塩水流下範囲の境界において，塩水流下部から乾燥側に毛細管浸透現象が発生していることを裏付けていると考えられる．

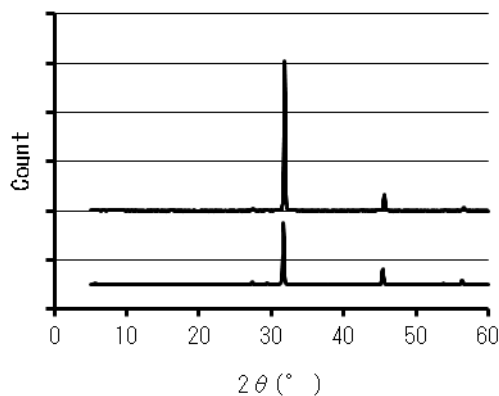


図 - 2 白華のX線回折の結果

図 - 3 は，塩水流下実験により，コンクリート供試体内の塩化物イオン濃度がどのように変化したかを，採取場所別に示したものである．塩水流下境界内側と塩水流下中心部においては，塩化物イオンの浸透量はほぼ変わらない．また，深さ 20mm よりも深いところにおいては，塩化物イオンの浸透はほとんど確認されなかった．一方，塩水流下境界外側においては，20mm より深いところでも浸透量は多く，1 ヶ月よりも3 ヶ月の方が浸透量が多いことが顕著に表れている．この理由として，塩水流下部ではコンクリートの内部が水により飽和されているため塩化物イオンが浸透しにくくなっており，塩水流下境界外側では乾燥しているため塩水が浸透しやすい状況になっていると考えられる．また，鋼材の腐食は，外部から内部コンクリート中へ塩化物イオンの浸透が発生する場合，単位体積当たり 1.2-2.4 kg/m³程度から，鋼材の腐食が始まるとされている．塩水流下境界外側では 40-60mmの範囲で 1.2 kg/m³を超えており，かぶりがある範囲で設計された構造物は，3 ヶ月の塩水流下で，鋼材の腐食深度に達し構造物に影響を与える可能性がある．これらのことから，塩水が流出している範囲内では塩化物イオンの浸透量はほとんど変化せず，乾燥側(外側)のみ多く浸透しているため，凍結防止剤を含む水が流出した場合でも同様の結果が得られると予想される．

真水を流下させた場合，塩水流下境界外側の表面において，塩化物イオンの浸透量は大きく減少していた．この原因として考えられるのは，コンクリート供試体表面上に付着し

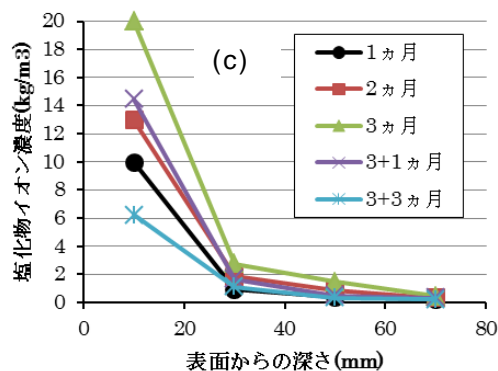
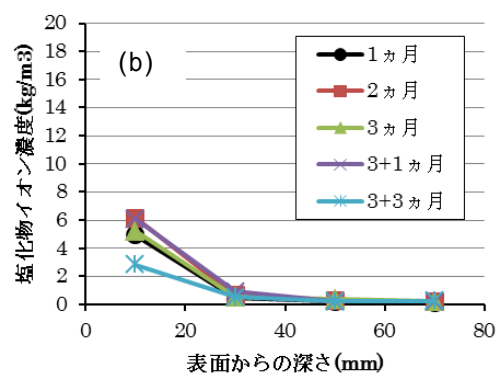
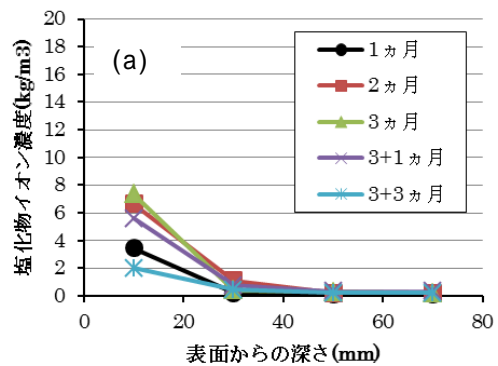
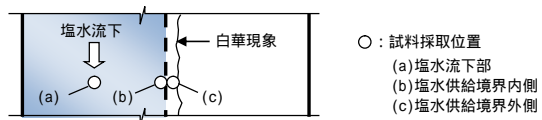


図 - 3 塩化物イオン濃度試験結果

ていた白華(主成分がNaCl, 図 - 2 参照)が真水流下により流出したためと推察される．また，1 ヶ月の真水流下では，塩水流下境界内側と塩水流下部の表面から 20mm までに浸透した塩化物イオンは流出しなかった．しかし，3 ヶ月間の真水流下を行った場合には，すべての採取位置の塩化物イオン濃度は，最初の 1 ヶ月間で浸透した塩化物イオン量よりも低い値となった．この結果より，コンクリート構造物に浸透した塩化物イオンのうち，表面付近に浸透したものについては，真水の流下に伴い，流出することが確認された．

20mm より深い部分の塩化物イオン濃度については、ほぼ変化がないことがわかる。つまり表面に付着していた塩化物イオンが流出しただけで、表面から 20mm 以上内部へと浸透している塩化物イオンに関しては、雨水によりあまり流出せずにコンクリート構造物内に蓄積し続けることを示唆している。そのため、凍結防止剤の塩害では、塩分の浸透を防止することに主眼を置き維持管理を行うことが重要であるといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

藤川篤司, 渡辺暁央, 近藤崇, 石川裕一: 塩水流下によるコンクリート中の塩化物イオン浸透量に関する実験的検討, プレストレストコンクリート工学会 第 22 回シンポジウム論文集, pp.173-176, 2013

〔学会発表〕(計 6 件)

渡辺暁央, 橋本庄一郎: 凍結防止剤の塩害を想定した温度環境における塩分浸透実験, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2014(発表決定)

藤川篤司, 渡辺暁央, 廣川一巳, 石川裕一: 真水流下によるコンクリート構造物内の塩化物イオン濃度の変化について, 平成 25 年度 土木学会北海道支部論文報告集, Vol.70, E-26, 2014

藤川篤司, 渡辺暁央, 廣川一巳, 石川裕一: 塩水流下によるコンクリート中の塩化物イオンの浸透性状に関する研究, 土木学会第 68 回年次学術講演会, V-482, pp.963-964, 2013

Fujikawa, A., Watanabe, A. and Ono, M.: Experiments on chloride deterioration in concrete specimen modelled like piers and abutments in bridges, The 7th International Symposium on Advances in Technology Education, 2013

藤川篤司, 渡辺暁央, 廣川一巳: 橋脚・橋台を模擬したコンクリート供試体における塩害に関する実験的検討, 平成 24 年度 土木学会北海道支部論文報告集, Vol.69, E-26, 2013

渡辺暁央, 石川裕一, 廣川一巳, 青山實伸: 鋼橋 RC 床版の模擬供試体による貫通ひび割れ部の塩分浸透に関する一考察: 土木学会第 67 回年次学術講演会, V-099, pp.197-198, 2012

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等(なし)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺暁央(ワタナベアキオ)
苫小牧工業高等専門学校
研究者番号: 00422650

(2) 研究分担者なし