

表-1 配合表

スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単用量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
8	55	5	41	138	250	817	1189	2.5

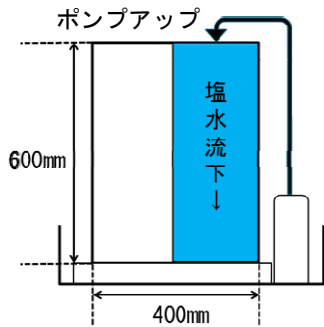


図-1 塩水流下実験装置概要



写真-1 塩水流下実験装置

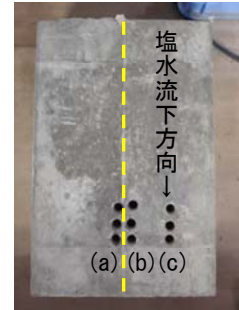


写真-2 粉末試料採取位置

は5~6%程度になり、その後、降雪や通行車両の影響により路面水は希釈され、塩化物イオン濃度が1~2%になると追加散布が行われる。今回の実験では、凍結防止剤を含む水が橋脚や橋台に流出する現象を再現するため、平均値である3.5%の濃度の塩水を使用した。

2.2 塩水流下実験

塩水はポンプを用いて循環させ、 1.0 ± 0.10 /minの流量を流下させた。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)³⁾を繰り返すものを1サイクルとし、12サイクル行った。その後、雨水による塩化物イオン濃度の変化を調べるため4サイクルの真水の流下を行った。塩水流下実験開始後、1サイクル毎に外観の目視観察を実施した。なお、塩水流下実験は10~12月の3ヵ月間、外気温と同じ程度の室温になるプレハブ部屋で行い、真水の流下は4月から、15~20°Cの実験室内で実施した。実験を行った苫小牧市の10月、11月、12月の平均気温は10°C、5°C、-1°Cである。

2.3 塩化物イオン濃度試験

4サイクル毎に塩水流下の境界付近での数か所において、JSCE-G 573-2003に従いφ20mm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 A 1154に従い塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法による塩化物イオン濃度試験⁴⁾を実施した。塩分浸透の経時変化を比較するため、塩水流下後の4サイクル(以下、1ヵ月)、8サイクル(以下、2ヵ月)、12サイクル(以下、3ヵ月)と、真水流下後の4サイクル(以下、3+1ヵ月)での4回の試料採取を行った。採取位置は写真-2のように、(a)塩水流下境界外側、(b)塩水流下境界内側、(c)塩水流下部の3ヵ所で行い、供試体の下から順に位置を変化させて削孔した。また、削孔後は補修を行い、削孔を通じて塩分が浸透しないようにした。

3. 結果および考察

3.1 塩水流下後の外観観察結果

写真-3は、左からそれぞれ塩水流下開始後から1ヵ月、2ヵ月、3ヵ月経過したものと、塩水流下後から1ヵ月真水流下を実施した供試体の外観写真である。写真中の点線は、塩水流下部の境界を示しているが、1ヵ月の塩水流下後には、この境界線(点線)より乾燥側に、湿潤範囲が拡大している。この湿潤範囲の拡大は、実験時の観察から塩水流下範囲が拡大したのではなかったことから、塩水が毛管現

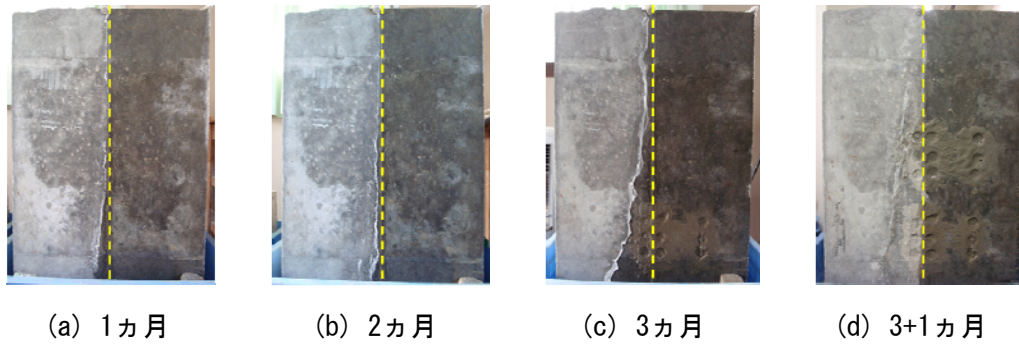


写真-3 流下実験後の供試体の外観

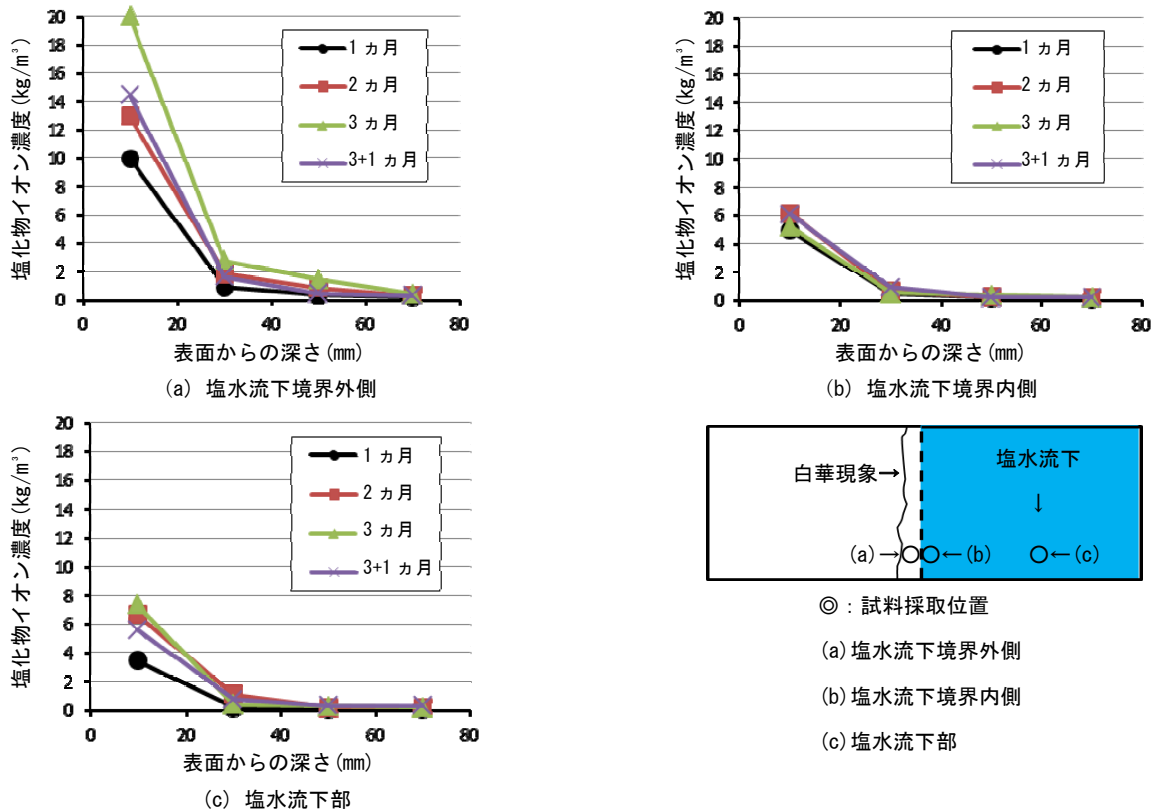


図-2 塩化物イオン濃度試験結果

象により浸透したため、供試体表面も湿潤しているものと考えられる。また、湿潤部分と乾燥部分との境界線上に白華現象が確認された。この白華はX線回折によりNaClが主成分であることを確認している。白華は1サイクルの塩水流下を行った後から確認された。塩水流下によって生じた湿潤範囲は、塩水流下を行うにつれて広がっていき、1ヵ月と3ヵ月とを比較した場合、3ヵ月の方が2倍以上塩水流下境界の外側(乾燥側)に拡大し、それに伴い白華も移動した。

塩水流下により湿潤している範囲を3ヵ月と3+1ヵ月とで比較をすると、3+1ヵ月は流下境界の外側へと広がっておらず、塩水流下部で湿潤している。湿潤範囲が拡大しなかった理由として、真水流下実験中の室内の温度や湿度が塩水を流下させている時期よりも高かったことが要因の1つではないかと考えられる。これにより、湿度が低い冬期の方が、毛管現象による湿潤範囲の拡大領域が大きくなると推察される。

3.2 塩化物イオン濃度測定結果

図-2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ヵ月よりも3ヵ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、定期的に乾湿繰り返し作用を受けているため、コンクリート中の含水率は乾燥側に比べて相対的に高いと考えられる。そのため、塩水流下時の塩分浸透量は、塩水流下部の内部への移動により、乾燥側への横方向の移動の方が大きくなったものと考えられる。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1.2-2.4kg/m³程度から、鋼材の腐食が始まるとされている⁵⁾。塩水流下境界外側では、40-60mmの範囲で1.2kg/m³を超えており、かぶりがその範囲で設計された構造物は、3ヵ月の塩水流下で、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、塩水流下部では塩化物イオンの浸透量はほとんど変化せず、乾燥側(塩水流下境界外側)のみ多くの塩化物イオンが浸透する現象は、凍結防止剤を含む水が橋脚や橋台に流出した場合でも起こり得ることが予想される。

また、真水を流下させた場合(3+1ヵ月)、塩水流下境界外側の表面においては塩化物イオンの浸透量は減少していた。これは、供試体表面上に付着していた白華が真水流下により流出したためと推察される。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、既に内部へと浸透しているものに関しては、雨水によりあまり流出せずにコンクリート構造物内に留まり続けることを示唆している。

4. 結論

本研究では、橋脚や橋台に凍結防止剤を含んだ水と雨水が流出する現象を再現するため、コンクリート供試体に塩水と真水を流下させる実験を行い、供試体内の塩化物イオン濃度を測定した。結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 白華現象は塩水の流下が長期になるにつれ流下境界外側へと移動した。
- 2) コンクリート表面の湿潤範囲は、湿度や温度が低い冬期に毛管現象により拡大していくと推察される。
- 3) 3ヵ月間塩水流下により常にコンクリート表面が湿潤している範囲内の塩分浸透量は近似しており、表面では6~7kg/m³程度で、内部への浸透はほとんど確認されなかった。
- 4) 毛管現象による湿潤と乾燥の繰り返しが激しい塩水流下境界外側では、深さ40-60mmの範囲で内部コンクリートの腐食が始まる塩化物イオン濃度(1.2kg/m³以上)に達していることを示した。

謝辞

本研究を行うにあたり、日本学術振興会科学研究費補助金(若手研究(B)、研究課題番号:24760353、研究代表者:渡辺暁央)の交付を受けた。ここに記し謝意を表す。

参考文献

- 1) 渡辺暁央, 廣川一巳, 石川裕一, 青山實伸, 梶原慎平: 塩分供給境界における塩分拡散に関する実験的検討, 土木学会第65回年次学術講演会論文集, pp. 359-360, 2010
- 2) 青山實伸, 松田哲夫: 凍結防止剤によるコンクリート構造物への塩分浸透性状, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, pp. 807-812, 2004
- 3) 渡辺暁央, 小保田剛規, 河野成弘: 凍結防止剤による下部工の塩化物イオンの浸透性に関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 1, pp. 741-746, 2008
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書〔規準編〕, 2010
- 5) 青山實伸: 現場技術者のための塩害対策ノート, p. 22, 2012