

東京理科大学 辻 正哲 東京理科大学[院] ○大益 佑介
 ものづくり大学 澤本 武博 東京理科大学[院] 永井 志功
 東京理科大学[院] 齋藤 将行

Research on Anisotropic Chloride Diffusion in Concrete

Masanori TUJI, Yusuke OMASU, Takehiro SAWAMOTO, Sikou NAGAI and Masayuki SAITOU

1 はじめに

コンクリートは、セメントペースト相、骨材相およびその境界相から成る一種複合材料である。さらに、重力場で凝結硬化したコンクリートの内部構造はミクロ的にもマクロ的にも非常に異方性が強く、内部構造とその物性の関係は十分に分かっていないのが現状であり、極めて複雑な挙動を示すこともある。例えば強度のようなマクロ的な異方性は、ブリーディングの影響によって形成された欠陥、とりわけ粗骨材下面に形成された欠陥によって左右されると推測されている段階にある。また、コンクリートの表面ではブリーディングの水道などがあり品質が一樣ではないため、表面における塩分浸透性にも特異性が見られると考えられる。

本研究では、コンクリートの配合および塩水浸漬期間を変化させ、打込み方向となる鉛直上下方向およびそれと直行する水平方向の塩分浸透性の鉛直方向の分布について実験的に検討を行った。

2 実験概要

実験では打込み方向および水平方向の塩分浸透深さの分布に及ぼすコンクリートの配合の影響を調べるシリーズ A、および塩分浸透深さと塩水浸漬期間との関係を調べるシリーズ B を行った。

2.1 使用材料

使用したセメントは、普通ポルトランドセメントである。細骨材および粗骨材には、それぞれ鬼怒川産川砂および山梨県産砕石を使用した。練混ぜ水には、上水道を使用した。また、混和剤には天然樹脂酸塩系の AE 剤を使用した。

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合は Table 1 に示す通りである。いずれの配合においてもスランプおよび空気量はそれぞれ $8 \pm 1.5\text{cm}$ および $4.5 \pm 1.5\%$ とした。また、ブリーディング試験を、JIS A 1123-1997 によって行った。なお、シリーズ B では水セメント比が 55% の 1 種類のみについて実験を行った。

2.3 供試体の作製および塩水浸漬試験

いずれのシリーズにおいても、コンクリートの締固めには、内部振動機を用いた。供試体はいずれも $\phi 150 \times 300\text{mm}$ であり、脱型後 28 日間の水養生を行った。その後、直ちに塩化ナトリウム濃度 10% の水槽の中に浸漬した。浸漬に当たっては、供試体の打込み面を上にして、底面に配置したスノコの上に静置した。塩水への浸漬期間をシリーズ A では 2 ヶ月とし、シリーズ B では 1 ヶ月、2 ヶ月、3 ヶ月および 6 ヶ月とした。

2.4 塩分浸透深さの測定方法

塩水浸漬用の水槽から取り出した供試体を 2 日間気中乾燥させた後、打込み面と垂直な方向で 2 つに割裂した断面に硝酸銀水溶液を噴霧し、呈色した部分を塩分浸透深さとし測定した。塩分浸透深さの測定は打込み面および底面からについては、それぞれの面で 15mm 間隔の計 9 点で、側面からについては上端・下端から 30mm 間隔で両側計 18 点で、測定にはノギスを用いて行った。なお、同一条件下では 3 体全ての供試体を用いて測定した。

Table 1 Mix proportion of concrete

W/C	Unit content (kg/m ³)				A d (ml/m ³)
	W	C	S	G	
45%	183	406	702	1013	40.6
55%		333	762	1014	33.3
65%		278	816	943	27.8

3 実験結果および考察

3.1 ブリーディング試験結果

Fig.1 はブリーディング試験の結果を表したものである。今回の実験で使用した配合では、水セメント比が増加するに伴いブリーディング量も増加するという傾向が確認された。

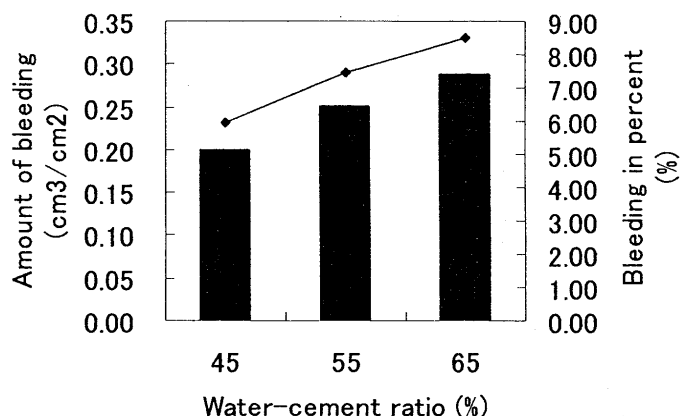


Fig.1 Result of bleeding test

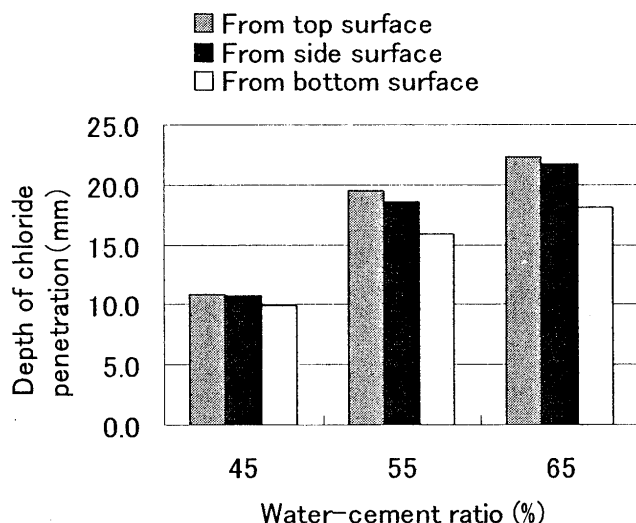


Fig.2 Effect of mix proportion on chloride penetration

3.2 シリーズ A 配合変化

Fig.2 は、各配合の供試体の塩分浸透深さを表したものである。打込み面から下面方向、側面から水平方向および底面から上面方向に向かったの塩分浸透深さは、水セメント比が 45% の場合 10.8mm, 10.8mm, 9.9mm, 水セメント比が 55% の場合 19.6mm, 18.6mm, 15.9mm, 水セメント比が 65% の場合 22.3mm, 21.7mm, 18.2mm と材料分離の影響を大きく受ける面程塩分浸透深さは大きくなる傾向にあった。また、上面から下面方向と底面から上面方向の塩分浸透深さの差は、水セメント比が 45% の場合では 0.9mm で、水セメント比が 55% の場合では 3.5mm, 水セメント比が 65% の場合では 4.1mm と、水セメント比が大きくなる程その差も大きくなる傾向にあった。このことは、水セメント比が 45%, 55% および 65% のコンクリートのブリーディング量がそれぞれ $0.20(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$, $0.25(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$ および $0.29(\text{cm}^3/\text{cm}^2)$ であったことを考え合わせると、コンクリートの塩分浸透性の異方性および不均質性は、コンクリートの材料分離によって生じていると考えられる。また、Fig.3 は供試体の側面に着目し上段、中段および下段の 3 段に分け水平方向の塩分浸透深さを表したものである。上面に向かう程塩分浸透深さが 2~3mm 程度増加することが確認できた。このことよりも、材料分離の悪影響が大きいと考えられている部分程、塩分浸透が容易であることが示された。

3.3 シリーズ B 経時変化

Fig.4 は、各期間塩水浸漬を行った供試体の塩分浸透深さを示したものである。1 ヶ月、2 ヶ月、3 ヶ月および 6 ヶ月間浸漬させた供試体全体の塩分浸透量の平均は、それぞれ 13.5mm, 18.0mm, 21.4mm および 24.2mm と概ねフィックの拡散則に従って塩水浸漬期間とともに塩分浸透深さは大きくなる傾向にあった。一方、方向別の 1 ヶ月間の塩分浸透深さは、上面から、側面からおよび底面からそれぞれ 15.1mm, 13.9mm および 11.6mm となっており、材料分離によってモルタル分が多くなる他、ブリーディングによって水セメント比が大きくなりかつブリーディング水の水道が鉛直方向に形

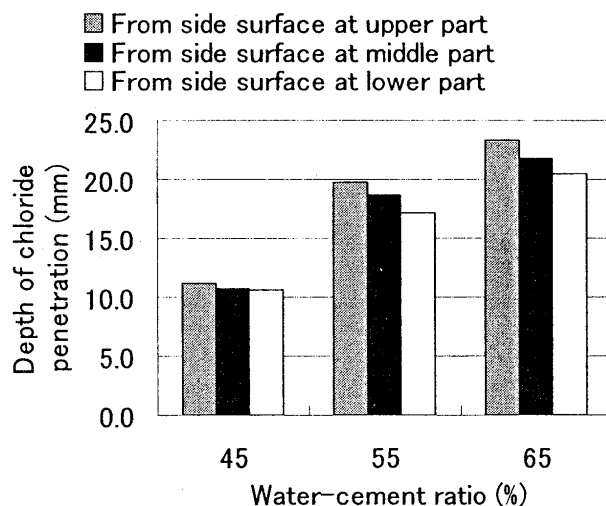


Fig.3 Depth of chloride penetration from side surface

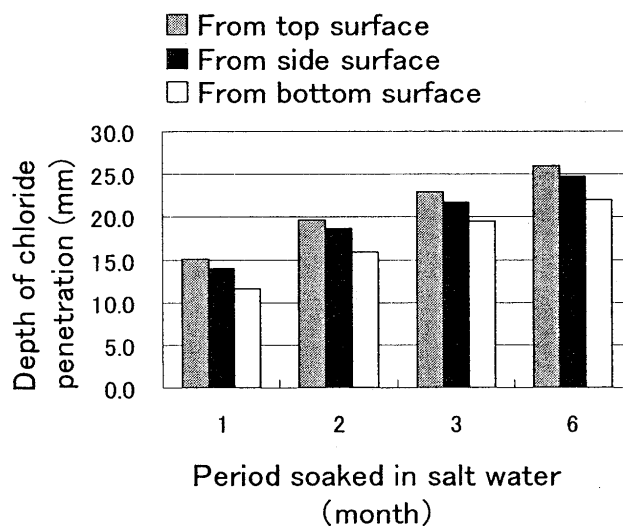


Fig.4 Effect of period in salt water on chloride penetration

成されやすい上面から下面に向かったの浸透深さが最も大きく、つづいてブリーディング水により水道が形成されやすい型枠面に向かったの水平方向すなわち側面から水平方向に向かった浸透深さが大きく、底面から上面方向に向かったの浸透深さが最も小さくなる傾向にあった。しかし、それぞれの面における塩分浸透深さの差は、塩水浸漬期間が長くなってもほぼ一定であった。このことより、ブリーディング水の影響によって塩分が浸透しやすくなるのは、表層部のみであり、内部ではほとんどブリーディングの影響は表れないことを表していると考えられる。

4 まとめ

コンクリートの塩分浸透に関する異方性は、ブリーディング水による水道や材料の分離に伴うモルタル量の相異の他に、こうした材料分離によって生じる遷移帯の形体と方向性に依存すると考えられる。