

塩化物イオン浸透抵抗性に及ぼす ブリーディングと浸透方向の影響

1100446 山下匠大

高知工科大学 工学部 社会システム工学科

鉄筋コンクリート構造物の塩害に対する性能を評価するためには、コンクリート中の塩化物イオンの浸透抵抗性を知ることが重要である。コンクリートはブリーディングによって欠陥ができると言われており、ブリーディングが塩化物イオンの浸透抵抗性に影響を及ぼす可能性があると思われる。そこで、ブリーディングの程度を変えたコンクリートブロックを作製し、上面から鉛直下方向、側面から水平横方向および底面から鉛直上方向に塩分を浸透させ、塩化物イオンの濃度分布を測定した。実験結果は、塩化物イオンの浸透度は位置あるいは塩分浸透方向によって異なるが、ブリーディングの程度の影響は無いということを示した。また、塩化物イオン浸透抵抗性と透水係数との関連性は見られなかった。

Key Words : ブリーディング、耐久性、塩化物イオン、浸透抵抗性、浸透方向、透水係数

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物において、塩害は耐久性を低下させる劣化の代表である。塩害に対する性能評価をするために、コンクリート中の塩化物イオンの浸透抵抗性を知ることが重要である。

一方、コンクリートの打設時には、材料の比重との関係によりブリーディングが発生する。そのため、コンクリート構造物の内部には、空隙や水みちなどの初期欠陥が形成され、外部の有害物質をコンクリート内部へ侵入させる要因となる可能性が考えられる。

しかし、ブリーディングが耐久性に及ぼす影響は明らかにされていない。また、空隙および水みちの形成が耐久性に影響を及ぼすのであれば、コンクリートに対する浸透方向によって塩化物イオンの浸透度合いに差がでることが考えられる。

そこで、本研究では、ブリーディング率を変えた試験体より上面、側面および底面からコア試験体を採取し、それらに対して塩化物イオン浸透試験を行った。また、同じ試験体を用いて塩分浸透方向の透水試験を行い、ブリーディングによる内部欠陥と塩化物イオン浸透抵抗性の関係と透水性との関連性を調査した。

2. 現状と問題点

土木学会コンクリート標準示方書¹⁾では、構造物中の上面の部位では塩化物イオンの拡散係数を 1.3 倍とするのがよいとされている。

コンクリートの塩化物イオン浸透に関する研究は数多

く行われているが、コンクリートの打設方向に対する浸透方向やブリーディングの影響に関する研究はほとんどされていない。このような状況の中で、平田²⁾らはブリーディングの程度とコンクリート部材の高さ位置の違いにおける浸透実験を行っているが、塩化物イオン濃度分布の測定によって塩分浸透抵抗性を評価したものではない。

3. 実験

3.1 実験条件

実験条件を表-1 に示す。実験の要因は、コンクリートのブリーディング率と打ち込み方向に対する塩分浸透方向である。ブリーディング率の水準は、0%、5%および10%を目標とした。塩化物イオンの浸透方向および透水方向は、コンクリートの打設方向に対して、上面から鉛直下向き、側面から水平横向きおよび底面から鉛直上向きの3種類とした。

表-1 実験条件

試験体番号	目標ブリーディング率 (%)	塩分浸透・透水方向
1	0	上面鉛直下
2		側面水平
3		底面鉛直上
4	5	上面鉛直下
5		側面水平
6		底面鉛直上
7	10	上面鉛直下
8		側面水平
9		底面鉛直上

試験体として、上向き鉛直下方向および側面水平方向の条件には図-1に示すような幅 900mm、厚さ 500mm、高さ 500mm のコンクリートブロックから直径 100mm、高さ 200mm の円柱をコア抜きしたものおよび底面鉛直上向き方向の条件には直径 100mm、高さ 200mm の圧縮強度用円柱試験体を用いた。側面水平方向の試験体は、コンクリートブロック中央、すなわち底面から 250mm の高さを中心としてコア抜きした。

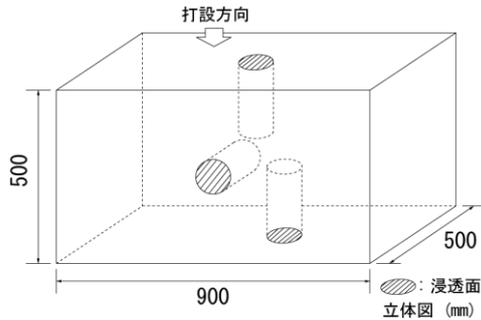


図-1 コア試験体採取位置

3.2 コンクリート

コンクリートの配合、スランプ、空気量、ブリーディング率および 28 日圧縮強度を表-2 に示す。なお、配合番号 1 のスランプはスランプフローの値である。ブリーディング試験は、JIS A 1123 に準じて行った。

3.3 塩分浸透試験

(1) 試験体

コンクリートブロックの外表面からの塩化物イオンの浸透とするために、円柱試験体のブロック外表面にあたる面以外を防水用のブチルゴム系アルミテープを用いて、隙間ができないようにテープを重ねながらシーリングした。

(2) 浸透方法

浸透方法は、塩水への浸漬と乾燥を繰り返すものとし、2ヶ月間の浸漬・乾燥の繰り返し試験を行った。

浸透は、塩水の中に 1 日間浸漬し、乾燥器で 6 日間乾燥させるという工程を繰り返した。本実験では室内の水槽に塩水を溜めて行ったので、浸漬時の温度は約 15°C である。また、乾燥時の温度は 60°C とした。試験水の塩分濃度は、標準的には海水と同じ NaCl 3% 濃度で行われることが多いが、本実験では浸透を促進するために NaCl 5% 濃度とした。

(3) 塩化物イオン濃度の測定

サンプリングには、乾式のコンクリートカッターを使用した。カッターで円柱の側方から切り込みを入れ、回転刃で削り取られた粉を試料に用いた。サンプリング位置は、深さ方向に 2.5, 10, 20, 30, 40, 50, 80, 100mm の所とした。また、1つの深さについて試験体を回転させて 3カ所から試料を採取し、それらの 3カ所の試料を別々に滴定し、3つのデータを平均して、その深さの塩化物イオン濃度とした。

塩化物イオン濃度の測定は、JIS A 1154 に準拠し、装置としては自動滴定装置を使用した。

3.4 透水試験

(1) 試験体

円柱試験体を透水試験装置に準じて直径 100mm、厚さ 40mm あるいは 30mm の円盤に切り分けた。試験体を切り出した深さおよびコンクリートブロック表面から試験体の中心までの深さ x mm を表-3 に示す。

表-3 実験条件

透水方向	切り出し深さ (mm)	中心深さ x (mm)
上面鉛直下	120	140
側面水平	0	15
	70	85
	160	175
底面鉛直上	0	20
	70	90
	140	160

上面における試験体は、コア試験体の都合上複数個所から採取することが不可能だったため、深さ 120mm の位置から厚さ 40mm の試験体を切り出した。

ブロック側面の試験体は、深さ 0mm および 70mm の位置から厚さ 30mm の試験体を、試験体番号 2 および 5 に相当するものに対して深さ 160mm の位置からも厚さ 30mm の試験体を切り出した。

底面における試験体は、ブリーディング率が 5.6% と 11.5% の条件に対して、圧縮試験用の円柱試験体の底面から厚さ 40mm の試験体を 30mm 間隔で切り出した。

(2) 試験方法

試験体に水を圧入してコンクリートの対面に透過させるアウトプット方法³⁾により試験を行った。試験時の水

表-2 コンクリートの配合

配合番号	ブリーディング率 (%)	28 日圧縮強度 (MPa)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	水セメント比 (%)	単体量 (kg/m ³)						
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤		増粘剤 VA
											AE	SP	
1	0.0	35.1	56*60	3.8	46.4	55	247	450	568	810	0	209	247
2	5.6	42.7	15	4.0	42.9	55	171	311	639	1054	0	0	0
3	11.5	39.1	22	5.5	42.9	55	171	311	639	1054	3.11	0	0

圧は、安全性を考慮して 1MPa とした。

4. 結果および考察

4.1 塩化物イオンの浸透

塩水浸漬・乾燥の繰り返しを行った場合は、塩化物イオン浸透の媒体となるセメントペーストの絶対量が塩化物イオンのコンクリート内部への浸透度に影響を及ぼすことが報告されている⁴⁾。本研究では、各配合におけるセメントペースト量が統一されていないことから、塩化物イオン濃度はセメントペースト中に含まれる塩化物イオン濃度を指標として用いた。

ブリーディング率が、異なる時の上面鉛直下方向、側面水平方向および底面鉛直上方向における塩化物イオン濃度の分布を図-2 から図-4 に示す。各条件において、塩化物イオンの浸透抵抗性に対するブリーディング率の影響は小さく、またその影響に一定の傾向は見られない結果となった。

そこで、ブリーディング率の影響がないとして、各測定深さの測定結果を全て平均したものをを用いて塩分浸透方向の影響を表したものを図-5 に示す。

底面から鉛直上方向に塩分が浸透する場合は、塩化物イオン濃度は表面からの深さが 80mm 以上でほぼ 0 となっている。それに対して、上面から鉛直下向きに浸透する場合および側面から水平横向きに浸透する場合は、深さが 40mm までの分布は底面とほぼ同じとなっている

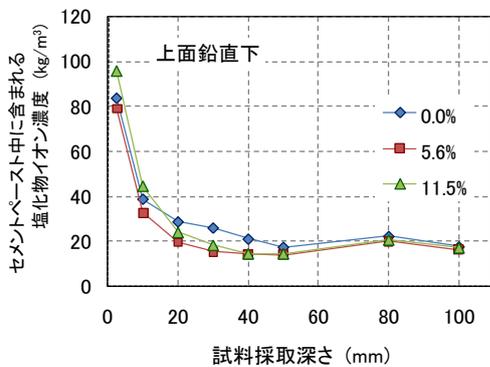


図-2 塩化物イオン濃度の分布 (上面鉛直)

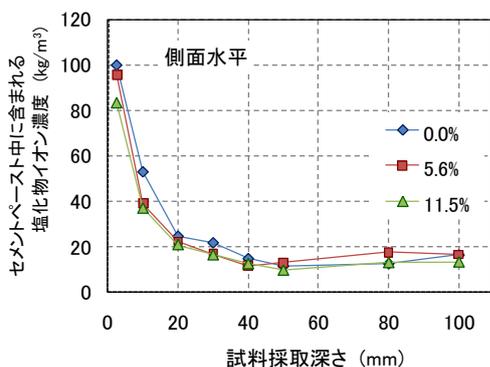


図-3 塩化物イオン濃度の分布 (側面水平)

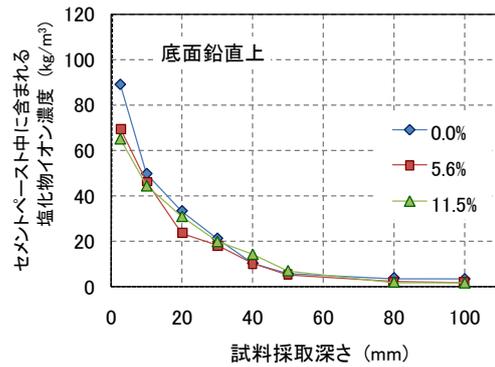


図-4 塩化物イオン濃度の分布 (底面鉛直)

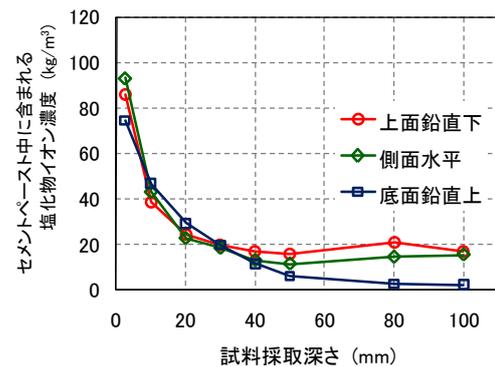


図-5 塩化物イオン浸透に対する位置および浸透方向の影響

が、深さが 40mm 以上で塩化物イオン濃度が減少せずに、ほぼ一定の値となっている。詳細にみると、深さが 40mm 以上での塩化物イオン濃度は側面よりも上面のものが高くなっている。すなわち、塩化物イオンの浸透にはブリーディングの程度は影響しないが、コンクリートブロックの上面、側面および底面といった位置あるいはコンクリート打設に対する塩分の浸透方向が影響するという結果となった。

この理由として、上面から鉛直下向きに塩分が浸透する場合は、ブリーディングによる水みちの形成が考えられ、側面から水平横方向に塩分が浸透する場合は、ブリーディングによる粗骨材下面の欠陥の形成が原因となり塩化物イオンが深く浸透すると考えられる。しかし、この水みちや粗骨材下面の欠陥の程度は、ブリーディングの程度によって異なることが想定されるにもかかわらず、塩化物イオンの浸透にはブリーディングの程度は影響しておらず、理由は明確でない。

4.2 透水試験結果

上述の問題に対して、ブリーディングの程度と水みちおよび粗骨材下面の欠陥との関係を調べるために、透水試験を行った。

上面から鉛直下方向に透水する条件におけるコンクリート表面からの中心深さが 140mm の位置での透水係数を図-6 に、側面から水平横方向に透水する条件におけ

る表面からの中心深さが 15mm, 85mm, 175mm の位置での透水係数を図-7 に, 底面から鉛直上方向に透水する条件における表面からの中心深さが 20mm, 90mm, 160mm の位置での透水係数を図-8 に示す。

いずれの条件においても, ブリーディングの程度が透水係数に及ぼす影響は見られなかった。これは, 塩化物イオンの浸透抵抗性と同一結果である。

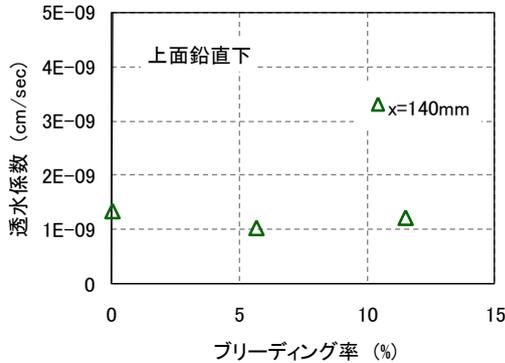


図-6 透水係数とブリーディング率との関係 (上面鉛直)

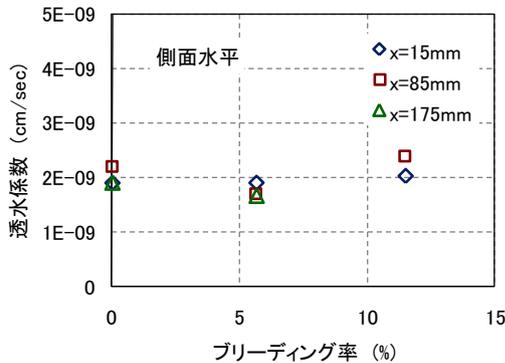


図-7 透水係数とブリーディング率との関係 (側面水平)

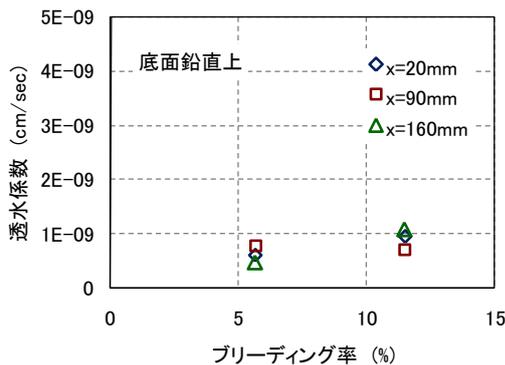


図-8 透水係数とブリーディング率との関係 (底面鉛直)

本実験の範囲では透水係数に対するコンクリート表面からの深さの影響が見られなかったために, 全ての深さにおける測定値を平均したものをを用いて, 各条件における透水係数を絶対値の比較を図-9 に示す。

透水係数は, 底面鉛直上方向, 上面鉛直下方向, 側面水平横方向の順で大きくなった。塩化物イオンの浸透度は, 側面水平横方向よりも上面鉛直下方向の方が大きい

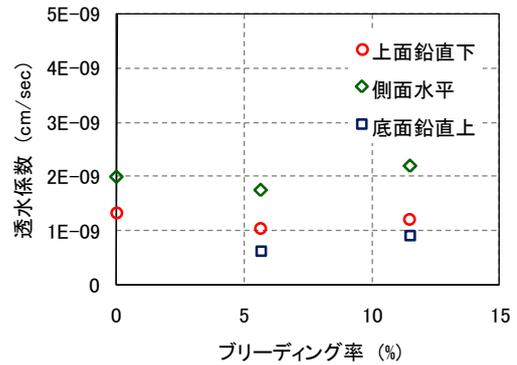


図-9 各条件における透水係数

という結果に対して, 透水係数は側面水平横方向のものが上面鉛直下方向のものとの倍程度の大きさである。すなわち, 塩化物イオン浸透抵抗性と透水係数との関連性は無い結果となった。

5. 結論

本研究の実験結果から以下の結論を得た。

- (1) 塩化物イオンの浸透に関して, ブリーディングの程度の影響は見られなかったが, コンクリートブロックの上面から鉛直下方向および側面から水平横方向への浸透は, 底面から鉛直上方向への浸透に比べてコンクリート内部の深い位置における塩化物イオン濃度が高くなった。
- (2) 塩化物イオン浸透と同様に, 透水係数に対するブリーディングの程度の影響は見られなかったが, 試験体採取の位置あるいは透水方向によって透水係数が異なった。
- (3) 塩化物イオン浸透抵抗性と透水係数との関連性は見られなかった。

謝辞: 実験の実施にあたっては, 高知工科大学技術指導員の宮地日出夫氏ならびにコンクリート研究室の皆様にご協力頂きました。関係者の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 2007 年制定コンクリート標準示方書【設計編】, p.119, 土木学会, 2008.3
- 2) 平田隆祥, 竹田宣典, 十河茂幸: 石灰石粉によるブリーディングの低減がコンクリートの強度・耐久性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992
- 3) 國分 正胤 編: 土木材料実験 (改訂 4 版), 技報堂出版株式会社, p.289
- 4) 島 弘, 坂田 充義, 山本 達哉: 「はつり仕上げ」あるいは「洗い出し仕上げ」されたコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性, 土木学会論文集 E, 353-363, 2009