

セメント硬化体内の塩分が中性化に及ぼす影響の把握

東京理科大学大学院 学生会員 ○ 小林 莊太
東京理科大学 正会員 加藤 佳孝

東京理科大学 正会員 三田 勝也

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化の代表的な要因の一つに塩害がある。塩害は鉄筋腐食を引き起こすとされており、鉄筋コンクリート構造物を維持管理するうえで塩分浸透予測が非常に重要になってくる。コンクリート内部を移動する塩化物イオンは、中性化や凍害等と組み合わせたり複合劣化する事により挙動が複雑に変化する事が指摘されている。また、塩害の検討を実験的に行う場合、時間を短縮するために、塩分を練り込んでセメント硬化体を作成する場合があるが、塩分混入がセメント硬化体の諸特性に及ぼす影響は必ずしも明らかではない。そこで、本研究ではセメント硬化体中の塩化物イオンに着目し、モルタルの中性化に与える影響について実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 実験 I

濃度を変化させた塩分を練り込んだモルタル供試体のブリーディング量および中性化深さについて把握する事を目的とした。配合は、水セメント比を 50, 60 および 70% の 3 種類とし、それぞれに塩分濃度 (wt% of water) で 0, 3 および 10% の塩分を練り込んだ合計 9 水準とした。また、ブリーディング試験は JISA 1123 に準拠して行った。供試体は Φ5×10cm のモルタル供試体を作製し、7 日間 20°C で気中養生を行った後、中性化促進試験を行い、7, 14, 21, 28 日経過時点でフェノールフタレイン法を用いて中性化深さについて測定した。中性化促進試験条件は CO₂ 濃度 5%, 温度 20°C, 相対湿度 50% である。また、塩分混入量は実験 II における塩水浸漬 28 日後の全塩化物イオン量を参考に決定した。

2.2 実験 II

塩水に浸漬させたモルタル供試体の中性化進行を握する事を目的とした。φ5×10cm のモルタル供試体を厚さ 2cm の円盤状に切断した後、初期水中養生 28 日後に 28 日間塩水に浸漬させた。塩水濃度は、コンクリート

内部の塩化物イオンの固定量を変化させるために、質量パーセント濃度で 0, 1, 3 および 10% とした。塩水せき後、実験 I と同様の試験条件の下、中性化促進試験を行った。中性化促進 9 週間経過後、フェノールフタレイン法を用いて中性化深さを測定し、浸せき溶液の塩分濃度の違いが中性化深さに与える影響について検討した。

3. 試験結果

3.1 ブリーディング試験結果

実験 I のブリーディング試験結果を図-1 に示す。図-1 より W/C の増加ともないブリーディング量が大きくなる傾向にあるが、塩分濃度 0% では W/C=60% が 50% よりも小さくなっており、0-60 については適切な結果でない可能性がある。また、塩分濃度 10% の場合においては、ブリーディング量は 0% と同等かそれ以上という結果になった。このことから塩分濃度 3% の塩水を練り混ぜ水に用いることで、ブリーディングを低減できる可能性が示された。水和反応の初期では、接水と同時にカルシウムイオンおよび水酸化物イオンがエーライト表面から溶出し、表面に準安定の C-S-H の析出層を生成するといわれており¹⁾、塩分を混入する事によって、より水和反応が促進され、水酸化物イオンがより多く溶出され pH が大きくなった可能性がある。結果

a)実験 I 表-1 示方配合

NaCl濃度-W/C (%)	S/C	塩分混入量 (kg/m ³)	単位質量(kg/m ³)			フロー値 (cm)
			W	C	S	
0-50	2.4	0	290	580	1391	19.1
3-50		10				18.3
10-50		16				19.3
0-60	3.2	0	282	470	1503	19.8
3-60		10				20
10-60		16				18.8
0-70	3.8	0	285	407	1547	18.6
3-70		10				19.2
10-70		16				18.3

b)実験 II

W/C	S/C	単位質量(kg/m ³)			フロー値 (cm)
		W	C	S	
50	2.4	289	578	1388	18.8

キーワード ブリーディング 中性化 塩分

連絡先 〒278-0022 千葉県野田市山崎 2641 TEL04-7124-1501 Email:j7611614@ed.nodatus.ac.jp

として、ゼータ電位はpHの増加にともない、負の方向に大きくなるとされている²⁾。そのため塩分濃度が高い場合は粒子表面の電位がさらに負の方向に大きくなるため、より強い斥力が作用して分散する力が強まり、系内を自由に動き流動に寄与できる水（自由水）が多くなったため¹⁾、ブリーディング量が増加したと考えられる。そこでフレッシュ状態における水セメント比50%の塩分混入量の違いによるpHを測定した。その結果を表-2に示す。この結果は最終ブリーディング量とほぼ同じ傾向を示し、塩分によりpHが変化することで、ブリーディング量に変化する可能性が示唆された。

3.2 中性化促進試験結果

実験Ⅰ、Ⅱにおける中性化深さをそれぞれ図-2、3に示す。図-2、3を比較すると、実験Ⅰは弱材齢であるため中性化深さの進行が実験Ⅰより速い事が確認された。図-2より、実験Ⅰでは中性化促進7日目では塩分濃度の増加にともない中性化深さが小さくなる傾向が見られたが、中性化促進14日目以降では逆に、塩分濃度が大きいほど中性化深さが大きくなる傾向が見られた。

NaCl濃度10%の場合は、中性化7日目においては中性化深さが最も小さいが、中性化が進行する事で固定塩化物イオンが遊離し塩分濃縮が生じ、14日目以降では0および3%の中性化深さよりも大きくなったと考えられる³⁾。しかし、実験Ⅱでは、塩分濃度の増加にともない中性化深さは小さくなる傾向にあり、実験Ⅰと逆の傾向を示した。中性化は水和初期段階では、その過程で生成する水酸化カルシウムが主役となり、組織が安定した後の中性化はむしろC-S-Hの二酸化炭素による分解が中心となる³⁾。実験Ⅰは若材齢であるため、水酸化カルシウムが中性化進行を主に支配する。細孔中に、フリーデル氏塩が生成されると細孔溶液中の塩化物イオン量が減少し、それを補うために固相に存在する水酸化カルシウムが細孔溶液に溶出するため中性化が促進され³⁾、塩分濃度が高いほど、中性化深さが深くなったと考えられる。実験Ⅱでは、実験Ⅰに比べ比較的長期材齢であるため、C-S-Hが中性化進行を主に支配し、浸せきさせた塩水の塩分濃度が高いほどC-S-Hの生成量が多い⁴⁾ため、中性化に対する抵抗性が向上した可能性が考えられる。

4 まとめ

モルタル供試体に塩分を混入する事でブリーディング量が変わることがわかった。また、中性化を開始

表-2 実験ⅠにおけるpH値

塩化物濃度	0%	3%	10%
pH	12.8	12.1	13.3

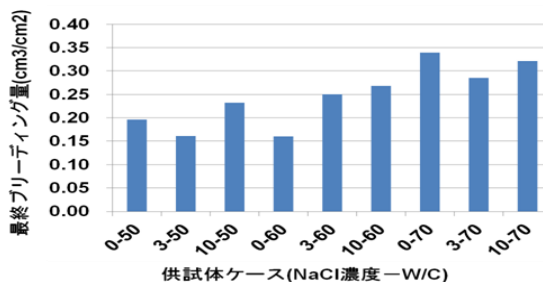


図-1 実験Ⅰにおけるブリーディング量

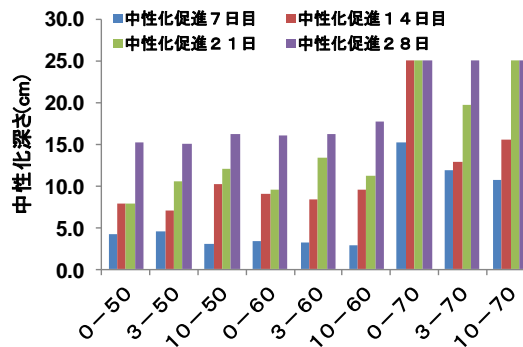


図-2 実験Ⅰにおける中性化深さ

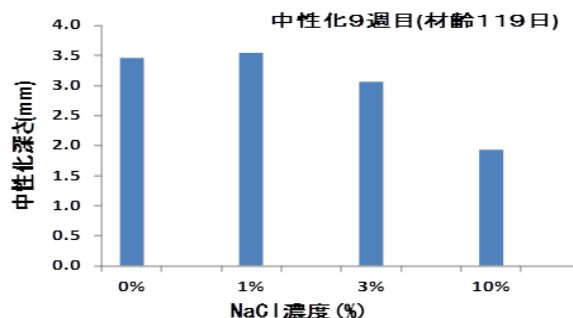


図-3 実験Ⅱにおける中性化深さ

する材齢や供試体内部に存在する塩分により中性化速度が変化することがわかった。

本研究の一部は科研費(23360189)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 魚本健人監修, 加藤佳孝: コンクリート構造物のマテリアルデザイン, オーム社, 2007
- 2) 大塚電子株式会社: 【応用】ゼータ電位の測定データいろいろ (http://www.photal.co.jp/book/els_02.pdf, 2012.4.4 確認)
- 3) 小林一輔: コンクリートの炭酸化に関する研究, 土木学会論文集, No.433 Vol.15, pp.1~14, 1991.8
- 4) 田代忠一他: セメント・コンクリート中の水の挙動, セメント・コンクリート研究会 水委員会, 1993