

塩水に浸せきしたセメントペースト硬化体中のナトリウムイオン挙動

独立行政法人土木研究所 正会員 ○松本 健一
 独立行政法人土木研究所 正会員 古賀 裕久
 独立行政法人土木研究所 正会員 渡辺 博志

1. はじめに

海からの飛来塩分の影響を受けるコンクリートでは、外部から侵入したナトリウムイオンによってアルカリシリカ反応(ASR)が促進されるおそれがある。アルカリイオンの拡散速度は塩化物イオンよりも小さいと言われているが、外来塩分作用下におけるコンクリートへのアルカリ侵入についての研究例は少なく、その影響は十分に明確でない。そこで、セメントペースト硬化体を塩水に浸せきさせた実験を行い、セメント硬化体内でのイオン挙動について検討した。

2. 実験概要

本実験では、セメントには普通ポルトランドセメント(OPC)およびアルカリ量の少ない白色セメント(WC)を用いた。それぞれのセメントの化学成分を表1に示す。水セメント比を0.45としてセメントペースト供試体(φ50×100mm)を作製し、4日間の封かん養生を行った。脱型後に端面を研磨し、一方の端面を浸透面として、浸透面以外の部分はエポキシ系樹脂でシールした。浸せき溶液には3%、10%および飽和塩化ナトリウム溶液を調製し、材齢7日から浸せきを開始した。本報では浸せき91日までの結果を報告する。

所定の期間浸せきした供試体の表面をエタノールで洗浄し、厚さ2mm程度のスライス試料を5枚ずつ採取した。各スライス試料はアセトンを用いて水和停止させた後で適宜粉砕調製し、ナトリウムイオンを総プロ法¹⁾で、塩化物イオンをJIS A1154:2003「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠してそれぞれ抽出した。溶液のナトリウムイオンはイオンクロマトグラフィーで、塩化物イオンは電位差滴定法によって定量した。

表1 セメントの化学成分(%)

	OPC	WC
Ig.loss	2.01	2.73
SiO ₂	20.9	23.0
Al ₂ O ₃	5.24	4.83
Fe ₂ O ₃	3.05	0.19
CaO	64.2	65.1
MgO	0.92	1.07
SO ₃	1.93	2.64
Na ₂ O	0.30	0.06
K ₂ O	0.34	0.07
Cl	0.021	0.001

3. 実験結果および考察

3.1 塩化物イオンの挙動

浸せき91日におけるペースト硬化体中の塩化物イオンの分布を試料に対する量として図1に示す。浸せき溶液の塩化ナトリウム濃度が高いほど、各々の深さにおける塩化物イオン量が多くなった。セメントの種類による差はほとんど生じていないが、これはセメントが含有する塩素量の差に対して浸せき溶液中の塩化物イオン量が十分に多いことによる。

3.2 ナトリウムイオンの挙動

浸せき91日におけるペースト硬化体中のナトリウムイオンの分布を試料に対する量として図2に示す。塩化物イオンと同じく、浸せき溶液の塩化ナトリウム濃度が高いほど、各々の深さにおけるナトリウムイオン量も多くなった。ただし、浸せき溶液の濃度ごとに塩化物イオンとナトリウムイオンの挙動を対比して見ると、明らかに傾向が異なった。3%溶液への浸せきでは、OPCの表面付近と深さ15mm程度までの間のナトリウムイオン量にほとんど相異は無く、ナトリウムイオンがペースト硬化体内部に侵入していない。このことは、人工海水に浸せきしたコンクリート内部にナトリウムイオンが浸透しない可能性について述べた山口ら²⁾の結果と一致している。また、図2において10%や飽和溶液ではWCの表面側のナトリウムイオン量がOPCよりも多く、内部への移動量も多い。3%溶液ではWCにおける表面側のナトリウムイオン量がOPCと同程度

キーワード アルカリシリカ反応, 塩水浸せき, ナトリウムイオン, 塩化物イオン

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6

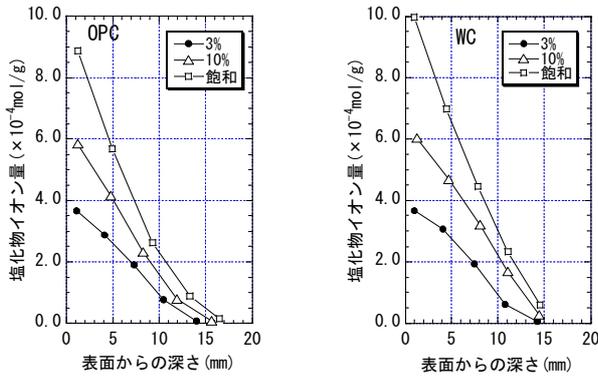


図1 塩化物イオン量(浸せき91日)

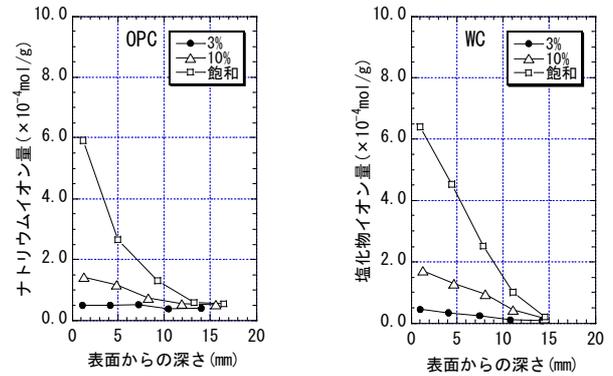


図2 ナトリウムイオン量(浸せき91日)

まで増加している。これらの結果は、セメントの Na_2O 量を少なくしても、外来塩からのナトリウムイオンの侵入に対しては、その効果をあまり期待できないことを示唆している。

ナトリウムイオンの濃度変化について、浸せき溶液種別に図3および図4に示す。いずれのセメントペースト硬化体においても10%や飽和溶液においては浸せき初期よりナトリウムイオンが侵入し、内部へと移動している。一方、3%溶液への浸せきではOPCに対してナトリウムイオンが内部へと侵入していない。また、WCでは図2に示した浸せき91日におけるナトリウムイオンの分布が、浸せき7日の時点で既に生じ、その後の変化は見られない。この現象についての理由は不明だが、今後更に長期的な挙動について検討する必要がある。

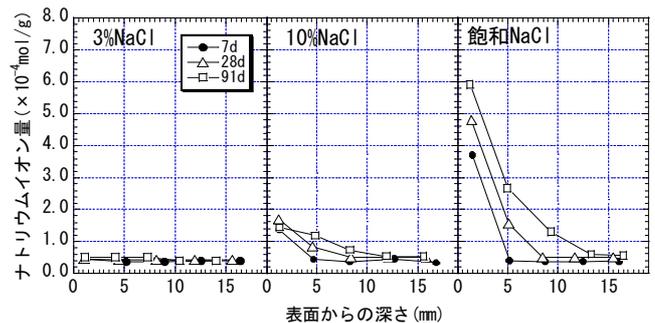


図3 ナトリウムイオン量(OPC)

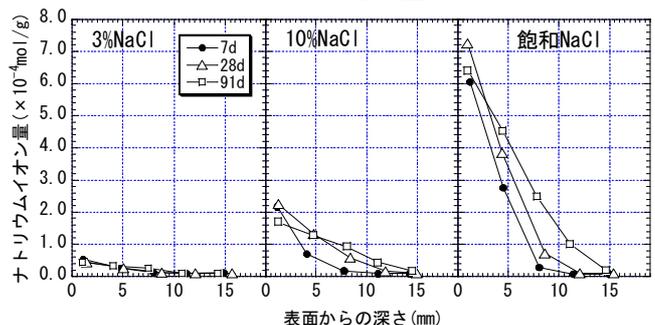


図4 ナトリウムイオン量(WC)

3.3 イオンの見掛けの拡散係数

浸せき91日における各イオンの分布より算出した見掛けの拡散係数を表2に示す。塩水浸せき試験によるナトリウムイオンの拡散係数は塩化物イオンのそれよりも小さく、両イオンの見掛けの拡散係数はOPCよりもWCの方が大きかった。

4. まとめ

(1) 3%の塩水作用下におけるペースト硬化体中のナトリウムイオンの挙動はセメントのナトリウム量によって異なり、OPCへはナトリウムイオンが殆ど侵入しない一方で、アルカリ量の少ないWCでは表面付近でOPCと同程度まで侵入した。このことから、セメントのアルカリ量を低減しても、飛来塩分環境にあるコンクリートのアルカリ量を長期間にわたって抑制するのは難しいと考えられる。ただし、常時海水と接するコンクリートでもナトリウムイオン量が大きくは増加しない可能性もあり、今後更に長期的に検討することが必要である。

(2) 塩水浸せき試験によるナトリウムイオンの拡散係数は塩化物イオンの拡散係数よりも小さかった。

【参考文献】

- 1) 建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書<第二編>, pp.141-142, 1988
- 2) 山口ほか: コンクリート中のナトリウムイオンの移動とASR膨張への影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第5巻, pp.175-178, 2005

表2 見掛けの拡散係数 (mm^2/day)

		3%	10%	飽和
Na^+	OPC	-	0.20	0.20
	WC	-	0.35	0.35
Cl^-	OPC	0.30	0.35	0.35
	WC	0.30	0.40	0.40