

モルタルへの塩水作用条件とナトリウムイオン侵入特性

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

海水や潮風等の影響を受ける地域では、飛来した Na^+ がコンクリート中に侵入してアルカリシリカ反応 (ASR) を促進するおそれがあると考えられている。コンクリートへの Na^+ の侵入については、作用する外来アルカリの濃度の影響が大きいと考えられる¹⁾が、外来アルカリの濃度や作用条件と Na^+ の侵入量に関する知見は必ずしも充分ではなく、更なる研究が求められている。そこで、作用する塩水の濃度や乾湿繰返し条件、供試体内外のナトリウムイオンの濃度差に着目した実験的な検討を行った。

2. 実験概要

本研究では、 Na_2O 当量を調整した $\text{W/C}=0.5$, $\text{s/c}=3.0$ のモルタルを種々の濃度の塩水に浸せき、または乾湿繰返し条件において、これらの環境条件とナトリウムイオンの侵入量の関係を調べた。

セメントはアルカリ量の少ない白色セメント (WC) および普通ポルトランドセメント (OPC) を用いた (表 1)。細骨材には静岡県掛川産山砂 (表乾密度: $2.57/\text{cm}^3$, 吸水率: 1.87%) を用いた。セメントのアルカリ量が Na_2O 当量として 0.3 , 0.6 , 1.0% となるように、試薬の NaOH を練混ぜ水に混入して調整した (OPC モルタルは 0.6% の水準のみ)。以下、供試体については、使用セメントと Na_2O 当量の組合せで WC- 0.6% 等と表記する。

供試体は $\phi 50 \times 100\text{mm}$ に成型して 14 日間封かん養生を行った。脱型後に片側端面を切断して塩水浸透面とし、浸透面以外をエポキシ系樹脂でシールした。塩水の作用条件は、塩水浸せき (2,3,4,5,6,7,8,9 および 10%) 91 日間、ならびに 3% 塩水を用いた乾湿繰返し条件とした。乾湿繰返しは 3 日間の塩水浸せきと 4 日間の乾燥 (20°C) を 1 サイクルとして 13 サイクル行った。

アルカリ量の測定は、試験前後の供試体から試料 (浸透面から 10mm) を採取し、総プロ法²⁾に準じて Na^+ を抽出した。また、別途、14 日間の封かん養生を行った供試体から細孔溶液の抽出を行った。 Na^+ の定量には原子吸光光度計を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 浸せき試験

浸せきした塩水の濃度と Na^+ の侵入量を図 1 に示す。図中には全測定点の回帰直線を併記した。塩水が高濃度になるほど Na^+ 侵入量は多く、直線的に増加した。また、供試体製作時の Na_2O が少ないほど、 Na^+ 侵入量がやや多い傾向であった。なお、海水に相当する 3% 塩水では、 Na^+ はほとんど侵入しておらず、WC- 0.6% や WC- 1.0% では溶出する傾向を示した。

表 1 セメントの
化学成分 (%)

	WC	OPC
Ig. loss	2.73	1.38
SiO_2	23.0	20.9
Al_2O_3	4.83	5.34
Fe_2O_3	0.19	3.00
CaO	65.1	64.7
MgO	1.07	0.95
SO_3	2.64	2.01
Na_2O	0.06	0.35
K_2O	0.07	0.35
Cl	0.001	0.022

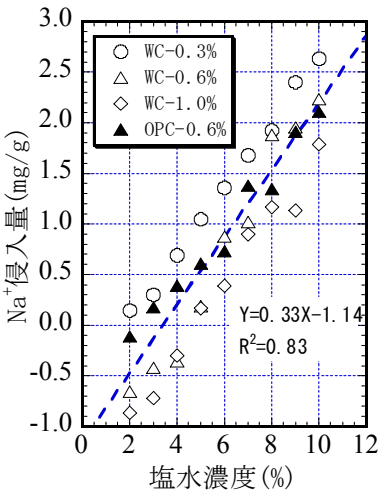


図 1 溶液の塩水濃度と Na^+ 侵入量

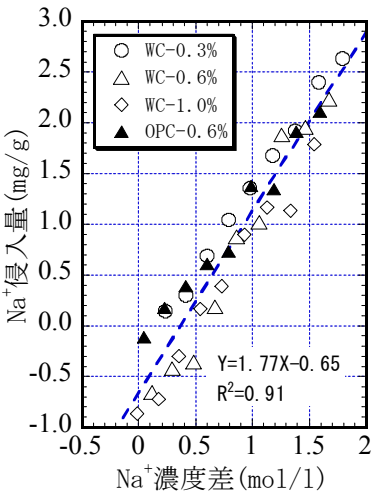


図 2 Na^+ 濃度差と侵入量

供試体内外の Na^+ 濃度差と Na^+ 侵入量の関係を図 2 に示す。 Na^+ 侵入量は、 Na^+ 濃度差との相関性がより高く、塩水浸せき時の Na^+ の侵入し易さには、供試体内外の液相の Na^+ 濃度差が影響すると考えられる。

そこで、 Na^+ 濃度差を浸せきした塩水の Na^+ 濃度で除して無次元化したものを α とし、これと Na^+ 侵入量の関係を図 3 に示す。図より、 α が概ね 0.6 より小さいと、 Na^+ は内部に侵入しにくいようである。海水の Na^+ 濃度が 0.5mol/l 程度であることを考慮すると、常時海中にある場合でも、コンクリートの細孔溶液の Na^+ 濃度が 0.2mol/l 以上であれば Na^+ はほとんど侵入しないと考えられる。今回の実験から、 Na_2O 量が 0.1% 以上のモルタルであれば、この条件に概ね合致することから、海中部の一般的なコンクリートには Na^+ はほとんど侵入しないと考えられる。

3.2 乾湿繰返しによる影響

乾湿繰返しを行った場合の Na^+ 侵入量を浸せきの場合と比較して図 4 に示す。乾湿繰返しを受けると Na^+ 侵入量は多くなり、3%の塩水浸せき環境では Na^+ が溶出するような供試体でも、乾湿繰返し環境では内部に侵入した。この理由として、浸せき時の水の移動とともに Na^+ が侵入することが考えられる。また、初期アルカリ量が少ないほど Na^+ 侵入量は多く、塩水浸せき試験と同様な傾向を示した。

塩水濃度と Na^+ 侵入量の関係を図 5 に示す。本実験の乾湿繰返し方法での侵入量は、塩水浸せき試験における塩水濃度として、5~7%とした場合に相当するといえる。コンクリートの乾燥状態にもよるが、実環境では更に高濃度な塩水への浸せきに相当する Na^+ の侵入も想定される。干満帯や飛沫帯に位置するコンクリート構造物では、乾湿繰返しによる Na^+ の侵入を考慮した ASR 抑制対策を講じる必要があると考えられる。

4. まとめ

- 1) コンクリートへの Na^+ の侵入量は、作用する塩水の Na^+ 濃度と硬化体細孔溶液の Na^+ 濃度差と関係があり、 $(\text{Na}^+ \text{濃度差}) / (\text{塩水の } \text{Na}^+ \text{濃度})$ が 0.6 より小さい範囲では、 Na^+ はほとんど侵入しなかった。一般的なコンクリートが常時海中に位置する場合でも、 Na^+ はほとんど侵入しないと考えられる。
- 2) 乾湿繰返し条件では、同濃度の塩水浸せき環境よりも Na^+ が多く侵入した。3%塩水の乾湿繰返しは、浸せき試験の塩水濃度として少なくとも 5~7%程度に相当する Na^+ が侵入した。

- 3) 初期アルカリ量が少ないほど外来アルカリの侵入量が増加するため、外来アルカリ環境では、セメントのアルカリ量低減による ASR 抑制効果は長期的には期待できない。

【参考文献】1) 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

- 2) 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

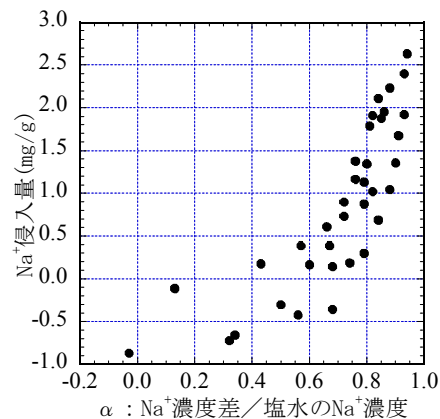


図 3 α と Na^+ 侵入量

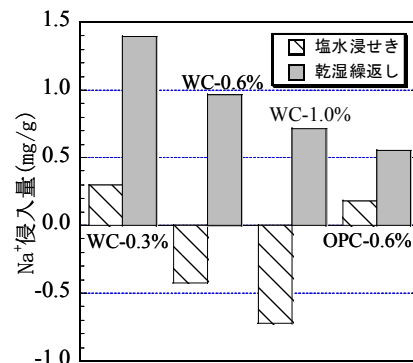


図 4 乾湿繰返しの影響

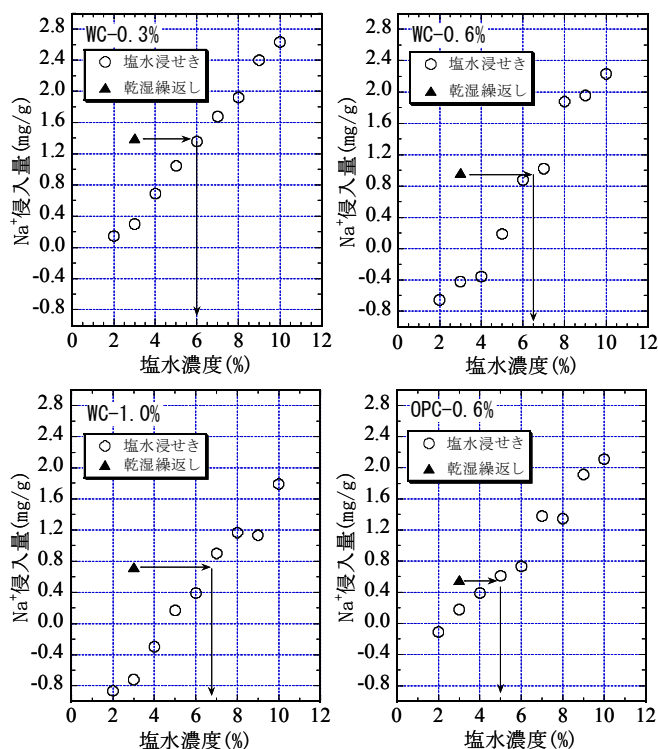


図 5 塩水濃度と Na^+ 侵入量