ASRコンクリートにおけるナトリウムイオンの移動

独立行政法人土木研究所 正会員 〇山口 順一郎 正会員 渡辺 博志 正会員 古賀 裕久 正会員 河野 広隆 正会員 椎名 貴快

1. はじめに

海からの飛来塩分や路面に散布される凍結防止剤などの外来塩に含まれるナトリウムイオンが,コンクリー ト表面から浸透し,アルカリ骨材反応を促進させる可能性があるといわれている。しかし,ナトリウムイオン のアルカリ骨材反応への影響やコンクリートへの侵入速度については十分には明らかになっていない。そこで, 各種配合のコンクリート供試体を各種環境で養生し,膨張量の測定および各種イオンの侵入量の分析など検討 を行った。

2. 実験概要

本実験では、10×10×40cmのコンクリート供試体を使用し、配合は表-1に示す4配合とした。骨材には、 反応性骨材として安山岩系の砕石・砕砂(ペシマム量はともに 50:50)、非反応性骨材として硬質砂岩の砕石 と川砂を用いた。また、一部の供試体では、練混ぜ時に3.72kg/m³の水酸化ナトリウムを添加した。

供試体は、打設後1日で脱型し、ただちに基長を測定し、湿布で包み、養生槽で貯蔵した。貯蔵環境は、材 齢28日まで20℃、106日まで40℃の環境とした。これは、外来塩環境への暴露の前に、アルカリ骨材反応に よるひび割れを生じさせ、外来塩の侵入による影響を明らかにすることを目的としたものであった。しかし、 この期間中に明確な膨張を生じた供試体はなかった。

材齢 107 日以降,飽和塩化ナトリウム水溶液への浸漬などを含む5種類の環境に約6ヶ月間貯蔵し,1週間 おきに外観観察およびダイヤルゲージによる中心軸の長さ変化の測定を行った。以下,供試体の呼び名は,表 における"種類-107 日以降の貯蔵方法"とする。

3. 実験結果

3.1 外観観察および膨張量について

アルカリ骨材反応による膨張は, A-1, A-3, A-4 供試体で生じた。その他の供試体では膨張量が 200 マイク ロ以下であった。ここで, 膨張が生じた A-1, A-3, A-4 供試体, また参考として D-1 供試体の膨張量測定結 果を図-1に示す。

外観観察の結果,ひび割れが目視で確認できたのは,A-1 が貯蔵後63日(打設後169日),A-4 が貯蔵後75日(打設後181日)と早かった。その後の膨張量については,A-1は急速に膨張したが,A-4 は蒸留水の乾湿繰返しであったため,膨張は緩やかであった。一方,A-3はA-4に比べてひび割れ発生が貯蔵後170日(打設後276日)と遅かったが,ひび割れ発生前後の膨張の進行はA-4より顕著であった。A-1,A-3では,貯蔵中に塩化ナトリウムが供給されており,これに含まれるナトリウムイオンが急激な膨張に影響を与えたものと考えられる。

貯蔵終了後のひび割れ状況は、A-1 は全体的に亀甲状のひび割れ、A-3、A-4 は供試体の一部に直線ひび割れがみられた。

種類		反応性 : 非反応性 の骨材比	使用セメント (アルカリ 量)	水セメン ト比	単位水量	貯蔵環境					
						28日迄		106日迄		107日以降	
				W/C (%)	(kg/m ³)	貯蔵方法	貯蔵場所	貯蔵方法	貯蔵場所	貯蔵方法	貯蔵場所
Α	ASR骨材使用+Na0H添加	50:50	普通ポルトラ ンド セメント	55	160	湿潤貯蔵 (95%)	20℃ 恒温室内	湿潤貯蔵 (95%)	40℃ 恒温室内	1. 飽和NaCI溶液浸漬	40℃ 恒温室内
В	普通骨材使用+Na0H添加	-								2. 人工海水浸漬 3. 飽和NaCI溶液乾湿 4. 蒸留水乾湿	
С	ASR骨材使用+NaOH添加+高炉スラグ	-									
D	ASR骨材使用	50:50								5. 湿潤	
※使用した普通ポルトランドセメントの等価Na₂0百分率は0.67%(Na₂0:0.31%, K₂0:0.54%)											

表―1 配合種類および養生条件

キーワード アルカリ骨材反応,外来塩,ナトリウムイオン,EPMА

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 独立行政法人土木研究所 構造物マネジメント技術 TEL029-879-6761

3.2 EPMA 分析による侵入の評価

代表的な 8 供試体(A-1,A-2,A-3,A-5,B-1,C-1,D-1,D-3)について試料を調整し, EPMA による定量分析を 行い, コンクリート中に含まれるイオンの量を測定 した。図-2にナトリウムイオン(以下, Na+)の 結果を,図-3に塩化物イオン(以下, Cl-)の結果 を示す。なお,グラフの縦軸は, Na+と Cl-の侵入程 度の比較のため,質量モル濃度で表示した。

飽和塩化ナトリウム水溶液に浸漬,または乾湿繰 返しにより貯蔵した D-1 と D-3 では Na+, Cl-とも に外部からの侵入が認められた。これらは、塩化ナ トリウムの供給方法が異なるが,濃度の最大値や侵 入深さに大きな差は認められなかった。

図-2と図-3を比較すると、Na+と Cl-の侵入 深さは同程度であるといえる。一方,侵入の分布状 態には差が認めらるため,侵入速度の差として評価 できる可能性もあるが,今回のデータ数では明らか にすることができなかった。

ひび割れが生じた A-1 および A-3 の測定結果は, D-1 および D-3 の結果と比較して,より内部まで Na+や Cl-が侵入していた。これは,ひび割れの影 響と考えられる。一方,人口海水に浸漬した A-2 に ついては,Cl-の侵入は認められたが,Na+の侵入は 認められなかった。そこで,溶液,供試体内の Na+ 濃度を計算すると,「飽和塩化ナトリウム水溶液中 の Na+濃度>供試体内に元々含まれる Na+濃度> 人工海水中の Na+濃度」となっていることがわかる。 また,湿潤養生を行った A-5 供試体は表面付近で若 干Na+量が減少しており,供試体外に流出した可能 性も考えられる。このような結果から,Na+の供試 体内部への侵入の程度については,初期に供試体に 混入した Na+濃度と,浸漬する溶液中の Na+濃度の 大小関係に依存すると考えられる。



高炉スラグを添加した C-1 供試体では、Na+、Cl-ともに侵入を抑制する効果が見られた。

4. まとめ

・飽和塩化ナトリウムに浸漬または乾湿繰返しを行った供試体では、ひび割れ発生の前後に急速に膨張したものがあった。つまり、一旦ひび割れが生じれば、外来塩に含まれるナトリウムイオンの影響で膨張が急速に進行するおそれがあることが確認された。

・飽和塩化ナトリウム水溶液を用いた場合には、ナトリウムイオンの侵入が明確に認められるが、人工海水を 用いた場合には、侵入の可能性が低いといえる。促進試験などで周辺環境の影響を考慮する場合については、 試験に用いる濃度などにも考慮が必要なものと考えられる。

