

反応性骨材を用いたコンクリートの諸性状に及ぼす塩化物の影響

福岡大学 正員 ○添田 政司
 " 正員 江本 幸雄
 " 正員 大和 竹史

1. まえがき

アルカリ骨材反応は、反応性シリカ、アルカリおよび水が十分に存在する時に起こるものである。ここで、コンクリート中に導入されるアルカリとしては、主にセメントからであるが、他に海砂中に付着しているNaClやKCl、海洋環境下における飛来塩分から供給される場合等が考えられる。そこで、本研究ではセメント以外から導入されるアルカリとして、海砂中の塩分量の相違が膨張特性に及ぼす影響や、外部環境から侵入する塩化物がコンクリート供試体の膨張量や強度特性に及ぼす影響について実験を行ったものである。

2. 実験概要

(1)実験要因 検討を行った要因と組み合わせは表-1に示す通りである。

表-1 実験要因

実験	要因	供試体	等価アルカリ量	養生条件	塩分量 [*] 砂の乾燥重量に対して
I	アルカリ量	コンクリート	0.57%	40℃ RH=95%以上	—
		モルタル	2.00%	38℃ RH=95%以上	
II	アルカリ量 (塩化物)	コンクリート	1.0%	40℃ RH=95%以上	0%, 0.1%, 0.3%, 0.5%
		モルタル		38℃ RH=95%以上	
III	アルカリ量 (塩化物)	コンクリート	1.0%	JIS Z 2711 塩水噴霧 40℃	0%, 0.1%, 0.3%, 0.5%
IV	現場コア	コンクリート	—	40℃ RH=95%以上	—

* 人工海水 3% ** NaCl 3%

(2)使用材料 セメントは普通ポルトランドセメント(等価Na₂O=0.57%)を、反応性骨材は輝石安山岩砕石(比重2.63, 吸水率1.89%, Rc: 89mmℓ/ℓ, Sc: 757mmℓ/ℓ)を細骨材は海砂(比重2.57, 吸水率1.32%, 塩分量0.005%)を使用した。なお、所定のアルカリ含有量の値を得るためにNaOHを練り混ぜ水に添加した。

(3)配合および供試体作製方法 コンクリートの膨張を測定する供試体はφ10×20cmの円柱である。コンクリートの配合を表-2に示す。モルタルは、2.5×2.5×28.5cmの供試体でASTM C-227に従いセメント:骨材=1:2.25, 水セメント比はフロー値が205~215mmになるように調整した。

表-2 コンクリートの配合

W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)			
(%)	(%)	C	W	S	G
54.1	43	320	173	764	1122

(4)測定項目 コンクリート供試体はそれぞれの長さ変化測定後、圧縮強度、静弾性係数、動弾性係数、およびJCIの硬化コンクリート中の塩化物の測定方法(案)に準じ全塩分量(NaCl%)の測定を行った。

3. 実験結果および考察

図-1に実験I, IIにおけるモルタルバーの膨張率と等価Na₂Oの関係を示す。ここで海砂中の塩分量をセメントの等価Na₂Oの換算する場合、等価Na₂O(%)=NaCl(%)×0.53とした。図より、海砂中の塩分量が増すにつれて膨張量は大きくなり、NaOHを添加した場合により多少膨張率が大きくなる傾向にあった。図-2は実験I, IIにおけるコンクリートの膨張率と材令の関係を示したものである。コンクリートもモルタルバーと同様に塩化物が増加するに従い、膨張率も大きくなっているが、モルタルバーの膨張率と比較するとかなり小さいようである。たとえばモルタルではNaCl 0.5%, 0.3%および0.1%の時それぞれ0.29%, 0.23%および0.097%に対しコンクリートでは0.073%, 0.031%および0.016%であった。NaOHを添加した場合も同様である。これは、反応性骨材とセメント量の比がコンクリートの場合とモルタルでは異なることや、骨材の粒径、表面積の相違が影響しているためと思われる。図-3は実験IIと同一条件で外部から侵入する塩化物に対する膨張率と材令の関係を示した実験IIIの結果である。材令13週までは徐々に膨張しているが材令20週付近で急激に膨張し、材令34週以降で収束する傾向にあり長期間にわたって膨張が進行する特徴が認められた。これは、いずれの供試体の場合でもクラックの発生後(約0.03~0.05%)に膨張が進行しており、このクラックから塩

分の浸透が起こり膨張の促進につながったものと考えられる。また、実験Ⅱの海砂中の塩分量0.1%, 0.3%および0.5%の膨張率はそれぞれ0.015%, 0.031%および0.072%に対して塩水を噴霧するとそれぞれ0.079%, 0.15%および0.295%となり4~5倍の膨張を示し塩化物を含まないものでも0.052%でかなり大きい膨張が認められた。このようなことより外部から塩分の侵入の恐れがある場合には十分な注意が必要と考えられる。表-3は各シリーズにおける圧縮強度、静弾性係数、動弾性係数および硬化コンクリート中の表面より2cmの全塩分量を示したものである。表より膨張率の大きいもののほど圧縮強度、静弾性係数、動弾性係数の低下が著しいようである。たとえば、実験Ⅰの $\text{Na}_2\text{O}=2.0\%$ と $\text{Na}_2\text{O}=0.57\%$ 、実験Ⅲの $\text{NaCl}=0\%$ と $\text{NaCl}=0.5\%$ を比較すると圧縮強度が約20%、静弾性係数が約40%、動弾性係数が約33%程低下しており、特に静弾性係数の低下が著しいようである。全塩分量について見ると、塩水を噴霧した場合、コンクリート表面には約0.7%~0.9%の塩化物が蓄積されている。これを等価 Na_2O に換算すると2.6%~3.3%になる。これはセメント(等価 $\text{Na}_2\text{O}=0.6\%$)から導入されるアルカリの約4~5倍になるので、塩分環境下に築造される構造物のアルカリ・シリカ反応試験ではアルカリ量を増やして試験を行うか、塩水噴霧等により厳しい環境下で試験を行い、骨材の反応性を判定しなければならないと考えられる。実験Ⅳはアルカリ骨材反応によるものと思われる構造物の2ヶ所から採取した直径10cmのコアの試験結果である。いずれも圧縮強度が低く、特に静弾性係数は $1.1\sim 1.2\times 10^5\text{Kgf/cm}^2$ と著しく小さい。全塩分量の測定結果では高濃度の塩化物が含まれている。何らかの形で外部から侵入した塩化物がアルカリ骨材反応を促進したものと考えられる。

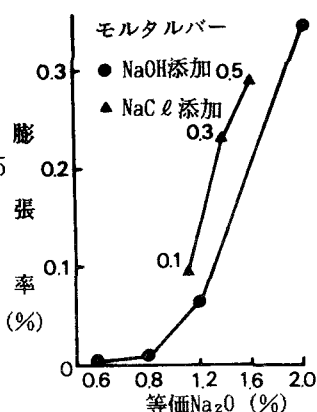


図-1 モルタルバーの膨張率と等価アルカリ量の関係

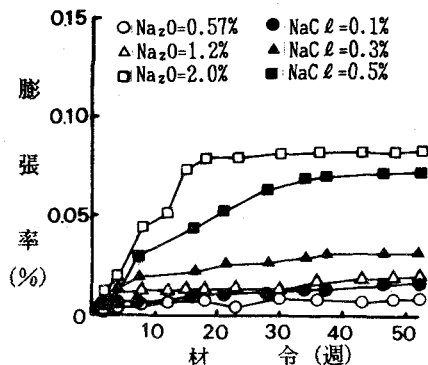


図-2 コンクリートの膨張曲線

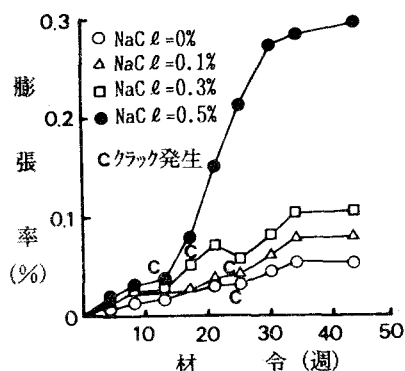


図-3 塩水噴霧試験の膨張曲線

表-3 各実験における強度特性および塩分量

		圧縮強度 (Kgf/cm^2)	静弾性係数 ($\times 10^5\text{Kgf/cm}^2$)	動弾性係数 ($\times 10^5\text{Kgf/cm}^2$)	全塩分量 wt%
I	$\text{Na}_2\text{O}=0.57\%$	365 (100)	2.98 (100)	4.06 (100)	—
	$\text{Na}_2\text{O}=1.2\%$	358 (98)	2.95 (99)	3.98 (98)	—
	$\text{Na}_2\text{O}=2.0\%$	299 (82)	1.83 (61)	3.05 (75)	—
II	$\text{NaCl}=0.1\%$	383 (105)	2.93 (98)	3.88 (96)	0.062
	$\text{NaCl}=0.3\%$	405 (111)	3.38 (113)	3.94 (97)	0.138
	$\text{NaCl}=0.5\%$	387 (106)	3.30 (111)	3.70 (91)	0.245
III	$\text{NaCl}=0\%$	413 (100)	3.22 (100)	4.09 (100)	0.665
	$\text{NaCl}=0.1\%$	408 (99)	3.18 (99)	4.11 (100)	0.786
	$\text{NaCl}=0.3\%$	415 (100)	3.14 (98)	3.81 (93)	0.842
IV	$\text{NaCl}=0.5\%$	321 (78)	1.99 (62)	2.93 (72)	0.905
	コア-A	161	1.11	2.08	0.17
	コア-B	95	1.17	1.88	0.36

4. まとめ 本実験の範囲内で次の事が判った。
 - 1) モルタルとコンクリートでは膨張量が異なる。
 - 2) 海砂中の塩分量が0.1%以上になると膨張量が大きくなる。
 - 3) 海洋構造物あるいは沿岸地帯に構築されるコンクリート構造物のアルカリ骨材反応性試験はアルカリ量を増すか、かなり厳しい環境下での判定が必要と思われる。今後、塩害と合わせて検討する必要がある。
5. 参考文献
 - 1) 添田, 江本, 大和: 反応性骨材を用いたコンクリートの膨張特性, S61 土木学会西部支部
 - 2) 添田, 大和 江本: 反応性骨材を用いたコンクリートの膨張量および細孔構造, セメント技術年報, 40