

海洋環境下における ASR 劣化コンクリートの残存膨張性の評価

金沢大学大学院 ○辻 裕和 東亜建設工業㈱ 羽淵貴士
東亜建設工業㈱ 宮坂尚樹 金沢大学工学部 鳥居和之

1. はじめに

海洋環境下のコンクリート構造物に ASR が発生した場合、海水から供給されるアルカリ(塩化物、硫酸塩)の影響により ASR が促進されることが知られている¹⁾。現在、海洋環境下の ASR 劣化構造物の補修・補強が検討されているが、ASR の進行を予測する際には海洋環境に類似した養生条件下でコンクリートの残存膨張性を評価するのが望ましい。本研究は、コンクリートブロックより採取したコア試験体の 3 種類の促進膨張試験の比較より、コア試験体の残存膨張性に及ぼす促進養生条件の影響について検討したものである。

2. 実験概要

コンクリートの配合を表-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³,全アルカリ量:0.54%, NP(略号))及び高炉セメント B 種(密度:3.04g/cm³,全アルカリ量:0.32%,BB(略号))を使用した。粗骨材は、反応性骨材(R)として石川県能登産輝石安山岩砕石(化学法:有害,Rc=223mmol/L,Sc=609mmol/L)を、非反応性骨材(NR)として三重県鳥羽産カンラン岩砕石(化学法:無害)を使用した。細骨材は千葉県君津市産山砂(非反応性)を使用した。また、コンクリートの練混ぜ時にアルカリ(NaCl 及び NaOH)を等価アルカリ量(Na₂Oeq.)で 10kg/m³となるように添加した。コア試験体(φ55mm)は 20cm×30cm×30cm のコンクリートブロック(密封養生期間:10 日)より採取した。

試験項目はコアの促進膨張試験(JCI-DD2 法(温度 40℃,湿気槽養生),デンマーク法(温度 50℃,飽和 NaCl 溶液浸漬)及び人工海水浸漬法(温度 50℃,3%の人工海水溶液浸漬)),塩分浸透性試験(0.1N の硝酸銀溶液噴霧),ASR ゲルの生成量(酢酸ウラニル蛍光法による蛍光領域の画像解析),水和生成物の同定(SEM-EDX,XRD 及び DSC)などである。

表-1 コンクリートの配合

セメントの種類	空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	砕石(R)	砕石(NR)
NP	2.0	50	40	175	350	721	583	583
BB						716	580	580

※安山岩のペシマム混合率を考慮して、砕石(R)と砕石(NR)を 1:1 に混合した

3. 試験結果及び考察

3.1 コア試験体の残存膨張性

コア試験体の促進膨張試験結果を図-1 に示す。JCI-DD2 法のもは、最大膨張率が 0.4%程度であり、暴露期間とともに膨張が増大した。一方、デンマーク法及び人工海水浸漬法のもは、最大膨張率が 0.4%~0.8%程度となり、外部からのアルカリの供給により JCI-DD2 法のもよりも大きな膨張が発生した。コンクリートに添加したアルカリの影響に関して、NaOH 添加のもは初期の膨張が大きいが、それ以後の膨張が小さくなった。それに対して、NaCl 添加のもは長期にわたり膨張が継続する傾向があった。また、同一の促進養生条件下の比較では BB は NP よりも膨張が大きくなる場合があった。BB は NP よりもアルミナ分を多く含むことから判断して、BB 中の活性の大きなアルミナ分が添加した NaCl やその後外部から供給された NaCl 溶液、人工海水と早期に反応することにより、フリーデル氏塩及び水酸化物イオンが多量に生成され、ASR が進行する環境が形成されたことによるものと考えられた。

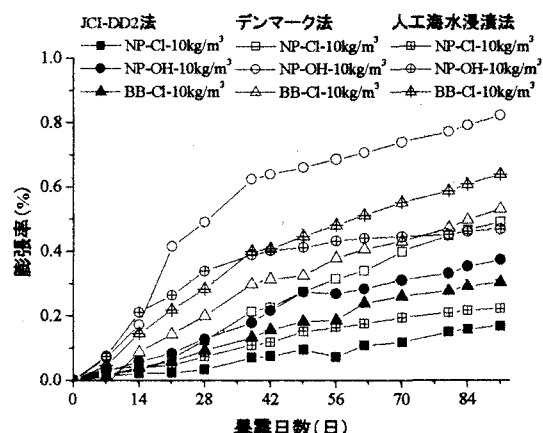


図-1 コア試験体の促進膨張試験結果

3.2 ASR ゲルの生成量とコア試験体の膨張率

酢酸ウラニル蛍光法により測定されたコア試験体の割裂断面における ASR ゲルの生成量(画像解析により蛍光領域を測定)とコア試験体の膨張率との関係を図-2 に示す。NP 及び BB ともに大きな膨張を示したコア試験体では安山岩粒子の周囲に多量の ASR ゲルが生成しているのが観察された。コア試験体の骨材分布には変動が存在するが、コンクリートの種類及び促進養生条件には無関係に、コア試験体の ASR ゲルの生成量(蛍光面積率)と膨張率との間には直線的な比例関係が存在した。しかし、NP-OH-10kg/m³ の人工海水浸漬法、BB-Cl-10kg/m³ のデンマーク法及び JCI-DD2 法のものには直線関係から外れており、生成した ASR ゲルの化学組成の変化がコアの膨張に及ぼす影響を含めて、今後さらに検討する必要がある。

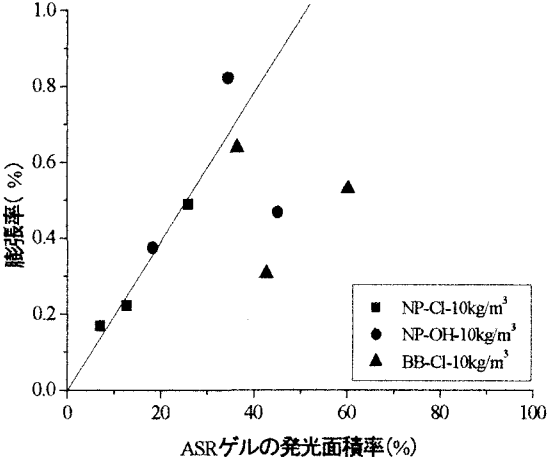


図-2 ASR ゲルの発光面積率及び膨張率の関係

3.3 塩分浸透深さと水和生成物の種類

コアへの塩分の浸透性(養生期間:91 日)は、人工海水浸漬法では NP は完全に浸透していたが、BB は表面から 15mm に塩分の浸透が留まっていた。それに対して、デンマーク法では NP 及び BB ともに塩分が完全に浸透していた。NaCl を添加したコア試験体の促進養生後の XRD 結果を図-3 に示す。デンマーク法では NP は Ca(OH)₂ のピークが残存していたが、BB は Ca(OH)₂ が完全に消失していた。人工海水浸漬法でも NP 及び BB で Ca(OH)₂ のピークには同様の傾向が認められたが、促進養生期間中の Ca(OH)₂ の減少はデンマーク法よりも小さくなった。また、人工海水浸漬法のものでは BB は NP よりも大きなフリーデル氏塩のピークが存在しており、練混ぜ時に混入された NaCl により ASR が促進されたことが裏付けられた。さらに、デンマーク法では、Ca(OH)₂ のピークの消失より判断して、フリーデル氏塩の生成とともに NaCl 溶液の浸透により Ca(OH)₂ の分解が生じ、この過程で生成した水酸化物イオンにより ASR が促進され

たものと考えられた。さらに、エトリンガイトはいずれの促進養生の場合も同定されなかったことから、今回の促進養生条件下ではエトリンガイトの生成はコアの膨張には大きく関与していないものと推察された。

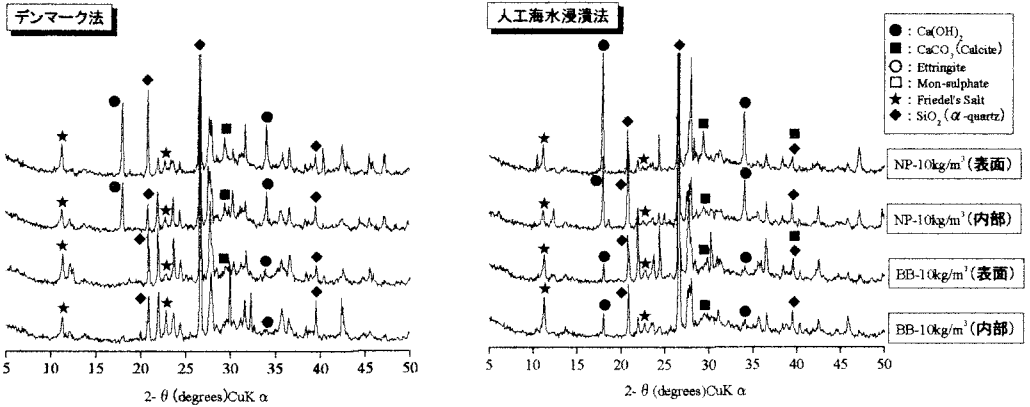


図-3 NaCl を添加したコア試験体の XRD 結果(デンマーク法及び人工海水浸漬法)

4. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると次のようである。①コアの促進膨張試験において、デンマーク法及び人工海水浸漬法は JCI-DD2 法よりもコアの膨張が促進され、早期の判定において有利となった。②促進養生条件に関係なく、コアの膨張率と ASR ゲルの生成量との間には比例関係があった。③BB の ASR 抑制効果は外部からの塩分浸透の低減に寄るものが大きく、ある限量以上の NaCl が混入された場合には BB でも ASR が発生する。

【参考文献】

1) 羽瀧貴士 他:海洋環境下におけるコンクリート構造物の ASR 損傷度の評価,コンクリート工学年次論文集,Vol.25,2003.7