

急速膨張性および遅延膨張性骨材を用いたコンクリートにおける ASR 膨張挙動の予測

(独)国立環境研究所 正会員 山田 一夫, 大迫 政浩
(株)太平洋コンサルタント 正会員 ○小川 彰一
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴, 山本 大介
(独)港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎

1. はじめに

アルカリシリカ反応(ASR)による構造物劣化は長期にわたって生じ、例えば、塩害や中性化のように劣化因子のコンクリートへの浸入の基づく将来予測とは異なり、経過年数によって膨張劣化がどのように進行するか予測する手法が確立されていないため、構造物の条件や重要性に応じた抑制対策や維持管理での対応を困難としている。ASRのコンクリートプリズム試験(CPT)を用いた加速試験は、骨材のペシマム現象、フライアッシュ(FA)や高炉スラグ微粉末(BS)などの混和材の効果、あるいは遅延膨張性骨材の評価に有用であると考えられ、用いる材料に応じた膨張挙動も把握できる。加速試験では、温度およびアルカリ総量の主に2つの加速要因があり、これらの膨張挙動に対する影響を把握することで、実際のコンクリートの膨張挙動を推定可能と考えられる。本研究では、アルカリ量および温度を変えた急速膨張性骨材および遅延膨張性骨材を用いた CPT を実施し、混和材の置換効果と、それらを用いたコンクリートの膨張挙動の将来予測について検討を行った。

2. CPT 配合および条件

CPT における配合、試験法および養生温度条件を表-1 に示した。用いた反応性骨材は、ペシマム現象を示すオパールを含有した急速膨張性粗骨材(P)、および、隠微晶質石英を含む砂質岩およびホルンフェルスである遅延膨張性粗骨材(D)の2種類であり、非反応性骨材として石灰石砕石(R)および石灰石砕砂を使用した。水結合材比=55%, 単位水量 $W = 160\text{kg/m}^3$ および $s/a=45\%$ は一定とした。

表-1 CPT 配合および条件

記号	結合材(kg/m ³)			使用粗骨材	R ₂ O(kg/m ³)	CPT試験法	養生温度(°C)
	NPC	FA	BS				
A30	320	—	—	P:R=3:7	1.95~5.5	AAR-3, AAR-4	40, 60
A30 FA25	240	80	—		5.5	AAR-4, JASS5N	60
A30 FA35	208	112	—		5.5	JASS5N	60
A30 BS55	114	—	176		5.5	JASS5N	60
A100	320	—	—	Pのみ	2.48~5.5	AAR-4	60
D100	320	—	—	Dのみ	5.5	AAR-4, JASS5N	60
D100 FA15	272	48	—		5.5	JASS5N	60
D100 FA25	240	80	—		5.5	JASS5N	60

3. 膨張予測方法

膨張予測は、既往の研究¹⁾の方法を用い、モデルとした膨張曲線(図-1)に従うと仮定した。なお、本研究では、アルカリ総量を変えた CPT を実施しているので、最終膨張量 ϵ_{∞} のアルカリ濃度依存性は、実験値から求めた。

4. 結果および考察

(1)CPT から得られたアルカリ総量と最終膨張量 ϵ_{∞} との関係

図-2 に CPT から得られた膨張量の経時変化から求めた、コンクリートのアルカリ総量と最終膨張量 ϵ_{∞} との関係を示した。急速反応性粗骨材を30%とした A30 では、100%とした A100 と比較して、より低濃度のアルカリ総量で最終膨張量 ϵ_{∞} は大きな値を示した。これはペシマム現象によるものである。また、A30 において FA または BS の置換で最終膨張量 ϵ_{∞} は低下した。既往の研究²⁾では、FA 置換または BS 置換による ASR 膨張抑制効果は液相の OH

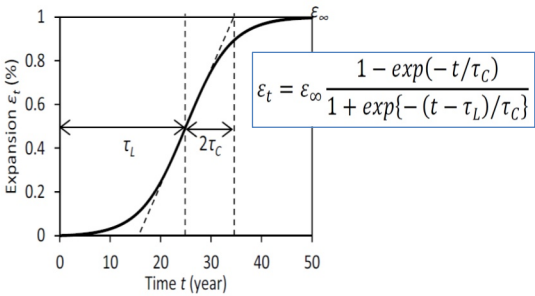


図-1 コンクリートの膨張曲線モデル¹⁾

キーワード：ASR、コンクリートプリズム、将来予測、加速倍率、アルカリ総量、膨張曲線

連絡先：〒103-0004 東京都中央区東日本橋 2-27-8 E-mail: Shoichi_ogawa@taiheiyo-c.co.jp

濃度(アルカリ濃度)で整理できるとされている。そこで、液相のアルカリ濃度 = アルカリ総量と仮定し、CPT における FA および BS を置換した膨張抑制効果をアルカリ総量低下効果であると考え、図-2 に示したように、近似線を用いて ε_{∞} からアルカリ濃度を計算した。得られた結果を、既往の研究²⁾の混和材による液相 OH 濃度を用いて算出したアルカリ濃度低減率との関係として図-3 に示した。各プロットは概ね 1:1 のラインの近くにあり、CPT による加速試験においても混合材添加効果をアルカリ総量が減じたものとして表すことができると考えられる。

(2) 暴露試験体との比較

本研究での骨材 P と同じ骨材を用いた暴露試験体結果³⁾を用いて、暴露試験体の温度が平均気温の 15°C 仮定し、CPT の結果から膨張予測を行った結果を図-4 に示した。膨張予測は、暴露試験体での膨張挙動とは傾向は一致するものの膨張の立上がり時期が合致しなかった。その原因として、膨張予測でのパラメータ τ_L および τ_c の問題であり、膨張予測ではこれら値のアルカリ濃度依存性を考慮していないためであると考えられた。仮に、これらパラメータを平均気温が 22°C として再計算すると暴露試験体の膨張挙動と一致する傾向を得た。膨張挙動の将来予測でのこれらパラメータの設定は、今後さらなる検討を要する。

(3) 遅延膨張性骨材

図-5 に、遅延膨張性骨材を用いた CPT の結果を用いて、FA 置換効果をアルカリ総量低下効果であるとして膨張予測を行った結果を示した。遅延膨張性骨材 D では FA の添加によって膨張は長期間抑制できると考えられる

5. まとめ

本検討で用いた CPT の試験法はすべて同じではなく、また、試験法によってはアルカリが溶脱することが指摘⁴⁾されており、試験中のアルカリ濃度が低下した可能性がある。また、各種骨材の膨張に及ぼすアルカリ濃度依存性のデータは十分ではない。今後、これらの点を解決することで、ASR についても膨張挙動の将来予測が可能になると思われる。

【謝辞】本研究における CPT は、九州大学工学部建設システム工学研究室において烏田 慎也 氏(現 鹿島建設(株))、諸岡 俊祐 氏(現 (株)九電工)の協力を得た。ここに謝意を表する。

【参考文献】

- 川端雄一郎, 山田一夫, 小川彰一, 佐川康貴: 加速コンクリートブリズム試験を用いた ASR 膨張の簡易予測, セメント・コンクリート論文集, Vol.67, pp.449-455, 2014
- 川端雄一郎, 山田一夫, 松下博通: セメント系材料により生成される水和物の相組成と ASR 膨張抑制効果の関係, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.4, pp.402-420, 2013
- 佐川康貴, 山田一夫, 烏田慎也, 江里口玲: ベシマム現象を示す骨材を用いたコンクリートの加速試験および暴露試験における膨張挙動, コンクリート工学論文集, 2014 (受理済)
- J. Lindgård et al.: Alkali-silica reaction (ASR)-performance testing: Influence of specimen pre-treatment, exposure conditions and prism size on alkali leaching and prism expansion, Cement and Concrete Research, Vol. 53, pp. 68-90, 2013.

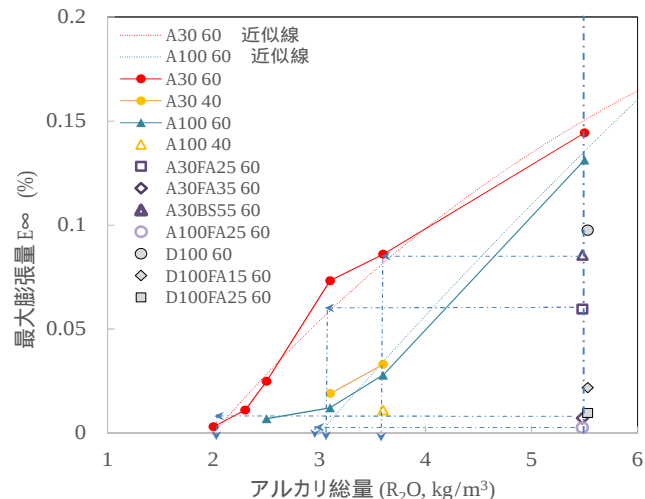


図-2 CPT におけるアルカリ総量と最大膨張量 ε_{∞} との関係

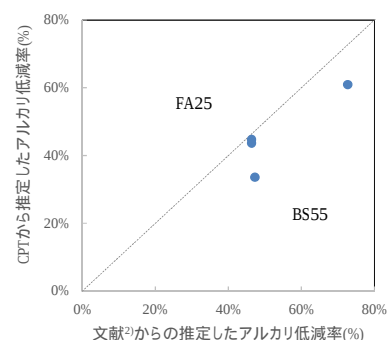


図-3 液相アルカリ濃度に着目した FA および BS 混合効果の比較

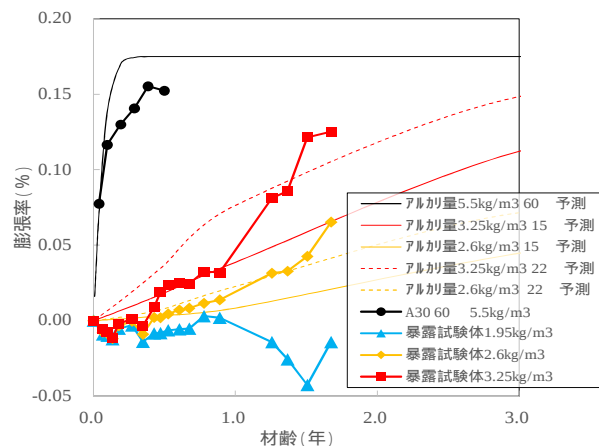


図-4 暴露試験体の膨張挙動と CPT を用いた膨張予測

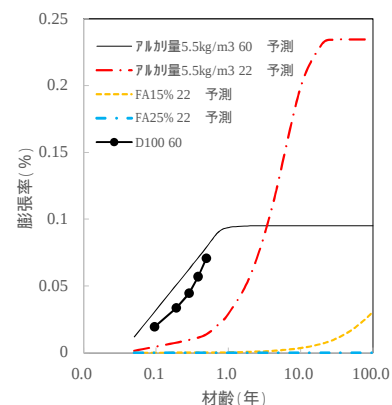


図-5 遅延膨張性骨材の ASR 膨張予測