

ASR 潜伏期に採取したコアの促進膨張試験による残存膨張性の予測

九州大学大学院 学生会員 ○見山 宗士郎 国立環境研究所 山田 一夫
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 九州大学大学院 学生会員 川上 隆

1. はじめに

コンクリート構造物にアルカリシリカ反応 (ASR) が発生した場合、コアを採取し、促進膨張試験を行うことで、構造物で発生している ASR が将来的に有害か無害かを判定する。しかし、構造物の将来的な ASR による膨張の予測という点については、コアの促進膨張試験の環境と実構造物の環境の違いから、正確な予測を行うことが難しい。そこで、本研究では ASR が発生するコンクリートブロックを作製し、ASR 潜伏期にコアを採取し、促進膨張試験を行った。試験の結果から S 字曲線に回帰させる手法を用いて、将来的な膨張挙動について予測を行うことで、各促進膨張試験の結果の比較や、残存膨張性の予測とコンクリートブロックの膨張挙動との比較を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメント（C、密度 3.16 g/cm³）、細骨材には非反応性の石灰石砕砂（S、密度 2.64 g/cm³）を使用した。粗骨材には急速膨張性の安山岩（Gr、密度 2.68 g/cm³）と非反応性の石灰石（Gn、密度 2.70 g/cm³）をペシマム混合比として体積比 3:7 で使用した。アルカリ総量は Na₂O 換算で 5.5 kg/m³ とした。表-1 の配合で幅 400 mm、奥行 400 mm、高さ 600 mm のコンクリートブロックを作製し、材齢 28 日まで型枠を外さずに封かん養生を行った。打設時にコンクリートブロック内にひずみセンサをコンクリートブロック上部の断面中央に三方向に埋設した。

表-1 コンクリート配合

アルカリ 総量 (kg/m³)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					
			W	C	S	Gr	Gn	NaOH
5.5	50	45	160	320	824	307	716	4.785

表-2 促進膨張試驗水準表

供試体名	寸法	促進試験法	促進温度
φ 100-N	直径：100 mm	湿空	40℃
φ 100-AW	長さ：200 mm	AW	
φ 50-AW	直径：50 mm 長さ：100 mm		
φ 50-C	直径：50 mm 長さ：130 mm	アルカリ溶液 浸漬法	80℃

2.2 試験手順

材齢 42 日で、コンクリートブロックから $\phi 100 \text{ mm}$ のコアを 4 本、 $\phi 50 \text{ mm}$ のコアを 2 本採取した（ ϕ ：直径）。コアは採取後に長さ 200 mm、 $\phi 50 \text{ mm}$ は長さ 100 mm と 130 mm になるように切断した。各コアの水準は表-2 に示す通りで、各水準名は「 ϕ 直径-促進試験法」とした。

アルカリラッピング (AW) を行ったものは、1.33 mol/L に調整した NaOH 溶液を含ませた不織布で供試体を巻き、その上からポリエチレンシートで覆った。φ 100-N と φ 100-AW、φ 50-AW は密閉容器内を湿空状態 (R.H.95% 以上) にし、40℃ で保管した。アルカリ溶液浸漬法 (方法 C) は、コアを 80℃ の恒温槽に 2 時間入れ、この状態で初期値をとり、その後 1.00 mol/L に調整した NaOH 溶液に浸漬し、80℃ で促進を行った。測定方法はコンタクトゲージ法を用いて行い、測点間距離は 40℃ で促進を行うものは 50 mm、アルカリ溶液浸漬法は 100 mm とした。

コンクリートブロックは、コア採取後、実験室内に材齢 306 日まで静置した。その後、無収縮モルタルで削孔穴の補修を行い、硬化後に九州大学伊都キャンパス屋外試験場に静置した。長さ測定器（ホイットモア型、標点間距離：250 mm）を用いて表面の膨張率の測定を行い、埋設したひずみセンサを用いて内部のひずみの測定を行った。

3. 解析手法

本研究では既往の研究¹⁾を参考に Larive が提案した式(1)で促進膨張試験の結果にフィッティングを行い、膨張曲線を描いた。その後、既往の研究²⁾を基に、アレニウス則を用いて実環境温度である福岡県前原市の平均気温である 17℃ に補正を行った。補正係数は同じ材料・配合を用いた既往の研究³⁾を基に算出した。

キーワード：アルカリシリカ反応，コア，促進膨張試験，残存膨張，カナダ法

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 TEL：092-802-3387

$$\varepsilon_t = \varepsilon_\infty \frac{1 - \exp(-t/\tau_c)}{1 + \exp\{-(t - \tau_L)/\tau_c\}} \quad (1)$$

ここで、 ε_t ：時間 t における膨張率 [%]， ε_∞ ：終局膨張率 [%]， τ_c ， τ_L ：時間を表す定数 [日] である。

4. 試験結果

図-1 に、実測データを式 (1) に初期材齢に重み付けをした最小二乗法によってフィッティングした結果を示す。 $\phi 100$ -N と $\phi 100$ -AW を比較すると、 $\phi 100$ -AW のほうが膨張挙動の立ち上がりが大きくなり、終局膨張量も大きくなるという予測結果となった。これは、AW により乾燥やアルカリ溶脱が抑制されたことが原因だと考えられる。また、 $\phi 100$ -AW と $\phi 50$ -AW で比較すると、 $\phi 50$ -AW の方が初期の膨張率の上昇率が大きくなる結果となった。これは、コアの寸法が小さい方が内部まで水分が到達する速さが大きく、初期の膨張が速いことが原因と考えられる。しかし、寸法が小さい方が、内部のアルカリシリカゲルが溶出してしまい、膨張が寸法の大きい場合よりも速く膨張が飽和してしまうことが考えられる。

図-2 に、試験によって得られた曲線を実環境の温度で補正を行った結果とコンクリートブロックの膨張率の結果を示す。初期にコンクリートブロックで乾燥収縮が発生したため、膨張の予測の始点を 200 日とした。促進膨張試験により残存膨張を予測した結果とコンクリートブロックの膨張挙動を比較すると、 $\phi 50$ -AW は比較的近い膨張挙動となったが、その他の結果はコンクリートブロックの膨張挙動とは異なるものとなった。これは、温度補正の影響が原因として挙げられる。 $\phi 50$ -AW については、ASR の膨張が速く進み、初期に飽和するため、 40°C から 17°C への温度補正により、ブロックの膨張挙動と同様の動きとなったが、 $\phi 100$ の寸法になると、膨張が長く継続的に生じ、この場合 40°C から 17°C への温度補正では、影響が大きいのだと考えられる。長期的に膨張が継続するという前提で、より緩やかな温度補正を行うことにより、よりコンクリートブロックと膨張挙動が一致する可能性が考えられる。また、 $\phi 50$ -C については、 80°C からの温度補正のため、ほかの条件よりも温度補正の影響が大きくなり、ブロックの膨張挙動と離れてしまったことが考えられる。これは温度補正の方法に依るところが大きく、今後検討を行う必要がある。

5. まとめ

本研究ではコアの促進膨張試験の結果を基に、Larive が提案した S 字曲線に回帰させる式を用いてコンクリートブロックの膨張挙動について予測を行った。結果として、本研究では直径 50 mm で AW を用いた促進膨張試験では比較的近い膨張挙動の予測を行うことができた。しかし、その他の手法ではコンクリートブロックの膨張挙動とは一致せず、緩やかに膨張する予測となった。これは、温度補正による影響が大きいことが原因として挙げられ、今後補正について検討を行う必要がある。各試験法について、より実構造物の膨張挙動に近づけるためには、各促進膨張試験の特徴について検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) Tetsuya Katayama : Accelerated Expansion Test: Japan, Diagnosis & Prognosis of AAR Affected Structures State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 259-ISR, pp.141-173, 2021
- 2) 川端雄一郎, 山田一夫, 小川彰一, 大迫政浩 : 加速コンクリートプリズム試験を用いたコンクリートの ASR 膨張予測に関する試み, 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, Vol.13, pp.453-458, 2013
- 3) Kazuo Yamada, Akihiro Tanaka, Yasutaka Sagawa, Shoichi Ogawa, Takamasa Ochiai : Exact effects of temperature increase and alkali boosting in concrete prism tests with alkali wrapping, Proceedings of 15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, 2016

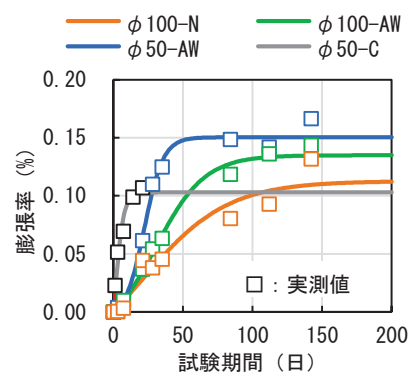


図-1 実測データに基づく膨張曲線

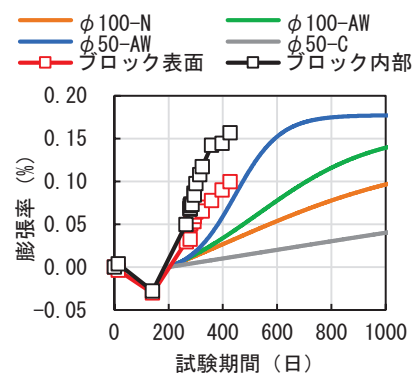


図-2 補正後の膨張曲線とブロックの膨張データ