

## 隠微晶質石英を含む骨材を使用したコンクリートの ASR 膨張の再現

九州大学 学生会員 ○川上隆 港湾空港技術研究所 正会員 川端雄一郎  
 国立環境研究所 正会員 山田一夫 九州大学大学院 学生会員 俵積田新也 村上光輝  
 九州大学大学院 正会員 佐川康貴

### 1. はじめに

アルカリシリカ反応 (ASR) は、アルカリ総量の規制、混合セメントの使用、無害な骨材の使用といった対策によって抑制されているが、コンクリート構造物の将来的な膨張が予測可能になれば、性能照査に基づいてより幅広くコンクリート材料を活用することが期待できる<sup>1)</sup>。ASR によるコンクリートの膨張の予測式が各種提案されているが、実コンクリートの膨張から使用する各種係数を設定する必要がある。しかし、実構造物の劣化には時間がかかるため促進試験で実環境の劣化を再現できるかが重要になる。

既に筆者らは反応性の高い安山岩のペシマム挙動を魚本らが提案する計算モデル<sup>2)</sup> (U.F.O.モデル) を基にして ASR 膨張を再現してきた<sup>3)</sup>。本研究では、カルセドニーと隠微晶質石英を含むチャート骨材を使用したコンクリートを対象に、アルカリ溶液を含有させた不織布で試験体を被覆する室内促進試験 (以下 AW-CPT) の結果の再現を試みた。さらに同じ係数を用い、暴露試験体の膨張挙動と比較し、AW-CPT を基にしたシミュレーションの実環境での膨張予測への適用性を検討した。

### 2. 室内促進試験

#### 2.1 試験概要

本研究で用いた反応性骨材は、少量のカルセドニーを含み、主に隠微晶質、微晶質の石英からなるチャート砕石 (骨材 R) である。化学法 (JIS A 1145) の結果は、 $R_c=86\text{mmol/l}$ 、 $S_c=132\text{mmol/l}$  で「無害でない」である。

表-1 に AW-CPT (75×75×250mm) の条件を示す。いずれも  $W=160\text{kg/m}^3$ 、 $W/C=50\%$ 、 $s/a=45\%$  である。粗骨材に骨材 R を 100% 使用し、細骨材には非反応性骨材である石灰石砕砂を使用した。アルカリ総量 ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ) は練混ぜ水に粒状 NaOH 試薬を添加することで調整した。

#### 2.2 試験結果

AW-CPT の結果のうち、代表的なものを図-1 に示す。同じ温度でもアルカリ量が多いほど膨張率が大きくな

表-1 AW-CPT 試験条件 (75×75×250mm 角柱供試体)

No.	養生温度 (°C)	アルカリ総量 (kg/m <sup>3</sup> )
1	60	5.5
2		4.75
3		4.0
4		3.0
5	40	5.5
6		4.75
7		4.0
8	20	5.5

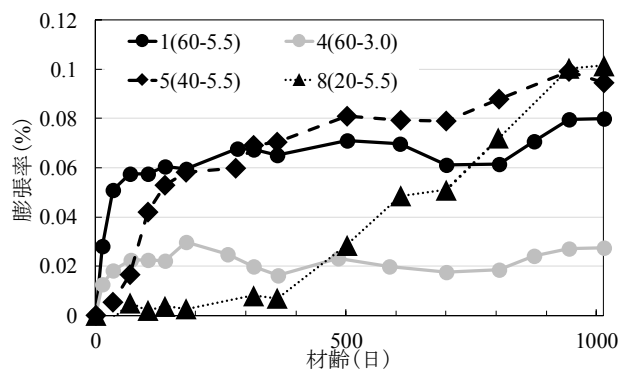


図-1 AW-CPT 結果 (No. 1, 4, 5, 8)

り、養生温度が高いほど膨張の開始時期が早くなるが、最終的な膨張量は小さくなる傾向が読み取れる。このように最終膨張量が温度により異なったのは、養生温度と  $\text{Na}^+$  濃度が高いほどアルカリシリカゲルの流動性が高く、膨張圧が生じにくくなった<sup>2)</sup>ことが要因と推察される。

### 3. シミュレーション

#### 3.1 計算方法

膨張モデルには、ASR の膨張を骨材へのアルカリの拡散律速と仮定した U.F.O.モデル<sup>4)</sup>を、川端らが改良したもの<sup>5)</sup>を使用した。なお、計算に使用する各値は以下の  $h$  と  $E$  を除いて、骨材 R の化学法を基にした複数回の骨材溶出試験によって得たものである。

$$\varepsilon = E \cdot A \sum \beta_i \left( \frac{a_i}{60.08} - \frac{h}{R_i} \right) \quad (1)$$

ここで、 $\varepsilon$ : 膨張率 (%),  $E$ : 膨張寄与生成物量を膨

張率に換算する係数 (%/mol),  $A$ : 単位反応性骨材量 (g),  $\beta_i$ : 全骨材に占める半径 $R_i$ の骨材の比率,  $a_i$ : 半径 $R_i$ の骨材の体積反応率, 60.08: SiO<sub>2</sub>分子量,  $h$ : 単位反応比表面積から膨張を低減する量に換算する係数 (mol・cm/g),  $R_i$ : 骨材半径 (cm) である。

3.2 室内促進試験の再現

$h$  は骨材周辺の空隙などを想定したものであるが、アルカリシリカゲルの粘度が変わることで、充填できる空隙が変化する可能性が考えられる。そこで、前述のゲルの性状による膨張の低減を考慮し、CPT の従来のシミュレーションでは定数としていた  $h$  を温度とアルカリ量の変数と仮定し、各試験体の膨張挙動に合うように値を設定した。 $E$  は一定値とした。シミュレーション結果を図-2 に、用いた  $h$  の値を表-2 に示す。図より、 $h$  を初期の膨張挙動に合うように選ぶことにより CPT の膨張挙動を精度よく再現できていることが分かる。 $h$  は促進条件が厳しい水準でより大きな値となり、低粘度のアルカリシリカゲルが充填する空隙はより多いという想定と合致する。

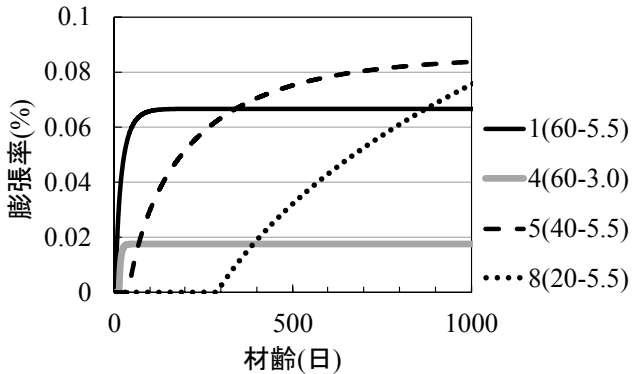


図-2 計算結果 (No. 1, 4, 5, 8)

表-2 フィッティングにより得られた  $h$  の値

$h$ (10 <sup>-4</sup> mol・cm/g)		アルカリ総量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		5.5	4.75	4.0	3.0
温度 (°C)	20	1.0			
	40	1.2	0.8	0.8	
	60	1.5	1.2	1.0	0.5

4. 屋外暴露試験との比較

暴露試験体の配合は AW-CPT と同様で、アルカリ量を 5.5, 3.0kg/m<sup>3</sup> とした 2 体を作製した。試験体寸法は 500×500×600mm で、材齢 30 日で飛来塩分の影響がないとされる九州大学伊都キャンパス内に設置した。

シミュレーションでは、コンクリートの温度は日平均気温と等しいと仮定し、文献 6) を参考に 1mm 以上の降雨があったとき、以後 3 日間を内部が湿潤状態で

ルが吸水膨張するとし、それ以外では計算上、生成物量を蓄積させ、係数の  $E$  を 0 にした。なお、気象データには、暴露場所に一番近い前原観測所の記録 7) を用いた。また、前述の CPT で得た  $h$  の傾向から、「暴露 5.5」と「暴露 3.0」の計算に用いる  $h$  の値をそれぞれ 1.0, 0.5 (10<sup>-4</sup>mol・cm/g) と設定した。図-3 に、計算結果を実線で、試験体の実膨張率を点線で示す。

CPT で得た傾向から設定した係数  $h$  を用いた計算で、「暴露 5.5」については膨張開始時期が精度よく再現できた。「暴露 3.0」については試験体が膨張を開始しているのかまだ判断できないため、今後も観察が必要となる。

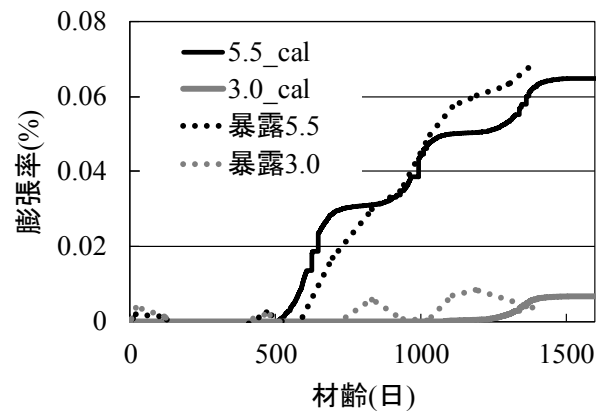


図-3 暴露試験結果とそのシミュレーション結果

5. まとめ

AW-CPT の膨張挙動をシミュレーションで再現する際に、従来の定数  $h$  を温度とアルカリ量の影響があるとした方が再現性が高い結果となった。AW-CPT を基にした暴露試験体のシミュレーションは、精度よく膨張を再現できることが明らかとなった。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 16H04389 の助成を受けたものです。

【参考文献】

- 1) 日本コンクリート工学会: 性能規定に基づく ASR 制御型設計・維持管理シナリオに関するシンポジウム, 2017
- 2) 川端雄一郎, 山田一夫, 柳川貴光, 江藤淳二: アルカリラッピングしたコンクリートブリズム試験におけるコンクリートの ASR 膨張挙動のモデル化, 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, 17 巻, pp491-496, 2017
- 3) 上野貴之, 佐川康貴, 山田一夫, 川端雄一郎: 反応速度論に基づく ASR 膨張モデルと長期暴露試験体の膨張挙動の比較, 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, 17 巻, pp475-480, 2017
- 4) 魚本建人, 古澤靖彦: アルカリ・シリカ反応によるモルタルバーの膨張挙動を予測するモデルの構築, コンクリート工学論文集, Vol.3, No.1, pp.109-119, 1992
- 5) Kawabata, Y. & Yamada, K.: The mechanism of limited inhibition by fly ash on expansion due to alkali-silica reaction at the pessimum proportion, Cement and Concrete Research, Vol. 92, pp.1-15, 2017
- 6) 川端雄一郎, 山田一夫, 小川彰一, 佐川康貴: アルカリラッピングしたコンクリートの促進膨張試験に基づく野外暴露コンクリートの ASR 膨張挙動の予測, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, pp.496-503, 2016
- 7) 気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>(2019.1.8)