

題目 コンクリートのアルカリ骨材反応により生じるゲルの膨張に関する解析的研究

中央大学 理工学部土木工学科 学生会員 ○福田 祐子
中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 非会員 佐々木 崇
中央大学 理工学部土木工学科教授 工博 正会員 大下 英吉

1. はじめに

コンクリートのアルカリ骨材反応は、セメントや骨材から細孔溶液中に侵入するアルカリ金属イオンと骨材内の反応性シリカが反応することにより、膨張性生成物を形成し、コンクリートに亀甲状ひび割れを誘発させるという劣化要因である。しかしながら、アルカリ骨材反応の膨張メカニズムは反応機構が複雑であり化学的観点から検討した研究は少なく、その性状も十分に把握されていない。そこで本研究では、膨張メカニズムの詳細なモデル構築を目的として、k.van Breugel¹⁾による水とセメントの反応により生じる生成物の膨張メカニズムをアルカリ骨材反応における膨張予測手法に適用させ、シリカ粉末を粒径モデルとしてゲルの体積増加率の算出を行った。

2. アルカリ骨材反応による体積変化

2.1 ゲルの体積変化

ゲルの体積増加率はk.van Breugel¹⁾を参考に以下のように決定した。

$$RI_{gel}(\alpha) = \frac{(v-1)\{1-\zeta_{ou}(\alpha)\}\alpha}{\rho_{SiO_2}} \cdot \frac{W_{is}\{G(X_{max})-G(X_{min})\}}{I_{unit}} \quad (1)$$

$RI_{gel}(\alpha)$ ：微視的構造でのゲルの体積増加率

v ：反応物と反応生成物の体積比

I_{unit} ：対象とする微視的構造の体積(nm³)

W_{is} ：微視的構造中のシリカ質量(g)

ζ_{ou} ：外部生成物と外部生成物に取り込まれたシリカの体積比

ρ_{SiO_2} ：シリカの密度(g/cm³)

$G(x)$ ：Rosin-Rommler function

$G(x) = 1 - \exp(-bx^n)$

また、ゲルの体積増加率を材齢で評価するため、次式に示す魚本²⁾の反応度 α を用いる。

$$\alpha = 1 - \left\{ 1 - \left(\frac{K \cdot C \cdot T}{R} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (2)$$

K ：骨材の反応性、温度による影響を示す係数

R ：反応性シリカの半径(nm)

C ：アルカリ濃度(mol/l)

T ：アルカリ骨材反応開始後の時間(週)

2.2 アルカリ溶液の体積変化

アルカリ溶液の体積減少率は、k.van Breugel¹⁾を参考に以下のように決定した。

$$RI_{al}(\alpha) = 0.4\alpha \cdot \frac{W_{is}}{\rho_{al}} \cdot \{1 - \zeta_{ou}(\alpha)(v-1)\alpha\} \cdot \frac{\{G(X_{max}) - G(X_{min})\}}{I_{unit}} \quad (3)$$

$RI_{al}(\alpha)$ ：微視的構造のアルカリ溶液の体積減少率

ρ_{al} ：アルカリ溶液の密度(g/cm³)

2.3 空気の形成

アルカリ骨材反応による空隙中の空気の形成は、k.van Breugel¹⁾を参考に以下のように決定した。

$$RI_{air}(\alpha) = \frac{(0.25 \times 0.25 \times \alpha)}{I_{unit}} \cdot \frac{\rho_{SiO_2}}{(\rho_{al} + \rho_{SiO_2} \omega_0)} \quad (4)$$

$RI_{air}(\alpha)$ ：空気の体積増加率

ω_0 ：水セメント比

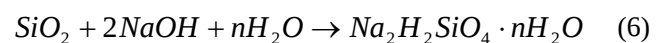
2.4 アルカリ骨材反応による空間体積変化

式(1)、式(3)、式(4)から、微視的構造でのアルカリ骨材反応によるゲルの体積増加率は式(5)のように表される。

$$RI(\alpha) = RI_{gel}(\alpha) - RI_{al}(\alpha) + RI_{air}(\alpha) \quad (5)$$

3. 微視的構造でのゲルの体積増加率の評価

アルカリ骨材反応の反応式は次式で表され、



以下の検討においては、アルカリ骨材反応によるゲルの体積増加率をアルカリ骨材反応の3主要因であ

キーワード；総アルカリ量，シリカ密度，水分吸収量，ゲル，アルカリ骨材反応

連絡先；住所：東京都文京区春日 1-13-27 電話番号：03-3817-1892 FAX：03-3817-1803

る総アルカリ量 $T.A$, シリカ密度 ρ_{SiO_2} , 水分吸収量 n に着目して行った。

図 - 1 は , シリカ密度 $2.63(g/cm^3)$, $n=10$ のゲルの体積増加率を総アルカリ量 $T.A(kg/m^3)$ で評価したものである。この解析結果である $\blacktriangle$, $\blacksquare$ を , 立屋敷ら³⁾の実験における総アルカリ量 $T.A(kg/m^3)$ を変化させたときのゲルの体積増加率である $\square$, $\triangle$ と比較すると , 両者に差異が認められる。しかしながら , $T.A=4.94(kg/m^3)$ では , 同図の点線に示すように解析値を実験値の反応初期材齢と一致させると実験値と解析値はある程度一致することから , 反応可能とな

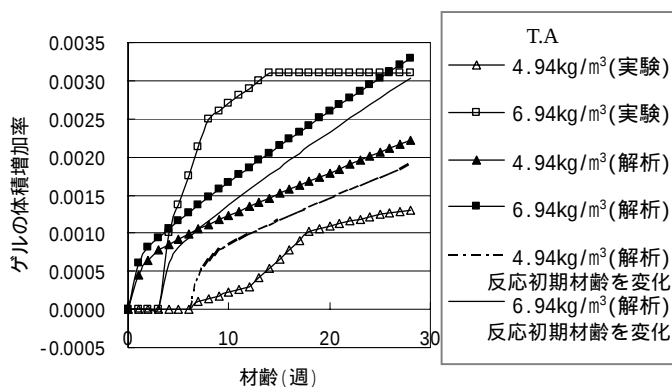


図 - 1 総アルカリ量 $T.A$ によるゲルの体積増加率

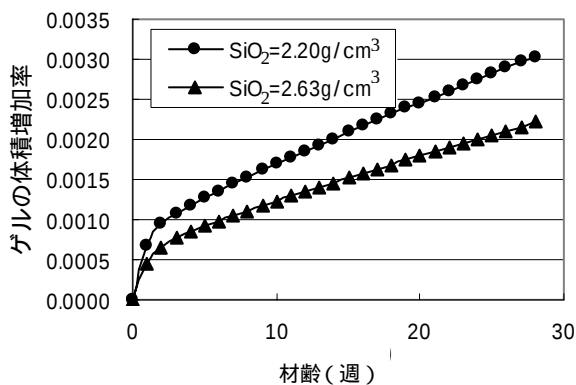


図 - 2 シリカ密度によるゲルの体積増加率

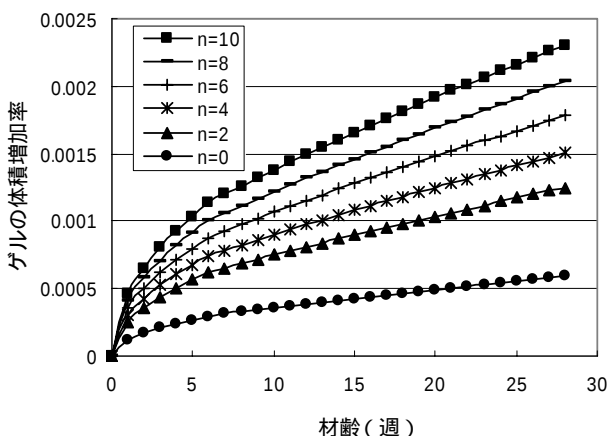


図 - 3 水分吸収量によるゲルの体積増加率

る状態から実際に反応するまでの過程をどのようにモデル化するかが今後の問題である。また , $T.A=6.94(kg/m^3)$ では , 実験値は総アルカリ量が大きいと反応は早い段階で急激に生じる。これは , 解析モデルの影響もあると思われるが , 主に反応度 α に起因するものと考えられる。

図 - 2 は , $T.A=4.94(kg/m^3)$, $n=10$ のゲルの体積増加率をシリカ密度で比較したものである。同図から示されるように , シリカ密度が小さい方がゲルの体積増加率が大きいことが確認できる。このことは , 反応性シリカの密度の小さい方が 1 粒粒子当りの単位質量体積が増えるためである。

図 - 3 は , シリカ密度 $2.63(g/cm^3)$, $T.A=4.94(kg/m^3)$ のゲルの体積増加率を水分吸収量で比較したものである。式(6)から , ゲルに吸収する水分子のモル数 n が多いほど $k.van Breugel$ による v の値が大きくなり , 体積増加率も大きくなる。同図から示されるように , 吸収する水分子が多いほどゲルの体積増加率は大きい , 水分子が吸収することによって , 体積増加率が著しく大きくなることがわかる。したがって , 水分吸収が膨張に大きく影響していることがわかる。

4. まとめ

以下に本研究で得られた結論をまとめる。

- 1) $k.van Breugel$ を参考にし , アルカリ骨材反応により生じるゲルの体積増加率を算出した。
- 2) 3 主要因は共にゲルの膨張に大きく起因する。
- 3) アルカリ骨材反応により生じるゲルの体積増加率を評価するにあたって反応度 α の式をより詳細に検討する必要がある。

参考文献

- 1) K.van Breugel : Simulation of hydration and formation of hydration and formation of structure in hardening cement- based, pp.17-22, pp.145-176,1997
- 2) 魚本健人 , 河合研至 : アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化予測に関する基礎的研究 , コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関するシンポジウム論文集 , pp.31-38,1988.4
- 3) 立屋敷久志ほか : 大型供試体によるアルカリ骨材反応の劣化特性 , コンクリート工学年次論文報告集 , Vol.12, No.1, pp.801-806,1990