

(V-3) アルカリ・シリカ反応のモデル化における 拡散係数の取扱い

芝浦工業大学	学生会員	○小山理恵
芝浦工業大学	正会員	矢島哲司
鹿島技術研究所	正会員	古澤靖彦
東京大学生産技術研究所	正会員	魚本健人

1. 目的

拡散律速理論に基づくアルカリ・シリカ反応(ASR)の進行を予測するモデルを提案する。筆者らは、既にFickの拡散方程式を簡略化してモデルを構築し¹⁾、モルタルバーの膨張挙動をある程度予測できることを明らかにしているが、そこで用いられた骨材中のアルカリの拡散係数は様々な要因の影響を含むみかけの値である。ここでは、アルカリの骨材中における真の拡散係数と、骨材の有効アルカリ消費容量の考え方によってモデルを整理し、より厳密な解析を行うことを目的とする。

2. モデル

ASRが、コンクリート中の骨材の表面から内部方向へ、図-1に示すように一次元的に進行すると仮定し、その速度がアルカリの拡散によって支配されるとした拡散律速理論に基づき、次式が成立する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + F(x, t; C) \text{ ----- (1)}$$

t : 時間 (hr) x : 骨材表面からの一次元反応量 (cm)

C : 間隙水中のアルカリ濃度 D : アルカリの拡散係数 (cm^2/hr)

$F(x, t; c)$: アルカリの消費を伴う反応

(1)式における関数 F の反応速度は無限大であるので、アルカリの消費速度も無限大である。したがって拡散により骨材中に進入したアルカリは、骨材中のシリカ成分と反応することにより一瞬にして消費されることとなる。しかし骨材中のある部位において、アルカリは無限に消費されるのではなく、反応性骨材が単位体積あたり消費するアルカリ量は、単位骨材中の反応性シリカ量 (mol/cm^3) と反応生成物のアルカリ/シリカ比を乗じた値が上限である。本報では、これを有効アルカリ消費容量 SI (mol/cm^3) と定義する。

実際の計算は、(1)式を骨材表面からの距離(x)と時間(t)に離散化して差分法を用いて行う。上述した考え方により、たとえば時間 t_n において距離 x_m に蓄積されたアルカリ量が SI を超過しなければ、 t_{n+1} における x_m のアルカリ濃度を0とし、超過すれば t_n におけるアルカリ濃度の値 x_m をそのまま保存して、 t_{n+1} における計算を実施する。

例として化学法条件下におけるパイレックスガラスの反応を計算する。パイレックスガラスは、組成のうち80%が反応性成分であるので、単位体積あたりの反応性成分量は $3 \times 10^{-2} \text{mol}/\text{cm}^3$ と求められる。一方筆者らが実施した経時的な溶出試験²⁾によって反応生成物のアルカリ/シリカ比も0.02と求められている。これらより SI は 6×10^{-4} となり、この値を用いて様々な拡散係数における溶出シリカ量を計算した結果を図-2に示す。図-2には同時に、経時的な溶出試験結果の実測値も示したが、この実測値に最も近い挙動を示す計算値を曲線近似によって求め、そのときの拡散係数を真の拡散係数と定める。このようにして求められた真の拡散係数は 3×10^{-10} となり、一方既存の方法によって求めたみかけの拡散係数は

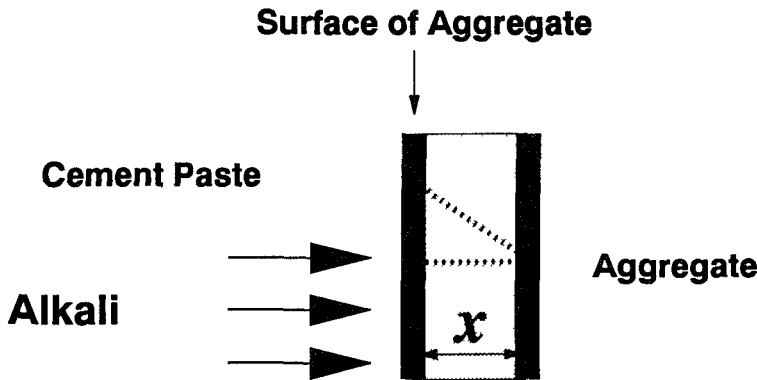
3. 86×10^{-10} であり²⁾、差を生じていることが分かる。拡散係数の温度依存性や、他に反応律速などの問題を解こうとする場合、少なくとも反応系の拡散現象は鉱物組成の影響などを分離して、厳密に解く必要がある。したがって、このような将来的な研究には、本報で提案する真の拡散係数を用いるべきである。

3. まとめ

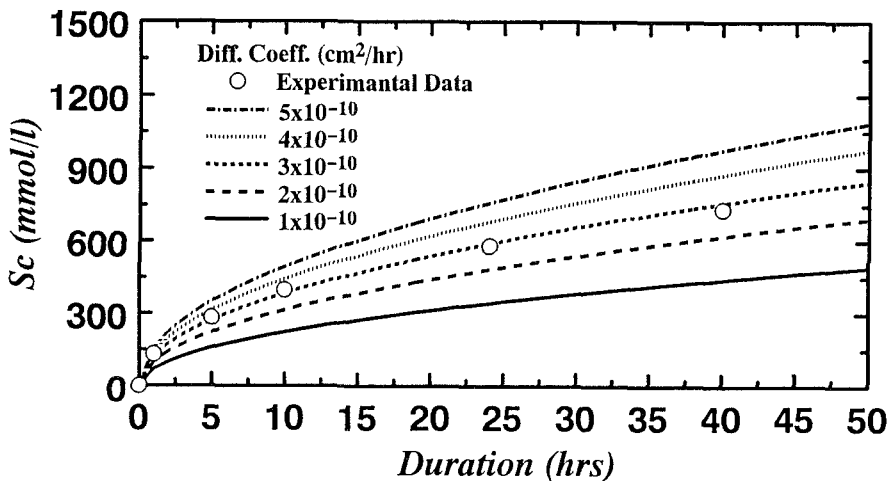
本報では、反応性骨材の組成（反応性シリカ量）を考慮して導入した”有効アルカリ消費容量”を用いて、モデルを厳密に表現した。上述したように、この厳密なモデルの適用には、骨材の単位体積あたりの反応性成分量などの鉱物学的な情報が必要となる。今後は、多くの試料について鉱物学的な組成を分離した真の拡散係数を解析的・試験的に求めていく予定である。

<参考文献>

- 1) 古澤、魚本：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, JCI, 1992.1 pp.109-119
- 2) 古澤、魚本：アルカリ・シリカ反応の進行を定量的に予測する新しい判定システム、コンクリート工学論文集Vol. 3, No. 2, JCI, 1992.7 pp15-25



図－１ ペーストと骨材の界面における反応の進行



図－２ 化学法条件下におけるパイレックスガラスの反応の進行