

岩盤に長期間接していたコンクリートの変質状態の逆解析と超長期の変質予測

東京電力（株） 正会員 蓮本 清二 内田善久

東電設計（株） 正会員 橋本 淳 谷 智之 池谷 貞右

（株）大林組 技術研究所 正会員 ○斉藤 裕司

1. まえがき

地下の岩盤と接しているコンクリートでは地下水の作用を受けて水和生成物が徐々に溶解していくが、長期間に及ぶその挙動を予測するためには、数値解析的手法が不可欠と考えられる。斉藤らは、その一手法を提案し、その適用性を検討している^{1,2)}。本報では、約70年以上経過したダムの変質部から採取したコアの水和組織の変質状態を逆解析するとともに、約10万年間の変質状態を予測してみた。

2. 解析対象

今回、解析の対象としたコンクリート構造物は二つのダム(A,B)である。Aダムは約90年間、Bダムは約70年間それぞれ供用されてきている。それぞれの岩着部から採取したコアの内、変質範囲が異なる2種類を選択した。Aダムでは表面から約1.6mm、Bダムでは約7mmの範囲の水和組織が溶脱によって変質していた。

また、Aダムの岩盤は緻密な熔結凝灰岩で、Bダムの岩盤は比較的ポラスな火山砕屑岩であった。

3. 解析モデル

計算に用いた基礎方程式は(1)式に示す物質移動を扱う一次元の一般式である。本解析モデルの特徴は、(2)式に示すように、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶解に伴って拡散係数が変化するとしたことである。また、 Ca^{2+} イオンの拡散速度は、水和生成物の溶解速度に対して無視できるほど小さいため、細孔溶液中の Ca^{2+} イオン濃度は常に当初の濃度が維持されているとし、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が溶解した部分ではC-S-Hの溶解が生じることとして、水和生成物の溶解をモデル化している。更に、表面からの Ca^{2+} の逸散を表現するために拡散係数を境界条件として与えている。計算には差分法を適用している。本モデルをモルタル試験体を用いた室内での溶出試験結果の解析に適用したところ、水和生成物の溶解モデルに改良の余地が残されているものの、適用可能と判断できる結果が得られている^{1,2)}。

4. 解析条件

変質状態を逆解析するに際して用いた試験体の種類による入力定数を表-1に示す。これらはコアの実測値である。特徴として $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の含有割合

が非常に少ないことが指摘でき、溶脱に対する抵抗性が大きなコンクリートと判断できる。 Ca^{2+} イオン濃度は20mmol/lの値を用いた。また、計算条件なる単位セルの大きさと時間ステップは、変質範囲が大きかったBダ

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} + R \quad (1)$$

ここに、

C ; Ca^{2+} イオンの濃度 [mol/m³]

D ; Ca^{2+} イオンのみかけの拡散係数 [m²/sec]

U ; Ca^{2+} イオンの移動速度 [m/sec]

R ; 化学反応に伴う Ca^{2+} イオンの溶解または沈殿量 [mol/m³・sec]

$$D = D_0 + (D_1 - D_0)(1 - \text{CHx}/\text{CHi})^2 \quad (2)$$

ここに、

D_0 ; 未変質部の Ca^{2+} イオンの拡散係数 [m²/sec]

D_1 ; 変質部の Ca^{2+} イオンの拡散係数 [m²/sec]

CHx ; 溶解後の残存 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量 [mol]

CHi ; 当初の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含有量 [mol]

表 - 1 入力定数

解析対象	W/C	S/C	密度 [g/cm ³]	含水率 [%]	CH濃度 [mol/l]	C-S-H濃度 [mol/l]
Mダム	0.37	6.62	2.343	10.4	0.1	2.03
Kダム	0.62	3.84	2.340	9.97	0.01	2.60

水和生成物、溶脱、変質、モデル、逆解析

〒204-8558 清瀬市下清戸 4-640 TEL 0424-95-0976 FAX 0424-95-1091

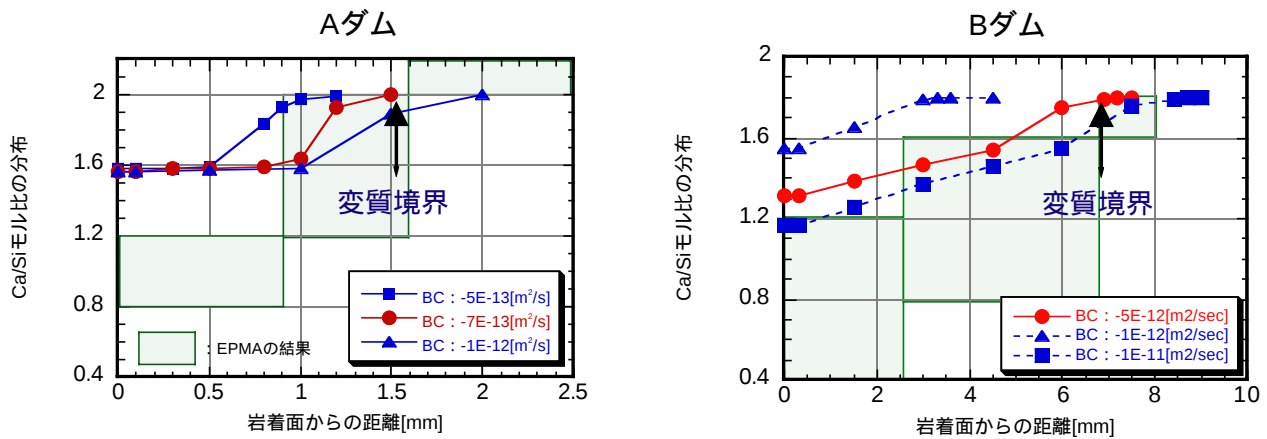


図-1 Ca/Si モル比の逆解析結果

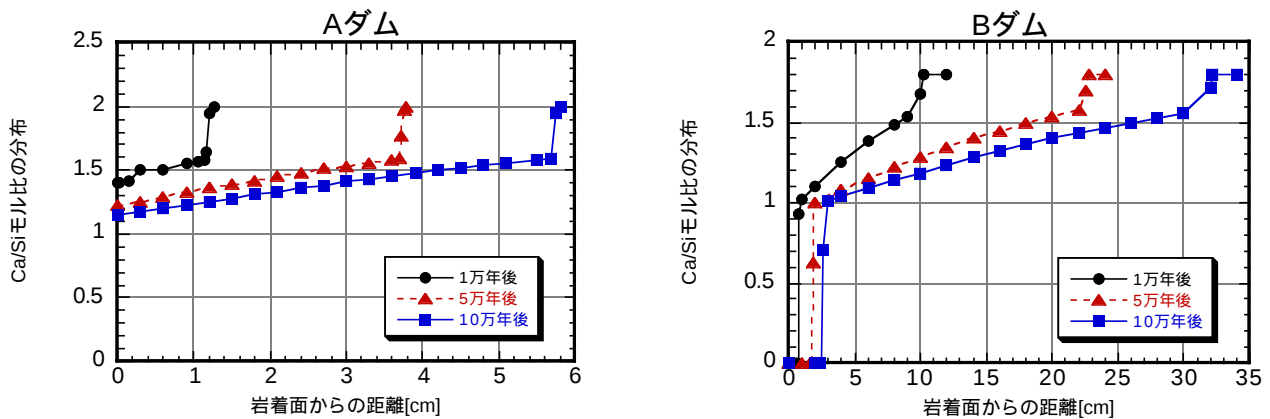


図-2 超長期における変質状態の予測結果

ムの場合は0.03cmと5,000秒とし、変質範囲が小さかったAダムの場合は、0.01cmと500秒にした。

5. 変質状態の逆解析と超長期の変質予測

選定したコアの逆解析結果を図-1に示す。変質程度は境界からの Ca^{2+} の逸散程度を示す境界条件によって異なり、Aダムの場合は $-7\text{E}-13[\text{m}^2/\text{sec}]$ を、Bダムの場合は $-5\text{E}-12[\text{m}^2/\text{sec}]$ を与えた場合に、岩着面に近い位置ほどCa/Siモル比の解析結果が測定値に比べて大きくなる傾向を示しているものの、実際の変質境界と解析結果とが一致した。この際の未変質部の拡散係数は $1\text{E}-12[\text{m}^2/\text{sec}]$ 、変質部の拡散係数は $2\text{E}-12[\text{m}^2/\text{sec}]$ であった。次に、本解析では境界条件として岩盤中への拡散係数を与えてみた。実際の事象では、岩盤の質の相違が水理条件として反映され、それが Ca^{2+} の逸散速度とリンクしていると推察されるので、それらを関連付ける必要があり、今後の課題である。

参考までに、同じ解析条件で10万年間の計算を行った結果を図-2に示す。変質が大きかったBダムでは、岩着面から約32cmまでCa/Siモル比の減少が認められ、しかも約3cm迄はC-S-Hまで消失してしまう結果となった。一方、Aダムでは、Ca/Siモル比の減少範囲は約6cmまでと非常に僅かな範囲に止まり、C-S-Hが消失する領域も生じない結果となった。

6. あとがき

岩着面からのCaの溶出に伴う変質の進行度合いは単に水理条件だけでなく、水質や水和組織の質（特にCHの含有割合に）によっても異なることが予想される。確度の高い長期の変質予測のためには、これらの影響を総合的に考慮できる予測法の確立が必要で、その検証用データ取得のための調査も更に必要となる。

[参考文献]

- 1) 斉藤ほか：セメント水和生成物の溶解に伴う変質予測のモデル化、コンクリート工学論文集、Vol.11、No.1、pp.51-59、2000
- 2) 斉藤ほか： Ca^{2+} の拡散によって生じたモルタルの変質状態の逆解析、土木学会第55回年次学術講演会概要集、2000