

浸漬試験による溶脱コンクリートCa拡散係数の検討

東京電力 正会員 蓮本 清二，内田 善久
 東電設計 正会員 ○中野 靖，南部 茂義，白土 博司
 大林組 正会員 人見 尚，竹田 宣典

1. はじめに

長期に共用されるコンクリート土木構造物は，周囲環境に応じて品質の経年劣化を生じる．特に地下水などに常時接している部分では，カルシウム成分（以下Ca）の溶脱と呼ばれる劣化現象が卓越する．溶脱を起こしたコンクリートはセメントペースト組織の空疎化を招き，強度など品質の低下に至るとされる．本報告では，評価対象とする施設のコンクリート物性の把握を目的として，電気化学的劣化促進試験を施し，溶脱状態を人工的に作り出したコンクリート試験体に対し浸漬試験を行い拡散係数の把握を行った．結果として得られた拡散係数は，溶脱程度に差に対してばらつきが小さい結果となったが，既往の文献で報告されている値にほぼ近い値となり，試験法として満足すべき結果となった．

2. 対象としたコンクリート

対象としたのは，築堤後約50年を経過したダムに用いられた水セメント比60%のコンクリートである．コアボーリングで取り出した堤体内部のコンクリートを試験体に用いた．

3. 劣化促進試験

径が100mmのコアを約1cmの厚さに輪切りにしたものを試料とした．試料は遷移帯の影響を排除するために，貫通骨材の無いものを選んだ．この試料に対し電気化学的劣化促進試験を行った．試料厚さは促進試験後に可能な限り均質に進んだ劣化状態を得られるように設定した．

促進試験は，図1に示すように試料をアクリル板に固定し，その両側から挟むように設置した水槽にイオン交換水を満たし，内部に電極を配置し，通電してCaイオンを移動させるものである．劣化程度の異なる試料を作るため4試料で試験を行った．電極間の電位差は1.5Vを中心に設定した．図2に促進試

験によって溶脱したCa量の時系列変化を示す．それぞれ個体の特徴もあるが，溶出量に差がつく結果となった．

試験後の試料の一部を取り出し，細孔径分布とEPMA観察を行った．表1に細孔径分布測定結果を示す．空隙量にあまり差がみられない結果となった．図3に試料番号2のEPMA観察結果としてCa/Si比を示す．

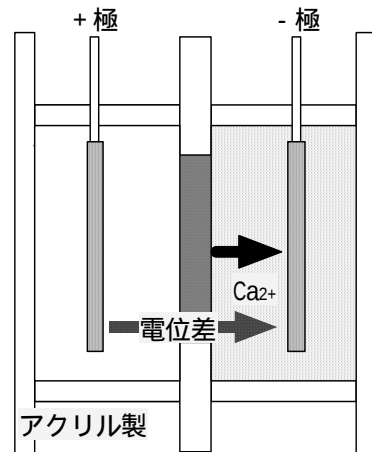


図1：促進試験概念図

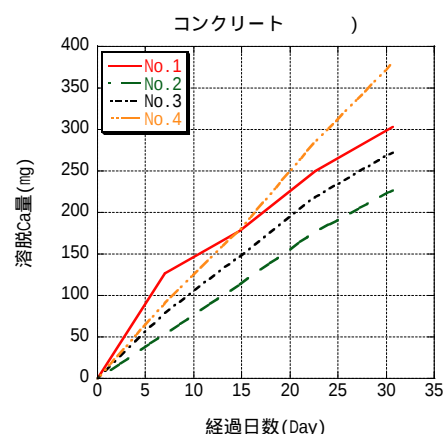


図2：溶脱Ca量

表1：細孔径分布測定結果

試料番号	1	2	3	4
累積細孔容積(ml/g)	0.0841	0.0469	0.0983	0.152
平均細孔直径(nm)	20.3	14.5	15.6	21.1
かさ密度(g/ml)	2.0328	2.3262	1.9524	1.819
空隙率(%)	17.09	10.92	19.18	27.6

4. 拡散係数の算出

促進試験で溶脱劣化させた試料を用いて浸漬試験を実施した．細孔径分布測定やEPMA観察のために切り出した部分は埋めてある．浸漬試験方法は土木学会基準「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオ

キーワード コンクリート溶脱，電気化学的劣化促進試験，細孔径分布，浸漬試験，拡散係数

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3/ TEL：03-4464-5233/ 中野 靖

ンの見掛けの拡散係数試験方法（案）（JSCE-G572-2003）」を参考にした。試験方法は図1の促進試験の両端から電極を除去し、一方を飽和水酸化カルシウム溶液、他方をイオン交換水で満たし、静置し、イオン交換水側のCa濃度の変化を測定した。図4に試料番号2のCa濃度の経時変化を示す。当初の10日までの濃度の上昇は試験体からのCaであるとして排除し、ほぼ線形の挙動に落ち着いた11～25日の値を用いて拡散係数の推算を行った。拡散による濃度変化は、側面拘束下の一次元拡散との解として式(1)に解析的に与えられる。

$$C(x,t) - C_i = C_{a0} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right\} \quad (1)$$

ここで erf はエラー関数， C_{a0} は高濃度側の Ca 濃度 [mmol/l]， C_i は低濃度側の濃度 [mmol/l]， D_{ap} は求めるコンクリート中の拡散係数 [m²/s]， x は試験体の厚さ [m]， t は時間 [s] である。

初期の試験体からの析出の影響による濃度変化を排除するため、式(1)に11日と25日の値を代入し、それぞれを差し引くとそれぞれの日数と拡散係数のみの式が得られる。

エラー関数を解析的に解き拡散係数を求めることはできないため、拡散係数を順次代入し得られた式を満たす値を求めた。結果を表2に示す。一部試験体番号4に関しては、図4のような上昇傾向を示さず、いったん濃度が減少するような挙動を見せ、拡散係数もほかに比べ低い値となった。

各試験体のCaの拡散係数と空隙量との間には、明確な関係を見いだすことができなかった。これは、遷移帯や拡散経路としての空隙が総空隙量とどのような関係にあるかなど、試験体個々の問題を内包しているものと思われ、更なる考察が必要であることを示唆している。しかし、今回求められた拡散係数は、これまでに Buil らなどから報告されているコンクリート中のCaの拡散係数の値とほぼ同等な値である。このため精度の向上などが今後必要であるが、試験法自体は妥当なものとする。

表2：浸漬試験で求めた拡散係数

試料番号	1	2	3	4
拡散係数 ($\times 10^{-12}$ [m ² /s])	2.75	2.85	2.67	1.87

5. おわりに

ダムコンクリートを用い、促進試験と浸漬試験を用いて拡散係数を求めた。当初目的であった劣化状態と拡散係数との関係は見いだすことができなかったが、拡散係数自体は既報告値と同様の範囲であり、試験法自体は妥当なものと考えられる。

今後は試験法の精度向上、空隙量の評価法などについて検討する予定である。

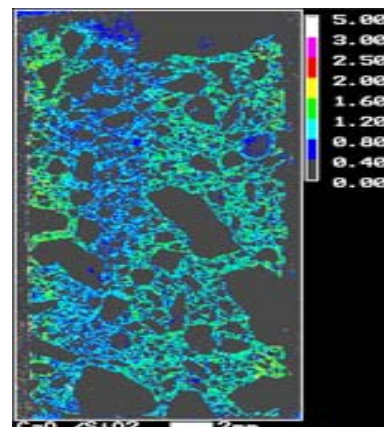


図3：試験体 No.2 の Ca/Si 比

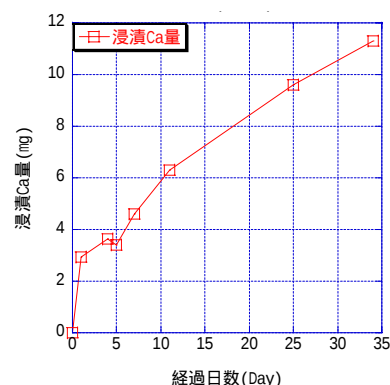


図4：Ca濃度の経時変化

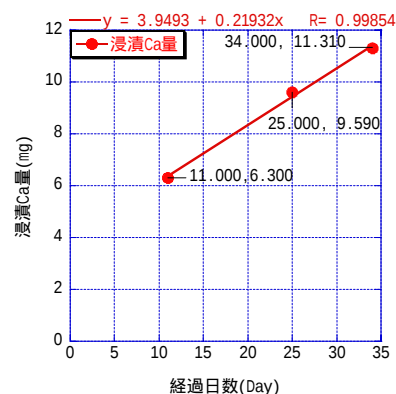


図5：推算に用いたCa濃度

参考文献

- ・土木学会基準「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法（案）（JSCE-G572-2003）」
- ・Buil et al: ASTM STP 1123, pp.227-241, 1992