

EPMA によるカルシウム溶脱程度の定量化の検討

東京電力 正会員 玉井 猛, 久保田 克寿
 東電設計 正会員 中野 靖, 白土 博司
 大林組 正会員 人見 尚, 竹田 宣典

1. はじめに

地下水に常時接しているコンクリート土木構造物は、長期間の供用に伴いカルシウム(Ca)の溶脱が発生し、空隙率の増加や強度の低下により構造物の要求性能を満足できなくなる懸念がある。

本報告では、溶脱程度の指標として用いられているセメントペーストのケイ素(Si)とCaの比(Ca/Si比)に着目し、電気化学的劣化促進試験により溶脱状態を人工的に作り出したモルタル試験体に対しEPMA観察を行うとともに、Ca/Si比を等溶脱面で平均化することで定量的な溶脱程度の把握を試みた。

2. 観察対象とした試料

観察対象としたのは、表-1に示す配合の水セメント比(W/C)30, 55 および 80%の3水準のモルタル試料である。セメント(C)は普通ポルトランドセメント、細骨材(S)は標準砂を用いた。

試料は、直径50mm、厚さ10mmの円盤状に加工し、電位差10Vで9週間の電気化学的劣化促進試験に供し人工的に溶脱状態を再現した。EPMA観察面は、図-1に示すように溶脱面に鉛直な面で切断した断面である。図-2~図-4に上端をCaの溶出側にとったEPMA観察結果を示す。溶脱幅は目視でW/C30%の試料が1.9mm, 55%が2.8mm, 80%が3.8mmとなった。

3. EPMA 結果の定量化

溶脱方向に対し等溶脱面が形成されていることに着目し、溶脱方向を変数にした一次元のCa/Si比分

表-1 モルタルの配合

W/C	S/C	単位量 (kg/m ²)		
		W	C	S
0.30	1.31	258	861	1128
0.55	2.57	286	521	1338
0.80	3.84	298	373	1431

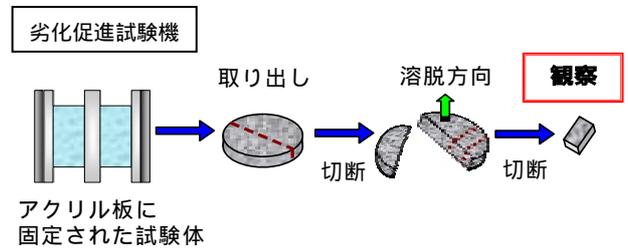


図-1 EPMA：観察手順

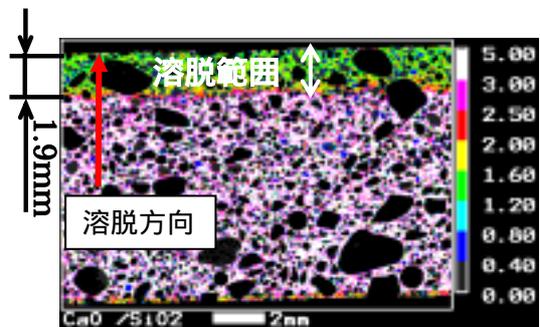


図-2 W/C30%モルタル試料のCa/Si比

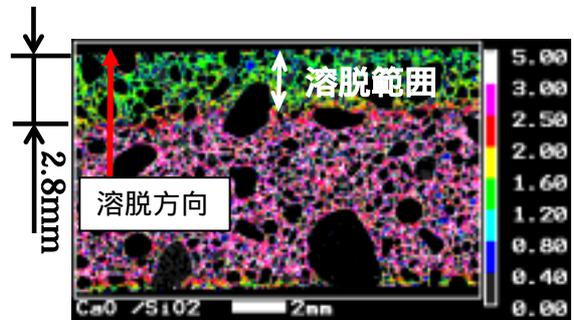


図-3 W/C55%モルタル試料のCa/Si比

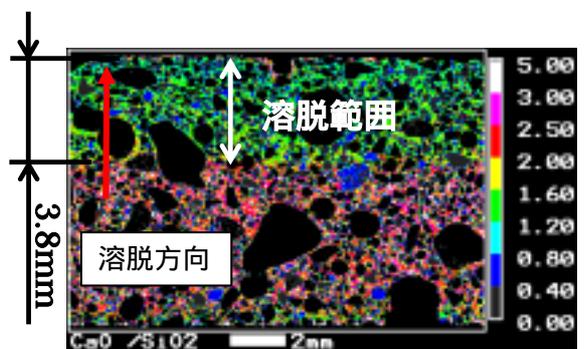


図-4 W/C80%モルタル試料のCa/Si比

キーワード コンクリート溶脱, 電気化学的劣化促進試験, EPMA, Ca/Si比

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

布を求めた。算出方法は図-5に示すように溶脱方向に鉛直な短冊状の400の区分(図中ではA, B, C...)を設定し,その区分に含まれるCa/Si比(図中では a_1, a_2, a_3, \dots)の平均値を求めた。図-6~図-8にW/Cが30, 55および80%の結果を,溶脱面を原点としたCa/Si比の分布を示す。この方法は,塩素イオンの侵入深さを測定する方法を参考にしている。¹⁾

得られたCa/Si比の分布をまとめると以下のとおりである。いずれの試料においても溶脱面から深い部分にCa/Si比が一定の区間があり,溶脱面に近い部分(溶脱面からW/Cが30%で約2.5mm, 55%で約4mmかつ80%で約5mmの範囲)でCa/Si比の減少している区間がみられる。Ca/Si比の減少している区間では, Ca/Si比が1.0前後に収束した後,溶脱面のごく近傍ではほぼゼロまで低下している。溶脱を起こしていない深部のCa/Si比が一定の区間で, W/CによってCa/Si比が異なる。

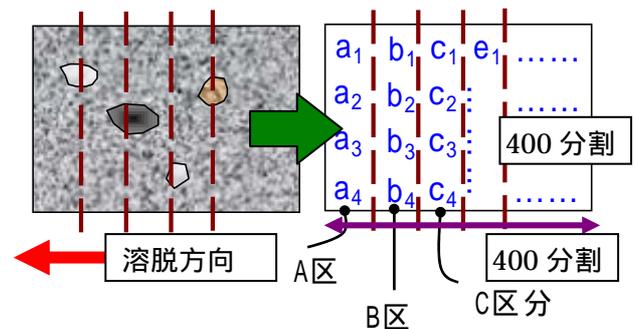
これらの結果に対し,以下の考察を加えた。W/Cが大きい試料ほど空隙率が大きいため,溶脱が深部まで及んでいることが,定量的に確認された。Ca/Si比が1.0前後の区間では,別途実施した示差熱分析で水酸化カルシウム(CH)が検出されなかったことから,CHが消失しているものと判断される。また,溶脱面のごく近傍では,難溶性のケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)まで消失しているものと推察される。EPMAで取得されるCa/Si比のうち, Si成分にはセメント以外に細骨材からの微粉も含まれているため, S/Cの大きいほど細骨材量 Siの量が過大に見積もられ, Ca/Si比が見かけ上小さくなっているものと判断される。

4. おわりに

モルタル試料の溶脱程度として,深さ方向の距離によるCa/Si比の分布を求め,溶脱状況の定量的表現を試み,溶脱面からのCa/Si比の低下範囲としての溶脱範囲を定量的に確認することが可能になった。なお,細骨材微粉のSiをCa/Si比に取り込んでしまうために, Ca/Si比の絶対量がS/Cに依存してしまう点は,今後の検討課題である。

[参考文献]

- 1) 森大介・細川佳史・山田一夫・山本正義, コンクリート中の塩化物イオン濃度プロファイル測定へのEPMAの適用, コンクリート工学年次論文集, pp.867-872, 2004



$$A \text{ 区分の平均値} = \frac{a_1+a_2+a_3+a_4}{\text{総数}}$$

図-5 Ca/Si比の平均値算出方法

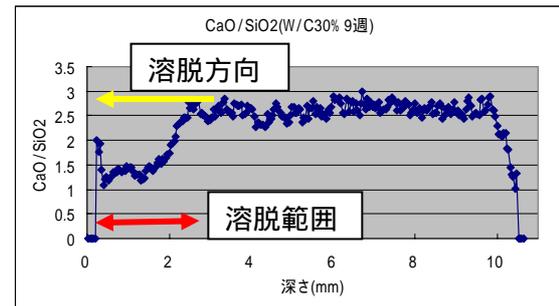


図-6 W/C30%モルタル試料のCa/Si比分布

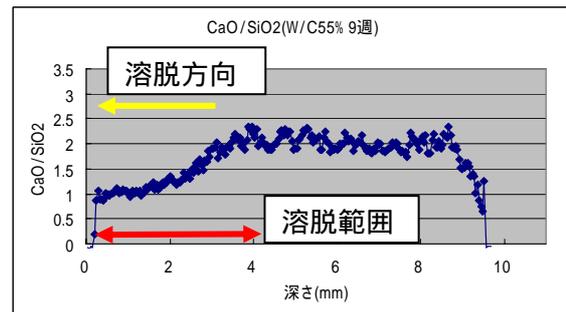


図-7 W/C55%モルタル試料のCa/Si比分布

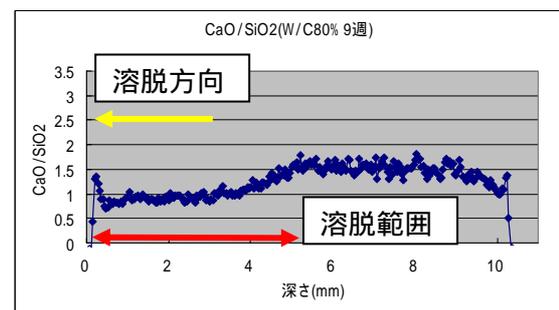


図-8 W/C80%モルタル試料のCa/Si比分布