

カルシウムの溶出によるモルタル硬化体の物性変化

新潟大学工学部 学生員 尾口本一
新潟大学工学部 学生員 大井才生
新潟大学工学部 正会員 久田 真

1. はじめに

カルシウムの溶出現象とはセメント水和物が溶解・変質を繰り返すことによってコンクリートの耐久性が低下する現象である。しかし、溶出現象による硬化体内部の変化については不明確な点が多いのが現状である。

本研究では、水中曝露実験およびカルシウム溶出の促進を図った電気促進実験を通じて、モルタル硬化体の物理的性質および化学的性質の変化について検討を行い、溶出に伴う硬化体のビッカース硬さや、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CSHなどの変化を把握し、各結果の関連性を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合条件

本研究では、普通ポルトランドセメント(密度： $3.15\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積： $3480\text{cm}^2/\text{g}$)を用い、細骨材として豊浦産硅砂、相馬産粗砂及び細砂の3種類を等重量混合で使用し、モルタルを作製した。表1にモルタルの配合一覧を示す。なお、電気促進実験では配合をNo.2で行った。

2.2 供試体の作製

電気促進実験に用いたモルタル供試体は、寸法 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱型枠に打設し、28 日間の湿空養生を行った後、厚さ 20mm の円板上に切断したものを供試体とした。水中曝露実験で用いた供試体は $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ を半分に切断した角柱供試体を用いた。

2.3 電気促進実験の概要

本研究では、モルタル供試体に電位勾配を与えることにより強制的にカルシウムイオン(Ca^{2+})を溶出させるために図1に示すようなセルを用いた。通電条件は電流密度を 1.0、5.0、10.0 A/m^2 の3水準をとり、通電期間は1、2、4及び8週間とした。

2.4 水中曝露実験の概要

角柱供試体はエポキシ系樹脂で5面シールを行い $40 \times 40\text{mm}$ の切断面を曝露面としてイオン交換水に1年間浸漬させた。

2.5 実験項目

(1) 物理的性質：カルシウムの溶出によるモルタル硬化体の物理的性質の変化を把握する目的で、ビッカース硬さ及び細孔径分布を測定し比較検討を行った。

(2) 化学的性質：カルシウムの溶出によるモルタル硬化体の化学的性質の変化を把握する目的で、コンクリートの主要水和物である水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CH)とカルシウムシリケート水和物($\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 、CSH)の定量を行った。試料分析には示差走査熱量計(DSC)を用いた。

表1 モルタルの配合一覧

No.	1	2	3	4	5
水結合材比	0.30	0.55	0.55	0.55	0.55
細骨材量* (%)	50	50	50	50	50
BFS 置換率 (%)	—	—	50	—	—
FA 置換率 (%)	—	—	—	30	—
SF 置換率 (%)	—	—	—	—	10

BFS:高炉スラグ FA:フライアッシュ SF:シリカフューム
*:体積換算

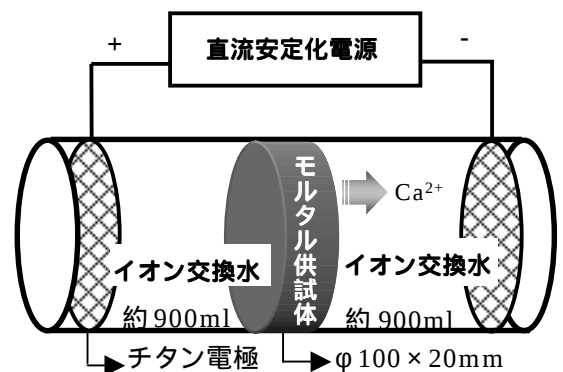


図1 電気促進実験で用いたセルの概略

キーワード：溶出、カルシウムイオン、水酸化カルシウム、CSH、ビッカース硬さ

連絡先：新潟大学工学部建設学科 〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐二の町 8050 TEL025-262-7279

3. 実験結果ならびに考察

3.1 物理的性質に関する検討

図2に、配合 No.2 のビッカース硬さ(HV)の結果を示す。なお、電気促進実験はいずれも通電期間 8 週間の供試体である。これより、水中曝露実験では、10mm 付近まで変化が生じていることが認められる。電気促進実験でも、深さ方向に変化が生じており、電流密度が大きいほど変質深さが増大している傾向がみられた。

図3に、配合 No.2 の曝露部から 2mm の範囲における細孔径分布を示す。これより、各実験とも溶出前と比べ細孔量の増加が見られた。特に、電気促進実験では水中曝露実験に比べ、細孔量の増加が著しく溶出の影響が顕著である。

3.2 物理的性質と化学的性質の関連性

図4に、CH 残存率と HV の関係を示す。なお図では、測定値の最大値を 1.0 として換算した。水中曝露実験においては、配合によらず CH の低下とともに HV の低下が明確である。電気促進実験においては、1.0A/m² で水中曝露実験と同様の傾向を示したが、5.0A/m² および 10.0A/m² では、CH と HV の相関性は認められなかった。

3.3 化学的性質に関する検討

図5に、水中曝露実験ならびに電気促進実験での CH と CSH の残存率の関係を示す。既往の研究¹⁾では、CH の消失後に CSH が溶出しはじめると考えられてきたが、本研究では、配合の違いによって変化はあるものの電気促進、水中曝露実験のいずれにおいても、CSH は CH よりも緩やかではあるが初期から溶出する傾向が認められた。

4. 結論

本研究により以下のことが明らかになった。

- (1) 水中曝露実験と電気促進実験について検討を行ったが、水中曝露実験においても材齢 1 年時点で深さ付近までモルタル硬化体の物理的および化学的性質に変化が現れていることがわかった。
- (2) Ca(OH)₂ に比べ難溶性である CSH も初期から溶出する結果となった。この原因として、水和物自体が持つ溶解度のほかに、水和物の形状の違いによって水と接する面積が異なり、比表面積の大きな CSH が初期から溶出したと考えられる。

参考文献

- 1) 古澤靖彦：カルシウムの溶出によるコンクリート劣化とモデル化に関する研究動向，コンクリート工学，Vol.35，No.12，pp.29-32，1997

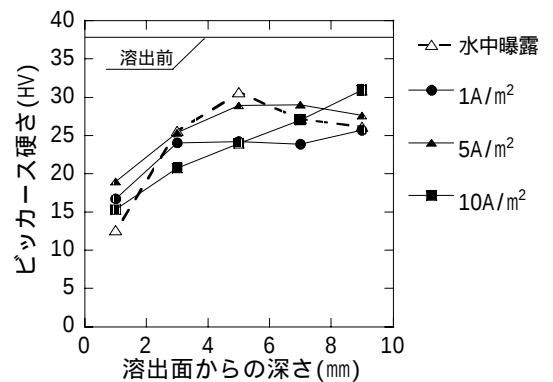


図2 硬化体のビッカース硬さ

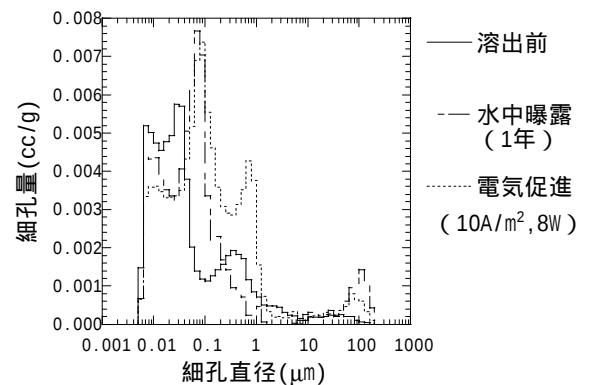


図3 細孔径分布

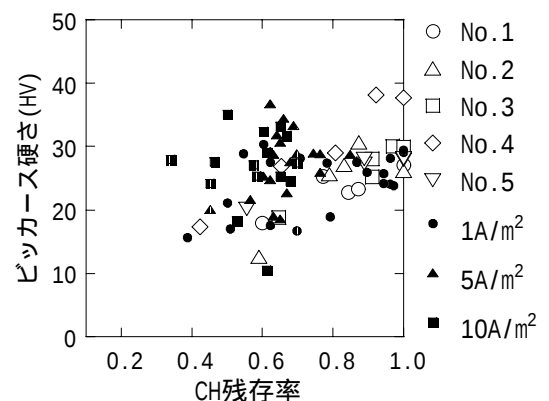


図4 Ca(OH)₂ 残存率とビッカース硬さとの関係

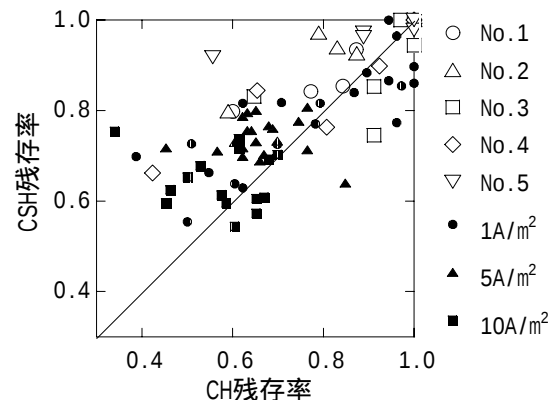


図5 Ca(OH)₂ 残存率と CSH 残存率の関係