

V-243

電気的手法によるコンクリートの劣化促進試験
その1. 各種セメントの劣化特性について

(株)大林組 技術研究所 正会員 田島 孝敏
(株)大林組 技術研究所 齊藤 裕司
(株)大林組 技術研究所 正会員 中根 淳
(財)原子力環境整備センター 藤原 愛

1. まえがき

中・高レベル放射性廃棄物処分施設に人工バリアとしての利用が検討されているコンクリートは、長年月にわたり地下水と接することが予想され、その環境下での劣化機構として、①ごくわずかながらセメント水和物が水に溶解することによる劣化、②地下水に含まれる侵食成分の浸透によって水和物に変質する劣化が想定される。そこで、超長期のコンクリートの変質挙動を予測し、それに伴う諸性能（強度、pH、透水係数など）の変化を把握するため、電気的手法を用いたコンクリートの劣化促進試験法を提案し、それを促進試験法として確立するための試験検討を行ってきた。これまでの成果として、本試験法は水和物が水に溶解する劣化挙動を再現できること、及び水にごく少量含まれている侵食成分による劣化挙動についても適用可能と判断できる結果が得られている^{1,2)}。

本報告は、処分施設用コンクリートへの適用が考えられている5種類のセメントを使用した試験体について劣化促進試験を実施し、セメントの種類と水和物の溶解に伴う劣化との関係を検討するものである。

2. 試験概要

試験内容を表-1に示す。使用セメントはポルトランド系セメント4種類（普通；OP、中庸熱；MH、耐硫酸塩；SR、低熱；LH）と高炉セメントB種（B）の5種類とした。試験体はセメント、豊浦産の標準砂を重量比で1：2に混合し、水セメント比を65%としたモルタル試験体で、20℃の標準水中養生を4週間行った。劣化促進試験では、モルタル試験体を埋め込んだアクリル板の両側にイオン交換水を入れたガラス容器を固定し、その中に電極（白金、SUS）を設置し、3、6ヶ月間にわたり10V/cmの電位勾配を与えた。

試験期間中、変質の進行状況の指標とするため、陰極側から回収した溶液のCaイオン濃度を測定した。所定期間経過後、試験体の変質状況を目視観察して変質範囲を測定した後、変質部と未変質部について圧縮強度を測定した。また、水和組織の変質状況を調べるため、X線回折法によってセメント水和物の種類を、熱分析法によって水和物中のCa(OH)₂量を、化学分析によってC-S-HのCa/Siモル比を算出するとともに、水和組織の微細構造の変化を調べるため、細孔径分布も測定した。

3. 試験結果と考察

3.1 試験開始時の水和物と水和組織

標準水中養生を4週間行った後の試験体に含まれるCa(OH)₂量、およびC-S-HのCa/Siモル比の測定結果を表-2に示す。Ca(OH)₂量はセメントの種類によって異なり、OP、SR、MHは約20%と類似し、LHは12.3%、Bは7.8%と少

表-1 試験内容

試験体	セメントの種類	普通セメント、高炉セメントB種、耐硫酸塩セメント、中庸熱セメント、低熱セメント（ビーライト系）
	配合	セメント：標準砂：水＝1：2：0.65（重量比）
	形状	直径25mm、長さ100mmの円柱状
試験条件	電位勾配	10V/cm
	水質	イオン交換水
	温度	室温（約25℃）
	試験期間	3、6か月
試験装置の概念図		
試験項目	通電状況	・電流と電圧を測定
	処理水の水質	・Ca, Na, Kなどを分析 (JIS K 0102) ・pHの測定 (JIS K 0102)
	試験前の水和組織	・水和鉱物をX線回折、熱分析、化学分析で調査 ・総細孔量、細孔径分布の測定（水銀圧入法）
	水和組織の変質状況	・変質状態を目視観察 ・単位容積質量、含水率の測定 ・水和鉱物の変化をX線回折、熱分析、化学分析で調査 ・総細孔量、細孔径分布の測定（水銀圧入法） ・圧縮強度の変化を測定

ない。これらはクリンカー鉱物組成の違いを反映したものである。一方、C-S-HのCa/Siモル比は各セメントとも2.0～2.1と類似している。また、ここでは結果を明示しないが、細孔径分布の測定結果からBの水和組織は他のセメントに比べて $10^{-3}\mu\text{m}$ の空隙の占める割合が多く、緻密であると判断された。

表-2 水和鉱物の組成（試験前）

	OP	B	SR	MH	LH
Ca(OH) ₂ (%)	21.2	7.8	21.9	19.6	12.3
C-S-HのCa/Siモル比	2.0	2.0	1.9	2.0	2.1

3.2 変質状況

試験開始から3ヶ月、6ヶ月間に溶出したCa量の測定結果、および変質範囲を図-1、2にそれぞれ示す。ここで、単位体積当りに含有されるCa量がセメントの種類によって異なるので、OPの含有Ca量に対する各セメントの含有Ca量の比率により、各々のCa溶出量を換算した。ポルトランド系セメント間では、Ca溶出量の較差はほとんどないが、BのCa溶出量はそれらを下回っており、水和組織の緻密さを反映したものと考えられる。一方、変質範囲については、MH、LHが多少大きめではあるがセメントの種類による差異はさほど認められない。

次にCa溶出量と変質範囲の関係を図-3に示す。Ca溶出量と変質範囲は良い対応を示し、Ca溶出量の増加に伴い変質範囲が線形的に増加する。両者の関係はセメントの種類ごとに若干異なり、Ca(OH)₂含有量が少ないほど上方にシフトする傾向が認められる。

6ヶ月後に測定した変質に伴う圧縮強度変化を図-4に示す。強度変化は同じ期間標準水中養生した試験体の圧縮強度に対する比率で表示した。変質部（区分I）の圧縮強度はいずれのセメントも極端に低下し、圧縮強度比は0.2～0.4となる。一方、変質境界から50mm以上内部側ではいずれのセメントも0.8以上を示しており、この部分の強度低下はほとんどないと判断される。

X線回折による分析では、いずれの試験体においても、変質部はCa(OH)₂が消失してC-S-Hのみが認められた。また、化学分析では、いずれのセメントも、変質部のC-S-HのCa/Siモル比は1.1～1.2と未変質部の1.7～2.0に比べて減少していた。

さらに、試験後の細孔量、細孔径分布を調べた結果、未変質部の総細孔量が約0.1ml/gであったのに対し、変質部の総細孔量は0.17～0.20ml/gと未変質部に比べて2倍程度増大していた。また、いずれのセメントも、Caの溶出に伴い 10^{-3} 、及び $1\mu\text{m}$ 付近の細孔量が増大していた。

4. まとめ

1) Ca溶出量、及び溶出に伴う変質範囲は、セメントの種類によって顕著な差異は認められなかったが、セメントごとに特徴が認められ、セメントの組成に起因する水和組織の違いを反映したものと解釈された。

2) 変質部の圧縮強度は、未変質部に比べて20～40%程度まで低下するが、セメントの種類による差異は特に認められなかった。

【参考文献】

- 1) 斉藤他：Caイオンの溶脱に伴うセメント水和物の変質促進試験法としての電気的手法の適用性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、1994
- 2) 斉藤他：電気的手法による劣化促進試験法の侵食成分による水和物の変質調査への適用性、第48回セメント技術大会、1994

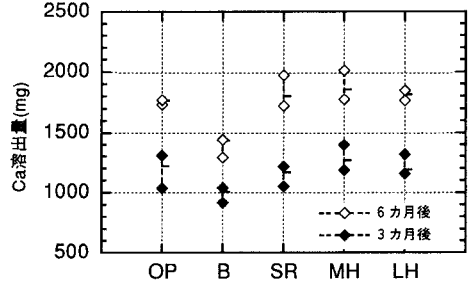


図-1 Ca溶出量の比較

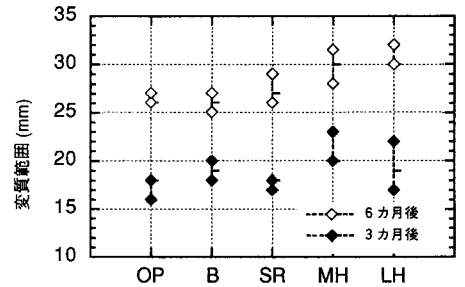


図-2 変質範囲の比較

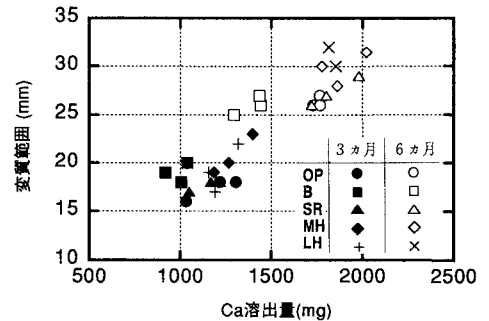


図-3 Ca溶出量と変質範囲の関係

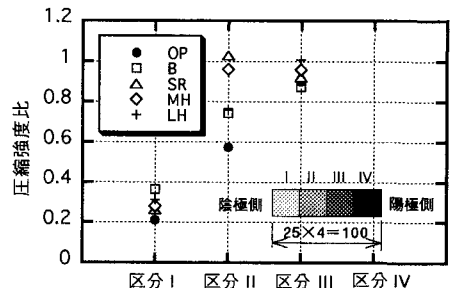


図-4 圧縮強度比（6ヵ月後）