

Ⅲ－31 HNO₃ 溶液の透水による地盤改良用セメント硬化体の化学的溶脱に関する研究

岩 手 大 学 ○学生会員 曾根 学
 岩 手 大 学 正 会 員 大河原文
 北 海 道 大 学 大 学 院 フェロー 三田地利之
 (株)シーウェイエンジニアリング 正 会 員 佐野 彰

1. はじめに

わが国は、環太平洋火山地帯特有の高含水比火山灰質粘性土をはじめとする各種軟弱土が広く分布しており、これらの軟弱地盤を有効利用することは、国土の狭い日本にとっては必要不可欠である。この軟弱土を地盤として活用するためには、地盤としての支持力を向上させなければならない。支持力を向上させる方法として、石灰またはセメント系固化材を添加する方法などが用いられている。特にセメント系固化材を添加する方法は、強度の発現が大きいことから広く用いられている¹⁾。ところで、地中では地下水などとの反応により、セメント系固化材の物理・化学的特性が時間とともに変化し、結果として劣化が進行することが懸念される。しかし、地盤中に施工されたセメント硬化体の長期耐久性については不明な点が多く、その評価が必要である。そこで、本研究ではセメント系固化材の耐久性を評価するにあたり、基礎的データの蓄積を目的に酸性溶液の透水による化学的溶脱について検討したので報告する。

2. 実験試料

試料は、市販の地盤改良用セメント系固化材である。実験に用いたセメント系固化材の物理・化学特性を表.1 に示す。普通ポルトランドセメントに比べ SO₃ が 5～6 倍程度多く含まれている。これは、膨張性化合物（エトリンガイト）の生成を活発にし、この化合物が多くの水分を結晶水として固定できるので、含水比の低下が期待できる。

図.1 に、固化材の SEM 写真を示す。粒子形状は、円磨度が低く角張っているものが多い。

表.1. 固化材の物理化学特性

試験項目		試験成績
密度 (g/cm³)		2.98
比表面積 (cm²/g)		6300
化学成分 (%)	SiO₂	23.1
	Al₂O₃	9.0
	Fe₂O₃	1.7
	CaO	50.0
	MgO	3.2
	SO₃	11.3

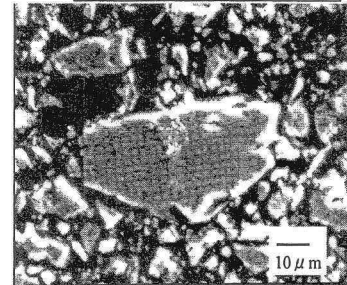


図.1 セメント系固化材の表面形態

3. 実験装置および実験方法

透水実験装置の概要を図.2 に示す、作製した試料を実験装置に取り付け、水頭差 150cm、試料にひび割れが生じにくくするために水槽の温度を 50℃ に設定して透水実験を行った。供試体は、セメントと脱気水を質量比 1 : 1 で 30 分間練り混ぜた後、余分な空気を取り除くため真空ポンプにより脱気したものを φ25×高さ 50mm の塩ビ管に流し込み 24 時間放置することにより作製した。供試体の上面と下面に、供試体直径より 3mm ほど小さくした φ22mm の不透水性アクリル板を取り付け、供試体の周囲だけに溶液が流れるようにした。これは、地盤に杭状にセメントを打設した場合を想定し、硬化体中心に溶液が流れ込まないようにするためである。反応溶液は溶脱の激しい酸とし、実験ではその中でも反応生成塩の溶解度が高い硝酸を選択した²⁾。反応溶液は、pH2、3、4 に調節した硝酸と、比較のための蒸留水とした。実験では、上部から反応溶液を 24 時間毎に水頭差 150cm となるように流し入れた。この操作を 10 日間行い、流れ出た溶液に対し 24 時間毎に pH、電気伝導度 EC さらにには透水量を測定した。透水後の試料、透水前の初期試料については、X 線回折分析による鉱物の同定ならびに EPMA による定量化学分析を行った。酸によるセメントペーストの水和物の分解は、次式の過程が報告されており²⁾、Ca が溶脱する。次式の中では、はじめに溶解度の比較的大きい Ca(OH)₂ が溶出すると考えられる。

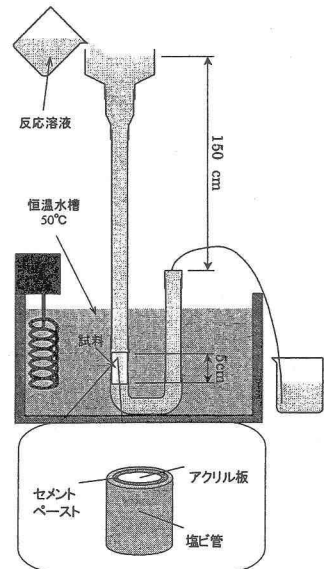
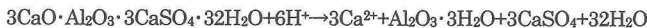
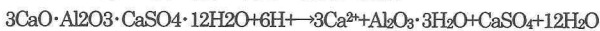
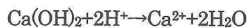


図.2 透水実験装置の概要

4. 実験結果および考察

1) 透水実験による経時変化

透水実験より求めた透水量 Q 、透水係数 k 、電気伝導度 EC 、 pH の関係をそれぞれ図3、4、5、6に示す。透水量については、図3に示されたとおり pH4 の硝酸と蒸留水は1日または2日目、すでにほぼゼロになっている。これは、恒温水槽の温度を 50°C と高く設定していることで、セメントの成分に含まれている SO_3 の作用により、エトリンガイトの生成・膨張が早まり、供試体の周囲と塩ビ管が密着したことが原因と考えられる。このように硝酸 pH4 と蒸留水については、透水量、電気伝導度と pH が測定できず値がないため、透水係数 k を示した図.3ならびに EC と pH を示した図.5、6については pH2、pH3 のデータのみとなっている。

透水係数 k は、図4に示されたように pH2、pH3、ともに $k = 3.5 \sim 7 \times 10^{-5}$ 程度であり、泥炭や粘性土地盤の透水状態を想定したものとなっている。

電気伝導度 EC の初期値（透水前の値）は、図.3に示されたように pH2 が $EC=458\text{ms/m}$ 、pH3 が $EC=38.4\text{ms/m}$ である。透水開始から12時間後には、pH2、pH3 ともに 150 ms/m 程度を示したが、時間の経過とともに初期値に近づいている。実験開始から12時間までの急激な EC 変化は、供試体作製時に使用した蒸留水の流出によると考えられる。

pH は、図6に示されたとおり時間経過とともに溶液の初期 pH に近づいている。とくに pH2 については1日でほぼ初期値に戻っている。これは透水直後にアルカリ性であるセメントペーストと反応することで急激に pH を上昇させたものの、セメントに微量に含まれる Na 、 K を含む溶解度の大きいアルカリ塩がほとんど溶脱し、その後は比較的溶解度の大きい $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を溶脱しつつ初期 pH に近づいていったものと考えられる。このため、pH2 では溶解度の大きいアルカリ塩をほぼ1日で溶脱したと推測することができる。

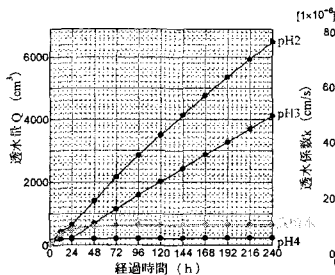


図.3 透水量の経時変化

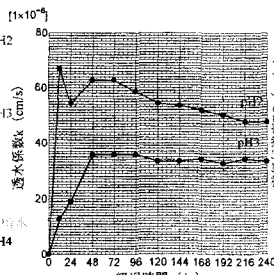


図.4 透水係数の経時変化

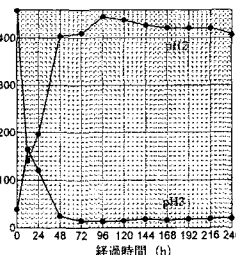


図.5 電気伝導度の経時変化

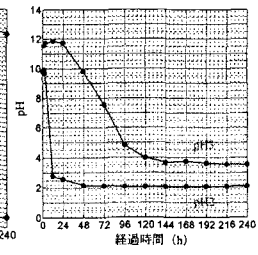


図.6 pH の経時変化

2) EPMA分析結果

透水試験後の試料上部をコンクリートカッターで輪切りにし、切断面を研磨した。研磨面をカーボン蒸着し EPMA 分析を行った。EPMA の分析結果を表.2に示す。表.2は Ca 溶脱の激しいと考えられる pH2 のものを示し、中央を100%とした減少割合で示す。表.2の C、M、E はそれぞれ試料の中心部、中間部(中心から約12mm 外側)、端部を示している。表.2より、中間部と端部において Ca の溶脱が確認され、溶液に直接接触している供試体周囲の Ca 溶出割合は16.2%、中間部でも約10%もの溶出が認められた。

表.2 EPMA 分析結果

	Ca量減少割合(%)
pH2-C	100.0
pH2-M	90.4
pH2-E	83.8

5. まとめ

地盤改良用のセメント硬化体に対して、硝酸溶液を10日間透水して硬化体の化学的溶脱について検討した。得られた知見は以下のとおりである。

1) 透水後の溶液 pH は、透水直後に急激に酸性側に变化する。これは透水直後に硝酸溶液がアルカリ性であるセメントペーストと反応することで、セメントに微量に含まれる Na 、 K などの溶解度の高いアルカリ塩が短時間で溶脱することが原因と考えられる。

2) 硝酸溶液の透水により、 Ca の溶脱が確認された。溶脱割合は、溶液との接触がほとんどない中心部を100とした場合、端部で約16%、中心部と端部の中間(中心より約12mm 外側)において約10%である。

参考文献 1)DJM 工法研究会：粉体噴射攪拌工法技術マニュアル，2003、2)蔵重勲：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状，コンクリート技術シリーズ，53，pp.42-48，2003. 6