

Ⅲ-52 地盤改良用セメント硬化体からの HNO_3 溶液透水による元素溶脱と強度変化

岩手大学工学部 ○学生会員 川崎 正洋
 岩手大学工学部 正 会 員 大河原正文
 北海道大学大学院 フェロー 三田地利之
 兼ソーウェイエンジニアリング 正 会 員 佐野 彰

1. はじめに

軟弱地盤に直接、構造物や道路を建設すると地盤沈下などの地盤工学上の問題が発生することがある。軟弱地盤の支持力を向上させる方法として、セメント系固化材を添加する方法が広く用いられている。地盤中に埋設されたセメント系固化材は、時間経過に伴いポゾラン反応による強度増加が認められる一方で、地下水との反応により劣化することが知られている¹⁾。このように地盤改良用硬化体は、自らの化学反応による強度増加と外的要因による強度低下という逆の現象が同時に進行している。セメントの強度増加については多くの研究があるが、地下水劣化に関する研究は少ない。そこで本研究では、セメント硬化体の地下水による劣化メカニズムの解明に向けて、酸性溶液による硬化体の溶解特性と強度変化について検討した。酸性溶液を用いたのは、近年、地表面付近の地下水が酸性雨の影響を受けて弱酸性となっているからである。

2. 実験試料

実験に用いた試料は、高含水土、泥炭に効果を発揮する市販の地盤改良用セメント系固化材である。固化材の基本的物性値を表1に示す。特徴として、 SO_3 の含有割合が普通ポルトランドセメントの5～6倍も含まれていることである。これは膨張性化合物エトリンガイトの生成を活発にするためで、エトリンガイトは、20日間という試験期間においてセメント硬化体の強度を増進させる役目をする²⁾。

3. 実験装置および実験方法

透水実験装置と供試体部分の概要をそれぞれ図1、図2に示す。透水装置の水頭差は150cm、水槽温度は供試体の劣化を促進するために50℃に設定した。供試体は質量比で水：セメント＝1：1とし、試料の飽和度を高めるため練り混ぜ後に脱気した。これを塩ビ管に流し込み、24時間硬化させたもの供試体とした。また、図2のように供試体上部に供試体直径より直径がφ3mmほど小さいアクリル板を取りつけた。これは、硬化体が地盤に杭状に打設されるのを想定し、溶液が周囲にだけに透水されるようにするためである。反応溶液は、反応生成塩の溶解度の高い硝酸とし³⁾、pH2、3、4に調整したものと比較のための蒸留水を用いた。試験は20日間行い、24時間ごとに水頭差150cmを保つために溶液を足した。流出溶液についても、24時間ごとに流量、pH、電気伝導度EC、元素濃度を測定した。

4. 実験結果および考察

(1) 透水係数 k , pH, EC

20日間の透水試験結果を図3～6に示す。図3より流量 Q は、pH2が直線的に増加しているがその他のものは24時間で急激に減少し、その後はゼロになった。これは試料に含まれる SO_3 の効果で膨張性化合物であるエトリンガイトの生成が活発になり、試料と塩ビ管が付着したためと考えられる。図4に透水係数 k の経時変化を示す。pH2の透水係数は $k = 8.0 \times 10^{-5}$ で泥炭の透水係数が同じく 10^{-5} オーダーであるため、泥炭の透水を想定し

表1 固化材の基本的物性値

化学成分 (%)	密度 (g/cm^3)	2.98
	比表面積 (cm^2/g)	6300
	SiO_2	20.7
	Al_2O_3	7.5
	Fe_2O_3	1.3
	CaO	50.1
	MgO	3.3
	SO_3	16.2

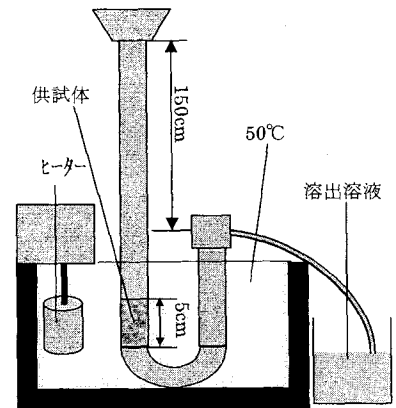


図1 透水実験装置の概要図

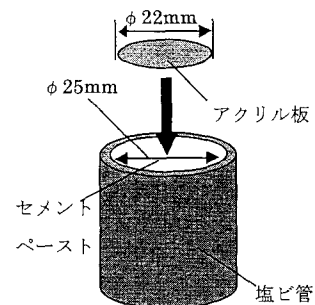


図2 供試体部分の概要図

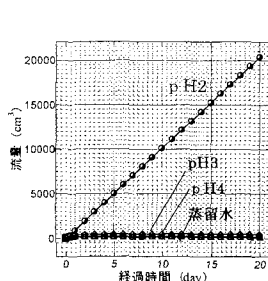


図3 流量の経時変化

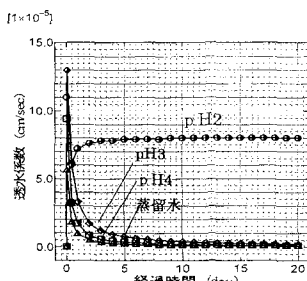


図4 透水係数の経時変化

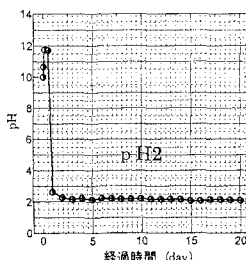


図5 pHの経時変化

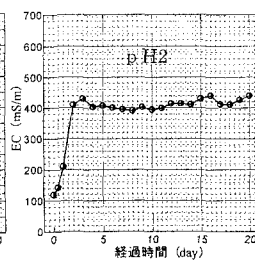


図6 CECの経時変化

たものといえる。よって以後の pH, EC, 元素濃度については pH2 についてのみ考察する。

図5は pH の経時変化を示している。pH は、透水開始直後、pH12 付近まで急激に上昇した。これはアルカリ性のセメントペーストと強酸である硝酸が激しく反応したためと考えられる。その後、12 時間後に約 pH2 まで急激に降下したが、これはセメントに含まれる NaOH, KOH などのアルカリ塩がほとんど溶脱したためと思われる。次に電気伝導度 EC は、図6に示されたように透水開始2時間まで急激な降下が起こった。これは、試験装置組立時に使用した蒸留水が透水初期に流出したためである。その後は初期値の 431mS/m に近づき2日目からは初期値に近い値を示した。

(2)元素濃度

原子吸光分析結果を図6に示す。Na, K が3日でほとんど溶脱している。この溶脱により pH をアルカリ側に急激に降下させたものとみられる。また、Ca 濃度は、実験期間中、連続して減少しているのが認められた。

(3)一軸圧縮強度

一軸圧縮試験結果を表2に示す。蒸留水を透水した試料の一軸圧縮強度は約 1MPa で、バルク試料 0.7MPa より大きい。バルク試料とは、20 日間、室内で養生した硬化体をさす。蒸留水透水試料の強度増加は、前述のとおり蒸留水がおよそ 24 時間で止まってしまったので他の要因による。試験期間中、供試体を入れた水槽は 50℃ に保たれていたために、温度の影響でエトリンガイトの生成が促進され結果として強度が増加したものと考えられる。次に pH2 の硝酸溶液を透水した硬化体の一軸圧縮強度が蒸留水試料の約 10 倍にもなっている。これは、酸の作用によりエトリンガイトの生成がさらに促進されたことが推測されるが、詳細は不明である。

5. まとめ

セメント硬化体に対して硝酸溶液を 20 日間透水して硬化体の元素溶脱と強度変化について検討した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 溶出液の pH は透水開始直後に急激に降下する。これは、硝酸溶液がセメントペーストと激しく反応することにより、セメントに含まれる NaOH, KOH などのアルカリ塩が短時間で溶脱したことによる。
- (2) 一軸圧縮強度は、室温で養生した供試体より 50℃ 供試体のほうが大きい。温度増加によるエトリンガイトの生成促進が原因とみられる。
- (3) 同じく一軸圧縮強度は、蒸留水供試体より強酸性溶液のほうが約 10 倍の q_u 値を示した。エトリンガイトの生成促進によるとみられるが詳細は不明である。

参考文献：1) 林宏親ほか：セメント安定処理土の長期強度特性 その1, 北海道開発土木研究所月報, No.611 号, pp.11-19, 2004, 2) 久田真：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.180-183, 2003, 3) 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.43-48, 2003

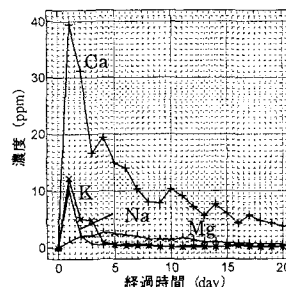


図7 元素濃度の経時変化

表2 一軸圧縮試験結果

試料	q_u (MPa)
バルク	0.72
蒸留水	1.01
pH2	10.51