

生体触媒反応と MAP 法の併用による低環境負荷を特徴とする新規地盤改良技術

広島大学 学生会員 ○三宅 正人

同 上 正会員 畠 俊郎

大 林 組 正会員 井出 一貴

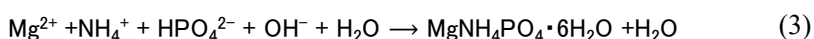
1. 目的

地盤改良手法として現在主流であるセメント系固化剤は、製造時のエネルギー消費が大きいことに由来する環境負荷の観点から使用量の低減が求められてる。このような背景のもと、本研究では製造時に多量の CO₂ 排出を伴わないことに加え、比較的穏やかな環境で反応が進む生体触媒に着目することとした。具体的には、地盤の間隙内に CaCO₃ の結晶を析出させることで土粒子間の結合を促し強度増進効果を得ることや、間隙中に結晶鉱物を析出させて間隙体積を減らすことにより透水性低下効果を得るといった多機能な地盤改良技術としての実用化に取り組んでいる。この、生体触媒に着目した地盤改良技術は実現場への適用を目指し、各所で実験規模の拡大や試験施工といった取り組みが進められている。しかしながら実用化への課題として CaCO₃ 析出過程で発生する NH₄⁺による環境への影響が懸念されている。この、環境への影響が懸念される NH₄⁺の削減手法として、NH₄⁺をリン酸マグネシウムアンモニウム (MgNH₄PO₄・6H₂O) として析出させる MAP 法と EICP を組み合わせる新たな技術を提案する。これにより、地盤改良効果と環境負荷低減の両立が可能になることを期待している。EICP と MAP を併用した地盤改良はこれまで検討されていないため、薬剤の選択と配合の検討を行い、強度との関連性を評価することによって改良効果が期待できるかどうかを明らかにした。試験の結果から、EICP と MAP を併用することにより環境負荷を低減させながら強度の増加が期待できる結果が得られた。

2. EICP と MAP 法について

基本となる EICP では、式(1)、(2)の反応によって CaCO₃ が析出する。式(1)はウレアーゼ陽性菌による尿素の加水分解反応であり、それぞれ MICP では微生物、EICP は酵素を利用している。本報告では適用地盤を選ばないこと、培養にかかるコストが少ないことから酵素固化技術である EICP を採用することとした。環境負荷発生のメカニズムとしては、式(1)に示す通り尿素 1.0 mol から 2.0 mol の NH₄⁺が生成され、この NH₄⁺が土壌微生物由来の硝化反応などにより硝酸・亜硝酸が生成され地下水汚染が発生することが危惧されている。

NH₄⁺の削減と方法として本研究では MAP に着目した。MAP とは Magnesium Ammonium Phosphate の省略であり、化学式では MgNH₄PO₄・6H₂O で表す結晶(Struvite)と呼ばれる白色の無機結晶鉱物である。MAP の析出過程を式(3)に示す。MAP は酸性条件下では析出が非効率であり、pH が 6.5~9.0 の範囲では、pH の上昇に伴い MAP の析出が著しく増加、pH が 10.0 を超えると沈殿速度は急激に低下すると報告されている¹⁾。MAP の適用例として MAP の結晶析出による砂漠の粉塵対策と埋立地の浸出水からの NH₄⁺の削減については検討されているが、EICP による CaCO₃ の析出と MAP の析出を併用した改良は検討されていないことから、有効性について検討することとした。



3. 実験概要

EICP の固化試薬として尿素、塩化カルシウム、ナタマメ由来の精製ウレアーゼを利用した。MAP はリン酸の pH による影響を明らかにすることを目的として 2 種類の配合を検討することとした。Mg²⁺の供給源として MgSO₄・7H₂O を利用し、PO₄²⁻の供給源はそれぞれ溶解後に酸性を示す KH₂PO₄ とアルカリ性を示す K₂HPO₄ を用いた。EICP

キーワード EICP, MAP, 地盤改良, 室内試験

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学先進理工系科学研究科
社会基盤環境工学プログラム 地盤工学研究室 082-424-7784

は CaCO_3 の析出率が砂重量に対して 1.0%, 2.0 %, 3.0 %となる配合で調整し, MAP は予備試験の結果から溶解が可能であることを踏まえて尿素の加水分解反応で発生する NH_4^+ を 50%削減する配合で調整した. EICP の配合が高配合になるほど使用する尿素の量が増えることから発生する NH_4^+ も増加し, 環境負荷を高めることとなるため必要最小量の CaCO_3 析出量で目標とする強度を得られる配合を明らかにすることとした. 改良土の作成は豊浦砂, EICP 試薬, MAP 試薬, 蒸留水を最適含水比となる量を加えてソイルミキサーで十分に混合した. 本研究で検討した試験ケース一覧を表-1 に示している. EICP による改良を A, アルカリ性を示す K_2HPO_4 を使った MAP 法と EICP を併用した改良を B, 酸性を示す K_2HPO_4 を使った MAP 法と EICP を併用した改良を C とした.

4. 実験結果

MAP 併用による NH_4^+ の削減効果について 2.0 %アンモニア水を用いて溶液試験で砂を利用せずに検討を行った. 本溶液試験は予備的検討とし, 計算から求めたアンモニア水由来の NH_4^+ を 25%, 50%削減できる配合で調整した. 次に MAP 併用による改良土の一軸圧縮試験と溶液試験を実施し, 3 日間の pH の変化を測定した. 結果を図-1 に示す. 計算上の削減率と実際に削減された NH_4^+ 濃度がおおよそ対応していることから, 期待通りの NH_4^+ の削減効果を有していることが確認できた. KH_2PO_4 利用したケースでは, わずかではあるが K_2HPO_4 を利用したケースよりも NH_4^+ の削減効果が高い理由については今後検討が必要であると考えている.

次に行った砂を用いた強度試験では, 供試体は突固め法を用いて直径 5 cm, 高さ 10cm サイズの供試体について $\text{Dr}=50\%$ を目標に作製した. 供試体は作製後に理想的な養生条件である 20°C の室温で 3 日間の固化期間と 40°C での乾燥期間を設けた²⁾. 一軸圧縮試験の結果を図-2 に示す. 炭酸カルシウム析出量に関係なくすべてのケースにおいて改良手法 C で最も高い強度を示した. 一方, 改良手法 C では, C-2 と C-3 で炭酸カルシウム析出量が異なるにもかかわらず強度は同程度となった. これは, 加えた試薬が加水した水分ですべて溶解できず, 粉体のまま供試体内に残ってしまったことが原因でないかと考えている. 改良手法 B では 1 MPa 程度の強度を確保できるものの, 改良手法 A とほぼ同程度 (もしくは若干低い) 結果となり, アンモニア対策としての効果は期待できるものの, さらなる強度増進効果は期待できない結果となった. 異なるリン酸の添加が間隙水野 pH に与える影響の評価を目的とし, ケース B, C について間隙水野 pH 変化を測定することとした, 結果を図-3 に示す. 同図より, 改良手法 C は改良後の土壌が強い酸性を示す可能性が明らかとなった. 一方, 改良手法 B では pH は 6.0~8.0 で安定していた.

5. 結論と課題

EICP と MAP の併用による新しい低環境負荷型地盤改良技術の提案を行った. 室内試験の結果から, アンモニアの削減と地盤強度の増進効果が期待できることを室内試験より明らかにすることができた. 溶解後に酸性を示す KH_2PO_4 を利用した場合に顕著な一軸圧縮強度の増加が期待できる結果が得られた. 一方, 施工後の土壌は強い酸性を示す可能性が明らかとなり, 現場の目的にあわせて適切なリン酸を選択する手法などについて今後検討を進めていきたい.

表-1 試験ケース一覧

	CaCO_3 1.0%	CaCO_3 2.0%	CaCO_3 3.0%
A : EICP	A-1	A-2	A-3
B : EICP + MAP with K_2HPO_4 (Alkaline)	B-1	B-2	B-3
C : EICP + MAP with KH_2PO_4 (Acidic)	C-1	C-2	C-3

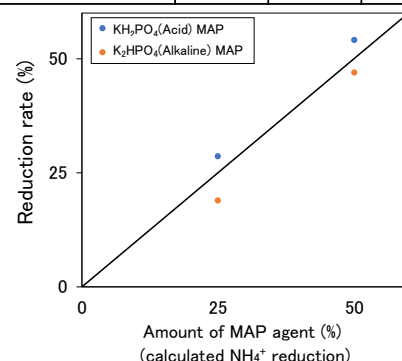


図-1 溶液試験の結果

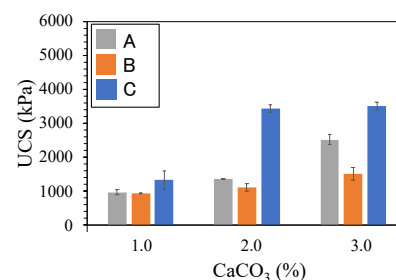


図-2 UCS 試験結果

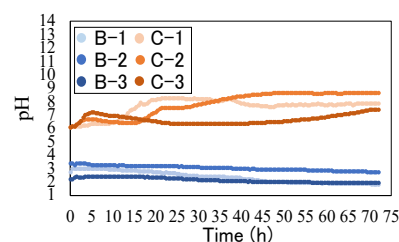


図-3 各ケースにおける pH の推移 (溶液試験)