

微生物機能を用いた新しい現位置地盤改良技術に関する実験的研究

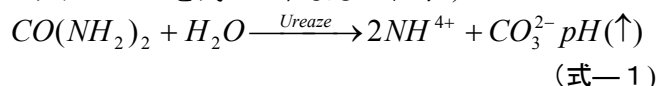
長野工業高等専門学校 ○非会員 尾曾 友理恵 学生会員 立野 菜緒
正会員 酒井 美月 正会員 畠 俊郎
(独) 土木研究所 正会員 稲垣 由紀子

1. はじめに

地球温暖化問題において、CO₂排出量の削減に対する社会的関心が高まっている。日本で排出されているCO₂の約10%が土木分野で、内30%程度がセメント生成時に排出されている。セメントは地盤改良工法等で一般的に使用されており、低環境負荷・低コストの新たな技術開発が急務とされている。現在、海外において地盤強度の増加を目的とし、土粒子間へ炭酸カルシウム（以下カルサイトと称す）を析出させる微生物機能を工学的に活用する技術に関する検討が進められている。本研究では、これら海外において得られた知見が日本国内に適用可能であるかどうかの評価を目的とし、尿素分解酵素（以下 *urease* と称す）を利用したカルサイト析出による地盤の固化技術について検討している。本文では、*Bacillus Pasteurii* を用いて浸透液を連続的に浸透させる条件で豊浦砂の固化を行い、浸透液および固化処理後の豊浦砂を対象とした化学分析を通じて微生物固化の有効性を評価した室内実験の結果について述べる。

2. 着目したメカニズム

本研究で着目した微生物機能によるカルサイト生成のメカニズムを式-1および2に示す。



今回着目した固化メカニズムでは、カルサイト析出に *urease* が必要不可欠となる。一般土壌内に多数生息している *urease* 活性を持つ微生物のみを用いて結晶化を促進した場合、液体培養では効果が認められたが、豊浦砂を対象とした固化処理では短期間で効果を得ることは困難であった^{1),2)}。そのため、本研究では人為的に特定の微生物を添加する手法について検討することとした。

3. 試験の概要

海外において尿素的加水分解活性を用いた微生物固化に適用可能な微生物種が多数報告されている。本実験では、有効性が確認されている *Bacillus Pasteurii* に着目し、工学的に添加して均質に地盤を固化させる技術について検討することとした²⁾。試験ケース一覧を表-1に示す。なお、*Bacillus Pasteurii* 量とは純菌を液体培養し

た菌体懸濁液量を示す。浸透液の組成を表-2に示す。なお、浸透液はpH=6.0となるよう調整し、豊浦砂と共に滅菌を行った。供試体は、カラムに浸透液40ml、*Bacillus Pasteurii* を所定量を入れ、コンタミネーションに注意しながら攪拌混合した後に、豊浦砂60gを水中落下法で締固める方法で作成した。その後は、所定量の浸透液を試験期間中毎日添加することとし、試験開始後1, 3, 7日目に採取した。分析対象には供試体を通過した浸透液と固化後の豊浦砂の2種類を選定した。それぞれの分析項目を表-3に示す。酸分解用の供試体は、0, 3, 7日後に溶液が浸透可能であれば蒸留水を浸透させ、困難と判断された場合はそのまま、2日間炉乾燥し、カラムから取り出し計量した値を重量として記録した。その後、0.5MのHClで供試体中に析出したカルサイトを酸分解し蒸留水で洗浄した後、1日間炉乾燥させ重量を記録した。最終的には、酸分解する前後の重量差でカルサイト析出量を算出した（以下、酸分解法と称す）。

表-1 試験ケース一覧

試験 Case	<i>Bacillus Pasteurii</i> 量(mL)	浸透液 添加量 (mL/day)	豊浦砂(g)
B	0.1	40	60
D	0.2	40	60

表-2 浸透液組成

試薬名	添加量
ポリペプトン	3g
NH ₄ Cl	10g
NaHCO ₃	2.12g
Urea	25g
CaCl ₂ · 2H ₂ O	25g
Distilled Water	1L

表-3 分析項目一覧

測定項目	目的	分析対象	測定方法
カルシウムイオン濃度	固化効果	浸透液	原子吸光 (浄水試験法)
アンモニア濃度	環境負荷 固化効果	浸透液	1-ナフトール法 (上水試験法)
カルサイト析出量	固化効果	固化後の 豊浦砂	酸分解法 (重量法)

4. 実験結果

4.1 アンモニア発生量の推移(浸透液)

試験期間における1-ナフトール法によるアンモニア発生量の推移を図-1に示す。培養日数の増加に伴い尿素の *urease* による加水分解由来と推察されるアンモニアが生成される傾向を確認することができた。培養開始後1日においてはほぼ同じ値を示したが、その後の傾向から初期に添加した *Bacillus Pasteurii* 量が多いほど、発生するアンモニア量が多い傾向が認められた。過剰なアンモニア生成は異臭および硝酸・亜硝酸の原因となることから適切な添加量について更なる検討が必要と考えられる。

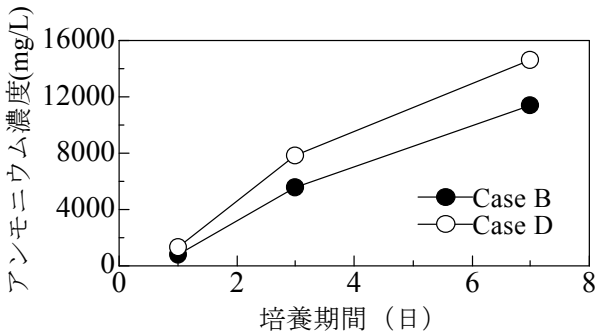


図-1 アンモニア生成量の推移

4.2 カルシウムイオン濃度の推移(浸透液)

試験期間における原子吸光度計によるカルシウムイオン濃度の推移を図-2に示す。培養日数の増加に伴い、カルシウムイオンが減少する傾向を確認することができた。培養開始から7日目についてはともに検出限界以下の値となっていることから、浸透液に含まれるカルシウム分の多くが結晶化したと推察される。

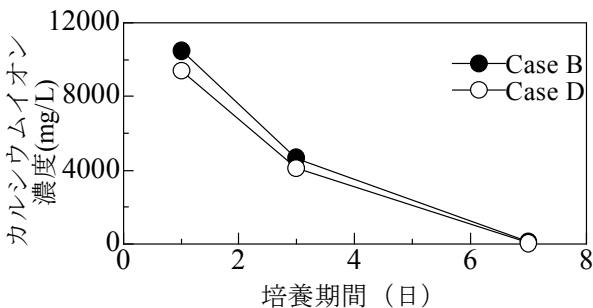


図-2 カルシウムイオン濃度の推移

4.3 酸分解によるカルサイト析出量の推移(豊浦砂)

試験期間における酸分解法によるカルサイト析出量の推移を図-3に示す。培養日数の増加に伴いカルサイト析出量が増加する傾向を確認することができた。

培養開始から7日目に関しては両ケースとも2g以上のカルサイトが析出している。試験に用いた豊浦砂との

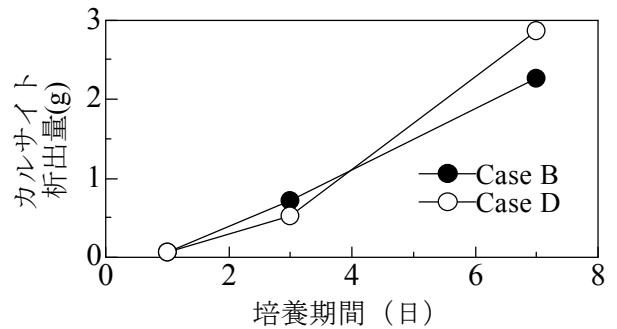


図-3 カルサイト析出量の推移

関係では、重量比で3%以上のカルサイトを微生物機能により得ることができた。

今回の実験では7日目のカルシウムイオン濃度が検出限界以下となっている。そのため、カルシウム濃度を高くした条件での再試験などを通じて最適なカルシウムの濃度を明らかにする必要があると考えている。

5. まとめおよび今後の予定

本研究では建設分野における地球温暖化対策のひとつとして微生物機能を工学的に活用する新たな原位置地盤改良技術の有効性について検討した。試験の結果から得られた知見を以下に示す。

- 尿素の加水分解活性を利用してカルサイトの析出を促進させる効果を確認することができた。これにより、土の固化効果が期待できる。
- あわせて、実用化に向けて以下課題が示された。
- 尿素の加水分解に伴い生成されるアンモニア由来の、硝酸・亜硝酸による環境負荷の評価。
- カルサイト析出量と1軸圧縮強度の関連性評価
- 浸透液の進入口付近から固化が進むため、全域を均質に固化させることを目的とした施工方法に関する検討。

現在、アンモニア由来の硝酸・亜硝酸濃度については分析を進めている。あわせて、針貫入試験による強度評価も計画中である。これら課題の解決を通じ、建設分野における地球温暖化対策の推進および低環境負荷の新たな現位置地盤改良技術としての実用化を目指していきたい。

参考文献

- 1) 細尾誠, 土屋慧, 梶俊郎: 微生物機能を用いた土の強度増加に関する基礎的検討 (その1一軸圧縮試験について), 平成20年度土木学会中部支部研究発表会, 論文番号 III-001,2009
- 2) 土屋慧, 細尾誠, 梶俊郎: 微生物機能を用いた土の強度増加に関する基礎的検討 (その2一軸圧縮試験について), 平成20年度土木学会中部支部研究発表会, 論文番号 III-002,2009
- 3) Victoria S.Whiffin (2004) Microbial CaCO₃ Precipitation for the production on Biocement, PhD.Docotrate,Murdoch university.