

## 微生物固化処理技術のセメント改良土への適用性に関する検討

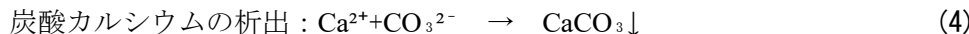
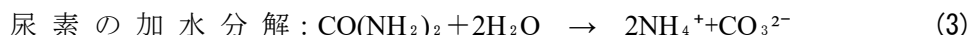
富山県立大学 ○学生会員 生駒 聖 正会員 畠 俊郎  
九州大学 非会員 千手 智晴

## 1. 背景・目的

日本の沿岸部はシルトや緩い砂質土など軟弱地盤で形成されている場合が多く、構造物の建設においては地盤改良が必要である。現在、石灰やセメントを用いた固化処理工法が盛んであるが、これら既存工法により作製された固化処理土は海水の影響により軟化現象（以下、劣化）が起こることが既往の研究より明らかとなっている。その対策として微生物固化処理技術に着目した。微生物固化処理技術とは、原位置地盤にすでに生息している微生物が持つ酵素活性（ウレアーゼ）を利用して対象地盤中の間隙に炭酸カルシウムを析出させ強度増進などの効果を得ることが可能となる。本研究では、微生物固化処理技術の適用範囲拡大を目的とし、セメント改良土の劣化抑制を目的とした粘性土への適用性について検討した結果を報告する。

## 2. 着目した微生物機能

本技術では、微生物によって尿素（ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ）の加水分解し炭酸イオン（ $\text{CO}_3^{2-}$ ）を得る。これをカルシウムイオン（ $\text{Ca}^{2+}$ ）と反応させ、劣化に伴うセメント改良土の微小な間隙内に炭酸カルシウム（ $\text{CaCO}_3$ ）を再析出させることで劣化抑制効果を期待している。以下に反応式を示す。



## 3. 試験方法

本試験では、直径 35 mm、高さ 80 mm の粘性土供試体を作製した。配合・粘性土の物性をそれぞれ表-1, 2 に記す。海水曝露時には、供試体底面をパラフィルム、側面をメンブレンで覆うことにより曝露面が上面のみになるようにした。曝露地点は伏木富山湾、深海（能登半島西方沖）、室内を選定した。それぞれの地点の水質を表-3 に示す。室内試験については 1 供試体あたり 150 mL の人工海水（(株)SUDO, アクアバイオソル）で満たしたプラスチックカラム内に浸漬し、30 °C の恒温室内で曝露試験を行った。なお、曝露に用いた人工海水は、4 週間毎に交換することとした。曝露後の供試体は、コーン貫入試験により劣化促進量を算出した後、劣化部を包丁で除去したサンプル（健全部）を対象に一軸圧縮試験を行った。その後、CHN コーダを用いて健全部と劣化部の窒素量を測定した。

## 4. 結果と考察

## 4. 1. コーン貫入試験による劣化促進量の測定

曝露後の供試体を対象にコーン貫入試験によって劣化促進量を

表-1 供試体配合

|                  | A                           | B                   | C                         | D                   |
|------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| 富山湾底泥            | 含水比 = 液性限界 × 1.5 = 192.75 % |                     |                           |                     |
| 固化剤              | OPC 75 kg/m <sup>3</sup>    |                     | OPC 100 kg/m <sup>3</sup> |                     |
| 尿素               | —                           | 全体質量の 0.33 %        | —                         | 全体質量の 0.33 %        |
| 菌体培養液<br>(5 倍希釈) | —                           | 水分全体の 31 %          | —                         | 水分全体の 31 %          |
| 微生物種             | —                           | <i>S.aquimarina</i> | —                         | <i>S.aquimarina</i> |

表-2 富山湾底泥の物性

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 採取地                           | 富山湾   |
| 土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$ | 2.606 |
| 液性限界(%)                       | 128.5 |

表-3 各地点の Ca・Mg 濃度

| 地点    | Ca(ppm) | Mg(ppm) |
|-------|---------|---------|
| 伏木富山港 | 133     | 500     |
| 深海    | 430     | 1000    |
| 人工海水  | 87      | 600     |

算出した。n 週間曝露後、8 N に達した貫入深さを  $F(n)$ 、供試体底面の 8 N に達した貫入深さを  $F(0)$  とし、 $F(n)$  と  $F(0)$  の差分 ( $=F(n)-F(0)$ ) を劣化促進量とした。それぞれの配合や曝露地点における劣化促進量を図-1 にまとめる。図より、伏木富山湾におけるケース C とケース D の比較では微生物添加による劣化抑制効果は確認できなかったが、その他の曝露地点では、微生物添加による劣化抑制の傾向が確認できた。また、深海に曝露した供試体については、劣化促進量が浅海と比較し少ない傾向が認められた。

#### 4. 3. 一軸圧縮試験

海水曝露が強度に与える影響の把握を目的として行った一軸圧縮試験の結果を図-2, 3 にそれぞれ示す。図より伏木富山港におけるケース A とケース B の比較では、微生物を添加したケース B で最大圧縮応力が大きくなったが、その他の曝露地点では微生物を添加したケースで最大圧縮応力が小さくなる傾向が認められた。これは微生物添加による影響と考えられる。有機物がセメントの効果を阻害することは広く知られており、本研究の場合、劣化抑制効果を期待し添加した微生物が有機物であることから、セメントの水和反応を阻害し強度低下傾向の原因となったと考えている。また、深海環境下に曝露した供試体は、いずれも初期強度より最大圧縮応力が低下した。これは深海の水温による影響である。セメント改良土の強度発現は養生する温度に大きく関係する。日本海では、周年、水深 1000 m 以深の水温は 1.0 °C 以下で、浅海では試験期間中約 20 °C 程度である。この温度差が強度発現の差につながったと考えられるため、温度データロガーに記録されたデータとの比較を通じて原因を明らかにしていきたい。

#### 4. 4. CHN コーダによる窒素量の測定

図-4, 5 に供試体 1 本あたりの含有窒素量を示す。図中の初期の値は曝露後の健全部をサンプルとして測定した値である。図によると、ケース D において窒素の溶出を確認できた。式(3)に示した反応式より、窒素はアンモニア態として溶出し、魚類に取り込まれる。したがって、実用化の際には漁業に好影響が期待できる結果となった。

#### 5. まとめ

本研究を通じて 1)微生物添加によって、劣化抑制効果が期待できる、2)微生物添加・深海曝露によってセメント改良土の最大圧縮応力が低下する可能性がある、3)提案手法により生成された改良土から窒素放出が期待できる、知見を得ることができた。

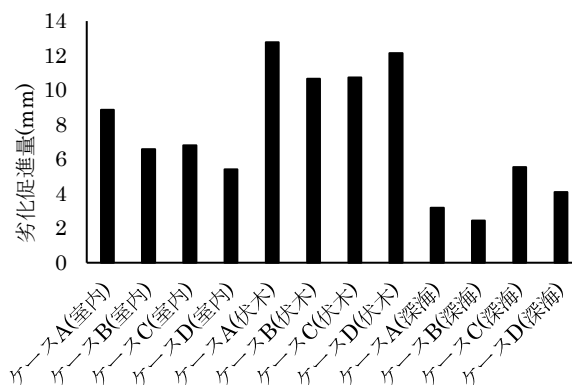


図-1 劣化促進量

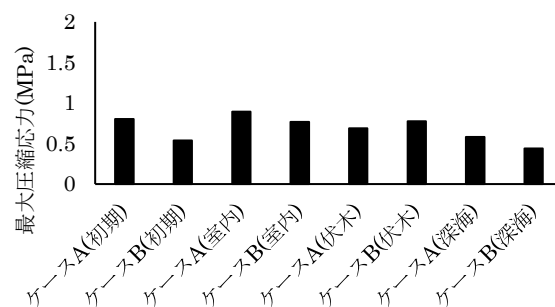


図-2 最大圧縮応力 (ケース A・ケース B)

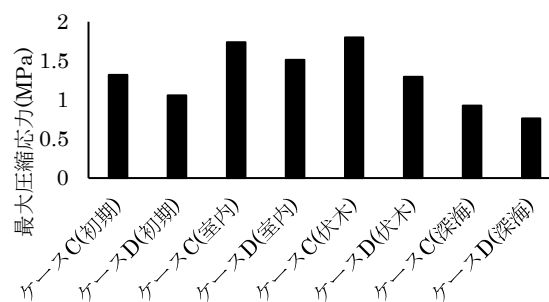


図-3 最大圧縮応力 (ケース C・ケース D)

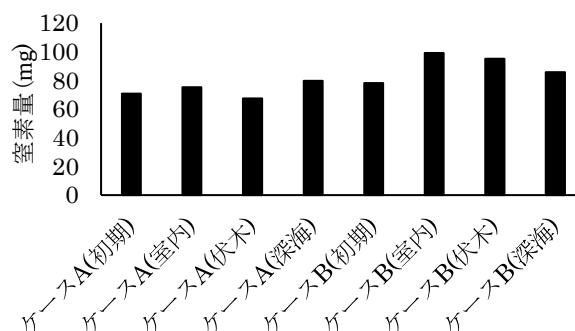


図-4 含有窒素量 (ケース A・ケース B)

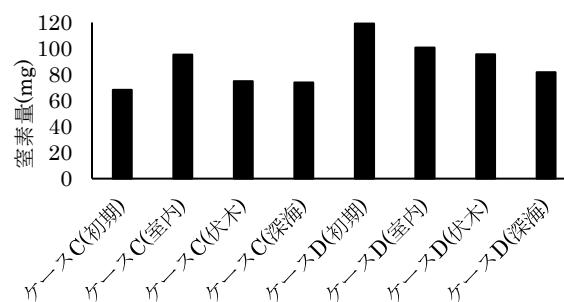


図-5 含有窒素量 (ケース C・ケース D)