

EICP を併用した覆砂材の有効性に関する検討

広島大学 学生会員 ○生駒 聖
 同上 正会員 畠 俊郎

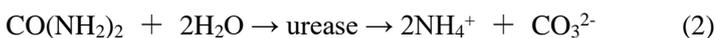
1. 目的

東京湾や大阪湾に代表される閉鎖的内湾では、過去に堆積した有機汚泥による底質環境の悪化が問題視されている。この問題への対策は覆砂工であるが、覆砂工の効果は条件によって2・3年で効果が薄れてしまう報告もある。本研究では、覆砂の効果が薄れる原因の一つである覆砂材の流亡への対策として、EICP(Enzyme Induced Carbonate Precipitation)を併用した結晶析出機能を有する粒状固化処理土(以下、造粒砂)の有効性について検討する。具体的には、φ = 20 cmの土槽に底泥を敷き詰め、その上に提案手法を用いて作製した造粒砂を投入し、所定期間養生した後テンションメーターを用いて表層強度測定からその有効性を評価した。あわせて、強度測定を5地点で行うことで、表層強度のばらつきについても検討した。

2. 実験方法

2.1. 固化メカニズム

本研究では、酵素(ウレアーゼ)を用いて炭酸カルシウムを析出させることで、強度増進等の効果を得るEICPに着目した。海成粘土に塩化カルシウムを添加することでカルシウムイオン(Ca²⁺)を供給、さらに尿素をウレアーゼによって加水分解することで炭酸イオン(CO₃²⁻)を生成する。そしてCa²⁺とCO₃²⁻が反応することで炭酸カルシウム(CaCO₃)を底泥表層と覆砂材の間に析出させることで底泥の表層固化効果を期待している(図-1)。以下に反応式を示す。



2.2. 実験方法

大阪湾の海成粘土に、上記の固化成分に加えて、Nutrient Broth、さらに造粒砂がカルサイト膜を析出する前に崩れてしまうことを防止するために高炉セメントB種を添加してソイルミキサーを用いて混合した。表-1に造粒砂の配合を示す。混合した試料を20°Cの恒温室内で気中養生と破碎を繰り返すことで目標粒径20mmの造粒砂を作製した。φ = 20 cmの円柱状の土槽に含水比を液性限界の1.75倍(w = 220%)に調整した大阪湾の海成粘土を底泥として使用して5cm敷き詰め、3日間自然圧密し、造粒砂280gを投入した後、人工海水を添加した。試験に使用した人工海水のCa²⁺とアンモニア態窒素(NH₄⁺-N)の濃度を表-2に示す。人工海水は50Lを使用し、6時間ごとに最高水位14cm、最低水位2cmを目標とした潮位変動を再現した。試験開始から28日目まで7日ごとに採水し、Ca²⁺とNH₄⁺-Nの濃度をモニタリングした。試験開始35日目に覆砂材が流亡した場合を想定して造

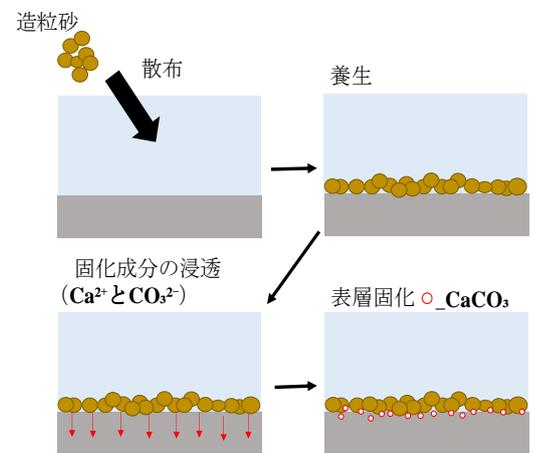


図-1 固化メカニズム

表-1 造粒砂の配合

大阪湾の海成粘土	1000 g (w = 160%)
高炉セメントB種 (乾燥土重量に対して)	5%
ウレアーゼ	20 mL
Nutrient Broth	1.50 g
尿素 (0.39 mol/L)	13.50 g
塩化カルシウム (0.39 mol/L)	24.95 g

表-2 人工海水のカルシウムとアンモニア態窒素の濃度

成分	濃度 (ppm)
カルシウム (Ca ²⁺)	300
アンモニア態窒素 (NH ₄ ⁺ -N)	0.00

粒砂を除去した底泥の表層と試験に使用した海生粘土を対象としてテンションメーターを用いて表層強度を測定し、既往の研究より明らかとなっている底泥の巻き上がりの抑制が期待できる 0.47 N を目標強度として造粒砂の有効性を評価した。また、強度試験は 5 地点を対象とすることで、表層固化効果の均質性についても併せて検討した。強度測定地点および地点名を図-2 に示す。

3. 実験結果と考察

3.1. 水質分析結果

図-3 に時間経過に伴う Ca^{2+} と NH_4^+-N 濃度の推移を示す。なお、図中の養生 0 日は土槽に添加した直後の人工海水をサンプルとしている。養生時間 0 日の Ca^{2+} と NH_4^+-N の値は、いずれも使用した人工海水の初期値より大きくなった。これは造粒砂投入直後から Ca^{2+} の供給がなされていること、さらに造粒砂作製における養生期間中にすでに尿素の加水分解が進行し、それに伴って発生した NH_4^+-N が溶出したためであると考えられる。養生 7 日には、 Ca^{2+} が低下し、 NH_4^+-N が大きく上昇していることから、造粒砂の投入から 7 日間の炭酸カルシウムが最も効率よく析出していると考えられる。添加した造粒砂中に含まれている尿素がすべて加水分解したと仮定すると、計算上 NH_4^+-N 濃度は 160 ppm 程度まで上昇するが、海域への排水の窒素含有量の基準は日間平均 60 ppm と定められており、本実験で投入した造粒砂量では基準値を大きく下回る値であり、環境への影響は小さいと考えられる。しかし実現場で適用する場合は覆砂厚 30 cm 程度で施工されるため、 NH_4^+-N を含む窒素の溶出に関する検討は今後も継続していく必要がある。

3.2. 表層強度の測定

表-3 に各地点の表層強度の測定結果をまとめる。いずれの地点においても造粒砂の投入によって底泥の表層固化効果が確認され、すべての測定地点で目標強度を上回ったことから、提案技術を用いることで造粒砂が水流や波浪によって流亡した場合でも、底泥の巻き上がり抑制効果が期待できると考えられる。また、測定した 5 地点とも同程度の固化効果を示したことから造粒砂による均質な表層固化が可能であることが示された。

4. 結論

本研究では、EICP を併用した結晶析出機能を有する造粒砂を用いた模型実験から表層固化効果を検証した。その結果、①造粒砂を投入することで底泥表層を固化することで可能であること、②造粒砂投入から 35 日間養生することで、底泥の巻き上がり抑制効果が期待できる固化効果が得られること、③造粒砂投入によって均質な表層固化効果が得られること、が明らかとなった。

5. 参考文献

1) 村田ら(2018), 海底表層堆積物を対象とした酵素触媒法による底泥の巻き上がり抑制技術の適用性評価, 土木学会論文集 B3, Vol.74, No.2, pp.270-275.

謝辞: 本実験の遂行にあたり、港湾空港技術研究所の鍵本慎太郎氏 (現・中国地方整備局)、水谷崇亮氏には多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。



図-2 強度試験実施地点

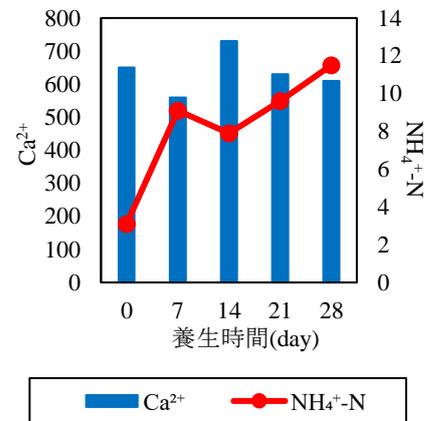


図-3 Ca^{2+} と NH_4^+-N 濃度の推移

表-3 各地点の表層強度

地点	強度(N)
底泥	0.2
①	2.03
②	2.34
③	2.40
④	1.95
⑤	2.32
①-⑤平均	2.21