

微生物を用いた浸透固化による坑壁保護の検討

復建調査設計(株) ○松本 敏明, 渡邊 泰成
 広島大学 島 俊郎
 (独)エネルギー・金属鉱物資源機構 安部 俊吾

1. はじめに

坑壁の保護技術としての微生物固化の適用性について検討した。使用する微生物は、育成及び生態系に適していると考えられる原位置土壌由来の物を用いることとした。この単離済の微生物については、小規模実験による効果確認は実施済¹⁾だが、大規模実験による検討は実施されていない。本文では、大型土槽を用いた微生物による浸透固化処理によって、どの程度の範囲と強度を持った改良体が形成されるかについて検討した模型実験の結果を報告する。

2. 実験条件及び実験方法

実験は、以下に示す条件及び方法により実施した。

(1) 実験条件

供試体の寸法は、長さ120cm、幅30cm、高さ30cmとした(図-1参照)。先行研究と実験条件を合わせるために、砂種は珪砂8号を用い、乾燥密度 ρ_d は $1.383\text{g}/\text{cm}^3$ (相対密度 D_r :66%)、透水係数 k は $2.0 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}$ を目標として作製した。また、使用微生物は、*Sporosarcina newyorkensis* 近縁種を用いた。

(2) 実験方法

①大型土槽の作製方法

土槽最下部に粘土を敷設後、水中落下法と木槌で土槽側面をたたきながら、目標乾燥密度になるように砂層(30cm)を作製し、砂層上部に粘土を敷設した。その上に、載荷板を載せてジャッキにより49.1kN 載荷後、圧密沈下が落ち着いた後に、載荷板の隙間にモルタルを打設して止水を行った。

②透水係数の算出方法

大型土槽の透水係数の算出方法は、「土の透水試験方法(変水位透水試験)」を用いて算出した。

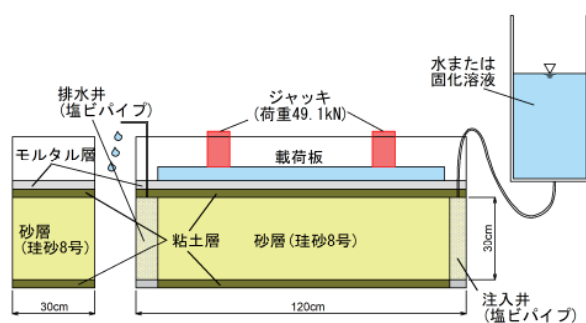


図-1 大型土槽模式図

③MICP 処理方法

MICP 処理(Microbial Induced Carbonate Precipitation)とは、*S.newyorkensis* 等のウレアーゼ産出能を持つ微生物を用いて土壌の間隙中に炭酸カルシウム(おもにカルサイト)を析出させることで強度増進効果を得るものである。方法としては、土槽に微生物培養液もしくは固化溶液を注入・透水係数を算出し、透水係数が初期からおよそ2桁低下するまで繰り返した。なお、MICP 処理に用いた固化溶液の組成を表-1に示す。

表-1 固化溶液の組成

成分	添加量	備考
塩化カルシウム	33.29g/l	融雪剤
尿素	18.02g/l	
炭酸水素ナトリウム	2.12g/l	重曹
塩化アンモニウム	10.0g/l	試薬
<i>S.newyorkensis</i> 近縁種	4l/20l	微生物(菌体)

※固化溶液の初期水質($\text{Ca}^{2+} \approx 10000$ ppm, $\text{pH} \approx 6.1$)

④MICP 処理後の強度測定方法

MICP 処理後の土壌強度測定にはテンションメーターを用いた。測定箇所は、横方向は注入井の土槽端部から排出井方向に10cm 毎の距離で、縦方向は供試体表面から5、15cm 及び25cm 下の箇所で行った。

⑤炭酸カルシウム析出量測定方法

炭酸カルシウム析出量の測定には、酸分解質量法を用いた。測定箇所は上記の強度測定箇所付近で行った。

3. 実験結果

(1) 大型土槽の作製結果

大型土槽を作製した結果は、乾燥密度 ρ_d は $1.350\text{g}/\text{cm}^3$ (相対密度 D_r :58%)、透水係数 k は $3.0 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}$ であった。これは、先行研究とほぼ同程度であったため、この大型土槽を用いてMICP 処理を行うこととした。

(2) MICP 処理結果

固化溶液の注入量と間隙の比と透水係数の推移を図-2に示す。1回目のMICP 処理の透水係数は、水のみを流した場合とほぼ同程度の $2.4 \times 10^{-5}\text{m}/\text{s}$ となっている。

2回目のMICP 処理では、1回目のMICP 処理によって320が間隙へ注入され、固化溶液の注入量と間隙の比(Pore Volume)は0.64PV 程度となる。この際の透水係数は、 $4.3 \times 10^{-6}\text{m}/\text{s}$ となっている。

3回目の固化溶液注入では、2回目のMICP 処理によっ

て合計370 が間隙へ注入され、固化溶液の注入量と間隙の比 (Pore Volume) は0.72PV 程度となる。この際の透水係数は、 $1.3 \times 10^{-6} \text{m/s}$ となっている。

4回目の固化溶液注入では、3回目の MICP 処理によって合計380 が間隙へ注入され、固化溶液の注入量と間隙の比 (Pore Volume) は0.74PV 程度となる。この際の透水係数は、 $1.0 \times 10^{-7} \text{m/s}$ となっている。

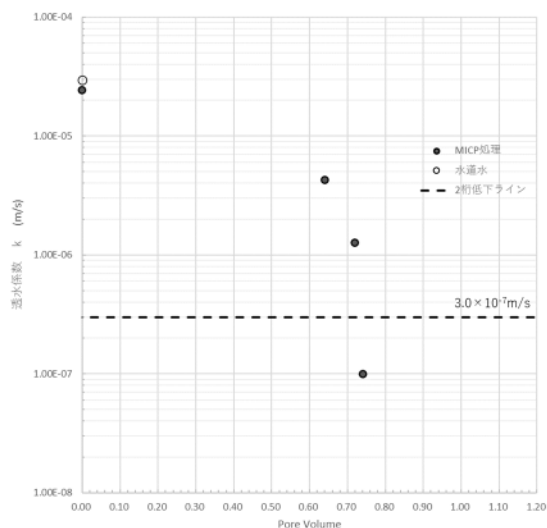


図-2 固化溶液の注入量と間隙の比と透水係数の推移

(3) MICP 処理後の強度測定結果

MICP 処理後の強度測定を行った結果は223~616kPa であった。距離と強度の関係を図-3に示す。強度測定の結果、110cm 以外の箇所では340~616kPa 程度の強度であり、当初が138kPa であるため全体的に固化していると考えられる。

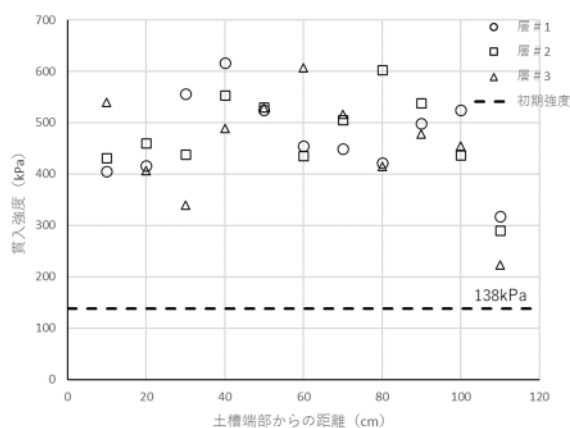


図-3 土槽端部からの距離と強度の関係

(4) 炭酸カルシウム析出量測定結果

炭酸カルシウム析出率の結果は1.5~4.6%であり、距離と炭酸カルシウム析出量の関係を図-4に示す。炭酸カルシウム析出の結果、注入井付近では4.6%と若干高い値を示すが、それ以外の箇所では2%程度であり全体から同じ程

度の炭酸カルシウムが析出される傾向にあった。

また、図-5に強度と炭酸カルシウム析出量の関係を示す。炭酸カルシウム析出量と強度の関係においては、炭酸カルシウム析出量が2~3%程度であれば、強度が400~550kPa となる傾向があると考えられる。

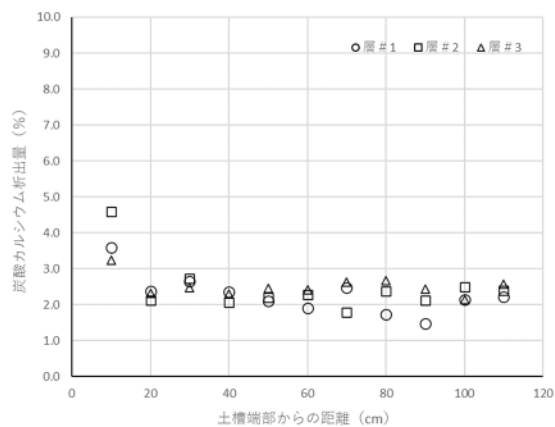


図-4土槽端部からの距離と炭酸カルシウム析出量の関係

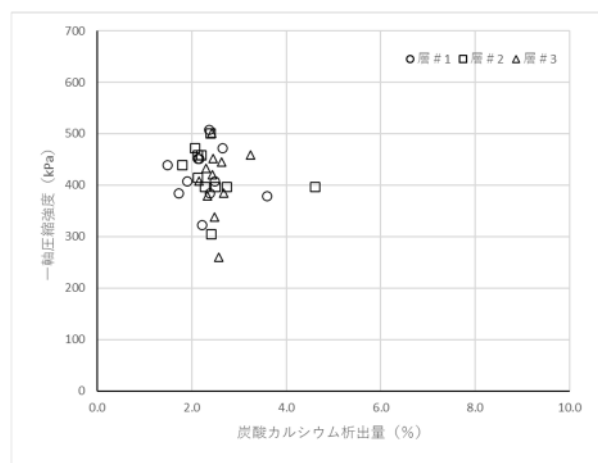


図-5 炭酸カルシウム析出量と強度の関係

4. まとめ

- MICP 処理によって、透水係数の約2桁低下を確認し、透水係数が約2桁低下するまでに必要な MICP 処理回数は3回であった。
- MICP 処理による固化は、強度測定の結果は340~616kPa であり、全体的に固化していると考えられる。
- 炭酸カルシウム析出量と強度の関係においては、炭酸カルシウム析出量が2~3%程度であれば、強度が400~550kPa となる傾向があると考えられる。

《引用・参考文献》

- 1) T. Hata, A. C. Saracho, S. K. Haigh, J. Yoneda and K. Yamamoto: Microbial-induced carbonate precipitation applicability with the methane hydrate-bearing layer microbe, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Volume 81, 2020