

柱状地盤改良工法の効率的な攪拌方法の検討に関する基礎的研究

東京都市大学 学生会員 ○楡井 麻帆

東京都市大学大学院 学生会員 松野遼太郎

東京都市大学 正会員 伊藤和也 正会員 末政直晃

三信建設工業（株） 非会員 島野 嵐

1. はじめに

日本は島国であり，山地，丘陵地，台地，低地，内水域などの大きく5つに区分され，約70%が山地や丘陵地で占められている．また，平野部は海岸に近い大きな河川流域に存在し，大都市が発展しているが軟弱地盤が多く分布しており，これらの地形は，豪雨や地震などの自然災害により日々変化する．一般的に土木構造物を建設するには良質な地盤が適している．しかし，高度経済成長期による建設ラッシュにより，従来敬遠されていた軟弱地盤上への建設が増加した．既往の工法には軟弱土に改良材を混合して土質安定処理を行う工法や，路床や路盤などの表層を安定処理する工法がある．しかし，1960年代から1970年代にかけて様々な地盤改良工法が開発され，セメント系改良材をスラリー状にして軟弱地盤内に注入攪拌して固結させる深層混合処理工法(CDM 工法)が実用化された(写真-1)．CDM 工法とは，スラリー状の硬化材をロッド先端より吐出させながら攪拌翼を回転・貫入・引き抜くことにより地盤に柱状の改良体を造成する工法である．図-1に示すように，近年，多くの施工実績を有する工法だが，粘性土地盤において土とスラリーが掘削翼と攪拌翼にへばりつき，同時に同一方向に回転するだけで，混合されない「共回り現象」による攪拌不良が問題視されている．

本研究では，新しい攪拌翼の検討と施工品質の向上を目的として模型攪拌機を開発した．本報告では，2種類の攪拌翼を用いた攪拌実験によって作成した固結パイルについて一軸圧縮試験を行った結果について報告する．

2. 共回り現象

写真-2 に実施工で共回りを起こした際の攪拌翼の様子を示す．共回りは，攪拌翼を貫入させながらスラリーを注入した際に，翼と土が同時に回転をしてしまうことが原因で生じる．共回り現象が起こることにより，未改良部分が残ったり，強度のバラツキが出たりする．実施工では，共回り防止翼などの対策を導入しているが，設置位置や防止翼の長さなど地盤によって異なり，防止翼の効果が十分に発揮できていない．



写真-1 深層混合処理工法

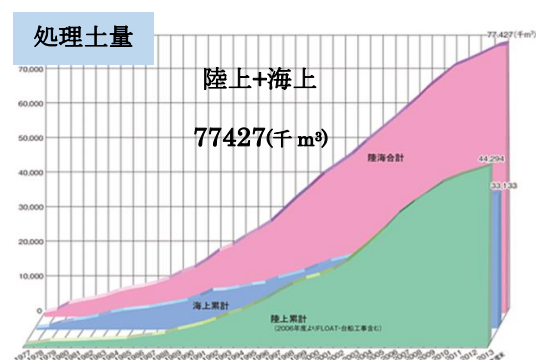


図-1 CDM 工法の施工実績 4)



写真-2 実施工で共回りを起こした際の攪拌翼の様子

キーワード 深層混合処理工法 攪拌 共回り 羽根切り回数 攪拌翼

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104 E-mail:g1218064@tcu.ac.jp

3. 模型攪拌機を使用した攪拌実験

写真-3 に実験に使用した模型攪拌機を示す。攪拌翼の回転数，昇降速度はインバータ制御されており，0～60(Hz)の範囲で調整できる。シャフト先端は攪拌翼の取り外しが可能で，攪拌翼の先端部にはスラリーの吐出口があるため，攪拌軸上部にポンプを接続し，セメントスラリーを吐出した状態での攪拌が可能である。

ポンプは兵神装備株式会社製モノポンプを使用した。回転容積式一軸偏心ネジポンプに分類され，特徴は無脈動・定量移送が可能である。ポンプの心臓部は，ローター(雄ねじ)とステーター(雌ねじ)からなっており，ステーター内部にローターが差し込まれると隙間にキャビティー(独立した一連の密閉空間)が形成される。ローターが回転することによって，強い吸引力を発生させながら，吐出口に移動する。これにより，キャビティーが段階的に連続移送される仕組みである。吐出流量はインバータ制御されており，60～1500(ml/分)の範囲で調整できる。

3-1. 実験①（2枚翼と3枚翼の比較）

3-1-1. 実験概要

本実験では，2Case で攪拌実験を行った。表-1 にそれぞれのCaseの攪拌条件を示す。Case1は2枚翼(写真-4)，Case2は3枚翼(写真-5)を使用し実験を行った。2枚翼，3枚翼の比較を行うため，Case1，Case2共に羽根切り回数を，1500(回/m)に揃え実験を行った。羽根切り回数は式(1)より算出する。

$$T = \sum M \times \{ (Nd/Vd) + (Nu/Vu) \} \quad (1)$$

ここで，T：羽根切り回数，ΣM：総羽根枚数，
Nd：羽根切り下降時の回転数，Nu：羽根切り上昇時の回転数，
Vd：下降速度，Vu：上昇速度。

モデル地盤は，関東ローム 2：山砂 1 の割合で土を混ぜ，塩ビ土槽(直径φ20.0cm×高さH46.0cm)に18kgを2層に分け締め固め作成した。その後，攪拌機に攪拌翼を取り付け，モデル地盤を設置し，動かないように重りで固定した。攪拌機にポンプから，重量比セメント 1：水 1 の割合で作製したスラリーを混ぜ流し込む。固化材としては高炉セメント B 種を使用し，固化材添加量は 300(kg/m³)に設定した。固化剤添加量は式(2)より算出する。

$$Q = (\frac{C}{Gc} + W/C \times C) / T \quad (2)$$

ここで，Q：スラリー吐出量，W/C：水セメント比，
C：固化材添加量，Gc：固化材比重，Gw：水比重，
T：1本当たりの攪拌時間。



写真-3 攪拌機

表-1 実験条件

	Case1	Case2
攪拌翼	2枚翼	3枚翼
回転数 (rpm)	45	30
昇降速度 (m/分)	0.12	0.12
羽根切り回数 (回/m)	1500	1500



写真-4 二枚翼



写真-5 三枚翼

スラリーをポンプで吐出しながら攪拌実験を行う。実験後、7日間養生し、塩ビ土槽から脱型、固結パイルを確認、一軸圧縮試験を行った。

3-1-2. 一軸圧縮試験

実験後7日間養生させ、4つの固結パイルで一軸圧縮試験を行った(写真-6)。塩ビ土槽から取り出した固結パイルの直径は攪拌翼と等しい直径12cmであった。固結パイルの高さを直径の2.0倍である24cmにコンクリートカッターで切断し、不陸を無くした後一軸圧縮試験を行った。

3-1-3. 実験結果

図-2に一軸圧縮試験の結果を示す。3枚翼に比べ2枚翼の強度には大きなばらつきがみられた。しかし、それぞれの平均はほぼ一致したことから、2枚翼と3枚翼で羽根切り回数を揃えれば大きな差はないのではないかと考えられる。

3-1-4. 羽根切り回数と一軸圧縮強度の関係に関する考察

一軸圧縮強度と事前に行った実験のデータから羽根切り回数と一軸圧縮強度の関係の考察を行う。

事前に行った実験から2Caseのデータを使用する。Case1は実施工で主に使用されている2枚翼を使用、羽根切り回数は実施工での管理最低規準を参考に羽根切り回数350(回/m)に設定した。Case2は昇降速度、回転数を実験①3枚翼での条件と揃え、実験を行った。Case2の羽根切り回数は式(1)より1000(回/m)となる。

図-3に羽根切り回数と一軸圧縮強度の関係を示す。羽根切り回数1500(回/m)での強度にばらつきが見られるが、一軸圧縮強度は羽根切り回数に比例すると考えられる。また、羽根切り回数1000(回/m)のCase2は、3枚翼と昇降速度、回転数が同じ条件であることから、攪拌翼の羽根枚数に比べ、羽根切り回数が一軸圧縮強度に大きな影響を与えたと考えられる。

3-2. 実験②(養生日数と圧縮強度の関係)

3-2-1. 実験概要

本実験では、実験①と同じ方法、Case1と同じ条件で実験を行った。3つの共試体を作製、養生日数での強度の変化を確認するため、実験後7日、28日養生させ固結パイルを確認、一軸圧縮試験を行った。

3-2-2. 一軸圧縮試験

実験後、7日養生で2つ、28日養生で1つ、計3つの固結パイルで一軸圧縮試験を行った。塩ビ土槽から取り出した固結パイルの直径は、実験①と同様に攪拌翼とほぼ等しく、直径は約12cmとなった。固結パイルの高さを直径の2.0倍である24cmにコンクリートカッターで切断してから試験を行った。



写真-6 一軸圧縮試験の様子

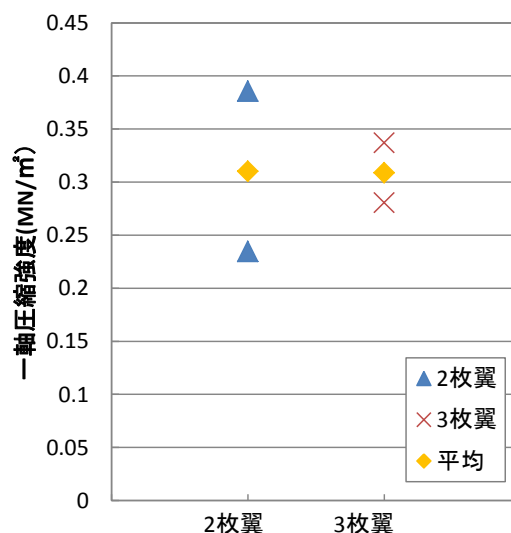


図-2 一軸圧縮強度

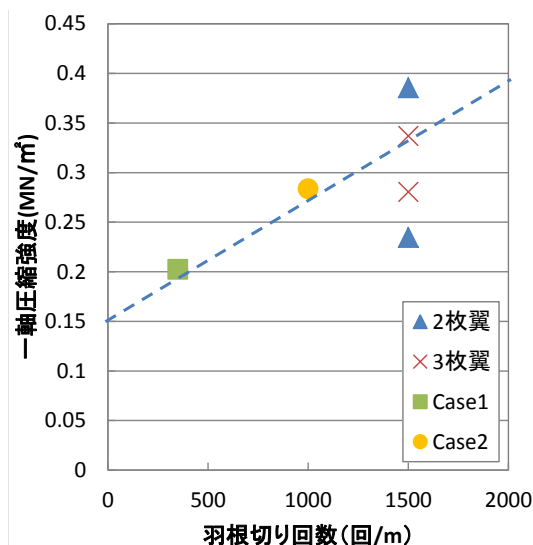


図-3 羽根切り回数と一軸圧縮強度の関係

3-2-3. 実験結果

図-4 に養生日数と一軸圧縮強度の関係を示す。7 日養生の 2 つの強度にばらつきはみられるが、28 日養生は 7 日養生の約 1.8 倍の強度となった。このことから養生することで強度が大きくなることを確認できた。

図-5 に粉体系改良土の材齢と一軸圧縮強度の関係を示す。本実験結果と同様に強度にバラつきが見られるが、28 日養生は 7 日養生の 1.5 倍の強度となっている。本実験では固化材に高炉セメント B 種を使用した。また、高炉セメント B 種の特徴の一つに、初期強度が小さく、長期強度の増進が大きいという点がある為、本実験でも養生することで強度が大きくなったのではないかと考えられる。

4. まとめ、今後の展望

実験①では、2 枚翼と 3 枚翼で羽根切り回数を揃えれば大きな差はないという事がわかった。しかし、同条件で実験を行った場合でも、強度にばらつきが出てしまった。既往の研究でも同条件で実験を行った際に、強度にばらつきがみられるものが多いため、共回り現象が起きているのではないかと考えられる。また、一軸圧縮強度は羽根切り回数に比例し、羽根切り回数が増加することで均一に攪拌でき、強度が大きくなるということがわかった。

実験②では、28 日養生で 7 日養生の約 1.8 倍の強度が確認できた。このことから、今後も固化材に高炉セメント B 種を使用する際には、28 日養生の強度は、7 日養生の強度の 1.5 ～2.0 倍程度になると考えられる。

今後は実施工で使用されている攪拌翼により近い、2 段 2 枚翼(写真-7)を使用し、実験を行う。羽根切り回数を 1500(回/m)に設定し実験を行い、一軸圧縮試験で強度を確認することで、2 段 2 枚翼、2 枚翼、3 枚翼について比較をする。

5. 参考文献

- 1)財団法人土木研究センター：陸上工事における 深層混合処理工法 設計・施工マニュアル，334 ページ，2004 年 3 月
- 2)社団法人セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル，技報堂出版株式会社，P.141，2012 年 10 月 10 日
- 3)全国地質業協会連合会：豊かで安全な国土のマネジメントのために，<http://www.zenchiren.or.jp/tikei/>
- 4)CDM 研究会：<http://www.cdm-gr.com/index.html>
- 5) 兵神装備株式会社ヘイシンモーノポンプ：<http://www.mohno-pump.co.jp>
- 6)平間慎一郎：新しい機械式攪拌工法の提案，東京都市大学卒業論文，2014 年 2 月
- 7)高炉セメントコンクリートの特性と施工に関する留意点：http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/life/21284_23436_misc.pdf

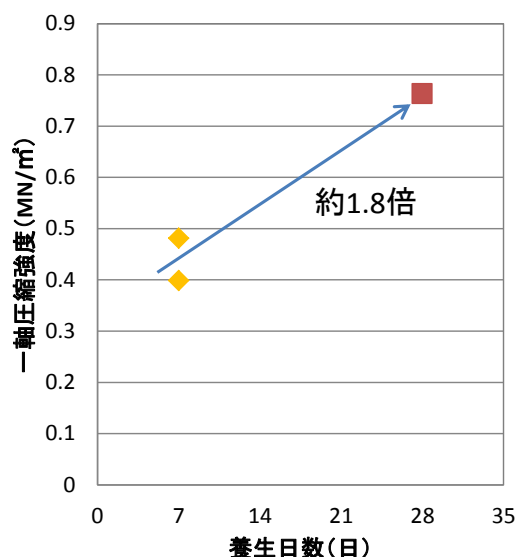


図-4 養生日数と一軸圧縮強度の関係

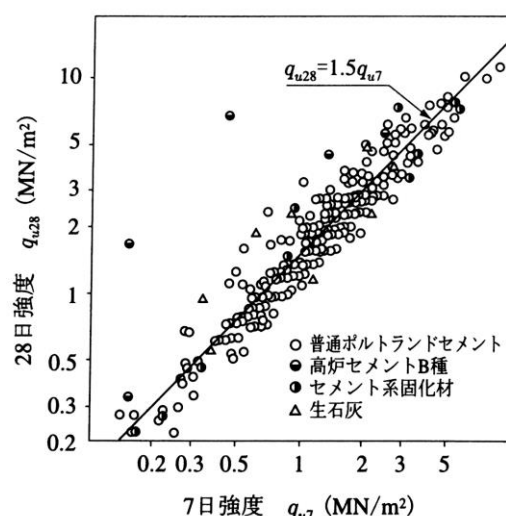


図-5 7 日強度と 28 日強度の関係¹⁾
(粘性土)



写真-7 2 段 2 枚翼