

機械攪拌工法の高品質化に関する模型実験

東京都市大学 学生 ○福田果穂 正 伊藤和也 正 末政直晃

東京都市大学大学院 学生 田代怜

三信建設工業株式会社 正 島野嵐

1. はじめに

日本の平野部や埋立地には軟弱地盤が多く、長期的な圧密沈下や液状化等甚大な被害が生じる可能性が高いことから地盤改良が求められる。既存の地盤改良工法の一つとして挙げられる機械攪拌式深層混合処理工法は、軟弱地盤と改良材を原位置にて攪拌混合することで強固な地盤を形成する工法だが、共回り現象により改良体の強度が十分に発揮されないといった課題がある。そこで本研究では機械攪拌工法で作製される改良体の品質向上を目的とし、本報告では羽根切り回数及び攪拌翼の入射角度を変化させた模型実験、作成された改良体の強度分布を調べるため深度ごとにおける未固結採取試験、針貫入試験を行い、羽根切り回数と入射角度が改良品質に与える影響について考察した。

2. 実験概要

2-1. 室内配合試験

模型実験で作製する改良体の室内配合強度を把握するため、室内配合試験を実施した。プラモールド(内径 50mm×高さ 100mm)に、軟弱地盤を想定し、含水比 16%、青粘土と珪砂 7 号をそれぞれ 1:3 の割合で作製した混合土に、固化材重量比においてセメント:水=1:1 の割合で混合したセメントスラリーを加え 10 分間攪拌し、改良体を 3 本作製した。その後、養生水槽室(室温 25℃)にて 7 日養生し、一軸圧縮試験を実施した。

2-2. 模型実験

表-1に入射角を変更するため回転数を変化させた 3 ケースを示す。本実験においては、攪拌翼が土に入射していく際の入射角を入射角とし、Case1 では入射角を既往の研究¹⁾より 41°に設定し、Case2 と Case3 では攪拌翼角度である 30°に合わせるため、Case2 では回転数、Case3 では昇降速度を変更した。本実験で使用した模型攪拌装置は、攪拌翼の回転方向を正転・逆転に変更することが可能であり、インバータにより攪拌翼の回転数を 0～72(rpm)、昇降速度を 0～0.35(m/min)の範囲で制御が可能である。攪拌翼の先端部にはスラリー吐出口があり、攪拌機上部に接続したモノポンプからセメントスラリーを流し、攪拌翼から吐出する。混合土及びセメントスラリーは室内配合試験と同配合のものをを用い、混合土を塩ビ土槽(内径 200mm×高さ 460mm)内に湿潤密度 $\gamma_t=1.45\text{g/cm}^3$ となるよう静的に締固め、セメントスラリーを貫入吐出で攪拌混合させることで柱状改良体を 2 本作製した。柱状改良体は養生水槽室(室温 25℃)にて 7 日養生した後、取り出して端部をコンクリートカッターで成形して一軸圧縮試験を実施した。

2-3. 未固結採取試験

模型実験と同様に攪拌混合した直後の改良体からスラリー状の改良材を深度ごとに計 9 本を、スプーンを用いてスラリー改良土をプラモールドに

表-1 実験ケース

実験ケース	Case1	Case2	Case3
攪拌翼角度(°)	30	30	30
入射角(°)	41	30	30
羽根切り回数(回/m)	350	541	541
回転数(rpm)	5.25	8.12	5.25
昇降速度(m/分)	0.15	0.15	0.10

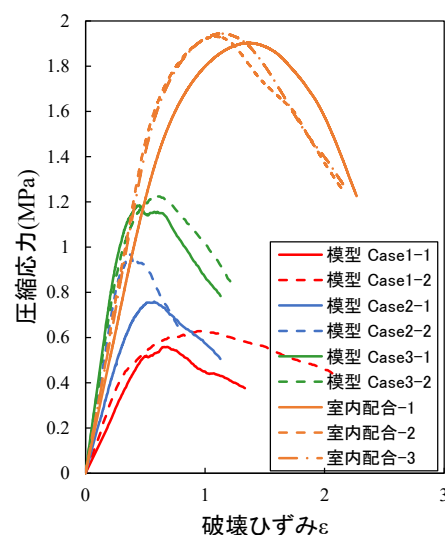


図-1 一軸圧縮試験結果

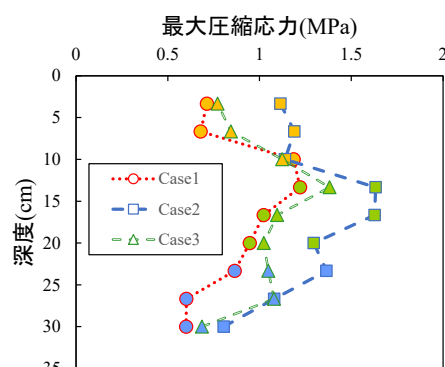


図-2 未固結採取試験結果

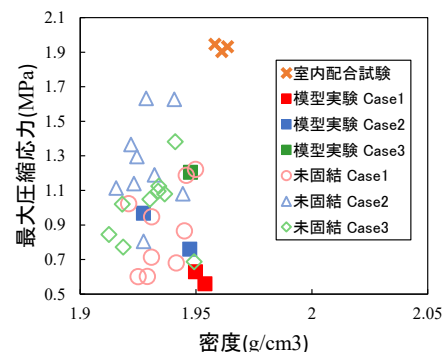


図-3 最大圧縮応力の関係

キーワード：機械攪拌工法，一軸圧縮試験，針貫入試験

〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL：03-5707-0104 E-mail：g1818082@tcu.ac.jp

投入し、タンピングを行い作製した。作製した改良体は水槽養生室(室温 25℃)にて7日養生後、一軸圧縮試験を実施した。

3. 一軸圧縮試験結果

Case1 から Case3 における模型実験・室内配合試験の一軸圧縮試験結果を図-1 に示す。室内配合試験の平均一軸圧縮強度 1.93(MPa) を模型実験における目標強度とした。模型実験の平均最大圧縮応力は Case1 で 0.59 (MPa), Case2 で 0.86 (MPa), Case3 で 1.20 (MPa) という結果となった。Case3 の強度が高くなった原因としては、供試体の切断位置の違いによるものだと考えられる。Case3 では写真-1 の様に供試体下部において形状不良があったため、他のケースに比べて切断位置が高くなっている。模型実験の一軸圧縮試験結果は Case1 と Case2 では未固結採取試験の最も低い強度に近い値となっており、未固結採取試験では下部の強度が最も低い傾向にある。Case3 では弱部である下部が大幅に切り落とされているため、模型実験での強度が高くなったと考えられる。

未固結採取試験の一軸圧縮試験結果を図-2 に示す。全てのケースで中部の強度が高くなっていることがわかる。また、羽根切り回数が同じでも回転速度を速くした Case2 のほうが全体として強度が高い傾向を示した。

模型実験・室内配合試験・未固結採取試験の最大圧縮応力の関係を図-3 に示す。ばらつき等を加味して現場強度は室内配合試験の 0.33~1 倍とされている²⁾。そのため、目標強度は 0.64(MPa)となり、概ね全てのケースで十分な強度が得られたと考えられる。また、スラリー状態から抽出した未固結採取試料は室内配合試験結果の 0.4 倍~0.7 倍とされている²⁾。そのため、目標強度は 0.77~1.35(MPa)となったことから、Case2 と Case3 では十分な強度が得られたが、Case1 ではやや強度が低い結果となった。

4. 針貫入試験結果

軟岩ペネトロ計を用いた針貫入試験結果を図-4 から図-6 に示す。Case1 から Case3 の結果を比較すると、全体的な強度としては Case2>Case3>Case1 となっており、Case2 が最も良く攪拌されていると考えられるが、どのケースも共通して円を描くような強度分布となっており、分布自体には大きな差異は見られないことがわかる。このことから、入射角と羽根切り回数とでは、羽根切り回数の方が強度に大きく寄与していることが分かった。

5. まとめ

未固結採取試験では強度が Case2>Case3>Case1 の順で得られたが、模型実験では Case3>Case2>Case1 の順で強度が得られた。本実験における模型実験装置は、入射角は回転数と昇降速度、羽根切り回数は回転数、昇降速度、攪拌翼の羽根数に影響する。入射角と羽根の角度が一緒の場合、螺旋状に切る様に入射されることから攪拌が不十分となり、強度低下が考えられていた。しかし、入射角を変更すると羽根切り回数が変わり、羽根切り回数が多いほど強度が上昇するため、Case2 と Case3 の強度が高くなったと考えられる。以上より、強度は羽根切り回数に依存すると考えられていたが、羽根切り回数の同じ Case2 と Case3 で強度に違いが生じていることから、一概に羽根切り回数のみで判断せず、羽根切り回数の要素で判断する必要性がある。

<参考文献>

- 1) 福田果穂, 伊藤和也, 柴崎瑞樹, 田代怜, 島野嵐: 機械攪拌工法で改良された地盤の高品質化に関する模型実験, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, Ⅲ-88, 2021年9月9日
- 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第4版, 社団法人セメント協会, 技報堂出版株式会社, pp.152-155, 2012.

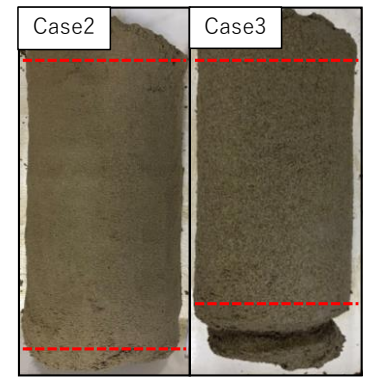


写真-1 模型実験の供試体

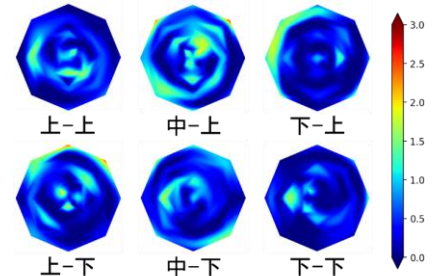


図-4 針貫入試験結果 (Case1)

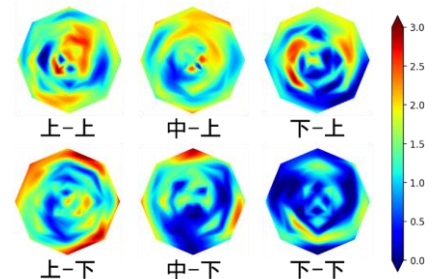


図-5 針貫入試験結果 (Case2)

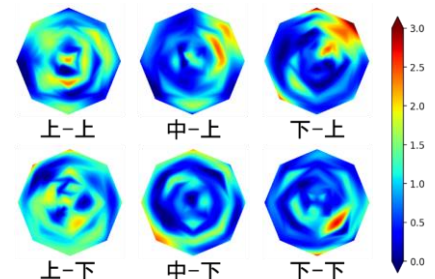


図-6 針貫入試験結果 (Case3)