

## 機械攪拌工法の模型実験における攪拌翼角度の検討

東京都市大学大学院 学生会員○福田果徳

東京都市大学 正会員 伊藤和也

佐藤工業株式会社(元東京都市大学大学院) 田代怜

三信建設工業株式会社 正会員 島野嵐

### 1. はじめに

機械攪拌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であり、多くの施工実績を有している。しかし、共回り現象等により、地盤と固化材の攪拌混合が均一に行われず、改良強度が十分得ることができない等の品質の低下が懸念される。そこで機械攪拌工法による改良地盤の品質向上を目的として模型攪拌実験を行った。本報告では羽根切り回数及び攪拌翼の入射角、攪拌翼角度を変化させた模型実験、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、攪拌翼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、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°C)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に攪拌翼角度を変化させた 3 ケースを示す。Case1 から順に、攪拌翼角度をそれぞれ 15°、30°、45°と 15°ずつ変化させ、その他の実験条件は統一して実験を行った。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め、セメントスラリーと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°C)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整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投入し、タンピングを行い供試体を作製した。作製した供試体は水槽養生室(室温 25°C)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 における模型実験と室内配合試験の一軸圧縮試験結果を図-2 に示す。室内配合試験の一軸圧縮強度の平均値は 1.93(MPa)と求めたが、

表-1 実験ケース

実験ケース	Case1	Case2	Case3
攪拌翼角度°	15	30	45
羽切り回数(回/m)	541	541	541
回転数(rpm)	8.12	8.12	8.12
昇降速度(m/分)	0.15	0.15	0.15

仕様	スペック	
	攪拌翼(枚)	4(6)
掘削翼(枚)	2	
攪拌翼間隔(mm)	80	
攪拌翼直径(mm)	160	
軸径(mm)	16	
攪拌翼角度(°)	15,30,45	

図-1 攪拌翼の諸元

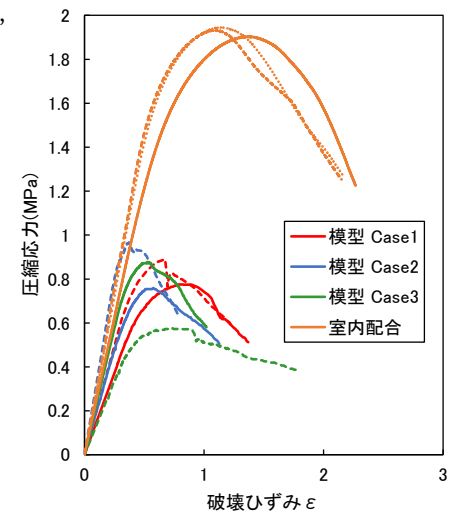


図-2 一軸圧縮試験結果

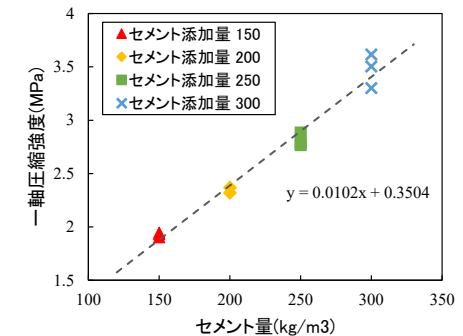


図-3 セメント添加量と強度の関係<sup>1)</sup>

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

今回の模型実験においてモーターポンプのから攪拌機へとセメントスラリーを送るホースにセメントが平均で約 0.45kg 残留していたことがわかった。その為、**図-3** に示すセメント添加量と強度の関係式より、模型実験と同じセメント添加量となる室内配合試験の一軸圧縮強度を算出した。算出結果より、1.51 (MPa) を模型実験における目標強度とした。

**図-2** より、模型実験の一軸圧縮強度の平均値は Case1 で 0.83 (MPa)、Case2 で 0.86 (MPa) と求めた。Case3 では改良体作成時に片方の改良体を倒してしまい、改良体に不具合が生じた為、正しい強度の値が得られなかった。その為、Case3 では平均をとらずに 0.88 (MPa) で評価していくものとする。

未固結採取試験の一軸圧縮試験結果を**図-4** に示す。Case1 では全体を通して強度が概ね均一になっており、Case2 では中部の強度が高くなっていることがわかる。また、Case3 では上部から徐々に強度が低下していく傾向にあり、3 ケース共に挙動が異なっていることがわかる。

模型実験・室内配合試験・未固結採取試験の一軸圧縮強度の関係を**図-5** に示す。なお、**図-5** のグラフでは未固結採取試験の9本の供試体内、模型実験において整形の際に切除される最下部1本のデータを除いている。

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<sup>2)</sup>。Case1 の模型実験は室内配合試験の約 0.55 倍、Case2 では約 0.57 倍、Case3 では約 0.58 倍となったことから、全てのケースで十分な強度が得られたと考えられる。

スラリー状態から抽出した未固結採取試験は室内配合試験の 0.4 倍~0.7 倍とされている<sup>2)</sup>。Case1 の未固結採取試験は室内配合試験の 0.60~0.75 倍、Case2 では 0.71~1.08 倍、Case3 では 0.59~0.88 倍となった事から、全てのケースで十分な強度が得られたと考えられる。未固結採取試験の最大値が基準値を大幅に超えていることに関しては、セメントの偏りにより、強度が高い箇所におけるセメント添加量が室内配合試験のセメント添加量を部分的に上回っていることが考えられる。また、模型実験の一軸圧縮試験結果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、模型実験の一軸圧縮試験結果は未固結採取試験の平均値ではなく、最小値に起因することが考えられる。

#### 4. 針貫入試験結果

針貫入試験結果を**図-6** から**図-8** 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>Case1=Case3 となっており、3 ケース共に円を描くような強度分布となっているが、Case1、Case3 では切断面による強度差があまりなく深度によるセメントの偏りが Case2 に比べて少ないことがわかる。

#### 5. まとめ

一軸圧縮試験結果では大きな差異は出なかったが、未固結採取試験、針貫入試験では攪拌挙動の違いが明確に表れた。Case2 は未固結採取試験の最大値も高く、針貫入試験も他のケースに比べて一見強度が高く見えるが、深度によって偏りがみられる。模型実験の一軸圧縮試験結果は改良体の最も弱い部分に起因することが考えられるため、模型実験では3 ケース共にほぼ同程度の強度になったと考えられる。このことから、未固結採取試験において深度による偏りがなく、強度が最も均一に得られた Case1 が最も適していると考えられる。

#### <参考文献>

- 1) 福田果穂, 伊藤和也, 島野嵐, 田代怜: 機械攪拌工法の模型実験におけるセメント添加量の検討, 第 18 回地盤工学会関東支部発表会 GeoKanto2021, 3-7, 2021 年 10 月 22 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.

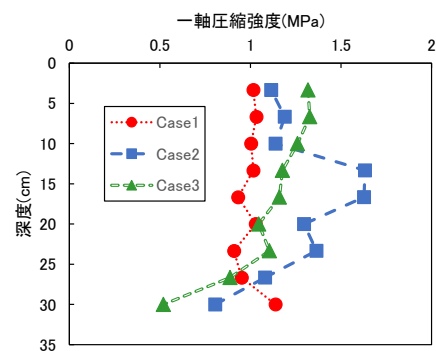


図-4 未固結採取試験結果

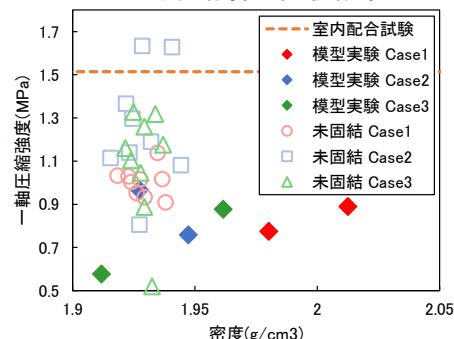


図-5 一軸圧縮強度の関係

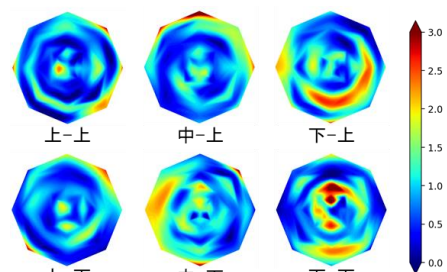


図-6 針貫入試験結果 (Case1)

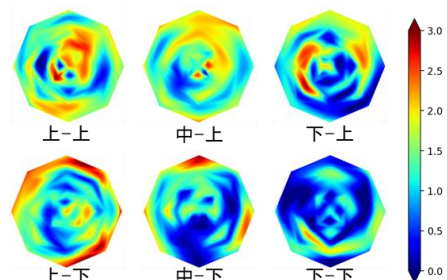


図-7 針貫入試験結果 (Case2)

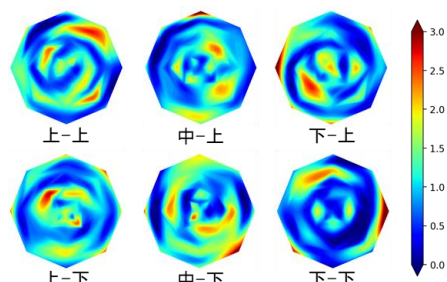


図-8 針貫入試験結果 (Case3)