

スパイラル杭と地盤改良工法を併用した小規模構造物基礎の液状化対策工法に関する模型振動台実験

九州工業大学大学院 学生会員 堀 祐大
 九州工業大学 非会員 坂田 蓮
 九州工業大学大学院 正会員 廣岡 明彦 永瀬 英生

1. はじめに

我が国は、4つのプレートに囲まれているため、他国と比較すると地震が多発しその規模も大きく、地震により多大な人的・経済的損失を被っている。2011年に発生した東日本大震災や2017年に発生した熊本地震においても小規模構造物での液状化被害が多数報告されており、早急な液状化対策が望まれている。しかし、現在の液状化対策工法の多くは大型施工機を用いたものが多く、小規模構造物に対する液状化対策工法としてはコスト面での問題を抱えている現状にある。そこで、小規模構造物に対する液状化対策工法として、施工コストが小さいスパイラル杭工法と、地盤改良工法である浅層混合処理工法に着目し、これらを併用した液状化対策工法を提案する。スパイラル杭工法による小規模構造物の動的挙動に関して知見は得られているが、浅層混合処理工法及びそれを併用した工法による小規模構造物の動的挙動については詳細な知見が得られていないため、様々な条件下で実験を行う必要がある。そこで本研究では、浅層混合処理工法及びそれを併用した工法の小規模構造物による動的挙動について知見を得ることを目的とし、重力場模型振動台実験を行った。

2. 実験概要

図1に実験システムを示す。模型地盤は豊浦硅砂を用いて作製し、液状化層を地盤上部に $Dr=40\%$ として層厚 30cm で設け、非液状化層をその下層に $Dr=70\%$ として層厚 5cm で設けた。模型地盤作製の際、構造物を配置する地盤中央（改良地盤を用いるケースの場合は、改良地盤直下並びに改良箇所の周辺地盤）と構造物の影響が少ない位置で 180,120,60mm の深さに加速度計 A0~A6 及び間隙水圧計 wp1~wp6 を設置した。また、地表面に設置する模型構造物の加速度を計測する加速度計 A0 及び構造物の沈下量を計測するポテンシオメータ PM1,PM2、水平変位量を計測するレーザー変位計 L1 を模型構造物上部に設置した。次に本研究における実験条件を表1に示す。尚、模型縮尺は実地盤の 1/10 と設定した。模型構造物は一般的な木造住宅を想定し、床面積当たりの重量を 12.74kN/m^2 と設定している。スパイラル杭を用いるケースでは、杭の条件としてねじり角 45° 、杭長 150mm、杭の設置間隔 90mm となるよう設定した。改良地盤は、 $130 \times 140 \times 150$ (75 又は 38) mm で作製し、一軸圧縮強度は谷和夫らの研究¹⁾を参考に、実地盤で 400kN/m^2 (重力場模型振動台実験において、井合・香川の相似則より 40kN/m^2) を満たすものを作製し、振動条件は、加振時間 5.46 秒、加速度を約 156gal (振動台試験機の最大振幅の 5%) と設定した。

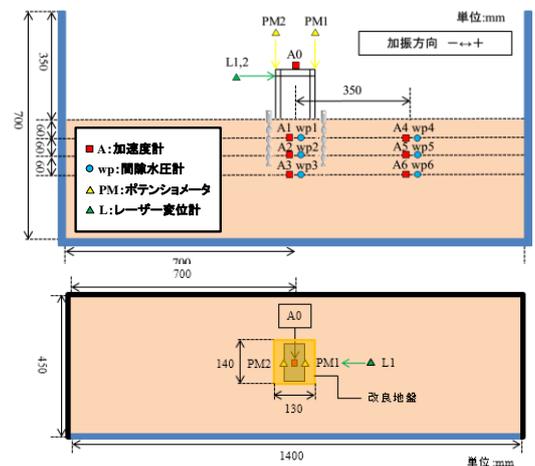


図1 実験システム図

(上：側面図 下：上面図)

表1 実験ケース

実験ケース	実験条件	
	スパイラル杭(本)	改良地盤(mm)
SIG0-0	0	0
SIG4-0	4	0
SIG0-150	0	150
SIG4-150	4	150
SIG4-75	4	75
SIG4-38	4	38

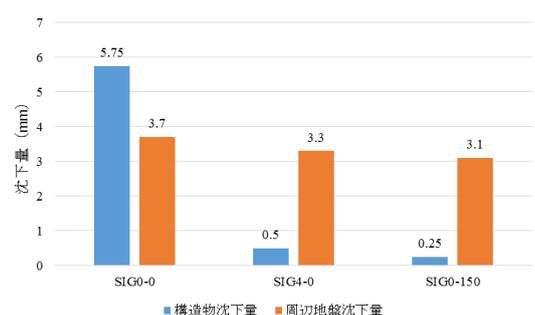


図2 構造物・周辺地盤平均沈下量

3. 実験結果及び考察

3.1 構造物平均沈下量による比較

まず初めに、構造物平均沈下量による比較を行っていく。図2に、SIG0-0,4-0,0-150における模型構造物の平均沈下量を示す。無補強地盤であるSIG0-0が周辺地盤より沈下しているのに対し、SIG4-0,0-150は周辺地盤よりも沈下していないことが分かる。この理由として、SIG4-0に関しては、スパイラル杭を小規模構造物の基礎として設置することによって模型構造物直下の地盤の剛性が保たれたために液状化による構造物の沈下が抑制されたと考えられ、SIG0-150に関しては、構造物直下に非液状化層となる改良地盤を構築したために構造物の沈下が抑えられたと考えられる。

3.2 水平残留変位による比較

次に、模型構造物の水平残留変位による比較を行う。図3に、SIG0-0,4-0,0-150における模型構造物の水平残留変位を示す。無補強地盤であるSIG0-0の水平残留変位が13mmであるのに対し、SIG4-0は1.5mm、SIG0-150は0mmとなっていることが分かる。この理由として、SIG0-0に関しては液状化により模型構造物下の地表面に発生した間隙水によって模型構造物と地表面との間に生じる摩擦力が減少したために水平方向に流されたためであると考えられ、SIG4-0に関してはスパイラル杭を杭基礎とすることによって模型構造物と構造物直下の地盤が剛結されたために、水平方向への抵抗力が上昇したためであると考えられる。SIG0-150に関しては、構造物直下に非液状化層となる改良地盤を構築したために、SIG0-0のように模型構造物下の地表面に間隙水が発生せず、模型構造物と地表面との間に生じる摩擦力が保たれたため、模型構造物自体の水平残留変位が抑えられたと考えられる。しかし、SIG0-150に関しては模型構造物の傾きは生じないが、図4のように模型構造物が回転したような状態となる現象が発生した。これは、模型構造物床面が滑であることが原因で模型構造物と地盤との間の摩擦力が小さくなったために生じたものであると考えられ、SIG0-0に関しても水平方向への位置変化と共にこれと同様の現象が確認できた。SIG4-0に関してはこの現象は発生しておらず、理由としてスパイラル杭を杭基礎として模型構造物と地盤が剛結されたために、模型構造物と改良地盤との間の摩擦力が結果的に無視できる状態となったと考えられる。以上を踏まえ、模型構造物床面を粗にして今後再度実験を行う予定である。

4. まとめ

今回の結果から、地盤改良工法を用いることによって模型構造物の沈下の抑制効果が期待でき、水平残留変位の減少効果も確認できた。しかし、模型構造物床面が滑であることが原因で模型構造物と地盤との間の摩擦力が小さくなり、SIG0-150,SIG4-0に関しては結果的に模型構造物が回転するような現象が発生した。これに関しては今後模型構造物の床面を粗にして再度実験・検討を行っていく予定である。また、地盤改良工法と併用することによってスパイラル杭工法の欠点である杭の拘束範囲外である地表面付近の液状化を防げるのではないかと考える。

以上を踏まえ、スパイラル杭と浅層混合処理を併用した際の小規模構造物の動的挙動、併用する改良地盤の改良厚を小さくした場合の小規模構造物の動的挙動について知見を得るために重力場模型振動台実験を今後行っていく予定である。

1) 浅層盤状改良工法による戸建て住宅の液状化被害軽減効果の検証と経済性評価 谷和夫ら

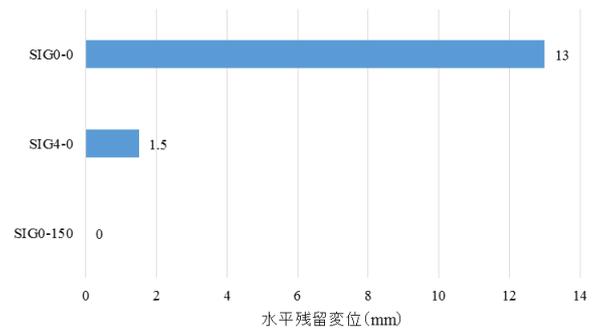


図3 水平残留変位

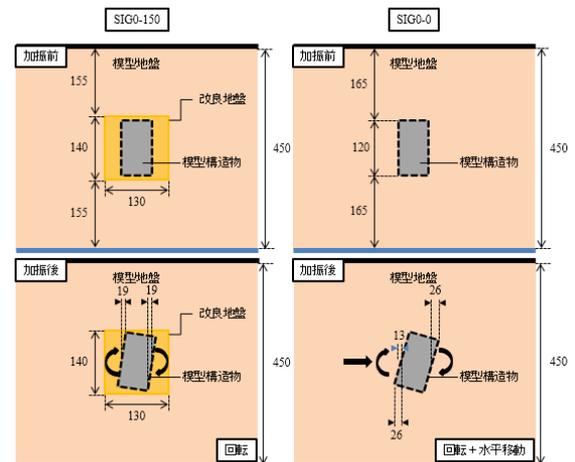


図4 加振後の模型構造物の位置変化