

種々のスパイラル杭の構造物沈下抑制効果に関する振動台実験

九州工業大学大学院 学生会員 ○久保圭史 日高亮
九州工業大学大学院 正会員 廣岡明彦 永瀬英生
日鐵住金建材株式会社 非会員 原田剛男

1. はじめに

我が国では、過去大きな地震において多くの土木構造物が被災し、多大な人的・経済的損失を被っている。特に、埋立地などの軟弱地盤では地震動に伴い、液状化現象が生じる危険性が懸念されている。現在の液状化対策工の多くは、大型施工機を用いる必要があり、小規模構造物に対しては経済的に不利となる場合がある。そこで、小規模構造物基礎直下の液状化地盤の沈下対策として、スパイラル杭を杭基礎として用いる対策工を提案する。スパイラル杭は、その特殊な形状から地盤を拘束する力が生じ、その拘束力が群杭として用いた際に地盤内で重なり合うことで拘束範囲が発生し、液状化時の構造物沈下を抑制させることが期待されている。そのため、実用に向けての詳細な知見を得るために様々な条件下で実験を行う必要がある。本研究ではこの工法による液状化抑制の際に、振動条件、杭長、杭形状及び設置本数の違いがスパイラル杭の構造物沈下抑制効果にどのような影響を与えるかについて調べることを目的とし、重力場振動台模型実験を実施した。

2. 実験概要

図 1 に実験システムを示す。模型地盤には豊浦硅砂を使用し、模型縮尺は 1/10、模型地盤は相対密度 $D_r=40\%$ 、含水比を 5% に調整して作製している。模型地盤作製の際、地盤上部から 60mm, 120mm, 180mm の深さの位置に加速度計と間隙水圧計を設置し、模型構造物の沈下量をポテンシオメータ、水平変位量をレーザー変位計で計測する。

次に本研究における実験ケースを表 1 に示す。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。また、振動条件の違いとして入力加速度振幅、加振時間及び波数を変化させ、杭長による影響を見るために 150mm, 210mm, 270mm のスパイラル杭を用いた。さらに杭形状の違いによる影響を比較するため、ねじり角の異なるスパイラル杭及び鋼管杭を用いて実験を実施した。ここでねじり角とは、スパイラル杭のエッジ部と地盤鉛直面がなす角度と定義する。

3. 実験結果及び考察

スパイラル杭を杭基礎として用いた場合、構造物の沈下量は、杭による抵抗力、主にその周面摩擦力に依存し、周面摩擦力は地盤の本来の拘束圧とスパイラル杭による地盤の拘束効果に支配されるものと考えられる。また、スパイラル杭による地盤の拘束効果はスパイラル杭のねじり角と長さ、杭 1 本に作用する模型構造物荷重に影響を受けるものと考えられる。スパイラル杭の抵抗力 P は、周辺地盤による杭の有効拘束圧 $\sigma'_{conf} = \sigma'_h + \Delta\sigma'_{conf}$ ($\Delta\sigma'_{conf}$: 杭 1 本あたりの構造物荷重、杭のねじり角・長さ・径の関数) と稼動している内部摩擦角 ϕ'_{mob} を用いて式(1)で評価する。 $P = \sigma'_{conf} \tan\phi'_{mob} \cdot \pi \cdot D \cdot L \dots (1)$ ここで、 D と L はスパイラル杭の幅と長さである。一方、

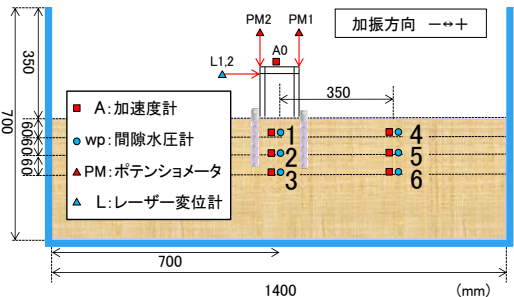


図 1 実験システム

表 1 実験ケース一覧

Case一覧	実験条件						
	杭長 (mm)	加速度 (gal)	加振時間 (sec)	波数	ねじり角 及び杭形状	杭本数 (本)	
1	Short(150)	210	2.73	30波	45°	4	
2		370					
3		580					
4		200	5.46	60波			
5		300					
6	Middle(210)	380	2.73	30波			
7	Long(270)	370					
8		570					
9	無し	360		無し			
10	Short(150)	230		30°			
11		240		鋼管杭			
12		420					
13		430		45°	9		

スパイラル杭による地盤の拘束効果 $\Delta\sigma'_{conf}$ は、模型構造物荷重を W 、杭の本数を n 、杭のねじり角の関数である伝達係数 λ として、 $\Delta\sigma'_{conf} = \lambda \cdot W / n \cdot \pi \cdot D \cdot L \dots (2)$ と簡易的に評価できるものと仮定する。

3.1 杭長の違いによる比較

Case2, Case3, Case6~9 の結果を用いて、杭長の違いによる比較を行う。なお、多少の誤差は見られるが、各ケースにおける入力加速度振幅は一律 370gal または 580gal として実験を行った(表 1)。

各加速度振幅における、杭長と構造物最終沈下量の関係を図 2 に示す。ここで、杭を設置していない Case9 は杭長 0mm の条件として取り扱う。図 2 に示す通り、杭長の増加に伴い、模型構造物の最終沈下量は小さくなる傾向が確認された。これは式(1)の通り、杭長の増加に伴い杭に作用する抵抗力が増加したことが理由として考えられる。また、Case2 と Case7 の間隙水圧の測定結果から、杭長が長いケースの水圧の消散が遅延する傾向が確認されており、式(2)から算出できるように、杭長が増加することで地盤の拘束効果が低下したものと考えられる。

3.2 杭の形状の違いによる比較

Case1, Case10, Case11 の結果を用いて、形状の違いによる影響の比較を行う。各ケースの地盤及び模型構造物の最終沈下量を図 3 に示す。地盤の沈下量が同程度であるものの、模型構造物の沈下量はねじり角 45° , 30° 、鋼管杭の順に小さい結果が得られた。Case1 及び Case10 に差が生じた要因としては、ねじり角が増えることで、杭の作製時に必要な平板の長さが増大し、その長さ分だけ地盤との接触面積が大きいことによる抵抗力の増大が考えられる。また、鋼管杭に比べスパイラル杭で沈下が減少した要因として、スパイラル杭では、構造物荷重による地盤の拘束効果が杭周辺部に生じるため、杭近傍の地盤の剛性を保持したものと考えられる。

3.3 杭の本数の違いによる比較

Case12, Case13 の結果を用いて、杭の本数の違いによる比較を行う。構造物直下地盤に設置した wp2 の過剰間隙水圧比は Case13 がより抑制する結果が得られた。これは、杭間隔が狭まることで、スパイラル杭による地盤の拘束効果の影響がより顕著に現れたためと推測できる。沈下量に関して、周辺地盤は同程度の沈下が確認されたが、模型構造物は、Case12 では約 4.6mm, Case13 では約 3.2mm の沈下が生じている(図 4)。ここで、杭 n 本による抵抗力は $n \cdot P = n \cdot \sigma'_{conf} \cdot \tan \phi'_{mob} \cdot \pi \cdot D \cdot L$ (式 (1) より) となり、本数増加に伴い抵抗力は大きくなる。それに対し、地盤の拘束効果は、杭 1 本当たり $\Delta\sigma'_{conf} = \lambda \cdot W / n \cdot \pi \cdot D \cdot L$ (式 (2) より) と表すことができ、本数増加に伴い圧縮効果は小さくなる。杭を 9 本配置した Case13 がより沈下を抑制するという結果から、構造物の沈下に関して、地盤の拘束効果に比べ、スパイラル杭の抵抗力が大きく依存するものと考えられる。

4. まとめ

本研究より杭の種々の条件の違いが沈下抑制効果に与える影響について以下の知見が得られた。

- ・杭長、ねじり角、設置本数を増加させることで模型構造物の最終沈下量は抑制される。
- ・杭が長すぎると、地盤の拘束効果が弱まり、水圧の消散速度等に影響を与える。

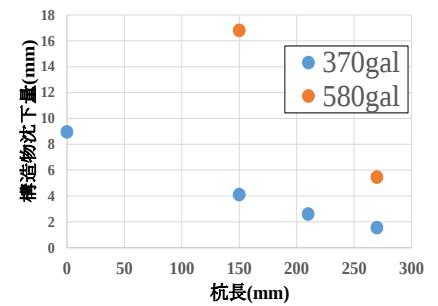


図 2 杭長-構造物沈下量関係

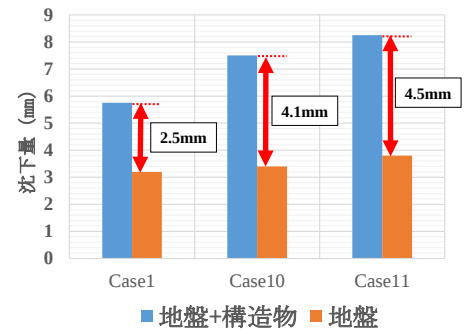


図 3 最終沈下量

(Case1, Case10, Case11)

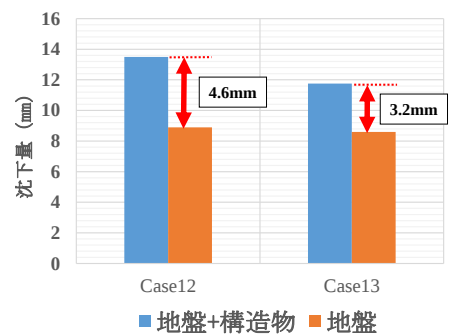


図 4 最終沈下量

(Case12, Case13)