

一方向繰り返し荷重を受ける砂地盤中の鋼管単杭の変形挙動に関する遠心模型実験

大成建設株式会社 正会員 ○武内 克之  
東京工業大学 正会員 竹村 次朗

1. はじめに

本研究は、風力発電用モノパイル基礎に作用する風荷重のように片側一方向の繰り返し荷重を想定し、砂地盤中の鋼管単杭に対して一連の遠心模型荷重実験を行った。杭径/肉厚比と遠心加速度比を変化させることにより、杭径 0.26m から 4.0m の杭が異なる杭と地盤の剛性比をモデル化した。前報では、杭のモデルに対する拡張型相似則<sup>1)</sup>と杭径と地盤剛性比の杭の水平抵抗に与える影響を検討した。本報では、繰り返し荷重に伴う、残留変位の増加、更には水平剛性の変化について検討した結果を述べる。

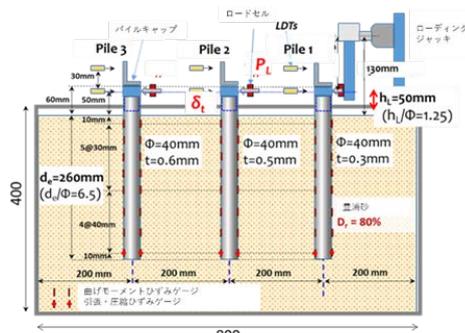


図1 遠心模型概要

2. 遠心実験方法と実験条件

(1). 実験概要と条件

本研究で用いた遠心模型概要を図1、実験ケース毎の条件を表1に示す。詳細は別報<sup>2)</sup>とする。

表1 実験ケース一覧

使った杭	Model or Centrifugal	単位	Case1			Case2			Case3		
			Pile1	Pile2	Pile3	Pile4	Pile5	Pile6	Pile7	Pile8	Pile9
肉厚 $t$	Model	mm	0.3	0.5	0.6	0.3	0.5	0.6	0.3	0.5	0.6
遠心加速度 $\eta$	Model	G	6.55	17.6	25	13.1	35.3	50	26.2	70.6	100
曲げ剛性 EI	Model	MN*m <sup>2</sup>	1.45	2.38	2.84	1.45	2.38	2.84	1.45	2.38	2.84
	Centrifugal	GN*m <sup>2</sup>	0.00267	0.229	1.11	0.0428	3.7	17.7	0.684	5.92	284
正規化肉厚 $t/\Phi$	Centrifugal	-	0.75	1.25	1.5	0.75	1.25	1.5	0.75	1.25	1.5
相対剛性 $E_e/G^*$	Centrifugal	-	417			294			208		
	Model	mm	40								
杭径 $\Phi$	Centrifugal	m	0.262	0.706	1	0.524	1.412	2	1.048	2.824	4

(2). 相対剛性とひずみレベル

本研究では、剛性を評価するために、地盤に対しての杭の曲げにくさを表したパラメータである相対剛性： $E_e/G^*$ を使用した。 $E_e/G^*$ はそれぞれ、杭の曲げ剛性 EI と地盤のせん断剛性 G から求まる値である。地盤のせん断剛性は式(1)によって求まる値であり、 $p$  は平均主応力、 $K(\gamma)$ と  $m(\gamma)$ はせん断ひずみ $\gamma$ の関数である。

$$\{G\}_{\gamma,p} = K(\gamma) \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} p^{m(\gamma)} \quad \text{式 (1)}$$

図2は、 $m(\gamma)$ と $\gamma$ の関係を示した図である。この図は、

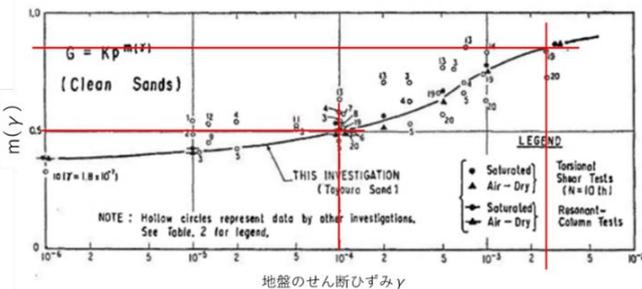


図2  $\gamma - m(\gamma)$ 関係図

ひずみレベルが大きくなると  $m(\gamma)$ の値が大きくなり、せん断剛性の平均主応力の依存度が高くなることを表している。ひずみレベルによって相対剛性がどのように変わるかを考えるため、今回の実験のケースにおける $\gamma=0.01\%$ の場合と $\gamma=0.3\%$ の場合で相対剛性を比べてみる。ここで、平均主応力は地盤の深さによって定まる値

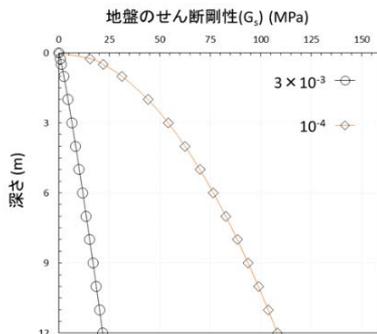


図3 z-Gs関係図

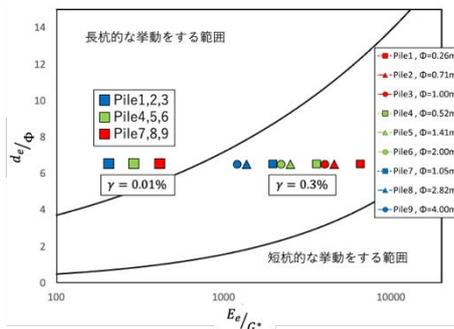


図4 根入れ比と相対剛性

のため、地盤のせん断剛性は、地盤の深さとせん断ひずみによって求まる関数である。図3は、地盤のせん断剛性と深さ、せん断ひずみの関係を表している。本来であれば地盤のせん断剛性は、杭の深さ方向の位置によって変化する物理特性であるが、計算の煩雑さを防ぐため、本実験では杭径の2倍の深さの位置の地盤のせん断剛性を用い

キーワード 鋼管単杭、遠心模型、繰り返し水平荷重試験、豊浦砂、相対剛性、残留変位

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 TEL03-5381-5293

て結果を整理した。図4は、今回の実験ケースにおける根入れ比 (=6.5) と相対剛性の関係を示している。ひずみレベルが小さいとき、杭の挙動は長杭に似たものを示し、ひずみレベルが大きくなるにつれて、杭の挙動は短杭に似たものとなる。

図5は、本実験により得られた荷重と変位を、それぞれ $\eta\gamma\Phi^3$ と $\Phi$ で除することにより無次元量に正規化した値の関係を示している。本研究はこの関係をもとに結果を整理した。

### 3. 杭頭の残留変位とシステム剛性の推移について

本実験は繰り返し载荷を行ったため、その結果を示す。図6は、 $i$  サイクル前最大荷重： $(P_p/\eta\gamma\Phi^3)_i$ 、 $i$  サイクル前最大変位： $(\delta_{tp}/\Phi)_i$ 、システム剛性： $E_i$ 、残留変位： $(\delta_{tr}/\Phi)_i$ を定義する模式図である。また、各杭の荷重を正規化するために、 $\delta_t/\Phi = 15\%$ での荷重を極限荷重 $P_{ult}$ として定義する。

#### (1). 残留変位の推移に関して

図7は、サイクル前最大変位と残留変位の関係を表している。図8は、正規化荷重 $P_p/P_{ult}$ と残留変位の関係を表している。これらの図から、サイクル前最大変位と正規化荷重どちらに関しても、相対剛性が大きくなると残留変位が大きくなることが読み取れる。また、サイクル前最大変位に関して残留変位は直線的に増えていくが、正規化荷重に関して残留変位は2次関数に近い挙動で増えていくことがわかる。

#### (2). システム剛性の推移について

図9は、システム剛性と正規化荷重の関係を示している。この図から、正規化荷重が増加するとシステム剛性は減少することが読み取れる。また、杭径が小さくなればシステム剛性は小さくなることも読み取れる。図10は、システム剛性と杭径の関係を表している。この図から、杭径が大きくなるとシステム剛性が小さくなることが読み取れる。また、その関係は指数関数的に減少することが読み取れる。

### 4. 結論

- (1). 地盤のせん断ひずみレベルによって相対剛性は変化し、杭の変形挙動も影響を受ける。载荷の進行とともにひずみレベルを増加させていく考察方法も今後の課題として挙げられる。
- (2). 杭頭の残留変位に関して、サイクル前最大変位と正規化荷重が増加すると残留変位は増加する。また、相対剛性が大きいほど残留変位は増加する。
- (3). 地盤のシステム剛性に関して、正規化荷重が増加するとシステム剛性は減少する。また、杭径が大きくなるとシステム剛性は減少し、その傾向は指数関数的であることが読み取れる。

#### 参考文献

- 1) 武内克之, 竹村次朗: 水平力を受ける砂地盤中の単杭の物理模型に関する拡張型相似則の検討, 第54回地盤工学研究発表会
- 2) 武内克之, 竹村次朗: 水平力を受ける砂地盤中の大口径鋼管単杭の力学挙動に関する実験的研究, 第55回地盤工学研究発表会

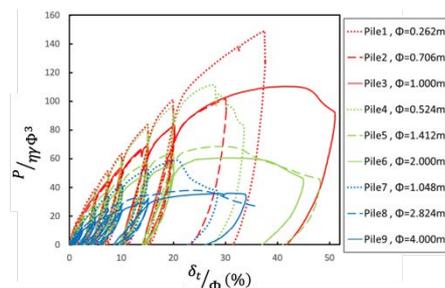


図5 変位-荷重関係図

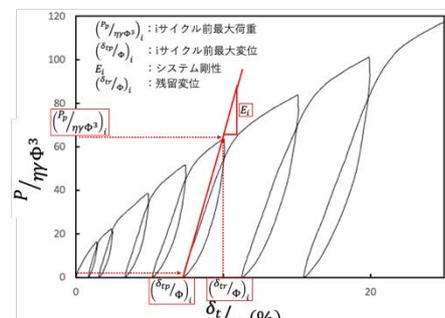


図6 定義模式図

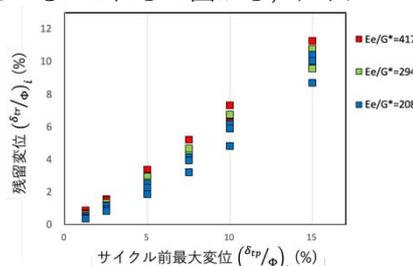


図7 残留変位-最大変位

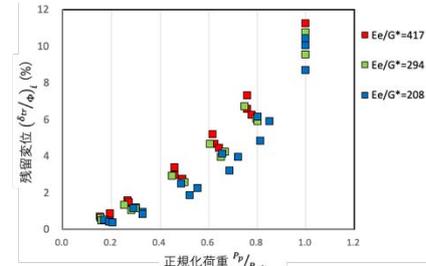


図8 残留変位-正規化荷重

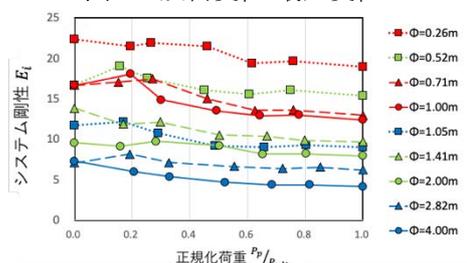


図9 システム剛性-正規化荷重

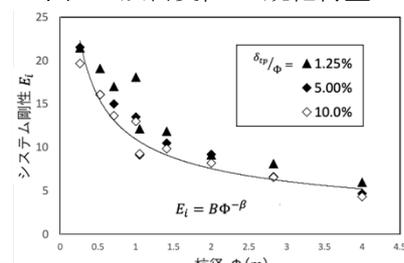


図10 システム剛性-杭径