

基礎部の根入れ効果を考慮した応答変位法による杭応力評価

正会員 ○田村修次*1 同 肥田剛典*2

杭基礎 地震時土圧 側面摩擦力
液状化 応答変位法 遠心载荷実験

1. はじめに

基礎部に作用する土圧・側面摩擦力は、地震時における杭応力に大きな影響を及ぼす。しかし、基礎の根入れ効果を考慮した杭応力評価法は確立していない。そこで本研究では、主働・受働面の地震土圧および側面の摩擦力を考慮した応答変位法を提案するとともに、その妥当性を杭—基礎部—上部構造物系の遠心载荷実験で検証した。

2. 遠心载荷実験

実験は上部構造物の固有周期、杭の剛性をパラメータにして、京都大学防災研究所の遠心载荷装置で40g場で行った。実験モデルを図1、実験ケースを表1、杭の諸元を表2に示す。基礎部は4本の杭で支持し、杭頭および杭端は剛結合とした。基礎部の質量は0.99kg、上部構造物の質量は2.0kgである。地盤は豊浦砂を用いて空中落下法で作成し、相対密度30%とした。地盤作成後、脱気槽に入れて土槽下部から水の40倍の粘性をもつメトロース溶液を注入し、飽和させた。地下水位は基礎部下10mmとした。基礎部の側面には2方向ロードセルを設置し、主働・受働面の土圧と側面摩擦力の計測を行った。また、上部構造物、基礎部の加速度、地盤の加速度および過剰間隙水圧、杭のひずみを計測した。入力波は、Hachinohe 1968 NSの最大加速度を 3m/s^2 (実大スケール)に調整したものを用いた。以下、実験値は実大スケールに換算して示す。

3. 基礎根入れ効果を考慮した応答変位法

基礎根入れ部に作用する土圧摩擦合力(主働・受働面の土圧と側面の摩擦力の和)を考慮した応答変位法を模式図で図2に示す。基礎部には、文献¹⁾に基づいて土圧摩擦合力を作用させた。構造物慣性力と地盤変位は同時载荷とし、増分法で杭応力を算定した。また、杭頭固定度を考慮するため、基礎部と杭頭の間に回転バネを設置した。

基礎部に作用する土圧摩擦合力の影響を、Case 1の杭頭曲げモーメント最大時($t=29.25\text{s}$)を対象に検討する。主働土圧、受働土圧に至る地盤と基礎部の相対変位は、基礎の根入れ深さの0.5%および4%、側面摩擦力が最大に至る相対変位 $D_{\max}$ は0.15cm、砂の内部摩擦角 ϕ は 34° 、地盤の水平震度は0.2とした。地表面変位は実測値(加速度の二階積分)とし、その深度分布は地表面からGL-3mまで同一変位、その以深でCOS分布とした。水平地盤反力は、微小加振における地盤の固有周期から地盤の平均S波速度を算定し、それから換算したN値から建築基礎構造設計指針に基づいて算定

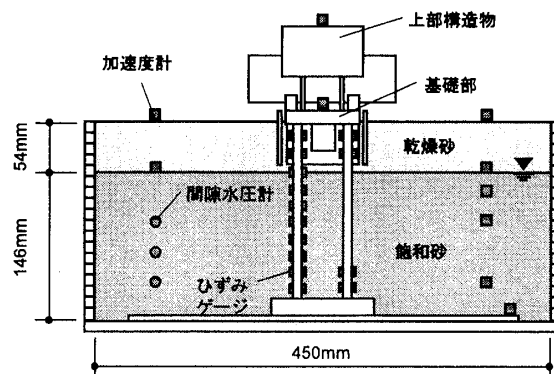


図1 実験モデル(Case 1, 2)

表1 実験ケース

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
杭剛性	高剛性杭	低剛性杭	高剛性杭	低剛性杭
上部構造物 固有周期	0.0075 s (0.3s)		0.125 s (5.0 s)	
地盤の相対密度	30%			

表2 杭の諸元

	高剛性杭	低剛性杭
杭の材質	ステンレス棒	アルミ管
断面寸法 (実大スケール)	$\phi=8\text{mm}$ ($\phi=32\text{cm}$)	$\phi=8\text{mm}$, $t=0.8\text{mm}$ ($\phi=32\text{cm}$, $t=3.2\text{cm}$)
曲げ剛性 (実大スケール)	$3.85 \times 10^5 \text{ Ncm}^2$ ($9.86 \times 10^4 \text{ kNm}^2$)	$0.84 \times 10^5 \text{ Ncm}^2$ ($2.14 \times 10^4 \text{ kNm}^2$)

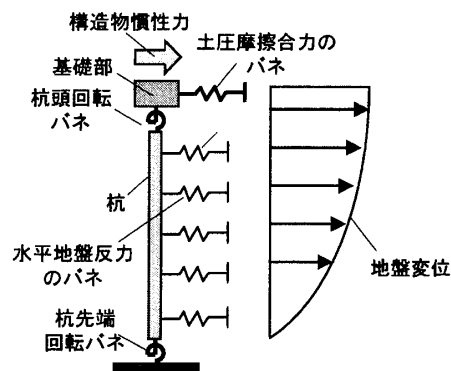


図2 基礎の根入れ効果を考慮した応答変位法の模式図

した。液状化に伴う水平地盤反力の低減係数 α , β は0.2, 0.1, 0.01とした。本研究の模型では、ロードセルを設置している基礎部内が空洞であるため、その部分に相当する水平地盤反力はゼロとした。杭頭および杭先端の回転バネは

模型の荷重試験から算定し、高剛性杭で 1.41×10^5 (kNm/rad)、低剛性杭で 1.65×10^5 (kNm/rad)とした。上部構造物と基礎部の慣性力は対象とする時間の実測値を用いた。

図3に基礎の根入れ効果を無視（土圧摩擦合力がゼロ）した応答変位法で算定した杭の曲げモーメント・せん断力の深度分布を、実測値とともに示す。算定した杭曲げモーメントおよび杭せん断力は、低減係数 α , β によらず実測値に比べて極めて小さい。杭頭せん断力の推定値は実測値の1/3程度である。これは、実験では土圧摩擦合力が外力として基礎部に作用したためである。

図4に基礎の根入れ効果を考慮した応答変位法で算定した杭の曲げモーメント・せん断力の深度分布を実測値とともに示す。低減係数 α , β によらず、理論杭頭曲げモーメントの深度分布は実測値と概ね対応する。一方、杭せん断力の深度分布は、低減係数 α , $\beta=0.1 \sim 0.2$ で推定値と実測値が概ね対応する。

次に、Case 1~4の杭頭曲げモーメント最大時を対象に基礎の根入れ効果を検討する。土圧摩擦合力を考慮しない応答変位法で算定した杭頭曲げモーメント、杭先端せん断力と実測値の関係を図5に示す。杭頭曲げモーメントの推定値は、低減係数 α , β によらず実測値を大きく下回る。杭先端せん断力の推定値は、 $\alpha=\beta=0.2$ で実測値と最も対応する。ただし、図3(b)に示したように杭せん断力の深度分布は推定値と実測値で大きく異なることに注意が必要である。

土圧摩擦合力を考慮した応答変位法で算定した杭頭曲げモーメント、杭先端せん断力と実測値の関係を図6に示す。低減係数 α , $\beta=0.2$ における杭頭曲げモーメントの推定値は、実測値と概ね対応する。杭先端せん断力は、低減係数 α , β が $0.1 \sim 0.2$ 程度で実測値が推定値と対応する。

以上のように、基礎の根入れ効果を無視した場合、低減係数 α , β によらず、杭の曲げモーメントおよびせん断力の実測値を応答変位法で説明することは難しい。基礎の根入れ効果を考慮した場合、杭頭曲げモーメントの推定値は実測値と概ね対応する。低減係数 α , β の感度は比較的小さい。一方、杭先端のせん断力を評価するためには、基礎の根入れ効果のみならず、精度の高い低減係数 α , β の設定が必要である。

5. まとめ

基礎部に作用する地震土圧摩擦合力を考慮した応答変位法を提案するとともに、その妥当性を杭-基礎部-上部構造物系の遠心荷重実験で検証した。その結果、以下のことを示した。①基礎の根入れ効果を考慮することで、杭頭曲げモーメントの推定値は実測値と概ね対応する。②杭先端のせん断力を評価するためには、基礎の根入れ効果のみならず、精度の高い低減係数 α , β の設定が必要である。

<参考文献> 田村修次、肥田剛典：応答変位法に基づいた杭基礎の基礎部に作用する土圧と側面摩擦力の評価 - 液状化地盤上に乾燥砂層が存在するケース -、第46回地盤工学研究発表会、2011（投稿済み）

* 京都大学防災研究所 准教授・博士（工学）

** 東京理科大学 助教・博士（工学）

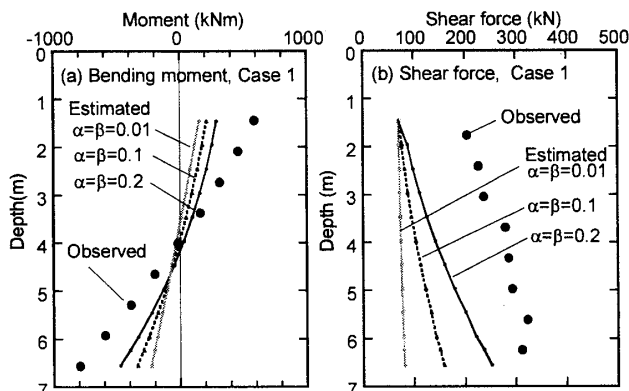


図3 杭の曲げモーメントとせん断力の深度分布の推定値（土圧摩擦合力を無視）と実測値

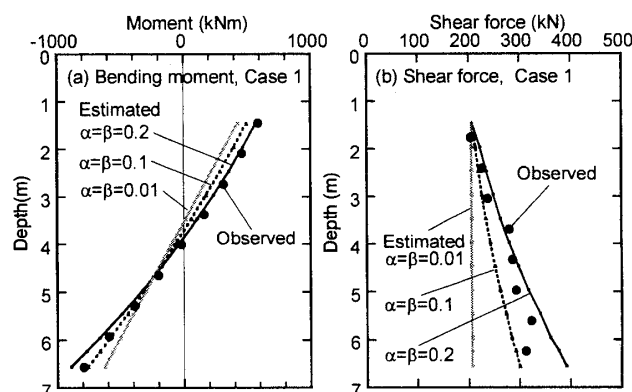


図4 杭の曲げモーメントとせん断力の深度分布の推定値（土圧摩擦合力を考慮）と実測値

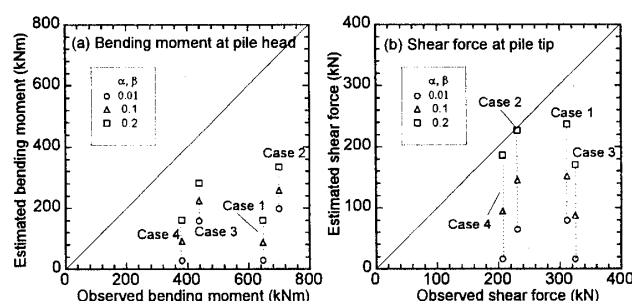


図5 杭頭曲げモーメントと杭先端せん断力の推定値（土圧摩擦合力を無視）と実測値の比較

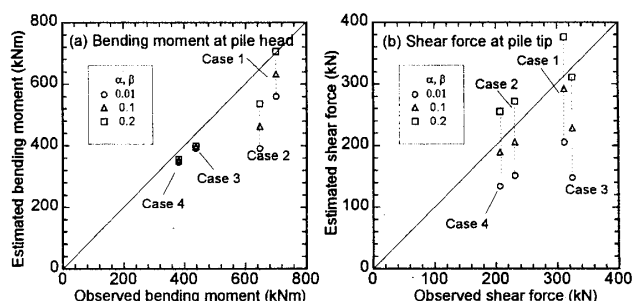


図6 杭頭曲げモーメントと杭先端せん断力の推定値（土圧摩擦合力を考慮）と実測値の比較

* Associate Prof., DPRI, Kyoto University, Dr. Eng.

** Assistant Prof., Tokyo University of Science, Dr. Eng.