

## 杭基礎の地震時挙動と静的な水平載荷挙動に関する実験と解析

群馬大学工学部 正会員 若井 明彦  
 群馬大学工学部 正会員 鶴飼 恵三  
 群馬大学大学院 学生会員 塩谷 威弘

### 1. はじめに

杭基礎に対する 1G 場の振動台模型実験を行うとともに FEM により再現する．従来の震度法の妥当性を検証するために，杭頭の応答加速度から推定される慣性力を静的に載荷した場合の結果もあわせて示す．

### 2. 振動台模型実験

実験の概略を Fig.1(a)(b)に示す．実験土槽は剛である．地盤は  $Dr = 90\%$  の密な乾燥砂（小名浜砂）により作成した．ひずみ計測を容易にするため，低剛性の硬質塩化ビニール管（JIS K 6741）（外径 48mm，肉厚 2mm）を模型杭として使用した．地震波は 5Hz の正弦波とし，振幅が約 3, 2, 1m/sec<sup>2</sup> の 3 ケースを対象とした．杭頭部には上部工を模擬した鋼製のおもり（(a) 8.3kg，(b) 1.7kg の 2 通り）を載せた計 6 ケースを実施した．

### 3. 解析モデル

FE メッシュを Fig.1(c)(d)に示す．土の構成則には著者が提案している繰返し載荷モデル（若井・鶴飼，1999）を適用した．同モデルの特長は，土の動的変形特性（ $G$ ， $h$  関係）と強度定数（ $c$  と  $\phi$ ）をとともに考慮し，さらに Rowe のストレス・ダイレイタンス関係等の流れ則を適用できるなど，多様な土からなる系の地震時挙動を簡便かつ合理的に 3 次元解析できる点である．材料定数を Table.1 に示す．地盤の定数は三軸圧縮試験結果をもとに決定した．ヤング率は三軸試験より求めた  $E_{50}$  から， $E = 2 \times E_{50}$  として推定した（式(1)）．

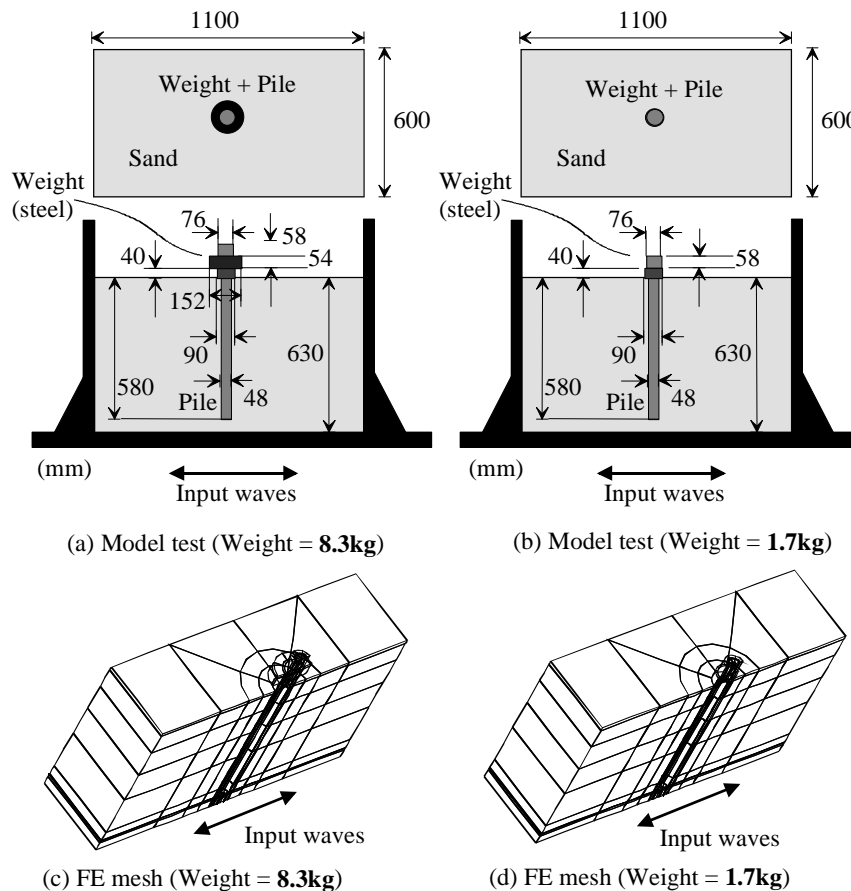


Fig.1 振動台実験と有限要素メッシュ．

Table.1 解析パラメータ一覧．

(a) 模型杭（弾性体と仮定）

$E$ (kPa)	$c$ (kPa)	$\phi$ (deg)
2000000	0.40	$10^{20}$
$K_{cv}$	$b \cdot \sigma_v$	$n$
—	—	—
(kN/m <sup>3</sup> )		
13.2		

(b) 地盤（乾燥砂）

$E$ (kPa)	$c$ (kPa)	$\phi$ (deg)
式(1)	0.30	0
47.5		

$$E = 2286 \cdot \left[ \frac{1.0 + 3.0}{2} \right]^{0.831}$$

$K_{cv}$	$b \cdot \sigma_v$	$n$
3.5	3.0	1.5
(kN/m <sup>3</sup> )		
15.3		

$K_0$	Rayleigh減衰の $h$
0.5	周期0.2 ~ 2.0sec で概ね $h = 2\%$

キーワード 杭基礎，振動台実験，地震時，弾塑性，有限要素法

連絡先 〒376-8515 桐生市天神町 1-5-1 群馬大学工学部 建設工学科 Tel.&Fax 0277-30-1624 (若井)

### 4. 実験と解析の比較

各ケース（5Hz 正弦波）の杭頭の加速度応答倍率の比較をしたのが Fig.2 である。おもり 8.3kg では 1.3~1.8, 1.7kg では 1.1~1.2 が得られた。解析は実験の傾向を良く再現している。一方、各ケースにおいて杭頭の変位振幅の最大時に着目して杭の曲げひずみ分布を求めたものが Fig.3 である。入力波振幅の増加とともにひずみは徐々に増加していく傾向が見られ、解析と実験は定量的にも非常に良く一致している。

次におもり 8.3kg, 入力波振幅 3m/sec<sup>2</sup> のケースについて、杭頭の最大応答加速度におもりの質量を乗じて計算された見かけの最大慣性力を、杭頭部に静的に水平载荷した場合の結果について示し、先の地震時の結果と比較する。Fig.4 から分かるように、地震時より静的の方がひずみは小さい。これは震度法による予測結果が危険側になることを意味する。いずれの場合も解析は実験結果を定量的に良く再現した。本解析により杭基礎の地震時挙動は十分に再現しうると考えられる。

### 5. 地震時挙動と静的な水平载荷挙動の比較

以降では解析結果のみに着目する。Fig.4 と同様に地震時と静的载荷時のひずみ分布の差異について、同じくおもり 8.3kg のケースにおいて、入力波の周波数を操作した場合の各解析結果を比較したのが Fig.5 である。周波数が低い（5Hz）ケースでは静的よりも地震時の方がひずみは大きい。周波数が大きくなるにつれて、静的よりも地震時の方がひずみが相対的に小さくなる傾向が見られる。このように入力波の特性は地震時と静的の結果の相互関係（ひずみの大小関係）に大きな影響を与える。以上は振動モードとの関係からも考察できる。Fig.5 の周波数 5, 25Hz の両ケースにおいて、おもり重心位置（太線）と杭から充分離れた地表面（細線）の応答加速度の時刻歴を示す（Fig.6）。両者の位相差が小さい場合に、地震時は静的よりも大きな曲げひずみを与えることがわかる。

### 6. まとめ

砂地盤中の単杭の振動台実験を、簡易な繰返し载荷構成モデルを用いた動的弾塑性 FEM により再現した。今後は群杭を解析対象に加えて詳細な検討を行う予定である。参考文献

若井・鶴飼 (1999): 簡易な繰返し载荷モデルに基づく非線形動的応答解析と設計への応用, 第 44 回地盤工学シンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp.337-342.

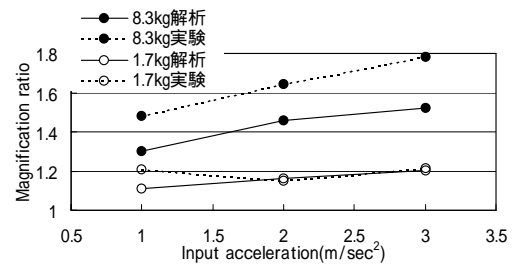
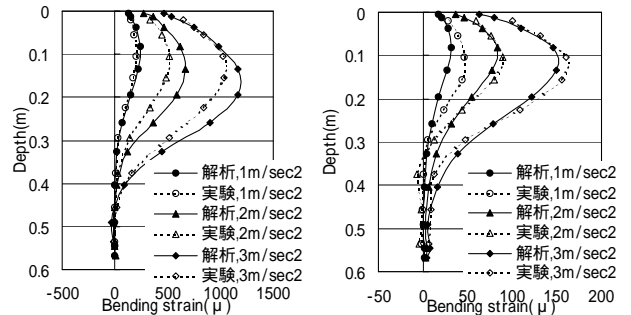


Fig.2 各ケースの加速度応答倍率。



(a) おもり 8.3kg (b) おもり 1.7kg

Fig.3 各ケースの曲げひずみ分布。

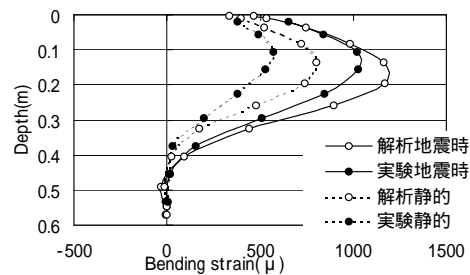


Fig.4 地震時と静的载荷の結果の比較。  
(おもり 8.3kg, 入力波振幅 3m/sec<sup>2</sup>)

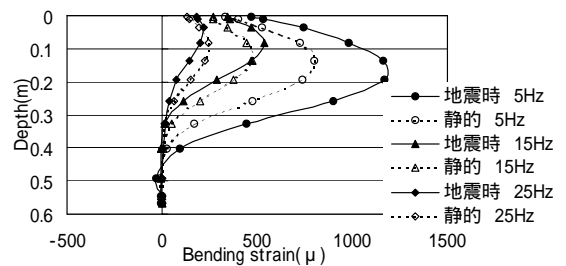
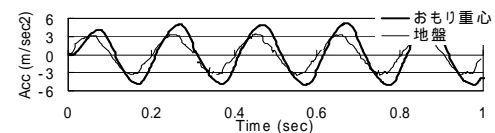
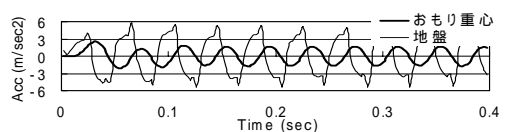


Fig.5 入力周波数と地震時・静的結果の関係。



(a) 入力波 5Hz



(b) 入力波 25Hz

Fig.6 おもりと地盤の振動位相差の比較。