

1. はじめに

阪神大震災によって基礎構造に被害があると推定された物件についての杭の調査結果によると、杭頭部だけではなく杭中間部に損傷が見られる場合がある。損傷部分の深さが深いことから、構造物の慣性力だけでは説明ができない場合もある。その理由の1つとして、大地震時に地盤が水平に変形したためとも推測されている。ここでは、地盤－杭基礎－構造物全体系の非線形多質点モデルを考え、地震応答解析を行い、地震入力を変えて、断面力の比較検討を行い、耐震設計指針の資料に供しようとした。

2. 解析手法

自由地盤系を式(1)に示す。

$$[M_s](\ddot{u}_s) + [C_s](\dot{u}_s) + [K_s](u_s) = \{0\} \quad \dots (1)$$

構造物系を式(2)に示す

$$\begin{bmatrix} [M_P] \\ M_T \\ [M_B] \end{bmatrix} ((\ddot{u}_t) + (\ddot{u}_s)) + \begin{bmatrix} [C_P] \{C_{PT}\} & 0 \\ \{C_{TP}\} & C_T & \{C_{TB}\} \\ 0 & \{C_{BT}\} & [C_B] \end{bmatrix} (\dot{u}_t) + \begin{bmatrix} [K_P] & \{K_{PT}\} & 0 \\ \{K_{TP}\} & K_T & \{K_{TB}\} \\ 0 & \{K_{BT}\} & [K_B] \end{bmatrix} (u_t) + \begin{bmatrix} [M_E] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} (\ddot{u}_t) - \{u_s\} + \begin{bmatrix} [C_E] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} (\dot{u}_t) - \{u_s\} + \begin{bmatrix} [K_E] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} (u_t) - \{u_s\} = 0 \quad \dots (2)$$

表-1: 解析の種類

解析の種類	構造物系のせん断ばねの指定	相互作用ばねの指定	地盤系のせん断ばねの指定
CASE-1	非線形(*1)	線形	非線形(*2)
CASE-2	非線形(*1)	線形	線形
CASE-3	線形	線形	非線形(*2)
CASE-4	線形	線形	線形

*1: 武田モデル *2: バイリニア

Pelzienらの提案した連成質点系モデルで、図-1に示すように杭支持構造物の地震応答を周辺地盤の影響を考慮して解く。このモデル図-2は、杭に支えられた上部構造、杭および杭周辺地盤をモデル化の対象とし、杭先端より上の部分をモデル化の範囲としている。地震応答計算に際しては、各時刻ごとに、まず自由地盤系の応答を底面入力地動に対して計算し、次に構造物系の応答を底面入力地動と側面から相互作用ばね・

ダッシュポットを介して入力される自由地盤系の応答変位・応答速度とを同時に考慮して計算する。RC構造物の場合、まずひび割れが入り、次いで降伏し破壊に至るため、これらの非線形応答を考慮できる復元力特性として、図-3に示すトリリニアモデルを用いた。地盤は、バイリニアモデルを用い、塑性傾斜率0.9、せん断バネの降伏変位0.5cmとし、いずれも線形モデルと比較した。解析の種類は表-1に示すように構造物系、地盤系で、それぞれ非線形を用い、線形と比較したので4種類のモデルを対象とした。入力地震波形は兵庫県南部地震時に鷹鳥(第2種地盤)で観測された波形とTaft地震を用い、まず100galに基準化した。

3. 解析結果と考察

全体系の固有周期は12次まで求められ、1次1.35秒、2次0.35秒、3次0.26秒、4次0.16秒となる。地盤は1次1.00秒、2次0.32秒、3次0.22秒、4次0.18秒となる。杭－構造物系の応答最大値包絡線分布の加速度、速度、変位、転倒モーメント、せん断力を図-4(a)(b)(c)(d)に示す。地盤部の加速度、速度、変位応答最大値包絡線分布を図-5(a)(b)(c)に示す。鷹取地震入力時の応答の方がTaftに比べて、約3倍程度、線形、非線形を問わず大きい。これは、鷹取のスペクトル特性(1次のみの単峰型で約1Hz)が系の構造物に影響したためである。線形モデルに比べて、厳密な振動挙動を示す非線形モデルでは断面力(モーメント、せん断力)が小さくなるのが分かる。地盤部の応答についても同様に鷹取地震がTaftより大きいことが分かるが、線形に比べて非線形モデルの変位は大きくなっており、加速度は小さくなるのが分かる。

鷹取地震100gal入力時の構造物と地盤が線形、構造物が線形で、地盤が非線形、両者とも非線形時の加速度時刻応答波形を図-6(a)(b)(c)に示す。同様に図-7は両者とも非線形で200gal入力時を示す。厳密解

における非線形モデル各部分
の応答波形が理解できる。

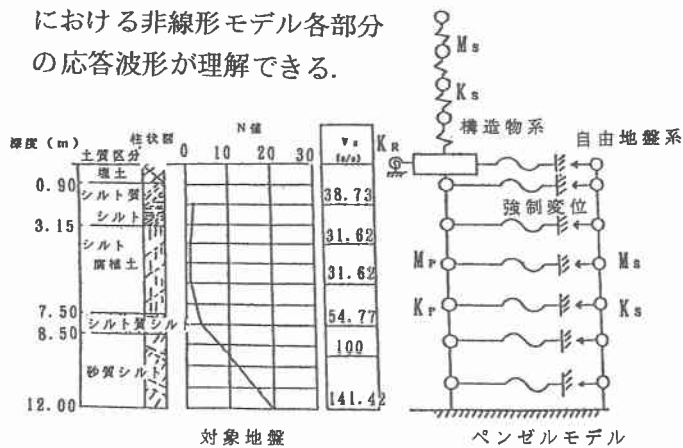


図-1 対象地盤とモデル

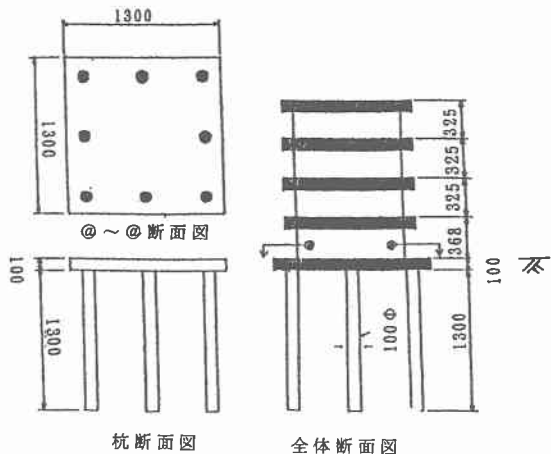


図-2 対象解析モデル

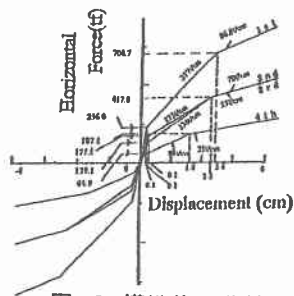
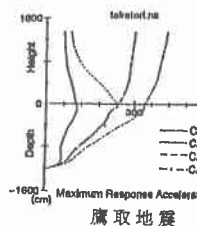
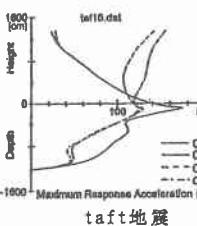


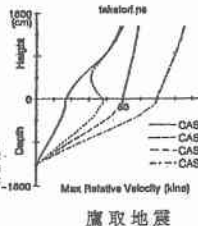
図-3 構造物の非線形復元力特性



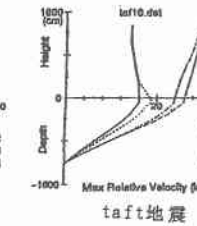
(a) 応答加速度



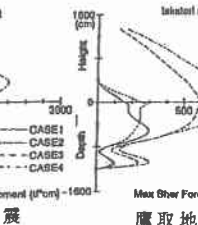
(b) 応答速度



(c) 応答変位

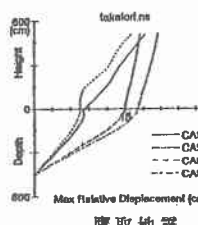


(d) 転倒モーメント

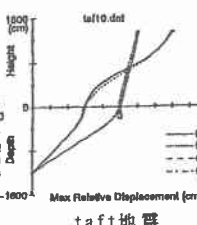


(e) せん断力

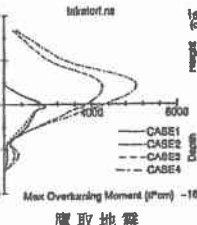
図-4 (a) (b) (c) (d) (e) 杭-構造物の応答最大値、包絡線分布



(a) 加速度

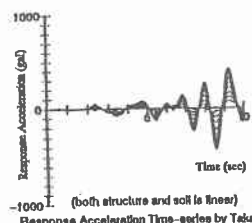


(b) 応答変位

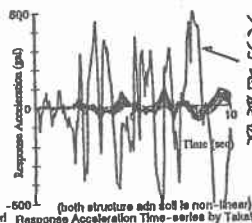


(c) 応答速度

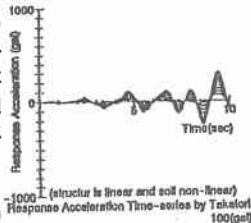
図-5 (a) (b) (c) 地盤部の応答最大値、包絡線分布



(a) 線形



(b) 非線形



(c) 地盤のみ非線形

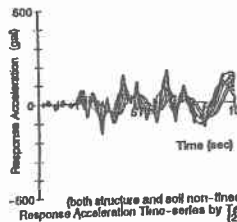


図-7 非線形 (鷹取地震200gal入力)

図-6 (a) (b) (c) 加速度時刻歴応答波形 (鷹取地震100gal入力)

参考文献

- 1) Masaaki YOSHIKAWA et al.: SEISMIC BEHAVIOUR OF PILE GROUPS BY HYBRID EXPERIMENTS, EESD. VOL. 20, PP. 895~909, 1991. 4.