

## Ⅲ-A420

## 群杭基礎の耐震検討

大阪市 正会員 井上 智仁  
 京都大学大学院 正会員 木村 亮  
 岐阜大学 正会員 張 鋒

## 1.はじめに

近年、基礎構造物の大地震に対する耐震設計法の早急な確立が望まれている。耐震設計を考えるうえで必要となる、対象構造物の地震時挙動を正確に把握できる有効な解析手法として上部工・基礎・地盤の一体系動的解析がある。そこで、大地震における杭基礎の耐震性を解析上適切に評価するため、地盤・杭基礎の非線形性および地震荷重の繰返し載荷特性を評価した3次元弾塑性有限要素解析（DGPIL-3D）を開発した<sup>1)</sup>。そして、一体系動的解析結果に基づいて、従来の杭基礎の耐震設計手法として頻用されている分離法・応答変位法の妥当性を検討する。

## 2.検討手法

各手法の検討方法は以下の通りである。なお、DGPIL-3Dによる静的・動的解析は、全応力解析である。

## (I) 一体系動的解析

地盤を弾塑性有限要素、構造物をM- $\phi$ 関係の履歴減衰を考慮したトリリニアビーム要素でモデル化し、時刻歴動的解析により杭の発生断面力を求める。

## (II) S-Rモデルによる分離法

地盤と群杭基礎の非線形静的相互作用を、3次元静的FEMにより等価ばねで評価し、上部工・基礎・地盤一体系をSway-Rockingモデル（S-Rモデル）に置換して動的解析を行う。次に、動的解析により得られた等価ばねに作用する力を外力として、上部工を除いた基礎・地盤を対象に、再び3次元静的FEM解析により杭の発生断面力を求める。この手法は、地盤変形による影響を無視するものである。

## (III) 応答変位法

地盤の変形を正弦波分布と仮定し、その地表面変位を一体系動的解析で得られた地表面最大変位とする。そして、フーチング両サイドから一定距離離れた2鉛直面に強制変位を与える条件で、3次元静的FEMを実施し、杭の発生断面力を求めた。この手法は、上部工慣性力による影響を無視するものである。

## 3.動的解析の諸条件

検討の対象とする構造物は、2×2の4本群杭で支持される一本柱の高架橋である。地盤定数を表1,2に示す。対象とした地盤は2種類のモデル地盤で、ground1は堅硬な地盤を、ground2は軟弱な地盤を想定している。解析に用いた有限要素メッシュを図1

に示す。杭は場所打ち杭で、諸元は杭径1.2m、杭長20.0m、弾性係数 $2.5 \times 10^6$  tf/m<sup>2</sup>である。上部工は一本柱で、柱の直径1.5m、高さ7m、桁の重量は300tfである。柱は、解析時に梁と質点に置き換えるため、ビーム要素で表現した。また、繰返し解析時の杭の非線形特性は図2に示すようなトリリニアの復元力モデルとした。ただし、杭の軸力変動による剛性変化を考慮していない。減衰定数は、地盤が0.1、柱と杭が0.05である。解析手法は、Newmark- $\beta$ 法であり、時間刻みは0.01秒である。入力地震動は、鉄道設計規準の適合波GOC波である。また、境界条件としては、解析領域の左右側方境界面の変位が常に一定になるような等変位境界を採用した。

表1 解析に用いた地盤定数（ground1）

| 層 | 層厚<br>(m) | $E_s$<br>(tf/m <sup>2</sup> ) | $\nu$ | $\gamma$<br>(tf/m <sup>3</sup> ) | $c$<br>(tf/m <sup>2</sup> ) | $\phi$<br>(°) | $K_{ti}$ | $h_i$ |
|---|-----------|-------------------------------|-------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|----------|-------|
| 1 | 4.0       | 2000                          | 0.40  | 1.6                              | 4.4                         | 4             | 0.70     | 0.1   |
| 2 | 16.0      | 5000                          | 0.33  | 1.8                              | 0.0                         | 30            | 0.70     | 0.1   |
| 3 | 1.0       | 5000                          | 0.33  | 1.8                              | 0.0                         | 0             | 0.50     | 0.1   |

表2 解析に用いた地盤定数（ground2）

| 層 | 層厚<br>(m) | $E_s$<br>(tf/m <sup>2</sup> ) | $\nu$ | $\gamma$<br>(tf/m <sup>3</sup> ) | $c$<br>(tf/m <sup>2</sup> ) | $\phi$<br>(°) | $K_{ti}$ | $h_i$ |
|---|-----------|-------------------------------|-------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|----------|-------|
| 1 | 4.0       | 2000                          | 0.33  | 1.8                              | 0.4                         | 30            | 0.70     | 0.1   |
| 2 | 16.0      | 500                           | 0.40  | 1.6                              | 4.4                         | 4             | 0.80     | 0.1   |
| 3 | 1.0       | 5000                          | 0.40  | 1.8                              | 0.0                         | 0             | 0.50     | 0.1   |

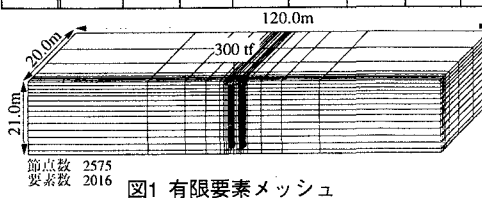


図1 有限要素メッシュ

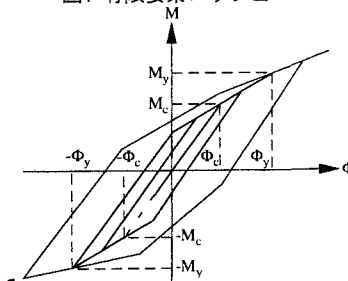


図2 杭の非線形特性

キーワード 耐震、杭、繰返し載荷、動的、3次元弾塑性FEM

連絡先 京都市左京区吉田本町 TEL:075-753-5129 FAX:075-753-5129

#### 4. 解析結果

一体系動的解析およびS-Rモデルによる動的解析により得られた柱上端の時刻歴応答加速度を図3・4に示す。

図3はground1の結果、図4はground2の結果である。

一体系とS-Rモデルで応答加速度を比較すると、両者に大きな差が見られなかった。

また、応答変位法では、強制変位を与える位置の影響を調べるため、フーチング両サイドから0.9m, 1.6m, 5.9m離れた2鉛直面にそれぞれ強制分布変位を与えて、杭の曲げモーメント分布を求めた。ground1の結果を図5(a)に示す。0.6mのパターンの時のみ、杭頭から1mの深さで発生する最大モーメントが、他の1.6倍程度になっているが、1.9m・5.9mのパターンではほぼ同じ分布形状になり、発生するモーメントの値が、収束する傾向がみられた。ground2の結果を図5(b)に示す。各パターンで違いが生じた。これは、ground2は、地盤が軟弱であり、地盤に変形を与えても要素内で変形が吸収されるため、強制変位を与える位置の影響を受けているものと考えられる。

次に、杭の曲げモーメント分布を各手法間で比較した。図6(a)にground1の結果を示す。S-Rモデルで発生する曲げモーメントは小さい値を推移した。応答変位法と一体系動的解析を比較すると、分布形状と最大モーメント値がほぼ一致した。図6(b)にground2の結果を示す。S-Rモデルで発生する曲げモーメントはground1同様小さい値を推移した。また、応答変位法と一体系動的解析を比較すると、負の最大モーメント値がほぼ一致した。このように、従来良く用いられるS-Rモデルは、地盤種別に関らず杭の曲げモーメントを過小評価しており、杭の設計として用いる場合には危険側の設計になる可能性がある。

#### 5. 結論

本研究から以下の知見が得られた。

(1) 上部工の応答だけに注目すると、構造物・基礎・地盤の一体系動的解析と、地盤と群杭基礎の静的相互作用を等価ばねで置換したS-Rモデルによる動的解析、両手法の解析結果がほぼ一致した。

(2) 応答変位法では、強制変位を与える距離によって、杭の発生断面力に違いが生じた。その差は、軟弱な地盤ほど顕著であった。

(3) 各手法で算出した杭の曲げモーメント分布を比較すると、従来頻用される静的な耐震設計法であるS-Rモデルによる分離法では、杭に発生する曲げモーメントが過小評価された。

#### 参考文献

1) 木村亮ほか：3次元弾塑性動的有限要素法による杭基礎の耐震検討, 第33回地盤工学研究発表会発表講演集 pp.1015-1016, 1998.

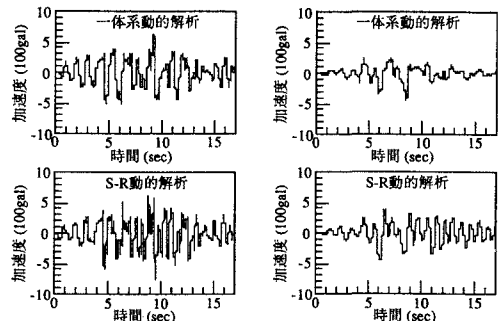


図3 柱上端加速度履歴(ground1) 図4 柱上端加速度履歴(ground2)

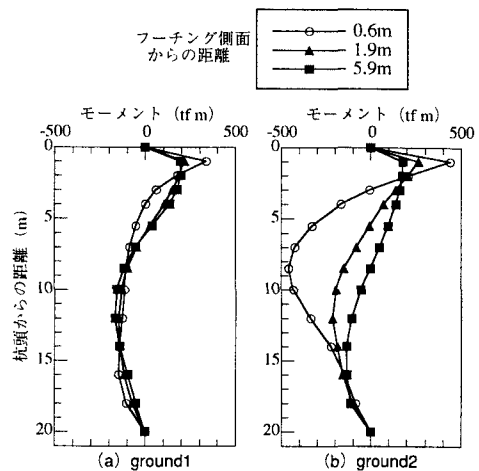


図5 応答変位法による杭の曲げモーメント分布

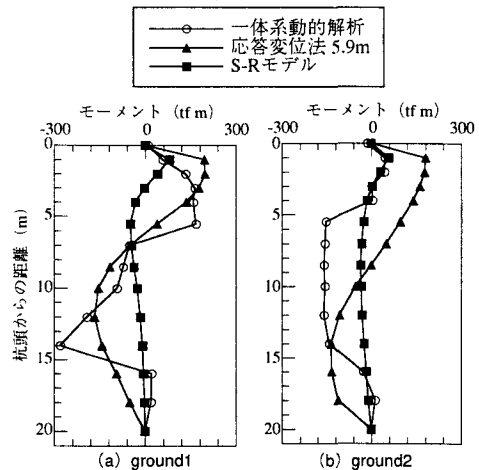


図6 杭の曲げモーメント分布の比較