

I-556

杭基礎—地盤系の非線形地震応答特性

間組 正会員 竹内廣高
 京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤忠信

1. はじめに 土木構造物の耐震設計に関して考慮しなければならない重要な課題の1つに上部構造物と基礎との間の耐震安全性をどの様に配分したらよいかという問題がある。本研究では、上部構造物と基礎近傍地盤の非線形挙動を考慮した地震応答解析を行い、杭基礎—地盤系の非線形応答特性について得られた結果を示す。

2. 解析モデル 図-1に示されるように、最初に杭基礎—地盤系を杭基礎近傍の非線形特性を考慮した多質点系にモデル化する。杭基礎は3本杭を対象とし杭中心間隔を杭径の2.5倍とした。杭の諸元を表-1に示す。フーチングは6(m)×6(m)×1(m)とした。表層地盤は砂地盤として、水平方向と鉛直方向の地盤ばねの復元力特性を、それぞれ *Hardin-Drnevich* 型モデルとバイリニアモデルで表した。*H-D* モデルの骨格曲線は、初期剛性と降伏強度の2つのパラメーターを用いて表せる。ここでは初期剛性として *Novak* ら¹⁾の動的水平ばね定数の実数部を、降伏強度として *Rankine* の受働土圧の3倍を使用する²⁾。またバイリニアモデルについては初期剛性として文献1)の動的鉛直ばねの実数部を、降伏強度は杭周面に働く最大の摩擦力³⁾より算定した。これらのパラメーターを求める際に必要となる諸量は全て *N* 値より推定するものとした。群杭効果の影響は地盤ばねの初期剛性に乘じられる低減率 μ のみで考慮される。

表-1 杭の諸元

ヤング率	(kgf/cm^2)	2.1×10^6
断面2次モーメント	(cm^4)	1.54×10^4
断面積	(cm^2)	8.01×10
重量	(kgf/m)	6.78×10
断面係数	(cm^3)	7.73×10^2
杭径	(cm)	4.0×10
杭長	(m)	6.0

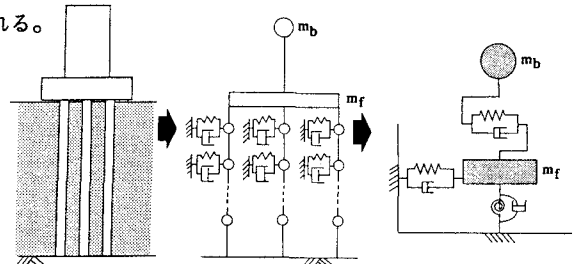


図-1 地盤—群杭系の多質点系詳細モデルと等価S-Rモデル

次に、多質点系詳細モデルを等価S-Rモデルに置換するために静的荷重シミュレーションを行う。荷重はフーチング重心に作用し、杭体及び支持基盤にはいかなる降伏も生じないと仮定して全ての地盤ばねが降伏するまで荷重を続けた。図-2(a)に *N* 値が深さ方向に一定で10、 $\mu = 1.0$ 、水平荷重のみ荷重の場合の荷重～変位曲線を示す。図中の直線は地盤ばねが働かないとしたときの荷重～変位曲線である。図より杭頭における荷重と変位の関係は基礎近傍の非線形特性と杭体の弾性変形成分とに分離できることがわかる。図-2(b)は、図-2(a)の曲線より直線を差し引いたものである。この結果より等価S-Rモデルのスウェーバねの骨格曲線を次式のように表す。

$$Q(x) = \frac{K'_0 x}{1 + \left| \frac{x}{x'_f} \right|} + K_P x \quad x'_f = \frac{Q'_u}{K'_0} \quad (1)$$

K_P , K'_0 , Q'_u は図-2に示す通りである。以上は水平荷重のみ荷重の場合のシミュレーションであるがモーメント荷重と回転変位との関係についても同様な結果が得られた。本研究では $\mu = 0.5$ として K_P , K'_0 , Q'_u を算定し、それらを2倍、3倍することにより3本杭、6本杭、9本杭の等価S-Rモデルのスウェーバね、ロッキングばねとした。また、減曲線、加曲線は骨格曲線を2倍に相似拡大することにより決定した。上部構造物として桁を支持するRC橋脚を想定した。橋脚高さは5(m)とし、そこに橋脚躯体と橋脚が支持する桁の質量を集中させ1つの質点でモデル化した。復元力特性は、剛性劣化型のトライリニアモデルを用いた。これらの諸元は、文献4)を参考にして表-2に示される2つのケースを考えた。

3. 解析結果 解析に先だって、上部構造物と基礎近傍地盤の塑性領域での応答量を評価する指標値として以下に示される塑性率を用いることにする。

$$r_y = x_{\max}/x_y \quad (2)$$

ここに、 $x_{\max}$ は応答変位の最大値、 x_y は橋脚躯体については降伏変位、スウェイばね、ロッキングばねについては式(1)における x_f とする。入力加速度は白色雑音に包絡線関数を乗じて得られる模擬地震波を、地表面における最大絶対加速度が300,500(gal)となるように調整して用いた。図-3(a),(b)は、横軸に杭の本数、縦軸に r_y をとり、各種のシンボルで橋脚、スウェイ、ロッキングばねの塑性率を表したものである。図-4(a),(b)はケース2,500(gal)のときの3本杭,9本杭モデルの橋脚躯体,スウェイ,ロッキングばねの履歴曲線である。これらより、杭の本数が増えるにしたがって基礎周辺地盤の塑性率は低下するが、かえって上部構造物の塑性率が增大していくことがわかる。

表-2 上部構造物の諸元

ケース番号	1	2
初期剛性 (tf/cm)	105.9	204.7
第2剛性 (tf/cm)	8.472	22.52
第3剛性 (tf/cm)	0.318	1.228
ひび割れ変位 (cm)	0.92	0.25
降伏変位 (cm)	1.14	0.96
降伏点剛性 (tf/cm)	87.0	69.9
重量 (tf)	314.6	281.3

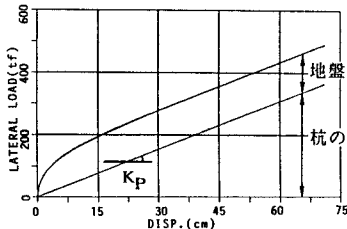


図-2(a) 荷重～変位曲線

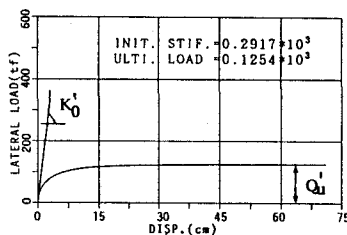


図-2(b) 荷重～変位曲線
(地盤の寄与分のみ)

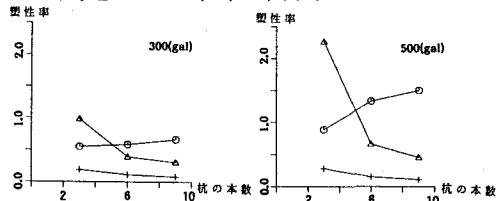


図-3(a) 塑性率と杭の本数の関係(ケース1)

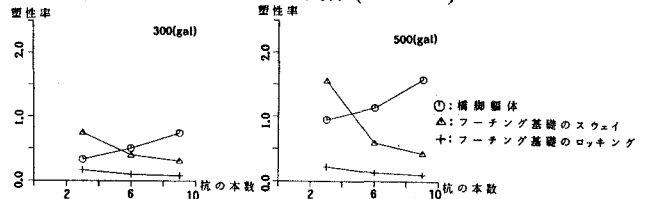


図-3(b) 塑性率と杭の本数の関係(ケース2)

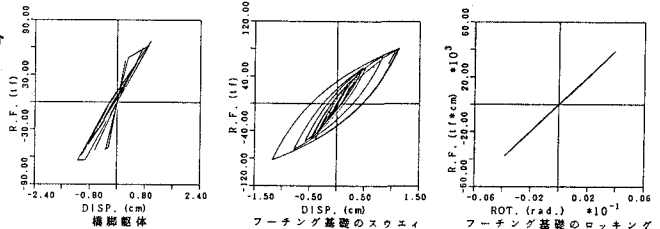


図-4(a) 履歴曲線(3本杭)

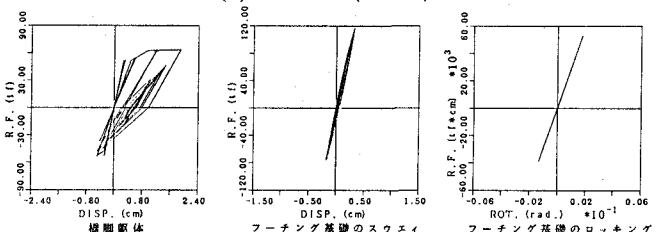


図-4(b) 履歴曲線(9本杭)

4. 参考文献 1)Novak,M.,Nogami,T.,and Aboul-Ella,F.: Dynamic Soil Reaction for Plain Strain Case, EM4, ASCE, Vol.104, Aug, pp.953~959, 1978. 2)Broms,B.B.: Design of Laterally Loaded Piles, SM3, ASCE, Vol.91, May, pp.79~ 99, 1965. 3)Meyerhof,G.G.: Correlation between Penetration Tests and the Bearing Capacity of Cohesionless Soils, Proc. 8th Canadian Soil Mech. Conf., pp.12~19, 1954. 4)川島一彦, 長谷川金二, 小山達彦, 吉田武史:大地震に対するRC橋脚の耐震設計法に関する研究, 土木研究所資料第2266号, 昭和60年