

中央復建コンサルタンツ 正会員 ○田中 玲光
 〃 正会員 田中隆一郎、張 鋒
 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺 忠朋
 山陽電気鉄道 正会員 大本 博之

1. まえがき

動的解析は、対象とする構造物の地震時挙動を正確に把握し、それを設計に反映する一つの重要な手段である。そのために地盤と構造物の動的相互作用を考慮して適切なモデルを設定しなければならない。阪神大地震のような大地震の地震動の大きさを考慮すると、地盤や部材は塑性域に入る可能性が大きいため、地盤と部材の非線形相互作用を考慮する必要がある。本報告は、新設構造物の耐震設計として、構造物の非線形動的解析を行ったものである。解析における構造物の非線形特性はモデル実験により求めた。また、3次元弾塑性静的有限要素解析(GPILE-3D)を行うことにより、地盤と基礎の相互作用を等価非線形バネとして評価した。

2 3次元弾塑性静的有限要素法(GPILE-3D)を用いた解析

GPILE-3D¹⁾は、地盤を弾完全塑性体と仮定し、降伏規準をDrucker-Prager規準とし、関連流れ則を適用するものである。また、杭のシミュレーションには、杭の終局挙動を適切に表現するために、弾塑性ビーム要素を導入した。さらに、群杭の $M-\phi$ 関係に軸力の影響に応じたモデルを導入することにより、群杭の力学的挙動を明確に表現することができる。

対象とする高架橋の構造一般図は図1に示すとおりである。図2に地盤の土質柱状図を示し、その物性値を表1に示す。鋼管杭の非線形特性は鋼部材の弾完全塑性の仮定により図3に示すようなトリリニアモデルを仮定した。ここに

$$\text{降伏曲げモーメント: } M_y = \pi/2 \sigma_y t r^2 \quad (1)$$

$$\text{全塑性モーメント: } M_p = 4 \sigma_y t r^2 \quad (2)$$

$$\text{終局曲げモーメント: } M_u = 0.95 M_p \quad (3)$$

$$\text{降伏曲率: } \phi_y = M_y / EI \quad (4)$$

$$\text{全塑性曲率: } \phi_u = 5 \phi_y \quad (5)$$

軸力による曲げ耐力の変動は次式で表される。

$$\text{弾性範囲: } M / M_y + N / N_y = 1 \quad (6)$$

$$\text{塑性範囲: } M / M_p = \cos((\pi/2)(N / N_y)) \quad (7)$$

式(7)を近似することにより、塑性範囲を図4(b)に示すような簡略法で規定することとした。以上の検討より求められた鋼管杭の物性値は表2に示されている。解析に用いられるメッシュは図5に示すとおりである。

節点数と8節点アイソパラメトリクス要素数はそれぞれ4410と3600である。すべての等価非線形バネを求めるために5回の計算が必要である。1回の計算において、荷重ステップを100とした。以上の解析により求められた地盤と基礎の相互作用の等価バネ値は表3に示すとおりである。表3より、水平等価バネが非線形挙動を示しており、他の等価バネが弾性であることがわかった。

3 モデル実験による部材の非線形特性の決定

図1に示すような複数の鋼管を鉄筋コンクリート内に埋め込んだ複合構造橋脚の力学的挙動については、いまだ明らかにされていないのが現状である。そこで、1/5.75のモデル試験体²⁾による交番載荷試験を行い、その耐力・変形性能について確認した。その結果、曲げ耐力は鋼管を鉄筋に換算して算定される値より小さい。その低減率は、降伏耐力の場合0.38、終局耐力の場合0.48であった。本解析では、この低減された耐力による非線形特性を入力した。

4 動的解析

本報告は3次元骨組構造の時刻歴弾塑性応答解析を行った。動的解析において直接積分法を用いることとした。入力地震動は地表面で観測されたJMA波形(NS最大818gal及びUD最大332gal)の内、主要動部の21.3秒である。表4は動的解析の結果を示している

5 結論

地盤と基礎の相互作用の非線形特性が本解析により表現できることがわかった。動的解析結果より杭基礎の変位が降伏変位を越えている。また、橋脚の発生曲げモーメントは終局耐力に至っていない。橋脚の非線形特性及び地盤と基礎の相互作用の非線形特性の適切な評価が重要であると考えられる。

参考文献

- 1) Adachi, T., Kimura, M., Zhang, F., Analyses on ultimate behavior of lateral loading cast-in-place concrete piles by three-dimensional elasto-plastic FEM, Proc. of 8th Int. Conf. Computer Method and Advance in Geomechanics, Morgantown, A.A. Balkema, Vol.3, pp.2279-2284, 1994
- 2) 渡辺ら 鋼管鉄筋コンクリート橋脚の動的解析による変形性能の照査、日本コンクリート工学会年次論文報告集投稿中、Vol.18

表1 地盤定数

層番号	土の種類	γ (tf/m^3)	平均N値	層厚 (m)	ポアソン 比 ν	変形係数 (tf/m^2)	c (tf/m^2)	$\phi(^{\circ})$	K_0	K_s (tf/m^2)	α
1	粘土	1.6	4	1.30	0.38	80	2.50	0	0.613	2.50	0.0
2	粘土	1.65	6	1.60	0.40	120	3.76	0	0.667	3.76	0.0
3	砂礫	1.8	20	1.70	0.33	5000	0.0	33	0.550	0.0	0.1588
4	風化花崗岩	2.0	50	2.75	0.30	12500	0.0	42	0.429	0.0	0.1855

表2 鋼管杭の諸定数

$\sigma_y(\text{tf}/\text{m}^2)$	24000	$M_y(\text{tf}\cdot\text{m})$	21.2
$E(\text{tf}/\text{m}^2)$	$2.1\text{E}+7$	$\phi_y(1/\text{m})$	$3.69\text{E}+3$
$I(\text{m}^4)$	$5.48\text{E}+4$	$M_u(\text{tf}\cdot\text{m})$	51.3
$A(\text{m}^2)$	0.0141	$\phi_u(1/\text{m})$	0.0184
$N_y(\text{tf})$	339.3	厚さ(mm)	9.0
直径(m)	0.5	長さ(m)	5.8

表4 動的解析結果(線路方向)

柱上端	x	z	柱の塑性率 ($\mu=\delta_{max}/\delta_y$)	
最大加速度(gal)	1440	577.5		1.007
最大速度(kine)	48.9	5.07	柱の靱性率 μ_{rd}	8.994
最大変位(cm)	2.86	0.078	杭基礎の塑性率	2.16
最大曲げモーメント(tfm)	1650.0		杭基礎の靱性率	4.00
曲げ耐力(tfm)	2308.8		固有周期(sec)	0.218

表3 等価バネ係数

K_z (tf/m)	$K_{\theta z}$ ($\text{tf}\cdot\text{m}/\text{rad}$)	K_y ($\text{tf}\cdot\text{m}/\text{rad}$)	$K_{x\theta y}$ (tf/rad)	$K_{y\theta x}$ (tf/rad)	$K_{\theta x}=K_{\theta y}$ (トリリーニア モデル)				
4.88 $\times 10^5$	3.00 $\times 10^6$	3.97 $\times 10^6$	1.46 $\times 10^6$	1.75 $\times 10^6$	$\delta(\text{cm})$	0.0	0.67	1.23	4.93
					P(tf)	0.0	397	607	998

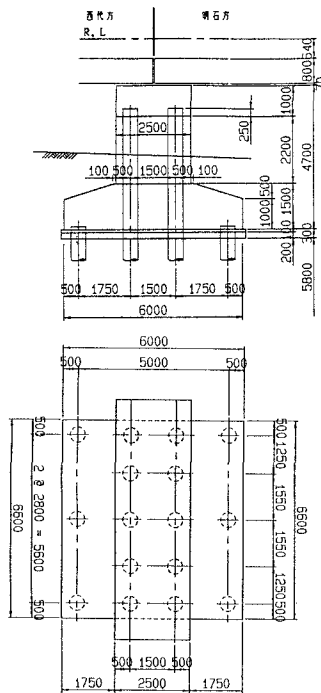


図1 構造一般図

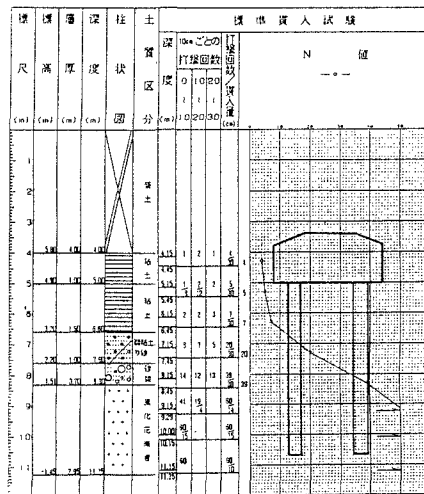


図2 土質柱状図

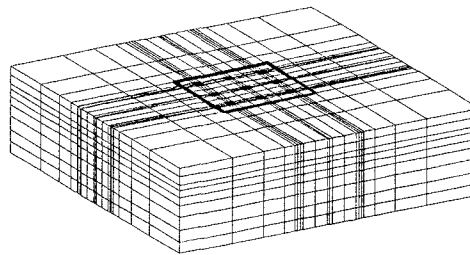


図5 FEMメッシュ

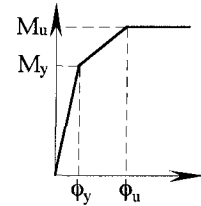


図3 鋼管杭の非線形特性

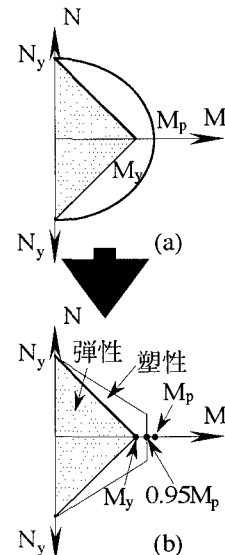


図4 M-N関係