

III-138 単杭の水平載荷状態のシミュレーション 解析手法に関する一考察

日本技術開発株式会社 正員 ○佐伯 光昭
日本道路公団 正員 中村 雅彦
同上 正員 角谷 務

まえがき 軟弱地盤地帯の橋梁の基礎形式の一つの案として、耐力を大きくとることのできる大口径場所打ち杭の採用が想定される。この際、杭の許容水平変位量と横方向地盤反力係数を道路橋示方書を単純に適用して求めることは適切ではなく、別途詳細な検討や水平載荷試験を実施して定めることが必要と考えられる。このような場合、設計に必要なこれらの情報を机上で比較的容易にかつ精度良くシミュレートすることにより求めることができれば有意義である。

本文は、この単杭の水平載荷状態のシミュレーション解析の手法、条件の相違が杭頭バネ係数値に及ぼす影響を把握することにより、シミュレーション解析の合理的な手法、条件の提案を試みるものである。

1. 検討方法および条件 シミュレーション解析の手法には表-1に示す3種を採用することとした。このうち、弾性波動論を多層系に拡張した方法は竹宮の提案したもの¹⁾で、杭と地盤との動的な相互作用を考慮しうる厳密な手法である。軸対称FEMは図-1に示すように杭軸を中心軸とし、周辺地盤と一体とした三次元効果を考慮しうるものである。弾性床の上のはりモデルは道路橋示方書で規定された地盤反力係数を用いたものである。試算に用いた杭の径は3mとした。地盤条件を図-2(a)に示す。各地層のせん断弾性波速度 V_s は地震時に地盤内に生じるせん断ひずみの大きさを考慮して定めたものである。

軸対称FEMのモデルは深さ36m、幅は杭半径の10倍とした。図-2(b)に要素図を示す。境界条件については同図に示したように底面は固定、地盤側方境界は鉛直自由、水平には自由と固定の2種を想定した。

杭頭では、図-2(b)に示すように杭頭完全自由の状態では、弾性波動論を拡張した厳密解では水平力、回転モードとも周波数を変えたり返す載荷を、他の方法では静的にこれらを載荷させることとした。

2. 解析結果 図-3に弾性波動論を拡張した厳密解のうち水平方向杭頭バネの値を示す。同図より、バネ値は共振周波数に依存しているが、杭の応答に大きな影響を与える4Hz以下の比較的低周波数の領域では周波数に依らず、ほとんど一定となっていることがわかる。表-2に各解析ケースでの杭頭バネ係数の値をまとめて示した。同表中の弾性波動論を拡張した厳密解での値は図-3で $f=0$ Hzいわゆる静的載荷に相当する状態のもので、静的載荷状態での他のケースの値と斉合している。これらの結果から、水平バネ係数は厳密解ではほぼ 3.0×10^4 tf/mとなっている。これに対して軸対称FEMでは側方境界条件を自由とした場合で 2.5×10^4 tf/m、同じく固定とした場合には 6.2×10^4 tf/mであり、側方自由の方が厳密解と良好な対比を示している。

また、地盤反力係数を用いた弾性床の上のはりモデルによる杭頭水平バネ係数は 1.5×10^4 tf/mと厳密解の1/2の値となっている。なお、このような傾向は表-2に示したように回転および連成バネ係数についても認められる他、異なる地盤条件下での径1.2mの場所打ち杭でも同様な傾向を得ることができた。

3. 考察 以上の結果から、単杭の水平載荷状態を周辺地盤の状態も含めてシミュレートするため軸対称FEMを用いる場合には、側方境界を水平自由としたモデルを採用することが適当と考えられる。弾性床の上のはりモデルによる値が厳密解よりも過小傾向にあるのは、土の変形係数がひずみレベルの大きな破壊領域に近い状態を想定していることによるものと考えられる。したがってシミュレーション解析に弾性床の上のはりモデルを適用する場合には土の変形係数のひずみ依存性や杭の載荷幅などの影響を十分検討するこ

とが必要である。

あとがき 本文では単杭の水平載荷状態をシミュレートするための解析の手法・条件を提案した。今後の展開としては杭の水平載荷試験を行う際の事前、事後の解析に適用して実測値との対比を図ることにより解析の妥当性を検証していくことが望ましいものと考えられる。

参考文献 Takemiya, H. and Yukawa, Y.: Dynamic Analysis of Grouped Pile Foundation in Layered Soils, Earthq. Eng., Vol. 3, No. 1, pp. 183-193, 1986.

表-1 シミュレーション解析手法

解析手法	内 容
厳密解	弾性波動性論を多層系に拡張したもの・竹宮による ¹⁾
軸対称 FEM	杭軸を中心とした周辺地盤を一体とした軸対称モデル
弾性床上的のはりモデル	杭～地盤間のバネを道路橋示方書の規定による地盤反力係数から求めて行う。

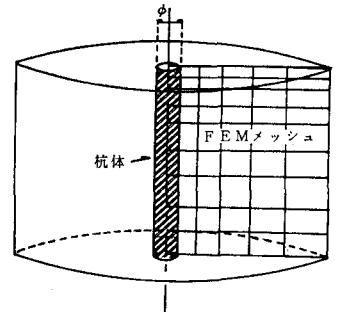
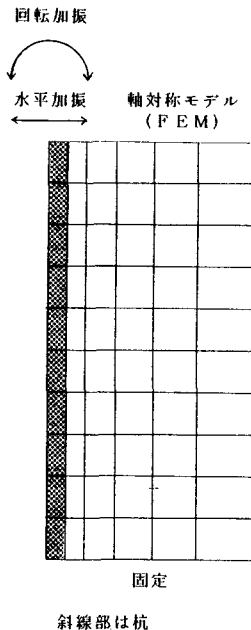


図-1 軸対称 FEM モデル

地層	層厚 (m)	γ (t/m ²)	ν	V_s (m/s)	E_o * (t/m ²)
A _{c1}	1.0	1.50	0.49	79	280
A _{s1}	1.5	1.80		59	3080
A _{cs}	3.0			66	178
	3.5			70	292
A _{c2}	4.0			1.65	101
	4.0	132			
	4.0	132			
N _c	5.0	1.78		163	1237
	5.0				
D _s	5.0	1.90		188	2640
D _o (基礎)	—	2.00	—	390	—

* E_o : N値および孔内水平載荷試験から得られた変形係数

(a)



固定

斜線部は杭

(b)

図-2 解析モデル

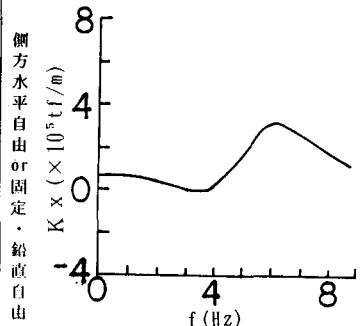


図-3 厳密解バネ係数

表-2 解析結果比較一覧

バネ係数		水平 K_x (tf/m)	回転 K_θ (tfm/rad)	連成 $K_x \theta$ (tf/rad)
厳密解		3.05×10^4	2.13×10^6	1.89×10^5
軸対称 FEM	側方境界 水平自由	2.49×10^4 (0.82)	2.17×10^6 (1.02)	1.52×10^5 (0.80)
	同 水平固定	6.23×10^4 (2.04)	2.65×10^6 (1.24)	2.78×10^5 (1.47)
弾性床上的のはり モデル		1.48×10^4 (0.49)	1.56×10^6 (0.73)	1.06×10^5 (0.56)

() : 厳密解に対する比