

㈱奥村組筑波研究所耐震研究室 正会員 荒野政信 吉川正昭

京大学防災研究所

正会員 土岐憲三 佐藤忠信 清野純史

Nazar Kishi Garmroudi

1. はじめに

地盤-基礎系の地震時挙動を把握するためハイブリッド実験システムを開発し、実験してきた¹⁾。その一貫として、地盤と基礎の動的相互作用特性を取り入れるための加振実験を行なっている。3種の剛体基礎(直接基礎・埋め込み有り、無し、ケーソン基礎)の加振実験結果については既に報告^{2) 3)}した。本報では、その後行なった4種の杭基礎の加振実験から複素剛性の実部の特徴について考察したので報告する。

2. 試験体の製作と実験方法

実験は反力壁の屋外側を用いて行なった。試験体を製作する前に、各杭基礎の地盤条件を同じにするために、反力壁前面の地盤のうち幅15m、奥行10m、深さ3mを山砂で置換した。試験体は以下の手順で製作した。まず、杭は長さ6.5mの鋼管杭を使用し、2、3、9本杭基礎用に、杭径の2.5倍の杭間距離をとり、加力方向に3本ないし2本並ぶように杭を配置し、GL.-6mの砂れき層まで打設した。次に、フーチング底面と地盤との摩擦を軽減するため5cmの発泡スチロールを敷いたフーチング部とアクチュエータで加力するための柱体部をコンクリート打設した。1本杭基礎は3本杭の中央の杭を用いた。3本杭基礎は、1本杭基礎の実験終了後フーチング部を拡げて製作した。代表例として3本杭基礎の形状・寸法を図-1に、各杭基礎の諸元を表-1に、鋼管杭の諸元を表-2に示す。

加振実験は上下2台のアクチュエータをそれぞれ単独に用いた。加振方法は変位制御で、それぞれ0.5mmと1mmの変位を0.5~20HZ、0.5HZピッチで加振し、さらに共振振動数付近を0.2HZピッチで再加振した。

3. 結果および考察

加振実験より単位加振力あたりの変位応答(共振曲線)が求まる。変位はフーチング底面の並進・動揺で評価した。共振曲線より、共振振動数は1,2,3,9本杭でそれぞれ2.5,4.5,6.0,6.0HZ、また $1/\sqrt{2}$ 法で求めた減衰定数はそれぞれ6.8,4.8,6.3,6.0%であった。その共振曲線からスウェーロッキングモデルを用いて複素剛性を求めた。ばね作用位置はフーチング底面とした。まず(1)水平ばね、回転ばねのみを有し非対角ばねを0とした時(非連成ばね型)の複素剛性を求めた。このばねは上側・下側加振それぞれで得られる。次に、(2)水平ばね、回転ばねとさらに非対角ばねを考慮した時(連成ばね型)の複素剛性を求めた。このばねは上側・下側加振を用いて得られる。複素剛性の虚部は実部のヒルベルト変換で表せる²⁾ので実部のみで検討した。(1)の実部は2次関数で、(2)の実部は2次関数と6HZ以後一定値で近似できた(3~5HZに地盤の卓越振動数があることが地震観測よりわかっている)。その結果を、図-2(非対角ばねを考慮しない時の複素剛性・実部の形状)、図-3(非対角ばねを考慮した時の複素剛性・実部の形状)に、また静的剛性(0HZ時の剛性)を表-3に示す。図-2より、杭本数が少ない程上側加振と下側加振の形状の違いが大きいこと、逆に言えば、杭本数が多い程上側加振と下側加振の形状が接近し剛体基礎の特徴を示していることがわかる。図-3より、水平ばねは回転ばねより、また杭本数が少ない程振動数依存性が高いこと、地盤の卓越振動数以上では剛性が一定となるという動的相互作用特性を表していることがわかる。(一本杭の形状は他と異なるがこれは周辺杭の影響かもしれない)。また連成ばね型の連成度を(非対角ばね)²/(対角ばねの積)で表したのが表-4である。これより3、9本杭は連成度の低い剛体基礎的であることがわかる。

4. まとめ

(1) 杭本数が多い程、上下加振によるそれぞれの複素剛性の形状が接近し、剛体基礎の特徴を示す。

(2) 杭本数が少ない程、連成ばね型として複素剛性を評価する必要がある。

参考文献 1) 吉川他; 地盤-構造物系の非線形動的相互作用に関するハイブリッド実験システムの開発, 奥村組年報 NO.14, 12, 1989. 2) 吉川他; ケソン基礎の動的特性, 第24回土質工学研究発表会, 6, 1989. 3) 吉川他; 非線形動的相互作用を考慮したハイブリッド実験手法の開発, 地盤と土構造物の地震時挙動シミュレーション(土質工学会), 1, 1989.

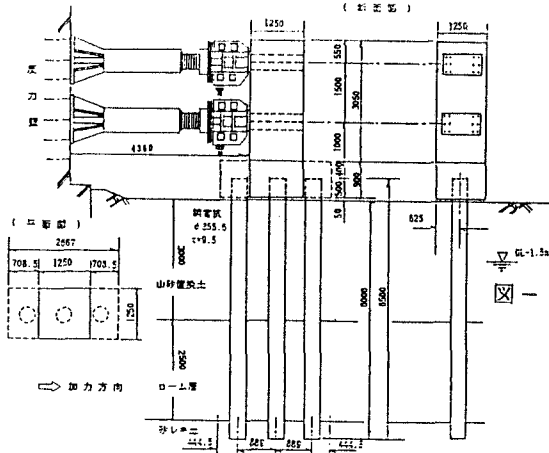


図-1 3本杭基礎の形状・寸法

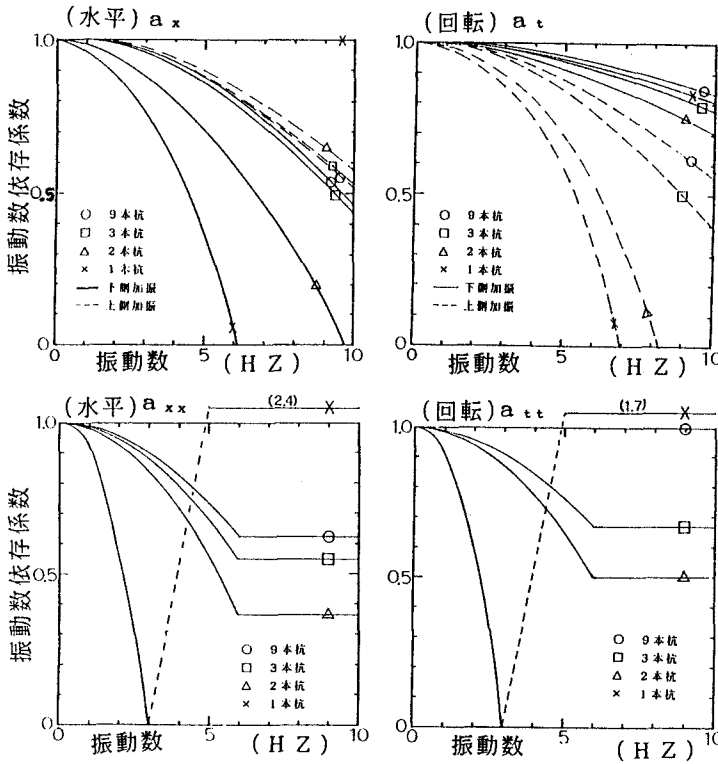
表-1 各杭基礎の諸元

	1本杭	2本杭	3本杭	4本杭
重心高と (cm)	197.5	184.1	166.2	166.2
質量 (tonf-cm ² /cm)	0.0151	0.0166	0.0180	0.0186
慣性モーメント (tonf-cm ²)	215.4	256.9	329.5	701.7

* 鉄筋コンクリート単位体積重量=2.4(tonf/m³)
* アクションエータ高さはすべて上側=3.40m, 下側=1.90m
* フーチング底面を基準とした高さ * 重心回りの慣性モーメント

表-2 鋼管杭の諸元

弾性定数 E(kgf/cm ²)	2.1x10 ⁶
断面2次モーメント I(cm ⁴)	1.547x10 ⁶
杭長 L(m)	6.0
杭断面面積 A(cm ²)	103.3
杭の単位長さ当たりの重量 w(kgf/m)	81.0
杭径 D(mm)	355.6
杭の厚さ t(mm)	9.5



$K_o = K_o \cdot a(f)$
 K_o : ばね定数
*: 水平(x), 回転(t)
 K_o : 静的ばね定数
 $a_o(f)$: 振動数依存係数
 $a_o(f) = 1 - \alpha \cdot f^4$
 f : 振動数(HZ)

図-2 非対角ばねを考慮しない時の複素剛性・実部の形状

表-3 杭基礎動実験から得られた共振振動数・減衰定数・静的剛性

	共振振動数 (Hz)	減衰定数 (%)	非対角ばね型の静的剛性			連成ばね型の静的剛性		
			水平 (tonf/cm)	回転 (tonf-cm/rad)		水平 (tonf/cm)	回転 (tonf-cm/rad)	連成 (tonf/rad)
1本杭	2.5	6.8	1.0	0.46×10^6		1.4	0.72×10^6	-0.15×10^6
2本杭	4.6	4.8	4.1	1.21×10^6		12.8	3.18×10^6	-1.33×10^6
3本杭	6.0	6.3	6.2	3.20×10^6		7.3	4.86×10^6	-0.45×10^6
9本杭	6.0	6.0	13.0	6.50×10^6		16.0	7.25×10^6	-0.33×10^6

表-4

連成ばね型の連成度 b 値

	(連成) *
1本杭	0.22
2本杭	0.43
3本杭	0.06
9本杭	0.01

$K_o = K_o \cdot a(f)$
 K_o : ばね定数
*: 水平(x), 回転(t), 連成(x,t,tx)
 K_o : 静的ばね定数
 $a_o(f)$: 振動数依存係数
 $a_o(f) = 1 - \alpha \cdot f^4$ $f \leq f_o$
 $a_o(f) = 1 - \alpha \cdot f_o^4$ $f > f_o$
 f : 振動数(HZ)
 $f_o = 6$ Hz

図-3 非対角ばねを考慮した時の複素剛性・実部の形状