

建設省土木研究所 正員 荒川 直士

" 正員 川島 一彦

○ (株) 建設技術研究所 正員 後藤 和満

1. まえがき

基礎～地盤系の動的相互作用は、耐震設計を適切に行う上で、重要な課題の1つである。半無限弾性体上の円形基礎の動的解をReissner (1936)が発表して以来、弾性波動論に立脚した理論解が、次々と提案されて来た。また、最近では有限要素法による基礎～地盤系の動的解もよく研究されている。これらの理論的研究は、最終的に振動数に依存する“変位関数(インピーダンス関数)”を求める問題と等価である。ところが、このような理論解のままだでは、実用上困難な点も多く、振動数範囲を限定した各種の近似解法も提案されて来ている。本報告では、円筒基礎の加振実験を行い、上下方向加振の場合の基礎～地盤系の動的相互作用を調べ、波動論に立脚する各種の近似解との比較検討を行ったものである。

2. 実験概要

実験に使用した円筒基礎は、図-1に示すように、外径 2.0^m 、内径 1.0^m 、高さ 2.0^m (重量約 12^tm)根入れ深さ 1.5^m とした。加振実験は、この円筒基礎の上面に直接起振機を設置した場合(以下A試験と呼ぶ)とこの上に同一形状の上載マス(重量 6.0^tm)を剛結し、その上面に起振機を設置した場合(B試験と呼ぶ)の2ケースに対して行った。(以下にはA試験の結果を中心に示す。) 起振機は、偏心質量回転型(最大起振力 3.0^tm)を用い、偏心質量 $mr=50.1, 97.8^{kg\cdot cm}$ の2段階に対して、一定加振モーメントで加振した。

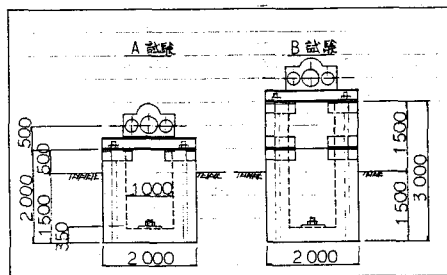


図-1 円筒模型基礎

3. 地盤特性

円筒模型基礎を直接支持する地表面付近の土質は、関東ローム層(約 3.0^m)である。この関東ローム層については、振動時にサンプリングを行い、その特性を調べた。図-2には、共振法試験機と動的ねじり試験機によるせん断剛性のひずみ依存性を示した。また、表-1には一軸強度試験及び物理試験結果を示した。表-2には、PS検層による関東ローム層の特性を示す。

以上より、計算には表-3に示す地盤の変形特性を用いた。

表-3 計算に用いた地盤の変形特性
(各種近似解法に適用した値)

	G	P	ν	V_s
単位	t/m^2	t/m^2	—	m/sec
試験値	2000	1.33	0.45	121

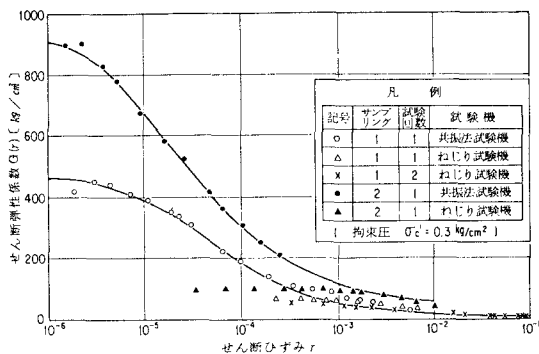


図-2 基礎を支持する関東ローム層の動的特性

表-1 関東ローム層の土質試験結果

試体	試体の 形状	試体の寸法 高さ×直径 (mm)	単位体積 重量 γ (kg/m^3)	含水比 w (%)	間隙率 e	飽和度 S_r (%)	圧縮強さ q_u (kg/cm^2)	破壊時の σ'_v (t)	変形係数 E_{50} (kg/cm^2)	
①	良好	70.50	3.683	1.333	112.2	2.88	103.0	0.843	5.6	21.0
②		70.10	3.531	1.318	112.4	2.73	108.9	0.903	5.6	28.2
③		71.30	3.478	1.318	111.7	2.64	104.0	0.869	4.2	36.2

表-2 関東ローム層のPS検層結果

	N値	V_p	V_s	P	G	ν
単位	回	m/s	m/s	t/m^2	t/m^2	—
1回目	2	1800	135	1.35	2510	0.475
2回目	4	1280	95	1.35	1670	0.435

4. 実験結果と各種近似解法の比較

山原、田治見、Lysmer らは、半無限弾性体上の円形基礎の上下加振の場合について、これを地盤反力は一様と仮定し、1自由度の強制振動解で近似する方法を提案している。これによれば、基礎の振動は(1)式で与えられる。

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = Pe^{i\omega t} \quad (1)$$

M, C, Kとしては、表-4の値を採る。但し、M:基礎質量
表-4 M, C, K の値

	M	C	K
山原	M	$\pi \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} \cdot P \cdot V_s$	$\frac{\pi}{1-\nu} \cdot r_0 G$
田治見	$M + 0.92 P r_0^3$	$1.33 \pi \cdot P \cdot V_s$	$\frac{\pi}{1-\nu} \cdot r_0 G$
Lysmer	M	$\frac{3.7}{1-\nu} \cdot P \cdot V_s$	$\frac{\pi}{1-\nu} \cdot r_0 G$

お:基礎半径, P:地盤質量, G:地盤剛性率, ν :ポアソン比
 V_s :せん断波速度 である。A試験についての実験結果と各種近似解法の計算結果を 図-3に示す。山原の解では、Cの項の分母に(1-2 ν)があり $\nu = 0.45$ とした場合では、やや過大な減衰を与えている。

5. 基礎~地盤の動的相互作用バネ(K_1, K_2)

起振機実験において、基礎に作用する起振力を $P(\omega)$ 基礎の応答振中 $U(\omega)$ とその位相 $\phi(\omega)$ を調べることにより、各振動数毎の動的相互作用バネを次式で求めた。

$$K_1(\omega) = K = M\omega^2 + \frac{P(\omega)}{U(\omega)} \cos[\phi(\omega)] \quad (2)$$

$$K_2(\omega) = \omega C = \frac{P(\omega)}{U(\omega)} \sin[\phi(\omega)] \quad (3)$$

計算結果を図-4に示す。図中には、表-4の解析解の K_1, K_2 を実線で示した。また、 K_1, K_2 より減衰定数を次式で求めた。

$$h(\omega) = \frac{K_2(\omega)}{2\omega \sqrt{MK_1(\omega)}} \quad (4)$$

計算結果を図-5に示す。図中には、解析解の値および共振曲線より $\sqrt{2}$ 法による減衰定数についても示した。

6. まとめ

波動論に立脚する田治見、山原、Lysmerらの近似解法は、今回の模型基礎実験から求めた応答倍率特性と位相特性をよく近似した。また、共振点付近の減衰定数は式(4)より求めた値が約27%程度であったのに対し、 $\sqrt{2}$ 法により求めた減衰定数は約47~56%程度であり、前者に対して20%以上大きな値となった。

参考文献:「土と基礎の振動」(リチャード他),「環境保全のための防振設計」(山原浩),「地震工学」(金井田治見他)

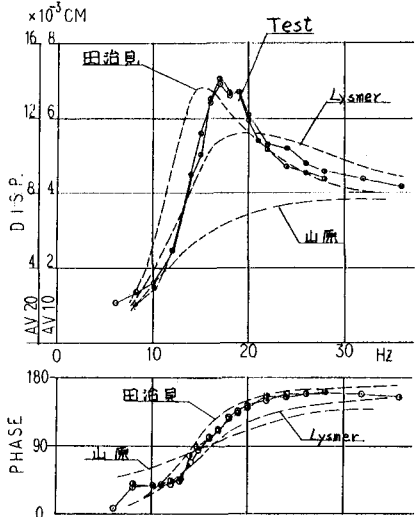


図-3 実験結果と各種近似解法の比較

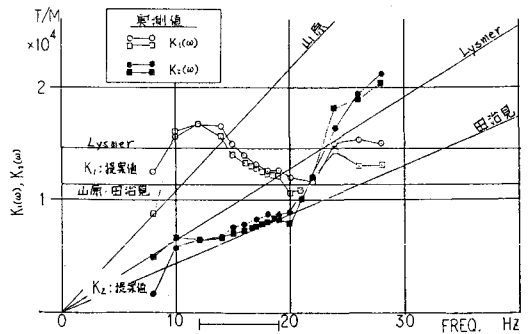


図-4 動的相互作用バネ K_1, K_2

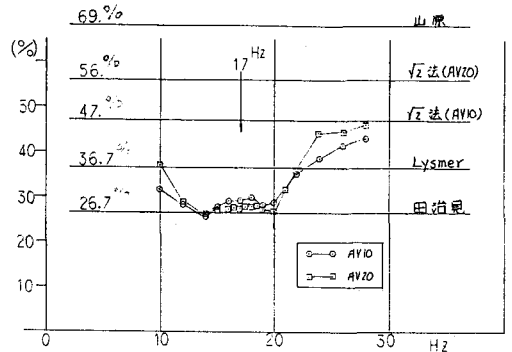


図-5 減衰定数の比較