

# (100) 埋め込み基礎の制震効果に関する実験的研究

東京電力(株) ○ 梅崎邦男  
 東京電力(株) 海津信廣  
 (株) 奥村組 高橋直樹  
 (株) 奥村組 朝倉正雄

## 1. はじめに

地盤に埋め込まれた基礎の地震観測結果によると、自由地盤地表面に対して基礎上の応答が低減されることが多く、一種のローパス・フィルター特性を有する制震効果のあることが知られている。本研究では、埋め込み基礎の制震効果発生メカニズムについて検討することを目的とし、模型地盤・基礎の振動台加振実験および基礎の起振実験を行なった。

本報告では、実験結果の第一報として、振動台加振による地盤と基礎の基本的な振動特性を示すとともに、基礎周面に作用する側方動土圧、せん断力分布についても計測したので合わせてその結果を示す。

## 2. 模型振動実験

### (1) 相似則

実験で考慮した相似則は表-1に示す通りであり、運動方程式の慣性項、粘性項および弾性項の各項の比が模型と原型で等しくなるように設定した。

### (2) 模型地盤・基礎の諸元

地盤は弾性体材料であるゼラチンで模擬し、基礎は地盤質量と同一となるように軽量モルタルで作成した。模型地盤および基礎の諸元は、表-2, 3に示す通りである。また、表-4にゼラチンの配合を示す。

### (3) 実験ケース

実験ケースは表-5に示す通り地盤系および地盤・基礎系とし、ブロック状基礎の厚さおよび幅をパラメータとして計5ケースの加振実験を行った。また、入力には正弦波(スイープ加振、50gal)および不規則波とした。

### (4) 計測システムおよび計測器配置

計測システムを図-1に示す。計測器は振動台上、地表、地中および基礎上に加速度計を配置するとともに、基礎周面に土圧計、せん断応力計を配置した。代表例として、図-2にCASE3(基礎形状20cm×20cm×20cm)の計測器配置を示す。

## 3. 実験結果および数値解析の比較

### (1) 実験結果

表-1 相似則

項目	単位	想定地盤・基礎	模型	相似比
密度(地盤)	t/m <sup>3</sup>	1.8	1.16	1/1.6
(基礎)		1.8	1.16	1/1.6
長さ(基礎)	m	8.0x16.0x2.0	0.2x0.4x0.05	1/40
せん断波速度	m/s	200	14.5	1/14
せん断剛性	tf/m <sup>2</sup>	7,500	25	1/300
減衰定数	—	0.025	0.025	1/1
時間	sec			1/2.9
加速度	cm/s <sup>2</sup>			1/1
変位	cm			1/8.4

表-2 模型地盤の諸元

項目	諸元
模型寸法	1.30x1.70x0.49m
密度	$\rho=1.16\text{t/m}^3$
S波速度	$V_s=14.5\text{m/sec}$
せん断弾性係数	$G=2.50\text{kgf/cm}^2$
減衰定数	$h=0.025$

表-3 模型基礎の諸元

項目	諸元
模型寸法	20x20x5cm, 20x20x10cm, 20x20x20cm, 40x20x5cm
密度	$\rho=1.16\text{t/m}^3$
せん断弾性係数	$G=1.1\sim 1.6 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$

表-4 ゼラチンの配合

材料	重量比
ゼラチン	0.8
水	1.0
グリセリン	0.1
プロキセル	0.004

表-5 実験ケース

No.	基礎形状
CASE0	地盤系
CASE1	地盤+基礎(20x20x5cm)
CASE2	地盤+基礎(20x20x10cm)
CASE3	地盤+基礎(20x20x20cm)
CASE4	地盤+基礎(40x20x5cm)

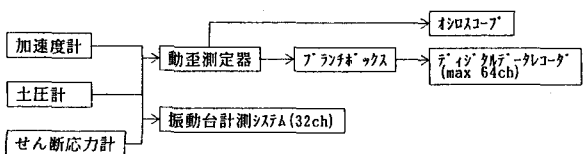


図-1 計測システム

a. 地盤の振動モード

図-3に、地盤中央部の鉛直方向に配置した計測点 G4-1, G4-3, G4-5 の水平方向の位相曲線および共振曲線を示す。また、図-4に地盤 1次、2次、3次の振動モードについて、1次元分布質量系のせん断振動の理論解と実験を比較したものを示す。この図より、地盤中央部はほぼ理論通りのせん断振動をしていることがわかる。

b. 地盤と基礎の応答の比較

図-5および図-6に、地盤系(case 0)地表面の応答に対する基礎上の応答の比を各振動数毎に求めた結果を示す。図-5は、基礎幅の変化に対する基礎の応答、図-6は、基礎厚さの変化に対する基礎の応答をみたものである。

これらの図より、基礎のローパス・フィルタ特性には基礎幅よりも基礎厚さの寄与の大きいことがわかる。

(2) 実験と数値解析の比較

ここでは地盤系(CASE 0)と地盤・基礎系(CASE 3)の実験結果および2次元FEM解析結果の比較を示す。解析コードはSuper FLUSHを用い、地盤および基礎の物性は材料試験結果から設定した。解析モデルを図-7に示す。

a. 共振曲線および時刻歴波形

図-8には、地盤中央(CASE 0)および基礎上(CASE 3)の水平方向の共振曲線を示す。共振曲線のピーク振動数、振幅とも実験と解析値はほぼ一致していることがわかる。図-9に不規則波を入力した場合の基礎上の応答加速度波形および基礎側面の土圧、せん断力波形を示す。解析値は最大値、波形とも実験値とよく対応していることがわかる。

b. 基礎周面の動土圧およびせん断力

図-10(a), (b)に、地盤・基礎系50galスウィープ加振1次振動数における基礎に作用する側方動土圧およびせん断力について実験結果と解析結果を示す。この図は、基礎が右側に最大変位した時刻歴断面のものであり、同図には同時刻での地盤系の地盤

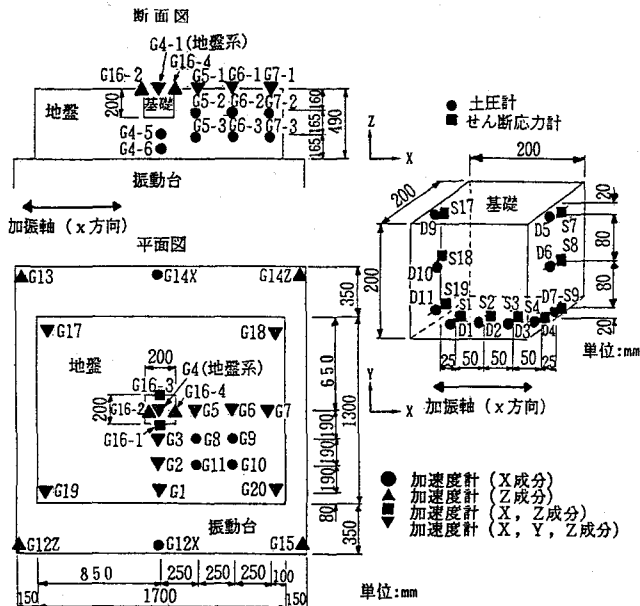


図-2 計測器配置

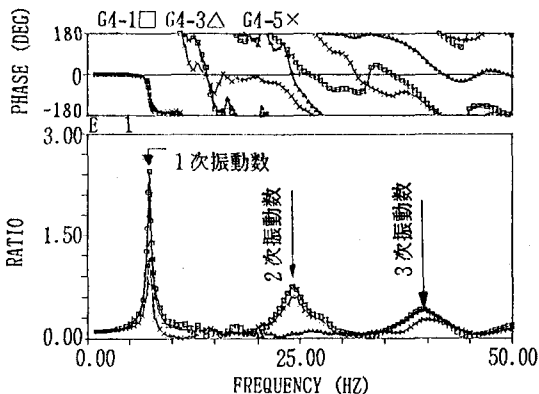


図-3 共振曲線(G4断面)

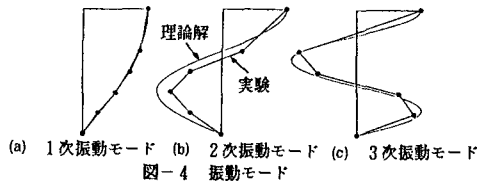


図-4 振動モード

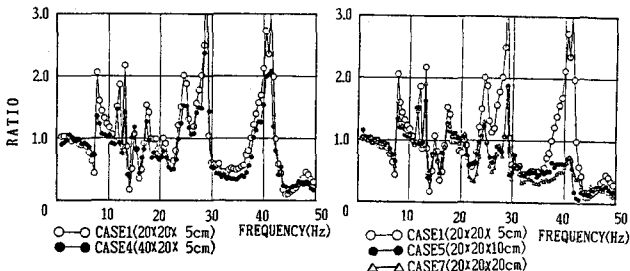


図-5 基礎上/地表のスペクトル比 (基礎幅を変化) 図-6 基礎上/地表のスペクトル比 (基礎厚さを変化)

変位および地盤・基礎系の基礎の変位を、また参考のため地盤系の地盤変位から算定した地盤内のせん断力を合わせて示している。図-11には、解析結果について地盤の共振1次、2次振動数における地盤と基礎の変位および基礎側方動土圧を45°位相毎で示す。また、図-12には、解析結果について基礎の共振1次、2次振動数における基礎に作用する慣性力、動土圧、底面せん断力の合力（慣性力の最大値で基準化）を45°位相毎で示す。これらの図より、以下のことがわかる。

- i. 図-10より、地盤の共振1次振動数では基礎側方の動土圧分布は地盤と基礎の相対変位差に密接に関係しており、基礎周面には、地盤系の地盤内せん断力と同等のせん断力が基礎に作用していることがよみとれる。
- ii. 図-11より、地盤の共振1次振動数では動土圧と相対変位に位相のずれはないのに対して、2次振動数では約90°の位相差が認められる。
- iii. 図-12より、基礎側方に作用する動土圧の合力は、1次振動数では基礎に作用する慣性力の方向すなわち基礎の変位と同じ方向に作用するのに対して、2次振動数では基礎の運動を抑止するように作用する。これは、基礎に作用する動土圧には基礎の変位に関連する復元力項と速度に関連する復元力項が考えられるが、2次振動数では、速度項の寄与が大きくなるためと推定される。このような基礎側方動土圧の作用は基礎のローパス・フィルター特性と密接に関係するものと考えられる。なお、図-11、図-12の結果は実験でも定性的に同様の結果を得ている。

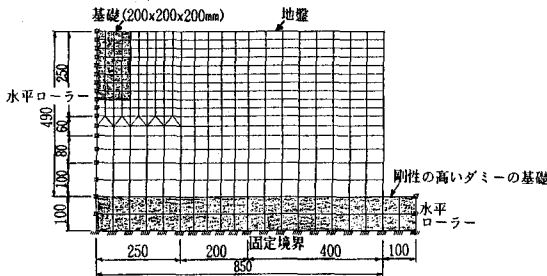


図-7 解析モデル

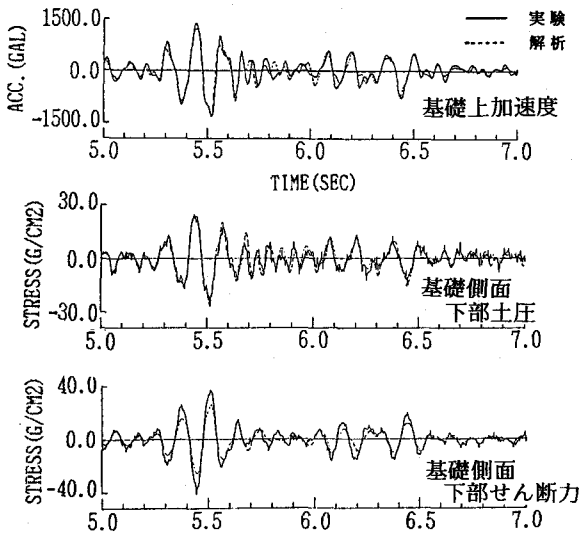
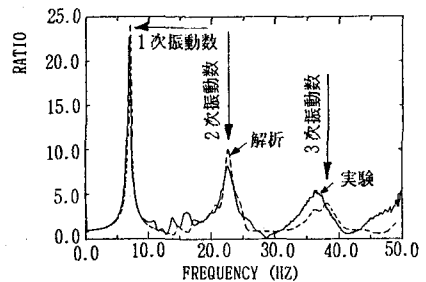
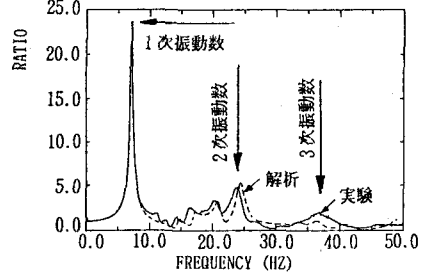


図-9 時刻歴波形の比較（地盤・基礎系CASE3）

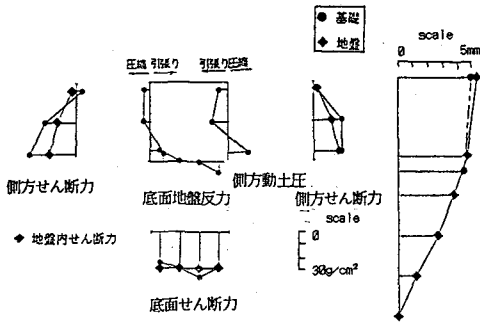


(a) 地表/振動台上（地盤系 CASE0）

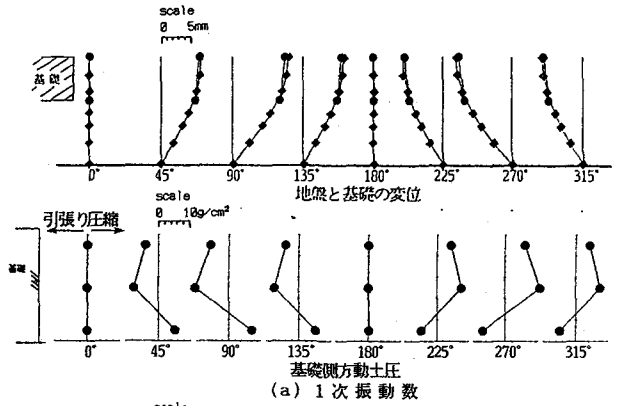


(b) 基礎上/振動台上（基礎+地盤 CASE3）

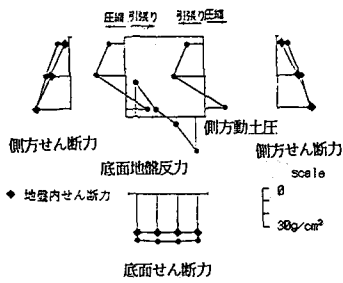
図-8 共振曲線の比較



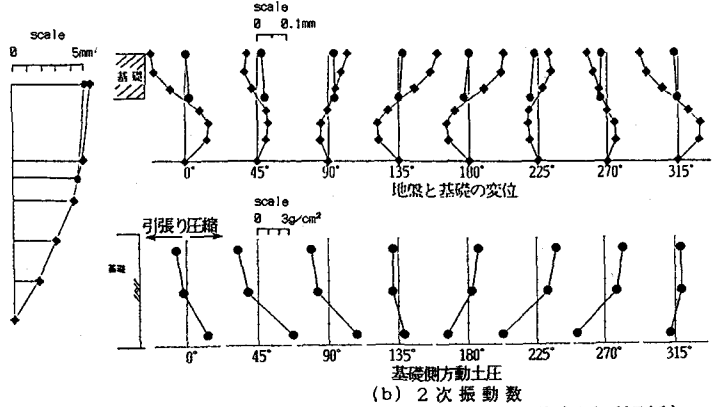
(a) 実験(1次振動数)



(a) 1次振動数



(b) 解析(1次振動数)



(b) 2次振動数

図-10 基礎側方動土圧およびせん断力

図-11 地盤と基礎の変位および基礎側方動土圧(解析)

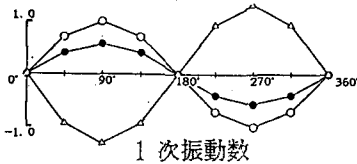
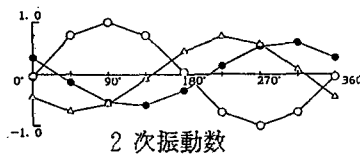


図-12 基礎に作用する外力の釣合(解析)



○—○ 慣性力  
●—● 基礎側方動土圧合力  
△—△ 基礎底面せん断合力

#### 4. まとめ

今回実施した埋め込み基礎模型振動実験および数値解析により得られた結果をまとめると以下の通りである。

- i. 模型振動実験結果から、基礎が所定の幅を有していれば、基礎を拡張するより、むしろ基礎を厚くする方が制震効果を増大させることがわかった。
- ii. 模型実験結果と数値解析の比較から、基礎の応答加速度、基礎に作用する土圧、せん断力応答は、2次元FEMにより比較的精度良く評価し得ることがわかった。
- iii. 基礎側面に作用する動土圧の合力は、高次振動数になると基礎の運動を抑制するように作用し、この作用が基礎のローパス・フィルター特性を有する制震効果に関係するものと考えられる。

今後の課題として以下のものがあげられる。

- i. 基礎の起振実験データを整理し、基礎の減衰と制震効果の関係を検討する。
- ii. 2次元FEMにより、詳細な基礎の制震効果の検討を行い、その発生メカニズムの解明を図る。
- iii. 地盤物性の非線形性と基礎の制震効果の関係を把握する。

最後に、本実験・解析にあたり、御指導頂いた久保慶三郎東京大学名誉教授を始め協力頂いた関係各位に深謝いたします。