

首都高速道路公団

正会員 ○大塚昭夫

(株)長大橋設計センター

矢作 柁  
右辺大道

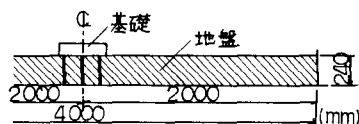
## 1 まえがき

地震時における基礎構造物と周辺地盤との相互作用については、最近のいくつかの研究にもみられるように、基礎の耐震設計上きわめて重要な課題といわれている。筆者らはすでに軟弱地盤中に構築される大規模な基礎構造物(多柱式基礎あるいはケーソン基礎)を対象に、基礎と地盤の連成モデルを作成し、地盤のばね特性、減衰特性等のひずみ依存性を考慮した等価線形応答解析を行って、基礎に及ぼす地盤の影響を明らかにしてきた。

本文は、上記解析結果の妥当性、すなわち動的ばね特性や減衰特性等の基本解析条件の妥当性を確認すると同時に、基礎と地盤の相互作用を現象として把握するために行った模型振動実験について述べたものである。なお、実験で得られたデータを用いてシミュレーション解析を行い、比較的簡単な解析モデルの提案を行っている。

## 2 実験概要

対象とした地盤と基礎は、約40mの深さで分布している軟弱シルト質粘土層とその下層の土丹層まで根入れされた多柱式(9本柱)基礎である。基本縮小率、長さ $l=150$ 、密度 $\rho=1.5$ 、時間 $t=8$ として作製した模型の概略を図-1に示す。地盤模型は地盤高に比べて十分離れた位置に剛な境界をもつ有限地盤模型として扱い、ほぼ線形な特性をもつケミカルグラウト剤を用いて作製したものである。多柱式基礎模型の柱は矩形断面のアクリル板からなっており、その下端部には土丹層の鉛直剛性に相当させた鋼板ばねが付されている。



| 模型諸元 |         |                                           |
|------|---------|-------------------------------------------|
| 地盤   | 単位体積重量  | $\gamma = 1.0 \text{ g/cm}^3$             |
|      | 変形係数    | $E = 867 \text{ kg/cm}^2$                 |
|      | せん断弾性係数 | $G = 289 \text{ kg/cm}^2$                 |
| 基礎   | 頂版重量    | $W = 29.5 \text{ kg}$                     |
|      | 回転慣性    | $J_g = 3770 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ |
|      | 柱下端鉛直ばね | $k_v = 168 \text{ kg/cm}$                 |

図-1 模型

実験は、基礎の頂版部を水平に載荷する静的実験と加振台(6m×8m)に正弦波、ランダム波および現地土丹層内で得られた地震記録を入力する動的実験からなる。動的実験では、基礎の頂版、柱部の水平加速度、周辺地盤の水平・鉛直加速度、柱部の動土圧を測定した。

## 3 実験結果および考察

(1) 振動性状 図-2は伊豆近海地震を入力した場合の多柱式基礎天端加速度のパワースペクトラム(P.S.D)を示したものである。同図中には比較の目的で別途実施したケーソン基礎の結果も併記してある。多柱式基礎では、地盤の共振1次振動( $f=5.4 \text{ Hz}$ )でのP.S.Dピークが大きく、基礎の共振1次振動( $f=8.1 \text{ Hz}$ )でのピークが比較的小さくなっている。一方、ケーソン基礎では、基礎の共振域で大きなピークを示すばかりか、地震の卓越周波数(7~8 Hz)付近でのピークもみられる。この傾向は、他の地震波やランダム波を入力した場合でもおおむね同じであり、基礎形式の違いによる地盤との相互作用の特徴を表わしている。なお、多柱式基礎と地盤のそれぞれの共振域における基礎の変形と柱部の側面土圧の状態を図-3に示す。地盤の共振域では、地盤に押されて基礎が変形するが、基礎の共振域では基礎の変形によって土圧が作用していることがわかる。

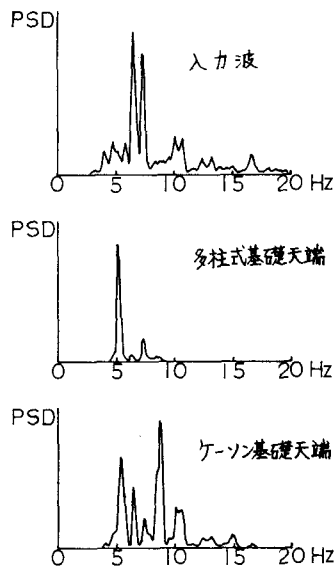


図-2 パワースペクトラム

(2) シミュレーションによる実験値の検証 実験で得られた基礎天端の応答値が

ら伝達関数を求めてみると、基礎固有の振動以外に周辺地盤の共振にともなう振動が卓越する。このため力学モデルを用いて基礎の挙動をシミュレートする場合には、周辺地盤の挙動をも考慮した力学モデルが前提となる。

周辺地盤と基礎を一体にして解析する力学モデルには、有限要素法モデルや地盤を多質点のせん断振動系として地盤挙動をも基礎に入力する多質点系モデル等がある。筆者らがこれまでの解析に用いてきた多並列モデルも多質点系モデルに属するものであるが、本解析では比較的簡素化した力学モデルによって実験値の検証を試みた。

図-4にその力学モデルを示すが、これは地盤を1列のせん断振動系としてモデル化し、各地盤質点の挙動を基礎と地盤を結ぶ側面地盤ばねを介して入力するものである。側面地盤ばねは、まず基礎共振時の伝達関数から基礎頂版下面の水平ばねを求め、これより側面等分布ばねとして推定したもので、水平載荷試験から得られる分布ばねの約1/2に相当するものである。

一方、減衰定数は実験から推定される値を基本としたが、地盤、基礎いずれもおおよそ0.02～0.06の範囲にばらついているため、それぞれ数種類の組合せに対してシミュレートしている。

以上の解析モデルあるいは諸定数を用いて解析し、一例として基礎天端の加速度応答倍率を示したものが図-5である。ただし、この場合の減衰定数は、地盤0.05、基礎0.02である。なお、地盤共振時の応答倍率は地盤の減衰定数を若干変化させても変動がわずかであるのに対し、基礎共振時の応答倍率は基礎の減衰定数の変化に対し大きく変動する。しかしながら、多柱式基礎の場合は図-2からもわかるとおり、基礎天端の応答は地盤の共振による影響が支配的で、基礎の共振によるものは比較的小さいと推定されるため、現実には基礎の減衰定数によって最大応答値が左右されることはないと考えられる。

以上のように、地盤を1列に簡素化して基礎と連成させた力学モデルでも実験値を十分フォローすることが明らかになった。ただし、これらはあくまでも模型実験値に対する検証であるため、実地盤に適用するにあたっては、動的ばね、減衰定数等の基本解析条件の設定に細心の注意が必要であることは論をまたない。

#### 4. あとがき

以上の実験あるいは解析結果から次の結論が得られる。

- ①軟弱地盤中にある基礎は、基礎固有の振動以外に地盤の共振にともなう振動が卓越する。したがって、基礎と地盤の連成モデルによる解析が必要となる。
- ②基礎と地盤の連成モデルは、地盤を1列のせん断振動系として、各地盤質点の挙動を基礎と地盤を結ぶ側面地盤ばねを介して入力する、いわゆる1列モデルでよい。
- ③動的ばねは静的ばねのほぼ50%程度に低下する。

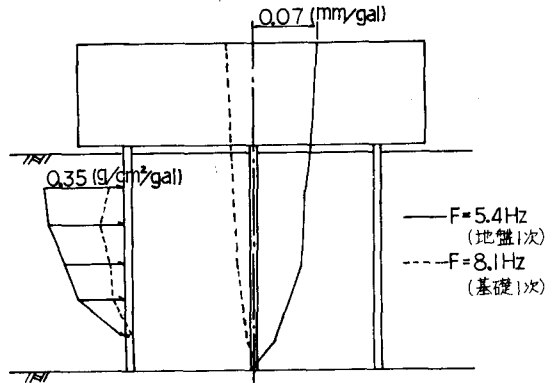


図-3 基礎の変形と土圧の関係

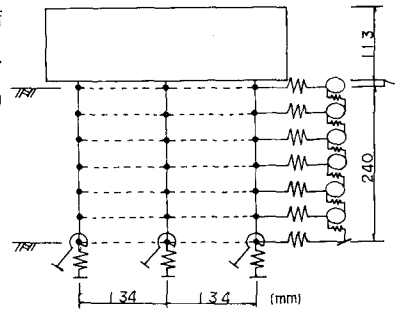


図-4 解析モデル

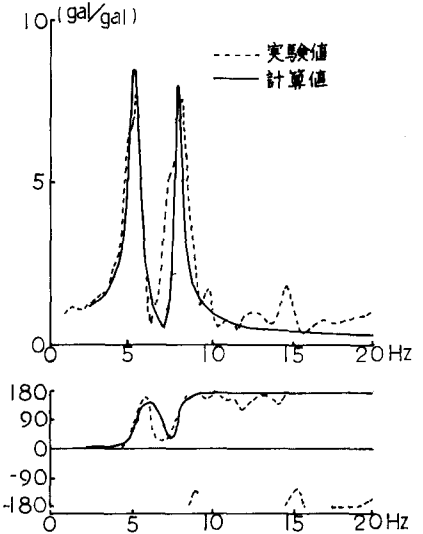


図-5 加速度応答倍率