

## 鉛直方向地盤ばねの設定法に関する一考察

日建設シビル 正会員 ○川満 逸雄  
 日建設シビル 正会員 本田 道識  
 日建設 國津 博昭

## 1. はじめに

構造物の地震応答解析において、鉛直方向地震動を入力し解析するケースが増えている。道路橋示方書では構造物の固有周期を算出時の地盤反力係数の設定法が記載されており、この地盤反力係数に底面積を掛けて算出される場合が多い。この方法では、地盤の減衰定数の設定法が記載されていない。一方、理論的な方法としては、振動アドミタンス理論による設定があるが、この方法は、複雑な地層構造への対応も難しい場合がある。有限要素法により地盤をモデル化し周波数加振により地盤ばねを設定すれば、これらの問題を解決できると考えられる。本論文では、有限要素法による地盤ばね設定法についての検討結果を報告する。

## 2. 振動アドミタンス理論 (田治見ばね)

有限要素法による地盤ばね設定の比較対象として、理論解による設定値を用いる。田治見は、振動アドミタンスの理論により弾性地盤の複素ばね値を求め、この結果を地盤ばね算出係数  $\alpha$  で整理し、次式により簡単に算出する方法を示した。

$$K_{V1} + iK_{V2} = \frac{G\sqrt{A}}{1-\nu}(\alpha_V + i\alpha_V') \quad (1)$$

ここに、 $G$ : 地盤のせん断弾性係数、 $A$ : 基礎底面積、 $\nu$ : 地盤のポアソン比。地盤ばね算出係数  $\alpha$  は図1より求める。

図1は、周波数の関数となるので実際の計算の際には、 $\alpha_V$  は振動数ゼロでの値 2.2、 $\alpha_V'$  は傾き 1.0 の直線として計算している。

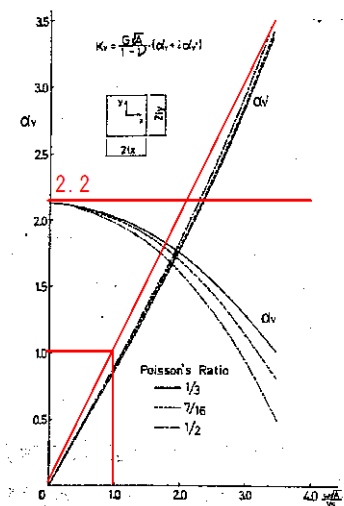


図1 田治見の鉛直ばね算出係数

## 3. 有限要素法による地盤ばね算出

有限要素法による地盤算出は、3次元効果を考慮できる軸対称モデルを採用した。図2に解析モデルを示す。

解析範囲としてどの程度必要かを調べるために、深度方向に基礎半径  $r$  の倍数で広げ、静的载荷による中心位置の沈下量と理論解との比を図3に示す(半径方向は  $5r$  に固定)。解析範囲を深くすればするほど理論解より小さくなる。一方、図4に弾性理論での円形载荷時の中心軸上の変形を地表面の変形の比で表したものであるが、鉛直方向変位の影響は深度方向にもっとも大きく、深い範囲までの弾性係数の影響を受けることを示している。深度方向の解析範囲としては、 $5\sim 10r$  程度が適当と考えられる。

図5に有限要素法による計算時の境界条件の違いによる複素ばねの違いを示す。軸対称有限要素法を用い、円形の等分布荷重を周波数ごとに加振した場合の、対称軸上の地表面での複素振動より複素ばねを算定した。

田治見の算定したばねと違い、計算結果が周波数に関して上下に揺れていることが分かる。これは、有限要素の解析範囲が有限であるためそのモデルの固有振数に一致した場合に共振しているためと考えられる。

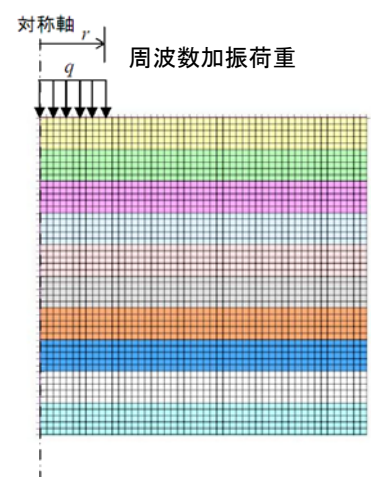


図2 解析モデル

キーワード 鉛直方向地盤ばね, 有限要素法解析, 振動アドミタンス理論

連絡先 〒112-0004 東京都文京区後楽 1-4-27 日建設シビル 技術開発部 TEL 03-5226-3070

側面に伝達境界を用いない場合は、有限要素内の加振エネルギーがモデル側面へ逃げずに大きな振動となっている。動的解析の場合は、解析モデル下面に連続している条件として粘性境界を設置する場合があるが、粘性境界を設置した場合は、周波数の小さい領域ではばね値が小さくなる傾向がある。これは、粘性境界は速度に依存して抵抗するため、振動数が小さい場合は変形の手が速いために、粘性境界の拘束効果が小さくなっているためと考えられる。

有限要素モデルの下部を水平ローラ、側面を伝達境界にした解析結果を、田治見の鉛直ばね算出係数と重ねた結果を図6に示す。有限要素法モデルによるばらつきは認められるが、ほぼ同じ結果を得られることが確認された。

4. ばね値の比較

ばね値の比較のため実際の地盤を対象として、道路橋示方書、田治見ばねと軸対称有限要素法の比較を行った。対象とした地盤を表1に示す。対象構造の基礎底版は半径26.7mの円形とし、道路橋示方書および田治見ばねを算出する際は、成層補正法により等価な均質地盤に換算し算定した。

等価せん断剛性は、図4の鉛直方向の補正係数  $F_w(z/a)$  を用い次式で算定した。

$$\frac{1}{G} = \frac{1}{G_1} \{1 - F_w(z_1/a)\} + \frac{1}{G_2} \{F_w(z_1/a) - F_w(z_2/a)\} + \frac{1}{G_3} \{F_w(z_2/a) - F_w(z_3/a)\} + \dots \quad (2)$$

ポアソン比および単位体積重量も(2)式に準じて設定した、設定した等価地盤を表1に示す。道路橋示方書の方法は、同書に従い等価弾性係数  $E$  より鉛直方向地盤反力係数を求め、底面積を掛け鉛直ばねを求めた。

鉛直ばねの比較を表2

表1 対象地盤

| 層厚<br>(m) | Vs<br>(m/s) | G<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\nu$ | $\rho$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------|---------------------------|-------|--------------------------------|
| 1.90      | 610         | 763.000                   | 0.445 | 2.05                           |
| 8.90      | 360         | 233.000                   | 0.474 | 1.80                           |
| 0.95      | 300         | 171.000                   | 0.485 | 1.90                           |
|           | 510         | 520.000                   | 0.456 | 2.00                           |
| 等価地盤      |             | 469.000                   | 0.458 | 1.98                           |

に、減衰の比較を図7に示す。有限要素法による結果は、田治見ばねに近い結果を示しているが、道路橋示方書の方法は、これらの値より小さい値となっている。

表2 鉛直ばね計算結果 (×10<sup>7</sup> kN/m)

| 道路橋   | 田治見   | FEM   |
|-------|-------|-------|
| 2.155 | 9.002 | 7.898 |

● FEM    ● 田治見

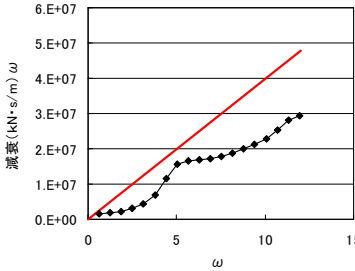


図7 減衰の比較

5. まとめ

地震応答解析に用いる地盤鉛直ばねに関して、有限要素法により求める方法について検討を行なった。理論解とほぼ同程度の値を算出することが出来た。一方、道路橋示方書による算定法では、小さい目の値となることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成14年3月
- 2) 田治見他：弾性理論による基礎底面―地盤の動的ばねに関する研究（その2）動的ばねの実用式について，日本建築学会学術講演集（関東），1975年10月
- 3) 田治見宏：建物と地盤の相互作用，建築構造学大系1 地震工学

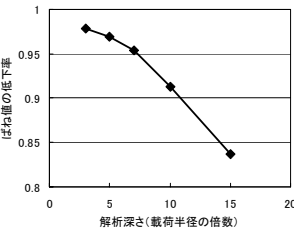


図3 解析深さとばねの低下率

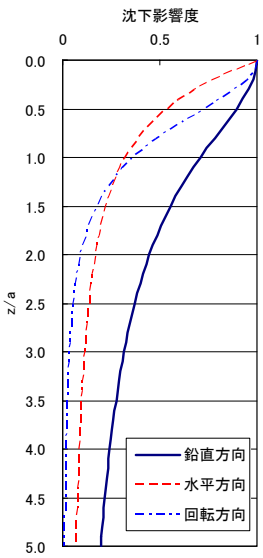


図4 沈下の影響度

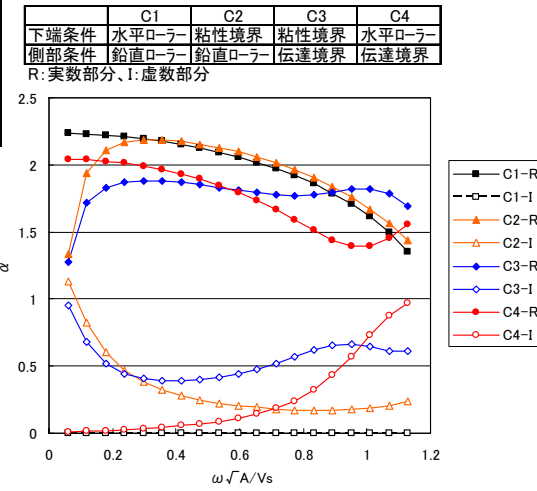


図5 境界条件の違いとばね算出係数

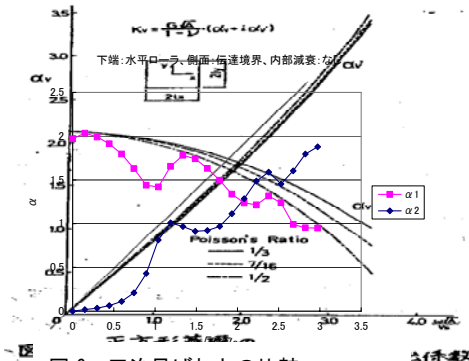


図6 田治見ばねとの比較