

周期荷重を受ける構造物と弾性地盤の相互作用

神戸大学 高谷富也 正 北村泰寿 正 桜井香輔

1. まえがき 基礎構造物の動的設計において、構造物と地盤の相互作用を評価することは重要である。特に、構造物と地盤の剛性比が相互作用に及ぼす影響を反ばしているかを含めて評価するためには、構造物と地盤を一体解析する必要がある。この目的のため、本研究は構造物に3次元FEMを適用し、地盤の混合境界値問題に対しては文献1)で得られている成果を利用した。

2. 解析手法 図-1に示すように、半無限弾性地盤上の構造物が正弦波外力を受ける場合を考える。構造物の振動は、時間項 $e^{i\omega t}$ を省略して次式のように表わされる。

$$-\frac{abc}{8}\rho\omega^2[M]\{w\} + \frac{E\ell}{1+\nu}[K]\{w\} + \{Q\} = \{P\} \quad (1)$$

ここで、 a , b , c は分割要素の辺長、 ρ , E , ν , ℓ はそれぞれ構造物の密度、ヤング係数、ポアソン比、高さ、 ω は加振円振動数である。また、 $\{w\}$ は節点変位、 $\{Q\}$ は節点反力、 $\{P\}$ は節点外力である。さらに、 $[M]$, $[K]$ はそれぞれ無次元質量、無次元剛性マトリックスで、 $[M]$ は Schue²⁾ に、 $[K]$ は Melosh³⁾ に、それぞれ与えられる。また、 $\{Q\}$ は Melosh³⁾ に、それぞれ与えられる剛性マトリックスを用いた。

次に、式(1)の節点変位、節点力を次式のように表わす。

$$\{w\} = \begin{Bmatrix} w \\ w_s \end{Bmatrix}, \quad \{Q\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ Q_s \end{Bmatrix}, \quad \{P\} = \begin{Bmatrix} P \\ P_s \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここで、上式の添字 s は接触面の節点に対する諸量を意味する。このとき、節点変位 $\{w_s\}$ と節点反力 $\{Q_s\}$ は、文献1)で用いた影響係数によって次式のように関係づけられる。

$$\{Q_s\} = \frac{\pi E_s d}{1+\nu_s} [F]^{-1} \{w_s\} \quad (3)$$

ここで、 E_s , ν_s は地盤のヤング係数、ポアソン比、 $2d$ は構造物の x 軸に平行な辺の辺長である。また、 $[F]$ は無次元影響係数マトリックスで、その詳細は文献1)に与えられる。結局、式(3)の関係を式(2)を考慮して式(1)に代入すれば、未知節点変位に関する連立一次方程式が得られる。さらに、この結果を式(3)に代入せば接触圧分布が決定できる。なお、本文の解析結果は、次のような剛性比 γ を導入して整理した。

$$\gamma = \pi \left(\frac{1+\nu}{1+\nu_s} \right) \left(\frac{E_s}{E} \right) \left(\frac{d}{\ell} \right) \quad (4)$$

3. 計算結果 計算例として、底面が正方形で、 $\ell/d = 1$ なる構造物の天端中央点に集中点加振力 $P e^{i\omega t}$ が作用する場合を取り上げた。構造物の分割数については、 x , y 軸に

Tomoya Takatani, Yasutoshi Kitamura, Shunsuke Sakurai

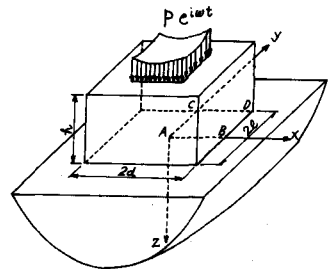


図-1 解析モデル

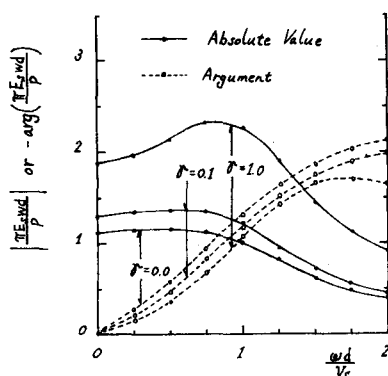


図-2 A点の共振曲線

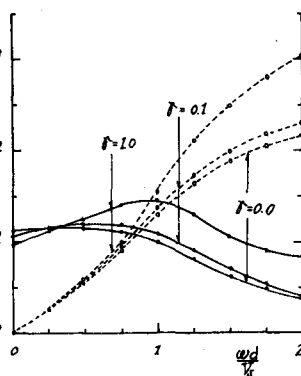


図-3 B点の共振曲線

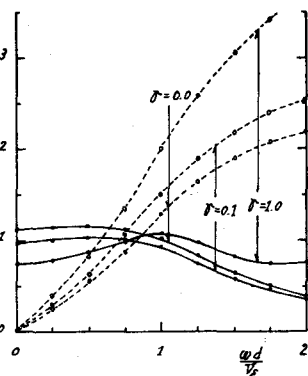


図-4 D点の共振曲線

平行な辺より等分、高さ方向には二等分とし、立方体要素を用いた。

まず、図-2-4には、図-1に示すA、B、D点の変位の共振曲線を示した。図中、 $\delta=0$ は剛基礎を意味する。 $\delta=1.0$ では、接触面の上下変位は中央部で大きく、端部に近づくとき小さくなり、中央部と端部の位相差も大きくなる。一方、

$\delta=0.1$ では剛基礎の場合と大差はない。さらに、構造物天端の変形(図は省略)を考慮して、 $\delta=0.1$ 以下になれば、載荷点近傍では多少構造物の剛性の影響が残るものの、ほぼ剛基礎とみなしてよい。次に、図-5、6の接触圧分布より、 $\delta=0.1$ の場合は剛体分布の形となっており、変形に対する考慮と同様に、 $\delta=0.1$ 以下になれば剛基礎のそれに近い分布と言えよう。これに対して、 $\delta=1.0$ については、無次元振動数($\omega d/\sqrt{g}$)が大きくなれば中央部と端部で1.5~2.5rad.の位相差となる。D点に近い部分では逆位相となっている。しかし、ここでも取り上げた計算例では $h/d=7.0$ となっており、構造物高さの影響が無視できない。すなわち、集中荷重が十分に分配されないため、中央部の接触圧は端部のそれより大きくなることに留意しなければならない。

4. あとがき 本文では、紙面の都合上、構造物底面の摩擦を無視した場合のみを図示したが、摩擦を考慮した場合の結果は講演時に譲る。さらに、文献1)で得られた複素剛性を用いて、地盤をWinkler-Voigt系とした場合の構造物の挙動について、合わせて講演時に報告したい。

参考文献 1) 北村, 桜井: 土学論, No. 290, 1979. 2) Schue: Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 69, No. 5, 1979. 3) Melosh: Proc. ASCE, Vol. 89, ST. 4, 1963.