

京都大学工学部

正員

後藤 尚男

京都大学工学部

正員

○青原 進

1. はしごき 地盤中に埋入れられた構造物基礎の動的挙動を説明するために、われわれは地盤を多自由度モデルによってモデル化する手法を提案^{*}、これについて若干の数値計算を行なった。このモデルは図-1に示すように、地表面を仮想的な縦横の線で分割してできるブロックの集合体であるとみなす。このとき縦横の分割の仕方は、基礎周辺では小さく、これより離れるにつれて増大小さくなるようにした。横の分割については層全高にわたって等分割とした。このそれぞれのブロックを質点とみなし、これにブロックの水平方向の剛度を表わす水平ばねと、鉛直方向の剛度を表わすせん断ばねを取りつけて図-2のようなモデルとした。地表面は半無限に広がっていると考えるべきであるが、このモデルでは第 m 列目の質点列には $(m+1)$ 番目のばねを介して地盤のみの応答量が与えられるものとし、これより以ては考えないことにした。なお我輩については、今回の数値計算例では考慮しなかった。

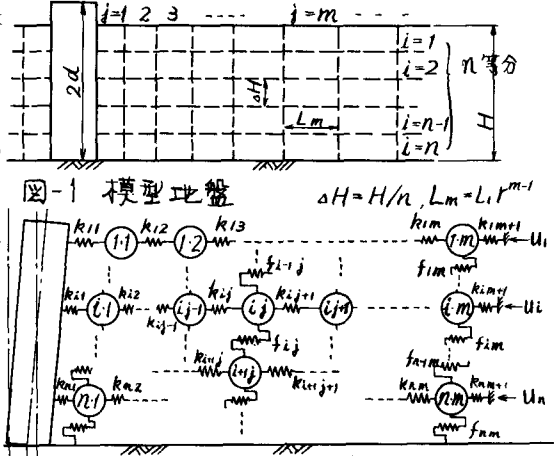


図-1 模型地盤

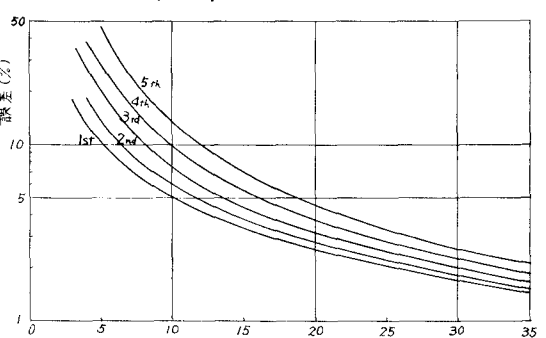


図-2 力学モデル

2. 運動方程式 第 i 番目のブロックの大きさは、 $\Delta H = H/n$, $L_j = L_i r^{j-1}$ ($r \geq 1$) である。ただし $i=1, 2, \dots, n$, $j=1, 2, \dots, m$ で、 m は地表面の分割数、 m は質点列数である。したがってこのブロックの質量 m_{ij} 、水平ばねおよびせん断ばねのばね定数 k_{ij} および f_{ij} は次のように表わせるものとする。

$$m_{ij} = \rho_i \Delta H \cdot L_i \cdot r^{j-1} / g, \quad k_{ij} = E_i \Delta H / (L_i \cdot r^{j-1}), \quad f_{ij} = G_i \cdot L_i \cdot r^{j-1} / \Delta H \quad (1)$$

ここで E_i , G_i および ρ_i は第 i 層目のブロックの弾性係数および単位体積重量である。これらを用いて地表面のみの運動方程式を求めると(ただしこの場合には $r=1.0$ とする)

$$M_n \ddot{u} + f_n u = F_n \quad (2)$$

となり、構造物基礎を剛体とし、これが並進とともに

回転運動を行なうときの運動方程式は

$$M \ddot{x} + (K + f) x = F \quad (3)$$

となる。

式(2)の係数行列の大きさは $(n \times n)$ であり、式(3)のそれは $(L \times L)$ 、ここで $L = 2 + m \cdot n$ である。式(3)を直接用いて数値計算を行なえば、要素の数が非常に多くなり、しかも行列の非対角要素のほとんどが 0 であるので、計算上非常に不利である。そこで式(3)を分割して質点列 j に関する連立微分方程式とする。これを $j=m$ のものより、順次消去することにより、固有値および固有振数応答曲線を求めた。

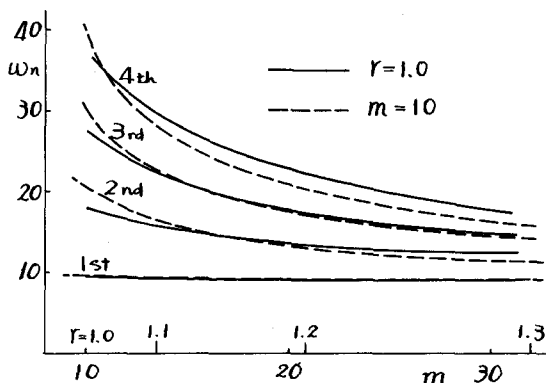


図-4 地盤の広がりとの固有円振動数

3. 数値計算例および考察

図-3は地表層のみのモデルにおいて、層の固有円振動数と分割数 n の関係を求める一方、同一の地盤条件を有する連続半無限弾性体の固有円振動数をも求め、これより精度を算出したものである。これによると精度は地盤条件に依存なく、 m のみの関数となる。図-4は地盤の横方向の広がりの影響を調べるために、剛体を含めた系の固有円振動数を、 m を変数とした場合と r を変数とした場合

について求めたものである。これによると両者ともよく一致しているので、この系の固有円振動数は m よりむしろ r を大きくして地盤の広がりやを大きくすれば、一定の値に近づくといえよう。また構造物の動特性へ影響を与える地盤にはある限界があるともいえよう。この図より m の増加による固有振動数の増分をその時の固有振動数で除いて精度を求めたのが図-5である。

図-6は地盤の横方向の広がりやを全く考慮せず、式(1)で与えられる定数を持つばねを1列だけ考慮し、かつ

地盤の適切な質量 m_v だけ剛体の質量が増加したとして、 m_v と剛体の固有円振動数との関係を求めたものである。すなわち地盤の質量作用をいわゆる仮想質量なる評価をしたものといえよう。これより m_v を増加させると、図-4で示した値を時、ような m_v を求めることができるが、2次の振動数をも同時に合せることはできない。すなわち地盤の振動的な取り扱いにおいては、剛度と質量を同時にしかも基礎と連続的に取り扱うべきであることを示すものである。またモデルの境界は図-2に示すように、地盤のみ応答量を加え剛体からある程度離れた地盤は全くの影響を受けないものとした。図-7はこの境界が基礎層と同一の運動をする場合(固定境界)と、境界には拘束がない場合(自由境界)の周波数応答曲線を示したものである。この例から判断する限り、境界が固定であれ自由であれ剛体の振動特性にはそれほど大きな差は生じないといえよう。計算は京大電算機DC-IIによる。

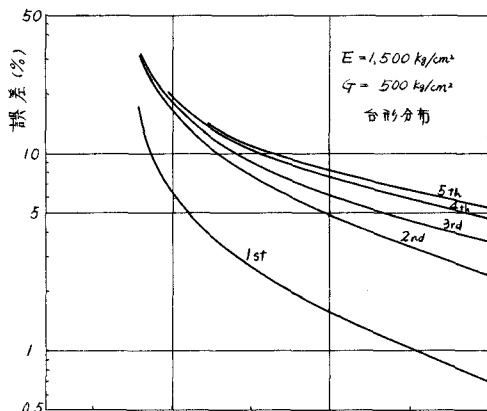


図-5 構造物基礎系の精度 値変列数 m

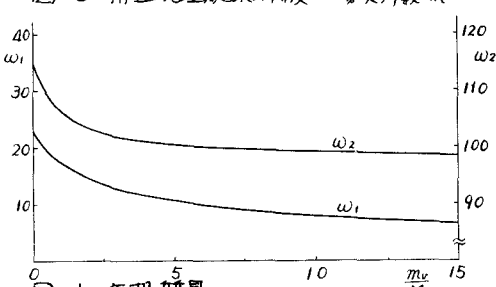


図-6 仮想質量

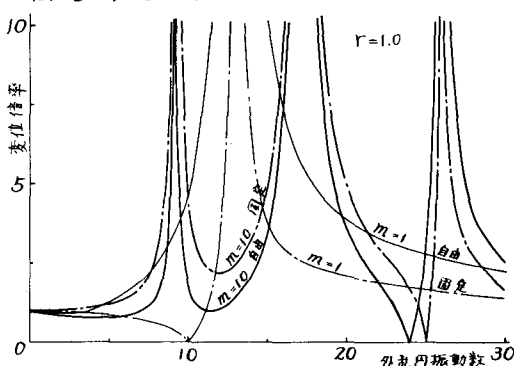


図-7 周波数応答曲線

* 土木学会周知支部年次学術講演会講演要録集, I-29, 1967.10, I-18, 1968.5 および I-37, 1969.5