I-344 鉛直加振を受ける群杭の応答解析法に関する研究

(社) 北陸建設弘済会 ○正会員 市村 浩二
長岡技術科学大学 正会員 小長井 一男
長岡技術科学大学 正会員 小川 正二

1. まえがき

著者らは既に，杭と地盤の相互作用に関し，地盤を連続体とし，杭本体を線形バネにその中心を貫かれた有限個の剛体円盤列とするモデルによる解析手法を提唱している[1]。本手法によれば，杭本体を多質点とするだけで地中への波動逸散にともなう杭の剛性変化やダンピングの発生を定量的に表現することができ，交通振動のような高周波領域も含む幅広い範囲の周波数に対してより厳密な解を簡便に求めることが可能である。しかしこの手法では，杭の構成要素である1枚の剛体円盤を支持する地盤のコンプライアンスは複雑な複素積分を数値的に実行して得られるため，図－1に示すような群杭の挙動を解析する場合，十分な収束値を得るための円盤の枚数の増加に伴う計算時間の増加は著しく，何の改良もなしに本手法を用いることは必ずしも適切ではない。本文では，従来その算定に多大な時間を必要としたコンプライアンスを単純な一自由度の振動子とほぼ等価であるとする「簡便法」を提案し，従来の複素積分を実行する「積分法」と比較してその妥当性を検討している。

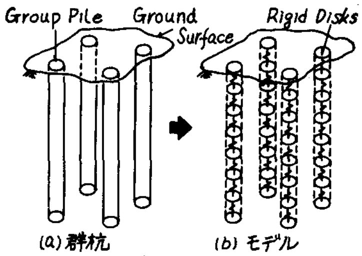


図-1 群杭のモデル化

2. 剛体円盤を支持する地盤のコンプライアンス

提唱した簡便法では，地盤内（無限等方弾性体内）の円盤本体のコンプライアンスを図－2(a)に示す一自由度振動子のコンプライアンスで，また，円盤の周辺地盤の変位を図－2(b)に示す円盤の中心位置を加振源とする点加振解で近似する。

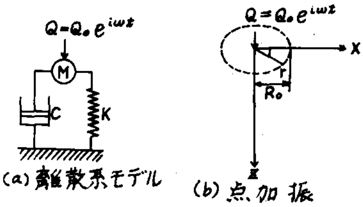


図-2 簡便法

図－3の実線は，鉛直方向コンプライアンスWの厳密解を静的なコンプライアンスで正規化した値（変位応答倍率）を無次元化円振動数A（$=\omega R_0/V_s$；ω＝加振円振動数，R_0＝円盤半径，V_s＝せん断波速度）の関数として示したものである。またこの図には，図－2(a)に示す一自由度振動子の変位応答倍率も併記している。両者はAが0～10の幅広い範囲できわめてよく一致し，このことは提唱した簡便法の妥当性を物語っている。一自由度振動子の変位応答倍率は周知のごとく次式で与えられる。

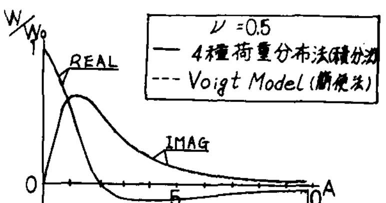


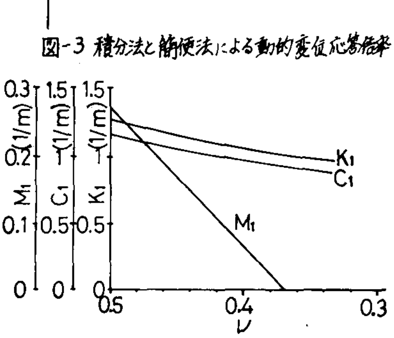
図-3 積分法と簡便法による動的変位応答倍率

$$\mathrm{REAL}=\frac{K-\omega^2M}{(K-\omega^2M)^2+\omega^2C} \qquad (1-a)$$

$$\mathrm{IMAG}\quad \frac{-\omega C}{(K-\omega^2M)^2+\omega^2C} \qquad (1-b)$$

ただし M；付加質量 K；バネ定数
C；減衰定数 ω；加振円振動数

式中の定数M，K，Cは周波数に依存せず，地盤のせん断弾性定数，円盤の寸法，ポアソン比の関数としてのみ与えられるとして，これらの



図－4. ポアソン比とM₁, C₁, K₁の関係

値を求めたものを図−4に示す。M_1, C_1, K_1をポアソン比νの関数とすれば付加質量M，減衰定数C，バネ定数Kは次式のようになる。

$$\left.\begin{aligned} M &= M_1(R_0/V_S)^2 \\ C &= C_1(R_0/V_S) \\ K &= K_1 \end{aligned}\right\} \quad (2) \qquad \text{ただし} \; M_1 = \begin{cases} 2.08\nu - 0.77 & (\nu > 0.37) \\ 0 & (\nu \leqq 0.37) \end{cases} \quad C_1 = 0.58/(1-\nu) \quad K_1 = 2/\pi(1-\nu)$$

図示のようにM_1, C_1, K_1は地盤のポアソン比が小さくなるにつれて小さくなる．特にMは円盤の半径，地盤のせん断波速度に関係なくポアソン比が0.37以下で０となる。なお，バネ定数Kは静的なコンプライアンスW_0の逆数であり，R_0/V_Sとは無関係である。一方，円盤周辺の地盤内の変位は，無限弾性体内の点加振解で近似する。$Q = Q_0 e^{i\omega t}$で加振した時の変位は，無次元化数を導入することで次のように表わせる。

$$W = W_0 e^{i\omega t} \qquad (3)$$

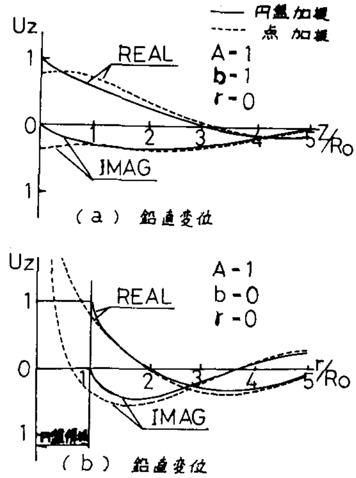
ここで
$$W_0 = \frac{Q_0}{4\pi\mu R_0}\cdot\frac{A}{D^2}\left[e^{-i\gamma D}\left\{ i\gamma + \frac{1}{D}(1+\gamma^2 b^2) - \frac{3i\gamma b^2}{D^2} - \frac{3b^2}{D^3} \right\} - e^{-iD}\left\{ i + \frac{1}{D}(1+b^2) - \frac{3ib^2}{D^2} - \frac{3b^2}{D^3} - D \right\} \right]$$

ただし
$D = \sqrt{a^2+b^2}$　　$a = \omega r/V_S$　　$b = \omega Z/V_S$

$A = \omega R_0/V_S$　　$\gamma = V_S/V_P$　　μ = せん断弾性係数

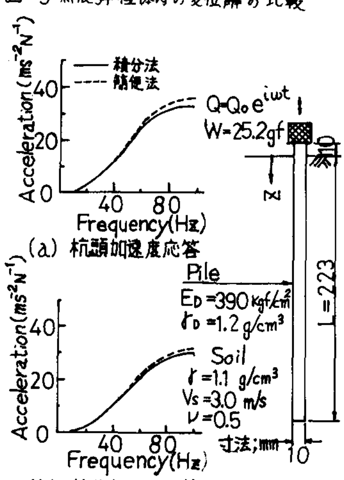
R_0 = 仮想した円盤の半径　　V_P = 地盤の縦波速度

図−5(a)(b)は無限弾性体内の円盤加振（積分法）と点加振（簡便法）により得られた変位解を併記したものである。図−5(a)は円盤外周を含む円筒面上での無次元化鉛直変位，図−5(b)は円盤面を含む平面内での無次元化鉛直変位の比較であり，横軸は円盤の半径で正規化されている。これらの図より点加振解（簡便法）と円盤加振解（積分法）が加振杭から離れるにつれて良く一致していく様子がわかる。群杭の杭間距離が最も接近しても最小2.5D（D；杭径）であることを考えれば点加振解の近似法は妥当と考えられる。



（a）鉛直変位　（b）鉛直変位

図−5 無限弾性体内の変位解の比較



(a) 杭頭加速度応答

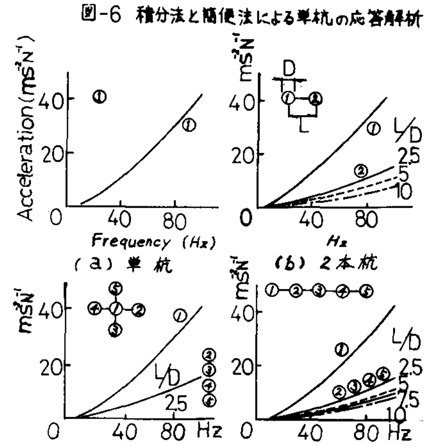
(b) 杭先加速度応答

図−6 積分法と簡便法による単杭の応答解析

3．数値解析結果

図−６の右側の単杭の杭頭加速度応答及び杭先加速度応答の数値解析結果を同図(a)(b)に示す。これらの図には積分法（実線）と簡便法（破線）による解を併記している。簡便法では積分法の約50分の１に計算時間を短縮することができ，積分法と良く一致する結果が得られている。

また，図−７のような配置の群杭の加振杭①の付加質量Wを取り除いたときの群杭の解析の結果を図−７に示すが，加振杭の杭頭加速度応答は他の杭の存在に影響されず，加振されていない杭の杭頭加速度応答も単に加振杭からの距離のみで評価できることがわかる。これは群杭の応答計算の簡便な評価法を示唆するものであり，現在その手法を検討中である。



（a）単杭　（b）2本杭

（c）5本杭（Case 1）　（d）5本杭（Case 2）

図−７ 杭頭加速応答

4．参考文献

1）小長井一男；鉛直加振を受ける杭の応答特性に関する研究，土木学会論文報告集No.325 P 11〜21，1982

2）小長井一男；無限等方弾性体内の剛体円盤の法線方向コンプライアンス，土木学会論文報告集No.339，P 231〜234，1983