

東京大学工学部 正員 松本 嘉司
 同上 学生員 小長井 一男
 日大生産工学部 学生員 小 浜 安夫

はじめに

近年、鉄道の高速度に伴い、その走行による振害は見逃がし得ぬものとなってきた。そこで地盤への振動の伝播機構を知り、有効な防振対策を施す上で、軌道を支える構造物—地盤系の振動の性状を把握することが必要になると思われる。第1段階として Fig.1に示すように単杭に關しての鉛直方向の振動を、地下逸散減衰を考慮して推定し、これと実測値との比較を行ってみることにする。この結果、Fig.1に示すような等価な1自由度のバネ、マスが算定できれば、工学的に有効な防振対策を施すことが可能になると思われる。

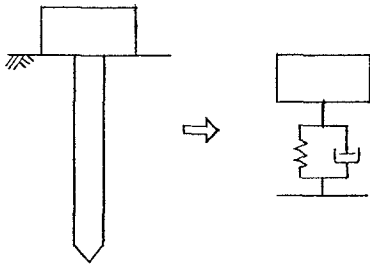


Fig.1

2. 地下逸散減衰を考慮した単杭の鉛直方向振動特性

半無限の等方弾性体内に杭が打ち込まれていると仮定する。

Lamb(1904)は、無限の弾性体内の1点に $P \cdot e^{i\omega t}$ なる

振動的外力を加えた時の任意の点の変位を、円筒座標 (r, z, ϕ)

を用いて次のように計算した。 ϕ 方向の変位(SH成分)はここでは考えていない。

$$U_r = P e^{i\omega t} \cdot W_r(r, z, \omega) \quad \text{----(1)}$$

$$U_z = P e^{i\omega t} \cdot W_z(r, z, \omega) \quad \text{----(2)}$$

但し

$$W_r = \frac{r \cdot z}{4\pi\rho\omega^2\eta^3} \left\{ (-\alpha^2 + \frac{3i\alpha}{\eta} - \frac{3}{\eta^2}) e^{-i\alpha\eta} - (-\beta^2 + \frac{3i\beta}{\eta} + \frac{3}{\eta^2}) e^{-i\beta\eta} \right\}$$

$$W_z = \frac{1}{4\pi\rho\omega} \left\{ \frac{e^{-i\alpha\eta}}{\eta^2} \left\{ -i\alpha - \frac{1}{\eta} (1 + \alpha^2 z^2) + \frac{3i\alpha z^2}{\eta^2} + \frac{3z^2}{\eta^3} \right\} + \frac{e^{-i\beta\eta}}{\eta^2} \left\{ -\eta\beta^2 + i\beta + \frac{1}{\eta} (1 + \beta^2 z^2) - \frac{3i\beta z^2}{\eta^2} - \frac{3z^2}{\eta^3} \right\} \right\}$$

$$\eta = \sqrt{r^2 + z^2} \quad \alpha = \omega/\nabla_p \quad \beta = \omega/\nabla_s$$

∇_p ; P波速度 ∇_s ; S波速度 ρ ; 弾性体密度

地表面の影響を考慮する場合、常套手段として無限弾性体内に仮想地表面を考え、この面に關して対称点にいま1つの载荷点をおき、同位相の载荷を行い、その解の重ね合わせで、解を近似する。

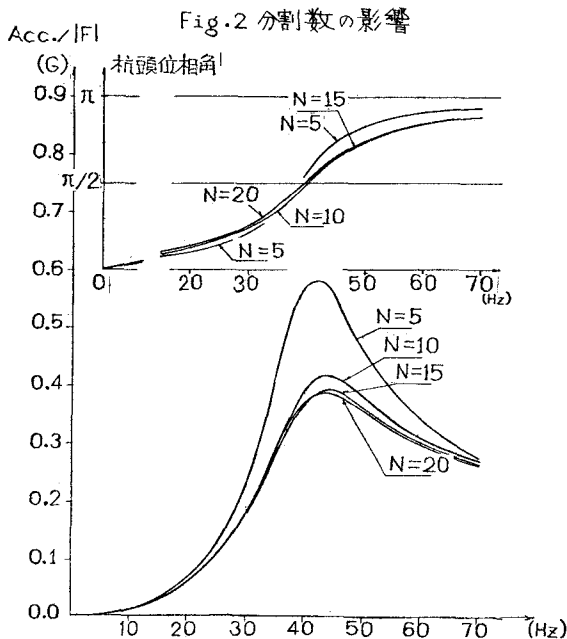
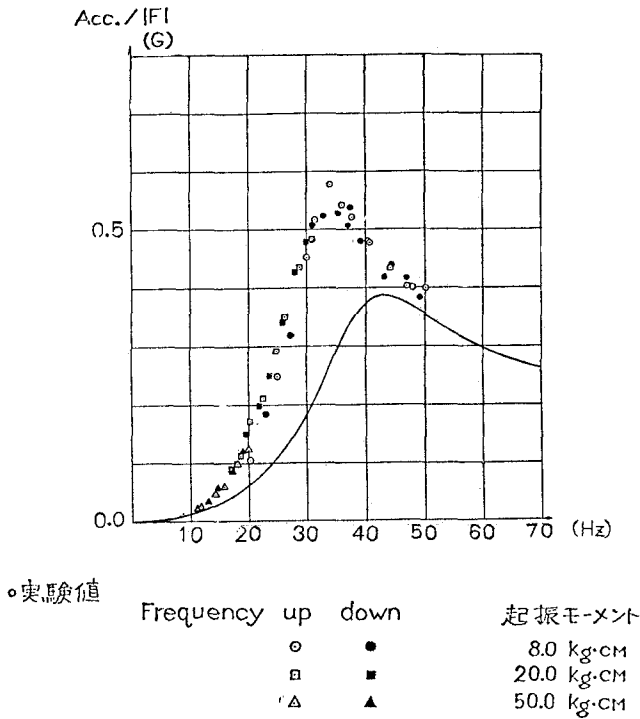


Fig. 3 杭頭加速度の実測値と計算値



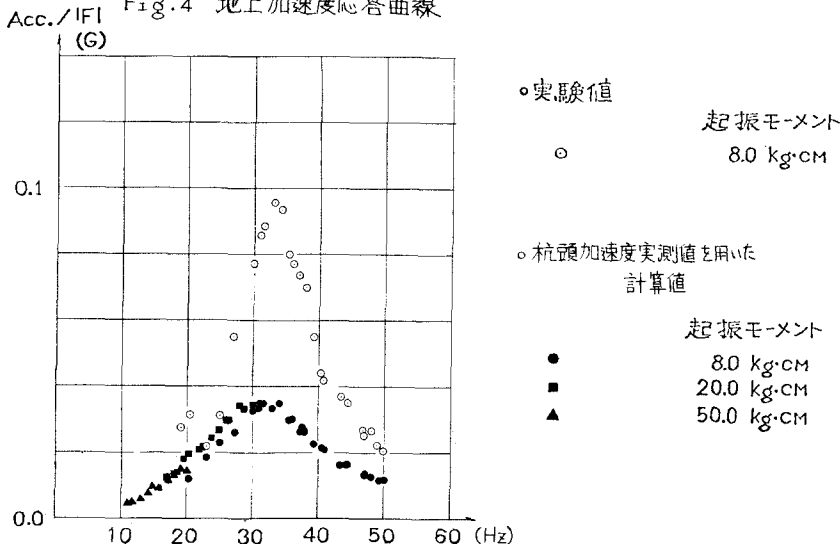
杭を多質点に分割した時、質点 i に F_i なる力が加えられた時の質点 j の変位は (1)(2) 式を用いて表現できるので、これより地盤の反力マトリックスをつくることができ、これに杭の剛性マトリックス、質量マトリックスを加えて、杭の振動方程式を組み立てられる。

埼玉大学構内に打ち込んである PC 杭とその地盤のデータを用いて計算した杭頭加速度応答を Fig. 2 に示す。杭の分割数を増していくと解はある値に漸近していく様子がわかる。この収斂した計算値と、加振実験結果の比較を Fig. 3 に示す。計算が実測値を下回るのは歪の大きさに伴い、 G が小さくなる土の軟化バネとしての性格、複雑な層構造、また半無限としての仮定がそっくり成立しないであろうと考える。しかし定性的にみてこの結果は、杭-地盤系の振動が 1 自由度の等価なバネ-マス系に置換うるものであることを示唆している。

3. 地盤振動の伝播

半無限弾性体内の 1 点に鉛直加振を行った時の表面の上下方向の変位は、動的な相反定理により、半無限弾性体表面を加振した時の、弾性体内の 1 点の上下方向変位に等しいと考えられる。そこで Lamb (1904) により導かれた地表を正弦的に加振した時の任意点の変位の式と、前節の地盤の反力マトリックスとを用いて、杭頭を正弦的に加振した時の地表の任意点の変位(加速度)を推定することが可能だと思われる。埼玉大の杭頭加振実験時の地表の加速度振幅の測定値と推定値の比較を Fig. 4 に示す。地震計の設定法にもよるが実測値の方がかなり大きい。

Fig. 4 地上加速度応答曲線



4. 結論

以上、単杭の鉛直方向の振動の特性、並びに地表の振動推定の方法について述べたが、さらに定量的に実測データに近づければ、これを例えは橋脚-群杭に延長することもできよう。しかし防振設計上の目安とはなっても定量的予測を行うにはあまりにも土の不確定要素が多いと思われる。