

1. まえがき 機械が運転時に強力な加振力を発生する場合、周辺地盤中へ放射される振動が公害として問題となることがある。このような振動の予測あるいは防止を図るためには、地盤振動の発生・伝搬現象の合理的把握が不可欠であり、振動発生源としての基礎の運動が結果として地盤振動にどのように結びつくのかを容易に推測可能とする合理的でかつ見通しのよい方法論が必要とされる。筆者はこれまでに、上述の観点から半無限地盤モデルを対象として実験、検討を行ってきた^{1)~3)}が、実際の地盤は半無限体とみなせる単純な構造ではない。そこで、より現実にあった方法論を探るべく、層状地盤モデルを用いて定常振動の発生、伝搬特性を測定した。本報告では、これら測定結果について述べ、あわせて半無限地盤モデルによる結果¹⁾と比較、検討する。

2. 実験方法 図1に実験方法と地盤モデルの概要を示す。詳細は文献⁴⁾を参照されたい。模型基礎は円形の亚克力製であり、モデル表面に設置して垂直方向に定常加振し、伝搬する振動加速度の垂直成分を測定した。ここで図1において、 V_s = 地盤モデル媒質の横波速度、 ν = ポアソン比、 f_i = 地盤モデルへの加振力、 α_0 = 基礎の振動加速度、 α = 地盤モデル表面の垂直方向振動加速度、である。

3. 結果と考察 図2に基礎中心からの距離 r が10~70cmにおける振動の伝達関数 $|\alpha/f_i|$ と、impedance function C_v ⁴⁾ の測定例を示す。但し C_v は、基礎底面下の地盤の複素剛性を Z としたとき、

$$Z = K_0(K_v + j\alpha_0 C_v)$$

$$\alpha_0 = r_0 \omega / V_{s1}, K_0 = 4r_0 G_1 / (1 - \nu_1), G_1 = \gamma_1 V_{s1}^2,$$

$$r_0 = \text{基礎半径}, \omega = \text{加振周波数}, j = \sqrt{-1}$$

の関係で規定される無次元量である。 C_v は主として波動の放射に起因し生ずるものであり、 C_v の値が小さければ波動の放射率が低く、逆に大きければ放射効率が高い、と考えられる。図示の例では、110 Hz ($=f_e$) 付近で、最も放射効率が高く、内部減衰の影響が大きいとみられる40Hz以下を除けば、 f_e 以下で周波数が低くなる程放射効率は低くなっている。一方、 $|\alpha/f_i|$ をみると概略80Hz以下の領域で、若干の変動傾向は認められるものの、低い周波数ほどその値が小さくなっており、 C_v の傾向と対応している。高周波数域では C_v はほぼ一定であるが、 $|\alpha/f_i|$ はいくつものピーク、ノッチをもち、両者に明確な対応関係は認められない。また、波動変位を d とした $d/f_i = |\alpha/f_i| \omega^{-2}$ は70~80Hz ($=f_a$) 付近で最大となる傾向を示す。 f_a は地盤の共振周波数といえるが、

これは後述のようにエアリー相とほぼ一致している。 f_a は f_e と一致せず、地盤に加えられた力が効率よく波動に変換されても、かならずしも地表面上での波動変位を最大にするものではないことが分かる。従来、地盤の共振周波数 f_c は波動の重複反射による $f_c = V_{s1}/4H$ で与えられるとされているが、本地盤モデルでは $f_c = 40$ Hz であり、 f_c では逆に地盤振動の放射効率は低く、波動振幅も極端に小さい。なお、 $|\alpha/f_i|$ の低周波数域における変動傾向は反射波の影響によるものであるが、80Hz以上では反射波の影響はほとんど認められない。

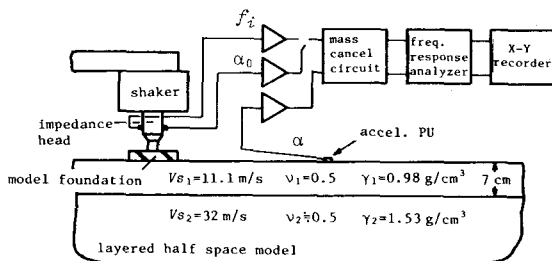
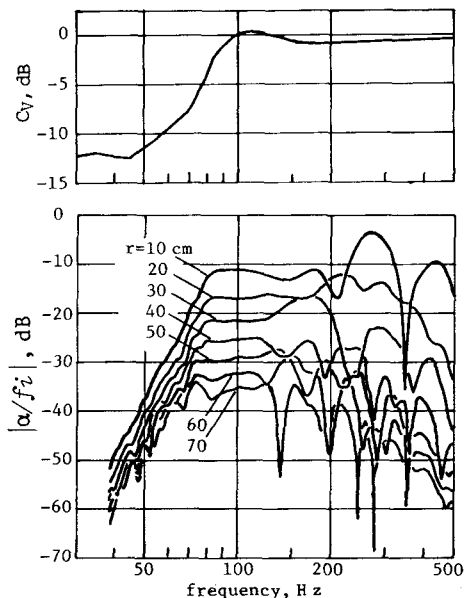


図1 実験方法

図2 C_v と $|\alpha/f_i|$ の周波数特性 ($r_0=2\text{cm}$)

次に、40～160 Hzにおける波動振幅の距離減衰特性を図3に示す。実線は層状モデル、鎖線は層状モデルの表層部とほぼ同じ特性をもつ半無限地盤モデルによる測定結果¹⁾であり、縦軸は a/a_0 を基礎の振動加速度とした $|a/a_0|$ をdB表示している。半無限地盤モデルの場合、 r が1.3波長近辺で振幅極小となり、 r が大略2.5波長以上の領域ではレイリー波の幾何減衰に媒質の内部減衰が重畳した距離減衰傾向を示す¹⁾。一方、層状地盤モデルの場合、周波数によって距離減衰傾向が大きく違っている様子が分る。すなわち40Hzでは、波動振幅は半無限地盤モデルのそれより顕著に小さく、特に振動源近傍の距離に対する減衰傾向は非常に大きい。80Hzの場合逆に、広い領域で実線が鎖線を上回っており、減衰傾向も単調となっている。半無限地盤モデルでレイリー波が形成されとみなせる、 r が概略2.5波長($\approx 35\text{cm}$)以上の領域で両者を比較してみると、実線の距離に対する減衰傾向が強くっており、みかけ上層状地盤モデル媒質の内部減衰が大きくになっているかのようにみえる。120 Hzの場合、実線に変動傾向が認められる他は、80Hzの場合とほぼ同様な指摘がなされる。さらに160 Hzでは、振動源に近い領域で両者は似た傾向を示すが、例えば $r > 20\text{cm}$ の領域では実線にはいくつもの大きなピーク、ノッチが現われ、単純な減衰傾向を示さなくなる。なお、図2からも推測できるように、距離減衰特性にいくつものピーク、ノッチが現われ始める周波数は130 Hz付近からである。

図4は、 $r=40, 45\text{cm}$ の位置に配置した2つのPU間の位相差を加振周波数に対しプロットしたもので、太い実線は測定値、鎖線及び細い実線は各々、レイリー波の基本モード、2次及び3次モードの分散特性から求めた位相及び群速度に対応する位相差の計算値である。130 Hz以下で測定値は概略基本モードの位相速度から得た計算値と合っているが、130 Hz以上では大きく変動し、計算値とは合わない。振動伝搬速度は130 Hz以下ではレイリー波の基本モードの位相速度に概略一致し、それ以上ではみかけ上の波動伝搬速度も大きく変動していると思われる。なお、群速度から得た位相差が極小となる周波数は80 Hz(エアーリー相)であり、前述の地盤の共振周波数とほぼ一致している。

4. あとがき 層剛性比が約13の層状地盤モデルを用い、基礎から放射される定常振動の伝搬特性を調べた。振動の伝達関数、距離減衰特性共に半無限地盤モデルの結果とかなり違った特異な現象が認められたが、得られたいくつかの結果を要約すると以下のようである。

1. 基礎から地盤へ放射される波動の放射効率は周波数依存性があり、顕著に放射効率が高くなる周波数が存在しそれより低い周波数域において効率が低い。

2. 定常振動の変位振幅は振動源からの距離に関係

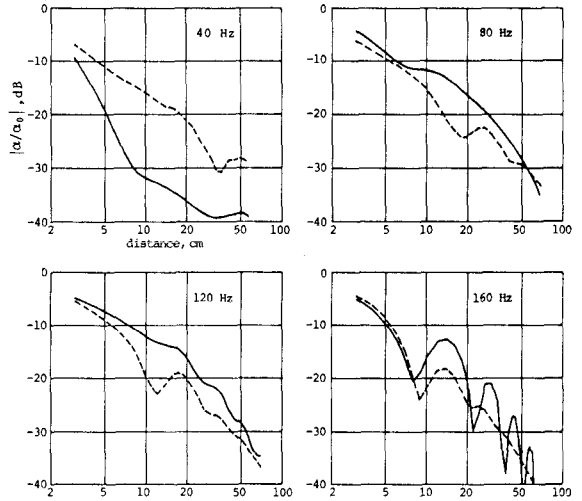


図3 距離減衰特性 ($r_0=2\text{cm}$)

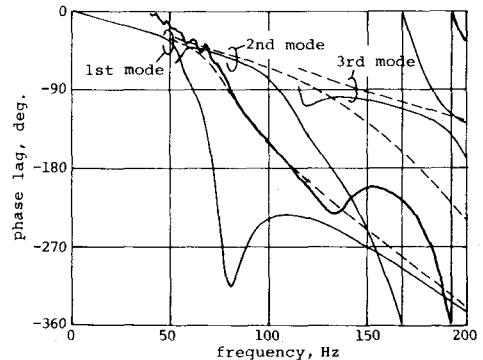


図4 2点間($r=40 \sim 45\text{cm}$)の位相特性

なくほぼエアーリー相付近で最大となる。

3. 距離減衰特性は130 Hz近辺を境に大きな違いがあり、それより低い周波数では比較的単調な、高い周波数ではいくつものピーク、ノッチをもつ減衰傾向を示す。

4. 波動振幅が距離に対し単調な減衰傾向を示す周波数域では、波動はレイリー波の基本モードの位相速度と概略対応した伝搬速度を示し、また、みかけ上表層部の内部減衰が大きくなる。

文献 1)二井;音響学会誌 Vol.39,1983, 2)二井;音響学会誌 Vol.40,1984, 3)二井;第13回関東支部講演概要集,1986, 4)二井;土木学会第40回年講概要集I,1985