

工業技術院機械技術研究所 正員 二井 義則

1. まえがき 機械基礎—地盤系の動的応答を扱う場合、基礎底面下の地盤のコンプライアンスの定量的把握が必要となる。鍛造機械やプレス機械のように、加振力が非常に高い振動数成分までもつような場合、無次元振動数のかなり広い範囲のコンプライアンスが必要である。周知のように、この種の問題に関しては数多くの研究がある。しかし、理論的研究においては、特に矩形状の基礎を対象とする場合、高振動数域までの解析は困難のようである¹⁾。一方、実験的研究においては、コンプライアンスは、例えば基礎の動的応答特性との関連において調べられており²⁾³⁾、直接測定された例はみられない。従来の実験法では、コンプライアンスは間接的に調べられるだけであり、また、高振動数における挙動の把握も困難である。本報告では、シリコンゴム製の半無限体モデルを用い、無次元振動数が10以下の領域において、各種形状、寸法の剛基礎の垂直方向のコンプライアンスを直接測定した結果について述べている。

2. 実験方法 図-1に実験方法を示す。半無限体モデルは市販のRTV型シリコンゴムを改良し、1.7m×1.4m×0.4m(高)の寸法に作製したもので、均質、一様であり、内部減衰をもつ。モデル媒質の諸定数を表-1に示す。 v_R , Q は基礎からモデル中へ放射される定常振動の伝播特性の測定から得ている⁴⁾⁵⁾。 v_R の測定は180 Hz以下で行っているが、この領域内では分散性は認められない。基礎は厚さ1cmのアクリル製であり、半径 $r_0=1, 2, 3, 4$ cmの円形のもの、矩形状のものについては辺長比 c/b (基礎の辺の長ささ $2b, 2c$ とし、 $b \leq c$ とする)が1, 1.5のとき $b=1, 2, 3, 4$ cmと、 c/b が2では $b=1, 2, 3$ cmと、合計15個用意した。加振器は小型の動電型を使用した。実験振動数範囲は50 Hz から最大1 kHzとした。また、モデル境界からの反射波の影響はない事を確認している。なお、基礎とモデル表面は密着性がよく、この部分の境界条件はbondedと考えてよい。

3. 結果と考察 今回、静コンプライアンスは測定していないので、これを以下のように推定した。静コンプライアンスを c_0 とすると、動荷重 $P_0 e^{j\omega t}$ に対する基礎の変位 w_0 は f_1, f_2 を変位関数として、

$$w_0/P_0 = c_0 f_0 e^{j\omega t + j\phi} \quad (1)$$

$$f_0 = \sqrt{f_1^2 + f_2^2}, \quad \phi = \tan^{-1}(f_2/f_1)$$

のように表わせる。円形基礎の場合、すべての測定値を $r_0=1$ cmの場合に換算し、その結果が(2)式のように表わせるものとして、 $a_0 < 1.5$ の領域における測定値に最小二乗法を適用して C_0, C_1, C_2 を求めた。

$$C(a_0) = C_0 - C_1 a_0^2 + C_2 a_0^4 \quad (2)$$

ただし、 $a_0 = r_0 \omega / v_R$ である。一方、矩形基礎の場合には、測定値を辺長比 c/b が1, 1.5及び2のグループに分け、各グループごとに $b=1$ cmの場合に換算した測定値に対し円形基礎の場合と同様に、(2)式中の C_0, C_1, C_2 を求

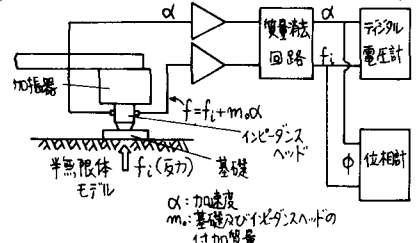


図-1 実験方法

横波速度	v_R	11.3 m/sec.
縦波速度	v_L	10.8 m/sec.
Q値	Q	16
ポアソン比	ν	0.5
単位体積重量	γ	0.98 gr/cm ³

表-1 半無限体モデル媒質の諸定数

c/b	測定値	$4r_0\mu/(1-\nu)$
1	11.2	11.5
1.5	14.1	14.1
2	16.1	16.3

表-2 (単位 kgf/cm)

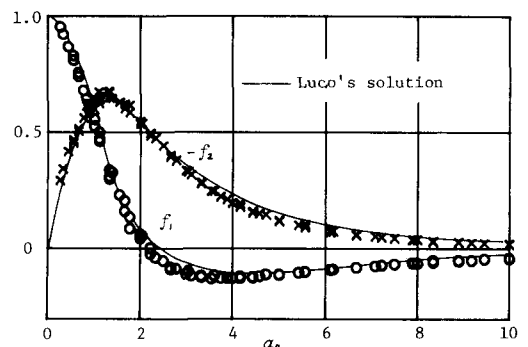


図-2 円形基礎のコンプライアンス

めた。このような方法によって得られた C_0 を静コンプライアンスの測定値とした。円形基礎の場合、静コンプライアンスの理論値と C_0 を比較すると、 $C_0 = (1-\nu)/3.9 r_0 \mu$ (μ :せん断弾性係数)となる。すなわち、測定値と理論値はほぼ一致している。一方、矩形基礎については、静ばね定数の形に整理して各辺長比ごとに同一面積の円形基礎に対する計算値と比較したのが表-2である。両者がよく一致していることが分かる。

次に、各基礎に対する変位関数 f_1, f_2 を調べる。 $C(a_0)/C_0 = f_0$ であるから、 $f_1 = f_0 \cos \phi$, $f_2 = f_0 \sin \phi$ より f_1, f_2 が求まる。図-2は円形基礎に対する f_1, f_2 を a_0 に対し示している。図中にはLucoら⁶⁾による弾性解($\nu=0.5$)が示してある。内部減衰の f_1, f_2 への影響はBycroft⁷⁾によれば、添字 d, e を各々内部減衰あり及びなしとすると、

$$\left. \begin{aligned} f_{1d} &= f_{1e} + \Delta f_1, & f_{2d} &= f_{2e} + \Delta f_2 \\ \Delta f_1 &= \frac{1}{Q} \left\{ f_2 + \frac{a_0}{2} \frac{\partial f_2}{\partial a_0} + \frac{\partial f_2}{\partial \nu} \nu (1-2\nu) \right\} \\ \Delta f_2 &= \frac{1}{Q} \left\{ f_1 + \frac{a_0}{2} \frac{\partial f_1}{\partial a_0} + \frac{\partial f_1}{\partial \nu} \nu (1-2\nu) \right\} \end{aligned} \right\} (3)$$

となる。(3)式中の3項は $\nu=0.5$ なので0とすると、 a_0 の小さい領域では $\Delta f_1 \approx 0$, $\Delta f_2 \approx -1/Q$ となる。すなわち、 a_0 小でのLucoの解と f_2 の測定値の差は媒質の内部減衰によることが分かる。また、 a_0 大では、 $i=1, 2$ として、 $\frac{\partial f_i}{\partial a_0} \approx 0$, $\frac{\partial f_i}{\partial \nu} \approx 0$ であるので $f_{id} \approx f_{ie}$ となり、内部減衰の影響はみかけ上顕著でなくなる。 $a_0 > 2$ におけるLucoらの解と測定値との差は、Lucoらが解析を容易にするために接触面において、いわゆるrelaxedの条件をとっているためと思われる。図-3~図-5は各矩形基礎の f_1, f_2 を示す。但し、 a_0 を

$$a_0 = r_e \omega / v_s \quad (r_e = \sqrt{4bc/\pi}) \quad (4)$$

で定義する。これらの結果を図-2と比較すると、 $c/b=1$ では非常によく一致していることが分かる。 c/b が1.5, 2と大きくなると共に、部分的に差が生じているがそれらは大きなものでなく、実用の範囲で円形基礎の測定値と一致しているとみなせよう。

4. まとめ 内部減衰をもつ均質、一様な半無限体モデルを用い、その表面上に設置した各種形状、寸法の基礎の垂直方向のコンプライアンスを、 a_0 が10以下の領域で測定した。円形基礎の場合、接触面でrelaxedの条件を適用したLucoらの解と測定結果には、 a_0 が大略2以上で差が生じているが、全体的にみてよく対応しているといえよう。一方、矩形基礎の場合、(4)式で定義した a_0 で測定値を整理した結果、辺長比が2以下で同一面積のコンプライアンスと実用の範囲で一致しているといえる。なお、 $a_0 < 4$ における測定結果については、文献4), 5)にすでに記載されたものであることを付記しておく。

文献 1) 北村他, 土木学会論文報告集, 290号, pp43~52, 1979, 2) Richart F.E., et al., J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, pp143~168, 1967, 3) 小堀他, 建築学会論文報告集, 306号, pp17~28, 1981, 4) 二井, 音響学会誌, 39, pp675~682, 1983, 5) 二井, 音響学会誌, 40, pp28~35, 1984, 6) Luco J.E., et al., J. Eng. Mech. Div., ASCE, pp1381~1395, 1971, 7) Bycroft G.N., Phil. Trans. Roy. Soc., A248 pp327~368, 1956

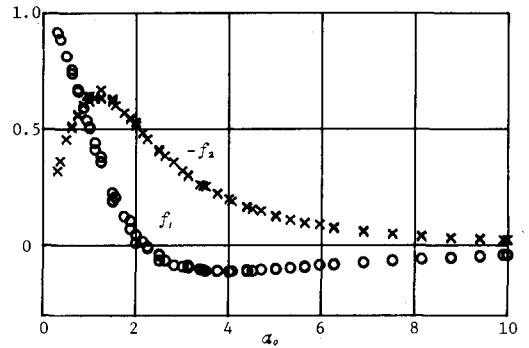


図-3 矩形基礎のコンプライアンス($c/b=1$)

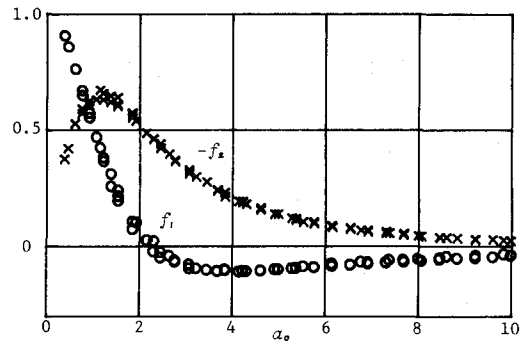


図-4 矩形基礎のコンプライアンス($c/b=1.5$)

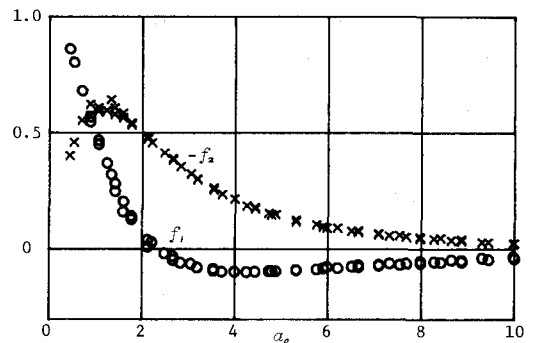


図-5 矩形基礎のコンプライアンス($c/b=2$)