

舞鶴工業高等専門学校 正会員 ○高 谷 富 也
神戸大学 工学部 正会員 北 村 泰 寿

1. まえがき 弾性骨格と圧縮性の液体で構成される多孔質飽和弾性体において、表面に作用する分布加振力に対する動的鉛直コンプライアンスを評価する場合、一般に、分布加振力を弾性骨格と液体が分担して受け持つと考えられるが、予め分担率を設定することは難しい¹⁾。このため、筆者らは、地表面での液体の流出を自由とし、分布加振力はすべて弾性骨格が受け持つものと仮定して、コンプライアンスの評価を行ってきた。本研究は、地表面での液体の流出を自由とする場合において分担率を設定する条件および地表面全域で液体の流出を拘束する条件下²⁾でのコンプライアンスを求め、地表面における境界条件として液体の流出に関する条件および液体の荷重分担率が円形基礎の動的鉛直コンプライアンスに及ぼす影響について調べる。なお、本研究では、分布加振力としては円形面上に作用する等分布鉛直加振力のみを取り扱う。

2. 基礎式 地表面において、液体の流出を自由とする場合(以下、透水性と呼ぶ)と拘束する場合(以下、非透水性と呼ぶ)に対して、円筒座標系(r, θ, z)における弾性骨格の応力(σ_z, τ_{zr})と液体の応力 σ_p に関する表面の境界条件は、フーリエ・ベッセル積分公式を用いてそれぞれ次式ようになる。

$$(\text{透水性}) \quad (\sigma_z)_{z=0} = (1-p)S, \quad (\sigma_p)_{z=0} = pS, \quad (\tau_{zr})_{z=0} = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

$$(\text{非透水性}) \quad (\sigma_z)_{z=0} + (\sigma_p)_{z=0} = S, \quad (\partial \sigma_p / \partial z)_{z=0} = (\tau_{zr})_{z=0} = 0 \quad \cdots \cdots (2)$$

ただし、

$$S = -q_z \alpha \int_0^\infty J_0(\kappa r) J_1(\kappa \alpha) d\kappa$$

また、 p は液体の荷重分担率、 q_z は分布加振力の振幅、 α は円形基礎の半径、 κ は波数、 $J_0()$ 、 $J_1()$ は0次および1次のBessel関数である。

式(1)および(2)に示す境界条件のもとで、半無限多孔質飽和弾性体表面における円形基礎の動的鉛直コンプライアンス J_z は、文献3)と同様に載荷面中央変位を採用すれば、次式のように得られる。

$$(\text{透水性}) \quad J_z^P = \frac{1}{\pi \mu \alpha} \int_0^\infty \frac{\delta_3^2}{F^P(\kappa)} [(1-p)(\beta_1 B_2 - \beta_2 B_1) + p(\beta_1 L_2 - \beta_2 L_1)] J_1(\kappa \alpha) d\kappa \quad \cdots \cdots (3)$$

$$(\text{非透水性}) \quad J_z^I = \frac{1}{\pi \mu \alpha} \int_0^\infty \frac{\delta_3^2}{F^I(\kappa)} \beta_1 \beta_2 (B_2 - B_1) J_1(\kappa \alpha) d\kappa \quad \cdots \cdots (4)$$

ただし、

$$F^P(\kappa) = (\beta_3^2 + \kappa^2)^2 (B_2 - B_1) - 4\kappa^2 \beta_3 (\beta_1 B_2 - \beta_2 B_1) \\ F^I(\kappa) = (\beta_3^2 + \kappa^2) \{ \beta_2 B_2 (B_1 + B_3) - \beta_1 B_1 (B_2 + B_4) - 2\beta_1 \beta_2 (\beta_1 B_2 - \beta_2 B_1) \} \\ + 4\kappa^2 \beta_1 \beta_2 \beta_3 (B_2 - B_1)$$

ここに、 δ_3 、 $\beta_1 \sim \beta_3$ 、 $B_1 \sim B_4$ 、 L_1 、 L_2 の詳細については紙面の都合上文献1)に譲る。

3. 数値計算結果とその考察 本研究では、文献1)と同様に、Halpern⁴⁾の論文で用いられている次の諸弾性定数、密度等の数値に対して、コンプライアンスを計算する。

$$\mu = 98 \text{ MPa}, \quad \lambda = 432 \text{ MPa}, \quad Q = 280 \text{ MPa}, \quad R = 274 \text{ MPa} \\ \nu = 0.3 \quad (\text{ポアソン比}), \quad f = 0.48 \quad (\text{複合体の間隙率}) \\ \rho_s = 2.67 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{弾性骨格の密度}), \quad \rho_f = 1.0 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{液体の密度})$$

なお、 μ 、 λ は多孔質飽和弾性体におけるラーメの定数、 Q は弾性骨格と液体の体積変化の間に起こる相互作用に関する連成係数、 R は液体の圧縮剛性に関係する係数である¹⁾。また、上記の ρ_s 、 ρ_f は素材としての密度であり、弾性骨格と液体の有効密度 ρ_{11} 、 ρ_{22} および質量連成係数 ρ_{12} との関係は次式で表わされる²⁾。

$$\rho_{11} + \rho_{12} = (1 - f) \rho_s, \quad \rho_{12} + \rho_{22} = f \rho_f \quad \dots\dots (5)$$

ここで、 ρ_{12} は仮想の密度で、負の値をとる。この ρ_{12} については、文献3)における種々の検討結果より、 ρ_{12} がコンプライアンスに及ぼす影響は小さいことから、本研究では $\rho_{12}=0$ とする。

次に、液体の粘性による減衰係数（ b ）の代わりに、ダルシー則を用いて次式に示すような無次元化量に書き換えて2)、4)、パラメータとして値を設定する。

$$\frac{b}{\omega \rho_s} = f^2 \frac{\rho_f}{\rho_s} \cdot \frac{1}{\alpha_0 K_0} \quad \dots\dots (6)$$

ここに、 $\alpha_0 = \omega a / Vs$ （無次元加振振動数）、 $K_0 = k Vs / g a$ （無次元透水係数）、 k は透水係数、 g は重力の加速度、 ω は円振動数、 Vs は横波の伝播速度である。本研究では、 K_0 として $10 \sim 10^{-4}$ なる範囲の値を仮定する。なお、 K_0 の値が小さくなることは液体の粘性による減衰が大きくなることを意味する。

図-1は、無次元加振振動数 $\alpha_0 = 0.5 \sim 5.0$ の範囲において、液体の粘性による減衰の違いが鉛直コンプライアンスに及ぼす影響について調べたものである。なお、透水性とする場合の液体の荷重分担率 p は0.00、0.25、0.50の3つとした。この図より、地表面での液体の流出を自由とする透水性の場合においては、無次元透水係数 K_0 が大きくなれば液体の荷重分担率の違いによる影響がコンプライアンスに現れている。しかしながら、 K_0 が小さくなるにつれて荷重分担率によるコンプライアンスへの影響は小さくなり、 $K_0=0.001$ ではその影響はほとんど見られない。一方、地表面での液体の流出を拘束する非透水性の場合のコンプライアンスは、液体の粘性による減衰が大きい $K_0=10.0$ では透水性のコンプライアンスと違った挙動を呈しているが、 K_0 が小さくなるにつれて、非透水性におけるコンプライアンスは透水性のコンプライアンスとほぼ同じ値になることがわかる。これは、透水性において、 K_0 が小さくなるにつれて、骨格と液体の相対運動が小さくなることによるものと考えられたため¹⁾、非透水性においても同様のことによるものと推察される。

4. あとがき 本研究は、地表面での液体の流出を自由とする条件および拘束する条件下で鉛直

コンプライアンスの比較を行い、液体の流出に関する条件および荷重分担率がコンプライアンスに及ぼす影響について調べた。その結果、液体の粘性による減衰が大きくなれば、透水性の場合には荷重分担率による影響は見られず、また透水性および非透水性におけるコンプライアンスはほぼ同じ値になることがわかった。

参考文献 1) 高谷・北村：土木学会論文集、第404号、pp. 297～303、1989。 2) 小堀・立川：日本建築学会論文報告集、第244号、pp. 13～20、1976。 3) 庄・北村：構造工学論文集、Vol. 34 A、pp. 855～864、1988。 4) Halpern, M. R. and Christiano, P.: Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., Vol. 10, pp. 609～632, 1986。

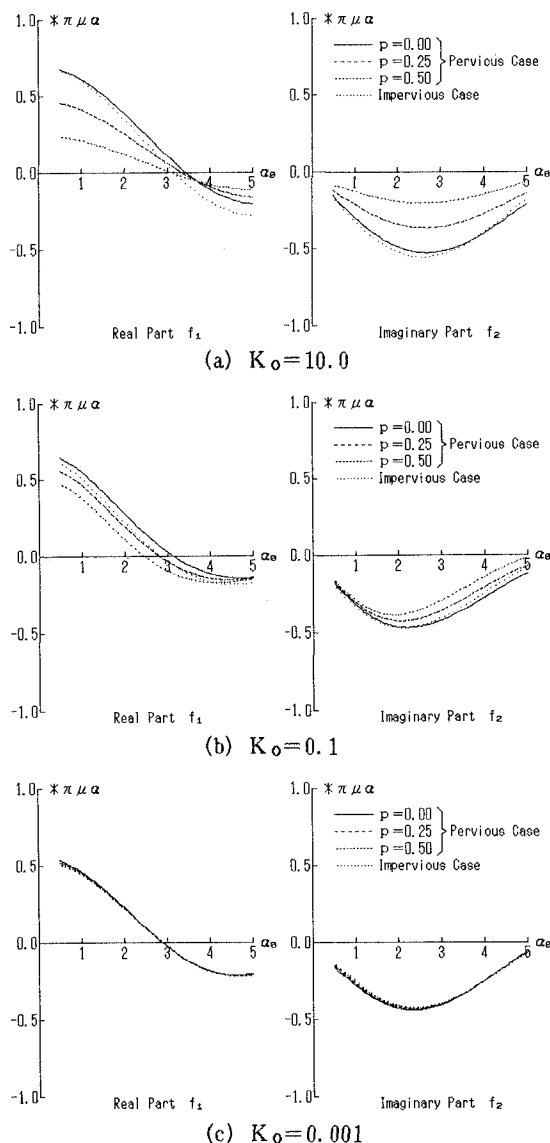


図-1 地表面における境界条件の影響