

剛基盤を有する多孔質飽和弾性体上の 円形基礎の動的鉛直コンプライアンス

DYNAMIC VERTICAL GROUND COMPLIANCE OF CIRCULAR FOUNDATION
ON A FLUID-SATURATED POROELASTIC STRATUM OVER A SEMI-INFINITE RIGID MEDIUM

高谷 富也*

北村 泰寿**

By Tomiya Takatani and Yasutoshi Kitamura

This paper is concerned with the dynamic ground compliance of a circular foundation on a fluid-saturated poroelastic stratum over a semi-infinite rigid medium, using the method based on Biot's theory and the three-dimensional elastic wave propagation theory. In this paper, the dynamic vertical compliance is formulated for the rigid base, uniform, and parabolic shapes of pressure distributions by treating the ground as a solid-fluid composite medium governed by Biot's theory. The effects of the existence of ground water and the thickness of poroelastic layer to the vertical compliance are examined through a numerical investigation.

1. まえがき

臨海地等に設置される基礎構造物の動的解析においては、地盤を土粒子骨格と間隙水の二相系として取り扱う方が合理的である。しかし、このような系の解析は相当煩雑となるため、実務的には通常の弾性体や粘弾性体にモデル化することになろう。このため、地盤中に間隙水が存在することが、構造物-地盤系の動的挙動にいかなる影響を及ぼすか把握しておくことは重要である。

二相系地盤に対する波動理論は、Biotの論文¹⁾に始まるが、加振問題を取り扱った論文はそれほど多くはない。Biotの理論に基づく理論的研究に注目するとき、Halpern²⁾、Philippacopoulos^{3), 4)}らによる表面点加振問題、著者ら⁵⁾による内部点加振問題、小堀ら^{6), 7)}、庄ら⁸⁾による円形基礎のコンプライアンス問題などの論文が挙げられよう。

このような状況において、本研究は、剛基盤上の多孔質飽和弾性体表面のコンプライアンス問題を取り扱ったものである。文献8)では、地盤を半無限媒体としているが、本研究では有限深さに存在する不透水性の剛基盤がコンプライアンスにいかなる影響を及ぼすかに注目する。ところで、地盤を層状にすることによって、定式は半無限媒体の場合よりも格段に煩雑になる。このため、本研究では、層状の多孔質飽和弾性体への拡張の第1歩として、標題のごとく鉛直コンプライアンス問題のみを取り扱ったが、この種の研究がほと

* 学博 舞鶴工業高等専門学校助手 土木工学科 (〒625 京都府舞鶴市字白屋234番地)

** 工博 神戸大学教授 工学部土木工学科 (〒657 神戸市灘区六甲台町1-1)

んど見られない現状では有意義なものとして容認されよう。また、定式に当たっては、著者らが文献5)の定式において利用した伝達マトリックス法に基づく方法⁹⁾を適用する。

2. 基礎式とコンプライアンスの定式

図-1に示す層厚Hの多孔質飽和弾性体は、空隙を有する弾性骨格と空隙を完全に満たす圧縮性の液体で構成されているものとする（以下、複合体と呼ぶ）。本研究では、直交座標系(x, y, z)において、弾性骨格、液体の変位をスカラーおよびベクトル・ポテンシャルを用いて表わし、複合体の応力-ひずみ関係、運動方程式等にx, yに関する二重フーリエ変換を導入する。このとき、下降波および上昇波成分を含む変位・応力の一般解は、文献5)からベクトル・マトリックス表現を用いて次式のように与えられる。

$$\{V\} = [F] [E] \{T\} \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \{V\}^T &= \{\hat{\sigma}, \hat{\nu}\} \\ &= \left\{ \frac{\hat{\sigma}_z}{\mu}, \frac{\hat{\tau}_{xz}}{i\xi\mu}, \frac{\hat{\sigma}_p}{\mu}, \frac{\hat{u}_x}{i\xi}, \hat{u}_z, \hat{U}_z \right\} \\ \{T\}^T &= \{C_1, D_1, C_2, D_2, C_3, D_3\} \\ [F] &= \begin{bmatrix} L_1 & L_1 & L_2 & L_2 & -2\kappa^2\beta_3 & 2\kappa^2\beta_3 \\ -2\beta_1 & 2\beta_1 & -2\beta_2 & 2\beta_2 & \kappa^2 + \beta_3^2 & \kappa^2 + \beta_3^2 \\ -B_1 & -B_1 & -B_2 & -B_2 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -\beta_3 & \beta_3 \\ -\beta_1 & \beta_1 & -\beta_2 & \beta_2 & \kappa^2 & \kappa^2 \\ -\alpha_1\beta_1 & \alpha_1\beta_1 & -\alpha_2\beta_2 & \alpha_2\beta_2 & \gamma\kappa^2 & \gamma\kappa^2 \end{bmatrix} \\ [E] &= \begin{bmatrix} \exp(-\beta_1 z) & & & & & \\ & \exp(\beta_1 z) & & & & \\ & & \exp(-\beta_2 z) & & & \\ & & & \exp(\beta_2 z) & & \\ & & & & \exp(-\beta_3 z) & \\ & & & & & \exp(\beta_3 z) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

ここに、 $\kappa^2 = \xi^2 + \eta^2$ 、 $i = \sqrt{-1}$ 、 λ 、 μ は複合体のラーメの定数、 σ_z 、 τ_{xz} は弾性骨格の応力成分、 σ_p は液体の応力、 u_x 、 u_z は弾性骨格の変位、 U_z は液体の変位、 ξ 、 η はx、yに対応する像空間座標（波数）、 $C_1 \sim C_3$ 、 $D_1 \sim D_3$ は未知係数で、記号 $\hat{}$ はフーリエ変換された像空間での諸量を意味する。また、定式に現れない変位・応力成分は除いた。なお、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 、 β_3 、 γ 、 B_1 、 B_2 、 L_1 、 L_2 の詳細については文献5)に譲る。

次に、図-1において、多孔質飽和弾性層の最上端($z=0$)および最下端($z=H$)での応力・変位ベクトルは、式(1)を用いてそれぞれ次式のように表わされる。

$$\begin{aligned} &\left\{ \frac{\hat{\sigma}_z(0)}{\mu}, \frac{\hat{\tau}_{xz}(0)}{i\xi\mu}, \frac{\hat{\sigma}_p(0)}{\mu}, \frac{\hat{u}_x(0)}{i\xi}, \hat{u}_z(0), \hat{U}_z(0) \right\}^T \\ &= [F] \{C_1, D_1, C_2, D_2, C_3, D_3\}^T \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\left\{ \frac{\hat{\sigma}_z(H)}{\mu}, \frac{\hat{\tau}_{xz}(H)}{i\xi\mu}, \frac{\hat{\sigma}_p(H)}{\mu}, \frac{\hat{u}_x(H)}{i\xi}, \hat{u}_z(H), \hat{U}_z(H) \right\}^T \\ &= [F] [E]_{z=H} \{C_1, D_1, C_2, D_2, C_3, D_3\}^T \end{aligned} \quad (3)$$

式(2)、(3)から、最下端の変位・応力ベクトルと最上端（表面）の変位・応力ベクトルを関係づける式が導かれる。

$$\left\{ \frac{\hat{\sigma}_z(H)}{\mu}, \frac{\hat{\tau}_{xz}(H)}{i\xi\mu}, \frac{\hat{\sigma}_p(H)}{\mu}, \frac{\hat{u}_x(H)}{i\xi}, \hat{u}_z(H), \hat{U}_z(H) \right\}^T \\ = [G] \left\{ \frac{\hat{\sigma}_z(0)}{\mu}, \frac{\hat{\tau}_{xz}(0)}{i\xi\mu}, \frac{\hat{\sigma}_p(0)}{\mu}, \frac{\hat{u}_x(0)}{i\xi}, \hat{u}_z(0), \hat{U}_z(0) \right\}^T \quad (4)$$

ただし、

$$[G] = [F] [E]_{z=H} [F]^{-1}$$

本研究では、剛基盤面と多孔質飽和弾性体が完全に密着している場合を仮定する。したがって、剛基盤面（ $z=H$ ）において変位が零（骨格の水平および鉛直変位 $u_x=u_z=0$ 、液体の鉛直変位 $U_z=0$ ）であるという条件を式(4)に代入して、マトリックスの分解を行うと次式が得られる。

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{41} & g_{42} & g_{43} \\ g_{51} & g_{52} & g_{53} \\ g_{61} & g_{62} & g_{63} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{\sigma}_z(0)/\mu \\ \hat{\tau}_{xz}(0)/i\xi\mu \\ \hat{\sigma}_p(0)/\mu \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} g_{44} & g_{45} & g_{46} \\ g_{54} & g_{55} & g_{56} \\ g_{64} & g_{65} & g_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{u}_x(0)/i\xi \\ \hat{u}_z(0) \\ \hat{U}_z(0) \end{Bmatrix} \quad (5)$$

ここに、 g_{ij} ($i, j=1\sim 6$)はマトリックス $[G]$ の要素を表わす。式(5)に表面（ $z=0$ ）における応力の境界条件を導入すれば、像空間での表面変位は次式のように求められる。

$$\begin{Bmatrix} \hat{u}_x(0)/i\xi \\ \hat{u}_z(0) \\ \hat{U}_z(0) \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} g_{44} & g_{45} & g_{46} \\ g_{54} & g_{55} & g_{56} \\ g_{64} & g_{65} & g_{66} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} g_{41} & g_{42} & g_{43} \\ g_{51} & g_{52} & g_{53} \\ g_{61} & g_{62} & g_{63} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{\sigma}_z(0)/\mu \\ \hat{\tau}_{xz}(0)/i\xi\mu \\ \hat{\sigma}_p(0)/\mu \end{Bmatrix} \quad (6)$$

ところで、鉛直方向の分布加振力が作用する場合、その加振力を弾性骨格と液体が分担して受け持つが、予め分担率を設定することは難しい⁹⁾。したがって、文献8)と同様に、本研究でも分布加振力のすべてを弾性骨格のみで受け持つと仮定する。工学的に重要と考えられる等分布、剛板分布および放物線分布の三種類の円形分布加振力に対するコンプライアンスを求める場合、表面における応力条件は次式のようにまとめられる。

(1)等分布加振の場合

$$\hat{\sigma}_z(0) = -\frac{Q_z}{\pi\kappa\alpha} J_1(\kappa\alpha), \quad \hat{\tau}_{xz}(0) = \hat{\sigma}_p(0) = 0 \quad (7)$$

(2)剛板分布加振の場合

$$\hat{\sigma}_z(0) = -\frac{Q_z}{2\pi} \cdot \frac{\sin(\kappa\alpha)}{\kappa\alpha}, \quad \hat{\tau}_{xz}(0) = \hat{\sigma}_p(0) = 0 \quad (8)$$

(3)放物線分布加振の場合

$$\hat{\sigma}_z(0) = -\frac{4Q_z}{\pi} \cdot \frac{J_2(\kappa\alpha)}{(\kappa\alpha)^2}, \quad \hat{\tau}_{xz}(0) = \hat{\sigma}_p(0) = 0 \quad (9)$$

ここに、 Q_z は加振力の合力、 α は円形基礎の半径、 $J_1(\cdot)$ 、 $J_2(\cdot)$ は1次および2次のBessel関数である。

式(7)～(9)に示す応力条件を式(6)に代入し、マトリックス積を分解した後の変位に二重フーリエ逆変換を施して得られる直交座標系における鉛直変位 $u_z(0)$ を、文献9)、10)に示す変換法によって円筒座標系に変換すれば、剛基盤上の多孔質飽和弾性層表面の円形基礎の鉛直変位 $u_z(0)$ が次のように得られる。

$$u_z^M(0) = \frac{Q_z}{\pi\mu\alpha} \int_0^\infty \frac{\delta_3^2 U(\kappa)}{F(\kappa)} J_0(\kappa r) S_M(\kappa\alpha) d\kappa \quad (M=U, R, P) \quad (10)$$

ただし、

$$U(\kappa) = 4\kappa^2 \beta_1 \beta_2 G R^- + A_1 (\beta_1 B_2 P^- Q^+ R^+ - \beta_2 B_1 P^+ Q^- R^-) \\ + A_2 (\beta_1 B_2 P^- Q^- R^- - \beta_2 B_1 P^+ Q^+ R^+) - A_3 (\beta_1 B_2 P^+ Q^+ R^- - \beta_2 B_1 P^- Q^- R^+) \\ F(\kappa) = (\beta_3^2 + \kappa^2)^2 (B_2 - B_1) (A_1 P^+ Q^+ R^+ + A_2 P^+ Q^- R^- - A_3 P^- Q^+ R^-) \\ - 4\kappa^2 \beta_3 \{ A_1 (\beta_1 B_2 P^- Q^+ R^- - \beta_2 B_1 P^+ Q^- R^-) + A_2 (\beta_1 B_2 P^- Q^- R^+ - \beta_2 B_1 P^+ Q^+ R^+) \\ - A_3 (\beta_1 B_2 P^+ Q^+ R^+ - \beta_2 B_1 P^- Q^- R^+) \} + 8\kappa^2 \beta_1 \beta_2 \beta_3 (T_1 P^+ - T_2 Q^+ - 2\kappa^2 G R^+)$$

$$\begin{aligned}
P^+ &= \exp(-\beta_1 H) + \exp(\beta_1 H), & P^- &= \exp(-\beta_1 H) - \exp(\beta_1 H), & A_1 &= (\alpha_1 - \alpha_2) \beta_1 \beta_2 \beta_3, \\
Q^+ &= \exp(-\beta_2 H) + \exp(\beta_2 H), & Q^- &= \exp(-\beta_2 H) - \exp(\beta_2 H), & A_2 &= \kappa^2 \beta_1 (\gamma - \alpha_1), \\
R^+ &= \exp(-\beta_3 H) + \exp(\beta_3 H), & R^- &= \exp(-\beta_3 H) - \exp(\beta_3 H), & A_3 &= \kappa^2 \beta_2 (\gamma - \alpha_2), \\
T_1 &= (\gamma - \alpha_1) C + (\alpha_1 - \alpha_2) (\beta_3^2 + \kappa^2) B_1, & C &= B_2 L_1 - B_1 L_2, \\
T_2 &= (\gamma - \alpha_2) C + (\alpha_1 - \alpha_2) (\beta_3^2 + \kappa^2) B_2, & G &= (\gamma - \alpha_1) B_2 + (\gamma - \alpha_2) B_1, \\
S_U(\kappa \alpha) &= J_1(\kappa \alpha), & S_R(\kappa \alpha) &= \sin(\kappa \alpha)/2, & S_F(\kappa \alpha) &= 4J_2(\kappa \alpha)/\kappa \alpha
\end{aligned}$$

ここに、 $J_0(\cdot)$ は0次のBessel関数であり、添字Mは加振力の分布型を示し、M=U（等分布）、M=R（剛板分布）、M=P（放物線分布）である。また、 δ_3 の詳細については文献5)に譲る。

ここで、式(10)において層厚が $H \rightarrow \infty$ の状態を考えるため、 $U(\kappa)$ 、 $F(\kappa)$ に含まれる P^+ 、 P^- 、 Q^+ 、 Q^- 等における指数関数 $\exp(-\beta_1 H)$ 、 $\exp(-\beta_2 H)$ 、 $\exp(-\beta_3 H)$ を消去し、 $\exp\{(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)H\}$ を共通因子として繰り出す。この操作によって、式(10)の被積分関数の分母、分子から指数関数を除けば、文献8)に示されている半無限多孔質飽和弾性地盤表面の円形基礎の鉛直変位式と一致することが確かめられる。また、この操作は、式(10)の数値積分に際して積分変数 κ が大きくなるとき、指数関数の発散を避けるために取り入れられている。

次に、本研究では、文献8)と同じように円形基礎の変位として載荷面中央変位 $u_z(0, 0)$ （ $r=0$ ）を採用し、複合体の表面における動的コンプライアンスを次式のように定義する。

$$J_z^M = \frac{u_z^M(0, 0)}{Q_z} \quad (M=U, R, P) \quad (11)$$

等分布、剛板分布、放物線分布加振力に対する鉛直コンプライアンスを一括して示せば次式のようになる。

$$J_z^M = \frac{1}{\pi \mu \alpha} \int_0^\infty \frac{\delta_3^2 U(\kappa)}{F(\kappa)} S_M(\kappa \alpha) d\kappa \quad (M=U, R, P) \quad (12)$$

3. 数値計算結果とその考察

本研究では、文献8)と同様に、Halpern²⁾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。

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

なお、 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、空隙を有する弾性骨格と空隙を満たす液体の有効密度 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⁶⁾。

$$\rho_{11} + \rho_{12} = (1 - f) \rho_s, \quad \rho_{12} + \rho_{22} = f \rho_f \quad (13)$$

ここで、 ρ_{12} は仮定の密度で、負の値をとる。この ρ_{12} について、Halpernら²⁾、小堀ら⁶⁾は、加振解の数値計算に当たって、 ρ_{12} に関する実用的なデータが得られていないことから、 $\rho_{12}=0$ と仮定している。また、文献8)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については減衰係数 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)、6)}、パラメータとして値を設定する。

$$\frac{b}{\omega \rho_s} = f^2 \frac{\rho_f}{\rho_s} \cdot \frac{1}{\alpha_0 K_0} \quad (14)$$

ここに、 $\alpha_0 = \omega \alpha / V_s$ （無次元加振振動数）、 $K_0 = k V_s / g \alpha$ （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、 V_s は横波の伝播速度である。また、無次元透水係数 K_0 については、小

掘らは $5.102 \times 10^0 \sim 10^{-4}$ ($k=100 \sim 0.01 \text{cm/s}$) なる範囲の値を設定している。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。

計算結果は、式(12)を次式に示すように無次元化し、無次元鉛直コンプライアンスとして図示する。なお、本研究では、文献8)の三種類のコンプライアンスに対する比較をふまえて、加振分布型は等分布とした。

$$\bar{J}_z = \pi \mu \alpha J_z \quad (15)$$

なお、鉛直コンプライアンスを求めるに際しては、せん断弾性係数 μ の値を与えているため、本来式(15)の無次元化は意味を持たないが、無次元コンプライアンスとするため、便宜的に式(15)の形式をとったものである。

図-2～5は、各層厚比(H/α)のもとで、液体の粘性による減衰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。図-2～4が剛基盤上の多孔質飽和弾性体に対する結果で、図-5は半無限多孔質飽和弾性体に対するコンプライアンスである。なお、図-5の結果は、式(10)で層厚を $H \rightarrow \infty$ として得られる半無限媒体に対するコンプライアンス式によって計算したものである。また、図-6には、後の比較のため、一例として層厚比が $H/\alpha = 2$ の剛基盤上の粘弾性体に対するコンプライアンスを示しておく。

図-2～4のいずれの図においても、層地盤の共振によってコンプライアンスにピークが発生しており、層厚比 H/α が大きくなれば

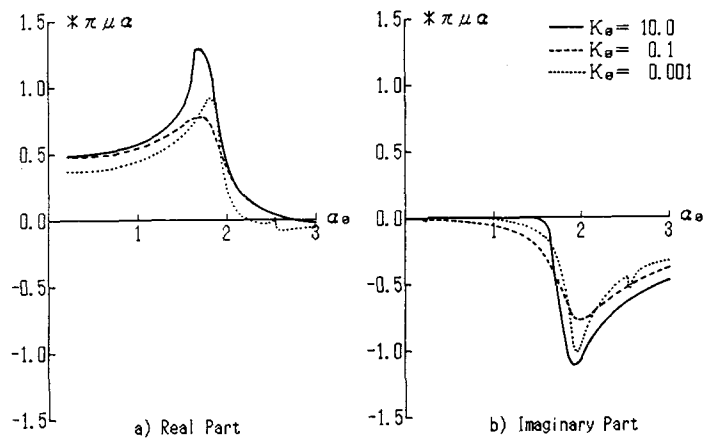


図-2 液体の粘性がコンプライアンスに及ぼす影響 ($H/\alpha = 2$)

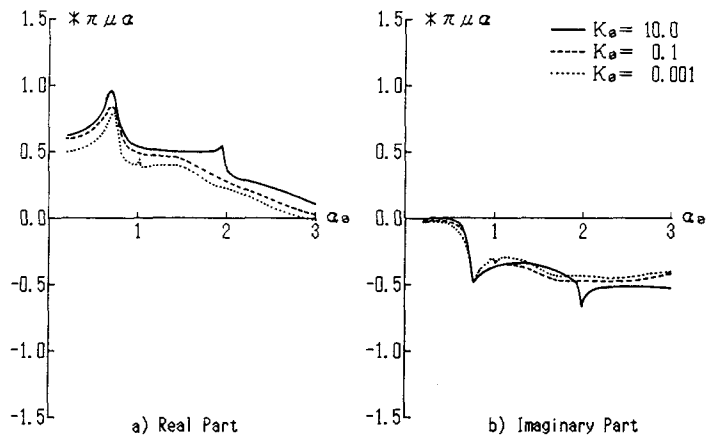


図-3 液体の粘性がコンプライアンスに及ぼす影響 ($H/\alpha = 5$)

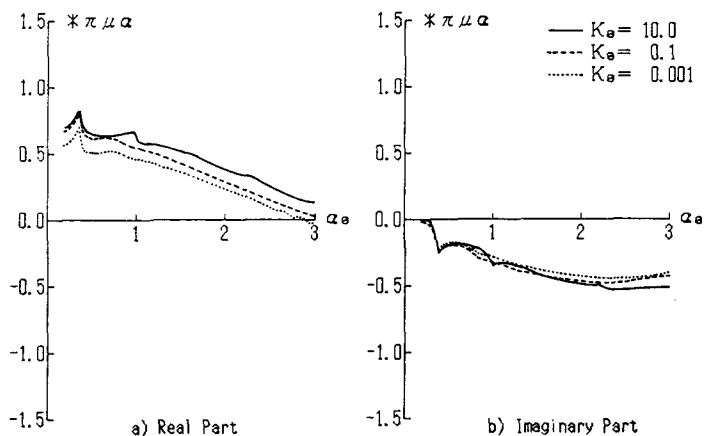


図-4 液体の粘性がコンプライアンスに及ぼす影響 ($H/\alpha = 10$)

ばピークの位置は無次元加振振動数 α_0 の小さい方へ移動している。これは、剛基盤上の通常の弾性体に対する現象と同様である。また、コンプライアンスの虚部において、無次元加振振動数と層厚比の積($\omega H/V_s$)が小さい範囲、すなわち $\omega H/V_s < 3$ 程度の範囲では虚部がきわめて小さな値となっている。これも剛基盤上の通常の弾性体に対する現象(例えば、図-6で粘性定数が $h = 0.0$ の場合の虚部)と同様である。さらに、図-4と図-5を比較するとき、層厚比が $H/\alpha = 10$ のコンプライアンスには多少ピークが見られるものの、 K_0 ならびに α_0 に対するコンプライアンスの変化は半無限媒体のそれとさきわめて近いものになっている。本研究では、直接比較し得る既往の研究成果を有しないが、上記の検討から本研究の計算結果は十分に信頼おけるものと言えよう。

一方、液体の影響として無次元透水係数 K_0 の変化に注目するとき、 K_0 が小さい値になればコンプライアンスは小さくなる傾向を示している。しかし、図-2の層

厚比が $H/\alpha = 2$ の場合にとくに顕著であるが、 $K_0 = 0.001$ に対するピークの位置は他の K_0 のそれと若干ずれており、ピークの大きさも $K_0 = 0.1$ のピークと逆転している。図-6に示す剛基盤上の粘弾性体($H/\alpha = 2$)に対するコンプライアンスでは、粘性定数 h が大きくなるとともに、コンプライアンスの実部のピークは減少し、ピーク振動数もわずかに低い方へ移動している。多孔質飽和弾性体の場合、 K_0 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しているが、粘弾性体における粘性係数とコンプライアンスの関係のように、 K_0 とコンプライアンスの関係は明確ではない。文献5)によれば、内部加振解に対する現象ではあるが、 K_0 の変化は骨格と液体の相対運動に影響を及ぼし、 K_0 が小さくなることによって見掛けの非減衰状態に移行する。これにより、 K_0 とコンプライアンスの対応関係にも K_0 による骨格と液体の相対運動の変化が関わりをもつものと推察される。さらに、液体の鉛直方向運動は層下端で拘束されるため、層厚比の変化のもとで K_0 が骨格と液体の相対運動にいかなる影響を与えるか調べる必要がある。しかし、これらの挙動を調べるには、今回は求めていない内部の骨格と液体の変位が必要となるため、今後の課題としたい。

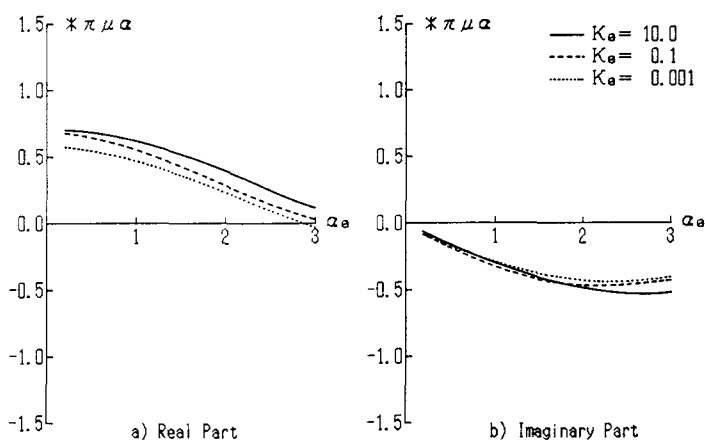


図-5 液体の粘性がコンプライアンスに及ぼす影響 ($H/\alpha = \infty$)

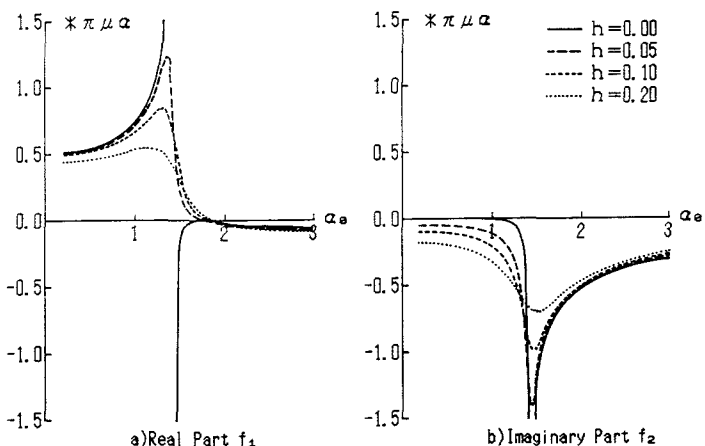


図-6 剛基盤上の粘弾性体に対するコンプライアンス ($H/\alpha = 2$)

4. あとがき

本研究では、剛基盤上の多孔質飽和弾性体表面の円形基礎に対する動的鉛直コンプライアンスの定式を示した。数値計算例として、いくつかの層厚比 (H/α) のもとで、液体の粘性による減衰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、層厚比が小さい場合には、液体の粘性がコンプライアンスに及ぼす影響にはやや特徴的なものが見られた。しかし、層厚比 $H/\alpha = 10$ 程度では、液体の影響は半無限多孔質飽和弾性体の場合と同様の傾向となっている。また、層厚比が大きくなれば、コンプライアンスの共振ピークは振動数の小さい領域へ移動している。これは、剛基盤上の通常の弾性体の場合と同様の現象で、液体の存在によって特別の影響を受ける様子は見られない。これらの知見より、文献8)にも述べられているが、通常考えられる透水係数の変化程度では、層厚が小さい場合を除いて、間隙水が存在しても顕著な影響は現れないと考えられる。

ところで、本研究では、表面の加振力を弾性骨格のみが受け持つとして、載荷面内（表面境界条件）での液体の流出を自由としている。このため、液体の粘性による減衰効果に対する上述の評価は過小評価となっている可能性も残る。言い換えると、載荷面内での液体の流出になんらかの拘束を加えるような表面境界条件を設ければ、液体の粘性による減衰がもう少し影響を持つような形で現れることが予想される。今後、これらの点についても研究の力点を置く必要があろう。

参考文献

- 1) Biot, M.A. : Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid, Journal of Acoustical Society of America, Vol.2, pp.168~178, 1956.
- 2) Halpern, M.R. and Christiano, P. : Responce of Poroelastic Half-Space to Steady-State Harmonic Surface Traction, International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.10, pp.609~632, 1986.
- 3) Philippacopoulos, A. J. : Lamb's Problem for Fluid-Saturated Porous Media, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.78, No.2, pp.908~923, 1988.
- 4) Philippacopoulos, A. J. : Waves in Partially Saturated Medium due to Surface Loads, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.114, EM10, pp.1740~1759, 1988.
- 5) 高谷富也・北村泰寿：半無限多孔質飽和弾性体内部の鉛直点加振力による変位解、土木学会論文集、第404号、pp.297~303、1989.
- 6) 小堀鐸二・立川 剛：飽和砂質地盤への複合体理論の定式化について、日本建築学会論文報告集、第220号、pp.47~53、1974.
- 7) 小堀鐸二・立川 剛：飽和砂質地盤の動力特性について（1）、日本建築学会論文報告集、第244号、pp.13~20、1976.
- 8) 庄 健介・北村泰寿：半無限多孔質飽和弾性体上の円形基礎の動的コンプライアンス、構造工学論文集、Vol.34 A、pp.855~864、1988.
- 9) 高谷富也・北村泰寿・桜井春輔：半無限弾性体の定常動的問題に対する基本解とその一考察、土木学会論文集、第350号、pp.363~366、1984.
- 10) 野邑雄吉：技術者のための特殊関数とその応用、日刊工業新聞社、pp.308~309、1962.

(1989年10月2日受付)