

CS2-5〔I〕

半無限多孔質飽和弾性体内部の鉛直等分布加振力による変位・応力解

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 地下水位の高い地盤や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。このため、本研究は、地盤をBiotの理論<sup>1)</sup>に基づいて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から構成される多孔質飽和弾性体と仮定し、半無限多孔質飽和弾性体内部における鉛直等分布加振力による弾性骨格および液体の変位・応力解の誘導を行ったものである。なお、分布加振力をすべて弾性骨格が受け持つものとしている。数値計算例として、鉛直等分布加振力による分布加振力周辺の弾性骨格のせん断応力分布の周波数応答を求めた。

2. 等分布円形加振力による変位・応力解 図-1に示すような半無限多孔質飽和弾性地盤内部の円形面上に作用する鉛直等分布加振力による変位および応力解はBiotの理論<sup>1)</sup>に基づいた応力-ひずみ関係および運動方程式より、弾性骨格の水平変位 $u_r$ 、鉛直変位 $u_z$ 、液体の鉛直変位 $U_z$ 、骨格の鉛直応力 $\sigma_z$ 、せん断応力 $\tau_{zr}$ 、および液体の応力 $\sigma_p$ は次式のように求められる<sup>2)</sup>。

$$u_r = \frac{Q_z}{2\pi\mu r_0} \int_0^\infty \frac{U_1(\kappa)}{\Theta F(\kappa)} J_1(\kappa r_0) J_1(\kappa r) d\kappa \quad \dots\dots(1)$$

$$u_z = -\frac{Q_z}{2\pi\mu r_0} \int_0^\infty \frac{V_1(\kappa)}{\beta_3 \Theta F(\kappa)} J_1(\kappa r_0) J_0(\kappa r) d\kappa \quad \dots\dots(2)$$

$$U_z = -\frac{Q_z}{2\pi\mu r_0} \int_0^\infty \frac{W_1(\kappa)}{\beta_3 \Theta F(\kappa)} J_1(\kappa r_0) J_0(\kappa r) d\kappa \quad \dots\dots(3)$$

$$\sigma_z = -\frac{Q_z}{2\pi r_0} \int_0^\infty \frac{Z_1(\kappa)}{\Theta F(\kappa)} J_1(\kappa r_0) J_0(\kappa r) d\kappa \quad \dots\dots(4)$$

$$\tau_{zr} = -\frac{Q_z}{2\pi r_0} \int_0^\infty \frac{\kappa T_1(\kappa)}{\beta_3 \Theta F(\kappa)} J_1(\kappa r_0) J_1(\kappa r) d\kappa \quad \dots\dots(5)$$

$$\sigma_p = \frac{Q_z}{2\pi r_0} \int_0^\infty \frac{\kappa P_1(\kappa)}{\Theta F(\kappa)} J_1(\kappa r_0) J_0(\kappa r) d\kappa \quad \dots\dots(6)$$

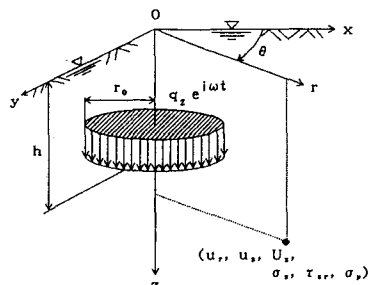


図-1 鉛直等分布加振力

ここに、 $Q_z$ は加振力の合力(=  $\pi r_0^2 q_z$ )、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 、 $\kappa$ は波数、 $J_0(\cdot)$ 、 $J_1(\cdot)$ はそれぞれ0次および1次のBessel関数である。なお、上式中の $\beta_3$ 、 $\Theta$ 、 $U_1(\kappa)$ 、 $V_1(\kappa)$ 、 $W_1(\kappa)$ 、 $Z_1(\kappa)$ 、 $T_1(\kappa)$ 、 $P_1(\kappa)$ 、 $F(\kappa)$ の詳細については紙面の都合上文献2)に譲る。

3. 数値計算とその考察 本研究では、多孔質飽和弾性体の諸弾性定数および密度等の数値は、文献3)と同様に、次に示すHalpern<sup>3)</sup>の論文の値を用いた。

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

なお、 $Q$ は弾性骨格と液体の体積変化の間にかか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<sup>1)</sup>。また、上記の $\rho_s$ 、 $\rho_f$ 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 $\rho_{11}$ 、 $\rho_{22}$ および質量連成係数 $\rho_{12}$ との関係は次式で表わされる。

$$\rho_{11} + \rho_{12} = (1-f)\rho_s, \quad \rho_{12} + \rho_{22} = f\rho_f \quad \dots\dots(7)$$

ここで、 $\rho_{12}$  は仮想の密度で、負の値をとる。この $\rho_{12}$  に関しては、著者らの行った内部点加振問題<sup>4)</sup> や円形基礎のコンプライアンス問題<sup>5)</sup> に関する検討結果より、本研究では $\rho_{12}=0$  とする。また、本研究では、無次元透水係数として $K_0=kV_s/g r_0$  ( $k$ : 透水係数、 $g$  は重力加速度、 $V_s$  は横波の伝播速度) を導入し、 $K_0=10\sim 10^{-4}$  なる範囲の値を仮定する。なお、 $K_0$  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。

数値計算の一例として、図-2 は無次元透水係数 $K_0=0.1$  について、無次元深さ $h/r_0=5$  の等分布加振力による分布加振力周辺における弾性骨格のせん断応力分布 ( $z/r_0=0\sim 10$ 、 $x/r_0=0\sim 8$  の範囲) を無次元加振振動数 $\omega r_0/V_s=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$  について示したものである。この図より、分布加振力の端部におけるせん断応力が大きな値を示している。また、無次元加振振動数が大きくなるにつれて、減衰に関係する虚部の変動が著しくなっていることがわかる。

**4. あとがき** 本研究は、半無限多孔質飽和弾性体内部における鉛直等分布加振力による弾性骨格および液体の変位・応力解の誘導を行い、数値計算例として、分布加振力周辺の弾性骨格のせん断応力分布の周波数応答を求めた。なお、本研究では、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と仮定して、地盤内の変位および応力分布を求めている。したがって、分布加振力が作用する載荷面内での液体の流出に何らかの拘束を加えるような拘束条件を設ければ、液体の粘性による減衰がもう少し違った形で分布加振力の周辺地盤内における変位および応力分布に影響を持つことが予想される。

**参考文献**

1) Biot, M.A.: Journal of Acoustical Society of America, Vol. 2, pp.168~178, 1956. 2) 高谷富也: 舞鶴工業高等専門学校紀要、第27号、pp.54~67、1992. 3) Halpern, M.R. and Christiano, P.: International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.10, pp.606~632, 1986. 4) 高谷富也・北村泰寿: 土木学会論文集、第404号、pp.297~303、1989. 5) 高谷富也・北村泰寿: 構造工学論文集、Vol.36 A、pp.1~7、1990.

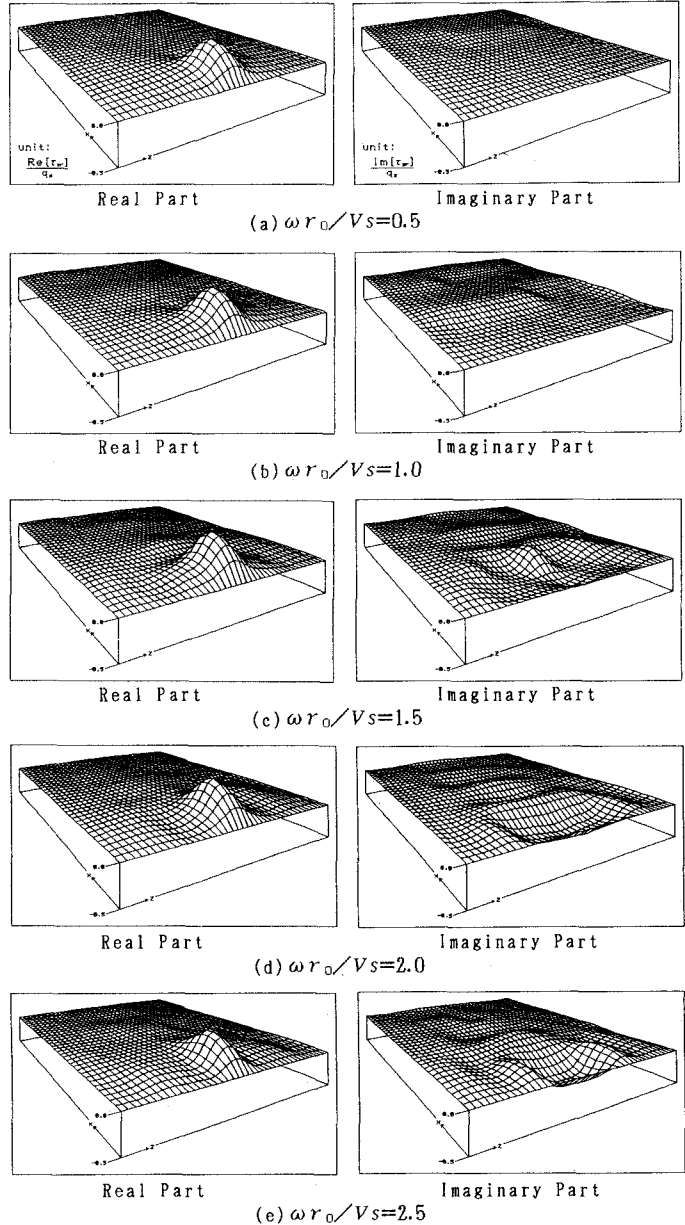


図-2 せん断応力分布 ( $K_0=0.1, h/r_0=5$ )