

神戸大学 正口北村泰泰 正 桜井春輔 学 山本 克

1. まえがき

本研究は、道路や空港滑走路などの路盤工事に於ける地盤の締固め効果の判定に地盤の鉛直複素剛性を取り入れるための基礎的研究である。本研究では、地盤を路盤・路床系としてとらえるとき、正統的には有限厚さの路盤の下に半無限層となる路床が存在する、いわゆる二層弾性地盤として取り扱えるものと仮定し、加振振動数、路盤厚および地盤の層剛性比等が複素剛性に及ぼす影響について報告する。

2. 基礎式

いま、図-1に示すように、上層(路盤)の層厚が h 、下層(路床)が半無限層となる二層弾性地盤の表面に質量を持たない半径 r_0 の剛円盤が存在する場合を考える。なお、この二層地盤の層境界で変位と応力は連続とし、剛円盤と地表面の間に摩擦力は働かないものと仮定する。このとき、剛円盤に対する鉛直複素剛性 K_V は、半無限弾性体の場合について Robertson¹⁾ が示した定式を二層弾性地盤に拡張して、次式のように得られる。

$$K_V = \frac{4\mu_1}{1-\nu_1} \int_0^{r_0} \theta(\tau) d\tau \quad (1)$$

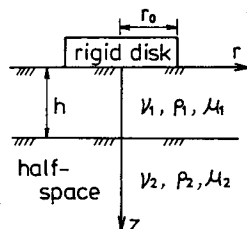


図-1 解析モデル

ここで、本研究において、 ν , ρ , μ はそれぞれポアソン比、密度、せん断弾性係数で、添字 1, 2 は図-1に示すように上層および下層に対する物理定数であることを意味する。また、式(1)の未知関数 $\theta(\tau)$ は次に示す第2種 Fredholm 型積分方程式の解である。

$$\theta(x) + \int_0^{r_0} K(x, \tau) \theta(\tau) d\tau = 1 \quad (0 \leq x \leq r_0) \quad (2) \quad K(x, \tau) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty H(\kappa) \cos(\kappa x) \cos(\kappa \tau) d\kappa \quad (3)$$

ただし、 $(1-\nu_1)H(\kappa) = -\{\kappa(\alpha_1 W(\kappa)/F(\kappa) + (1-\nu_1))\}$ で、 α_1 , $W(\kappa)$, $F(\kappa)$ の詳細については文献2)に譲る。なお、上記の定式は、式表示が若干異なるが、Lucio³⁾によっても得られている。

3. 計算方法

式(3)の被積分関数において、被積分関数の分母 $F(\kappa)$ は地盤の層剛性比 μ_2/μ_1 および無次元振動数 $\omega r_0/\nu_{s1}$ (ω : 円振動数, r_0 : 上層厚, ν_{s1} : 上層の横波速度)の値いかんによって複素関数の実根を持つ。一般に、下層のせん断弾性係数が上層のせん断弾性係数よりも大きい地盤、すなわち $\mu_2/\mu_1 > 1$ なる地盤では表面波は分散性を示すことが知られており、このようなケースに対する鉛直複素剛性の計算例は文献3)にも示されている。一方、本研究のように、路盤・路床系の二層地盤を想定する場合、 $\mu_2/\mu_1 < 1$ となるため、式(3)の被積分関数の分母 $F(\kappa)$ は必ずしも根を持たない。しかし、式(3)の被積分関数は鋭いピークの極大、極小を有する場合があるため、数値積分に際しては積分ミスを十分に配慮が必要である。なお、式(1), (2)の数値積分には Gauss の求積法を、また式(3)の積分には不等間隔 Simpson 法を用いる。

4. 計算結果

数値計算に際しては、地盤の各物理定数の内、密度とポアソン比を $\rho_1 = \rho_2$, $\nu_1 = \nu_2 = 1/3$ と仮定し、計算結果は複素剛性 K_V の実部、虚部の値を用いて図示する。

(1) 加振振動数の影響 図-2は、路盤厚 h/r_0 をパラメータとして、加振振動数 $\Omega_0 (= \omega r_0/\nu_{s1})$ による複素剛性の変化を示したものである。なお、同図において、 $h/r_0 = \infty$ は半無限弾性地盤($\mu_2/\mu_1 = 1$)に対する結果である。二層地盤の複素剛性は半無限地盤の複素剛性の回りに変動しており、 $h/r_0 = 3$ のときの複素剛性は Ω_0 が大き

くるとともに半無限地盤の複素剛性に近づく傾向を示している。 α_0 が大きくなれば、路盤厚が波長に比べて相対的に大きくなることによるものと考えられる。したがって、路盤厚が大きくなるとともに、加振振動数の範囲に注意しなければ二層地盤と半無限地盤の複素剛性に顕著な差異が見い出せなくなる。

(2) 路盤厚の影響 図-3に、 α_0 をパラメータとして、 h/r_0 による複素剛性の変化を示す。同図の横軸の $h/r_0 = \infty$ に相当する値は半無限地盤の複素剛性である。前述のように、 h/r_0 が大きくなるに従って半無限地盤の複素剛性に近づくことがわかる。また、 α_0 の増加とともに、複素剛性の実部が極大を示す h/r_0 の値は小さく移動している。この極大を示す h/r_0 の値、すなわち路盤厚は上層の硬さの半波長に一致している。

(3) 層剛性比の影響 図-4は、 α_0 をパラメータとして、 μ_2/μ_1 による複素剛性の変化を示したものである。なお、同図において、 $\alpha_0 = 0$ に対する結果は静的剛性である。同図より、本研究で示した $\mu_2/\mu_1 = 0.05 \sim$

1.0の範囲では、 α_0 の値によっては複素剛性は μ_2/μ_1 に対してほとんど変化を示さないケースがみられる。これより、 h/r_0 を一定として、地盤の締固め状態を μ_2/μ_1 の変化としてとらえるとき、加振振動数(α_0)が重要な要素である。言い換えると、加振振動数の選定と誤ると地盤の締固め効果の判定ができなくなる。

5. あとがき

本研究では、路盤・路床系を二層構造の地盤として単純化した。さらに三層以上の多層構造の地盤として解析することも必要であろう。また、本研究では複素剛性のみを扱ったが、実際に加振実験を行う場合には剛円盤の質量効果も関係するため、これらの点についても検討を加えたいと考えている。

文献 1) Robertson, I.A.: Proc. Camb. Phil. Soc., Vol. 62, pp. 547~553, 1966. 2) 北村他: 建設工学研究所報告, 第22号, pp. 145~166, 1980. 3) Lugo, J.E.: Nucl. Eng. Des., Vol. 31, pp. 204~217, 1974.

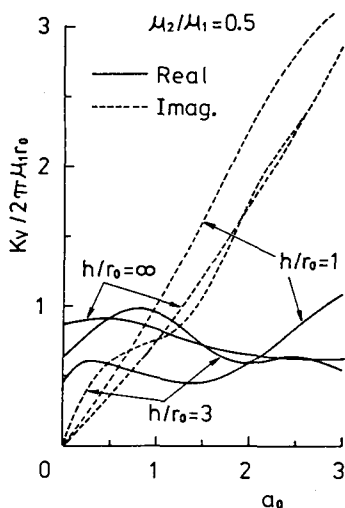


図-2 加振振動数による複素剛性の変化

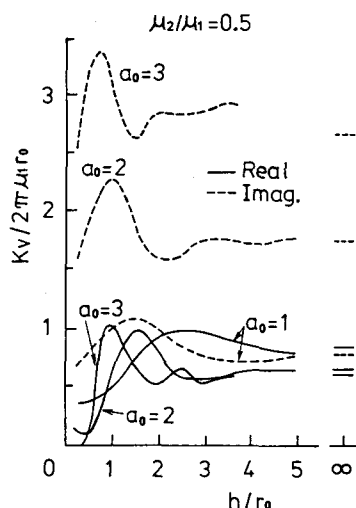
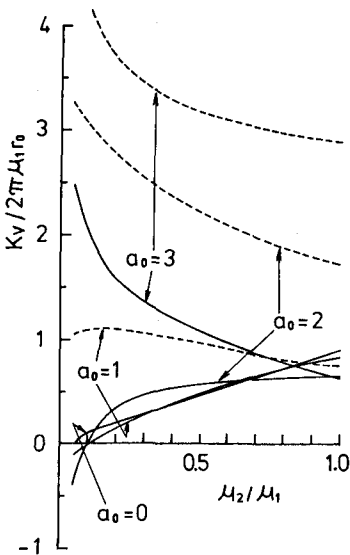
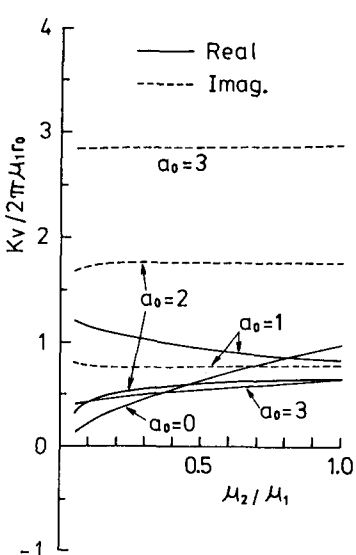


図-3 路盤厚による複素剛性の変化



a) $h/r_0 = 1$



b) $h/r_0 = 3$

図-4 層剛性比による複素剛性の変化