

二層地盤における複素 Rayleigh 波モードの性質の検討

東京理科大学 理工学研究科 学生会員 佐藤晋一郎
理工学部 正会員 東平 光生

1. はじめに

地震動を実体波や表面波に分離して議論をすすめる場合、震源近傍では複素 Rayleigh 波¹⁾の存在が無視できないと考えらる。そこで本論文では、Rayleigh 波の特性方程式を導き出し複素平面上での特異点のふるまいに考察した。特に特異点の周期性について調べた。

2. 二層地盤の特性方程式

ここでは、Fig.1 に示す波数領域における二層地盤の特性方程式に付いて考える。Fig.1 のよう振動数、波速、ポテンシャルをおくと表面層でのポテンシャルは

$$\begin{aligned}\phi_1 &= A \exp[ikx + ir_1 z] + B \exp[ikx - ir_1 z] & r_1 &= \sqrt{k^2 - k_{\alpha 1}^2} & k_{\alpha 1} &= \omega / c_{p1} \\ \phi_1 &= C \exp[ikx + is_1 z] + D \exp[ikx - is_1 z] & s_1 &= \sqrt{k^2 - k_{\beta 1}^2} & k_{\beta 1} &= \omega / c_{s1}\end{aligned}$$

半無限層では

$$\begin{aligned}\phi_2 &= E \exp[ikx - ir_2 z] & r_2 &= \sqrt{k^2 - k_{\alpha 2}^2} & k_{\alpha 2} &= \omega / c_{p2} \\ \phi_2 &= F \exp[ikx - is_2 z] & s_2 &= \sqrt{k^2 - k_{\beta 2}^2} & k_{\beta 2} &= \omega / c_{s2}\end{aligned}$$

となる。表面層、半無限層のおののにおいて変位と応力を求め、特性方程式を求める条件を代入する。特性方程式を求める条件は

1. $z=0$ において変位は連続
2. 不連続面での応力の連続の条件
3. 表面が自由であるための条件

の3つである。以上の条件より特性方程式は次のマトリックス表示で表わされる。

$$\begin{bmatrix} k & k & -s_1 & s_1 & -k & is_2 \\ r_1 & -r_1 & k & k & -ir_2 & -k \\ E_1 & E_1 & -2ks_1 & 2ks_1 & -\frac{\mu_2}{\mu_1} E_2 & \frac{\mu_2}{\mu_1} 2iks_2 \\ -2kr_1 & 2kr_1 & -E_1 & -E_1 & \frac{\mu_2}{\mu_1} 2ikr & \frac{\mu_2}{\mu_1} E_2 \\ E_1 \exp[-ir_1 H] & E_1 \exp[ir_1 H] & -2ks_1 \exp[-is_1 H] & 2ks_1 \exp[is_1 H] & 0 & 0 \\ -2kr_1 \exp[-ir_1 H] & 2kr_1 \exp[ir_1 H] & -E_1 \exp[-is_1 H] & -E_1 \exp[is_1 H] & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \end{bmatrix} = 0 \quad \begin{aligned} E_1 &= 2k^2 - \frac{\omega^2}{c_{s1}^2} \\ E_2 &= 2k^2 - \frac{\omega^2}{c_{s2}^2} \end{aligned}$$

ただし、 k は波数である。上記の式を展開して実数および複素領域での特異点をはさみうち法により求める。そして、1Hz の時、特異点の一点を等高線図においてあらわしたのが Fig.2 である。

次に極の周期性を考察するため波線パラメータ理論を用いて特性方程式を近似する。 $k=\omega p$ とおく。この時、 p は波線パラメータである。 $k=\omega p$ を s_1, r_1, s_2, r_2 に代入し、 k が大きいとき $r_1 = \sqrt{k^2 - k_{\alpha 1}^2} \approx \omega p$ などと近似する。これを特性方程式に代入し、同様に特異点を求める。

3. 複素 Rayleigh 波モードの性質

Fig.1 の解析モデルに従い加振振動数を 1Hz ~ 4Hz まで変化させて、permissible sheet 上の複素 Rayleigh 極と

キーワード 成層弾性体、Green 関数、複素 Rayleigh 波

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2718 TEL04-7124-1501

正規モードの極の位置関係を第1象限について示したのがFig.3, Fig.4である。これにより、極は実軸上および、虚軸に極めて近い場所に現れていることが見て取れる。また、波線パラメータにおいて $r_1 = \sqrt{k^2 - k_{a1}^2} \approx \omega p$ と近似して同様に加振振動数を 1Hz ~ 4Hz まで変化させたのが Fig.5, Fig.6 である。これらのグラフより近似前の特異点と比較すると虚軸方向の距離がすべての周波数領域において π/ω 周期になっていることがわかる。

4. おわりに

本論文において振動数の変化による複素 Rayleigh 極の分布と波線パラメータで近似した場合の極との比較を行った。波線パラメータでの近似により極の周期性が見て取ることができた。

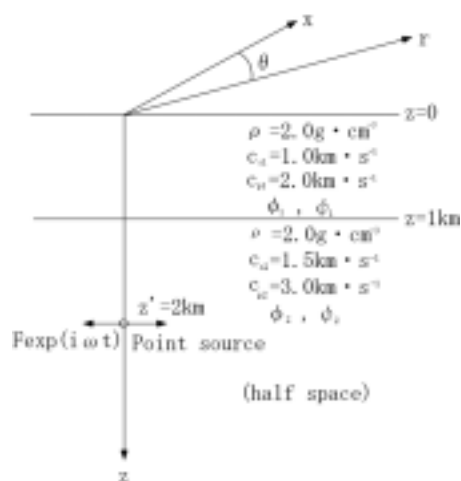


Fig.1 Analyzed model of two Layered elastic medium

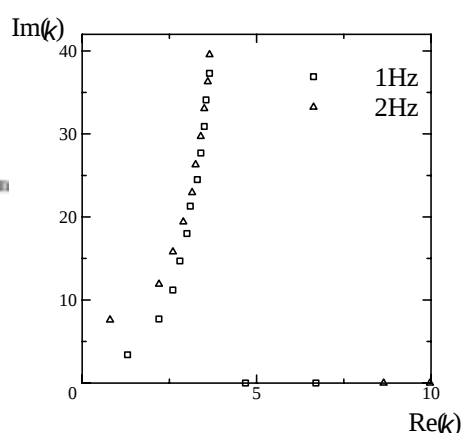


Fig.2 Location of poles for the complex and normal modes

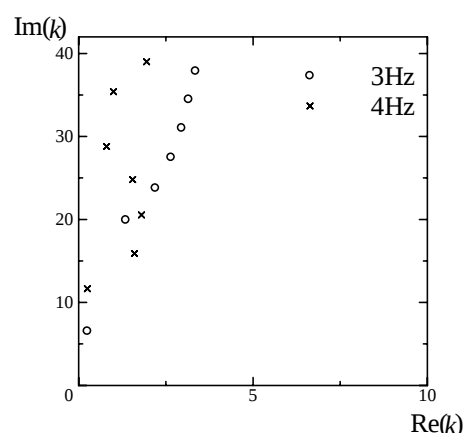


Fig.3 Location of poles for the complex and normal modes

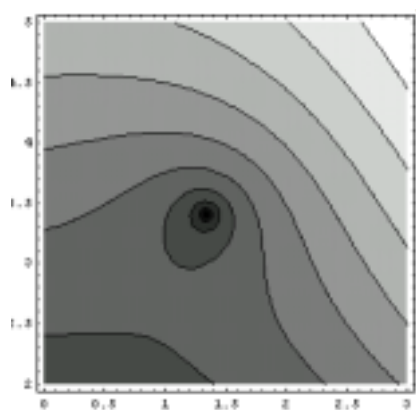


Fig.2 Example of poles of contour line

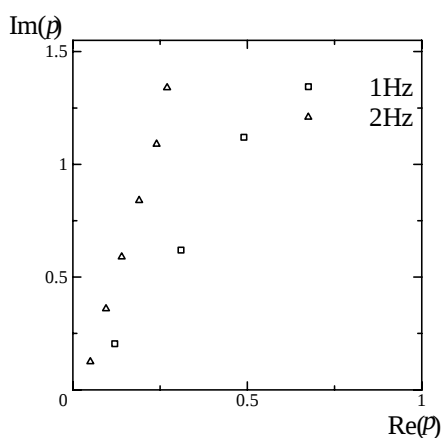


Fig.5 Location of approximated poles for the complex modes

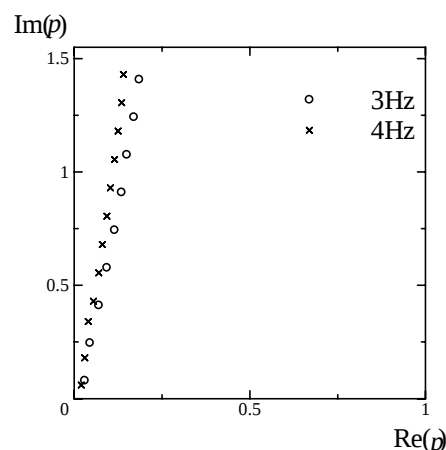


Fig.6 Location of approximated poles for the complex modes

参考文献

- 1) T.Touhei Complete eigenfunction expansion from of Green's function of elastic layered half-space, Archive of Applied Mech. Vol.72, pp13-38, 2002