

日立造船(株) 正会員 祐保芳樹

岡山大学 正会員 竹宮宏和

1. まえがき

本論文は、地盤-構造物系に地震波が入射した場合における、地盤と構造物の動的相互作用現象を、波動の散乱現象に着目して捉えることを目的としている。Fig.1に示す地盤-構造物系に入射する波動として、表面波であるレーリ波及び実体波のSV波を想定した。解析に際して、基礎幅2Bに対する波長 λ の変化に伴う、波動散乱現象の変化に注目している。また後者のSV波入射の場合には、伝播する波動場が、表面のみならず地盤内部にも及ぶため、入射角 θ と入射臨界面角 θ_{cr} の大小関係における散乱現象の変化にも言及する。解析手法として時間領域境界要素法間接法を用いた。

2. 定式化

解析対象として、Fig.1に示す半無限地盤上に設置された、無質量剛体基礎構造物を考える。地盤内の波動伝播は、P波速度 C_p 、S波速度 C_s 、レーリ波速度 C_R で特徴付けられる。入射波動であるレーリ波、およびSV波は次の形で与えられる。

(1) Rayleigh波

$$u_j^R(t) = \int_0^t U_j^R(t-\tau)R(\tau) d\tau, (j=x, z) \quad (1.a)$$

ここに、

$$\begin{Bmatrix} U_x^R(t) \\ U_z^R(t) \end{Bmatrix} = -\frac{C_R^2/C_s^2}{4\pi\mu K(C_R)} \begin{Bmatrix} (2-C_R^2/C_s^2) \frac{\epsilon t}{\tau^2+\epsilon^2} \\ 2\sqrt{1-C_R^2/C_p^2} \frac{\epsilon^2}{\tau^2+\epsilon^2} \end{Bmatrix}$$

$$\tau = t - x/C_R$$

(2) SV波

$$\begin{Bmatrix} u_x^f(\tau) \\ u_z^f(\tau) \end{Bmatrix} = u_{sv}^f \begin{Bmatrix} \sin \theta \\ \cos \theta \end{Bmatrix} R\left(\pi \frac{\tau - \tau_s}{T_0}\right) \quad (1.b)$$

$$R\left(\pi \frac{\tau - \tau_s}{T_0}\right) = \left\{ 2\left(\pi \frac{\tau - \tau_s}{T_0}\right)^2 - 1 \right\} \exp\left\{ -\left(\pi \frac{\tau - \tau_s}{T_0}\right)^2 \right\}$$

$$\tau = t - x/C_s$$

$$K(C_R) = C_R \left\{ \frac{1}{C_s^2} (2-C_R^2/C_s^2) \frac{1}{\alpha^2 \sqrt{1-C_R^2/C_p^2}} - \frac{1}{C_s^2 \sqrt{1-C_R^2/C_s^2}} \right\}$$

T_0 は波動周期であり、波長 λ は、伝播速度を用いてRayleigh波については $\lambda_R = C_R T_0$ 、SV波については $\lambda_s = C_s T_0$ で与えられる。(1.a)における微小量 ϵ は、衝撃の振動数成分に関する係数であり、帯状載荷幅2Wに対して $\epsilon = 2W/C_R$ で与えられる。式(1.a)、(1.b)の入射波変位の下で、地盤-構造物系の時間領域BEMによる支配方程式を得る。

$$\beta^T H^0 F^0 \beta \begin{Bmatrix} u_s \\ \Delta \end{Bmatrix}^{(m)} = \beta^T H^0 [F^0]^{-1} \left(\begin{Bmatrix} u_s^f \\ u_z^f \end{Bmatrix}^{(m)} + \sum_{j=1}^m F^{(j)} f^{(m-j)} \right) - \beta^T \sum_{j=1}^m H^{(j)} f^{(m-j)} \quad (2)$$

式(2)において、 j は、時間ステップ、 F^j, H^j は、変位応力のグリーン関数から得られる境界要素マトリックス、 $f^{(m,j)}$ は各境界要素への作用力である。添字 s, c はそれぞれ地表面剛体と表面のインターフェイスをあらわしており、剛体縮合マトリックス β を用いて剛体接触面上の変位及び表面力は縮合される。

3. 数値解析例と考察

SV波が、入射角 45° で入射した場合の地盤-基礎系の応答をFig.2に示す。パラメータ $2B/\lambda$ の変化に伴い動的相互作用現象の変化が明確に示されている。 $2B/\lambda=1/2$ の時は、キネマチックな相互作用現象はほとんど生じず、基礎応答は自然地盤応答の様相を呈することがわかる。 $2B/\lambda=2$ の時は、キネマチックな相互作用現象が顕著に現われ、基礎応答は自然地盤応答がその自由度において平均化されている。基礎による波動散乱現象では、P波及びRayleigh波が誘発される。但し $2B/\lambda=2$ の入射時の最右端での散乱現象で現われる微小な反射波の出現は誤差であり、これは半無限解による応答解析では存在し得ない波である。 $2B/\lambda=1/2$ の場合にはその現象は生じないため、全無限解を用いた解析で波長の短い波動を扱う時には、注意が必要である。

Rayleigh波入射時の地盤-基礎系の応答をFig.3に示す。SV波入射時と違い $2B/\lambda$ に関係なく基礎からの波動散乱の際には、キネマチックな相互作用現象が顕著である。基礎応答は、平滑な様相を示し、伝播するRayleigh波に加えてP波及びSV波が基礎応答の始点と終点で発生する。SV波入射時と同様に、 $2B/\lambda=2$ の場合の最右端での散乱現象に伴う微小な反射波は解析上の誤差波である。

参考文献：竹宮祐保、帯状載荷に対する全無限弾性体の遷移グリーン関数評価と半無限/層状地盤の表面載荷による波動伝播性状、土木学会論文集、483/I-26, 147-155, 1994.1.

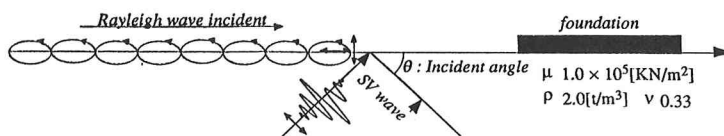
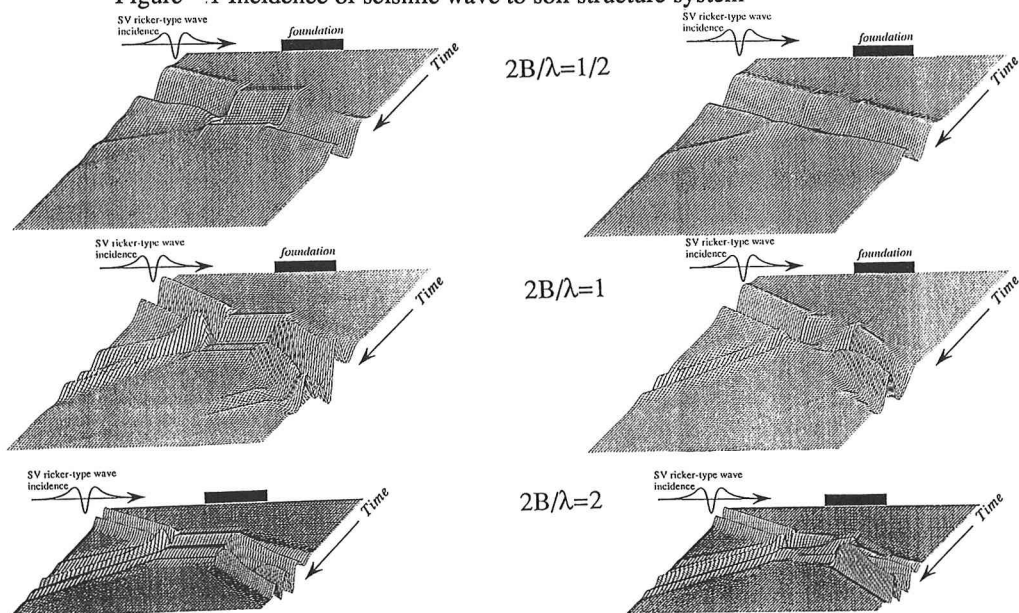


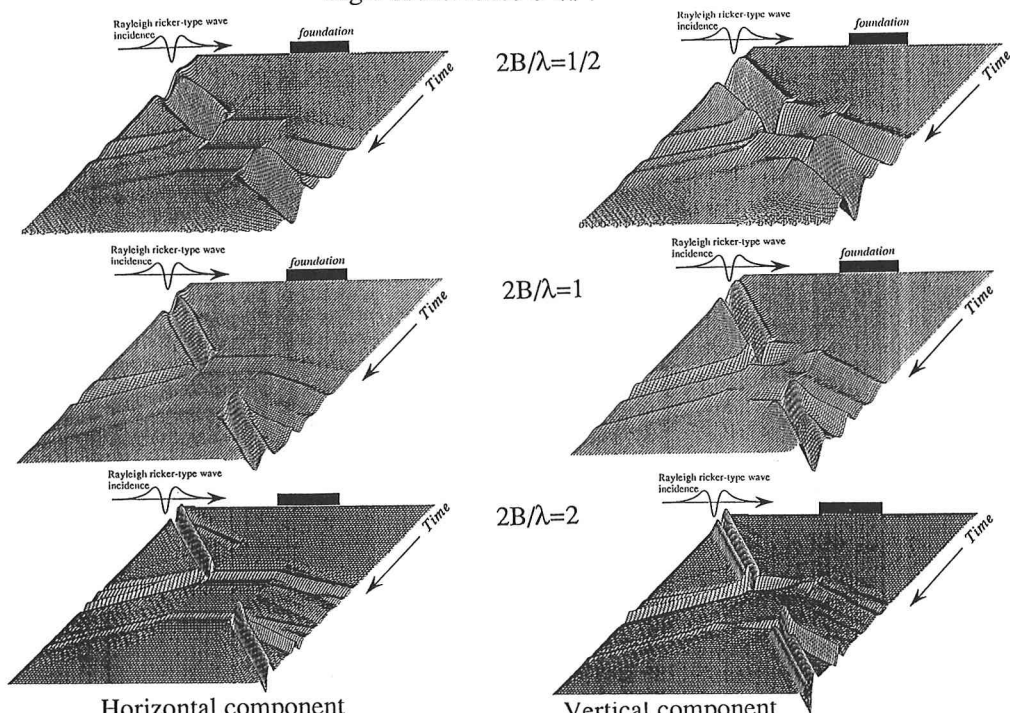
Figure 1 Incidence of seismic wave to soil structure system



Horizontal component

Vertical component

Fig.2 Surface motion due to SV wave incidence, angle of incidence $\theta = \pi/4$



Horizontal component

Vertical component

Fig.3 Surface motion due to Rayleigh wave incidence