

I-323

不整形地盤のSV面内波入射に対する遷移震動特性

岡山大学 学生員 O藤原 章弘  
岡山大学 正会員 竹宮 宏和

1 まえがき

過去の地震被害は谷地盤や沖積地盤などの不整形な地盤で集中する傾向にあるが、構造物の長大化・長軸化は進んでおり、同地盤内の地形効果による波動伝播特性、増幅特性の把握が重要となっている。不整形地盤の震動特性を把握するための解析手法として、これまで様々な手法が採用されてきたが、大部分は定常調和状態を振動数領域解から捉え、対象地盤の応答倍率を評価している。しかし震動の伝播特性の観点から、遷移応答解析より位相特性をも評価し時刻歴として把握することは沖積層内部で生成される表面波を検出する上でも重要である。著者らはこれまでに、TD-BEM<sup>1)</sup>を適用し、面外波入射時の波動伝播特性、増幅特性の解析に成功している<sup>2)</sup>。その延長として今回、このTD-BEMを面内波入射時に適用し、解析を行った。

2 定式化

$u^I$ を入射波による変位場、 $u^R$ を境界Fでの反射波による変位場、 $u^S$ を境界Sの存在による散乱変位場とすると、総変位場は(Fig.1)

$$u^F = u^I + u^R + u^S \quad (1)$$

境界Sから散乱場が生じる時の支配方程式は境界積分方程式で与えられ、これを空間と時間についての内挿関数を導入して離散化すれば次式を得る。

$$H^0 U^K - G^0 T^K = - \sum_{k=1}^K \{ H^k U^{K-k} - G^k T^{K-k} \} = -F^K \quad (2)$$

ここでU,Tはそれぞれ変位と表面力の離散値を示す。式(2)のG,Hマトリックスは変位、応力のグリーン関数から得られ、要素において、次の2重積分で求められる。

$$V_{\alpha\beta}^{MN}(l, t, m, k) = \int_{-\infty}^{t_0} \int_{-\infty}^{t_1} \{ u_{\alpha\beta}^*(y(\xi), t_k - \tau; x_i) \quad t_{\alpha\beta}^*(y(\xi), t_k - \tau; x_i) \} \phi_m^M(\xi) \phi_k^N(\tau) J_\alpha(\xi) dt d\xi \quad (3)$$

$u_{\alpha\beta}^* \quad t_{\alpha\beta}^*$ は面内問題に対するグリーン関数で、 $U_{\alpha\beta}$ を用い、さらに任意の内挿関数を $X^m, T^m$ を用いて一括表現すれば、 $u_{\alpha\beta}^* = X^m(x_1) * U_{\alpha\beta}(x_1, x_2, t) * T^m(t) \quad X^m(x_1) = x_1^m \text{sgn}(x_1), T^m(t) = t^m H(t)$  (4)

と、簡単な形で表現される。ここで、

$$\rho U_{\alpha\beta} = \frac{1}{c_1^2} V_{,\alpha\beta}(r, t_1) * t_1 - \frac{1}{c_2^2} V_{,\alpha\beta}(r, t_2) * t_2 + \frac{\delta_{\alpha\beta}}{c_2^2} V(r, t_2) \quad V(r, t_\alpha) = \frac{H(t_\alpha - r)}{2\pi(t_\alpha^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}}, t_\alpha = c_\alpha t, r = \sqrt{(x_\alpha - y_\alpha)(x_\beta - y_\beta)} \quad (5)$$

式(4)に式(5)を代入すると面外問題の加振解(式(6))<sup>1)</sup>を使って面内問題の加振解を表現できる。

$$R^{mn} = \{ P^{mn}, Q^{mn} \} = \left\{ 1, \frac{\partial}{\partial z} \right\} X^m(x) * U_{\alpha\beta}(x_1, x_2, t) * T^m(t) \quad (6)$$

3 数値解析結果と考察

まず、本解析手法の精度の検証を行った。一様半無限地盤上に鉛直方向に等分布加振を与えたときの地表面ならびに地盤内部での応答と比較した(Fig.3)。その結果、地表面・地盤内部の変位・応力共に別法の解と精度よく一致しており、本解析の有効性を示しているといえよう。

次に谷地盤と沖積地盤にSV-リッカー波が鉛直入射した時の解析例を示す。数値解析では補関数は時間・空間について全て0次(定要素)、モデルは円形断面を用いた。代表波長 $\lambda c$ と不整形地盤幅 $2R$ の関係で応答の様相は変化するが、ここでは $\eta(=2R/\lambda c)=2.0$ の場合について述べる。まず、谷地盤の表面変位応答について(Fig.4)、最初のリッカー波の到達は波面からの距離に比例し、応答増幅は谷の端部が最も大きく、谷の内側に入るに従って小さくなっている。また谷の端部では鉛直変位も大きくあらわれ、周辺へ波が伝播していく様子が分かる。次に、沖積地盤の表面変位応答について(Fig.5)、表面変位の発生が外部地盤より位相が遅れているのがよくわかる。軟弱地盤部では表面と底面境界で反射が起こり、波が同部分内に滞留することで入射波の増幅が生じており、水平成分については中央で最も大きく、エッジ部に近づくにつれ小さくなっている。鉛直成分についてはエッジ部でかなりの程度の応答を示している。沖積層の外側への波の伝播は非常に少ない。

今回の研究で不整形地盤のSV波入射時の応答様相として次のことが判った。(1) 谷地盤では地震波の入射後、谷のエッジから比較的振幅の大きな波が発生し、外側へ伝播していく。(2) 軟弱沖積地盤では波の滞留のため増幅がおこり、影響が長時間にわたって残る。

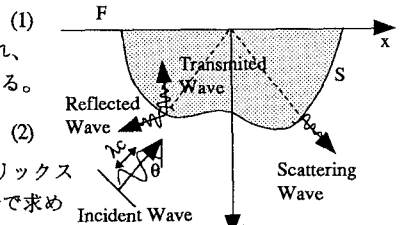


Fig.1 Wave field for an alluvium deposit

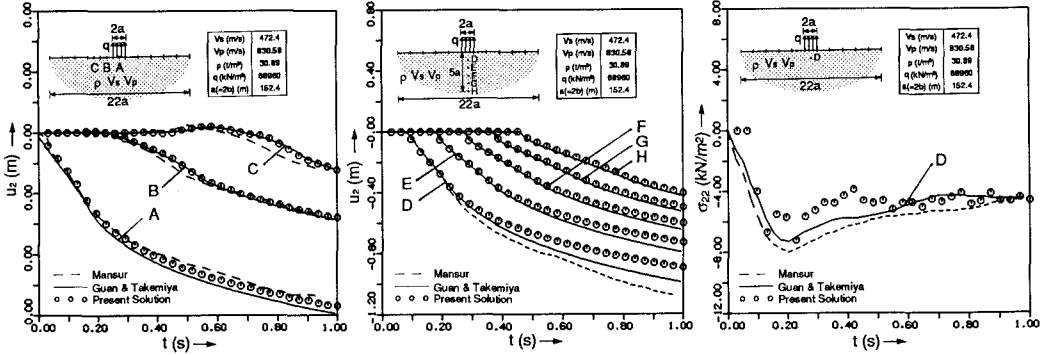


Fig.3 Surface and underground motion due to vertical loading

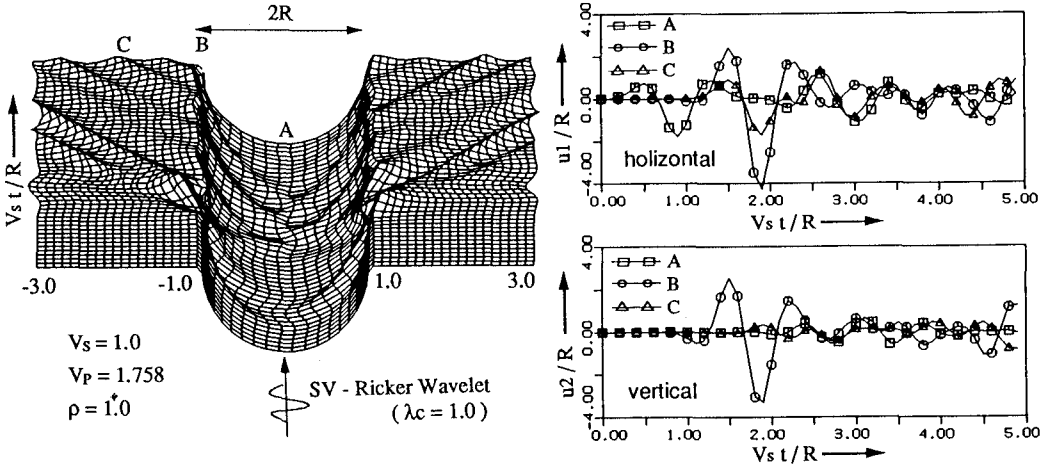


Fig.4 Transient response for a half-circle canyon , Vertical incidence of SV Ricker wavelet

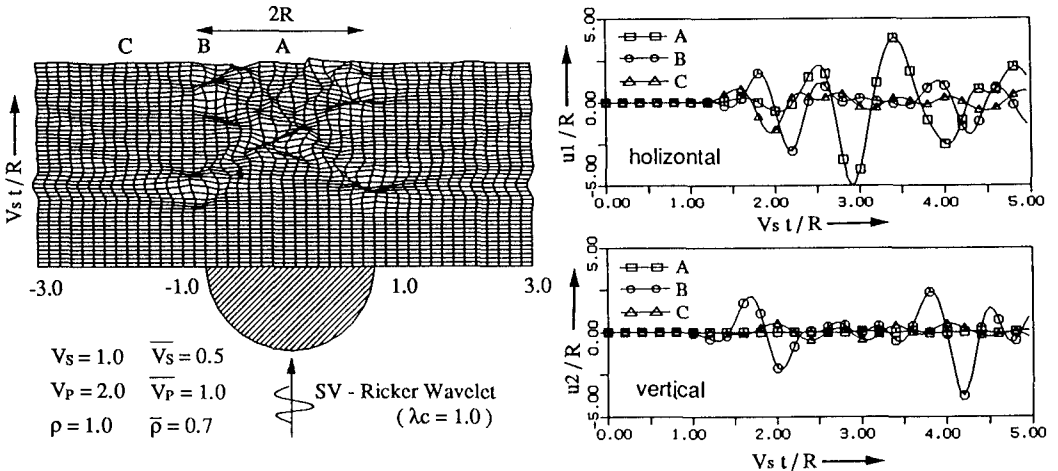


Fig.5 Transient response for a half-circle alluvium , Vertical incidence of SV Ricker wavelet

参考文献

- 1) Wang, C.Y. and Takemiya, H., Analytical elements of time domain BEM for Two-dimensional scalar wave problems, Int. J. Numr. Methd. Eng.
- 2) 竹宮宏和, 王燦雲, 藤原章弘, SH波入射に対する不整形地盤の遷移/定常応答性状, 土木学会論文集 (to appear)