

熊本大学 正員 平井弘義
同上 学員 堤 隆

1. はじめに

地盤の地震時応答解析においては、材料の構成関係のモデル化および構造解析手法の発達に伴って、より精度の高い予測が可能となってきた。液状化解析においては、その重要性ゆえに研究が盛んに行われているが、以下の点は今後さらに改良する余地があると考えられる。

- (1) 繰返し载荷を受ける砂の構成関係¹
- (2) 透水を考慮した有効応力解析による手法²
- (3) 地震波の地下逸散の考慮

著者はこれまで項目(1)と(2)については考察を進めてきている。項目(3)については地盤系が線形材料の場合、粘性、伝達境界が用いられ、非線形材料に対しても便宜的に使われている。しかしながら、非線形土質材料および弾性基盤からなる地盤系の応答をより定量的に把握するには、境界要素法によって散乱波の地下逸散を評価するのが良いと思われる。特に非線形問題との結合においては、時間領域での解析手法を用いる必要がある。

本報告は、不整形地盤への境界要素法の適用を時間領域において検討したものであり、SH波による動的応答特性を明らかにしている。

2. 解析手法

対象とする問題として図1に示す二次元不整形地盤にSH波が下方垂直方向から入射する場合を考える。SH波について、変位で表した運動方程式は次のようである。

$$\nabla^2 u - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

ここに c は波速であり、 t は時間である。空間に対する基本および自然境界条件はそれぞれ次のように書ける。

$$\begin{aligned} u &= \bar{u} & \text{on } S_1 \\ q &= \frac{\partial u}{\partial n} = \bar{q} & \text{on } S_2 \end{aligned} \quad (2)$$

また時間に関する初期条件は以下のように仮定する

$$u_0 = \bar{u}_0 = 0 \quad (3)$$

$$v_0 = \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_0 = \bar{v}_0 = 0$$

Mansur & Brebbia³に従って、式(1)-(3)に重みつき残差法を適用すると、次のような境界積分方程式が求められる。

$$\begin{aligned} 4\pi c_\lambda u(\lambda, t) &= \int_0^t \int_S (u^* q - u q^*) dV d\tau \\ &+ 4\pi u^I \end{aligned} \quad (4)$$

ここに u^I は入射波を示し、 u^* を散乱波とすると $u = u^I + u^*$ である。

次に、半無限体におけるGreen関数はつぎのように与えられる。

$$\begin{aligned} u^* &= \frac{2c}{\sqrt{c^2(t-\tau)^2 - R^2}} H(c(t-\tau) - R) + \\ &\frac{2c}{\sqrt{c^2(t-\tau)^2 - R'^2}} H(c(t-\tau) - R') \\ R &= \{(x-x_\lambda)^2 + (y-y_\lambda)^2\}^{1/2} \\ R' &= \{(x-x_\lambda)^2 + (y+y_\lambda)^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (5)$$

ここに $H(\dots)$ はHeaviside関数である。

いま時間間隔 $(t_s - t_{s-1})$ において、変位 u は線形変化、 q は一定変化するものとし、空間においては両方とも線形変化すると仮定する。

$$\begin{aligned} u &= \frac{t - t_{s-1}}{t_s - t_{s-1}} \phi^T u_s + \frac{t_s - t}{t_s - t_{s-1}} \phi^T u_{s-1} \\ q &= \phi^T q_s \end{aligned} \quad (6)$$

入射波として次の形を考える。

$$\begin{aligned} u^I &= e^{i\omega(t-y/c)} H(t - (y+a)/c) \\ &+ e^{i\omega(t+y/c)} H(t + (y-a)/c) \end{aligned} \quad (7)$$

上式は不整形のない半無限体のSH波動を示している。また、変位振幅として

$$|u| = \{[\operatorname{Re}(u)]^2 + [\operatorname{Im}(u)]^2\}^{1/2} \quad (8)$$

を定義する。式(5)-(6)を式(4)に代入することによって、次の連立方程式に帰着する。

$$[H](u)_n - [G](q)_n = \sum_{s=1}^{n-1} ([H'](u)_s - [G'](q)_s) + 4\pi [u^I]_n \quad (9)$$

式(9)を $n=1$ から時間 n まで順次時間ステップを進めることによって、問題は解決される。

3. 数値結果

半径 a の半円形谷を有する半無限体を考える。 λ を入射波の波長として、 $\eta=2a/\lambda$ を定義する。図1は $\eta=1.25$ の場合について ct/a と変位振幅の関係が、三点A, B, C について示されている。 $ct/a=7.47$ までの結果を見る限りにおいては、定常状態に達するにはまだ時間が必要と思われる。しかし、図2に示されるように、Trifunac⁴による定常解と比較すると $ct/a=7.47$ 以後は、ほぼ定常状態に近い応答を示していると思われる。図3と4は $\eta=0.75$ 、 $\eta=0.25$ のときのそれぞれの変位振幅分布を示しており、時間は $ct/a=7.47$ の時である。Trifunacの定常解と比較して、やや値は異なるが、分布形状はよく似ているようである。

参考文献

- 1) Hirai, H.: A Combined Hardening model of Plasticity for Sands, in C.S.Desai et al. (eds), 2nd Int. Conf. on Constitutive Laws for Engineering Materials, Elsevier, 1987.
- 2) 平井他、'ソイルメント 地中壁の液化防止効果に関する解析的研究'、第22回土質工学研究発表会, 1987
- 3) Mansur W.J. & Brebbia C.A.: Numerical Implementation of the Boundary Element Method for Two Dimensional Transient Scalar Wave Propagation Problems, Appl. Math. Modelling, 1982.
- 4) Trifunac, M.D.: Scattering of Plane SH Waves by a Semi-Cylindrical canyon, Earthq. Eng. Struc. Dynam., Vol. 1, 1973.

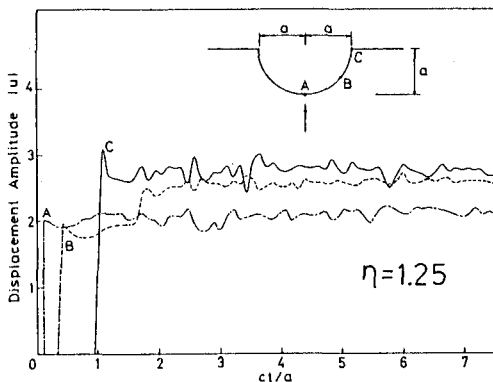


Fig. 1 The relationship between displacement amplitude and ct/a .

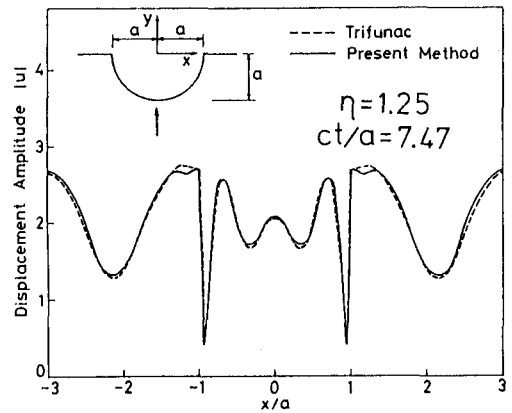


Fig. 2 Surface displacement amplitude.

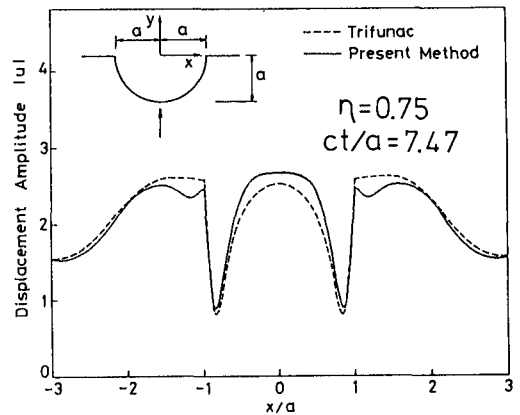


Fig. 3 Surface displacement amplitude.

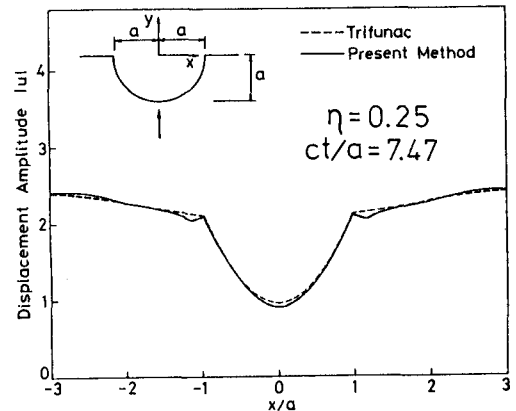


Fig. 4 Surface displacement amplitude.