

不整形・液状化地盤の地震波増幅特性について

熊本大学大学院 ○学生員 孫 遜
 熊本大学工学部 正 員 秋吉 卓
 八代工業高等専門学校 正 員 湊田邦彦
 熊本大学大学院 田嶋秀一

1. まえがき 1995年の兵庫県南部地震では、液状化が広範囲に及び建造物に多大の被害と地盤には大きな永久変形を残した。さらにまた、非液状化地域でも、建物・施設に甚大な被害が出たが、いわゆる「震災の帯」と言われる最大被害のベルト地帯であるが、これは地盤特有な増幅特性のためであったと報じられた。本論では、これらの現象を理解するために、地盤を2相系飽和多孔質媒体として2次元有限要素法よってモデル化し、これに吸収境界条件¹⁾を装着し、ローカル・サイト・イフェクトを検討したものである。地盤と地震については、神戸地盤をモデル化し、その基盤から1995年兵庫県南部地震を入力した。

2. 吸収境界条件について 線形の飽和多孔質媒体における吸収境界条件を u (固体変位) $-w$ (液体相対変位) で近似的に定式化すると、粘性境界 (ダンパー) となることをこれまで明らかにしてきたが、これを無限領域からの寄与を考慮した形で対象領域へのトラクションとして、2次元固定座標で書き表すと次式のようになる¹⁾。

$$\begin{Bmatrix} \hat{i} \\ -\hat{p}n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \hat{i}^f \\ -\hat{p}^f n \end{Bmatrix} - \begin{pmatrix} P^T A_{uu} P & P^T A_{uw} P \\ P^T A_{uw}^T P & P^T A_{ww} P \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} - \dot{u}^f \\ \dot{w} - \dot{w}^f \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに

$$A_{uu} = \begin{pmatrix} \rho V_S & 0 \\ 0 & \rho V_P \end{pmatrix}; \quad A_{uw} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \alpha Q / V_P \end{pmatrix}; \quad A_{ww} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & Q / V_P \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$V_P = \sqrt{(\lambda + 2G + \alpha^2 Q) / \rho}; \quad V_S = \sqrt{G / \rho}$$

ここに、 P は変換行列、添字 f は無限領域からの寄与を表す。また λ 、 G はLameの定数であるが、液状化のような非線形解析に上記の吸収境界条件を適用するときは、せん断剛性 G は一般に有効応力に依存することから時間依存となり、解析時刻 t での $G(t)$ を先に決定することは困難であるため、数値計算上では、微小前時刻 $t-\Delta t$ の確定値 $G(t-\Delta t)$ で代用する²⁾。

3. 数値解析 解析対象地盤として、Fig.1のように神戸の地盤をモデル化するが(図の右が海側で、左が山側である。)、最下層は基盤として剛体とするが、両側方の鉛直境界には提案する吸収境界条件を付加する。地震波は、1995年兵庫県南部地震(最大加速度振幅:0.55g)を基盤から鉛直上方に入射させる。地盤条件として、Fig.1でL1からL5までの5層の N 値はそれぞれ、10, 3, 50, 10, 30である。また他の基本パラメータについては、 $\nu = 0.33$; $k = 1 \times 10^{-5}$ m/s, $K_f = 2 \times 10^6$ kPa; $\alpha = 1.0$ 。

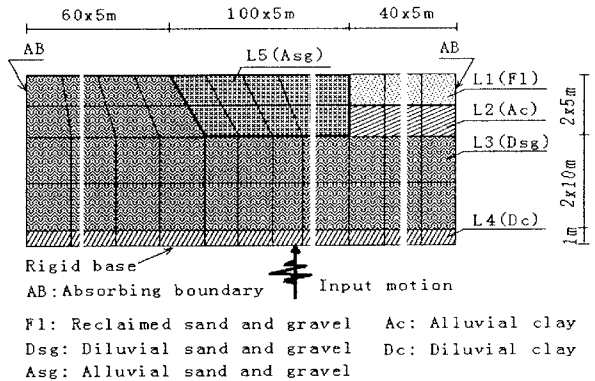


Fig. 1 A FE model of Kobe ground

さらに、液状化解析のための土質パラメータ

については、Table 1 に示している。

Table 1. Soil parameters in liquefaction analysis

| Parameters | p_1 | p_2 | w_1 | S_1 | c_1 | ϕ'_f | ϕ'_p | H_m |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-------|
| L1 (Fl) | 0.5 | 0.85 | 16.4 | 0.005 | 1.0 | 31 | 28 | 0.3 |
| L2 (Ac) | 0.5 | 1.03 | 5.9 | 0.005 | 1.6 | 30 | 28 | 0.3 |

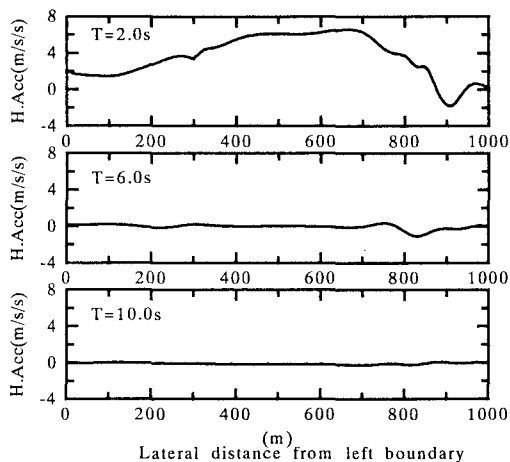


Fig. 2. The distribution of horizontal acceleration of ground surface at each time step

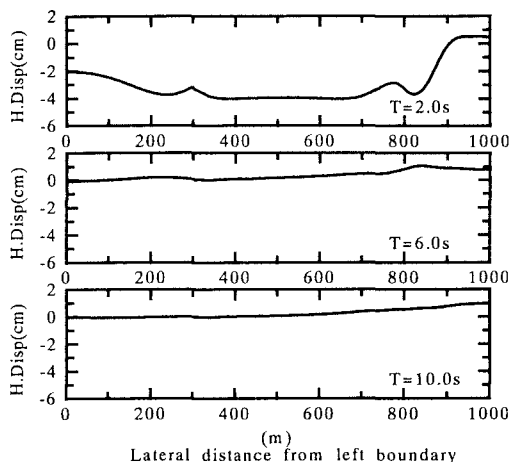


Fig. 3. The distribution of horizontal displacement of ground surface at each time step

Fig. 2 より、加速度応答が運動の初期に、沖積砂礫地盤に集中的に分布しており、同じ地盤断面なら「震災の帯」となるが、この辺りは建築物が大被害を受けた地域に相当する。一方、Fig. 3 では海側の沖積粘土層と埋立層という軟弱地盤のため大きな地盤ひずみが出ており、液状化により引き起こされたものと解釈されるが、この地域がライフラインや杭基礎の大被害地域であることと符合している。Fig. 4 (地表面の最大加速度及び変位の分布) も、前記の図とほぼ同様な傾向を示すが、強震動地域は、地盤モデル左端の境界から 300m~600m の範囲で、沖積砂礫層に相当し、前記と同じ説明ができる。一方、右側境界から 200m の範囲では、変位とひずみが大きいことを示しており、実被害の傾向と類似している。

4. 結論 提案する吸収境界条件により、計算対象領域を大幅に縮小できることを示した。また、地盤の不整形・不均質性により沖積砂礫層の地表面加速度値による「震災の帯」が発生することを示し、また、埋立地では大変位・大ひずみにより地中構造物への大被害が予測できることを説明した。

参考文献 1) Akiyoshi, T. *et al*, Absorbing boundary conditions for dynamic analysis of fluid-saturated porous media, *Int. J. SDEE*, 1994, 13(6), 387-397. 2) Akiyoshi, t. *et al*, A non-linear seismic response analysis method for saturated soil-structure system with absorbing boundary, *Int. J. Num. & Ana. Methods in Geomech*, 1996, 20(59), 307-329.

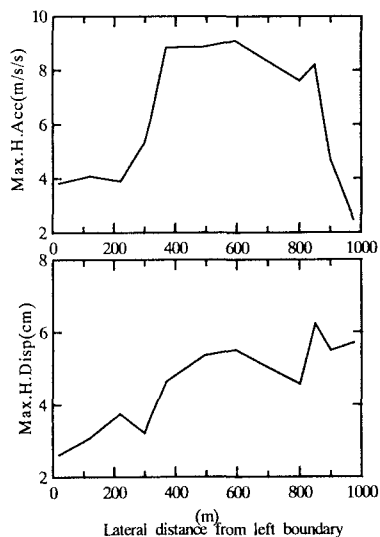


Fig. 4. Maximum responses of acceleration and displacement of ground surface