

CS-13

液状化解析のための波動吸収境界の有効性

熊本大学工学部 正会員 秋吉 卓
 熊本大学自然科学研究科 孫 遜
 八代工業高等専門学校 正会員 洲田邦彦

1. はじめに

著者らは、飽和多孔質媒体の吸収境界条件の1つとして、時間領域における u - w 定式化による粘性境界を提案し、これより仮想境界での反射波を防ぐとともに、計算時間と記憶容量の大幅な節約ができることを示してきた。^{1)~3)} 本研究では、液状化解析プログラムに吸収境界と自由境界とを設定し、地盤の不整形構造さらに離散化に伴う幾何学的条件および地震動のスペクトル特性・入射方向等の入力条件の違いにより、参照解との相対誤差の比較を行い、解析で要求される信頼度に応じた地盤パラメータを設定できることを示す。

2. 解析手法の概要

Biot の多孔質媒体理論に基づき、⁴⁾ 固体-液体混相体の運動方程式と間隙流体の一般化された Darcy 法則が成立する地盤を考える (Fig.1 参照)。これらの Fourier 変換と、波数の 0 次近似をして逆変換すると、Fig.1 の仮想境界 Γ 上の点 P における、時間領域でのインピーダンス表現が可能となる。すなわち、Fig.1 の境界 Γ の接平面に直交する局所直交座標を採用すると、 u - w 定式化では、内部領域の波動に対する吸収境界条件は粘性境界となる。

$$\begin{aligned}\sigma_{zz} &= -(\rho V_1) \dot{u}_z - (\alpha Q/V_1) \dot{w}_z \\ \tau_{zx} &= -(\rho V_3) \dot{u}_x, \quad \tau_{zy} = -(\rho V_3) \dot{u}_y \\ -p &= -(\alpha Q/V_1) \dot{u}_z - (Q/V_1) \dot{w}_z\end{aligned}\quad (1)$$

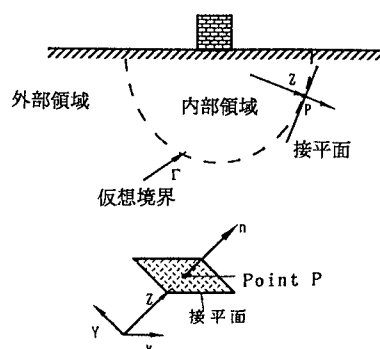


Fig.1 多孔質媒体の無限領域モデル

ただし、 u と w はそれぞれ固相の変位と間隙水の相対変位、 $w=n(u-U)$ 、 U は間隙水の変位、 σ は全応力、 p は間隙水圧 (圧縮を正とする)、 n は空隙率、 ρ と ρ_f はそれぞれ固液混相体と間隙水の密度、 $\rho=(1-n)\rho_s+n\rho_f$ 、 ρ_s は固体粒子の密度、 k は等方透水係数、 $\alpha=1-K_0/K_s$ 、 $1/Q=n/K_t+(\alpha-n)K_s$ 、 K_s と K_t はそれぞれ固体と間隙水の体積弾性係数、 K_0 は固体骨格の体積弾性係数である。さらに、 $V_3=\sqrt{\mu/\rho}$ 、 $V_1=\sqrt{(\lambda+2\mu+\alpha^2Q)/\rho}$ とし、 z 方向は、Fig.1 の境界外向きを正とする。ここで減衰の著しい P_2 波は省略している。

式(1)による境界条件と、自由領域の解による境界条件とを重ね合わせることで、FEM プログラムに組み込むことができる。²⁾ 非線形問題では、弾性係数 λ 、 μ が時間依存するので、1 ステップ前の値を用いる。

3. 数値計算例

液状化解析は、2次元有効応力解析プログラム NUW2¹⁾を用い、エルセントロ波 (1940NS, 最大 0.2g) を入力した。解析対象の地盤モデルとして、Fig.2 のような、物性が2層に分かれ、左右に層厚の異なる平行層を持ち、中央部に不整形境界を持つものとした。左右の境界からの反射波の影響が無視できるほど十分に広い地盤モデルの解を参照解 (Y_i) とし、NUW2 に吸収境界または自由境界を装着したときの解 (X_i) と Y_i との相対誤差を評価の尺度として、 $R.M.S.比=\sqrt{[\sum (X_i - Y_i)^2/N]/Y_{max}}$ ($i=1, \dots, N$) を定義した。

Fig.3 および 4 は、それぞれ解析対象点 A における吸収境界と自由境界の場合を参照解と比較したものである。変位と間隙水圧で、吸収境界が有効性を発揮することを示している。この傾向は、地震波のスペクトルの違いで強調されることが、Fig.5 で示される。その他の結果は講演時に譲る。

吸収境界、液状化、多孔質媒体、地震波、不整形境界

〒860 熊本市黒髪 2-39-1 熊本大学工学部環境システム工学科 TEL 096-342-3538 FAX 096-342-3507

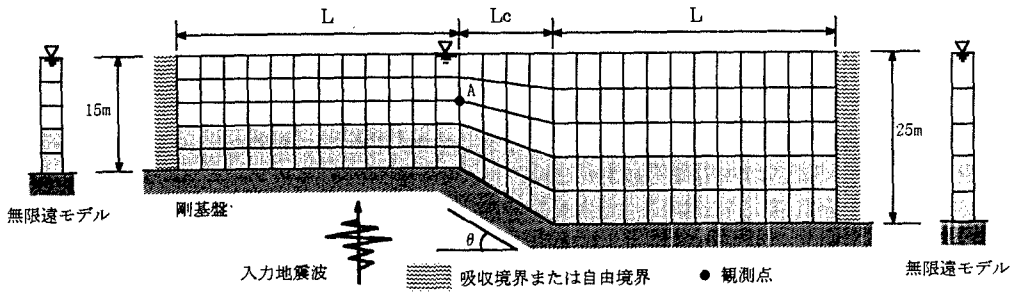


Fig. 2 2次元不整形地盤モデル

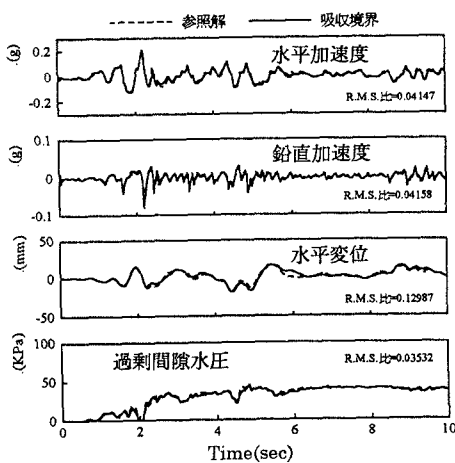


Fig. 3 A点における参照解と吸収境界解との比較
($L=30\text{m}$, $L_c=20\text{m}$)

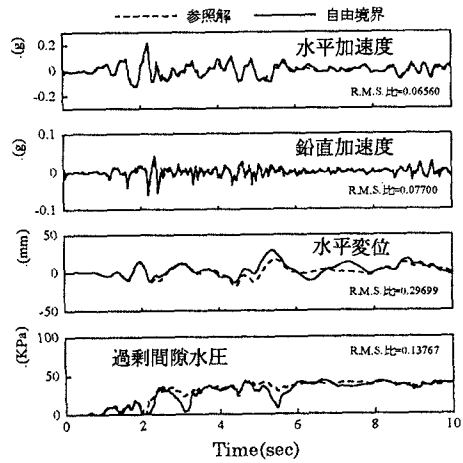


Fig. 4 A点における参照解と自由境界解との比較
($L=30\text{m}$, $L_c=20\text{m}$)

参考文献

- 1) Akiyoshi, T. *et al*, Soil Dyn. & Earthq. Eng., 12(5), 299-307, 1993.
- 2) Akiyoshi, t. *et al*, Soil Dyn. & Earthq. Eng., 13(6), 387-394, 1993.
- 3) 栗林他：H8 年度土木学会年次学術講演会概要集、IB、372-373, 1996.
- 4) Biot, M.A., J. Acoustic Sco. Ame., 28, 168-191, 1956.

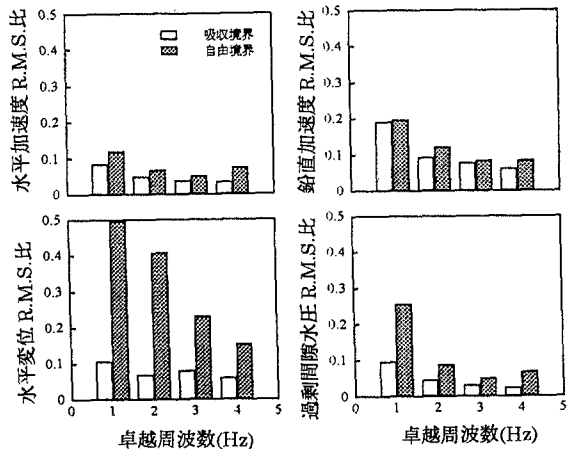


Fig. 5 卓越周波数の異なる人工地震波による R.M.S.比