

2 相系地盤の地震応答解析における吸収境界条件の適用

熊本大学工学部 正員 秋吉 卓
 熊本大学大学院 学生員 後藤賢史
 熊本大学大学院 学生員 栗林克成
 熊本大学工学部 ○学生員 野口豊剛

1. はじめに

地盤の動的解析を行う際、無限領域を有限領域として扱うため、その境界処理方法が重要な問題となる。本研究では、水で飽和した多孔質媒体の動的解析における仮想境界での吸収境界条件を、時間領域で定式化し^{1), 2)}、これを2次元非線形有効応力解析プログラム「NUW2」³⁾に組み込み、モデル地盤を用いて吸収境界の適用性を検討する。

2. 解析手法

Biotの多孔質媒体理論に基づき、固体-液体混相体の運動方程式と、間隙流体の動的釣合による一般化されたDarcy法則は次式のように書ける^{4), 5)}。

$$L^T \sigma + \rho b = \rho \ddot{u} + \rho_f \ddot{w}, \quad -\nabla p + \rho_f b = \rho_f \ddot{u} + (\rho_f / n) \ddot{w} + \dot{w} / k \quad (1)$$

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 は間隙水の变位、 σ は全応力、 b は体積力、 p は間隙水圧、 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。

式(1)のFourier変換を行い、波数に関する0次近似のみを取り上げると、逆変換後ではFig.1のインターフェース境界上の点Pにおける、時間領域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 Ω_E の接平面に直交する局所直交座標(2次元平面)を採用すると、 $u-w$ 定式化²⁾では、内部領域の波動に対する吸収境界条件を得る。

$$\begin{aligned} \sigma_{zz} &= -(\rho V_1) \dot{u}_z - (\alpha Q / V_1) \dot{w}_z \\ \tau_{zx} &= -(\rho V_3) \dot{u}_x, \quad \tau_{zy} = (\rho V_3) \dot{u}_y, \end{aligned} \quad (2)$$

$$p = (\alpha Q / V_1) \dot{u}_z + (Q / V_1) \dot{w}_z$$

ただし、 $\alpha = 1 - K_d / K_s$ 、 $1/Q = n/K_f + (\alpha - n)K_s$ 、 K_s と K_f は

それぞれ固体と間隙水の体積弾性係数、 K_d は固体骨格の体積弾性係

数である。また、 $V_3^2 \approx \mu / \rho$ 、 $V_1 = \sqrt{(\lambda + 2\mu + \alpha^2 Q) / \rho}$ 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(2)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、有限要素プログラムに組み込むことができる²⁾。さらに、弾性係数 λ, μ の時刻変化がわかれば、非線形問題に適用できる³⁾。

3. 数値計算例

飽和多孔質媒体の動的解析は、2次元有効応力解析プログラム「NUW2」^{1), 2), 3)}を用い、数値積分はNewmark法によった。ここでは、Fig.2のような2次元不整形モデルを解析対象領域とし、平行層地盤長(I_p, I_r)、傾斜角度(θ)、最大加速度の変化による影響を波形のくい違い誤差として評価し、吸収境界条件の適合性を検討する。

【吸収境界と自由境界の比較】Fig.2の剛基盤よりエルセントロ波(1940, NS成分, 最大0.2g)を、平面SV波として入射させた。Table 1は解析に用いた材料定数である。Fig.3, Fig.4は、Fig.2のA点における吸収境界と自由境界の水平方向加速度の応答波形であり、Fig.2の2次元柱状モデルによる応答を参照解する。吸収境界は参照解とほぼ同様な波形となっており妥当な結果を与えることがわかる。

【平行地盤長、傾斜角度の変化による影響】Fig.5は、数値解析の精度を検討するため、吸収境界と参照解のくい違い相対誤差を2乗平方平均 $(\sum (X_i - Y_i)^2 / T)^{1/2}$ 、 X_i : 応答波形、 Y_i : 参照解、 T : 対象時間区間)として示したものである。傾斜角度が大きい場合は誤差R.M.S.も大きくなるが、平行地盤を長くすれば誤差は縮小し、提案する吸収境界条件は、様々な不整形地盤において十分適用可能といえる。

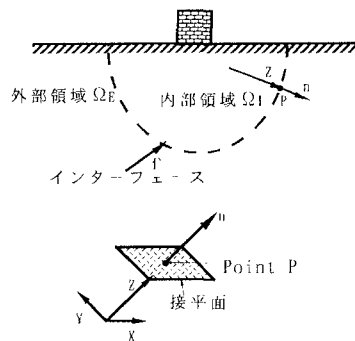


Fig.1 無限領域モデル

【最大加速度の変化による影響】Fig. 6は、Fig. 3と同様の解析条件で、境界条件の違いによる応答波形 X_i と参照解 Y_i との相対誤差(R. M. S.)を、入力最大加速度の変化に対して示したものであるが、提案する吸収境界のケースはさほど影響を受けておらず、自由境界と較べても誤差が押さえられていることがわかる。この結果から吸収境界は、大きな加速度入力に対しても十分適用可能であるといえる。

4. まとめ

飽和多孔質媒体の動的問題における、時間領域での吸収境界条件を、2次元非線形有効応力解析に組み込んだ数値解析による検討の結果、提案手法がこれまで以上に非線形な動的解析に適用可能であることを示した。

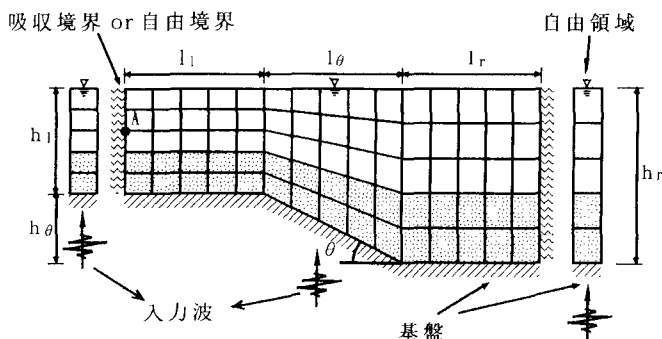


Fig. 2 2次元不整形モデル

Table 1: 材料定数

パラメータ	上層	下層
G_{m0} (KPa)	22990	65030
P_1	0.50	0.50
P_2	0.80	1.40
w_1	2.80	7.20
s_1	0.005	0.005
c_1	1.60	1.70
ϕ_f	31°	37°
ϕ_r	28°	28°
H_m	0.30	0.30

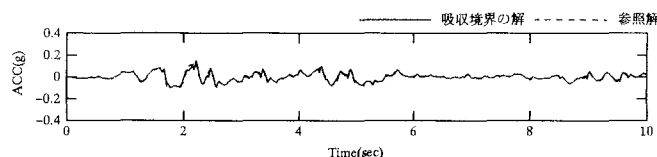


Fig. 3 水平方向加速度の応答波形 ($\theta=0.5$, $l_l=l_r=30m$)

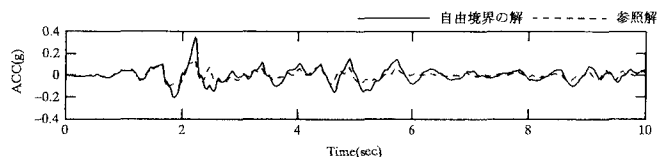


Fig. 4 水平方向加速度の応答波形 ($\theta=0.5$, $l_l=l_r=30m$)

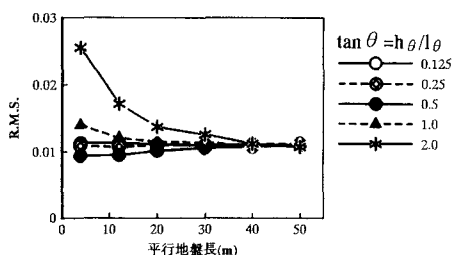


Fig. 5 水平方向加速度のR.M.S.値の変化

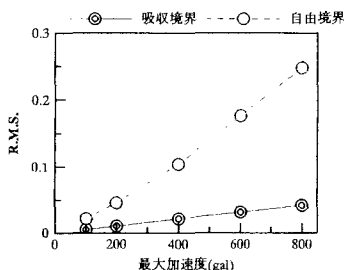


Fig. 6 水平方向加速度のR.M.S.値

参考文献 1) 秋吉他, H6 年度土木学会年次学術講演会概要集, 1, pp. 1306-1307, 1994. 2) Akiyoshi, T. et al, Soil Dyn. and Earthq. Eng., 13 6, pp. 387-397, 1994. 3) Akiyoshi, T. et al, Soil Dyn. and Earthq. Eng., 125, pp. 299307, 1993. 4) Biot, M. A., J. of Acoustic. Soc. Ame., 28, pp. 168-191, 1956. 5) Zienkiewicz, O. C. & Shiomi, T., Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., 8, pp. 71-96., 1984. 6) 淵田他, 土木学会第 50 回年次学術講演会概要集, 1, pp. 1344-1345, 1995.