

第Ⅲ部門 弾塑性解析における粘性境界条件に関する基礎的研究

神戸大学	学生員	○山口	慶
神戸大学	学生員	田村	彩奈
神戸大学大学院工学研究科	正会員	竹山	智英
神戸大学都市安全研究センター	正会員	飯塚	敦

1. 研究の背景および目的

地震災害の被害を想定する手法として弾塑性有限要素解析がある。有限要素解析では、地盤の半無限性を考慮するために、解析モデル内からモデル外に抜けていく散逸現象を表現する必要がある。本研究で使用する土/水連成有限要素解析プログラム DACSAR¹⁾では、逸散減衰について粘性境界条件が導入されている。しかし、その動作および性能は等方線形弾性体についてのみ確認されており、弾塑性体については確認されていない。そこで、弾塑性体における粘性境界について検討を行う。

2. 粘性境界条件

DACSAR で使用されている粘性境界は、Lysmer and Kuhlemeyer²⁾によって提案された方法で、解析領域境界に次のような表面力を発生させることにより、ダッシュポットとしての役割を担い、解析領域境界上で散逸波を吸収し、地盤の半無限性を考慮するものである。

$$\sigma = \rho V_p \frac{du_y}{dt} \quad (1)$$

$$\tau = \rho V_s \frac{du_x}{dt} \quad (2)$$

ここで、 σ と τ はそれぞれ表面の法線方向の応力と表面に沿う方向の応力、 ρ は密度、 V_p はP波速度、 V_s はS波速度、 u_y 、 u_x はそれぞれ表面の法線方向の変位、表面に沿う方向の変位を表す。この表面力によって、モデル内の下降波の反射を抑制する。

3. 解析条件

土粒子と間隙水との相互作用を考慮しない弾塑性解析を行う。解析に使用する構成モデルは、線形弾性モデルと大野らによって提案された EC モデル³⁾を基本とする。解析メッシュは、一次元の鉛直柱とし、深さ方向に 1m 間隔のメッシュとする。鉛直柱の両側面に周期境界条件に設定し、底面に粘性境界条件または変位境界条件を与え、底面から図 1 に示す加速度波を x 方向に境界条件として与える。この際に地表面に生じる加速度、粘性境界面上での力を出力することで、粘性境界の動作および性能を確認する。出力される力は、次の全体剛性方程式の右辺の各項である。

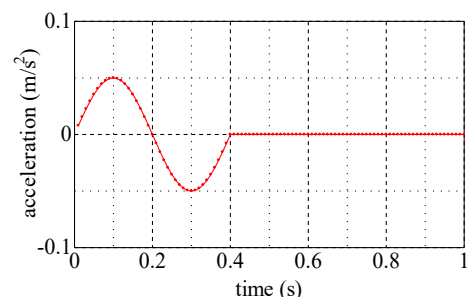


図 1 入力加速度波形

$$([M] + \Delta t[C] + \gamma \Delta t^2[K])\Delta \ddot{u}^n = \Delta t\{\dot{F}\} - \Delta t[M]\{\ddot{u}^{n(k)}\} - \Delta t[C]\{\dot{u}^{n(k)}\} - \Delta t[K]\{u^{n(k)}\} \quad (3)$$

Kei YAMAGUCHI, Ayana TAMURA, Tomohide TAKEYAMA and Atsushi IIZUKA,

kei7230_y_2525@icloud.com

4. 解析結果

国土地盤情報検索サイト Kunijiban⁴⁾に公開されているボーリングデータ (B4KJ201801006-5203, 北緯 34 度 43 分 36.43 秒, 東経 135 度 18 分 27.90 秒) (図 2) をもとに各要素の物性 N 値からの解析パラメーター決定フロー⁵⁾に従って作成したモデル

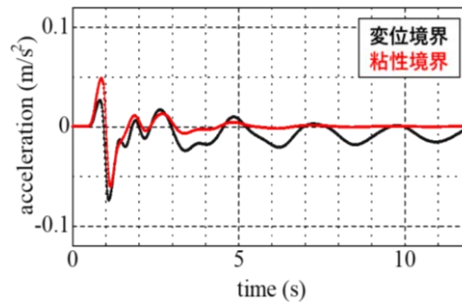


図3 地表面に生じる加速度

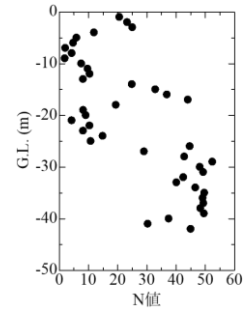


図2 N値の深度分布

を使用した。底面に粘性境界条件、変位境界条件を設定した場合の解析結果は図3である。図3から、底面に変位境界条件を設定した場合と比較して、粘性境界条件を設定した場合は、地表面に出力される加速度波形の波が少ないことが分かる。しかし、粘性境界条件の場合でも、底面から入力した加速度波形が一波長であることに対して、地表面で出力されている加速度波形は一波長とはなっていない。このことから、粘性境界条件がモデル内の下降波の反射を抑制していることは確認できるが、動作および性能が完全であるとは結論付けることはできない。次に、同様のモデルについて粘性境界面上での力を出力した解析結果は図4である。図4から、モデル底面からの力の入力が終わってすぐに粘性境界面上での力の総和が 0 になっていることが分かる。また、サブステップ数を 10 とした解析結果は図5である。図5では、グラフ内にある不自然な突起が解消され、より精度の良い結果となった。この結果から、粘性境界条件がモデル底面で下降波の反射を十分に抑制できていると言える。

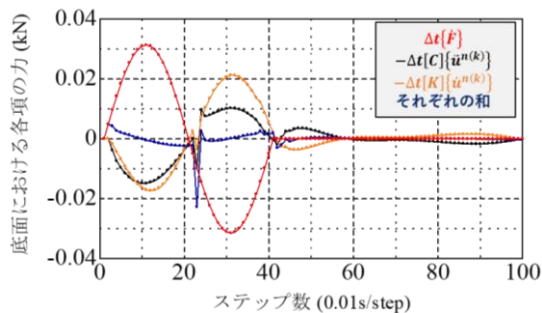
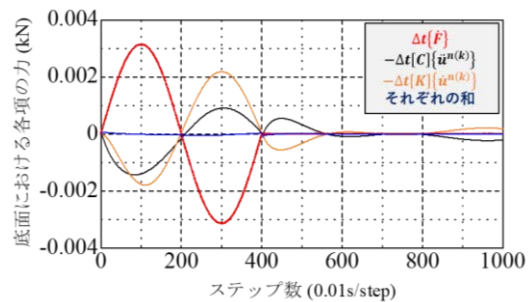


図4 粘性境界面上での力

図5 粘性境界面上での力
(サブステップ数を 10 とした場合)

5. 結論・今後の課題

有限要素解析プログラム DACSAR に導入されている粘性境界条件について、弾塑性体に対する応力境界条件として期待する動作および性能は、機能していると結論付ける。しかし、数値計算の誤差が生じるという課題も見つかった。増分計算を行う有限要素解析では、前ステップの結果から推定される値を利用し計算を行っていくために誤差が生じていく可能性があり、ステップ数を細かくすることや、収束計算の利用などをによって誤差を減らしていく必要がある。

参考文献

- 1) Iizuka and Ohta : A determination procedure of input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp.71-87, 1987
- 2) Lysmer, J. and Kuhlemeyer, R. L.: Finite dynamic model for infinite media, Proc. ASCE, EM 4, pp. 859- 877, 1969
- 3) 大野進太郎, 飯塚敦, 太田秀樹: 非線形コントラクタンシー表現式を用いた土の弾塑性構成モデル, 応用力学論文集, vol.9, pp.407-414, 2006
- 4) 国土地盤情報検索サイト Kunijiban : 最終閲覧日 2022-1-29 <https://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html>
- 5) 宮田智博: Deformation and Stability of Sandy Soil During Excavation Work. 東京工業大学修士論文, 2001