地震時の斜面崩壊問題を対象とした個別要素法解析における境界条件の影響

（株）構造計画研究所　　正会員　○渡辺　高志　正会員　　三橋　祐太
正会員　　冨尾　祥一　正会員　　島袋　ホルヘ

1.　はじめに

地震時に斜面の安定性が失われ，斜面崩壊により崩土が生活圏や構造物に到達すると，人的被害や施設の機能上の障害が生じる恐れがある．そのため，重要施設の周辺斜面などについては，数値解析による安定性検討が行われている．

本研究では，斜面崩壊により生じる崩土の流出過程まで捉えることが可能な数値解析手法として，大変形問題に適した数値解析手法の一つである個別要素法(DEM)を採用し，周辺斜面の地震時安定性解析を行う上での境界条件の影響について検討を行った．

2.　地盤の地震時検討における境界条件

周辺斜面を含む表層地盤を対象とし，地震動の鉛直伝播解析を行う場合，入力動を規定する底面境界と，自由端や地盤内の半無限の広がりを模擬する側方境界条件が必要となる．底面境界は，入力動がモデル基盤における層内波(E+F)である場合は通常固定境界（剛基盤）とし，露頭波(2E)である場合はモデル境界にダッシュポットを介して地震波を入力する粘性境界が用いられる．粘性境界は反射波を吸収するため，入力動を規定しつつ地盤内の半無限の広がりを模擬するためによく用いられている．側方境界については，粘性境界を設定するのみでは底面と同じ入力動が規定されるため，一般に解析領域の影響を受けない，側方境界と同じ地層モデルに基づく自由地盤と接続されている．

3.　個別要素法解析への粘性境界条件の適用

斜面崩壊などの大変形問題を対象とした解析では，個々の剛体回転まで取り扱える個別要素法が有効であるが，解析モデルの作成や解析パラメータの設定が難しいこともあり，斜面の安定性検討に使用された事例はあまり多くない．そのため，鉛直伝播解析における境界条件の影響についてもあまり検討されていないのが現状である．本研究では，著者らが開発した解析コード DYBECS を使用し，個別要素法解析における粘性境界の効果について検討を行った．

DEM 解析における粘性境界の適用性の確認として，版状モデル中央に正弦単波を面外加振した際，粘性境界と自由境界に見られる変位応答を比較して図 1 に示す．結果，粘性境界の有効性が確認された．

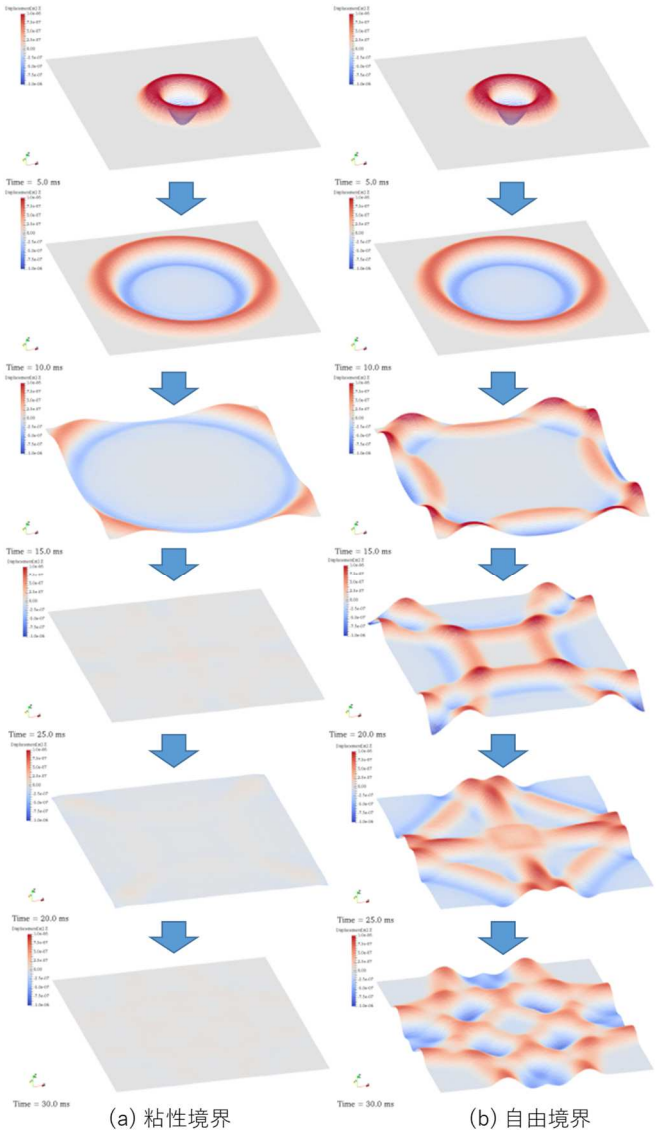


図 1　版状 DEM モデルの面外加振応答の比較

キーワード　斜面安定性，斜面崩壊，個別要素法，粘性境界
連絡先　　〒164-0011　東京都中野区中央 4-5-3　（株）構造計画研究所　防災・環境部　ＴＥＬ03-5342-1137

4. 斜面崩壊問題を対象とした検討モデル

斜面の安定性解析における粘性境界の効果を確認するため, DEM と FEM の検討モデルを作成し, 表 1 に示す地盤物性を設定した. 解析モデルの形状寸法を図 2 に示す. 本研究では, 底面固定, 側方自由境界として層内波(E+F)の鉛直伝播解析を行い, FEM モデルと応答を合わせることで DEM モデルの弾性時のパラメータ設定を行った. なお, FEM 解析には SuperFLUSH/2D[1]を使用した.

表 1 解析における地盤物性値 (層番号:図 2 参照)

	層①	層②	層③	層④
単位重量(kN/m³)	16.0	18.0	20.0	20.0
Vs (m/s)	210	350	500	700
Vp (m/s)	500	800	1100	1500
減衰比(%)	2.0	2.0	2.0	2.0

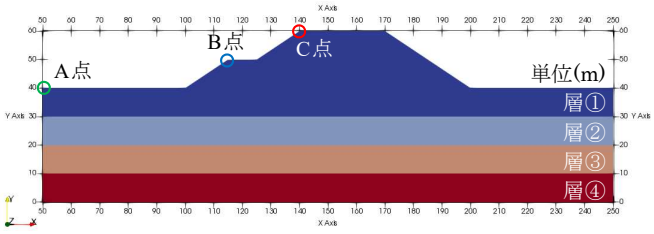


図 2 解析モデルの形状寸法(DEM と FEM モデル)

5. 弾性域における境界条件の影響 (線形解析)

パラメータ決定後, 底面固定(E+F)と粘性境界(2E)の境界条件の違いによる影響を図 2 に示す各点の応答比較で確認した. 前者は側方が自由境界であり, 後者は両方粘性境界である. 入力動は, 道路橋示方書[2]のⅡ種地盤を対象としたレベル 1 地震動を目標スペクトルとし, 平成 28 年熊本地震本震の位相特性を設定し作成した. この波を一次元重複反射理論で引き戻すことで層内波(E+F)と露頭波(2E)を基盤に入力し解析した. 図 3 に示される加速度応答スペクトルの比較より, 粘性境界による逸散効果を確認した.

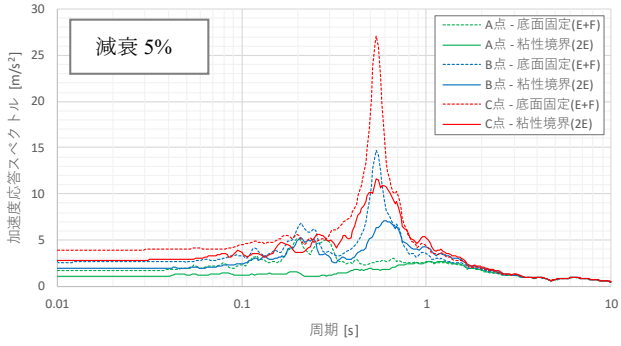
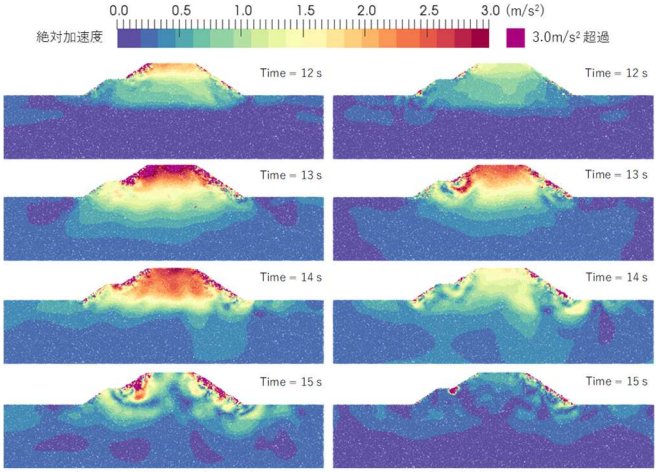


図 3 弾性解析における各地点の応答比較

6. 斜面崩壊挙動の境界条件の影響 (非線形解析)

斜面の崩壊挙動への影響を確認するため, 表層地盤の破壊を考慮して同様の DEM 解析を行った. 地盤強度は粘土混じりの砂を想定し, 粒子間摩擦係数 0.6, 粒子間の粘着力を 25kN/m² とした. 解析結果より, 時刻断面毎の絶対加速度応答の比較を図 4 に, 主要動終了後の 30 秒経過時における崩土の移動量の比較を図 5 に示す. 地盤の半無限性を考慮しない底面固定条件では, 反射波がモデル内に留まることで応答が増幅しており, 崩壊量も大きくなっている. 検討より, 適切な境界条件の重要性を確認した.



(a) 底面固定(E+F) (b) 粘性境界(2E)

図 4 斜面崩壊解析における絶対加速度の応答比較

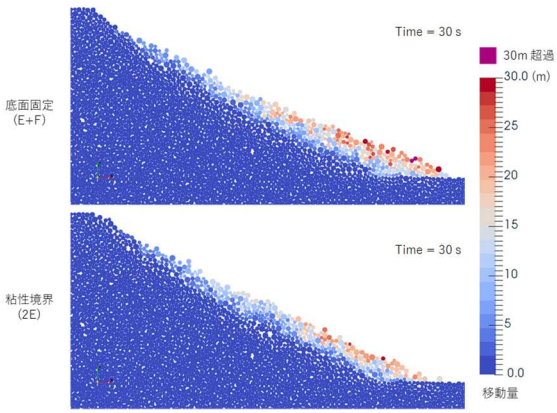


図 5 右側斜面の崩土移動量の比較

7. まとめ

本研究では, 地震時の斜面の崩壊挙動を検討するため, 個別要素法を用いた解析を行う際の境界条件の影響について検討し, 効果と重要性を確認した.

参考文献

1) 地震工学研究所:SuperFLUSH/2D 使用説明書 Version6.1, 2015.7
2) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 耐震設計編, 丸善, 2012.3