

個別要素法による斜面崩壊過程の地震応答解析

今治造船 正会員 ○板東翔吾
香川大学工学部 フェロー会員 野田 茂

1. まえがき

最近の斜面災害事例に見るように、地震時における斜面崩壊メカニズムの高精度予測法が必要とされている。そこで本研究では、三次元個別要素法を適用することにより、地震と地下水位の同時影響を調べるとともに、各種パラメータ設定が地震応答特性に及ぼす影響、すなわち大変形領域に着目した斜面の変形・崩壊過程の力学的挙動を分析する。また、斜面崩壊に伴う擁壁の破壊現象や崩壊岩塊と構造物の衝突現象についても解明する。

2. 斜面のモデル化

斜面は球状の粒状体要素の集合でモデル化する。地層は3層(上層を砂質シルト岩層、中間層を凝灰質砂岩層、下層を砂質シルト岩の基盤層)とする。底面からの高さ45m、長さ75m、奥行き3mのモデル寸法を設定する。パラメータ設定に当たっては現実的になるように努めた。ここでは、解析時間の都合上、擬似二次元モデルとして取り扱う。

連続した岩石は隣接した粒状体同士の接着によって表現する。モデル作成には落下法によるパッキング操作を行い、斜面の地表高さよりも上位の存在要素を除去することで斜面の任意形状を得る。

モデル底面には調和波ならびに実地震波を入力する。これより、本モデルの応答倍率に関する基本特性を把握する。本地盤モデルの卓越周期は約0.5秒である。

3. 斜面モデルの地震応答解析

ここでは、パラメータや条件などの異なる3ケース(ケース1:基本条件, ケース2:地下水位考慮, ケース3:上部層強度低下)の解析結果を示す。入力地震動は、新潟県中越地震における長岡-15m地点の強震データ(KiK-net)を用い、水平・上下2方向同時入力とする。地震応答解析に当たっては斜面モデル内の代表地点における時刻歴応答を調べる。

基本条件下であるケース1の解析によれば、地震動による繰り返し応力により、まず弱層である中間層が破壊され、時間経過とともに上部層へ亀裂・破壊が進展した。図-1に示すように、斜面下部が前方に膨らみだし、斜面上部が沈

下する形状変化が見られた。基盤層に接する中間層は、完全破壊したものの移動せず、上部層の岩塊がその中間層の上を滑るように一体となって斜め下方向に崩落する挙動を呈することがわかった。

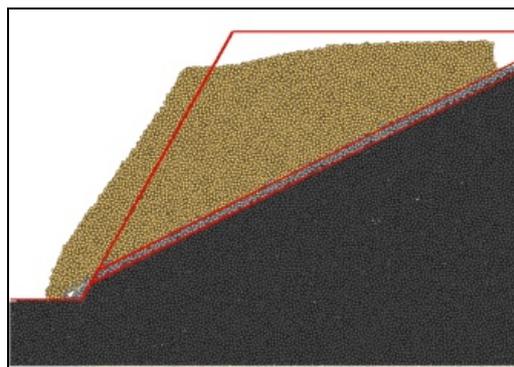


図-1 ケース1の斜面形状変化

斜面モデルの基本的な設定はケース1と同様にした上で、ケース2では降雨などにより斜面内部に地下水位が発生した場合の地震時挙動を調べる。

地下水は基盤層から上部5mまでに分布すると仮定する。間隙水圧モデルの適用により、同領域の粒子には間隙水圧を与える。崩壊形態についてはケース1と大きな違いはないが、すべり出すタイミングが早く、さらに図-2に示すように、地下水の存在しないケース1に比べ、岩塊の水平方向移動量が大きくなることを確認される。これは間隙水圧モデルによって対象領域内の間隙水圧が上昇したため、斜面が動きやすくなったことによる。

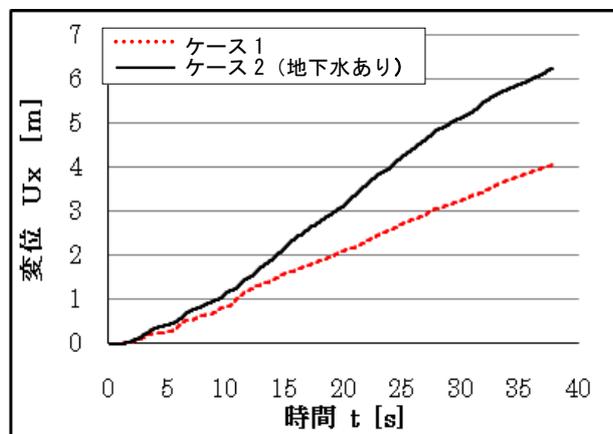


図-2 ケース1と2の水平移動量の比較

キーワード 個別要素法, 斜面崩壊, 地震応答, 擁壁解析, 衝突解析

連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20, Tel & Fax: 087-864-215

ケース3では、風化などを想定し、基盤層より上部地盤の強度低下を仮定した。これより、基本ケースの崩壊形態との相違点などを調べる。図-3 右図はボンディングの破壊を示したもので、白いほどそれが強いことを意味する。

地震動によって基盤層より上の層全体に亀裂・破壊が進展したことで、強度が著しく低下した。図-3 に示すように、斜面頂部から末端にかけての領域が自重により円弧上のすべり面を形成するとともに、後方の岩盤との間に大きな亀裂が発生して崩壊している。さらに、崩壊領域の後方では同様の崩壊が発生する可能性がある。これは進行性破壊の様相を呈する。このような崩壊形態は、上部層すべてが一体となって滑り移動したケース1の結果と大きく異なる。基盤層上部の地盤強度の差異により、崩壊形態が変化することが明らかになった。

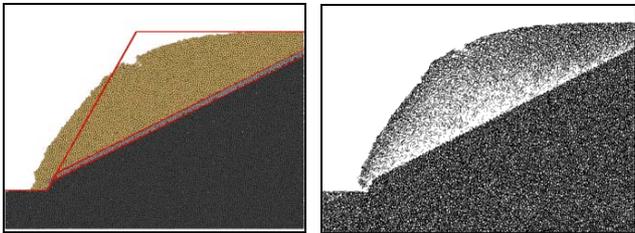
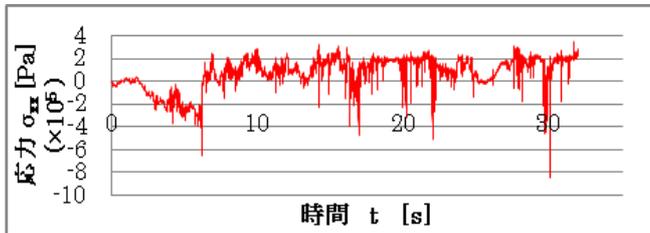


図-3 ケース3における斜面形状変化と破壊の様子

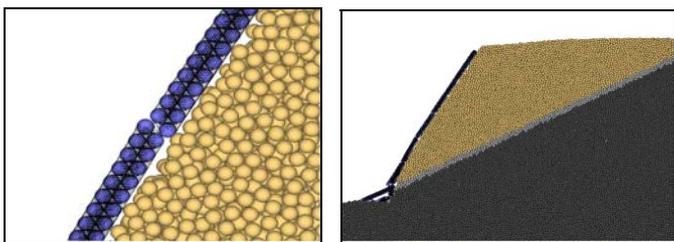
4. 斜面崩壊が構造体に及ぼす影響解析

ここでは、斜面モデルに対し、擁壁や防護工のようなコンクリート構造物モデルを加えた数値シミュレーションにより、斜面崩壊が構造体に及ぼす影響を分析する。

斜面に擁壁構造物モデルを設置した場合の地震応答解析結果を示すと、図-4 のようになる。構造物には地震動によるせん断応力で亀裂が生じ、斜面の膨らみだしによって前方に押し出され、大きな破壊に至っている。



(a) 擁壁に作用する応力



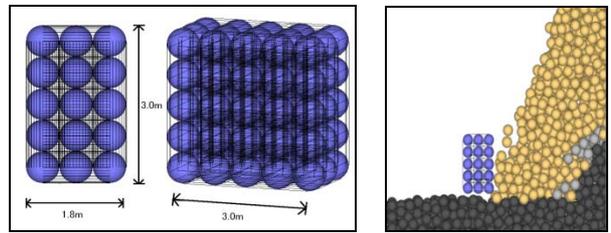
(b) 擁壁の破壊

図-4 擁壁解析の様子

次に、斜面崩壊によって発生した崩壊岩塊とコンクリート構造物との衝突解析を実施した。図-5(a)に示すように、構造物モデルは球状粒状体要素を接着化して結合した直方体モデルである。モデル寸法は幅 1.8m、高さ 3m である。材料はコンクリートとする。構造物は斜面末端部から 5m 離れた地点に設置する。地面に構造物基礎が固定された状態を再現するため、ここでは構造物モデルの最下層に位置する粒状体要素の移動を拘束した。

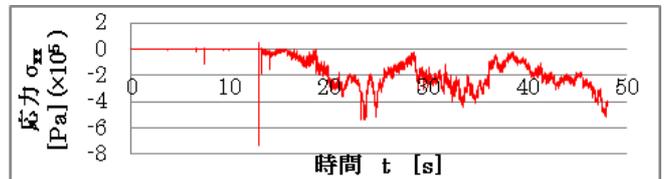
図-5(b)のように、崩落岩塊はまず構造物の最下部から衝突した後、時間経過とともに上部へ衝突する。図-5(c)から確認できるように、最上位に位置する粒状体要素の作用応力が最も大きな値となる。崩壊岩塊の先端上部ほど大きな衝突力を持っているといえる。また、図に見るように、突発的に大きな応力の発生が確認できる。これは斜面表面からの落石や分離した岩石が衝突したことによる。

解析では崩壊体の移動速度が遅かったため、衝突応力の最大値が構造物モデルの破壊強度に達しなかった。このため、構造物の形状に大きな変化は見られなかった。崩壊岩塊は構造物に衝突し、構造物を破壊することなく、飲み込むような挙動に至っているといえる。粒状体要素を増やしてマイクロ化することにより、岩塊が構造物まで到達して衝突する一連の過程の現象を可視化して詳しく解明できることが明らかになった。



(a) 構造物モデル

(b) 衝突の様子



(c) 衝突力

図-5 崩壊岩塊と構造物の衝突解析結果

5. あとがき

本研究では、三次元個別要素法を斜面モデルに適用した地震応答解析により、種々の条件下における斜面崩壊の挙動、崩壊岩塊の到達状況や構造物への衝突による影響など、定量的な分析を行った。本検討により、斜面災害に関する一連の現象を総合的に解析可能な数値シミュレーション法を提案できたと考えられる。