

○安田勇次, 松村和樹, 尾崎順一 (財)砂防・地すべり技術センター  
水山高久 京都大学大学院農学研究科, 土屋 智 静岡大学農学部

## 1. はじめに

規模の大きな地震とともに斜面崩壊が誘発され土砂災害を生ずることは、阪神・淡路大震災や芸予地震にみられるおりである。地震時に発生する斜面崩壊の多くは表層崩壊であり、どのような地形要素を有する斜面で多発する傾向にあるかについては、地震加速度や地形要素と崩壊発生分布を統計的に取り扱った研究が精力的に進められ、その蓄積結果も少なくない。しかしながら、地震時にどの斜面が危険となるかといった実際的な問い合わせには、解析評価方法を含め応用的な成果に乏しく、モデル斜面を用いた適用<sup>1)</sup>に留まっているのが現実である。そこで本研究は、地形形状の違いが地震加速度の大きさのみならず、地震時の斜面形状(残留変位)に及ぼす影響を定量的に把握することを意図し、モデル斜面と阪神・淡路大震災時に表層崩壊を発生させた実斜面とを用い、3次元動的振動解析を試みたので以下に報告する。

## 2. モデル斜面における地形形状の影響

### 2.1 解析モデル

解析に適用する地形モデルは、幅140m、長さ200m、全層厚8mの水平から32°の傾斜を有する平坦部に、尾根部の地形をイメージした凸型橈円体(長(a)・中(b)・短(c)軸の半径をそれぞれa=70m、b=35m、c=10m)とする地形モデル(図-1参照)である。また比較ケースとして上記の斜面傾斜角θを20°としたケース、及び橈円体の短(c)軸半径をc=5mとしたケースを設定した。入力地震波の卓越周期などを考慮して、地形モデルのX、Y方向の分割の大きさは500cm×500cm、深度Z方向の分割は25cm~250cm程度の8層構造とした。

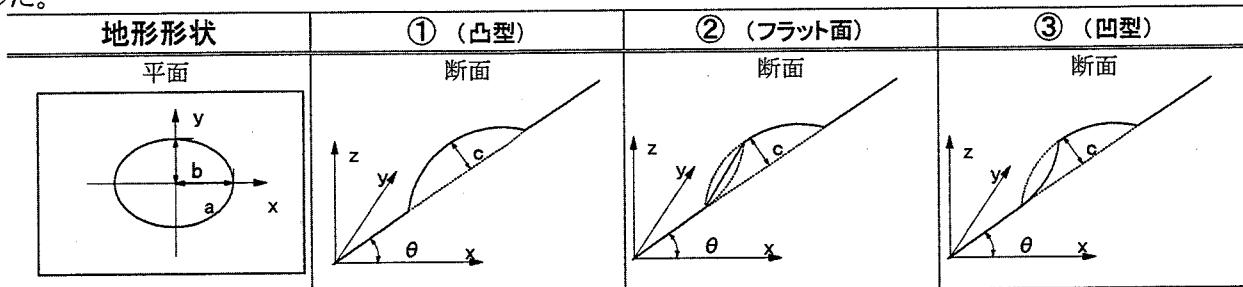


図-1 地形モデルの概念図

入力地震波は、兵庫県南部地震時に神戸大学で計測された地震波形をもとに、その地震波形のEW成分( $\text{Acc}_{\max}=3.0 \text{m/s}^2$ 程度)、斜面長さ方向(X)の水平方向のみを与えた。境界条件としては、底面を周期境界、側方を周期境界とローラー境界としている。

### 2.2 解析結果

残留変位は、凸型の方がフラット面及び凹型より大きく、凸型・フラット面・凹型のいずれの場合でも曲率が大きい程、残留変位も大きい。また、地震波形の入力方向に影響されるが、対象斜面に水平方向に地震波形を入力した場合には、斜面中心より左右方向で残留変位が大きくなる傾向がある。さらに層厚を一定とした場合、残留変位は地形の凸度が大きくなると、残留変位も大きくなる。

### 2.3 回帰分析

地震時の斜面変形と地形形状の関係を把握するため、地形特徴係数として①平均曲率、②局所傾斜角、③局所傾斜面方向を設定し、地表面の残留変位(ベクトル値)との重相関関係をみた。局所傾斜方向を10度毎に分割し、全体傾斜面角32°の凸面ケースを対象とした。

表-1 重回帰解析結果——偏回帰係数一覧

偏回帰係数		局所傾斜方向 10度毎						平均値
相関項目	係数記号	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-180	
平均曲率 x1	c	0.1316	0.5514	0.0094	-0.3483	-0.2028	0.0655	0.0345
傾斜角 x2	a	0.4046	0.7510	-0.5400	-0.7723	-0.0332	-0.2874	-0.0796
傾斜方向 x3	d	-6.6722	-0.8361	0.8326	-1.6497	-6.8491	-3.7400	-3.1524
定数 10	k	14.6436	2.6050	-0.0166	5.0176	15.6043	9.6409	7.9158
データ個数	N	10	9	15	20	26	32	19

モデル形状および局所傾斜方向との単相関結果には対称性があるため、データ数 251 個のうち、120~180 度範囲内の 112 個を対象に、重回帰分析を行い各項目ごとに偏回帰係数を求めた（表-1）。この解析結果より「平均曲率と局所傾斜角による影響度は、概ね斜面縦断方向より斜面横断方向の方が大きいこと、局所傾斜方向による影響度は、斜面縦断方向の斜面下方より約 45 度と成る斜面方向で最も大きい。」ことが読み取れる。

### 3. 実斜面地形を用いた動的振動解析

#### 3.1 地形モデルの概要

検討対象地域は、1995 年兵庫県南部地震による新規崩壊箇所を有する神戸市住吉川五助地区を対象とした。対象地域の層厚および土質・岩質などは、既往の調査結果（ボーリング柱状図、標準・簡易貫入試験、比抵抗、P S 検層など）をもとに、対象地域の代表的な断面における土質・岩質分布を把握して、表層の平均的な層厚を設定した（図-2, 3 参照）。入力地震動は、神戸大学で観測された速度波形の 3 成分を用いた。

#### 3.2 解析結果

図-3 に阪神・淡路大震災時に表層崩壊を生じた個所（図-2 四角内○の位置）における加震後の残留変位の分布図を示した。図-3 から岩盤部と土砂部の境界付近より浅い領域において、残留変位が大きくなり、斜面上部の凸型部分に斜面下方方向の大きな残留変位を生じていることがわかる。このことから、表層土層において地震波が增幅され、特に凸型の地形形状を有する斜面においては、ひずみが大きくなることが示された（図-3(a)）。

一方、図-3(b)に示した崩壊地周辺の斜面では、図-3(a)に見られるほどの残留変位は生じていない。このことから、モデル斜面で行った解析と同様に、局所的な凸型斜面の形状が、地震時に表層崩壊を生じ易い傾向にあると判断される。

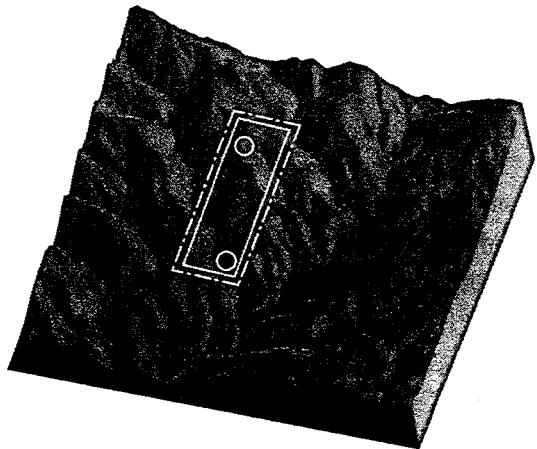


図-2 解析範囲位置図

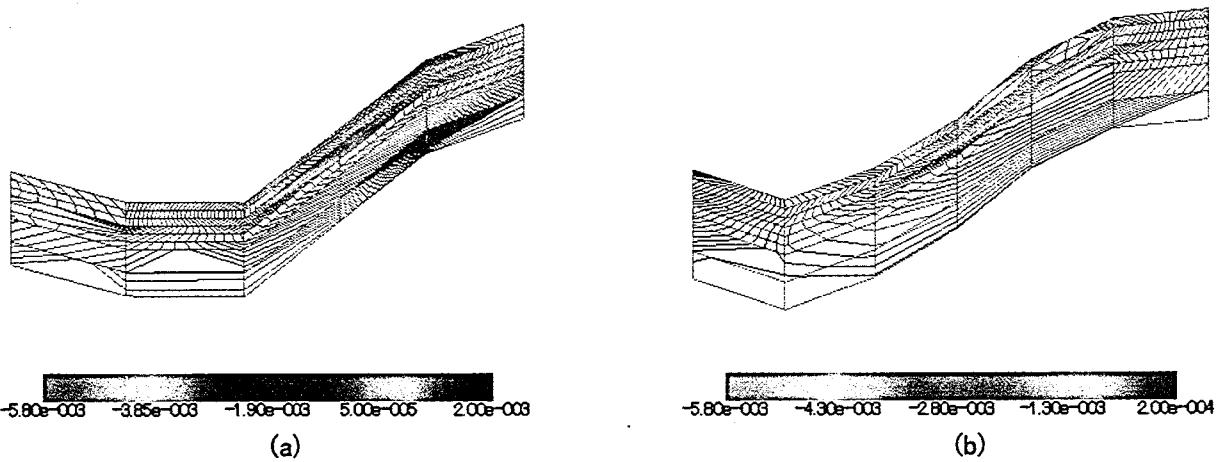


図-3 残留変位分布図

### 4. おわりに

今回用いた 3 次元動的振動解析は、地震波の卓越方向に対する斜面方向や局所的な地表面の形状に応じて異なった斜面上のひずみレベル（残留変位）を応答しており、これは地震時に表層崩壊が生じるメカニズムを反映したものと考えている。今後は、これらの解析結果を詳細に議論することで、表層崩壊の発生・非発生に係る閾値等の条件について検討していく予定である。最後に本研究は、（社）砂防学会と（財）砂防・地すべり技術センターとの共同研究によって行われたものであり、本研究を進めるにあたりご尽力頂いた関係者の方々にこの場を借りて、謝意を表します。

### 引用文献

松村ら (2002), 地震による斜面崩壊に関する地形効果の解析的研究, 平成 14 年度砂防学会研究発表会概要集, (社)砂防学会, p.206-207