

神戸大学都市安全研究センター 沖村 孝
 神戸大学都市安全研究センター 鳥居 宣之
 神戸大学大学院 ○大西 哲史
 神戸大学大学院 高本 絢也

1. はじめに

1999年9月21日に発生した921集集地震により台湾中部で多くの斜面崩壊や地すべり性崩壊が発生し、その数は台湾中部で21,969箇所と言われている¹⁾。地震直後から地震後の降雨による崩壊地の拡大や崩壊土の土石流といった二次災害が懸念されている。本研究では、まず921集集地震を起因とする斜面崩壊地を対象として、数値地形モデルを用いて地形立地解析を行い、この結果と沖村ら²⁾によって得られている兵庫県南部地震により生じた六甲山系における斜面崩壊地の地形的特徴を比較することにより、921集集地震を起因とする斜面崩壊地の地形的特徴を明らかにする。次に、921集集地震で発生した崩壊地ならびに地震後の降雨で発生した崩壊地を対象として、地震応答解析ならびに斜面安定解析を行うことにより、地震動が表土層に与えた影響について考察を行う。

2. 地形立地解析

図-1に示す解析対象地において、数値地形モデルを用いて地形立地解析を行った。具体的には、格子間隔40mの数値地形モデルを用いて、対象領域内における局所地形量²⁾(傾向面の傾斜、傾向面の偏差、傾斜方位)を単位格子ごと(単位格子の大きさは40m)に算出した。また、崩壊の中心を含む単位格子を崩壊単位格子と定義した。なお、対象地域における崩壊地分布は台湾大学の林教授より入手したGISデータベースを用いた。それぞれの局所地形量毎に対象領域全体の単位格子数、崩壊単位格子数ならびに崩壊出現率を求めた。なお、崩壊出現率とは局所地形量ごとの対象領域全体の単位格子個数に対する崩壊単位格子数の百分率である。傾向面の傾斜毎の崩壊出現率(台湾-六甲山系)を図-2に示す。図-2より台湾では、傾斜が0-45°くらいまで崩壊出現率が徐々に増大し、45°で最大値2.3%となり、45-75°で徐々に減少することがわかる。一方、六甲山系では、全体として右上がりの傾向、つまり70°までは傾向面の傾斜の値が大きいほど崩壊が発生した割合は高かったといえ、台湾では六甲山系に比して、やや傾斜のゆるやかな場所での崩壊が発生しやすい結果となった。また、台湾において崩壊出現率の最大と最小の差は2.3%であるのに対し、六甲山系では6.0%と大きく、傾斜が増すと崩壊出現率も大きく増大しており、台湾において傾向面の傾斜というパラメーターが崩壊に与える影響は、六甲山系に比して小さかったといえる。傾向面の偏差毎の崩壊出現率(台湾-六甲山系)を図-3に示す。図-3より、台湾において傾向面の偏差の値が14-15mのとき崩壊出現率は最大値5.2となっており、一方六甲山系において傾向面の偏差の値が13-14mのとき崩壊出現率は最大値4.0となっている。分布形状、崩壊出現率の値は台湾と六甲山系において顕著な差は存在しない。地表面の凹凸の激しい場所ほど崩壊の発生する割合が高くなるのは台湾、六甲山系どちらにおいてもみられる傾向であった。斜面方位でみると、台湾ではNNW→SSE系、N→S系、NNE→SSW系の斜面で出現率が2.0を超え、崩壊が発生しやすかったといえ、これは本解析対象地をNE→SW向きに横切っている雙冬断層とほぼ平行方向であった。一方、六甲山系ではNE-SW方向の出現率

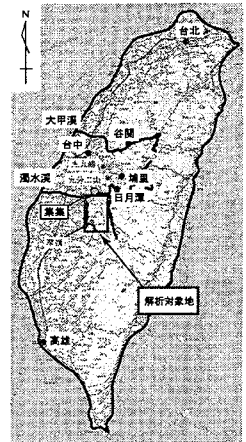


図-1 解析対象地

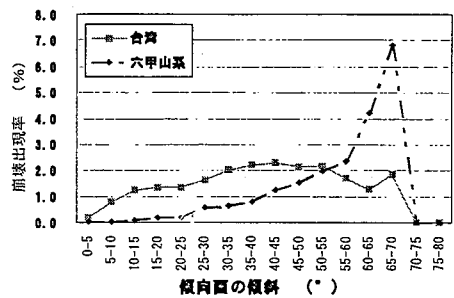


図-2 傾向面の傾斜毎の崩壊出現率

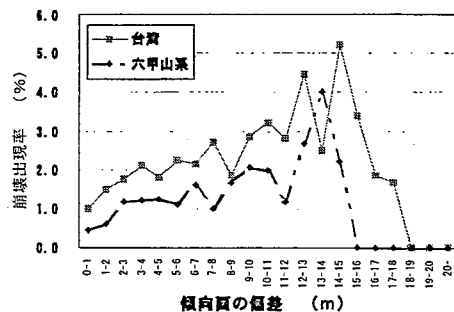


図-3 傾向面の偏差毎の崩壊出現率

が 2.0 以上と高いもののその傾向は顕著ではなく、崩壊の方向の顕著な方向性はみられなかった。

3. 地震応答解析

解析対象地として埴里地区を選んだ。この地区は集集（震源）から北東に約 20km に位置し、地震 (No. 1) ならびにその後の降雨 (No. 2) により崩壊が発生している (図 - 4 参照)。地震応答解析 (SUPER-FLUSH) に用いた入力地震動は、解析対象地近傍 (埴里) で観測された地震動を各々の対象地に水平方向に作用する地震動をベクトル変換し求めた。なお、入力物性値のうち表層のせん断波速度は N 値から算出した。なお N 値は簡易貫入試験より得た N_{10} 値から求めた。他の入力物性値は既存の文献³⁾を参考に設定した (表 - 1 参照)。

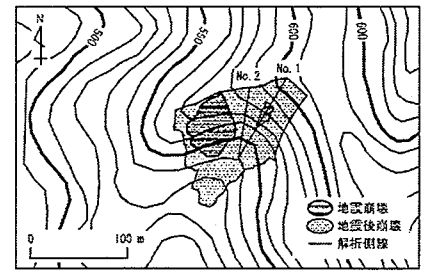


図 - 4 解析対象斜面

表 - 1 地震応答解析に用いた物性値

	単位体積重量 (kN/m^3)	せん断波速度 (m/s)	初期せん断弾性 係数(kPa)	ポアソン比	初期減衰定数
表層	15.88	114.4	21200	0.36	0.03
基盤	25.48	500.0	650000	0.20	0.03

最大応答加速度分布について No. 1, 2 とともに標高が高くなるほど加速度が増幅する結果が得られた。なお、解析対象斜面内において No. 1 では最大値が 465gal (地震時の崩壊発生位置では最大 417gal, 最小 298gal), No. 2 では 297gal を示し、地震で崩壊した No. 1 の方が地震後崩壊の No. 2 より大きな値を示した。次に最大せん断ひずみ分布について No. 1, 2 とともに表層と基盤の境界部分で大きなせん断ひずみが生じており、No. 1 の地震時の崩壊発生位置では最大 1.2×10^{-3} のせん断ひずみが発生していた (図 - 5 参照)。この値は、兵庫県南部地震時に発生した六甲山系の崩壊地を対象とした解析結果と同様の結果であった⁴⁾。一方、No. 2 では斜面全体に 10^{-4} オーダーのせん断ひずみが生じていた。これらの値は、六甲山系における解析結果⁴⁾から、せん断強度の低下が生じ始めるせん断ひずみの大きさであり、このような地震の影響を受けた結果、No. 2 ではその後の降雨で崩壊に至ったのではないかと考えられる。

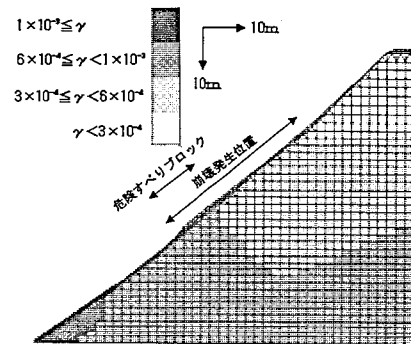


図 - 5 最大せん断ひずみ分布図 (No. 1)

4. 多平面安定解析 (地震時)

前述した崩壊地を対象として、地震時における斜面安定解析を行った。解析手法として安全率と同時に危険すべりブロック (安全率が最小となるブロック) を求められる多平面安定解析 (地震時) を用いた。この手法は沖村⁵⁾が提案した多平面安定解析を地震時でも適用できるように水平震度 (時刻暦) を新たに考慮に入れたものである。ここで水平震度 (時刻暦) は前節の地震応答解析から各節点ごと加速度 (時刻暦) を求め、それをもとに算出した。なお、入力物性値のうち単位体積重量は現地試料より求め、内部摩擦角については N 値から求めた。また、動的粘着力は静的粘着力を平常時に安全率が 1.2 になるような値として逆算し求め、その 1.5 倍を動的粘着力とした。安定解析を行った結果、安全率は No. 1 で 0.90, No. 2 で 1.05 となった。また、危険すべりブロックの発生位置について No. 1 ではブロック数は異なるものの、実際の崩壊発生位置と同じ斜面中部の表層が厚く分布している部分に生じていた。

表 - 2 入力物性値

単位体積重量 (kN/m^3)	動的粘着力 (kPa)	内部摩擦角 ($^\circ$)
15.88	9.74	27.8

参考文献: 1) 行政院農業委員会水土保持局: 921 集集大地震坡地水土災害及復建紀實, 133. pp13-69, 2000., 2) 沖村孝ほか: 兵庫県南部地震による山腹斜面崩壊の実態, 土地造成工学研究施設報告, 第 13 号. Pp147-167, 1995., 3) 例えば, 申潤植: 地すべり工学 - 理論と実践 -, 山海堂, テーマ 1 斜面の安定問題に関する基礎概念, pp. 58-59, 1989. 4) 沖村孝ほか: 地震動が表土層厚に与えた影響について - 五助橋地区を対象として -, 建設工学研究所論文報告集, 第 41-B 号, pp61-75, 1999., 5) 沖村孝: 数値地形モデルによる崩壊発生危険度の予知に関する研究, 自然災害特別研究 (2) 研究成果報告書, 138p, 1985.