

III-A 228 兵庫県南部地震により発生したトップリング性斜面崩壊に関する基礎的研究

神戸大学大学院 学生員 鳥居 宣之
 神戸大学工学部 正会員 沖村 孝

1. はじめに

兵庫県南部地震により発生した斜面崩壊の特徴として、破壊面が円弧等で表されるような平滑なすべり面ではなく、凹凸の激しい破壊面を示す崩壊地が見られたことが確認されている。このような崩壊地では、崩壊の形態としてトップリング破壊（転倒破壊）が発生したと考えられる。トップリング破壊は風化が進行し、節理が発達した硬岩から成る急勾配の傾斜地では支配的な崩壊様式と考えられ、特に地震時には水平方向の慣性力が作用するため、斜面崩壊として発生しやすい様式と考えられる¹⁾。このような形態の斜面崩壊のメカニズムを明らかにするには、すべり面安定解析手法ではなく、トップリングのメカニズムを考慮に入れた解析手法を用いる必要がある。そこで本研究では、ブレイらが提案している²⁾ 階段基盤上に生じるトップリングの極限平衡解析モデルを用いて、地震時に発生するトップリング性斜面崩壊の安定解析を試みた。

2. 本研究の手法

本研究では、ブレイらの²⁾ 階段基盤上に生じるトップリングの極限平衡解析モデルに地震動を作用させて、地震時に発生するトップリング性斜面崩壊の安定解析を試みた。本手法のフローチャートを図-1に示す。

3. モデル斜面への適用結果

まず図-2に示すようなモデル斜面に対して、前節の方法を用いて安定解析を行った。モデルAは遷急点が斜面中央部にある場合を、モデルBでは遷急点が斜面上部にある場合を想定している。表-1に示す条件で、それぞれのモデル斜面に地震動を作用させ、そのときの極限内部まさつ角 ϕ_i を求めた。それぞれのモデル斜面に地震動を作用させ、そのときの極限内部まさつ角 ϕ_i を求めた。得られた水平震度(k_h)と極限内部まさつ角との関係を図-3 a), b)に示す。図-3 a)のタイプ1~3についてみると、ブロック基盤の傾斜角(ϕ)の値の小さいタイプ1はタイプ2および3に比して、同じ水平震度に対する極限内部まさつ角の値が小さいことがわかる。つまり、ブロック基盤の傾斜角の値が大きいほど、地震動が作用した場合に大きな内部まさつ角でも崩壊しやすい傾向があるといえる。また、図-3 b)に示したタイプ4~6においても、同様にブロック基盤の傾斜角の値が大きいほど、地震動が作用した場合に壊れやすい傾向がみられる。しかし、タイプAとBとでは、水平震度が0.2までのそれぞれのタイプの斜面における極限内部まさつ角は、ほぼ同じ様な値を示しているが、水平震度が0.2以上になると、タイプ1では水平震度が0.5の時でも極限内部まさつ角の値は存在するが、タイプ4では水平震度が0.32以上では存在しておらず（式の定義上、極限内部まさつ角 45° 以上の解を求めることができない）、タイプ1に比してトップリングもしくはすべりが生じや

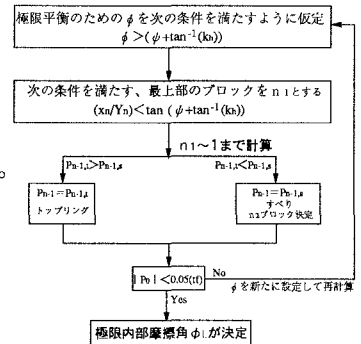


図-1 本研究のフローチャート

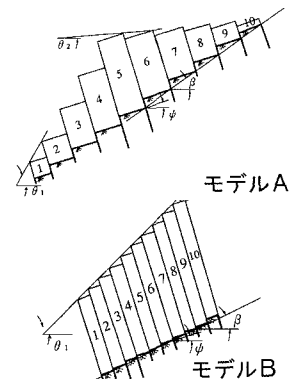


図-2 本章で用いたモデル斜面

表-1 解析条件

斜面タイプ	モデル斜面	φ (°)	β (°)	θ ₁ (°)	θ ₂ (°)	頂部ブロック
1	A	10	25	50	5	5
2	A	15	25	50	5	5
3	A	20	25	50	5	5
4	B	10	25	35	0	10
5	B	15	25	35	0	10
6	B	20	25	35	0	10

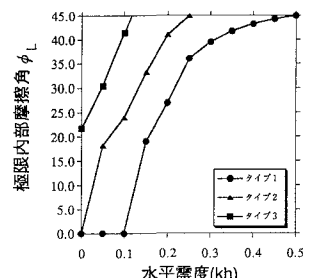


図-3 a) 水平震度(k_h)と極限内部摩擦角 ϕ_i との関係

すいといえる。つきに、極限平衡時の各ブロックの挙動がトップリング、すべりあるいは安定な状態であるかを調べた。その結果、斜面中央部に遷急点があるタイプ1~3では、遷急点を中心にして、遷急点より上部では安定のブロックが、遷急点付近ではトップリングのブロックが、下部ではすべりのブロックが出現しており、それらは水平震度の値が大きくなるにつれて、トップリングのブロックが上部および下部方向に広がること明らかになった。また、斜面上部に遷急点があるタイプ4~6をみるとタイプ1~3とは異なり、トップリングのブロックは斜面の最上部から始まる。トップリングが起ると安定ブロックが出現しなくなり、水平震度の値が大きくなるにつれて、トップリングのブロックが下部方向に広がっていく。これらのことから、トップリングは遷急点付近を中心にして始まり、水平震度の値が大きくなるにつれて、ブロック全体に広がっていくといえる。

4. 崩壊斜面への適用結果

今回の地震により発生したトップリング性斜面崩壊を対象に安定解析を行った。対象とした斜面は図-4に示す住吉川上流の小峰ヶ原堰堤付近で発生した斜面崩壊である。崩壊斜面1および2の縦断面は、現地測量および縮尺1/2, 500の地形図より求めた。それぞれの縦断面を図-5に、解析条件を表-2に示す。これらの崩壊斜面に対して前節と同様に、地震動を作用させ、そのときの極限内部まさつ角を求めた。得られた水平震度と極限内部まさつ角との関係を図-6に示す。この図より、斜面No. 1の常時(水平震度が0の時の)の極限内部まさつ角の値は27.52°であるのに対して、斜面No. 2は42.97°と斜面No. 1に比してかなり大きな値である。しかし、水平震度が大きくなるにつれて、これらの値はほぼ同じ値の44.7°を示している。これは、この2つの斜面の持つ内部まさつ角の値が同じであるとしたならば(ただし、斜面No. 2が常時において安定であるためには内部まさつ角 ϕ の値は常時の極限内部まさつ角が42.97°以上であることが必要)、斜面No. 1の方がNo. 2に比して常時や水平震度の値が小さいときには安定であるといえる。ところが、これら2つの斜面は今回の地震により共に崩壊しており、図-4より2つの崩壊地間の距離は約230mであるため、地質的にもほぼ同一の六甲花崗岩で、作用した地震動の大きさもほぼ同一と仮定すると、図-6の2曲線の交点で示される極限内部まさつ角と水平震度の値がこれら2崩壊地のもつ内部まさつ角と作用した地震動であると考えられる。つまり、これら2崩壊地の内部まさつ角は、図-6より極限内部まさつ角は44.71°で、水平震度は0.285であったと考えられる。また、このとき斜面No. 1の全てのブロックがトップリングのブロックに属し、斜面No. 2では最上部からNo. 3ブロックまでがトップリングに、No. 2, 1ブロックはすべりのブロックであった(図-5参照)。

- (参考文献) 1) 石田毅, 日比野敏, 北原義浩, 浅井義之: 斜面の転倒・滑落破壊に対する個別体要素法の適用性について、土木学会論文集、第358号、Ⅲ-3、pp. 147-155、1985。
2) E. フック, J. W. プレイ (小野寺透, 吉中龍之進共訳): 岩盤斜面工学、朝倉書店、293. p、1979。

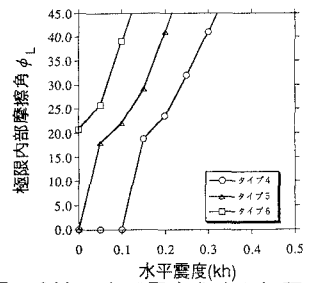


図-3b) 水平震度(k_h)と極限内部摩擦角 ϕ_L との関係

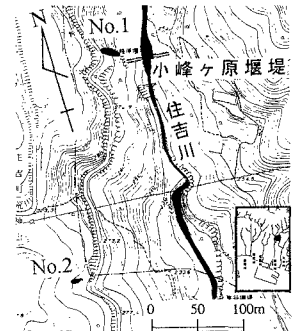


図-4 解析対象とした崩壊斜面の位置図

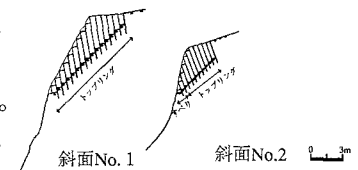


図-5 崩壊斜面の縦断面図

表-2 解析条件

斜面No.	ϕ (°)	β (°)	θ_1 (°)	θ_2 (°)	頂部ブロック
1	11	43	60	8	10
2	22	45	80	15	6

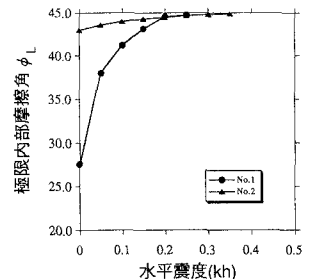


図-6 水平震度(k_h)と極限内部摩擦角 ϕ_L との関係