

# 地形要因が斜面崩壊発生に及ぼす影響についての検討

建設省土木研究所 ○笹原克夫・綱木亮介  
パシフィックコンサルツ（株） 平松晋也

## 1. はじめに

豪雨時に頻発する斜面崩壊(山腹表層崩壊)は、その表層部を形成する土層の物理的な移動現象であり、発生誘因となる降雨の他、地形、地質、植生、土壌の物理特性等の素因が複雑にからみあった結果生じることになる。これらの要因がどの程度崩壊現象に影響を及ぼすのかを知ることは、崩壊地調査時の着眼点である調査重点項目を知り、斜面の有する崩壊発生ポテンシャルを把握する上で重要となる。ここでは、地形図や空中写真判読により計測が比較的容易であり、斜面の安定性に及ぼす影響も大である『地形要因』に着目し、地形要因が斜面崩壊の発生に及ぼす影響度を定量的に把握した。

## 2. 調査対象斜面の概要

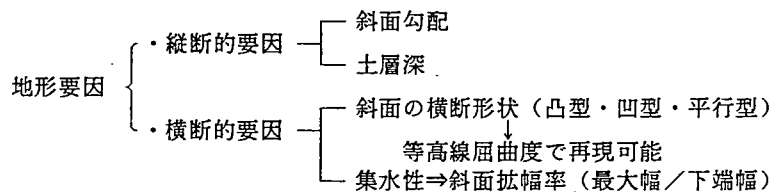
調査対象斜面は、平成3年9月の伊豆半島南部で発生した集中豪雨により斜面崩壊が多発した静岡県下田市の北方約5kmに位置する落合地区内の24斜面である。いずれも急峻な山腹斜面を形成しており、これらの斜面には小規模な沢が多数分布している。平成3年9月に発生した斜面崩壊は、これらの谷部に集中して認められた。当該斜面の地質は、第三紀湯ヶ島層郡の輝石安山岩により構成されており、隆起に伴う破碎が激しいために極めて脆弱な地層を呈している。同災害時の豪雨は、連続雨量：328.5mm, 最大時間雨量：90mmを記録し、1～2時間の内に集中して強い雨がかった。なお、同地区における災害発生時刻は、最大時間雨量発生時である9月10日午後3時～4時と報告されている。

## 3. 地形要因の抽出並びに標準斜面形状の設定

地形要因の抽出を行い、その影響度評価を行うにあたっての基準となる標準斜面形状を設定した。

### 3.1 地形要因の抽出

森林山腹斜面を構成する地形要因は、  
図-1に示すように縦断的要因と横断的要  
因とに大別される。



#### 3.1.1 斜面勾配

降雨期間中やその終了直後における土層内部での地下水深の消長を支配することになる斜面勾配は、崩壊現象を考える上で重要な要因となる。また、土層内での飽和側方流の移動状況を考えると、急勾配から緩勾配斜面への勾配急変点において雨水の流れは遅くなり、この地点を境に地下水深が急激に上昇するようになる。このため、斜面勾配としては、①集水域の斜面勾配（斜面の上流部勾配）、②斜面の下流部勾配を抽出した。

図-1 地形要因の分類

#### 3.1.2 土層深（表土層厚）

表土層厚は、土塊重量として直接的に斜面の安定性に影響を及ぼすことになるのみならず、基岩面への雨水の到達時間すなわち土壌水分状態や地下水深の消長に影響を及ぼすことになる。このため、評価対象項目として、③土層深を抽出した。

#### 3.1.3 斜面の横断形状

対象としている斜面が凸型なのか凹型なのかといった斜面の横断形状は、等高線の曲がり具合すな

わち等高線屈曲度を用いて表現可能となる。ここでは、評価対象項目として④等高線屈曲度を抽出した。この等高線屈曲度（ $a$ ）は、図-2に示したように谷の幅を $X$ 、谷の奥行きを $Y$ とした時、 $a = Y \div X$ で定義し、等高線はサインカーブで近似した。

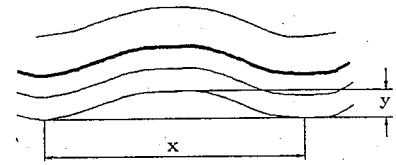


図-2 等高線屈曲度

### 3.1.4 斜面の集水性

集水面積が同一の斜面を考えた場合、斜面勾配や等高線屈曲度が同じであれば斜面の集水性すなわち雨水の伝達のし易さは、図-3に示したように斜面の下端幅と最大幅との比率（斜面拡幅率）やその最大幅の出現位置、及び斜面長によって規定されることになる。このため、斜面の集水性を示す指標としては、⑤斜面の下端幅、⑥斜面拡幅率（最大幅／斜面の下端幅）、⑦最大幅出現位置（斜面下部からの水平距離）、⑧斜面の水平長をそれぞれ抽出した。

### 3.2 斜面形状のモデル化及び標準斜面形状の設定

抽出された地形要因をパラメーターとし、斜面表土層内部における雨水の挙動と斜面の不安定化過程を考慮した【崩壊モデル】を用いてこれらの要因の感度分析を行い、これによって得られた結果の汎用性を得るために、各地形要因の一般化を行った。具体的には、前述の落合地区内の崩壊発生斜面（24斜面）を対象とし、崩壊地の下端部を基準とした集水域を考え、それを図-3のようにモデル化した。なお、集水域の形状は、左右対称と考えた。

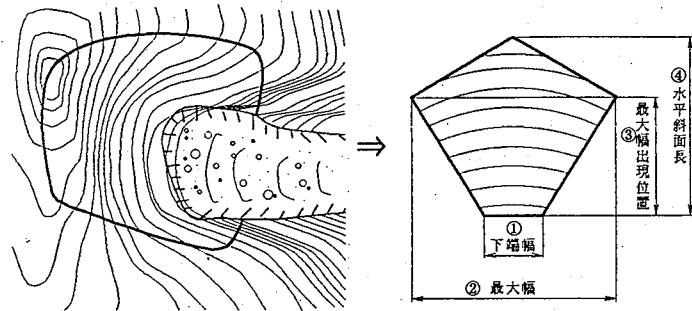


図-3 斜面形状のモデル化

地形要因の崩壊に対する感度分析を実施する上での標準斜面形状（基準斜面）としては、全対象斜面の平均値（表-1）を用いた。各地形要因の平均値を用いることによって得られた標準斜面形状を図-4に示す。図中の平面分割メッシュは、崩壊発生シミュレーション計算を実施する上での基本要素であり、メッシュ間隔は、その地形の再現性や斜面の下端幅の平均値（8.71m）を勘案し、**9m**とした。

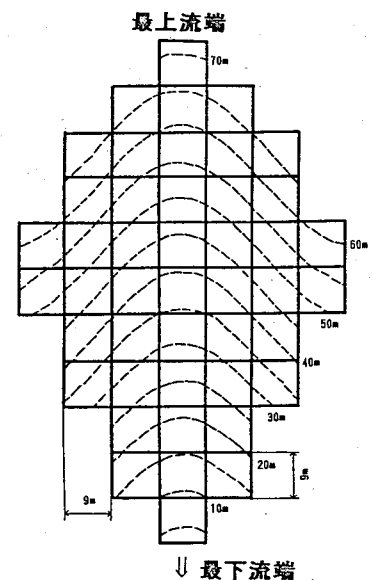


図-4 標準斜面形状

## 4. 地形要因が斜面崩壊の発生に及ぼす影響度評価

地形条件・水文条件・土質条件等の斜面崩壊の発生に至るまでの過程を再現し得る【表層崩壊発生モデル】を用いて、先に抽出した各種地形要因をパラメーターとして種々変化させることにより、これらの要因が崩壊現象に及ぼす影響度を定量的に評価した。

### 4.1 検討ケース及び計算条件

検討ケースは、斜面の下端幅（9.0m）、斜面拡幅率（7.47）、斜面の水平長（103.46m）を各ケースともに同値とし、その他の地形要因に関して表-1に示すようにそれぞれの平均値を含み最大値から最小値へと変化させた場合の計20ケースである。各地形要因の影響度評価を行うに当たり、着目している1つの要因を除き他の要因の値は各ケースを通じて変化しないものとし、それぞれの平均値を採用し

た。また、降雨条件としては、平成3年9月の実績降雨波形を勘案し、降雨強度 50mm/hrの降雨を6時間継続させた。

その他の計算条件については、当該斜面内に対して実施された土質試験結果等を勘案し、各ケースとも表-2に示す値を採用した。

#### 4.2 崩壊発生シミュレーション

##### 4.2.1 表層崩壊発生モデルの概要

ここで使用する【表層崩壊発生モデル】は、斜面内部での雨水の挙動を追跡しようとする『雨水の浸透流下モデル』と斜面が不安定になるまでの

様子を追跡しようとする『斜面安定解析モデル』とによって構成されている<sup>1)</sup>。具体的には、流域を平面二次元的にメッシュ分割し、これによって得られる基本要素毎に一次元鉛直不飽和浸透流解析を実施し、この不飽和領域からの鉛直浸透量を基岩面へと供給することにより平面二次元的に飽和側方流の追跡を行い、この結果得られた地下水深や水分状態を用いて斜面の安定性の検討を行っている。

##### 4.2.2 解析結果

地形要因として集水域の斜面勾配を1.0、等高線屈曲度を0.55及びそれぞれの平均値を採用した標準斜面形状の場合を例として、崩壊発生斜面の出現状況を図-5に示す。標準斜面形状の場合、崩壊は降雨開始390分後より発生し始め、降雨開始440分後には最終的な崩壊地の分布状況（崩壊発生斜面総数：22斜面）を呈するようになることがわかる。こ

のように、崩壊発生斜面が出現し始めてから1時間以内に最終的な崩壊斜面の分布状況を呈するようになったという結果は、同地区での災害発生時間は最大雨量発生時の1時間の間であるといった事実と合致している。また、崩壊発生斜面の出現状況を各ケース毎に眺めると、その出現開始時刻やその後の出現状況及び崩壊発生斜面総数は、地形要因の与え方如何によってかなり異なったものとなることがわかる。図-6は、同ケースにおける崩壊発生斜面の最終的な分布状況である。この結果、崩壊は、周辺斜面部からの雨水の集水域となる谷型斜面部で多発（特に中流部）していることがわかる。これらの傾向は、地形条件の相違により若干の差は見られるものの、全検討ケースで認められた。

##### 4.3 地形要因が斜面崩壊の発生に及ぼす影響度

影響度評価を実施する上での指標としては、「崩壊発生斜面総数」及び「崩壊発生斜面の出現開始時間」をそれぞれ設定した。

各要因の影響度評価を行うにあたっては、沖村<sup>2)</sup>による手法に準拠し、「1)今着目している1つの要因を除き残りの要因の値は変化しない。2)着目している要因の値の変化率とその時の崩壊発生斜面総数及び崩壊発生斜面の出現時刻の変化率とをグラフ上にプロットする。3)得られた直線または曲線の傾きが急なほどその要因は崩壊に対して高い影響度を有する。」と定義した。

表-1 地形要因の影響度評価検討ケース

地形要因	最大値	最小値	平均値	検ケース
集水域の斜面勾配	1.25	0.50	0.71	4
斜面の下流部勾配	0.70	0.25	0.39	4
土層深 (m)	1.75	1.00	1.50	4
等高線屈曲度	0.75	0.05	0.34	5
最大幅出現位置	90.0	27.0	58.41	3

表-2 計算入力諸元

土の粘着力 :C(t/m <sup>2</sup> )	土の内部 摩擦角:φ(度)	土の 間隙率:n	土粒子 の比重	飽和透水係数 (cm/sec)
0.80	28.5	0.535	2.682	1.0×10 <sup>-2</sup>

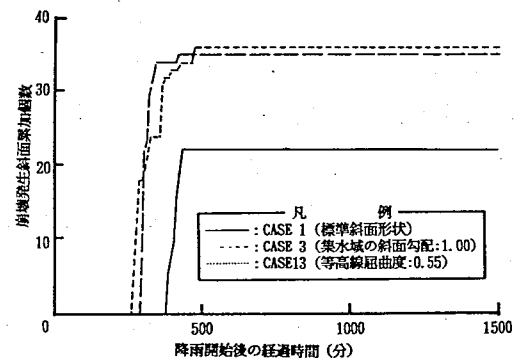


図-5 崩壊発生斜面の出現状況

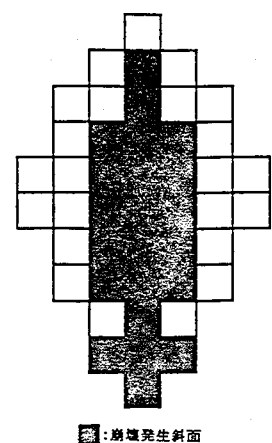


図-6 崩壊発生斜面の分布状況(標準斜面)

#### 4.3.1 崩壊発生斜面総数

図-7は、崩壊発生斜面総数を指標とした場合の各地形要因の影響度評価結果である。同図より、ここで抽出した各地形要因の内、崩壊発生斜面総数に及ぼす影響度は、土層深において最も大きく、次いで集水域の斜面勾配→等高線屈曲度→最大幅出現位置の順となり、斜面の下流部勾配に関しては、その値を0.25~0.70へと約3倍変化させたにも関わらず崩壊発生斜面総数には変化が認められないことがわかる。土層深に関しては、標準斜面より25cm増加させた場合（土層深：175cm）においても崩壊発生斜面総数には変化が見られなかったが、この値をさらに変化させることによ

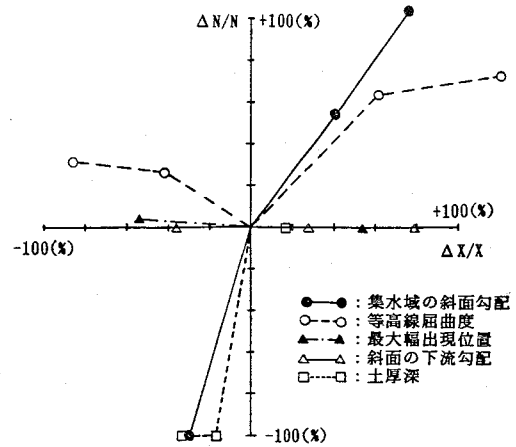


図-7 崩壊発生斜面総数に及ぼす地形要因の影響度

て崩壊斜面数は急増するものと推定される。また、等高線屈曲度に着目すると、標準斜面（中央値:0.34）を境にその値を増加させた場合・減少させた場合双方において崩壊発生斜面総数の増加が認められた。これは、この中央値を境に等高線屈曲度を増加させることにより谷型斜面部ではさらに集水性が高くなり、斜面内での地下水深も増加するようになり、一方、その値を減少させることにより等高線屈曲度が大きかった場合には周辺斜面域への雨水の供給域であった尾根型斜面部や平行型斜面部においても排水性が低下し地下水深が増加するようになったことによるものと判断される。

#### 4.3.2 崩壊発生斜面の出現開始時間

図-8は、崩壊発生斜面の出現開始時間を指標とした場合の各地形要因の影響度評価結果である。同図より、崩壊発生斜面の出現開始時間は、集水域の斜面勾配・等高線屈曲度の増加とともに、また、土層深・最大幅出現位置の減少とともに早くなる傾向が認められる。一方、斜面の下流部勾配に関しては、崩壊発生斜面総数と同様に崩壊発生斜面の出現開始時間への影響は認められなかった。

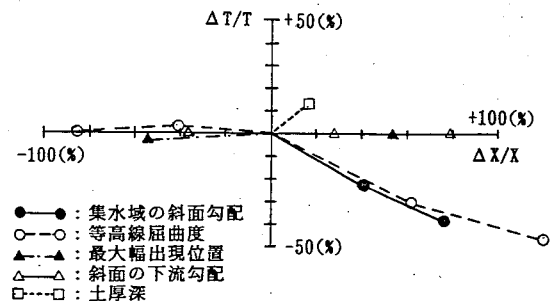


図-8 崩壊発生斜面の出現開始時間に及ぼす地形要因の影響度

また、崩壊発生斜面の出現開始時間に及ぼす影響度は、崩壊発生斜面総数の場合と同様に、土層深において最も大きく、次いで等高線屈曲度・集水域の斜面勾配→最大幅出現位置の順となっている。

#### 5. おわりに

崩壊の多発した実際の斜面を対象として、その地形形状をモデル化し、斜面崩壊に及ぼす地形要因の影響度評価を行ったところ、崩壊発生斜面総数や崩壊発生斜面の出現開始時間には、集水域の斜面勾配、土層深、等高線屈曲度が大きな影響を及ぼすことが確認された。これらの結果は、地形要因に着目し、斜面崩壊発生危険度を議論し、その予知・予測を行おうとする場合、特に、集水域の斜面勾配、土層深、等高線屈曲度を正確に把握しておく必要があることを意味している。

#### <参考文献>

- 1)平松・水山・石川：雨水の浸透・流下過程を考慮した表層崩壊発生予測手法に関する研究. 新砂防Vol. 43, No. 1, 1990
- 2)沖村：山地斜面崩壊の調査と対策. 地質と調査. 87-3, 1987