

建設省新庄工事事務所 ○杉田誠司・奥山清一・渡辺高夫  
 建設省土木研究所 水山高久  
 建設省関東地方建設局 原 義文  
 パシフィックコンサルタンツ㈱ 平松晋也

1. はじめに

毎年梅雨期及び台風期になると山間部で多発する表層崩壊現象に影響を及ぼす要因として

- ① 地形・地質、② 森林土壌の物理的性質、③ 植生、④ 降雨

等があげられる。これらの各種要因がどの程度崩壊発生に影響を及ぼすのかを知ることは、流域の崩壊発生ポテンシャルを把握する上で有効となるのみならず、砂防基本計画を策定し、基本土砂量を決定するための調査時における着眼点すなわち調査重点項目を知る上でも重要となる。本研究ではこれらの要因のうち①飽和透水係数、②表土層厚、③基岩面への供給水量、④土質強度（ $C$ 、 $\phi$ ）に着目し、各要因の感度分析を実施することによりその崩壊現象に及ぼす影響度を定量的に把握するとともに、合理的かつ効果的な生産土砂量調査手法の確立に向けての基礎資料とした。検討の対象には昭和62年8月の山形県温海災害時に崩壊の多発した庄内小国川左支中野俣川流域（図1参照）内の小流域（流域面積：0.4 $\text{km}^2$ ）を選定した。

2. 計算条件及び検討ケース

崩壊要因の感度分析は、既に筆者らが提案した山腹表層崩壊発生モデル(1)を用いて行った。このモデルでは、雨水の鉛直一次元不飽和浸透過程をタンクモデルにより表現し、平面二次元的にメッシュ分割された基本要素毎にタンクモデルを介して基岩面へと与えられた雨水は地下水面を形成するとともに飽和側方流として各要素間を移動するものとしている。そしてある時刻の地下水位を用いて斜面安定解析を行い、崩壊の危険度判定を行っている。

ここで用いたタンクモデルは、図2に示すような下段タンクに側方流出孔を有する直列2段タンクモデルであり、基岩面への供給水量は、 $q_2 + q_3$ として与えられる。シミュレーションを行うにあたり、これらのモデル定数は、流域内より採取された不攪乱試料（ $\phi = 20\text{cm}$ 、 $l = 150\text{cm}$ ）を用いて行った鉛直一次元浸透実験結果を再現するように各表土層厚毎にそれぞれ決定した（表1参照）。なお、入力条件である土質強度、土の単位体積重量、有効間隔率及び表土層厚は、流域内の約20地点に対して実施した現地調査並びに土質試験結果を基に、図3に示す計算条件入力区分域毎にそれぞれ設定した（表2）。

ここで、土の粘着力は、流域の崩壊発生ポテンシャルを現わす指標と考え、温海災害時の崩壊地の分布状況を考慮し、この時の実績降雨波形（図4）を入力条件として試行錯誤により各分割区分域毎に設定した。この時の崩壊地の分布状況を実績値と比較したものを図5に示す。崩壊要因の影響度評価検討ケースは、表3に示すように飽和透水係数、表土層厚、基岩面への供給水量、土質強度をそれぞれ変化させた場合の合計30ケースである。ここで、今着目している1つの要因を除き残りの要因の

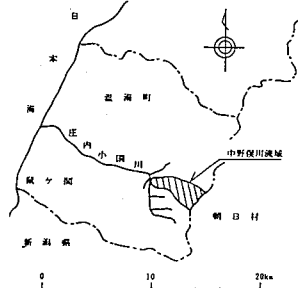


図-1 流域位置図

表1 タンクモデルの定数

表土層厚 (cm)	タンク定数			$\beta_3$
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	
50.0	0.20	0.0030	0.30	500
70.0	0.15	0.0020	0.20	600
90.0	0.10	0.0010	0.22	800
110.0	0.09	0.0008	0.15	1200
130.0	0.05	0.0001	0.22	1400
150.0	0.05	0.00005	0.20	1300

値は変化しないものとして表2中の中央値を入力した。

### 3. 崩壊要因の影響度評価

#### (1) 飽和透水係数

飽和透水係数は、雨水の浸透・流下過程を考慮した『表層崩壊発生モデル』を用いて斜面の安定性を議論しようとする場合、その解析結果に多大な影響を及ぼすものと考えられる。ここでは、飽和透水係数を種々変化させることにより飽和側方流出量を変化させ、その崩壊発生に及ぼす影響度を評価した。

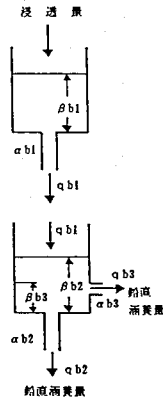


図2 側方流出孔をもつ直列2段タンクモデル

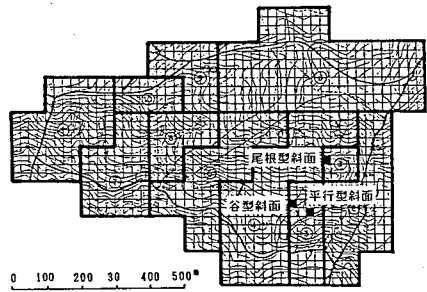


図3 計算条件入力区分域

表2 計算入力諸元(中央値)

	$\gamma_s$ (1/m) 土の単位体積重量	$\lambda$ 自然間隔平	$H$ (m) 表土層厚	$\phi$ 土の内部摩擦角	$C$ (t/m) 土の粘着力	$K_s$ (cm/sec) 飽和透水係数
最大値	1.814	0.188	-	-	1.25	-
最小値	1.429	0.114	-	-	0.50	-
平均値	1.528	0.151	1.1	15.9	0.75	0.01

シミュレーションの結果崩壊が発生すると判断 ( $F_s < 1.0$ ) された斜面の出現状況を各検討ケース毎にとりまとめたものを図6に示す。これらの結果より、飽和透水係数の如何にかかわらず崩壊斜面が出現し始めるのは同時刻となっているが、その後の崩壊斜面の増加割合は飽和透水係数の減少とともに大となる傾向が見受けられる。飽和透水係数と崩壊発生斜面総数の関係を図7に示す。図7中には2つの変曲点が見られる。1つは、 $K_s = 0.02$  cm/sec地点であり、この地点を境として飽和透水係数の増加とともに、崩壊発生斜面総数は減少する半面、それ以上飽和透水係数が低下しても崩壊発生斜面総数はわずかに増加する程度であり、ほぼ一定値を示すようになる。もう1つの変曲点は  $K_s = 0.1$  cm/sec地点であり、この地点を境として飽和透水係数が増加しても崩壊発生斜面総数はほとんど変化しなくなる。図8は対象流域内より斜面形状別

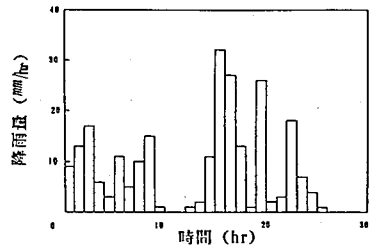


図4 温海災害時の実績降雨波型

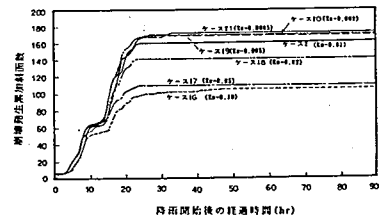
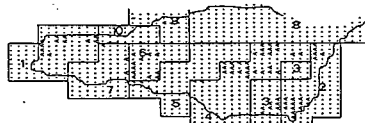


図5 飽和透水係数の増減による崩壊斜面数の累加状況

(谷型・平行型・尾根型)にそれぞれ代表斜面を選定(図3)し、これらの斜面における飽和透水係数の相違による地下水応答特性の変化を示したものである。以上の結果より明らかなように、谷型斜面では、飽和透水係数の如何にかかわらず地下水は地表面にまで到達しているため、その影響は最大地下水深出現時

#### ① 崩壊斜面の出現状況: シミュレーション結果



#### ② 崩壊斜面の出現状況: 昭和82年8月温海災害実績

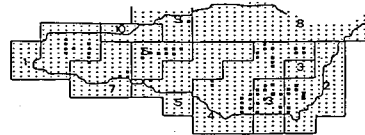


図6 シミュレーション結果と実績値の比較

表3 検討ケース

崩壊要因	最大値	最小値	検討ケース数
飽和透水係数 (cm/sec)	0.10	0.0005	7
表土層厚 (cm)	150.0	70.0	5
礫岩面への供給水量	表土層厚 150.0cmの値	表土層厚 70.0cmの値	5
土の内部摩擦角 (度)	25.0	5.0	5
土の粘着力 (1/m)	中央値×1.2	中央値×0.8	7
合計	-	-	30

刻には現われてもその値には認められない。一方、平行型斜面特に尾根型斜面部においては飽和透水係数の減少とともに最大地下水深が上昇するといった傾向が認められた。このことより、斜面表層部に与えられた雨水は次第に基岩面へと到達し、地下水面を形成していくこととなるが、飽和透水係数が極端に小さい場合には、鉛直一次元方向の供給水量が飽和側方流出量を上回るようになるため、雨水の周辺斜面部への供給域となる尾根部においても地下水深が低下することなく上昇を続け、その地下水深の挙動には斜面形状による相違がほとんど認められなくなる（図8(3)）ものと考えられる。

### (2) 表土層厚

表土層厚の相違は、斜面安定解析上土塊重量の変化をもたらすのみならず、斜面表層部に与えられた雨水の基岩面への供給水量にも大きな影響を及ぼすことになる(2)。ここでは表土層厚を70cmから150cmへと20cm間隔で変化させることによりその斜面安定性に及ぼす影響度評価を行った。シミュレーションの結果崩壊が発生すると判断された斜面の出現状況を各表土層毎にとりまとめたものを図9に、表土層厚と崩壊発生斜面総数との関係を図10に示す。この結果、表土層厚の増大とともに崩壊斜面出現時刻は早くなり、また崩壊発生斜面総数も増加することがわかった。ここで、表土層厚を70cmとした場合に崩壊斜面が出現しなかったのは、設定した表土層厚に対して土質強度（粘着力）を大きく設定しすぎたことによるものである。

### (3) 基岩面への雨水の供給量

表土層厚を一定（110.0cm）とし、前述のタンクモデルを介して得られる基岩面への雨水の供給量を種々変化させることにより、この基岩面への雨水の供給量の崩壊発生に及ぼす影響度評価を行った。シミュレーションの結果崩壊が発生すると判断された斜面の出現状況を図11に示す。この結果より明らかなように、崩壊発生斜面の出現状況に及ぼす基岩面への供給水量の影響はほとんど認められず、崩壊斜面最多出現時刻すなわち崩壊発生時刻についてのみ基岩面への供給水量の増加とともにその出現時刻も早くなるといった傾向が若干認められる程度であった。また、地下水深の挙動にもその影響はほとんど認められなかった。

### (4) 土質強度（c、φ）

物理機構に基づいた「表層崩壊発生モデル」を用いて崩壊の予知・予測を行おうとする場合、これらのモデルではその判断を斜面安定解析式により行っているため、その解析結果は、最終的には土質強度（c、φ）の値に左右されることになる。ここでは、土の内部

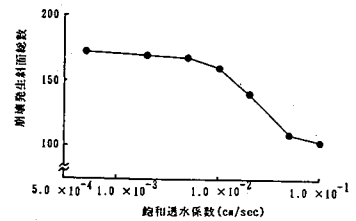


図7 飽和透水係数と崩壊発生斜面総数との関係

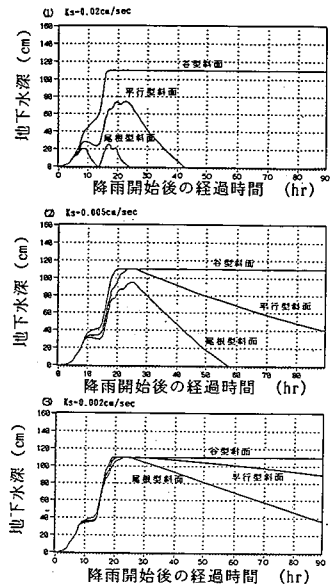


図8 飽和透水係数の相違による地下水深応答特性の変化

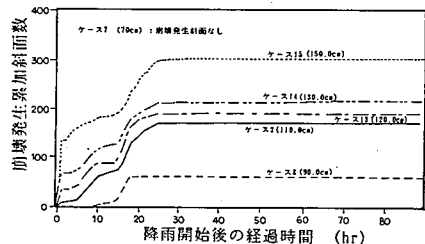


図9 表土層厚の相違による崩壊発生斜面数の累加状況

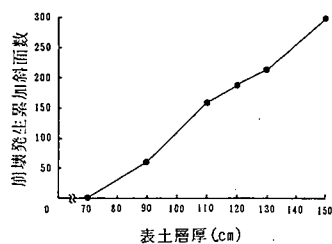


図10 表土層厚と崩壊発生斜面総数との関係

摩擦角及び粘着力を変化させることによりこれらの値が斜面の安定性に及ぼす影響度評価を行った(図12、13)。これらの結果より土の内部摩擦角及び粘着力の低下とともに崩壊発生斜面総数が増加し、また崩壊斜面出現時刻も早くなることが確認された。

(5) 総合評価

上記検討により得られた各崩壊要因の値の変化による崩壊発生斜面総数の変動を基に、各要因の崩壊現象に及ぼす影響度評価を行った。評価手法に関しては、沖村(3)による手法に準拠し、そのとりまとめにあたり下記の事項を定義した。

- ① 安全率に影響を及ぼす多くの要因のうち、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の変化率とをグラフ上にプロットする。
- ③ これらの曲線または直接の傾きが急なほどその要因は崩壊現象に対して高い影響度を有するものとする。

図14にこれらの影響度評価結果を示す。同図より明らかなように本検討で対象とした各要因中崩壊発生に及ぼす影響度は、土の粘着力において最も大きく、次いで表土層厚→土の内部摩擦角→飽和透水係数→基岩面への供給水量の順となっている。以上の結果より、表層崩壊の予知・予測を行おうとする場合、特にその影響度が大きくなる土の粘着力及び表土層厚を正確に把握しておく必要性が認められた。

4. おわりに

表層崩壊に及ぼす各要因の影響度評価を行ったところ、特に土の粘着力及び表土層において大きな影響度が認められた。しかしながらこれらの結果は、ある限られた地形・地質・土質条件下での結論であり、これらの結果を用いて崩壊現象の一般的な特性とするには少なからず危険を伴うものと考えられる。このため、今後は本手法を条件の全く異った地域に対して適用し、上記検討結果の妥当性を検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 原・杉田・水山・平松：雨水の浸透流下過程に着目した土砂生産モデルの砂防計画への適用、平成元年度砂防学会研究発表会概要集
- 2) 原・水山・平松：タンクモデルによる雨水の鉛直一次元浸透過程の再現性について、平成元年度砂防学会研究発表会概要集
- 3) 沖村：山地斜面崩壊の調査と対策、地質と調査、87-3、1987

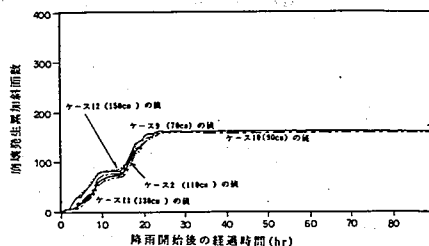


図-11 基岩面への雨水の供給量の相違による崩壊発生斜面総数の累加状況

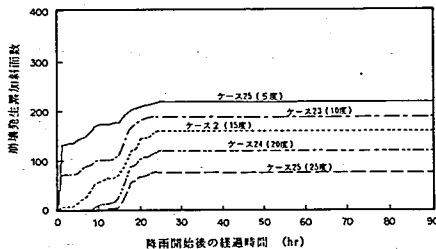


図-12 土の内部摩擦角の相違による崩壊発生斜面総数の累加状況

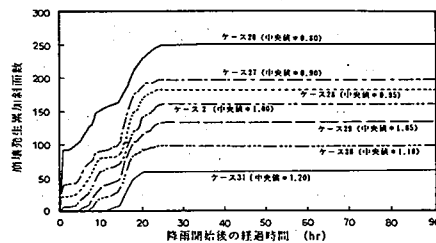


図-13 土の粘着力の相違による崩壊発生斜面総数の累加状況

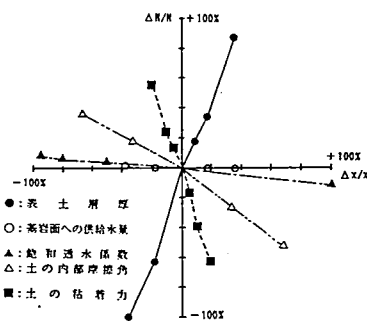


図-14 崩壊発生要因の影響度評価