

# 表土層厚の相違による基岩面への供給水量の変化が崩壊に及ぼす影響について

パシフィックコンサルタンツ（株） ○平松晋也

建設省土木研究所 石川芳治・小山内信智・西中 悟

## 1. はじめに

梅雨期や台風期になると頻発する表層崩壊は、地表面へと与えられた降雨による地下水深や土壌水分量の増加並びに飽和度上昇による土質強度の低下にともない、斜面方向のすべり力が斜面の抵抗力を上回ることによって生じる物理現象として理解される。本研究では、土塊重量として斜面の安定性に直接的に影響を及ぼすことになるだけではなく、雨水の基岩面への到達時間や地下水深の消長をも左右することになる『表土層厚』に着目し、表土層厚を変化させることによってもたらされる基岩面への供給水量の変化が表層崩壊の発生状況に及ぼす影響度評価を行った。

## 2. 表土層厚の相違による基岩面への雨水の供給水量の変化

前報<sup>1)</sup>で得られた土壌水分特性曲線（ $\phi \sim \theta$  曲線、 $K \sim \phi$  曲線：各土層深度毎に設定）を用いて、雨水の基岩面への供給状況に及ぼす表土層厚の影響度評価を行った。なお、ここで採用した土壌水分特性曲線は、昭和62年8月の温海災害時に多数の表層崩壊が発生した庄内小国川右支中野俣川流域内の崩壊地源頭部より採取された大型不攪乱土壌（ $\phi = 15\text{cm}$ ,  $L = 90\text{cm}$ ）に対して得られたものである。

### 2.1 地表面へと与えられた雨水の基岩面への到達状況の再現

降雨の継続に伴って生じる基岩面への供給水量の経時変化（鉛直土柱を想定）は、ダルシー則を不飽和領域へと拡張することによって導かれた(1)式に示す不飽和浸透流理論を、有限要素法による数値解析手法<sup>2)</sup>を用いて定量的に把握した。ここに、 $\phi$  : 土壌水分吸引圧 (cm),  $t$  : 時間 (sec),  $Z$  : 鉛直座標

$$C \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial Z} \cdot \{ K \cdot \left( \frac{\partial \phi}{\partial Z} + 1 \right) \} \dots\dots\dots (1)$$

(cm: 上向きに正),  $K$  : 透水係数 (cm/sec),  $C$  : 比水分容量 ( $d\theta / d\phi$ ),  $\theta$  : 体積含水率 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) である。

計算ケースは、対象斜面（流域面積： $0.4\text{km}^2$ ）内の表土層厚の分布状況を勘案し、表土層厚をその最小値である80cmから最大値である190cmへと10cm間隔で変化させた計12ケースである。土層上端部に対する入力降雨波形としては、全ケースともに対象斜面近傍に位置する温海川ダム地点での温海災害時における実績降雨波形（図-1）を与えた。図-1は、表土層厚を80cm, 130cm, 190cmとそれぞれ変化させた場合の鉛直土柱下端部からの地下水流出量すなわち基岩面への供給水量の経時変化を示したものである。図-1より、表土層厚の減少とともに、地下水流出の出現開始時間、ピーク流出量発生時間、流出量の低減開始時間ともに早くなり、ピーク流出量は増加する傾向が顕著に認められる。

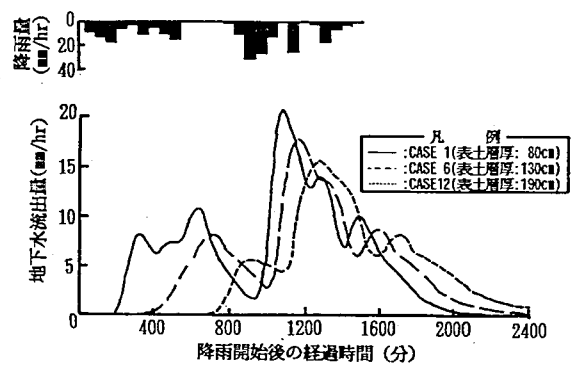


図-1 表土層厚の相違による基岩面への供給水量の変化

### 2.2 表土層厚が雨水の基岩面への供給状況に及ぼす影響

表土層厚と雨水の基岩面への到達時間並びに最大地下水流出量の発生時間との関係を図-2に、表土層厚と最大地下水流出量との関係を図-3にそれぞれ示す。以上の結果より、表土層厚の減少とともに基岩面への雨水の到達時間並びに最大地下水流出量の出現時間は早くなり、最大地下水流出量は増加

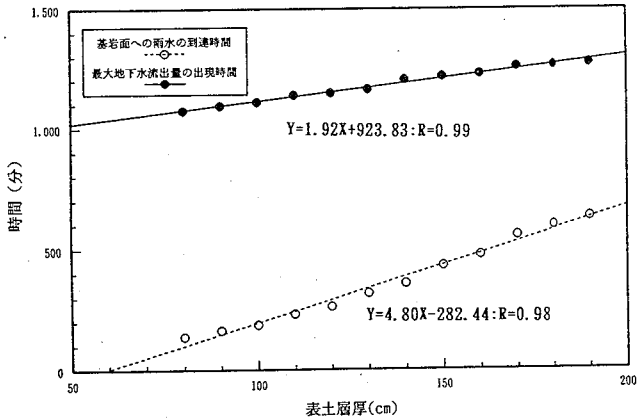


図-2 表土層厚と基岩面への雨水の到達時間並びに最大地下水流出量の出現時間との関係

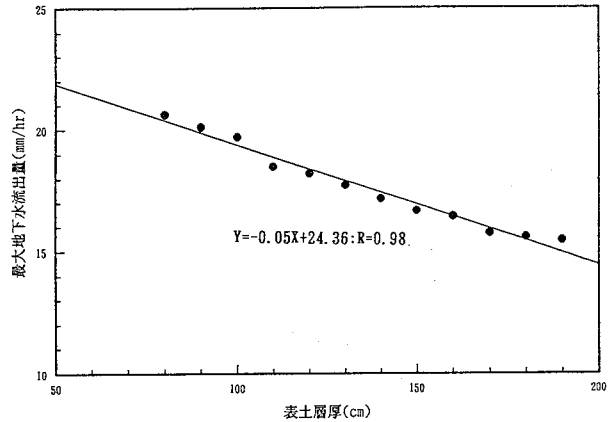


図-3 表土層厚と最大地下水流出量との関係

する傾向が顕著に認められる。これらの結果より、表土層厚は、地表面へと与えられた雨水の基岩面への到達に対して遅延効果を担っているものと判断される。同図中の関係式は最小自乗法により得られた直線回帰式であり、いずれの関係も相関係数が0.98以上と高く、これらの関係式を用いて、すなわち表土層厚を介して基岩面への雨水の到達時間、最大地下水流出量の出現時間、最大地下水流出量を推定することが可能と判断される。

### 2.3 表土層厚が土層内部での貯留水量に及ぼす影響

土層上端部に与えられた降雨量 (R) と土層下端部からの地下水流出量 (Q) を基に(2)式を用いて水収支計算を実施し、表土層厚がその土層内部に貯留される水量 (S) に及ぼす影響度評価を行った。

$$S^T = \int_0^T R - \int_0^T Q \dots\dots\dots (2)$$

表土層厚を80cm, 130cm, 190cmとした場合の貯留水量の経時変化を図-4に示す。全ケースとも貯留水量は降雨開始とともに増加し、その後ピークを迎えた後に徐々に低下するようになる。また、貯留水量の挙動は、土層下端部からの地下水流出量の挙動 (図-1) と類似したものとなっており、地下水流出量の挙動は降雨波形と類似している (表土層厚の減少とともにその類似性は高くなる) といった事実と考え合わせると、土層内部における貯留水量の挙動は、土層上端部に与えられた降雨波形の挙動と高い相関性を有するものと判断される。

図-5は、表土層厚の変化に伴う最大貯留水量の変化を示したものである。同図中には、単位表土層厚 (1cm幅) あたりの最大貯留水量と表土層厚との関係をも併記した。図-5より、土層内に貯留し得る最大貯留水量は、表土層厚の増加とともに増大し、この関係は概ね直線関係にあることがわかる。しかし、雨水の貯留効率すなわち単位表土層厚あたりの最大貯留水量は、表土層厚の増加とともに若干ながら低下するようになる。

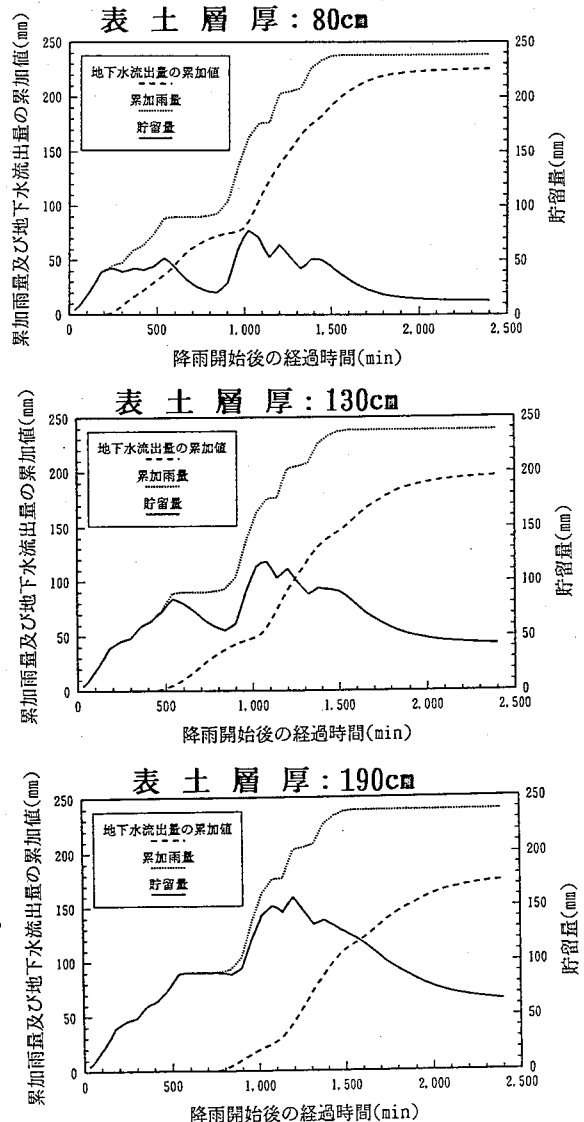


図-4 土層内における貯留水量の経時変化

### 3. タンクモデルによる基岩面への供給水量の再現

表層崩壊の発生誘因となる表土層内部における雨水の挙動は、不飽和領域へと拡張されたダルシー則（1式）を数値的に解くことによって追跡されるのが通常である。しかし、この手法を大流域へと適用しようとした場合、多大な計算時間を要することになり必ずしも実用的な手法であるとは言いがたい。このような状況を勘案し、ここでは既に提示したタンクモデル<sup>3)</sup>（『改良前のタンクモデル』）に改良を加えることによって得られた『改良後のタンクモデル』を介して、前章で実施した次元鉛直不飽和浸透流解析結果（基岩面への供給水量の経時変化）の再現を試みた。

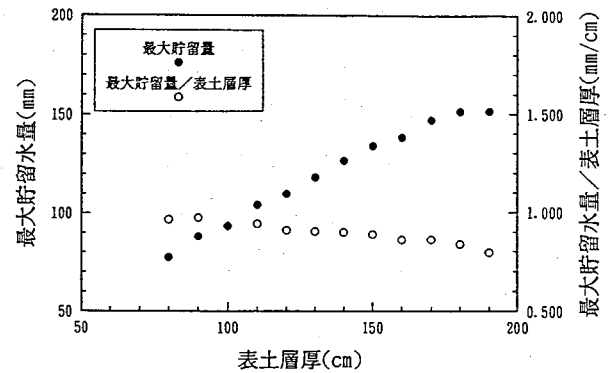


図-5 表土層厚と最大貯留水量との関係

#### 3.1 タンクモデルの概要

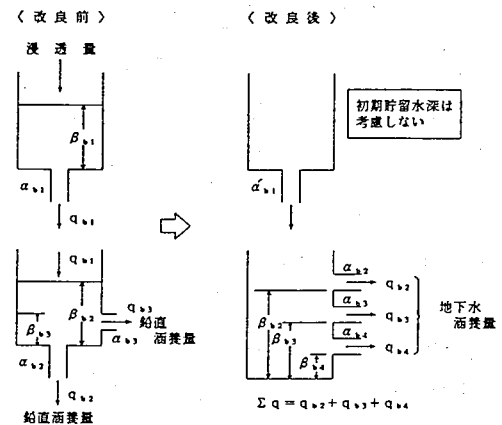
『改良後のタンクモデル』並びに『改良前のタンクモデル』

の基本構成を図-6に示す。両モデルの基岩面への供給水量（ $\Sigma q$ ）は、それぞれ(3),(4)式によってそれ与えられる。

$$\text{『改良後のタンクモデル』} : \Sigma q = \alpha_{b2} \cdot \beta_{b2} + \alpha_{b3} \cdot \beta_{b3} + \alpha_{b4} \cdot \beta_{b4} \dots (3)$$

$$\text{『改良前のタンクモデル』} : \Sigma q = \alpha_{b2} \cdot \beta_{b2} + \alpha_{b3} \cdot (\beta_{b2} - \beta_{b3}) \dots (4)$$

『改良後のタンクモデル』は、『改良前のタンクモデル』の「無降雨期間中においても下段タンクに初期貯留水深が存在する場合、地下水流出が発生する。」といった不合理な点を改善するために提示したものである。

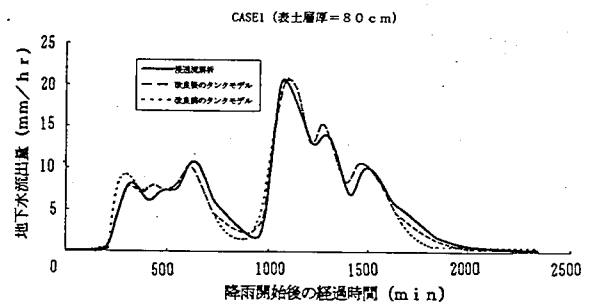


注) ここで、上段タンク並びに下段タンクにおける初期貯留水深は考慮していない。

図-6 タンクモデルの基本構成

#### 3.2 タンクモデルによる基岩面への供給水量の再現

両タンクモデルによる次元鉛直不飽和浸透流解析結果に対する再現結果を図-7に示す。図-7より、両モデルともに浸透流解析結果に対する再現性は高いものと判断されるが、特に、降雨停止後の地下水流出量の低減傾向（不飽和浸透特性）については、若干『改良後のタンクモデル』の方がその再現性は高いことがわかる。この傾向は表土層厚の増加とともにより顕著に現れている。



### 4. 表層崩壊に及ぼす表土層厚の相違に基づく

#### 基岩面への雨水の供給量の影響度評価

既往研究<sup>4)</sup>で提示した【山腹表層崩壊発生モデル(2層モデル)】を用いて表土層厚の相違によりもたらされる基岩面への供給水量が崩壊に及ぼす影響度を評価した。

#### 4.1 表層崩壊発生シミュレーション

ここで用いた【表層崩壊発生モデル(2層モデル)】は、対象流域を平面2次元的にメッシュ分割し表土層厚を高さとする鉛直土柱を各メッシュ毎に設定し、これを解析の基本要素としている。各基本要素毎に

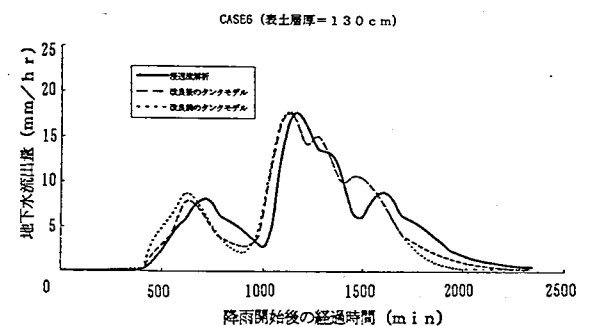


図-7 タンクモデルによる基岩面への供給水量の再現

地表面へと与えられた雨水は、前述のタンクモデル（改良後のモデル）を介して基岩面へと供給され、地下水深を形成するとともに飽和側方流を形成し、各要素間を移動するようになる。そして、この時系列的に変化する値として得られる地下水深を用いて斜面安定解析を実施することにより各基本要素における斜面の安定性も時々刻々と変化する値として知ることができる。

対象斜面は、前述の中野俣川流域内の小斜面（流域面積：0.4km<sup>2</sup>）である。検討ケースは、表土層厚を80cm～190cmへと10cm間隔で変化させた場合の基岩面への供給水量の挙動を表土層厚の値如何に関わらず各基本要素毎に一律に与えた計12ケースである。なお、各ケースにおける基岩面への供給水量としては、前述の『改良後のタンクモデル』を介して得られた値を採用した。この基岩面への供給水量を除くその他の計算条件としては、各ケース一律に当該斜面に対する土質試験並びに現地調査結果を採用した。

#### 4.2 崩壊発生斜面の出現状況

図-8は、表土層厚が80cm, 130cm, 190cmの基岩面への供給水量を与えた場合を例として、崩壊発生斜面の出現状況を取りまとめたものである。同図より、表土層厚の増加に伴う基岩面への供給水量の減少とともに、「崩壊発生斜面の出現開始時間」、「単位時間当たりの最多崩壊発生斜面数を与える時間」、「最終的な崩壊発生斜面の分布状況に至るまでに要する時間」とともに遅くなり、一方、「最終的な崩壊発生斜面総数」

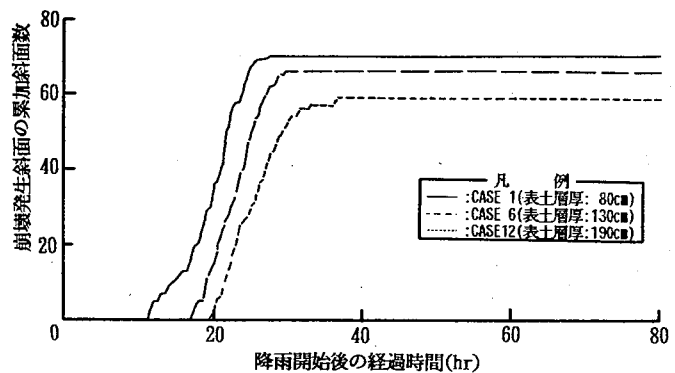


図-8 崩壊発生斜面の出現状況

は減少するようになることがわかる。また、最終的な崩壊発生斜面の分布状況を眺めると、表土層厚の相違による基岩面への供給水量の影響は、崩壊発生斜面総数には認められるものの、その分布状況すなわち崩壊発生ポテンシャルにはさほど認められなかった。

#### 5. おわりに

森林山腹斜面を構成する表土層の厚さは、斜面安定解析上の土塊重量すなわちすべり力とすべり抵抗力とに反映されるのみならず、地表面へと与えられた雨水の基岩面への到達に対して遅延効果を担っていることに着目し、表土層厚を変化させることによってもたらされる基岩面への供給水量の値を用いてこれらの値が崩壊現象に及ぼす影響度評価を行った。その結果、表土層厚の相違によってもたらされる基岩面への供給水量の値如何によっては、崩壊の発生時間のみならず崩壊の発生の有・無も異なったものとなることが確認された。また、表土層厚の増加とともに、崩壊発生斜面総数は減少するようになり、その最終的な崩壊発生斜面の分布状況に至るのに要する時間も遅くなるものの、崩壊斜面の分布状況すなわち崩壊発生ポテンシャルにはその影響はさほど認められなかった。ここで得られた結果、特にその値は特定の斜面に対するものである。このため、今後は斜面形状や土質特性の異なった地域に対しても同様の調査を実施し、ここで得られた結果の一般性を確認する必要がある。

#### <参考文献>

- 1) 平松・石川・原：山腹斜面を構成する土壌の水分特性が崩壊現象に及ぼす影響度評価. 新砂防Vol. 46, No. 5, 1994
- 2) 赤井・大西・西垣：有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析. 土木学会論文報告集, 第264号, 1977
- 3) 平松・水山・奥山：崩壊モデルを用いた各種崩壊要因の影響度評価. 新砂防Vol. 43, No. 5, 1991
- 4) 平松・石川・原：森林土壌の鉛直分布特性を考慮した表層崩壊発生モデルの適用性に関する研究. 新砂防Vol. 46, No. 3, 1993