

九州大学農学部 ( ) 竹下敬司・蒲原潤一・井倉洋二

1 まえがき。

地震性のものを除くと、殆どすべての斜面崩壊が豪雨時に発生している。ここで、どのような降雨状況となれば崩壊発生の危険性が高まるかが関心事となっているのであるが、降雨が直接に作用を及ぼすのではなく、我々には垣間見ることが出来ない地中に入ってから水の挙動によって崩壊がもたらされるところから、具体的な解析結果が示されていないのが現状である。とくに最近では、避難等にかかわる災害予知の立場から先行降雨量の把握の仕方が問題になっているが、流出解析の結果からこれに関連する興味ある事象が見いだされたので報告する。

2 山体における貯溜と流出

斜面を覆う土壌と、山体を構成する基岩の中にはそれぞれ大小の孔隙があり、この中に水が貯溜されることによって河川への流出が調節されていることが知られている。しかしながら、この間の機構において土壌と基岩との間の役割分担が殆ど分かっておらず、これを解明することが流域管理上の関心事となっている。そしてこの間の機構をしることが出来れば、斜面の崩壊に関しても、かなり具体的な検討が行えるものと想定される。

2.1 解析方法

土壌については貯溜容量が分かっているが、基岩についても同様な調節容量があるものと考え、流量観測が行われている河川流域の状況を貯溜容量（降水量、流出高に対応するように貯溜高 mm で表示）で表す。この貯溜容量に対する日降水量（貯溜増）と日流出高（貯溜減）との挙動を1年間にわたって定量的表示し流況図としてまとめてみた。図-1はその1例として昭和55年度における筑後川上流、下うけダム流域の状況を示している。この場合、年間降水量は流出高を上回っているが、日降水量のうち3 mm は地上の植被等に付着して、そのまま蒸発する量として控除し、さらに年間流出

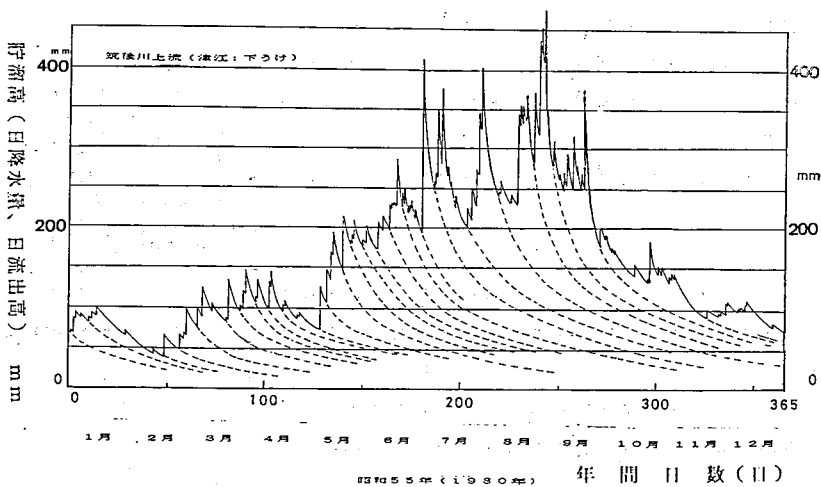


図-1 年間の貯溜、流出状況

高を上回る降水量については、定率で蒸発散あるいは地下水流出するものとして控除した。結局、年間の流出高と降水量とが一致するように操作し、日降水量があったときは垂直的に貯留量が増加し、その後の日流出によって貯留量が曲線的に減少するものとしたものである。なお、矛盾がある流況に対しては、流出高の数値を尊重し、降水量の方を若干補正した。

図-1において各減水曲線は次の降水による増加によって遮断されて、土壌内流出と基底流出をつなぐ完全な曲線とはなっていないが、年間の豊水期と平水期、渇水期の状況を総合的に勘案して、それぞれの降水に対する長期的な減水曲線を推定することにした。この場合、同一貯留高では基底流出の減水曲線が同一の形状を示すものと仮定した。また図-1のほかに、昭和53年の渇水年の状況、昭和54年、56年の平水年の状況をも参考にして試行錯誤を行い、平均的な曲線形を決定した。なお筑後川のほかに球磨川その他の河川についても同様な検討を行い、両河川についても共通した曲線形があることを検討した。図-1において破線で示すものが個々の推定減水曲線である。また、これらを総合すると図-2に示すような、一本の基底流出曲線とそれからヒゲ状に派生する土壌内流出曲線群とにまとめられる。

## 2.2 曲線形の物理的な意義

地下水からの流出は一点から行われるわけではなく、山ひだ状の凹斜面を含む溪流の上流部から下流部まで間において、随所で湧出ないしは浸出しているものと考えられる。ここで、地下水を山体を水槽とし、地下水をその中に貯水された自由水と考え、この水槽からの排水が、図-3(1)に示すようなスリット状の割れ目(谷線沿いに分布する湧出箇所に対応)から行われているものとして、この間の流出機構をモデル化した。この場合の基本的な関係はつぎの通りである。

$$q = \Lambda \cdot d h = a \{ h^{0.5} d h \} d t \\ = a h^{1.5} d t$$

この方程式を解くと

$$\therefore 1/H^{0.5} - 1/h^{0.5} = k t$$

この曲線形を模式的に示すと図-3(3)のようになり、基底流出の減水曲線形と類似する。

土壌の孔隙は小さいものほど吸引力が強く、したがって通常の場合は、小さい孔隙から順次飽和されて大孔隙は最後に飽和されることになり、また排水は大孔隙から始まって、小孔隙に終わるものとみてよい。従って、土壌貯留をモデル化すると、図-3(2)の貯留槽において、最初に水が溜まる底部に小孔隙があり、上部に大孔隙が位置する構造が考えられる。また排水口は、大孔隙ほど速く流出するので、上ほど幅の広いラッパ状のスリットと考えて、流出モデルとした。この場合、各pF階毎の孔隙量は近似的に一定とし、スリット幅は土壌孔隙の吸引力の逆数(=1/10<sup>pF</sup>)に比例するものとする、スリット幅の分布は、

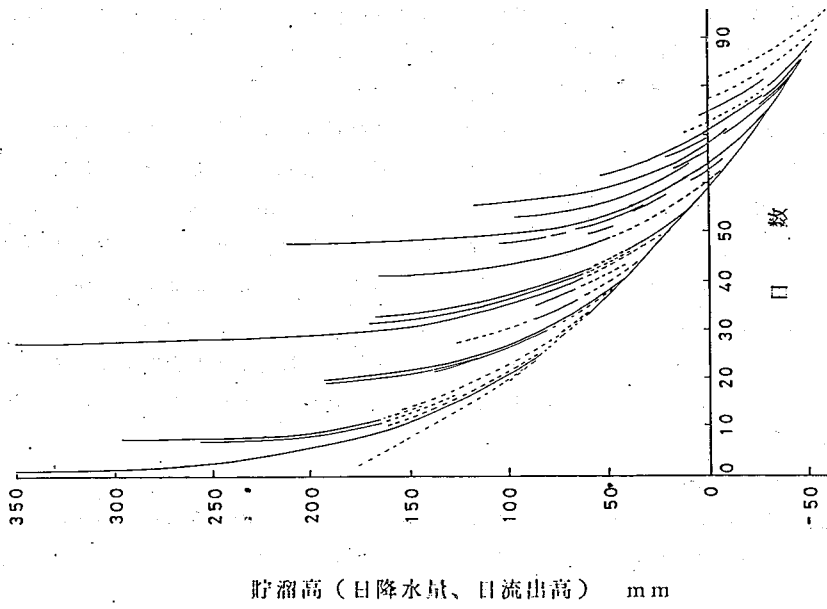
上から  $\{ \exp \{ 2.3 \cdot 2.7 (H-h) / H \} \}^{-1}$  に比例する量で示されることになる。

$$q = \Lambda \cdot d h \\ = a \{ [ b h^{0.5} + \exp \{ c (H-h) / H \} ] d h \} d t$$

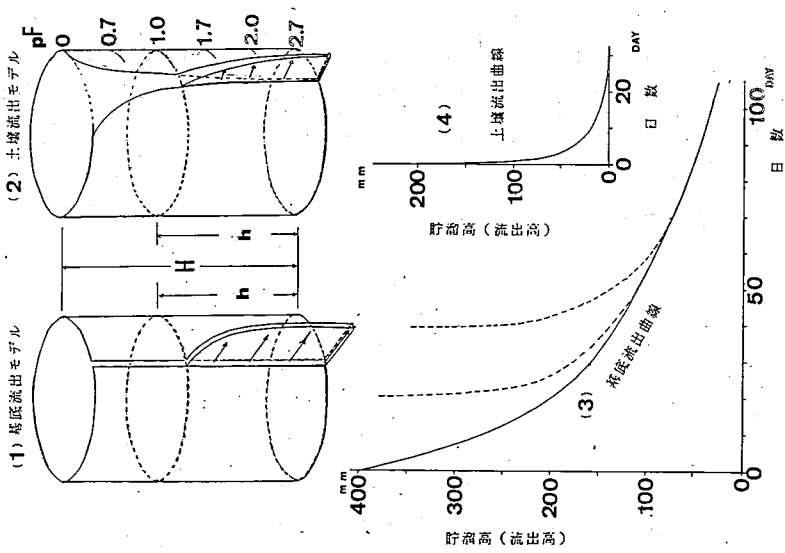
この方程式は難解なので、近似的に計算して曲線形を求めると、図-3(4)のような形状を示していることが求められる。この曲線形は土壌内からの流出曲線に近似しており、土壌内からの流出が負圧によって強く規制された流出であることを裏付けている。

## 3 考察

図-2の曲線において、土壌内からの流出曲線は独立しており、降水量とその供給時間が与えられ



図一2 土壌内と基岩内の貯溜、流出曲線



図一3 土壌内と基岩内からの流出モデル  
 (1) 基底流出モデル、(2) 土壌流出モデル  
 (3) 基底流出曲線 (4) 土壌流出曲線

れば、曲線に沿って貯溜量の増減、さらには土壌内からの流出量の時間変化をも推定することが可能である。

またその時点（季節）での基底流出量（高）が推定されておれば、基底流出量をも含めた総流出量の推定も可能となる。ここで問題になるのは、降水量の内からどのくらいの量が基底流出に供給されているかである。これについては十分な解析を行っていないので明確なことは言えないが、供給率は各降雨毎にほぼ一定であり、有効降水量の約20%程度が基底流出に回っているものと推定される。なお土壌の貯溜容量を上回るような降水量が供給量があった場合には、最大貯溜量の範囲内でこの配分が行われている模様である。

いま、水年としての1月初めないしは12月の終わりを基準として任意の時点での基底流出量を推定することにする。水年初日からそれまでの期間の有効降水量（3mmの蒸発量を控除した、それ以上の降水量）の合計値から、さらに、その期間毎日1mmの蒸発散量を控除した量が土壌に供給された量と考える。そして、そのうち80%が土壌内から流出し、20%が基底流出成分として供給されたものとする。図-2の基底流出曲線を利用すれば任意の時点での基底貯溜量と流出量とが分かるはずである。

土壌内からの流出についても、有効降水量の80%が土壌内に供給されたものとして、図-3の土壌内流出曲線を利用すれば、任意の時点での土壌内貯溜量と流出量とが推定できるはずである。

崩壊や土石流発生に対する実効雨量が問題になるが、土壌内貯溜量と基底貯溜量とがそれに相当するものと考えられる。表層剥離型の崩壊に対しては土壌内貯溜高を、地下水圧の影響をうける深い崩壊に対しては基底貯溜高をも参考にして、危険状態を予測することがある程度可能になるものと想定される。

図-2示した曲線に沿う変化は降雨強度がそれほど強くなく、土壌内さらには基岩内での浸潤がスムーズに行われている場合の内容と想定される。ただ、強い降雨がもたらされた場合にも、日貯溜、日流出を対象にするときには、かなり時間的にかなり平均化されていることが考えられるため、曲線の直接的利用も可能になるものと考えられる。しかしながら短時間の貯溜、流出に関しては、地中での局所的な透水条件があい路となって、その上部での地下水位の異常上昇と、それに伴う地下水圧の異常上昇とが発生することが考えられ、それに伴う斜面崩壊が想定される。大崩壊～多数崩壊の発生には、多量の連続降雨の外に、70～80mm以上の強雨が必要であることが知られているが、この現れであろう。

なお、以上の考察のなかで、具体的な曲線形、数値については、検討が不足しているので、ここでは考え方と要素の取り上げ方を強調しておきたい。