

建設省工本研究所

正員

山村和也

1. まえがき 道路盛土あるいは河川堤防などの斜面が豪雨によってしばしば崩壊を起している。ノリ面崩壊の起るのは盛土内に生じる浸透流が力学的に斜面の安定性を低下させること、同時に斜面を構成する土の含水量が増加するため土のせん断強さが減少するためと考えられる。安定性の高い盛土の設計施工法を明らかにするため先年より盛土に人工降雨を作用させ、埋作内に浸透した水の動き、ノリすべりの発生、進行状態などを観測し、またノリすべりと防止する対策工法などについても検討を加えてきた。2. では一連の実験のうち、特に降雨の浸透について取り上げ、また河川堤防のノリすべりに関連を持たせて説明を加える。

2. ノリすべりの原因となった降雨 河川堤防のノリコウ配は2~3割で、普通の状態であれば安定性は十分であるが、豪雨に見舞われた場合、広範囲にわたるノリ崩れの生じた例が過去に何回か起きている。ノリ崩れの原因になった降雨を調べてみると、総降雨量が250mm程度以上に達し、しかも20mm/hrを越す雨がかなりの時間継続している。このため堤体内の含水量は相當に増加したことが予想される。

3. 被害を受けた堤防の築堤材料 ノリ崩れを起した堤防の土は図-1に示すような粒度曲線を持っているのが多く、粘土分が10%内外のいわゆる砂質ローム系の土である。透水係数は 10^{-4} cm/sec

~ 10^{-3} cm/secの材料で比較的透水性がよく、しかも含水量の増加によって強度の低下しやすい土が破壊を起しやすいわけである。

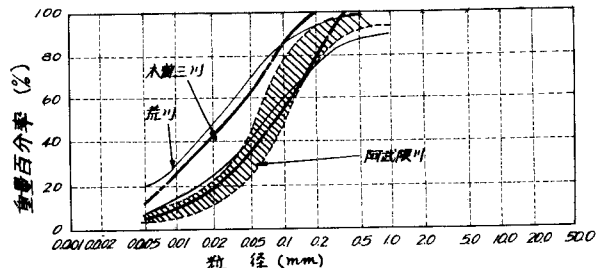
4. 現場における降雨実験 降雨の堤防への浸透とノリすべりの状態を再現して調べるため、

スプリングラーを利用し、実際の堤防に人工降雨を加える実験を行なった。作用させた人工降雨は過去の災害を参考にし、降雨強度は20mm/hrとし長時間連続させることにした。実験堤の材料の粒度は図-1の範囲のうちの荒い方に寄ったものであった。堤防のすべりの直接の原因は降雨の過度の浸透にあると考えたので、まずそのまゝの埋作に降雨を降らせたと浸透を防止する意味で、堤防の天端と小段と不透水性の被覆でカバーした場合について水の浸透状況と調べることにした。実験中の埋作内含水量の変化は、あらかじめ埋作に設置されているパイプに挿入型の中性子水分計を下し、一定時間間隔で測定した。その他各種計器による観測も同時に行なわれたが、それらの説明は省略する。

5. 測定結果

埋作内の含水比の変化を測定した結果の1例を図-2に示す。図には降雨開始後 時間経過したときの含水比の分布を示したが、埋作表面の1部と不透水層で被覆すると斜面の含水量の増加が少なくなったことがわかる。現場実験のための初期含水量に差があったため、正確な比較とはできないが、表面止水の効果はある程度読み取れると思われる。降雨実験はノリ面の破壊の生じることを期待して行な

図-1 ノリすべりを起した堤防材料の粒度



われたが、堤体に設置された計器の観測には時間毎に、約2時間半降雨を中断したため、破壊を起すことはできなかった。

6. 降雨の浸透 降雨によって堤体表面に水が供給されるので、堤体内への浸透が起る。この場合の浸透は不飽和浸透流になる。飽和浸透流の場合には透水係数一定としてダルシーの法則に支配されるが、不飽和浸透流の場合には透水係数が土の含水比によって変化するので取扱いが面倒になる。まず不飽和状態の水の動きについて鉛直方向のみで考えてみる。ダルシーの法則が不飽和のときも成り立つとし、連続の条件を考えれば 不飽和浸透流に対して次の式が得られる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(k - k \frac{\partial h}{\partial y} \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

さらに2次元の流れを考えると

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \{ k \{ \nabla \phi + \nabla (-h) \} \} = \frac{\partial k}{\partial y} + \nabla \{ k \nabla (-h) \} \quad \dots \dots \dots (2) \quad \text{となる。ここで } \theta \text{ は土中の}$$

含水量であり、 k は不飽和土の透水係数、 k は毛管水頭である。

7. 不飽和浸透流の計算 不飽和浸透流を調べるため (2) 式を解くことは難かしいので、先に示した現場実験の条件を与えた場合について電子計算機を用いて数値積分を試みた。計算方法の説明は省略するが、 k および k は含水量 θ によって決まる値と仮定し、あらかじめ室内試験で両者の関係を求めておき、差分方程式の計算を行った。計算では堤体内の初期含水量を飽和度30%と仮定し、境界条件として堤体表面の降雨に与えられる部分の飽和度を100%と仮定した。計算は実験と同様に堤体表面を部分的に被覆した場合についても実施した。計算結果を示したのが図-3で、含水量の分布を飽和度によって表わした。計算によっても堤体表面の被覆の効果のありうろことが知られる。

この不飽和浸透流の計算は降雨初期のみの現象には適合するかも知れないが、浸透が進むと堤体底部に飽和領域が形成され、逆に浸潤線が次第に上昇してくると思われるので、むしろ飽和状態の非定常浸透流の検討が必要となる。

8. むすび 人工降雨による斜面崩壊実験のうちから、不飽和浸透流についてのみ述べたが、ノリ面の安定性を論ずるためには、不飽和土のせん断強さを含め、浸透流のすべりに対する影響を明確にしていかなければならない。人工降雨によるノリすべりの実験も実施したので、斜面の安定性については次回に報告する。

[参考文献] Engineering Concepts of Moisture Equilibria and Moisture Changes in Soils, Moisture Equilibria and Moisture Changes in Soils beneath Covered Areas, Butterworths, Australia 1965.

図-2 現場実験で求めた含水比の分布

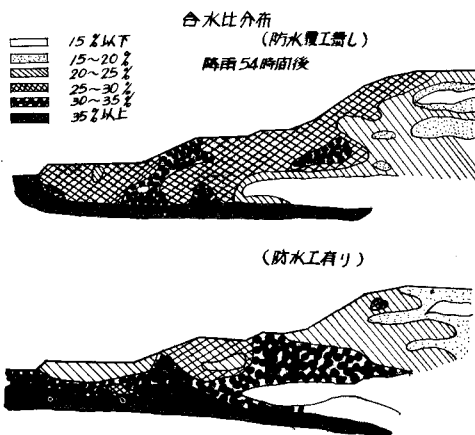


図-3 計算結果

