

名古屋大学 工学部 正 西畑 勇夫
水資源開発公団 正の橋 恒

1 概説: 近年、山地流域において、山腹斜面の崩壊、土石流などによる災害が多発しているが、一般に降雨に際して発生する山崩れの多くは、雨水の過度の浸透により、斜面表層がスベリ崩壊を招くことが原因であるとされている。

著者は降雨による浸透水の斜面安定に及ぼす影響に着目して、降雨→浸透→斜面崩壊のプロセスの上での不安定条件を解明することを主眼とし、その機構を理論的に把握するとともに、昭和36年6月豪雨による小沢川流域の山腹崩壊調査結果と比較してその適用性の検討を行った。

2. 流域の概況と浸透実験

研究の対象として選んだ流域は天竜川小沢川流域(Fig-1)である。

本流域は面積290km²、標高差は2,000mにも及ぶ変遷性流域である。流域の中央部南北に中央構造帯が走り、その東側に中古生層、および片岩帯、西側に花崗岩帯の地質という複雑な様相を呈している。小沢川流域は山崩れの多発地域として知られ昭和36年6月の豪雨により各地で崩壊が生じている(Fig-2)に示すのは崩壊箇所の一例である。



Fig-1 流域概要図

著者は、この流域における異なる地質について、それぞれライシメーターによる浸透能観測を実施し、その調査結果を整理検討した。これによると、中央構造帯より西側の花崗岩地帯における浸透能は大きく、地表面勾配40°でも降雨強度30mm/hrに対してほぼ全量浸透する能力を有し、連続降雨100~300mmに対して全量浸透していることがわかった。一方、片岩帯土質では、かなり小さく、5mm/hr以下の降雨でも、その一部は表面流出部分に行っている。この流域において花崗岩地帯の崩壊が多いことが認められているが、浸透能の特性から浸透水が崩壊に対して大きな要素を示すものであるといえよう。

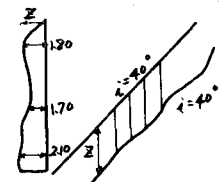


Fig-2 崩壊例

3 山腹斜面浸透流について

山腹斜面に浸透した水は固結粘土、母岩などの不透水層に到ると、ここで貯留され一定の法則にそって斜面下方に移動すると考えられる。斜面浸透流のモデルをFig-3

のように考え、この表層内の水の運動がDarcy則によるものとする。

運動方程式 $V = K \left(\frac{\partial H}{\partial x} - \sin \theta \right)$ ① 連続式 $\frac{\partial (H V)}{\partial x} = - \frac{\partial (H V)}{\partial x} + f_e \cos \theta$ ②

①②式より $\frac{\partial (H V)}{\partial x} = K H \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + K \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial x} - \sin \theta + f_e \cos \theta$ ③

ここに K: 透水係数 V: 有効間隙率 f_e : 浸透能 θ : 斜面角

H: x における水深 x : 斜面下方への距離

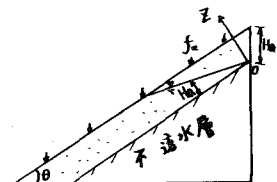


Fig-3 斜面浸透流モデル

この式において、浸透能の時間的変化 f_e を与えることにより任意時刻の浸透流水深を求めることができる。いま、 f_e を斜面に沿って一定の値を持つと仮定した時、K, θ の変化によって浸透流がどのように変化するかを考えよう。簡単のため $\theta = 15, 30, 45^\circ$ とし $K = 10^{-10} \sim 10^{-6} \text{ cm/sec}$ にした時

浸透水の深さは次のようになる。すなわち、透水係数 K が 10^{-2} cm/sec 以下では、斜面角 θ の値に関係なく $z \tan \theta / \gamma$ の浸透流水深を求めて、見掛け上、地表面と平行な流れとなっている。

一方、 K が 10^{-2} cm/sec より大きい場合には、浸透した降雨は斜面下方への移動速度が大きくなって ($z \tan \theta / \gamma$) によって表わすことができない。③式によって求められなければならない。

4 浸透流とスベリ破壊

斜面表層の中を浸透水が流下するとき、浸透水の間隙圧に対する影響により、表層と不透水層との接触面上において応力状態が変化し、表層全体がスベリ破壊を起こすことがある。表層と不透水層の接触面上における応力状態を表わすと Fig-4 において A 点の直応力 σ

$$\sigma = \gamma_s z \cos^2 \theta + \gamma_w h \cos^2 \theta \quad \cdots \cdots (4)$$

$$\tau = \gamma_s z \cos \theta \sin \theta + \gamma_w h \cos \theta \sin \theta \quad \cdots \cdots (5)$$

$$\text{間隙水圧 } u = \gamma_w h \cos^2 \theta \quad \text{したがって有効応力は } \sigma' = \gamma_s (z-h) \cos^2 \theta + \gamma_w h \cos^2 \theta \quad \cdots \cdots (6)$$

④⑤式をクーロンの式に代入し、整理無次元表示をすると

$$\frac{z \gamma_s}{C} = \frac{1.0 - \frac{h \gamma_s}{C} \left\{ \frac{(z-h)}{\gamma_s} \tan \theta - \frac{(z-h)}{\gamma_s} \tan \phi + \cos^2 \theta \right\}}{\cos^2 \theta (\tan \theta - \tan \phi)} \quad \cdots \cdots (7)$$

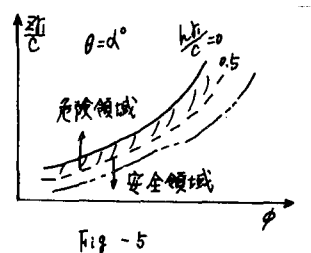
z : 限界表層厚 h : 浸透流水深, γ_s : 差潤土の単位重量, γ_w : 飽和土の単位重量

$\gamma_s = \gamma_s - \gamma_w$ ϕ, C : A 点における摩擦角, 粘着力

⑦式を図式表示すると Fig-5 のようになる。すなわち前項で述べた、浸透流水深の無次元量 $h \gamma_s / C$ をパラメーターとして、限界表層高 ($z \gamma_s / C$) と ϕ の関係を表示されている。

浸透水の存在場合には $h \gamma_s / C = 0$ で示され、この曲線より、表層厚が高い時には崩壊に対して危険領域、低い時は安全領域があるということができる。

例えば、降雨により浸透流水深 $h \gamma_s / C = 0.5$ が生じたとするとき Fig-5 の曲線で示すような曲線となり、斜線の部分が新たに崩壊に対して危険領域部分となったということができる。すなわち、これが浸透水のスベリ破壊の影響を及ぼす部分である。



5 適用例

これまで述べた基礎的な考え方を小沢川流域の崩壊例に適用した。昭和3年6月豪雨は連続雨量100~150mmあり(2)項で述べたように花崗岩地帯では、降雨の大半がそのまま地中に浸透したように考えられる。有効間降雨率 $\pi = 0.2$ であるので(3)項で述べたように $h = z \pi / \gamma = 0.5$ となる。粘着力 $C = 1.0$ t/m², 内部摩擦角 $\phi = 20^\circ$ とすると、この時のスベリ崩壊限界高は(7)式より $z \gamma_s / C = 3.0$ $z_c = 1.67$ m すなわちスベリ崩壊限界高 $z_c = 1.67$ m となり、この表層厚は崩壊時の表層厚とほぼ一致している。

この他、2, 3の例についても同様の結論がみられる、今後、この他の領域について多くのデータを検討して、山地崩壊予測の可能性を追求したいと考えている。