II-111　崩壊の誘因となる山腹地下水の形成機構

岐阜大学　○正員　田中祐一朗
一宮市　　正員　五藤　丈幸

1　はしがき：

最近、山腹崩壊や土石流など、流出土砂に起因する災害が目立って増加しており、その対策が急務とされている。本研究は斜面崩壊の誘因である降雨によって形成される斜面表層土内の地下水流の形成について考察することにより、崩壊発生の予知精度の向上に寄与すべく行った検討結果について報告するものである。

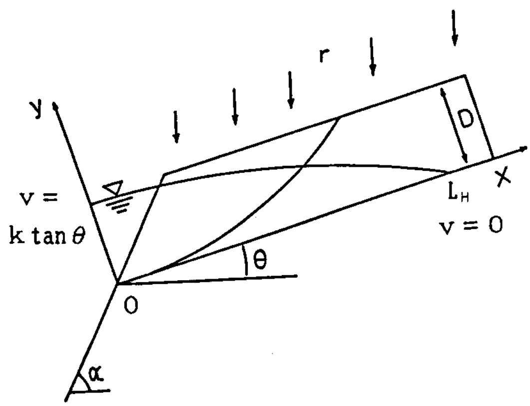
2　地下水の形成機構：

図－１に示すように、θなる勾配の基盤上の厚さＤの地表風化土層を考える。今透水係数がｋである斜面上に降雨強度がｒの雨が降り、簡単のためにｒ＜ｋとして雨は全て地中に浸透するものとする。雨による浸透水を横流入と考え、δｘ間の地下水の連続条件を考えると、単位幅当たり、

$$dQ/dx = -q \quad \text{------------------(1)}$$

$$Q = v \times H \times 1 \quad \text{------------------(2)}$$

$$q = r \times 1 \quad \text{------------------(3)}$$



図－１　　斜面のモデル

地下水の流動はDarcy則に従うものとすると、

$$v = k\,(\tan\theta + dH/dx) \quad \text{-----------(4)}$$

ここに、ｑ：単位長さ当たりの横流入量、ｖ：地下水の流速、Ｈ：地下水の水深、Ｑ：地下水の流量である。(2)～(4)式を(1)式に代入して得られる微分方程式を解くことにより、地下水面形は決定される。しかし判別式Ｄの条件によって３種の解が得られるが、崩壊時を想定しているため、崩壊発生確率の大きいＤ＜０の場合、即ち $r > 1/4\, k \times \tan^2\theta$ の場合の解を示すと次のようである。

$$H = -\frac{b}{2}x + \frac{\sqrt{-D}}{2ua}\exp\left(\frac{b}{\sqrt{-D}}Z\right)\left[\frac{1}{3}Z^3 - \frac{Z^2}{(b/\sqrt{-D})} + \left\{1+\frac{2}{(b/\sqrt{-D})^2}\right\}Z - \frac{2}{(b/\sqrt{-D})^3} - \frac{1}{(b/\sqrt{-D})}\right]$$
$$+\frac{b}{2}L_H - \frac{\sqrt{-D}}{2ua}\exp\left(\frac{b}{\sqrt{-D}}Z_0\right)\left[\frac{1}{3}Z_0^3 - \frac{Z_0^2}{(b/\sqrt{-D})} + \left\{1+\frac{2}{(b/\sqrt{-D})^2}\right\}Z_0 - \frac{2}{(b/\sqrt{-D})^3} - \frac{1}{(b/\sqrt{-D})}\right] \quad \text{------------(5)}$$

但し、

$$a = r/k \quad \text{----(6)} \qquad b = \tan\theta \quad \text{----(7)} \qquad D = b^2 - 4a \quad \text{--------------(8)}$$

$$Z = (\sqrt{-D}/b)\ \ln u\ (ax - c) \quad \text{------(9)} \qquad Z_0 = (\sqrt{-D}/b)\ \ln u\ (aL_H - c) \quad \text{------------(10)}$$

であり、積分定数ｃ，ｕは次の境界条件を用いて、

$$x = 0\ ;\quad dH/dx = 0 \quad \text{------(11)} \qquad x = L_H\ ;\quad v = 0\ \text{即ち,}\ dH/dx = -b \quad \text{------------(12)}$$

$$u = \frac{1}{aL_H}\left[\exp\left\{\frac{b}{\sqrt{-D}}\tan^{-1}\left(\frac{-b}{\sqrt{-D}}\right)\right\} - \exp\left\{\frac{b}{\sqrt{-D}}\tan^{-1}\left(\frac{b}{\sqrt{-D}}\right)\right\}\right] \quad \text{-------------(13)}$$

$$c = \frac{\left[-aL_H \exp\left\{\frac{b}{\sqrt{-D}}\tan^{-1}\left(\frac{b}{\sqrt{-D}}\right)\right\}\right]}{\left[\exp\left\{\frac{b}{\sqrt{-D}}\tan^{-1}\left(\frac{-b}{\sqrt{-D}}\right)\right\} - \exp\left\{\frac{b}{\sqrt{-D}}\tan^{-1}\left(\frac{b}{\sqrt{-D}}\right)\right\}\right]} \quad \text{----------------(14)}$$

となる。

3　先行降雨を考慮した地下水の連続条件：

田中[1)]は一連の降雨をⅠ）無降雨期、Ⅱ）崩壊に関係ない先行降雨期、Ⅲ）崩壊発生に至る強雨期、の三期に分け、それぞれの期間を一まとめにした降雨状況を想定した。この考えに従って、図－２に示すように、降雨による浸透水と地下水流出量および地下貯溜水量との間の水の質量保存を考えると次のようになる。

$r \leqq k$；降雨は全て地中に浸透する場合、

$S = 1/n\ L_H r t - v H t + L_i R_i\ (1/n - 2.3)$ --(15)

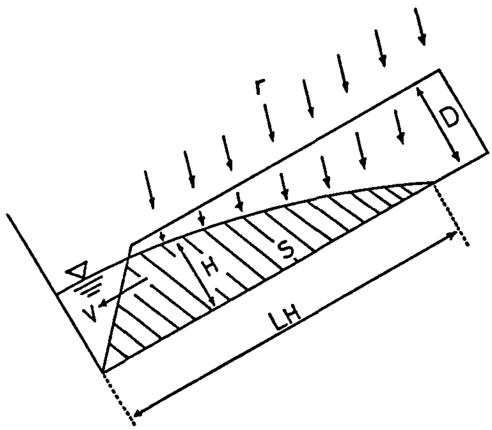
$r > k$；地表面流の発生する場合、

$S = 1/n\ L_H k t - v H t + L_i R_i\ (1/n - 2.3)$ --(16)

ここに、S：地下水貯溜量、n：土の有効空隙率、t：Ⅲ）期の降雨時間、L_i：先行降雨による地下水の上流端、R_i：t_i時間内の先行降雨量であり、田中によると斜面長をLとしてt_iは次式で与えられる。

$t_i = 4.61L / k\ \tan\theta$ ----------------------(17)

(15)、(16)式は降雨の補給を受けた斜面の地中における地下水の連続式であり、時間tの関数であって、任意の時刻における地下水の上流端L_Hを求めることができる。したがって先に求めた水面形の式(5)と組み合わせることにより、地下水の水面形は時間tの関数として計算することが可能となる。

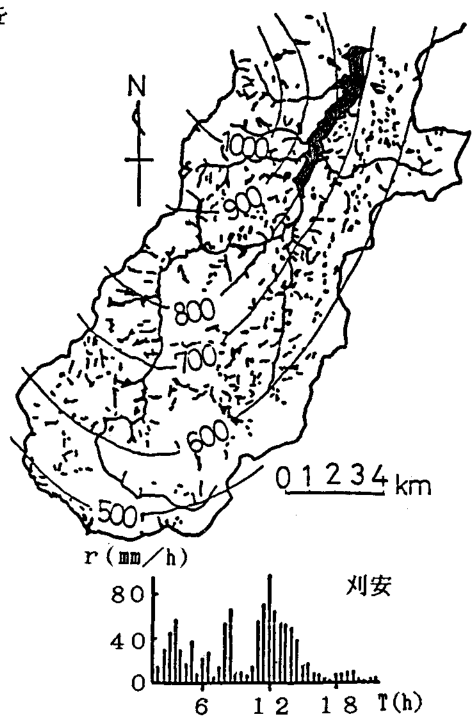


図－２　　地下水のモデル

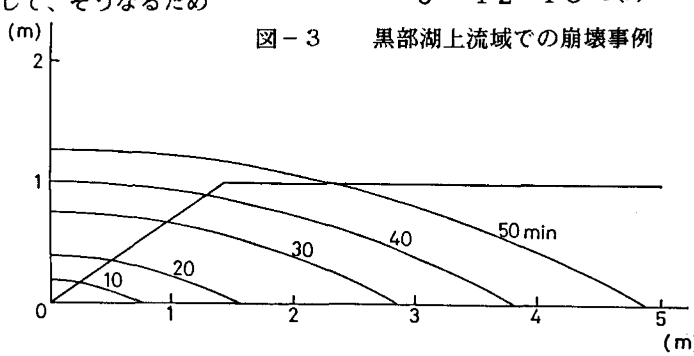
4　数値計算による適用例：

図－３は1969年8月に、黒部ダム上流域に発生した崩壊事例と、その降雨状況を示したものである。図の刈安峠での30分毎の降雨を読み取ってデータとした。表層土を１ｍと仮定すると、11時12分までの降雨はこれを飽和するために費やされ、11時12分から地下水の貯溜が始まることになる。そこでこの時刻を時間の原点にとって、10分間隔の地下水面形を上記の諸式を用いて計算したものが図－４である。この災害では目撃者の証言によって最強降雨時の12時頃に大崩壊が発生したことが確認されている。そこで50分後の地下水の状態で崩壊が発生したものとして、そうなるための土の粘着応力Cを逆算すると、

$C = 19.3 gr/cm^2$ なる値を得る。この地域はほぼ全域が風化花こう岩地帯であり、上の値はマサ土のCとしてほぼ妥当なものである。この結果から、計算は実際の現象をほぼ再現できているものと思われる。



図－３　　黒部湖上流域での崩壊事例



図－４　　地下水の計算結果

[1)] Y.TANAKA, on the Slope Failure and Amount of Sediment Yields, Proc,APD,Vol.1,1984