

図一1 複数の地層境界をもつ斜面での地下水の移動の模式図

して $I = \sin \theta$ とする。(8)式を用いると q_x は以下ようになる。

$$q_x = nu_x = nK_x \sin \theta \quad (9)$$

斜面方向での地下水位の分布は図-1 のように、斜面上端から一定区間連続的に上昇し、それよりも下方では式(7)式により与えられる水位で斜面と平行になる。地下水面が斜面と平行になる位置 x_p は式 (8) を時間積分することで次のようになる。

$$x_p = \int_{t_1}^{t_1+T} u_x dt = K_x T \sin \theta \quad (10)$$

対象とする斜面で崩壊が発生するための条件は、 x_p が斜面末端に到達する以前に h_w が崩壊発生に必要な水位 h_{wc} を超えることである(平野ら, 1986)。一方 x_p より斜面上方では地下水位が h_{wc} を下回るため崩壊は発生しない。

5. 降雨波形と崩壊特性

ここでは無限長斜面の安定条件をもとに、深さ方向での地下水の分布が斜面の安定性に及ぼす影響を検討する。無限長斜面の式は以下のように正規化される(今泉ら, 投稿中)。

$$F \frac{\tan \theta}{\tan \phi} = 1 - \frac{\eta_w}{(1-n) \frac{\sigma}{\rho} + n\{S' + (1-S')\eta_w\}} + \frac{c}{(1-n) \frac{\sigma}{\rho} + n\{S' + (1-S')\eta_w\}} \quad (11)$$

$$\eta_w = (h_w - z_1) / (h - z_1) \quad (12)$$

ここに、 S' : h_w よりも上層の平均体積含水率、 ϕ : 内部摩擦角、 c : 粘着力、 σ 、 ρ : 土粒子、水の質量密度、 g : 重力加速度である。図-1 のように注目する地層境界に発達している飽和帯のさらに上方に別の飽和帯が発達している場合、上方の飽和帯は注目する地層境界の間隙水圧には影響を及ぼさず、その存在は S' に表れる。地下水深の変動に伴う安全率の変化率は式(12)の第2項によって評価され、特に分子 η_w の値に大きく依存する。そこで多層構造をもつ斜面を対象とし、いくつかの降雨パターンのもとで鉛直浸透流の解析を行い、各地層境界における η_w の値の時系列的な変化を調べることで、降雨パターンと崩壊特性の関わりについて検討した。(12)式で η_w を算出するために必要な h_w は、式(3)、(4)を差分し鉛直浸透流を追跡することで求めた。このようにして推定されるのは式(10)で与えられる x_p よりも斜面下方での η_w の値である。計算は表-1 に示されるような3層構造の斜面を対象とし、初期条件に $s_0=0$ 、境界条件に式(4)を与え、 $\Delta z=0.01(\text{m})$ 、 $\Delta t=60(\text{s})$ の条件のもとで行った。

ケース1 短期間の強雨 (図-2a)

降雨開始後まもなく浅い地層境界上で飽和帯が発達する(降雨開始後 7.5h)。これに伴い η_w が高くなり、浅い地層境界付近で崩壊が発生する可能性が高くなる(9h)。その後飽和帯が下方へ移動し、やがて深い地層境界に達するが(19.5h)、このときの η_w の値は低く、深い地層境界で崩壊に至る可能性は低い。

ケース2 長い降雨 (図-2b)

降雨強度が弱いため浅い地層境界では飽和帯が形成されない。降雨開始後、長時間経過したのちに、深い地層境界で飽和帯が形成され η_w の上昇がおきる。このような降雨時には、深い地層境界での崩壊の可能性が高いといえ、崩壊が発生するのは降雨開始から長時間経過した後である。

ケース3 長い降雨のあとの短期間の強雨 (図-2c)

降雨開始直後は降雨強度が弱いため浅い地層境界での η_w の増加はみられない。その後の強雨により浅い地層境界上で η_w の上昇がみられ、さらに深い地層境界でも降雨前半にもたらされた雨水が到達することにより η_w が上昇する。浅い飽和帯下端の浸潤線が鉛直浸透により深い飽和帯の地下水面に達した時点で、深い地層境界の η_w が不連続に上昇し(24h)、そこでの崩壊の危険性が高まる。

今後は、以上のような地下水の動きと安定解析を結びつけることで崩壊の発生特性を議論する予定である。

謝辞 本研究は科学費(20780109)の助成を受けたものである。**引用文献** 平野ら(1986)活火山流域における土石流の発生限界と流出規模の予測, 第30回水理講演会論文集, p.181-186; 今泉ら, 表層崩壊の無次元発生支配パラメータ, 砂防学会誌, 投稿中

表-1 計算条件

z (m)	$K_{z(z)}$ (m/h)	n
$z \geq 2$	0.15	0.4
$1 \leq z < 2$	0.08	0.4
$z < 1$	0.03	0.4

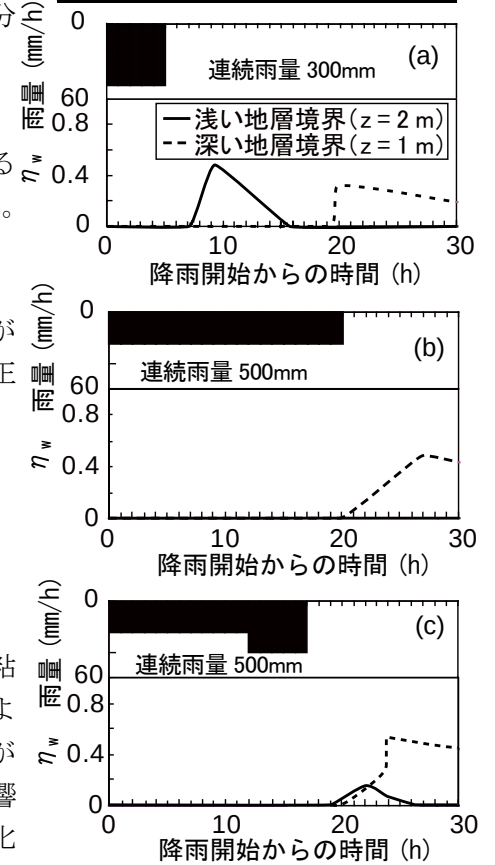


図-2 様々な降雨パターン時の η_w の変化