

斜面崩壊時の破壊確率の遷移特性について

名古屋大学 正会員 松尾 稔
名古屋大学 学生会員 O上野 誠

1. はじめに: 豪雨時に発生する斜面災害防止のための最も重要なことは、崩壊発生の予知によって被害を軽減させることである。しかし、斜面崩壊の予知は現状では非常に困難である。これは、斜面自体の有する複雑な性質のみならず、豪雨と崩壊の関連が明確になっていないという難いためである。豪雨時に危険斜面の変形量、間隙水圧などの時間的変化を計測できれば、崩壊の予知も可能とならうが、工学的にはあまり現実的ではない。そこで、変形量の代わりに破壊確率の遷移過程と過去の崩壊、未崩壊例について調べ、崩壊予知のパラメータとして利用可能があるかを検討する。これは、崩壊時の斜面変形量と崩壊の間に、何らかの対応関係が存在するに違いないという直観的洞察に基づいている。観測量としては降雨量だけでよい点が有利である。

2. 破壊確率算定の方法: 崩壊の時間的変化が豪雨時の土中水分の変化に依存するため、まず降雨浸透解析法⁽¹⁾により豪雨と土中水分(飽和度)の応答解析を行なう。ここで扱う斜面のモデルは、不透水性基岩上に表土ののったものに限る。浸透解析モデルは1次元であるため、実際の土中水の流れとは差があるかも知れないが、斜面の微小幅の区間では中間流が平衡状態を保っている(流入量=流出量)と仮定し、2次元的中間流出は考慮していない。よって、地下水面の形成は浸透水が基岩上に溜ることによると仮定している。浸透解析に必要な各

表-1. 斜面の諸性質(*は仮定値)

パラメータは、各斜面について表1に示す。表1のデータには割線に示していないものもあるため、データの不足分は常識的な値を仮定した(表1の*印)。次に、斜面崩壊は土中水分変化による強度の低下、自重の増大によるものと考えているため、土の強度係数 c 、 ϕ と飽和度 S_r の関係を把握することが必要となる。そこで、一般的な山土数種(シルト質砂、砂質ローム等)について一面せん断試験を実施し、非常に興味深い結果を得た。すなわち、見かけの粘着力 c はある飽和度 S_r^* で最大(C_{max})となる。この S_r^* と間隙水比 e の間には図1のような線形相関が見出される。

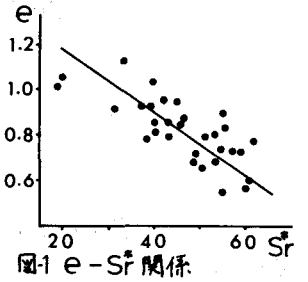
$$S_r^* = 128.8 - 100.0 e \quad (\%) \quad \dots (1)$$

また、ある飽和度 S_r での粘着力 c と C_{max} の比、 $c^* = c / C_{max}$ と ϕ と $S_r (= S_r - S_r^*)$ の間にも図2のような線形相関が見出された。

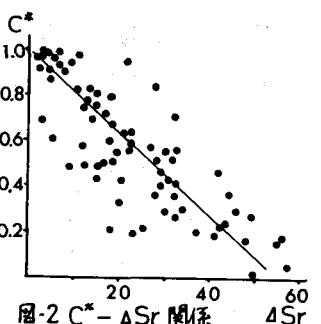
$$c^* = 1.0 - 0.0018 \phi S_r \quad \dots (2)$$

番号	地名	土質	傾斜角 (°)	表土厚 (m)	初期S _r (%)	間隙水比 (10cm)	透水係数 C _{max} (t/m ²)	φ (°)	
前 環	1 吳	ローム	45	2.0	66	0.9	1.0	5.5	23
	2 小原	砂土	45	2.0	*60	*0.3	*5.0	*2.0	*30
	3 銚子	シルト質砂	35	1.2	42	1.0	2.4	*2.0	*25
	4 神戸	砂土	40	3.5	*50	*0.3	5.0	*2.0	*25
	5 土岐	粘土	30	2.0	*50	*1.2	*1.0	*7.0	*10
	6 横須	腐植土	45	1.4	*50	*1.0	*5.0	*5.0	*10
	7 横須	ローム	50	1.4	*50	*1.2	*1.0	*10.0	*10
	8 小見川	砂質土	40	1.4	42	1.0	*5.0	*2.0	*30
	9 内海	粘性土	33	1.7	*60	*1.0	*1.0	*10.0	*10
	10 明智	砂質土	35	2.0	*50	*0.8	*5.0	*2.0	*30
	11 八幡岡	ローム質砂	50	2.0	67	1.04	*1.0	*5.0	*20
	12 小原	砂質ローム	43	1.5	45	0.9	1.3	*5.0	*25
	13 横須	砂質土	30	2.5	*50	*0.8	*5.0	*2.0	*25
	14 明智	赤土	30	3.0	*50	*1.0	*1.0	*5.0	*10
未 山 明 環	15 小原	砂質土	37	1.5	41	0.33	1.1	*2.0	*30
	16 吳	ローム	30	5.0	66	0.9	*1.0	5.5	23
	17 銚子	シルト質砂	35	1.2	42	0.9	*1.0	*2.0	*35
	18 神戸	砂土	34	6.0	*50	*0.8	5.0	*2.0	*25
	19 小見川	砂質土	34	1.8	41	1.0	*5.0	*2.0	*30
	20 小原	砂質ローム	32	1.5	45	0.9	1.3	*5.0	*25

11). 2式より C_{max} の値が推定されれば、任意の飽和度 S_r の状態で ϕ の値が予測されることになる。図1, 2から、 ϕ の値は平均値を示す直線(式11, 12)のまわりにばらつくため、このばらつきを考慮してこの値は正規分布と与える。せん断抵抗角 ϕ と S_r の間には、特筆すべき相関は見出されなかったため、 ϕ の値は S_r により変化する分布型(変動係数 = 0.2 の正規分布)と与える。 C_{max} , ϕ の測定値および仮定値(●印)が表-1に示されている(ϕ は平均値)。表-1にあげられた斜面に対し、円弧すべり面法による安定解析を行った。解析では土の強度係数 c, ϕ を正規分布と与えているため、計算により得られるのは安全率 F の分布である。従って、破壊確率 P_F は F の分布のうちで $F \leq 1$ とする部分の確率として与えられる。このようにして、各斜面に対し安定解析を行い、 P_F と時間 t (豪雨開始時が $t=0$) の関係と得たわけである。



3. 破壊確率の遷移特性: 表-1の崩壊例は、すべて表土滑移型崩壊である。



各崩壊例に関して、時間 t と P_F の関係と調べてみると、いずれも P_F が急上昇する時点、もしくはその近傍で崩壊が発生していることが判明した。これは、崩壊と P_F の遷移速度 $\dot{P}_F (= dP_F/dt)$ の間に何らかの特性値関係があることを示唆している。そこで、 $\dot{P}_F$ (%/hr) と t (hr) の関係について数例を図3に示したが、崩壊例についてはいずれも P_F がピークとなる時がまたはその近傍にて崩壊が発生していることがわかる。なお、図3において崩壊時の $\dot{P}_F$ を●印で示し、未崩壊例における $\dot{P}_F$ の遷移過程と破壊を示した。崩壊の直前に、おそらく斜面の変形速度は急上昇しているものと予想されるが、 $\dot{P}_F$ の遷移速度に関しても同様の傾向がみられることは非常に興味深いものである。この結果は、最初の予想通りに $\dot{P}_F$ と変形速度の間の対応関係を示唆するものであり、斜面変形量による崩壊予測の代わりに $\dot{P}_F$ の遷移特性を利用して予測を行う可能性を示している。未崩壊例においては $\dot{P}_F$ の最大値が大々くならぬことより、崩壊と未崩壊を区分する1パラメーターとして $\dot{P}_F$ が有効となることが推察される。崩壊時の $\dot{P}_F$ と P_F の関係(●印)、および未崩壊例における $\dot{P}_F \sim P_F$ 関係(破線)を図4に示す。 $\dot{P}_F$ の大々にかかわらず $P_F \geq 8$ (%) の範囲で崩壊が発生しており、未崩壊例では $\dot{P}_F$ の最大値でも 8 (%/hr) 以下であることが知られる。したがって、 $\dot{P}_F = 8$ (%/hr) 程度の値が崩壊と未崩壊を区別するものであり、崩壊予測の上で重要な値であると思われる。

1) 上野ほか: 二相流理論を用いた降雨浸透解析について、土木学会中部支那発表会, 1977.

