

19 地すべり・斜面崩壊の災害危険地図作成方法について

京都大学防災研究所 佐々恭二

昨年の研究発表では地すべり・斜面崩壊の運動距離の予測について、運動中の土の内部マサツ角と運動中の間ゲキ水圧より、運動中の土塊底面に働く見かけのマサツ角を求め、これをパラメーターとして用いて土塊の重心の運動距離を推定する改良そりモデルを提案し、御岳大崩壊の運動と地附山地すべりの運動について、その大幅な流動距離が説明できることを述べた。災害危険地図を作成するには重心の移動距離だけでなく、重心からの拡散範囲の推定が必要である。崩壊土塊のうち液化化した軟らかいものは広く、逆に水をそれほど含まない土塊では余り拡散しない。そこで、重心からの拡散の程度を表わすパラメーターとして水平土圧係数（液体では1.0、個体では0、土など粒状体ではその中間）を用いたシミュレーションの方法を考案した。

1. パラメーター（見かけのマサツ角と水平土圧係数）の求め方

土塊運動時の見かけのマサツ角に影響を与える要素は、運動時の土の内部マサツ角と間ゲキ水圧、および底面の急激な凸凹やカーブなどでの衝突によって生じるエネルギー損失などであるが、主なものはマサツ角と間ゲキ水圧であり、衝突によるエネルギー損失は定量化が困難なので無視することにする。運動時のマサツ角を測定するために高速リングせん断試験機を開発し、これを用いてガラスビーズ、川砂、御岳大崩壊の溪床堆積物などで運動時のマサツ角の測定を行ない、妥当な結果を得た。一方、運動時の間ゲキ水圧については、運動土塊がどこを流れるかによって、発生状態が異なる。図1は間ゲキ水圧発生状況を3つにタイプ分けしたものである。Aはコンクリート水路の中を土石流が進む場合などで地盤内に間ゲキ水圧は発生せず、また発散もしない。すなわち、土塊内部の間ゲキ水圧が土塊底面のせん断面での間ゲキ水圧になる。Bはかなり飽和した地盤（堆積層）の上を土塊が進む場合で地盤内に高い間ゲキ水圧が発生するため、せん断面での間ゲキ水圧は地盤内に発生する間ゲキ水圧によって決定される場合で、御岳大崩壊の運動や地附山地すべりの運動がこれに該当する。Cは飽和度が低い地盤の上を土塊が進む場合で、土塊内部の間ゲキ水圧が地盤内へと発散する場合であり、崖くずれの土塊があまり飽和度が低い地盤上に落ちた場合などに対応する。この3つのうちBについて、発生する間ゲキ水圧を計算する式（1）と、係数 A_0 、 B_0 の測定法、および見かけのマサツ角の計算式（2）を提案した¹⁾²⁾。

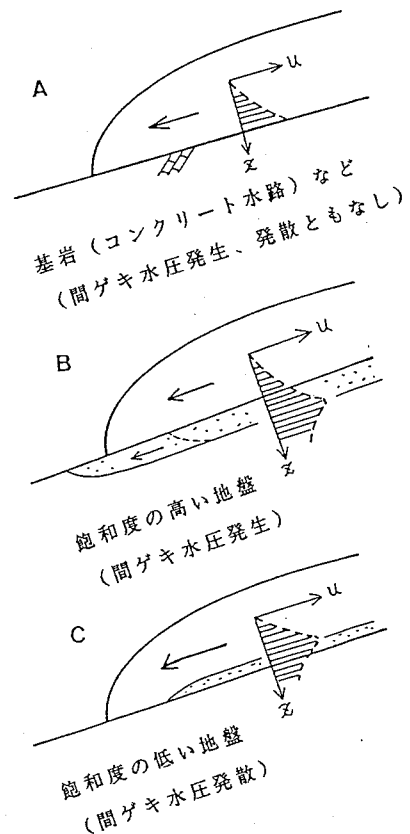


図1 間ゲキ水圧の発生タイプ

$$\Delta u = B_D(\Delta \sigma + A_D \Delta \tau) \quad \text{---(1)} \quad \tan \phi_a = \frac{(1 - B_D) \tan \phi_m}{1 + B_D A_D \tan \phi_m} \quad \text{---(2)}$$

A_D, B_D : 間ゲキ圧係数 ϕ_a, ϕ_m : おのおの運動時の見かけのマサツ角、真のマサツ角
土の静止時の水平土圧係数 (k) については、内部マサツ角 (ϕ) を用いて $k = 1 - \sin \phi$ で表わされることが知られている (J a k y の式)。今、土塊の運動時の水平土圧係数も土塊内部の運動時の見かけのマサツ角 ϕ_{ia} と近似的に同じ関係が成り立つと仮定すると (3) 式、また、見かけのマサツ角 (ϕ_{ia}) と運動時の土塊内部の真のマサツ角 (ϕ_{im}) は (4) 式の関係にある。

$$k = 1 - \sin \phi_{ia} \quad \text{--- (3)} \quad (r_u: \text{間ゲキ圧比}, u/\sigma)$$

$$\tan \phi_{ia} = \frac{\sigma - u}{\sigma} \tan \phi_{im} = (1 - r_u) \tan \phi_{im} \quad \text{--- (4)}$$

液状化した場合には、間ゲキ圧比 $r_u = 1.0$ になり、 $k = 1.0$ 。土塊内の間ゲキ水圧が 0 の時は、 $\phi_{ia} = \phi_{im}$ になる。

2. 地すべり・斜面崩壊の運動範囲の面的予測法

図 2 は運動中の土塊の模式図である。この土塊内に水平面 ($x-y$ 平面) 上で単位長さ $\Delta x, \Delta y$ になるような鉛直なコラムを考える。図 3 はそのコラムにかかる力を示したものである。コラムにかかる力 (自重と水平土圧と底面でのマサツ) のベクトル和がコラムの加速に用いられるので、(5) 式が成り立つ。

$$a_m = W_p + \frac{\partial P_x}{\partial x} + \frac{\partial P_y}{\partial y} + R \quad (\because W_n + N = 0) \quad \text{--- (5)}$$

(4) 式を x, y 成分にわけて表現する (土塊は斜面にそって動くので、 x, y 座標が決まれば、 z 座標は決まる)。この際、運動速度の深さ方向の変化は重要でないので、深さ方向には一定な平均速度 (u_0, v_0) を考える。コラムの加速度を表わす場合、コラムが空間的にどう動くか考えるより、コラムは空間内に固定して、その中にある土の加速度がどのように変化するか考えた方が便利であり、流体力学ではこの方法がとられている。また、土塊底面のマサツ抵抗は土塊の運動方向の逆向きに作用すると考える。このような仮定のもとに、 x, y 方向の運動方程式を導くと (6)、(7) 式にな

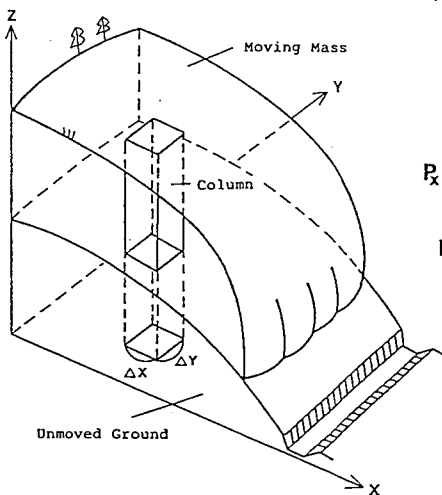


図 2 運動中の土塊とコラム要素

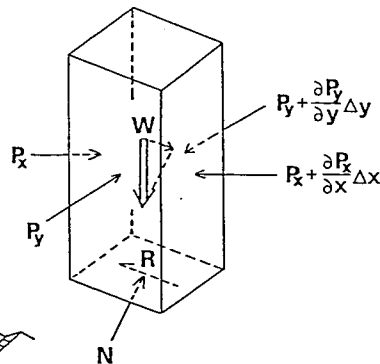


図 3 コラムに作用する力

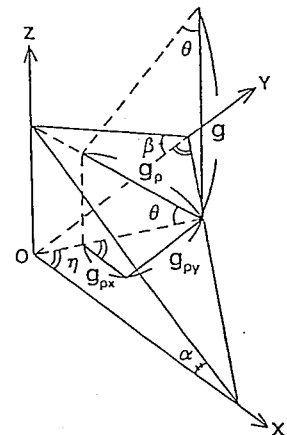


図 4 重力加速度の成分

る。また、(8)式は土塊の運動中の密度変化は無視できるとして、 x, y 方向からコラムに流入する土量だけコラムの高さが増大する時の関係式(連続式)である²⁾³⁾。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 M) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 M) = g h \frac{\tan \alpha}{q+1} - k g h \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$- \frac{g}{(q+1)^{1/2}} \cdot \frac{u_0}{(u_0^2 + v_0^2 + w_0^2)^{1/2}} \{ h_c(q+1) + h \tan \phi_a \}$$

----- (6)

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 N) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 N) = g h \frac{\tan \beta}{q+1} - k g h \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$- \frac{g}{(q+1)^{1/2}} \cdot \frac{v_0}{(u_0^2 + v_0^2 + w_0^2)^{1/2}} \{ h_c(q+1) + h \tan \phi_a \}$$

----- (7)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

----- (8)

ただし、

h :コラムの高さ、 M, N : x, y 方向の単位巾あたりの流量、 $M = u_0 h$, $N = v_0 h$, β :図4参照、 h_c :粘着力ヘッド、 c :粘着力、 ρ :密度

図4は重力加速度の斜面方向成分とその x, y 成分の関係を図示したもの、図5はコラムにかかる水平土圧を図示したものである。(6)、(7)、(8)式を差分式に変形²⁾して計算機で解けば、土塊の運動のシミュレーションが可能である。

3. 御岳大崩壊の流動を例とした災害危険地図作成法の検討

図6は1984年の御岳大崩壊図の平面図で、点線が土塊の流動範囲、A点が溪床堆積層からサンプルを採取した地点である。このサンプルの土質試験に基づいて見かけのマサツ係数($\tan \phi_a$)を(2)式および飽和度と間ゲキ圧係数 B 値の関係より推定し、3つのブロックに分けた。濁り川と伝上川の合流点以下は水量が多く、飽和度が高いので0.08、崩壊源頭部および平常は溪床表面にほとんど水のないB点までは0.20-0.30、その中間は0.10-0.15とした。これはいずれも昨年の発表で用いた数字とほぼ同じである。溪床以外のところでも水の湛水し易い平らな部分および凹地形のところは0.20-0.30とした。その他のところは若干湿って入るが、間ゲキ水圧の発生は少ないと考えて、0.50にした。(ただし、王滝川と濁り川の合流点C近辺は衝突によるエネルギー損失を考慮して0.10-0.30の値を与えた。) 一方、水平土圧係数は土塊内の間ゲキ水圧ゼロの場合と半液化化の場合の中間と考えて、0.6($\phi_{im}=34.7$ 度、間ゲキ圧比0.37)をとった。これらのパラメーターと地形を入力して計算すると、図7が得られる。この図から崩壊土塊の一部が伝上川の急カーブのところで尾根を乗り越えて濁り川へ流入すること、王滝川本川に約40mの厚さで堆積して川を塞ぎ止めること、図6のD点の狭窄部からさらに一部が流下することが予測可能である。王滝川への流入土砂量はこの計算では1700万 m^3 、狭窄部から下流への流出量は500万 m^3 である。この計算結果は、この方法が地すべり・斜面崩壊の災害危険地図の作成方法として有効であることを示していると考えられる。

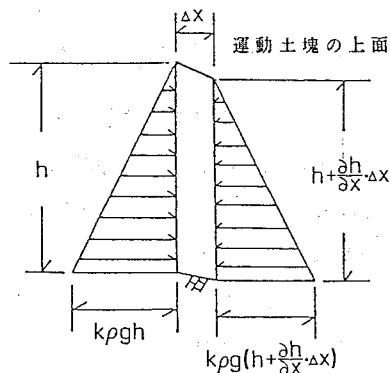


図5 コラムにかかる水平土圧

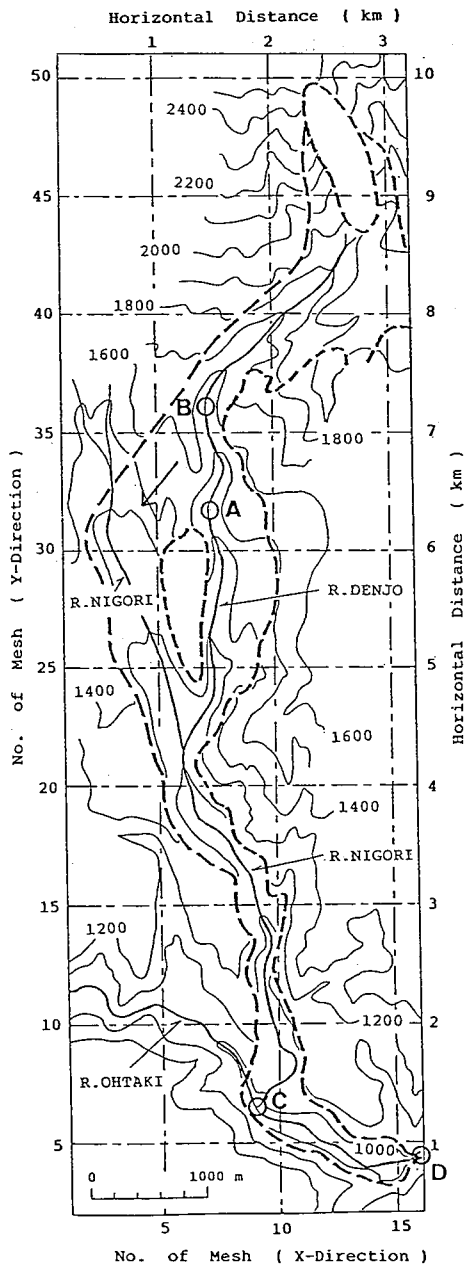


図6 御岳大崩壊の流動と計算メッシュ

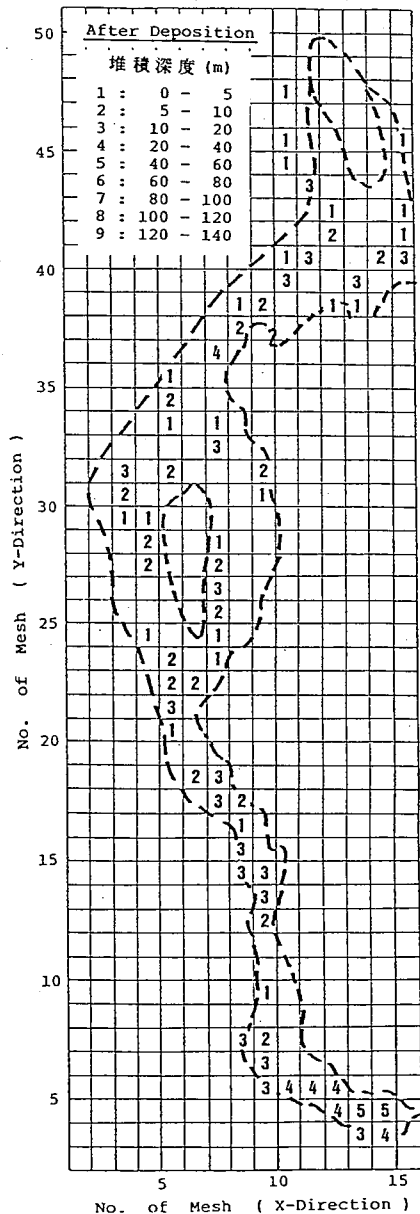


図7 シミュレーションの結果

最後にこの研究の一部に文部省科学研究費と全国治水砂防協会よりご援助いただいたことを記し、ここに感謝の意を表します。

4. 引用文献 1) 佐々恭二 (1987): 改良そりモデルによる地すべり・斜面崩壊の運動予測、昭和62年度砂防学会 2) 佐々恭二 (1987): 地すべり・斜面崩壊の運動予測、京大防災年報30号B-1 3) 佐々恭二 (1988): 地すべり・土石流の運動一被害区域の予測一の研究、科学研究費報告書 (61480062), および第5回国際地すべりシンポジウム論文集