



土石流の起源に関する一考察

佐 田 頼 光

1. はじめに

土石流(debris flow)被害の報道を目にすると筆者の故郷の情景が目には浮ぶ。郷里は、福岡県を東西に流下する九州第一の大河筑後川の支流、玖珠川^{ベリ}辺にあったから、長雨や大雨の毎に増水し河道の中央部の水面が高く盛上って流下し、耳をすますと「ゴロゴロ」と石のぶつかり合う音が聞こえたものである。

平時に、川の中央部で泰然と構えた大石も水が引くと消失したように姿を消すのが常であった。洪水の前後で河床の姿は一変する訳だが、遊び盛りの幼少の身にとって、それは一抹の楽しい変化でもあった。

しかし、土石流については破壊力は凄まじいといわれるように、河床の変化に興味を抱く無邪気さとは全く別次元の事象である。土石流発生は A) 斜面を構成する土質に起因するもの B) 地すべりに起因するものに大別できようが、両者に共通する要素に降雨量(precipitation)が挙げられる。また、積雪寒冷地では、地盤の凍結と融雪水にも留意しなければならない。

2. 土石流発生の要因

筆者は、嘗って寒地土木研究所の業務に関連し、有珠火山噴火(昭和 52・53 年)にともなう土石流調査に携わり現地調査を行った経験がある。今、有珠山腹の全日空沢ではすでに巨大な砂防ダムが築造され、種^{たね}の散布等斜面保護工と相俟って土石流防止に効果を挙げている訳だが、土石流発生が報道される 2 日前に偶然にも、当沢の状況を具に観察する機会を得たのであった。源頭部周辺の斜面は緩やか

であるが 30 cm を超える降灰で覆われており、無数のリル(rill)の発生が認められた。沢の中央部には、土石流の予備軍と思われる火山灰と軽石の混合土の大塊が堆積して土砂溜りを形成しており、多量の水分を含むこれらの土塊は、上に乗って揺ると容易に振動した。後日の降雨によってこれらが崩れ、土石流となって沢を流下したことは想像に難くない。

平成 6 年に至ると長崎県の普賢岳で火砕流爆発が起り、続いて土石流が水無川一帯を襲った。



図1 雲仙普賢岳、水無川左岸の土石流下跡、後方に霞むのが普賢岳。巨石が散在する荒廃した平野部が拡がっている。

両者の土石流には規模に差異があるものの、発生のメカニズムにおいては類似性があると考えられる。

図 2 は J. D. Rodine^{注-1)}が示した土石流起源の概念的モデルである。筆者は若干異なる思想を持っており、これは図 4 に示した。

いずれにせよ、土石流発生の起源については、機構的な面での解明が待たれるが、一応ここでは極め

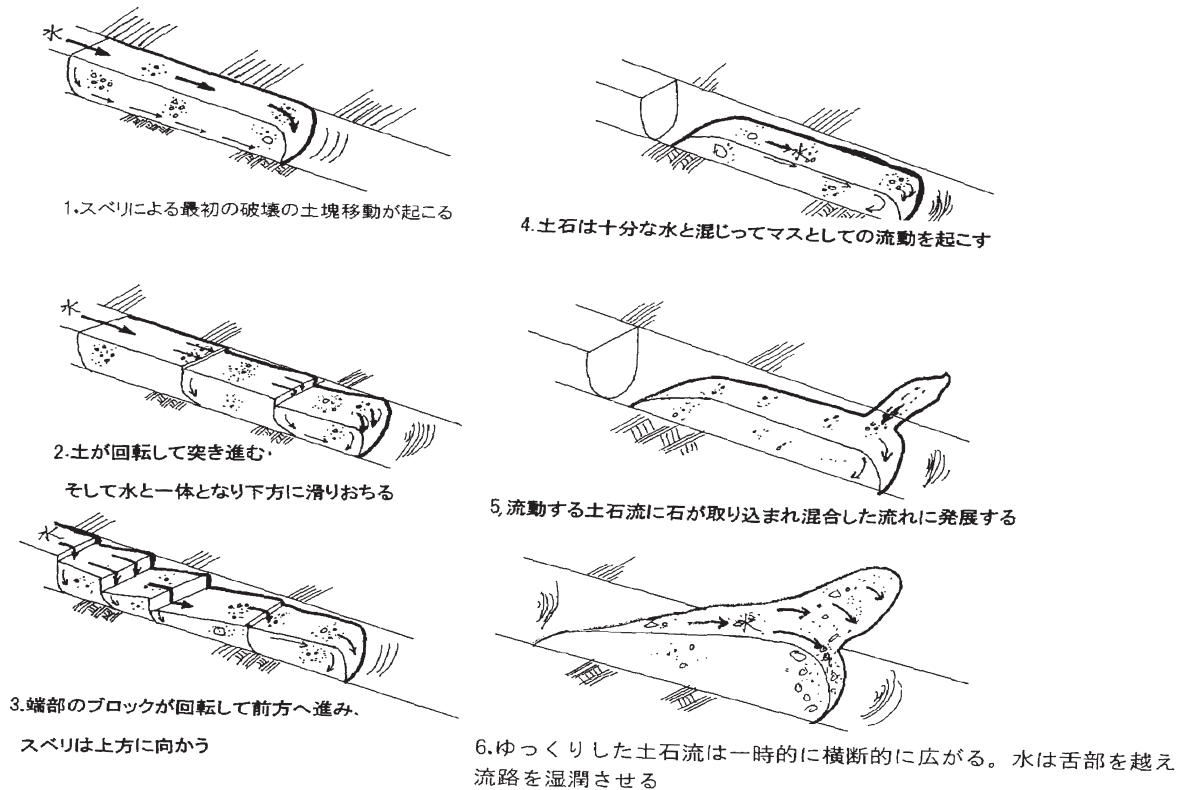


図2 土石流の起源の概念的モデル
(J. D. Rodineによる)

て古典的な無限斜面の安定問題として覗うこととしたい。

浸透流がある場合の無限斜面の限界高さ(H_c)^{注-2}は周知のように(1)式で与えられている。

$$H_c = \frac{c}{\gamma} \left\{ \frac{1}{\sin \delta - \cos \delta \cdot \tan \phi} \right\} \sec \delta \quad (1)$$

c : 流体の見掛けの粘着力、 γ : 流体の単位体積重量

ϕ : 流体の見掛けの摩擦角、 δ : 斜面の傾斜角

いま、 $\frac{1}{(\sin \delta - \cos \delta \cdot \tan \phi)} = N_c$

とすれば、(1)式は(1)'式で表わせる。

$$H_c = \frac{c}{\gamma} \sec \delta \cdot N_c \quad (1)'$$

(1)'式の N_c を斜面の傾斜角(δ)をパラメータとして表示すると図3のようになる。ここで $\sec \delta$ の値は一般的な $\delta = 10^\circ \sim 30^\circ$ の範囲を考えると $\sec \delta = 1.015 \sim 1.154$ であることから大勢に

影響を与えるものではなく、スベリ土塊の流下形状を単純な二次元平衡流であるとした点を併察して、 $\sec \delta \div 1.0$ と見做し得るものと考えられる。

図3に示した N_c は、 $\phi \rightarrow \delta$ で無限大となるが、限界高さ H_c は、見掛けの粘着力(c)と流体密度(γ)の比によって左右されることになる。見方を変えれば、図3の曲線は $c/\gamma = 1.0 \text{ m}$ に対する限界高さ曲線と見ることもできる。

例えば、 $c = 0.1 \text{ t/m}^2$ 、 $\gamma = 1.3 \text{ t/m}^3$ とすれば、 $\delta = 20^\circ$ $\phi = 10^\circ$ の場合、

$$c/\gamma = 0.1/1.3 = 0.0769 \text{ m、}$$

$$N_c = 5.8、\sec \delta = 1.06$$

$$H_c = 0.0769 \times 5.8 \times 1.06 \div \underline{0.47 \text{ m}}$$

$\delta = 15^\circ$ $\phi = 10^\circ$ の場合、 $c/\gamma = 0.0769 \text{ m、}$

$$N_c = 10.5、\sec \delta = 1.04$$

$$H_c = 0.0769 \times 10.5 \times 1.04 \div \underline{0.84 \text{ m}}$$

と算定される。

図4には筆者なりの土石流発生の概念的提示を行った。図2のJ. D. Rodineによる概念的モデルと比較して溪流の一時的堆積土(土砂溜り)が土石流

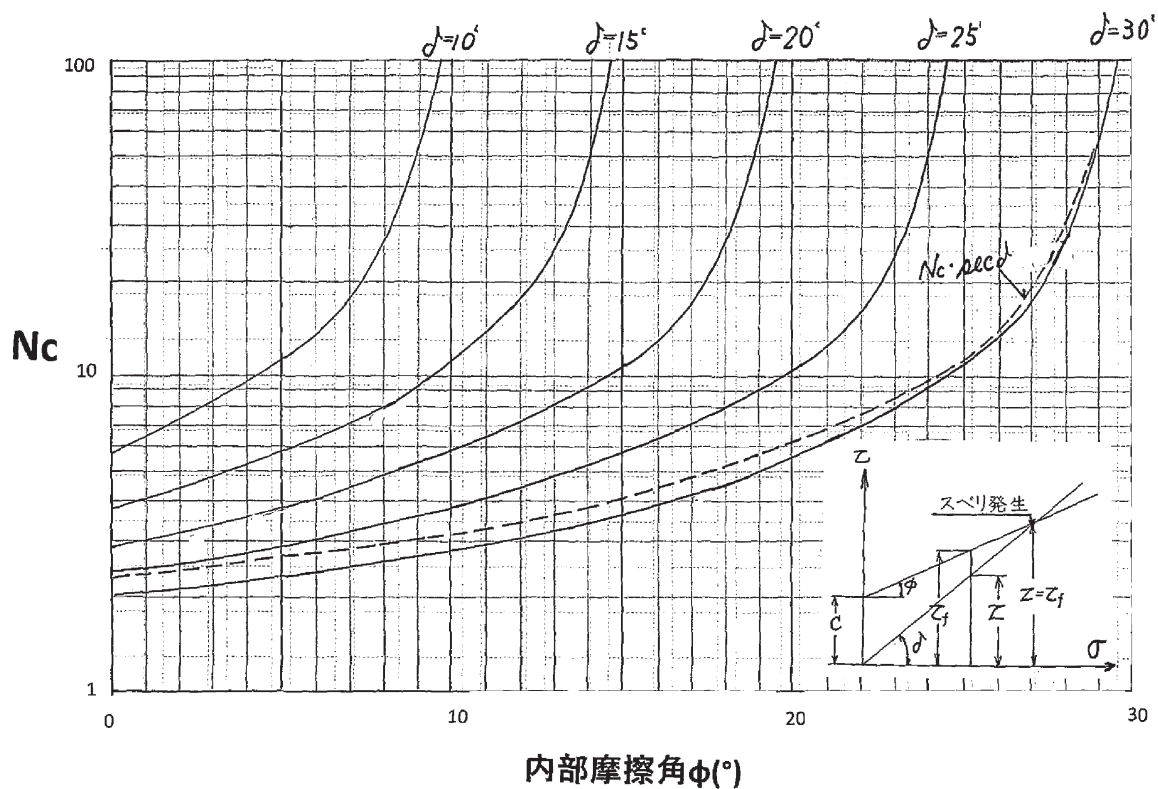


図3 内部摩擦角(ϕ)と N_c の関係

になるとした点が異なるが、問題は泥質状に軟化した材料のせん断強度(c 、 ϕ)をどのような手法で評価するかが重要である。自立が困難な材料の強度測定の手法が確定されなければ、前述の限界高さ(H_c)の評価の実質的な価値は認められないのである。

筆者は、前述の有珠火山泥流調査に関連して、コーン貫入試験を適用して c 、 ϕ を分離し、土石流発生の予測を提示したが、以後多くの春秋が経過し、記憶も定かでない。唯記憶に残るのは、先端角度 30° と 60° の二種類のコーンを用意したことだけである。これについては、紙枚の制限もあり、別に検討の機会を持ちたいが、測定値は、 $c < 0.1 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi < 5$ の非常に小さな強度であったように記憶している。

なお、降雨に伴う地すべりの発生と土石流の関係については、不飽和土の浸透問題が解明され、実務レベルでの斜面安定解析手法の一般化が最も望まれるところであり、今後の進展に期待するところが極めて大きい。

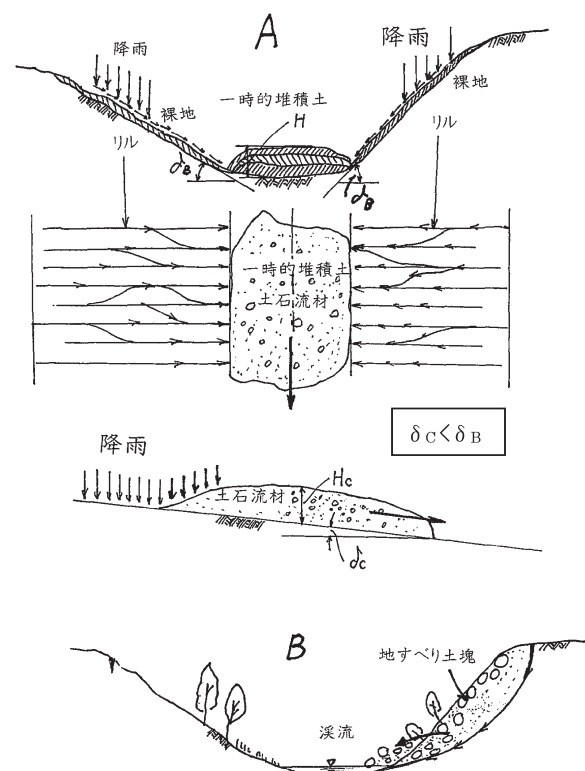


図4 土石流発生の起源の概念図(A・B)

A: 渓流左右斜面勾配(δ_B)
 渓流勾配(δ_C) $\delta_C < \delta_B$ であるから一時的堆積層(土砂溜り)を形成する
 B: 地すべり土塊が即時的に渓流に流れ込み土石流が発生する

3. むすび

我が国の山野には多くの斜面が存在する。

これらの斜面は、人工、自然のいずれかだが想定外の降雨や地震が起らない限り、殆どどの斜面は崩壊することなく安定を保っているように思われる。保全・安定に寄与しているのは斜面を覆う樹木・植生である。何らかの変動により緑豊かな斜面が裸地に変貌しない限り、未永く安泰を保つであろうし、またそう願わずには居られない。

脱稿するに当り、土石流発生のプロセスを図5に示した。今後関係各位の御尽力により凄まじい破壊力で生活基盤に打撃を与える土石流の対策がさらに進展することを期待³⁾したい。

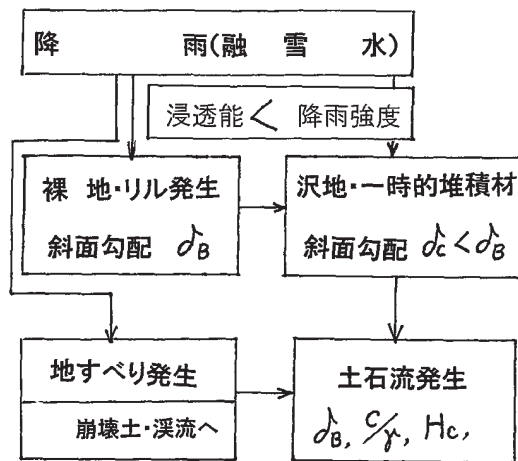


図5 土石流発生のプロセス

参考文献

- 1) J. D. Rodine: Analysis of the mobilization of debris flows
- 2) R. N. CHowdhury: SLOPE ANALYSIS. P86 ~ P91
Joseph E. Bowles: Physical and Geotechnical Properties of Soils P536 ~ P559
- 3) 社団法人 地盤工学会：豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測

佐田 頼光(さだ よりみつ)
技術士(建設部門)

拓北地下開発 株式会社

