

39 多平面安定解析による表層崩壊の検討

— 花崗岩質が新第三紀層で構成される地域を例として —

国土地理院 保谷 忠男

1. はじめに

いわゆる表層崩壊の生起に係る要因としては、①傾斜、②表層土（崩壊予備物質）国土地理院 1976、「潜在崩土局」沖村 1982、③水（地中水）が指摘されている。これらの要因の全部又は一部を考慮に入れた解析の試みが行われてきた（羽田野 1976、沖村 1982、1983、1985）。

表層崩壊に対する多平面安定解析の適用は、沖村（1982、1983、1985）によって精力的に進められている。その成果は、次のように要約できる。

①多平面安定解析法によってある斜面において最も崩壊しやすい位置及び崩壊範囲をほぼ指摘できる。②計算された安全率は、使用するせん断抵抗強度に関係している。せん断抵抗強度を変化させると、計算される安全率は、斜面毎に異なる変化を示す。そのため、安全率の絶対値については、一概に他の斜面と比較できない。③前2項の結果を得た検討では、地中水のことは直接的には考慮されていない。そこで、地中水の挙動をシミュレートし、間隙水圧を求め、その結果を使って多平面安定解析を試みられた。その結果では、試験地内に一様のせん断抵抗強度を仮定した場合に、崩壊・非崩壊斜面の区別を十分に説明し得ない。しかし、集水面積を含んでいる地形的滑動力示数（羽田野、1976）と多平面安定解析による安全率を組合せると、崩壊・非崩壊斜面の区別がかなりよくできる。

以上のようなこれまでの検討経緯を踏まえ、本小論では、傾斜と表層土の条件を多平面安定解析で評価し、地中水の条件は集水面積を通じて関係してくると仮定して解析を行うことにする。

2. 解析の方法

多平面安定解析を行い、「擬安全率」を求め、得られた擬安全率を用いて以下の検討を行う。なお、得られた擬安全率は、現実の斜面構成物質のせん断強度とは異なる値を使用し、また地中水の条件も考慮していないため、安全率とは違うものである。

①地中水の影響に配慮するために集水面積を考慮する。縦軸に擬安全率、横軸に集水面積の対数をとった散布図を作成し、崩壊・非崩壊斜面の分離の具合を調べる。

②前項の散布図上で崩壊・非崩壊斜面を区分する境（「崩壊発生限界線」と呼ぶことにする。以下場合によってはCLと略す。）を求めた。CLで境される崩壊斜面の分布する領域を「崩壊発生領域」ということにする。なお、各地区の斜面サンプル数が十分ではないために、各地区でそれぞれCLを求められないのが現状である。そこで予め行った比較的サンプル数の多い地区の検討結果を踏まえ、CLは、散布図上では④直線とする。⑤各地区におけるその勾配は同一であると仮定する。

③求めたCLの散布図の位置と降雨量との関係を調べる。

3. データ

解析に必要とされるデータは、④斜面の縦断、⑤表層土の分布、⑥表層土の物理特性（せん断抵抗

強度、密度)。(3)ある斜面部位における集水面積、(4)降雨量である。

④の調査では、斜面の最大傾斜線に沿って斜距離2m毎に測点を設定し、測点において反動をつけて体重をかけた場合の農研式検土杖の貫入深(動貫入深)の測定を行い、その値を表土層厚とみなす。この動貫入深は、ほぼ表層崩壊の破壊面の位置と相当している(羽田野1976, 沖村1980)。

せん断抵抗強度、密度は、沖村(1985)の花崗岩についての値、即ちせん断抵抗強度 0.634 t/m^2 、密度 1.614 t/m^3 を準用した。

集水面積値は、1:2500又は1:5000地形図上の計測値である。

4. 解析結果 (対象地域は、表1に示す。)

4.1 多平面安定解析の結果

崩壊部値を指摘できた(沖村, 1982)ことを再確認した。

4.2 崩壊・非崩壊斜面の分離

得られた擬安全率と集水面積とより作成された散布図の一部を図1に示す。非崩壊斜面は崩壊発生領域に分布するケースは、T地区及びC地区でそれぞれ3サンプルと1サンプルとあり、崩壊・非崩壊サンプルは、よく分離されている。

4.3 崩壊発生限界線(CL)

CL上の斜面サンプルの擬安全率を「限界擬安全率」とし、その値を t_c とする。仮定する集水面積 S に対応してCLは、

$$t_c = \alpha \log S + \beta \quad (1)$$

と書ける。

各地区毎にCLを求めると十分なサンプルが存在しないために、前述の仮定を使ってCLの勾配を決める。そのため各地区について崩壊・非崩壊斜面を区分する直線群のうち勾配の最大値と最小値を求めた(図1の参照)。求められた各地区の勾配の最小値~最大値の共通部分から求めたCLの勾配範囲を与えることになる。今回の解析事例では、E地区の傾きの最大値 0.384 、F地区の傾きの最小値 0.450 となり、共通部分を得られなかった。しかし、その差がそれほど大きく

表1 対象地域の諸特性

地区	サンプル数			地質	実効雨量	S_c (m)	所在地
	総数	崩	非崩				
A	10	5	5	T	100	1400~4000	北海道釧路市
B	9	6	3	T	143	500~1100	山形県最上郡
C	31	14	17	T	267	600~700	福島県耶麻郡
D	21	9	12	G	260	560~780	三重県鈴鹿市
E	18	1	17	G	208	790	奈良県奈良市
F	17	8	9	G	296	580~700	奈良県三宅市
T	23	12	11	G	342	560	岐阜県瑞浪市
	11	5	6	G	236	740	愛知県加茂郡

(注) 1. T地区のデータは羽田野の調査結果、他のデータは国土地理院地理院-課の調査結果。
2. 地質図記号: T:新第三紀, G:花崗岩。
3. サンプル数: 崩:崩壊サンプル数, 非崩:非崩壊サンプル数。
4. 実効雨量は、半減期10%の場合である。
5. S_c については、3%を参照。
6. 最終行は、検証用サンプルである。

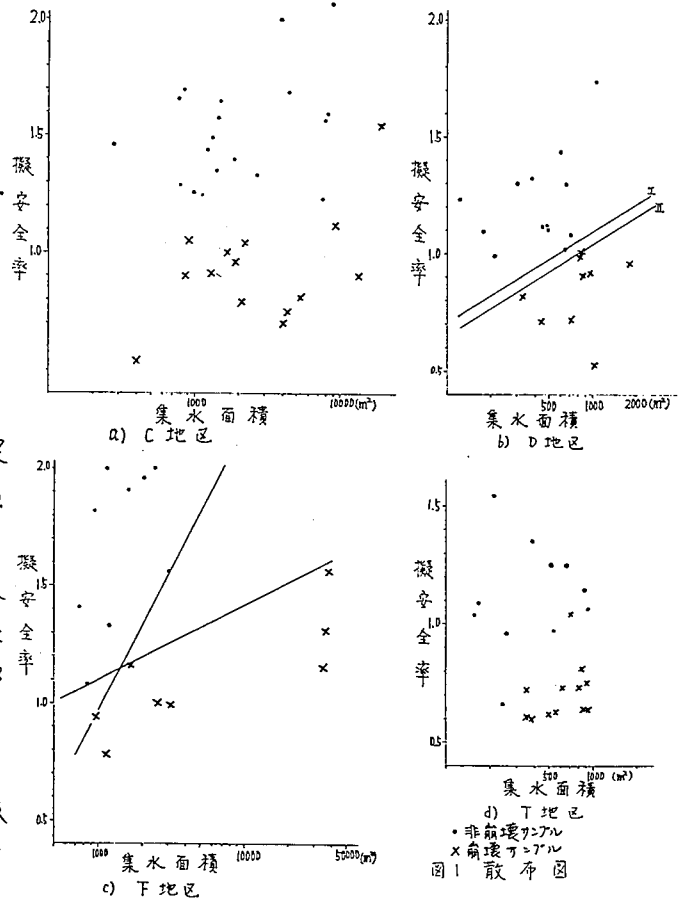


図1 散布図

はないので、その平均値をCLの勾配とみなすことにする。このことは、成果の精度を暗示する。従って、(1)式の α は、

$$\alpha = 0.42 \quad (2)$$

となる。

4.4 崩壊発生限界線と実効雨量との関係

(1)式を書き直して、

$$f_c = \alpha (\log S - \log S_c) + 1 \quad (1')$$

とおく。 S_c は、CLと擬安全率 $=1$ という直線との交差の集水面積値であり、 $f_c=1$ の場合の「限界集水面積」といえる。

各散布図において、崩壊サンプルの勾配 α を持つ直線の右下側に来るようにした直線群のうち最も右方の直線： $f_c=1=0.42(\log S - \log S_c^u)$ なる直線Ⅱを引く(図1b)。同様にして、非崩壊サンプルが左上に来るようにした直線群のうち最も左方の直線： $f_c=1=0.42(\log S - \log S_c^l)$ なる直線Ⅰを引く。サンプルが十分にあれば、本来この直線Ⅰ、Ⅱは一致し、崩壊発生限界線になる筈のものである。求めた S_c は、 $S_c^l \leq S_c \leq S_c^u$ を満たす。各地区の散布図から S_c 又は S_c^l, S_c^u を求める(表1参照)。

かけ崩れと降雨との関係の解析例(鈴木たち, 1981)を参考に、各地区について半減期1日の実効雨量(以下単に実効雨量又は P と略することある)を求める(表1参照)。

縦軸に S_c の対数、横軸に P の対数をとった図を作成すると、図2が得られる。但し、 S_c が求められず、 S_c^l と S_c^u (求められない場合には、 S_c^l と S_c^u を結ぶ線分を表示した。なお、実効雨量に替えて連続雨量、雨量強度(時間雨量)を用いた場合にはよい結果は得られなかった。

図2より

$$\log S_c = -0.788 \log P + 4.736 \quad (3)$$

と回帰できる。従って、CLは、(2)、(1')、(3)より

$$f_c = 0.42 \log S + 0.33 \log P - 0.99 \quad (4)$$

となる。

以上から、本小論で対象とした地質条件、地形条件では、表1崩壊の崩壊発生限界線は(4)式で与えられる。また、逆に擬安全率 f 、集水面積 S を持つ斜面(部位)は、崩壊発生限界実効雨量(P_c)以上の降雨があったと崩壊する。その P_c は、 $\log P_c = 3.0 f - 1.27 \log S + 3.0 \dots (5)$ となる。

4.5 回帰式の妥当性の検討

得られた(4)式の妥当性を調べるために、回帰式を図的に求めるときに対象に含まれていない地区の擬安

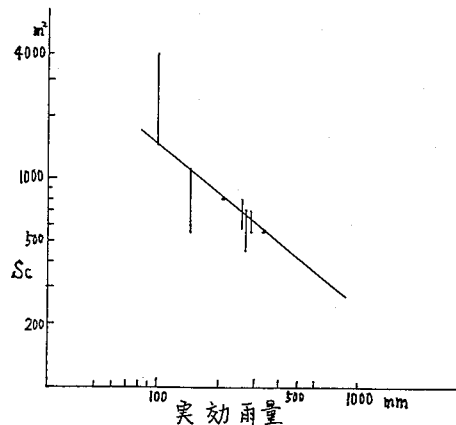


図2 S_c と実効雨量との関係

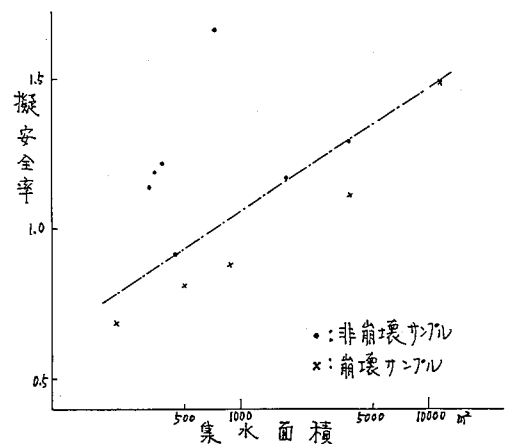


図3 検証用地区の散布図

全率一集水面積の散布図(図3)を作成し、その図に(4)式で分えられたCSを記入した。図3より(4)式は、ここで対象としたような地域においてはかなりの妥当性を持つといえる。

5. 結果の検討

対象とした花崗岩及び新第三紀層みよなる地域では、本小論の方法によりある斜面の①最も崩壊しやすい部位、②崩壊発生根界線及び崩壊発生根界突効雨量を求めると出来る。(みよ)次のような問題点、課題が残されている。

①(4)で述べたように例は少ないが、非崩壊サンプルが崩壊発生根域に属する場合がある。今回の試みでは、129サンプルで誤区は4例であり、崩壊・非崩壊の区別は非常にうまくいっている。T地区の1例は、斜面上に炭焼窯跡があり、そのことが影響しているものと思われる。その他の例では、今のところ誤区に該当する特徴は不明である。

②表層土厚及び斜面傾斜角の測定精度等を調べ、これらの値に基づいて多平面安定解析により求められる擬安全率の精度を把握する必要がある。

③集水面積の計測は、1:2500、又は1:5000の地形図上での計測でも問題が多い。

④求めた崩壊発生根界線及び崩壊発生根界突効雨量の精度の確定は、難しいが、残された課題である。

⑤本解析ではせん断抵抗強度の仮定値に基づいて崩壊発生根界線を取めた。しかし、沖村(1982)は、せん断抵抗強度を変化させた場合の斜面内の(擬)安全率の変化の相違みとその絶対値を他の斜面と比較できないとしている。サンプル数の多い地区で検討する必要がある。

⑥中生層・古生層の地域では、今回対象の地域とは表層土の分布の様子が異なり、本解析結果を適用できない。本解析結果を適用できる条件を明らかにするとともに、適用できる地域における解析法を開発する必要がある。

6. おわりに 使用したデータのうち、T地区のデータは、羽田野氏の調査成果である。データの使用を快諾された同氏に感謝いたします。その他の地区のデータは、国土地理院地理第一課がここ十年に行ってきた調査結果の一部である。なお、羽田野氏にはいろいろと議論していただいた。記して感謝いたします。

[引用文献]

沖村孝・田中茂(1980):一試験地における風化花こう岩斜面の土層構造と崩壊発生根界に関する研究, 新砂防, 116号, pp.7~16.

沖村孝(1982):潜存崩土層分布を利用した表層崩壊発生根位置に関する研究, 新砂防, 124号, pp.9~18.

沖村孝(1983):花崗岩地域における表層崩壊発生根のメカニズム, 新砂防, Vol.35, No.4, pp.14~20.

沖村孝(1985):数値地形モデルによる崩壊発生根の予測に関する研究, 文部省科学研究費

参考文献

国土地理院(1976):航空写真による崩壊調査法。

鈴木雅一・小橋澄治(1981):かけ崩れ発生と降雨の関係について, 新砂防, 121号, pp.16~26

羽田野誠一(1976):豪雨に起因する表層崩壊調査の手法, 第13回自然災害科学総合シンポジウム論文集 pp.3~4