

斜面崩壊時刻を概略予測するための移動速度の正規化

菅原 紀明

Normalization of displacement rate for roughly predicting the time to failure in rock slope

Noriaki Sugawara

Abstract

It has been intensively requested in field observation that a time to failure in slope is conveniently predicted in a variety of failure mode and scale of rock slope. In such observation, the most popular measured value is a displacement of slope, and tilting angle and settlement are next one. In estimating time to failure from various kinds of measurement data of the same slope, it is quite effective to understand internal relationship between such a different kinds of data.

The Saito's method called roughly estimation procedure is based on the secondary creep strain rate which is defined as dividing displacement rate by 10m in length. However a displacement rate is commonly admitted to have scale effect of a given slope. Accordingly, the Saito's roughly estimation procedure should have some limitations to apply in term of scale of slope.

Collecting many records of slope measurement data including various slope with widely different scale and different failure mode, a normalization of displacement rate by scale of effect is examined. Consequently, it is found that the displacement rate normalized by cubic roots of volume of slope is suitable to obtain good estimation on time to failure in slope because log-log relationship between the normalized displacement rate and the time to failure is closely linear with 1 order of magnitude.

And also, the secondary creep strain rate proposed by Saito, the normalized displacement rate and the tilting rate of slope, against each of time to failure were plotted in the same log-log graph, in order to compare with each other. In this figure, the band plotted by the secondary creep strain rate-time to failure is found to be intermediate between the plot of the normalized displacement rate and the tilting rate, and also overlapped. This figure shows a clear understanding on sense of each rate.

(要 旨)

崩壊様式および崩壊規模の様々な岩盤斜面において、観測結果を基に、簡便な手法で崩壊時刻を予測出来ることが実際の現場において求められる。その場合、最も多用される観測項目は斜面の移動量であり、その他に傾斜角変化量と沈下量が上げられる。これらの観測項目が相互にどのような関係があるかを知ることは、特に同一斜面上で各種の観測方法を採用した場合、崩壊時刻を評価する時に重要である。

斎藤(1966)の第2次クリープ速度を基にした概略予測は、一定の基準長10mで移動速度を割ってひずみ速度としてある。一方、斜面の移動速度は移動土塊の寸法効果に影響されることが知られている。したがって、斎藤の概略予測はある特定規模の斜面に最適な方法であると考えられる。

そこで、崩壊規模が大幅に異なる斜面の移動速度と崩壊時刻の記録を集めて、崩壊規模を基にした移動速度の正規化を検討した。その結果、移動速度を崩壊土量の3乗根で割って正規化すると、崩壊までに残された時間と正規化移動速度は両対数グラフ上で1オーダーの幅で密接な直線関係にあることが明らかとなった。

斎藤(1966)が提唱した「第2次クリープひずみ速度と崩壊時間の関係図」と、「正規化移動速度」および「傾斜角速度」に関して崩壊までに残された時間の関係を同じ両対数グラフにプロットして、3つの値の比較を行った。

その結果、「第2次クリープ速度」の帯は「傾斜角速度」の帯と「正規化移動速度」の帯の間に存在し、部分的に重なり合い、それぞれの相対関係が明確になった。このことから、崩壊時刻の概略予測の上で、正規化移動速度が合理的であることを示した。

1. まえがき

岩盤斜面崩壊様式は崩落、滑動、トップリング、バックリングなど、また、崩壊の規模も数m²から数百万m²以上と様々である。しかし、このように多様な岩盤斜面の崩壊時刻の予測を簡便に出来ることが実際の現場で求められている。

崩壊時刻の予測のためには岩盤斜面の動き（変動）を捉える必要があり、どんな崩壊様式であろうと崩壊時刻の予測に使用される測定要素は、今のところ、移動量、傾斜角変化量、沈下量に限られている。

斜面崩壊時刻の予測法として最も良く利用される斎藤・上沢の方法には、第2次クリープ領域での概略予測法、第3次クリープ領域での近接予測法と精密予測法がある。この中で概略予測として2次クリープひずみ速度から崩壊時刻を予測する近似式が提案されているが、斜面のひずみ速度の求め方に関しては明確に定義されていない。

そこで、移動量の時間的な変化からひずみ速度を求めて崩壊時刻を予測する場合のひずみの意味について考え、それをより広範囲な岩盤斜面崩壊に適用する場合の取扱い方について考察した。

2. 既往の研究成果

2.1 斎藤・上沢の崩壊時刻の予測法とひずみ

斎藤・上沢は自ら行った一軸圧縮および三軸圧縮クリープ試験結果と内外の文献から得たデータを解析し、2次クリープにおける定ひずみ速度とクリープ破壊時間間に重要な関係があることを見出した。

これを文献より引用して図-1に示す。同図のデータから明らかなように、試験データは世界各国の異なる粘性土の結果がプロットされている。両対数グラフの中で、定ひずみ速度($\dot{\epsilon}_s$)と破壊時間(t_f)はほぼ直線関係にあるとみなされることから、それぞれを10⁻⁴/minおよびminの単位に表して

$$\log t_f = 2.33 - 0.916 \log \dot{\epsilon}_s \pm 0.59 \quad (1)$$

とした。

図-1は、一つの供試体試験についての2次クリープひずみ速度と、2次クリープ開始時刻から供試体破壊時刻までの継続時間を表し、それは1試験に対して1点のプロットで表されるものである。2次クリープおよび3次クリープ経過時における時々刻々と変化するひずみ速度に対する崩壊までに残された時間をプロットしたものではない。

また、ひずみは、図-2に示すように試験供試体の長さの変化量から求める。室内試験から求めたひずみと斜面のひずみとはどのような関係にあるかを、斎藤・上沢(1966)は、次のように説明している。

「長い風化した斜面があり、基盤面に沿って滑る場合に、部分的にせん断抵抗が減少すると、図-3のような

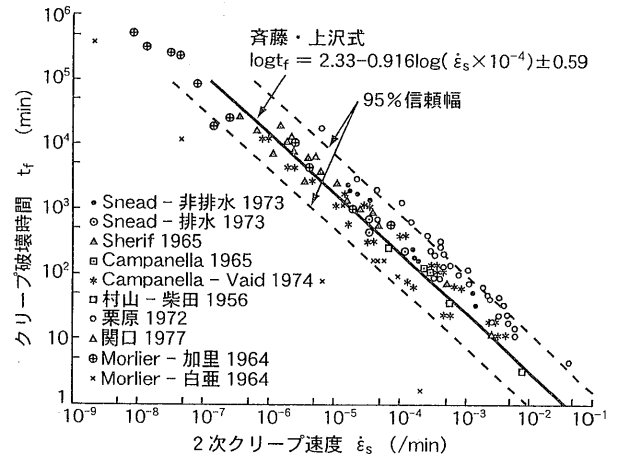


図-1 第2次クリープ速度とクリープ破壊時間との関係 (斎藤, 1992)

Fig.1 Relationship between creep-rupture life and secondary creep strain rate (Saito, 1992)

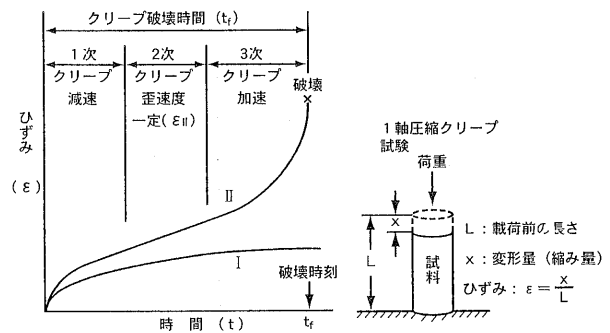


図-2 クリープ曲線と一軸圧縮クリープ試験のひずみの定義
Fig.2 Diagrammatic representation of creep, and definition of strain in unconfined compression test

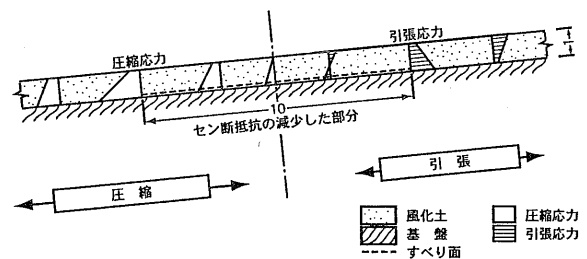


図-3 斜面に生ずる応力分布 (斎藤, 上沢, 1966)
Fig.3 Stress distribution along slope (Saito and Uezawa 1966)

分布で表面と地中に応力が発生し、表面中央はゼロで、斜面の上方は引張り応力、下方には圧縮応力が発生することになる。図-3の応力分布を巨視的に見ると、滑動体を二つに分けて上半分と下半分の2個の試験片が同時に自重の傾斜方向の分力に相当する荷重の下で、一つは引っ張り、他は圧縮を受ける形になり、室内試験のクリー

プ試験に近いのである。」

また、実際の斜面計測においては、野外の実験斜面において斜面上の亀裂をはさんで設置した伸縮計のワイヤーの全長に対する圧縮、または引張り量よりひずみを求めて、図-1の室内試験の成果と比較してほぼ一致していることを確かめている。

伸縮計を用いた斜面のひずみ速度の計算は

$$\dot{\epsilon} = \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (2)$$

ここで、 l : クイ間の長さ (mm), Δt : 経過時間 (min),

Δl : Δt 時間内の移動量 (mm)

で示されるが、実際は引張り亀裂をはさんで測定しており、主として地すべり土塊の移動速度を測っていることになる。

斎藤と同じ研究所(鉄道技術研究所)に在籍した小橋は著書(1975)の中で、「ひずみ速度を伸縮計の測定スパン長で除して算出するのは問題がある。しかし、この理論の裏付けとなる測定が主にスパン10mで行われているから、そういうスパンでの経験式と考えるべきであろう」と述べている。

また福園(1990)も「この基準長10mに対する明確な根拠はないが、過去の実例から経験的にそれほど矛盾はない基準である。したがって、第2次クリープ段階の図-1の方法は斎藤・上沢式を基にしているとはいえ、実際には移動量を基準長10mで除した無次元値を用いて予測する経験的な方法であるとも考えられる」と述べている。

野外で使用される伸縮計のスパン長は通常10m~30mが一般に採用される。この長さは実際の野外測定において、ワイヤーの長さの温度変化およびワイヤーの風に対する防御設備敷設の容易さ等を踏まえて合理的な長さである。そして、伸縮計で実測した移動量を10mで割り算してひずみとするか、または、設置した伸縮計の長さで割り算してひずみとしている。

2.2 斜面頂点の沈下速度と崩壊時間

斜面崩壊は重力作用により発生する現象である。斜面の変動計測の中で、現地状況によって、水平移動よりも沈下の測定が容易で経済的な場合がある。イタリアのSt Barbara 鉱山においては、採掘斜面の変動を各種の計測方法によって観測したが、変動量が大きくなったために、他の測定方法が使用出来なくなったことから、一般の測量器械を使用して沈下量を測定する方法を選択した。そこで得られた斜面上部の沈下測定結果は図-4に示すとおりである。

Esu, et al (1984) はこの実測沈下を基に次のようにひずみ速度を定義して、崩壊時刻の予測に役立てている。実測沈下量を s , 掘削斜面の高さを H とすれば、その斜面のひずみ速度は $\dot{\epsilon}_v$

$$\dot{\epsilon}_v = \frac{\Delta s}{H \cdot \Delta t} \quad (3)$$

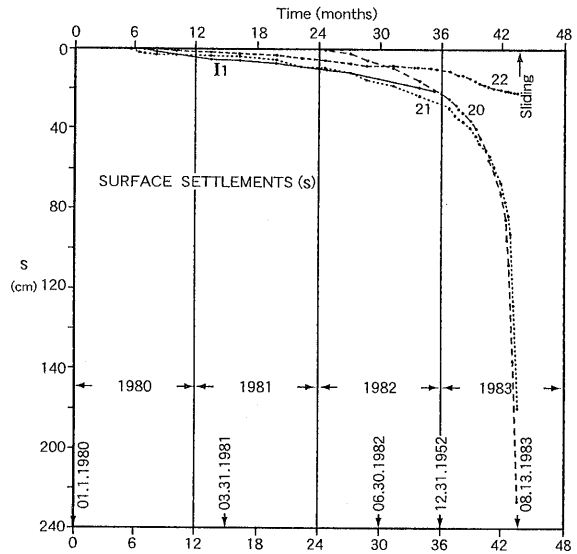


図-4 St Barbara 鉱山採掘斜面の沈下測定記録 (Esu, et al, 1984)

Fig.4 Settlement record in top of mining slope of St. Barbara (Esu, et al 1984)

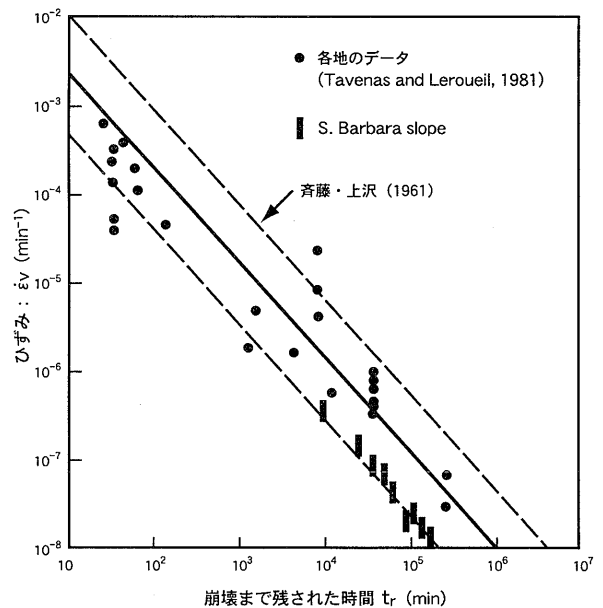


図-5 沈下記録から求めたひずみ速度と崩壊までに残された時間 (Esu, et al 1984)

Fig.5 Relationship between strain rate based on settlement records and time to failure (Esu, et al 1984)

ここで、 Δs : 時間間隔 Δt 間に生じた沈下量 (cm)

H : 斜面の高さ (cm)

Δt : 測定時間間隔 (min)

このようにして定義したひずみ速度を図-1に示した斎藤・上沢の図式に適用して、崩壊時刻を予測した。実際に崩壊した時刻が明確になった後で、崩壊までに残された時間と各測定個所のひずみ速度を図-1の斎藤・上沢

の図にプロットした結果が図-5であった。Esu, et al (1984) は良い予測が出来たと報告している。

このSt Barbara 鉱山の実例は、斜面表面の沈下量の計測結果も斜面崩壊時刻の予測に役立つことを示し、その場合は斜面の高さで沈下速度を割ると言う斜面の寸法効果に配慮しなければならないことを教えている。

2.3 地表面の傾斜角速度と崩壊時刻

著者(菅原, 2000)は土のベーンせん断試験, 人口斜面の崩壊実験, 自然斜面の地すべり, 斜面掘削に伴う斜面の傾斜変動など, 種々の傾斜角速度の関係資料を集め, 傾斜角速度と崩壊までに残された時間の大まかな関係を図-6にプロットし, それより次式を提案している。

$$\dot{\theta} \cdot t_r = 0.02 \sim 0.3 \quad (4)$$

ここで, $\dot{\theta}$: 傾斜角速度 (rad/d)

t_r : 崩壊までに残された時間 (d)

崩壊までに残された時間と傾斜角速度の関係は大略, 1 オーダーの幅で関係付けられる。

また, ここで採用した傾斜角の単位はradianであり, 円弧の長さを回転半径で割った無次元の単位である。斜面のモニタリングで取り扱う傾斜角の変化量は一般に小さい。角度が小さい場合, 一般に

$$\theta \approx \tan\theta \approx \sin\theta \quad (5)$$

と近似することが出来る。

また, 傾斜角度の変化は, 見かけ上, せん断ひずみと同等に取り扱ってよく, Gould, et al (1971) によれば,

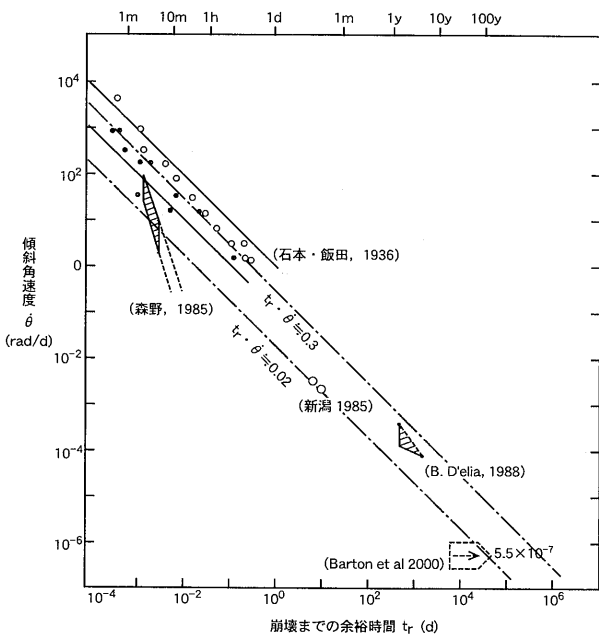


図-6 斜面の傾斜角速度と崩壊までに残された日数の関係 (菅原, 2000)

Fig.6 Relationship between tilting rate of surface and time to failure in slope

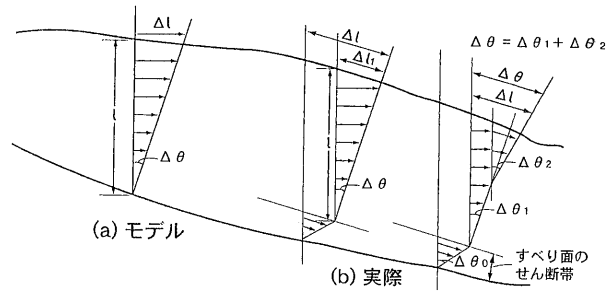


図-7 斜面表層部の傾斜変動モデル

Fig.7 Conceptual model on tilting movement of slope surface

せん断ひずみ (γ) と軸ひずみ (ϵ_a) とは一般に次のような関係がある。

$$\begin{aligned} \gamma &= \cos\phi \left[\epsilon_a + \left(\frac{1 \pm \Delta\nu}{1 - \epsilon_a} \right)^{1/2} - 1 \right] \\ &\approx \left[\frac{3}{4} \sim 1\frac{1}{4} \right] \epsilon_a \quad \dots\dots(6) \end{aligned}$$

ここで,

ϕ : 地盤の内部摩擦角

$\Delta\nu$: せん断中の体積膨張率

図-1に示すように, 斜面の崩壊予測式は1オーダーの幅のばらつきがあることを考慮すれば, せん断ひずみ \approx 軸ひずみと取扱っても実用的には問題はないであろう。

しかしながら, 実測される傾斜角変化量 $\Delta\theta$ (radian) は, 図-7に示すように移動土塊基底のすべり面を支点とする回転部分に, それより上方に支点を持つ回転部分が重なった変化量であると想定される。すなわち, 傾斜角変化量は「移動土塊の鉛直高さ」で割った移動量の値よりも大きな値を持つと考えるべきである。

言い換えれば, 斜面表層部のひずみ量と傾斜角変化は同一のディメンジョンをもつとはいえず, その変化量は傾斜角よりもひずみが小さい値を示す傾向があると考えられる。

3. 崩壊時刻予測のための基準化移動速度の提案

3.1 移動速度と崩壊まで残された日数の関係

内外の文献から, 崩壊規模が明示された斜面の移動速度 (v) と崩壊までに残された日数 (t_r) の関係を単純にプロットし, 図-8に示した。この図の右欄の凡例には各地の地名とその崩壊土量 (V : 単位 m^3) を, 崩壊土量の大きいものから小さい順に上から下に配置した。最大2億 m^3 に達するVajontから5および8 m^3 の天鳥橋までの広い崩壊土量についての移動速度と崩壊まで残された日数をプロットした。

図-8より明らかなことは次のとおりである。

移動速度と崩壊までに残された日数との関係は各々の斜面に関して両対数座標で大略45°の勾配を持つ直線に近似できる。

① 移動速度 (v) と崩壊までに残された日数 (t_r) の関係は

$$v \cdot t_r = 0.5 \sim 100 \quad (7)$$

ここで、それぞれの単位は v : (cm/d), t_r : (d)
このように、3オーダーの幅で広くばらついている。

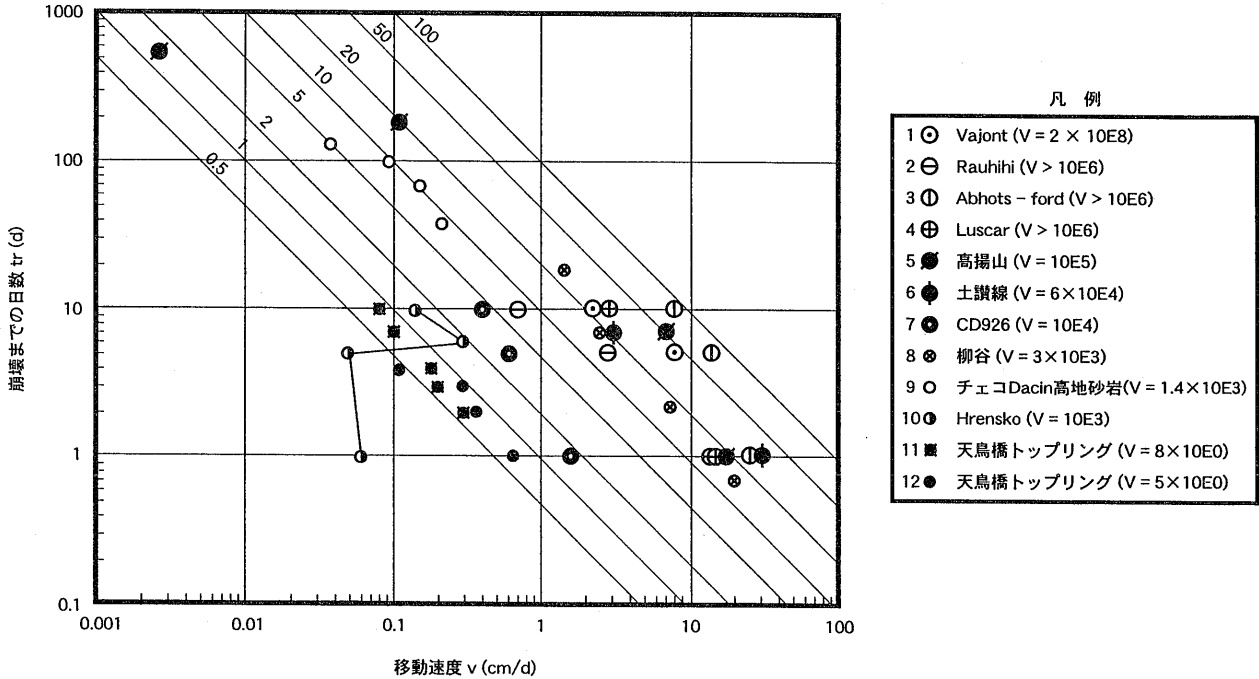


図-8 崩壊形式および崩壊規模の違う斜面の移動速度 (v) と崩壊までに残された日数 (t_r)

Fig.8 Displacement rate and time to failure, including a variety of failure mode and scale of slope

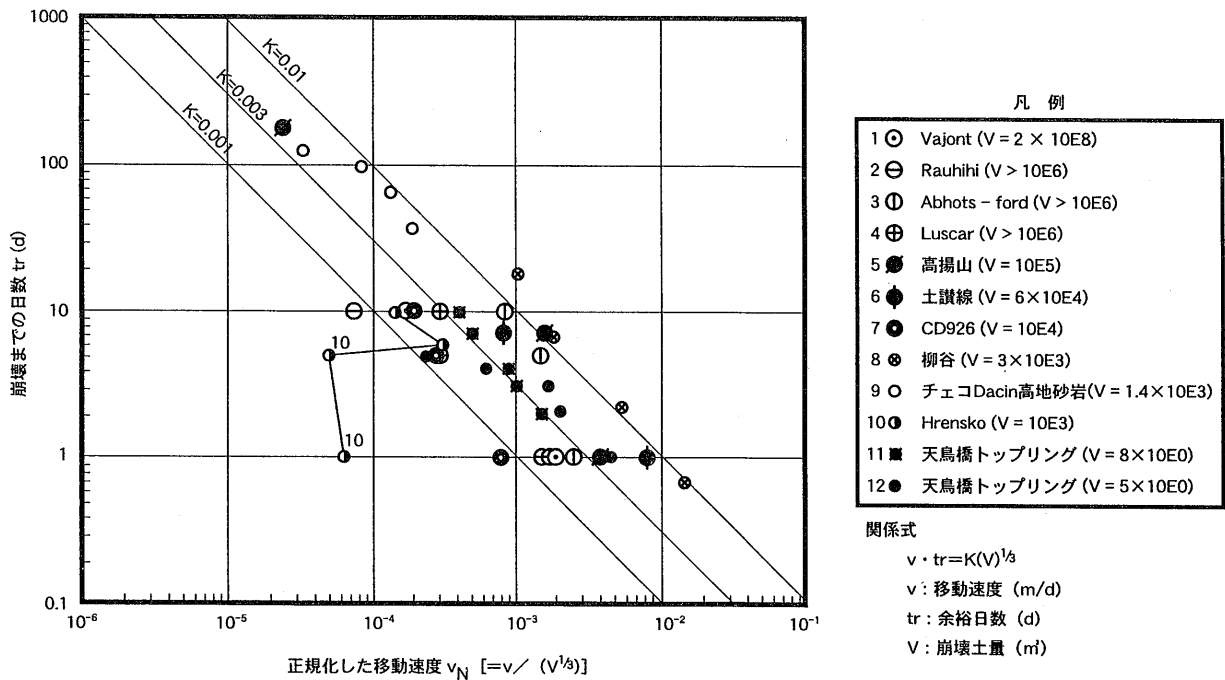


図-9 崩壊土量で正規化した移動速度 (v_N) と崩壊までに残された日数 (t_r)

Fig.9 Normalized displacement rate by cubic root of failure volume, (v_N), and time to failure in slope, (t_r)

- ② (7) 式の右辺の係数は大略、崩壊土量の小さなものほど小さく、崩壊土量の大きいほど大きい傾向がある。しかし、 10^6 m^3 以上の崩壊土量ではその差はない。
- ③ 図一8中右欄のNo10 Hrenskoの変動は例外的に崩壊までに残された時間が小さくなるほど移動速度が小さくなる部分がある。

【参考】Kostak (1993) は「比較的小規模の地すべりは規則的な加速を示さずに終局時に減速して滑り落ちることがある。」と忠告している。

図一8から言えることは、崩壊まで残された時間を斜面の移動速度から直接求めることは大きなばらつきがあることを覚悟しなければならず、または、崩壊規模を考慮して(7)式の右の係数を決定しなければならないことを表している。

3.2 移動速度の正規化と新たな崩壊時刻の予測式

Kostak (1993) は斜面の変形速度はその斜面の寸法に影響されることと、岩盤の体積が小さければそれだけ崩壊に至る限界速度が小さいと述べている。

このような提言を参考にして、図一8の移動速度を崩壊体積の1/3乗で割ることによって正規化し、この正規化移動速度(v_N)と崩壊までに残された日数(t_r)をプロットして図一9に示した。

これより、 $v_N \sim t_r$ の関係は(6)式と同様に

$$v_N \cdot t_r = 0.001 \sim 0.01, \text{ (平均して} 0.003) \quad (7)$$

ここで、 v_N : 正規化移動速度 [= $v/(V)^{1/3}$]

v : 移動速度 (m/d)

V : 崩壊土量 (m^3)

ただし、 $V \geq 10^6$ の場合は $V=10^6$ とおく。

t_r : 崩壊までの残された日数 (d)

このように、移動速度を崩壊土量の1/3乗で正規化すれば、崩壊までに残された日数の関係は図一9に示すように、狭い幅の直線関係が得られる。すなわち、図一8では3オーダーの幅であったのが、図一9では1オーダーにまとまる。

図一1に示した室内供試体の良くコントロールされた環境でのクリープ速度と破壊時間の関係ですら、1オーダーの幅を持った関係となることを省みれば、自然斜面の複雑な条件(地質、勾配、崩壊機構、崩壊規模)を含む崩壊斜面の関係が移動速度を正規化することによって同様に1オーダーの幅の帯にまとまることは極めて注目すべきことである。すなわち、Kostak (1993)の提言したように、斜面の変形速度は明確に寸法効果を持つと考えべきで、その効果は変動する斜面の体積の1/3乗に密接に関係すると考えられる。

4. 崩壊時刻予測に関係するひずみ速度、傾斜角速度、および正規化移動速度の相対比較

第2次クリープひずみ速度($\dot{\epsilon}_s$)、傾斜角速度($\dot{\theta}$)および正規化移動速度(v_N)それぞれの崩壊までに残された時間(t_r)の相対比較を行うために、時間の単位を同一にする必要がある。

斎藤・上沢のクリープひずみ速度の破壊時刻関係式の時間の単位はminで表現されている。これをdに変換して、上記3種類の速度と崩壊までに残された時間の関係を同一の図にプロットして図一10に示す。

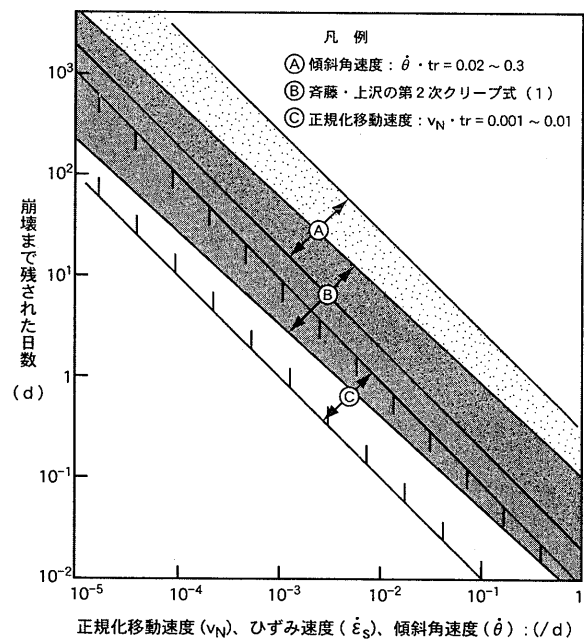
この図から明らかなのは

第2次クリープ式の帯は他の速度関係図の帯に部分的に重なっており、3つの速度は何らかの関係があると考えられる。

仮に、ある斜面の崩壊時刻を同じと想定した場合、3つの値は $\dot{\theta} \geq \dot{\epsilon}_s \geq v_N$ の順となる。

どこに違いがあるかと言えば、3つの値は同じディメンジョンを持っているから、ひずみを求める場合の分母の違いが反映されていると考えるべきである。

しかしながら、3つの速度の中で特に違いがあるとすれば傾斜角速度である。斜面の傾斜角速度変化は移動土塊の全体と個別ブロックの内部変動が加算された変動を表していると考えられる。場合によっては、図一11に示すように、これまで時間の経過とともに単調増加していた後で傾斜角の減少と増加を繰り返すことがある。これは斜面変動の崩壊に近づいた新たな段階を示すもの



図一10 崩壊までに残された日数に対する v_N 、 $\dot{\epsilon}_s$ および $\dot{\theta}$ の比較

Fig.10 Comparisons of normalized displacement rate with creep rate and tilting rate against time to failure of slope

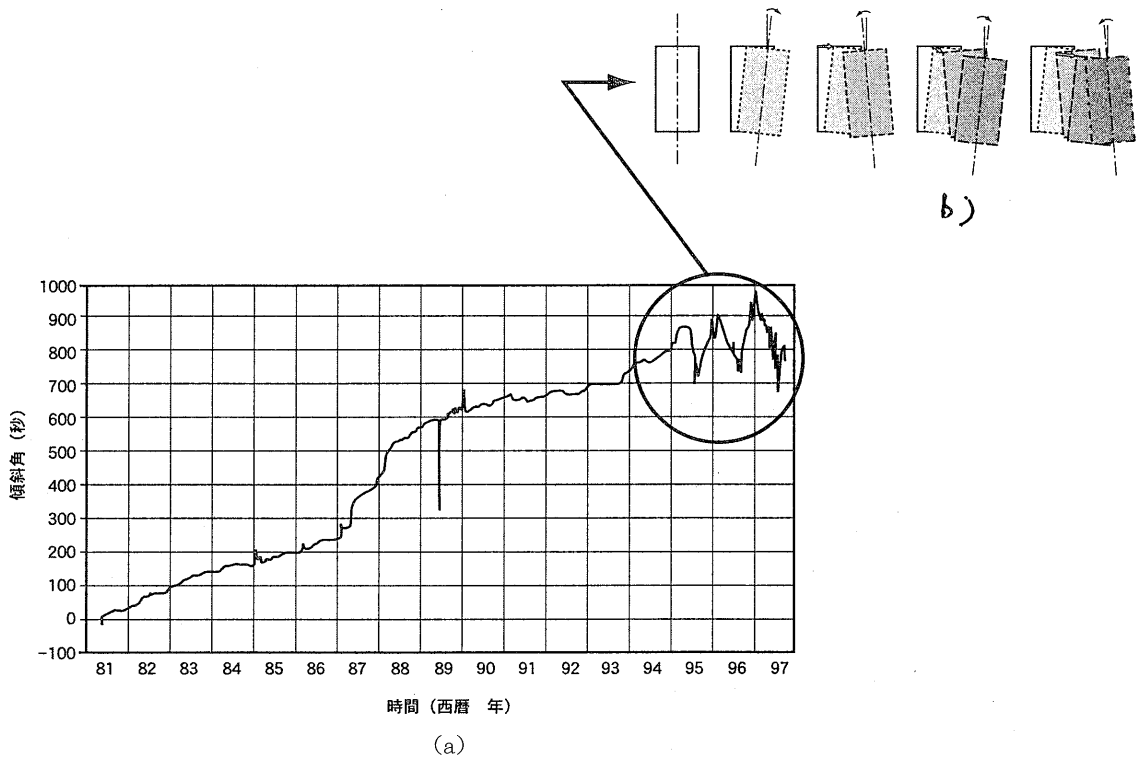


図-11 a)地表面傾斜計の長期観測記録例(Barton, 2000), および, b)斜面内部小ブロックの局所変動の解釈
 Fig.11 a)Long-term observation record of tiltmeter (Barton, 2000) and b)an interpretation on local movement of block within slope

と解釈される。このようは特異な変動は図-11に示すように全体の傾斜変動に局所的な部分変動が重なって傾斜角速度の減少となると説明される。

斎藤・上沢のクリープひずみ速度は、分母の長さを10mと定めている（実際には、10~30m）ことから、基準長10mに最適な斜面に対して適合する式と考えるべきである。

もし、上述の正規化移動速度の考え方が正しいとすれば、斎藤・上沢の式は基準長10m（または10~30m）の3乗、すなわち1000m³（または、~約30000m³）の崩壊土量に相当する斜面崩壊の場合に最適な予測式であるといえる。しかしながら、もし、崩壊土量1,000,000m³の斜面の場合、3乗根の分母は100に変化し、分母が10倍に代わるだけであり、1オーダーの崩壊時間の差となって評価されることになる。

5. 結論

斜面のモニタリングにおいて最も知りたいことの一つは、その斜面が近々崩壊するのか、しないのかである。そのためには、概略予測することが重要であり、崩壊が近いとすれば新たな覚悟と条件で計測作業が始まる。

本文は、概略予測精度の向上を目指して、移動速度の正規化の必要性を強調し、加えて傾斜角速度との相対比較を行った。

本文で得た結論は次のとおりである。

- ① 斜面の移動量は斜面の寸法効果に影響されており、移動速度より崩壊時刻を予測する場合は、予測崩壊土量の1/3乗で移動速度を正規化した「正規化移動速度」によって評価することが望ましい。
- ② また、斎藤・上沢の第2次クリープひずみ速度式は一定の基準長10mで割り算をしてひずみを定義しているが、実際には、通常10~30mの長さで割り算をしてひずみを求めている。したがって上記の正規化が正しければ1000m³~30000m³の崩壊規模を持った斜面に最も有効に適用されると考えられる。
- ③ 崩壊までの残された時間と関連させて、A傾斜角速度、B斎藤・上田のクリープひずみ速度、C.正規化移動速度を対比すれば、移動速度を別々の基準で割り算する分母の違いがあるだけで、3種類ともに同質の指標を求めていると言えよう。

6. あとがき

問題となる斜面をモニタリングする場合、その危険度合、計器設置状況、斜面の崩壊様式等、様々であり、それに使用する計測器も対象とする斜面の規模によっても様々である。同一の斜面でありながら各種の計測器を使用して管理することも考えられる。このような場合、同程度の精度を持って危険度または崩壊時刻を評価することが必要であり、図-9はその場合に有効な指標になるであろう。

参 考 文 献

- 1) 小橋澄治(1975) : 「斜面安定」土質工学基礎叢書 9, pp50~53.
- 2) Kostak B. (1993) : Remarks to prediction and monitoring, Procs of the seventh Int. Conf. and Field Workshop on Landslides in Czech and Slovak Republics pp155~168.
- 3) Rizzo, V. (1990) : Pre-rupture deformations and landslide surveillance, Procs of 5 th Int. Symp. on Landslides Vol.3, pp1459~1461.
- 4) 菅原紀明 (2000) : 地表面傾斜計を用いた岩盤斜面の安定度評価の提案, 応用地質技術年報 No.20 pp87~101.
- 5) 斎藤迪孝, 上沢弘 (1966) : 斜面崩壊時期の予知, 地すべり, 第2巻第2号, pp7~12.
- 6) 斎藤迪孝 (1968) : 第3次クリープによる斜面崩壊時期の予測, 地すべり 第4巻第3号, pp1~8.
- 7) 斎藤迪孝 (1987) 斜面崩壊時刻予測のためのクリープ曲線の適用について——崩壊予測の批判に答えて——地すべり, 第24巻第1号pp30~38.
- 8) 斎藤迪孝 (1992) : 「実証土質工学」技報堂出版, pp144~182.
- 9) 福囿輝旗 (1990) : 講座『移動量の変化から崩壊時刻を予測する方法 (その2)』, 地すべり技術, 地すべり対策協議会, Vol.17, No.1, 49号, pp26~34.
- 10) 福囿輝旗(1990) : 講座『移動量の変化から崩壊時刻を予測する方法 (その3)』地すべり技術, 地すべり対策協議会. Vol.17, No2, 50号, pp24~33.
- 11) Esu F., Destefano D., Grisolia, M. and Tancredi G. (1984) : Stability of high cut in overconsolidated lacustrine deposits, Procs.of the 4 th Int. Symp. on Landslides, Tronte, pp63~68.
- 12) Zvelebil J.(1984) : Time prediction of a rock fall from sandstone rock slope, Procs of the 4 th Int. Symp. on Landslides, Tronto, Vol.3, pp93~95.
- 13) Zvelebil, J. (1996) : A conceptual phenomenological model to stability interpretation of dilatometric data from rock slope monitoring, Procs of the 7 th Int. Symp. on Landslides, Trondeheim, pp1473~1480.
- 14) 関 信雄, 堀 伸三郎, 成田 賢 (1980) : 柳谷地区岩盤斜面の崩壊予測, 応用地質調査事務所年報 No.2, pp13~30.
- 15) Monma K., Kojima S., and Kobayashi T. (2000) : Rock slope monitoring system and rock fall prediction, International Newsletter, LANDSLIDE NEWS No.13 pp33~35.
- 16) Gould, J.P. and Dunicliff, C.J.(1971) : Accuracy of field deformation measurements, Procs. of the 4 th Panamerican Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan Puerto Rico, pp313~361.
- 17) Müller, L.(1964) : The rock slide in Vajont Valley, Rock mechanics and Engineering Geology pp148~211.
- 18) 松尾新一郎編 (1981) : 「斜面安定工法<<指針と解説>>」日本材料学会 土質安定材料委員会 鹿島出版 pp66~68.
- 19) Skempton A.W. and Hutchinson J. (1969) : Stability of natural slopes and embankment foundations, State of the Art Report, Procs. of 7 th ICSMFE, Mexico city Vol.1, pp291~340.
- 20) Tavenas, F. and Leroueil, S.(1981) : Creep and failure of slope in clays, Can. Geotech. J. Vol. 18, pp106~120.