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——

On Application of Creep Curves to Forecast the Time of Slope Failure

—In Answer to Comments upon Failure Forecasting—

斉藤 迪孝*

Michitaka SAITO

Synopsis

Main points of arguments lie in misunderstanding such that the divisions of the creep ranges are confused, that the belt-like assembly of point expressions is mistaken as a creep-rupture curve, and that the proposed method of forecasting is to make by using such a number which is not obtained unless after failure.

This paper indicates those misunderstandings and mistakes with reasonable proofs.

1. はじめに 一問題点の概要一

斜面のクリープ破壊の予測手法を筆者が発表してから25年余りになり、その間に何人かの方々から意見や批判を直接戴いたものもあるし、また技術誌で拝見したものもある。しかしその中には何等かの誤解があったり、理解が十分でないように思われるものもあるので、それらの問題について若干自分の考えを述べたいと思う。

最初に渡正亮 (1977) の真名川ダムの原石山切取斜面の崩壊について問題点を説明する。現場では昭和50年8月23日までの110日余りの移動記録が得られており、初期の頃は第2次クリープの状態が見られるが、7月7日以降は速度の増減が繰返され、遂に8月22日以降の降雨により移動は急速に進み、23日13:20~15:40の間に崩壊が各所に発生し、崩壊土量は96,000m³に達したという。そして崩壊直前の数日間のひずみ速度とクリープ破壊時間との関係については、斎藤式と異なった傾向の直線が得られたという。これが主な問題点で、そのほかに観測結果の処理、用語、あるいはその内容が不適切との意向もあるようである。

これに関連して山口真一 (1978) は、それはひずみ速度の対数項の係数 b を1としているためではないかとして、 $b \neq 1$ の場合の補正の式を提案した。また福岡輝旗 (1985) もひずみ速度の項の係数が1でないものもあることを述べている。

ほかに駒村富士弥 (1981) はクリープ破壊の一般式を、また川村国夫 (1984)、福岡 (1985) 等は崩壊予測の方法を提案しているので、それぞれの得失についても一言述べようと思う。

2. 真名川の問題について

真名川で一番の問題は比較するものが全く違うということである。図-1は真名川ダムの原石山における崩壊前の伸縮計のデータ、及びそれと比較するための亀の瀬地すべりのデータと崩壊予測に提案された斎藤式とを両対数座標に図示したものであって、真名川原石山の場合、その式は

$$\log_{10} t_r = 1.795 - 0.458 \times \log_{10} \dot{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (1)$$

となり、勾配が斎藤式の半分になっている。また亀の瀬地すべりでは昭和51年1月17日にクリープ破壊が生じたが、この時の観測結果から島他 (1976) が計算して

$$\log_{10} t_r = 1.79 - 0.746 \times \log_{10} \dot{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (2)$$

が得られている。これより考えると、 t_r と $\dot{\epsilon}$ との関係は、

図-1 真名川ダム実測値、亀ノ瀬実測値と斎藤式の対比

* 応用地質株式会社

図-2 真名川ダムの原石山の移動記録で取上げた説明記事

図-3 第2次クリープ段階における定常ひずみ速度とクリープ破壊時間との関係を示す集積図

斎藤が提唱している程一義的には決まらないものと思われると言っている。

一方図-2には、昭和50年5月2日から8月23日の崩壊までの3個所の測定点の移動曲線が示されており、図の右側に崩壊直前数日間の移動曲線と書いた3つの丸の中の曲線が斎藤式との比較の対象になっているのであって、第3次クリープの末期の記録である。それ故ここで言うひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は第2次クリープ段階の定常ひずみ速度ではなく、第3次クリープ段階での時々刻々増大するひずみ速度であり、また時間 t も観測開始時からの崩壊余裕時間ではなく、それぞれのひずみ速度に対応する崩壊余裕時間を指すものと受取れる。つまりこの式は第3次クリープ段階での崩壊直前の移動曲線を示すものに外ならない。

ところが、斎藤式と名付けられた次式

$$\log_{10} t_f = 2.33 - 0.916 \times \log_{10} \dot{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (3)$$

は前述の式とは全く異なったものである。図-2を見ると解るように、定常ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は第2次クリープ段階で一定のひずみ速度（紛らわしければ steady-state の意味で $\dot{\epsilon}_{ss}$ とサフィックスを付けてもよい）と、観測開始の時点から崩壊に到るまでの全時間、即ち崩壊余裕時間 t_f とが1対1の関係を持つことを示すもので、これを前述と同じ座標系であるが両対数座標にプロットすると、1点で表わされるだけである。即ち、1つの点が1本のクリープ破壊曲線を代表するのであって、点の数だけ測定或は観測したクリープ破壊曲線がある訳である。それらの多数の点の配置を見ると帯状に分布するので、分布幅を考えて(3')式を提唱したのである。

$$\log_{10} t_f = 2.33 - 0.916 \times \log_{10} \dot{\epsilon} \pm 0.59 \quad \dots\dots\dots (3')$$

図-3はこのようにして出来上がったもので、室内でのクリープ破壊試験を基にして中心線及び信頼幅をさだめたものであるが、その後国内及び海外の実験値、並びに実斜面崩壊の際の記録をプロットして修正の要なしと判断したのである。それ故、(3)式、或は(3')式とクリープ破壊直前の移動曲線を比較することは全く意味がない

図-4 金属、土質、岩石のそれぞれの定常ひずみ速度とクリープ破壊時間との関係の対比

といえよう。

第2次クリープ段階でのこのような表示と比較されるのは、Monkman, F.C. & Grant, N.J. (1956)の純金属及び合金についての実験、並びにMorlier, P.-J. (1964)の岩石についての実験位ではなからうか。これを取り纏めた図-4がMorlierによって示されているが、これを見るとどの材質についても類似の傾向があり、また同じひずみ速度に対して碎け易い材質程早く破壊し、粘り強い材質程長時間持ちこたえることが解る。これはまた同じく土質または岩盤についても該当することかも知れないと思われる。

3. 第2次クリープ段階での崩壊予測

予測とは崩壊を生じるより前に崩壊時刻を推定すること、図-3に見るように速度とクリープ破壊時間との間に(3)式に見られる関係があるのでこれから崩壊時刻を予測するのが一方法であり、これを筆者は概略予測と名付けている。

図-5(a)にはクリープ段階の区分とそれに対応する移動曲線の形が示されている。クリープ段階を3つに分けて

(a) クリープ破壊に関する名称

(b) 定常ひずみ速度とクリープ破壊時間との関係の表示

図-5 クリープ破壊における名称の説明と相互関係の表示方法

いるが、常に3段階を経過して破壊に至る訳ではなく、第1次クリープの現れないもの、第2次クリープが現れないで第1次から直接第3次に移行するもの、あるいは集中豪雨の際などではいきなり第3次クリープで発進し、そのまま崩壊に到るものもある。

概略予測の方法としては、定常ひずみ速度が決まると、図-5(b)でそのひずみ速度に当たる位置で時間軸に平行線を引き、中心線との交点から崩壊予測時刻が得られる。それ故、この図から実崩壊時刻と予測時刻との差が求められ、また縦の太線によって定常ひずみ速度を求めた時間範囲が示されているので、これも参考にはなと思う。

このようにして今までに記録が得られた事例について検討をして見よう。図-6は浅虫(1966)、高場山(1970)、安居山(1972)、柳谷(1979)、地附山(1985)、に真名川(1975)を加えて整理したもので、いずれも予測を行なった第2次クリープ段階の定常ひずみ速度範囲が示されている。これから横軸に定常ひずみ速度をとり、縦軸に計測を始めた時点から崩壊までの余裕時間を取って、双方とも対数目盛りでプロットしたのが図-7であって、それぞれの予測値と実崩壊時間とが示され、帯状幅と比較して、よく適合しているか、あまり適合していないかを判断することができる。これを見ると、安居山、地附山などは予測より随分遅れている半面、真名川は早期に崩壊しており、浅虫、高場山、柳谷はまあまあのものでないだろうか。これも崩壊の地層から考えて、風化が進んでほとんど土になっている安居山、地附山は崩壊が遅れ、原石山の真名川は節理が発達していても岩そのものの風化は進んでおらず、堅く脆い材質のものが早期に崩壊したとも言えるが、真名川は集中豪雨での崩壊で、別の条件が1つ加わったことも考える必要がある。

4. 第3次クリープ段階での崩壊事例

第3次クリープに入ると、真名川の実測値が問題にな

る。図-1に示す真名川実測値と書いてある直線は、110日余りのクリープ変形の後の崩壊直前数日間の記録であって、その前はどうかの検討をして見る必要がある。ここでも前述のように一番動きの大きいS-No. 9₁だけを取り上げることとし、移動の初期から崩壊数日前までの移動曲線を一定間隔で読み取って図示したのが図-8の黒丸である。これは真名川実測値に繋がるものであるが、図上微分であることと、対数軸の小さい方になるために鋸歯状になっている。これを見ると、黒丸と白丸とが接続される時点が崩壊前3.5日程度の処なので、滑らかに接続して良いようである。

さてこれからが問題で、真名川実測値の直線がどのような意味を持つのであろうか。この図が両対数座標で繋がれているのであるから、崩壊時点0の線まで直線を伸ばすと、ひずみ速度は無限大になる。ひずみ速度を有限のままにすれば、この直線は曲がるが、それはどこか予測できない。限界のひずみ速度を仮に決めれば、勝手気ままと言うそしりは免れない。

それにもまして、この直線は崩壊後でなければ描かれないはずであり、これが崩壊予測に対しては致命的な欠陥ではなからうか。亀の瀬の実測記録についても同様である。

ここでも従来のクリープ破壊の記録を検討して見ることとする。ここで第2次クリープ段階のなかった引田地すべり(1974)は有力な材料なので、図-9に示す。この記録はきわめて短時間の間だけ伸縮計のドラムに描かれたもので、実際は崩壊して大きく移動しているはずであるが、恐らく崩壊停止と書いてあるところでインパル線が破断したと思われるが、図の分だけしか記録されていない。

図-10は各移動曲線を両対数座標で、横軸に各時点でのひずみ速度を、縦軸に各時点から崩壊までの破壊時間とって記録したもので、目安として斎藤式(1974)の中心線と帯状幅を示してあるので、位置関係はよく理解されると

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

(a) 浅虫

(b) 高揚山

(c) 安居山

(d) 柳谷

(e) 地附山

(f) 真名川

図-6 実破壊時の移動記録とそれぞれの定常ひずみ速度を取上げた範囲

図-7 第2次クリープ段階における予測の適合度

図-8 ひずみ速度とクリープ破壊時間を座標軸として表示した真名川でのひずみ速度の変化

思う。これらの個々の図を重ね合わせると、図-11 が得られる。見分けが多少面倒かと思うが、図-10 と比較して大体的見当は付けられよう。これを見ると、移動曲線は帯状幅の付近に集まって斜め右下に動いているが、ひずみ速度 $10^{-1}(\times 10^{-4}/\text{分})$ 付近から急速に下方に向きを変えるようである。ここで異例は真名川と引田であって、いずれも集中豪雨の際に急激に動き出し崩壊した点で共通しているのは興味深い。

図-9 豪雨時に崩壊した高徳本線引田地すべりの移動記録

5. クリープ曲線と崩壊予測の提案について

わが国での第3次クリープ曲線の形状と斜面崩壊予測方法の提案は、1980年代に入って漸く出るようになった。

a 駒村富士弥 (1981) は斜め切断を入れた三軸試験のケーシングを用いて、試料のクリープ剪断を行ない、その測定記録から次に示す第1次、第2次、第3次クリープを表わす項からなるクリープ挙動の式を提案した。

$$u = A_0 + A_1(1 - e^{-at}) + A_2t + A_3t^\alpha \dots \dots (4)$$

このうち A_0 は載荷直後の変形を示す項である。第1次、第2次の移動曲線は納得できるが、破壊に到る第3次クリープの式に種々の型があるので、クリープ破壊に到る挙動にどれが最も妥当かを実例で検討して見る必要がある。また破壊時間を求めるのに、第2次クリープ段階でのひずみ速度を用いたのであれば、かなり広い誤差範囲を考えなければならぬし、レートプロセス法によって破壊時間を求めたのであれば、異質の条件を導入した訳で、すっきりしないのではないかと。なお、駒村提案の根拠となる崩壊実験の多くは、1～7分程度のものであり、最も長くても36分であるから、もっと長い経過時間のもの及び実斜面の崩壊例についても、試行して見る必要があるのではないかと。

b 川村国夫他 (1984) は次式のようなクリープモデルを提案した。

$$(dt/dy) = A(B-t) \cdot t \dots \dots (5)$$

この解は次式のようになる。

図-10 ひずみ速度—時間の両対数表示による各実崩壊の記録

$$y = \left(\frac{1}{AB} \right) \ln \left(\frac{t}{B-t} \frac{B-t_0}{t_0} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

観測開始時点をもととしないで t_0 としているのは、時間に無限大項が入るのを除くため、既往の記録にあてはめて予測は可能としている。そして現場計測の事例について、図-12に示すような予測を行なっているが、崩壊予測が13か月というのは、あまり長過ぎて無理なのではないか。それから、クリープ破壊をする前に、実斜面のクリープ曲線の形から崩壊時刻の予測を行なう、どの程度の信頼度が得られるかを試して見てはどうか。

c 福岡輝旗 (1985) は基本式として

$$\frac{d^2x}{dt^2} = a \left(\frac{dx}{dt} \right)^\alpha \quad \dots\dots\dots (7)$$

を提案しており、その根拠として表面の速度と加速度が両対数座標で比例し、直線形をなすことを挙げている。問題点は著者が図-13について述べているように、 $\alpha=2$ の場合は表面移動速度の逆数が直線形をなすことから問題はないが、 $\alpha \neq 2$ の場合に逆数曲線が直線にならないので、 α の決め方を模索する必要がある。なお、逆数を使って予測するというのは、崩壊に近づくにつれて予測値のウェイトが逆比例的に低下することになるので、望ましい予測法ではないと考える。

なお、測定データに対するカーブフィッティングはどの提案も十分でないような気がするが、Varnes (1982) が言うように、測定した数値をそのまま使い、曲線を直線形に直して線形を決めるのであれば、恣意的になってしまふのではないだろうか。

6. 第3次クリープ段階での崩壊予測

クリープが進行して第3次領域に入ると、ひずみ速度が漸増して直線関係が失われるが、この場合にもその時点でのひずみ速度と破壊までに残された時間との間に、類似の関係が成立するものと考え、次のようにして関係式が得られる。

まず(3)式の数値を記号に置換え、現時点を t 、クリープ破壊時点を t_r とすると、破壊までに残された余裕時間は $(t_r - t)$ となる。即ち

$$\ln(t_r - t) = a - b \ln \dot{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (8)$$

前述のように、 b の値は崩壊前であれば確定値は得られないので、ここでは使えない。しかし、図-10のクリープ曲線が豪雨時の2例を除いて概ね斎藤式に平行して動いており、その傾斜 0.916 はほぼ 1 に近いので、今は $b=1$ とし解析を進めることとする。即ち

$$\ln(t_r - t) = a - \ln \dot{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (9)$$

これは次のように変換される。

$$\dot{\epsilon} = \frac{e^a}{t_r - t}$$

今 $t=t_0$ の時に $\epsilon=\epsilon_0$ とすれば

$$\epsilon = \epsilon_0 + e^a [\ln(t_r - t_0) - \ln(t_r - t)] \quad \dots\dots\dots (10)$$

図-11 前記両対数表示による実崩壊記録の集積図

図-12 川村の提案モデルと実崩壊に対する適用

あるいは次式のような形にも表現される。

$$\epsilon = \epsilon_0 + e^a \ln \frac{t_r - t_0}{t_r - t} \dots\dots\dots (10')$$

ついでに, $b \neq 1$ の場合を推し進めると

$$\ln \dot{\epsilon} = \frac{a}{b} - \frac{1}{b} \ln(t_r - t) \quad \dots\dots\dots (11)$$

これは次のように変換される。

$$\dot{\epsilon} = e^{a/b} (t_r - t)^{-1/b}$$

従って、ひずみは前式と同じ初期条件の下で次のように表わされる。

図-13 福園の提案する表面移動速度の逆数による予測方法

図-14 第3次クリープ曲線における b 値の影響

$$\epsilon = \epsilon_0 + \frac{e^{a/b}}{1 - \frac{1}{b}} [(t_r - t_0)^{1-1/b} - (t_r - t)^{1-1/b}] \dots\dots\dots (12)$$

ここで、 b の値によってこの曲線がどのように形を変えるかを示したのが図-14 である。これは前 2 式から計算したもので、横軸の幅は $(t_r - t_0)$ を 1 にとり、縦軸は $e^b = 1$ として、右辺第 2 項で計算したものである。これを見ると、 b の値が 1 に近い場合は、移動量にそれ程の差は生じないし、終局的には崩壊時刻 t_r が何時になるかが問題なので、予測の迅速処理のためには $b = 1$ として計算しても良いのではないか。

予測方法として、今までに図式解法 (1969) と半対数

図-15 崩壊時刻の予測をしようとするクリープ曲線の一例

表-1 半対数表示の場合の計算例

伸縮計 No. 2 昭和54年 8月27日			柳 谷		
時刻	時間当り 変位数 (mm)	累 変位数 (mm)	仮定崩壊時刻		
			8:27 12:30 (12.5)	8:27 12:18 (12.3)	8:27 12:24 (12.4)
0:00	0.0	0.0	余裕時間 (hr.)		
2:00	9.2	9.2	10.5	10.3	10.4
3:00	29.2	38.4	9.5	9.3	9.4
4:00	26.8	65.2	8.5	8.3	8.4
5:00	27.0	92.2	7.5	7.3	7.4
6:00	25.0	117.2	6.5	6.3	6.4
7:00	14.6	131.8	5.5	5.3	5.4
8:00	13.8	145.6	4.5	4.3	4.4
9:00	10.0	155.6	3.5	3.3	3.4
10:00	22.0	177.6	2.5	2.3	2.4
11:00	31.7	209.3	1.5	1.3	1.4
12:00	76.5	285.8	0.5	0.3	0.4

表示法 (1980) の 2 通りを発表し、前者を近接予測、後者を精密予測と呼んでいるが、現在は後者の方を主として用いている。半対数表示法は、式(10)の形を見ると、ひずみ ϵ と破壊までの余裕時間の対数 $\log(t_r - t)$ とが直線関係をなすことから、ひずみ ϵ を普通目盛りで、余裕時間 $(t_r - t)$ を対数目盛でプロットすると、 t_r の選定が適切であれば、図上の点は直線をなすはずである。従って、これが直線をなすように t_r を選べば、最も確からしい破壊時間を見出すことができる。ひずみはまた相対変位に比例するから、相対変位量と $\log(t_r - t)$ とが半対数座標上で直線をなすように持っていっても良い。この場合は、予測の図上表示は極めて容易であり、また測定データ全部を図上に並べることができるし、外界の状況等がかわればそれに応じた挙動を示し、時々刻々の挙動を反映した予測値を求めることができるので、信頼度は

図-16 第3次クリープ段階における半対数表示による崩壊時刻の精密予測

高いと言えよう。

その事例として、図-15 のように移動曲線の場合、表-1 のように各時刻に対する累計移動量を計算し、図-16 の半対数座標にプロットし、仮定崩壊時刻を動かして、その線群のうち直線になるものを見出して、予測崩壊時刻とすれば良いのである。

この方法による事例は、安居山 (1972) 以後すべて手掛けており、手法の簡易さと解析時間の短縮で、成果を挙げている。

7. クリープ破壊に関係する表現、計測、用語等について

a クリープ領域の混同について

2 次クリープのひずみ速度と破壊時間との間に一定の関係があり、3 次クリープの領域でも破壊予知ができるといっても、3 次クリープの領域でも「同じ方法で」とは言っていない。それは方程式を変換する必要があるからである。即ち、式(3)中の数字を記号に置換え、崩壊時刻 t_r の代りに崩壊までの余裕時間 $(t_r - t)$ と置き、こ

の式を使って第3次クリープ段階の移動曲線に適合するように a, b を決めれば、 $t \rightarrow \infty$ の時の t 、即ち t_r が求められる。それ故、決して「同じ方法」ではなく、第3次クリープに適合するように係数を変更して破壊時間を求める訳である。同じ方法で扱えるなら、クリープ段階の区分をする必要はないことになる。

b 伸縮計のスパン長について

伸縮計のスパン長は知って置く必要がある。インバル線を張った長さ、即ち支点間の距離を測定して置かなければひずみは求められないし、ひずみ速度も計算できない。通常使われているその長さの範囲は 5~15m 位なので、測定をしていない場合は、見当をつけて概算値を知っておくことも必要であろう。

しかし、スパン長が異なる伸縮計で測定した場合、同じ場所で異なった測定値が得られるので、このままでは一義的なひずみが求められないという問題がある。それでこの際スパン長は、特殊な場合を除き、一定にするのが良いのではないかという意見が有力になり、差し当たりそれを 10m とすれば、長さに共通のベースが生まれ、従来の設置測定方法に大きな変化はないので、関係者に納得して戴けるのではないか。これは正確に 10m を守るということではなく、設置するときスパン長 10m 位を考え、測定値からひずみを計算するときも 10m をベースにして求めるということなので、スパン長の違った従来の測定値も十分生かして使えるのではないだろうか。

c 斜面を構成する地質・材質について

定常ひずみ速度とクリープ破壊時間との関係を求めるのに、土を使って実験したからといって、土だけにしか使えないということはない。それが現実の斜面に適用できるかどうか、またどのように変更するかについても検討している。即ち、大井川鉄道笹間渡 (1960)、土讃線鯉が淵 (1962)、宗谷本線雄信内 (1962)、予讃本線下灘 (1963) などのデータも用いたし、その後の崩壊観測箇所のデータもできる限り取入れたが変更の要なしと言うことになった。それらの斜面の多くは風化岩であって、土質斜面は極めて少なかった。前述の第2次、第3次クリープの移動記録を見ると、安居山、地附山は土質化した斜面で帯状幅の上方に、浅虫、高場山、柳谷、引田は風化岩斜面で帯状幅の中程に、そして真名川は原石山であることを考えると、風化度の低い岩盤斜面と思われる。真名川が急激に動き出し、短時間の内に崩壊したのは、引田と同じく集中豪雨のためと考えられ、これについては警戒方法を変えなければならないと思う。

d 式の補正について

山口 (1978) は第3次クリープ段階での対数項の係数 b が1でない場合に補正の式を提案しており、図-17はその手法を示すものである。しかしそれを補正することによって、その式から正しい予測ができるというのであれば、それを実施するに越したことはないが、移動曲線は本来外界の気象その他の影響を受けて不規則な動きを

図-17 山口の変位時間曲線の修正方法

するし、どのような式が崩壊直前の第3次クリープを正しく表現するか解らないものを、補正してまたそれからずれるのを修正することもないと思う。それに b の値を求める方法は崩壊まで待たなければ解らないので、崩壊時点より前にそれを求める方法もないし、また図にすることもできないのではないか。

8. む す び

斜面のクリープ破壊の研究、調査、観測をしているといっても、動きを記録し図に画いているだけでは、崩壊予測には何の役にも立たない。崩壊した後から移動記録を迎っても、崩壊予測の手法は出て来ない。移動記録がまだ十分に取れていなくても、どのようにすれば将来の予測、移動の経過が推定できるかを常に考えて、新考案を提示、立証することが望まれる。斜面崩壊の調査・研究を担当している人は多いが、予測を本当に考えている研究者は以外に少ないのではないか。

引用文献

- 1) 渡正亮, 竹林征三, 松田六男(1977): 真名川ダムの原石山切取法面崩壊の特性, 地すべり Vol. 13, No. 4 (通巻48号) 昭和52年3月 pp. 1-10.
- 2) 山口真一(1978): 斜面崩壊時期の予測式の補正係数について, 地すべり Vol. 14, No. 2 (通巻50号) 昭和52年9月 pp. 1-3.
- 3) 福岡輝旗(1985): 表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法, 地すべり Vol. 22, No. 2 (通巻82号) 昭和60年9月 pp. 8-13.
- 4) 駒村富士弥(1981): Time Dependent Behavior of Soil during Direct Shear Creep 地すべり Vol. 17, No. 4 (通巻64号) 昭和56年3月 pp. 20-27.
- 5) 川村国夫, 田中啓示(1984): 地すべり予知に関する1, 2の試み, 第19回土質工学研究発表会, 昭和59年6月 pp. 1263-1264 土質工学会
- 6) 斎藤迪孝(1968): 斜面崩壊発生時期の予知に関する研究, 鉄道技術研究報告 No. 626 (施設編第267号) 昭和43年2月, 日本国有鉄道, 鉄道技術研究所 53pp.
- 7) 斎藤迪孝(1981): 斜面崩壊予測, 講座, 土質工学におけるレオロジー 7.2 土と基礎, Vol. 29, No. 5 昭和56年5月 pp. 77-82.

(原稿受理日 昭和61年12月22日)