

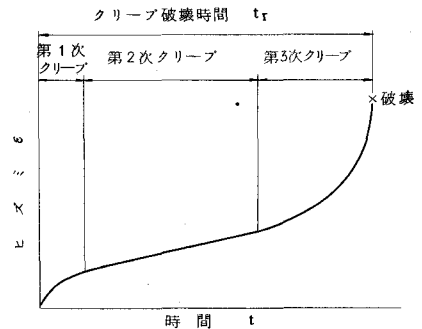
## 1. まえがき

斜面に亀裂とか移動とかの変状が生じた場合、斜面がその後どのような動き方をするかはその附近の住民や交通路にとつて重大な問題である。動いていてもその中におさまるものならば放置しておいてもよいが、ある時期に急激な移動や壊滅的な崩壊を生じるものならば、住民を避難させたり自動車や列車をとめたりしなければならない。その措置が早すぎると、住民に迷惑をかけたり、輸送や交通を渋滞させたりして苦情が出るし、おそすぎると列車が崩壊土砂にのり上げたり、崩土にあたつて脱線転覆するような重大な事故を生じるに到るのである。それ故このような時間の無駄や危険にさらされることをなくするためにも崩壊発生をの時期を予測することが必要となつて来るのである。

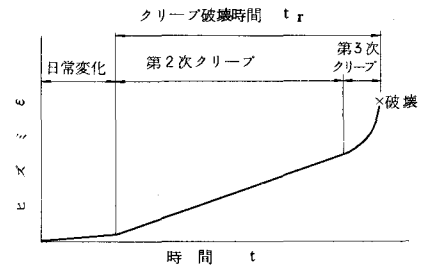
## 2. 斜面の変状と警戒

斜面に亀裂が発生したり、斜面を通る線路や道路が移動や沈下を生じたりすると、一応崩壊の危険があるものと考えて警戒をするが、単に肉眼で監視しているだけでは、崩壊発生をの時期はその直前まで不明で、あたら命を失うことも稀ではない。昭和37年2月土讃線で生じた地すべりでは、線路上にいた監視員2名が崩土の下に埋まつて死亡し、同じく昭和37年11月北海道釧路郡乙部町豊浜の国道229号線の地すべりでは、見張りをしていた道路工事1名と通りかかつたバスが乗客もろとも地すべりにまきこまれ、計14名が海中に埋没されると言う惨事もあつた。それ故眼で見ているだけでは警戒にならない、単に崩壊の経過あるいは結果を見とどけるだけと言うことができる。

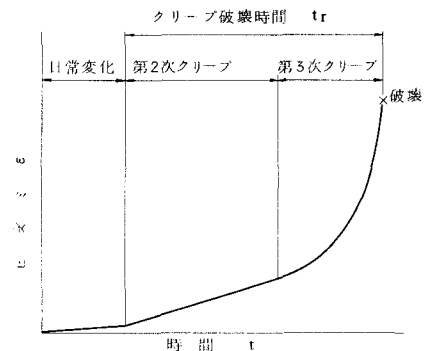
変状斜面の警戒には肉眼監視だけでなく、通常何らかの計測が行なわれる。斜面上に設けた測点杭の移動沈下を測定したり、2点間の相対変位や亀裂の開きを測つたり、傾斜計を設置してその動きを求めたりする。これらの観測値の時間的経過が得られると、警戒しているような錯覚におちいるが、これから何が言えるかが問題であ



(a)試験片についてのクリープ破壊試験の場合



(b)斜面崩壊の模型実験の場合



(c)実斜面の崩壊の場合

図-1 各種クリープ曲線の模式表示

る。移動や傾斜が次第に増大する、あるいは一定の速度で進むなどがわかつて、それだけでは何の足しにもならず、お先まつくらである。急激な移動や壊滅的崩壊を生じるものならば、それまでにどれ程の時間的余裕があるかを少なくとも日数あるいは時間で言えなければ、有効な警戒とは言えない。また、移動がかなり大きく、監視員が非常な不安を感じて、列車をとめる措置をとるような状態が続いても、壊滅的崩壊を生じないことが予測されれば、これも又有効な警戒とすることができよう。有効な予測のできる観測を警戒にとり入れることを考えなければならない。

### 3. 予知因子の探求

斜面に亀裂とか移動とかの徴候があらわれても、必ずしも崩壊に到ると言うわけではないが、これらの徴候の中に崩壊予知因子として役立つものがあれば、その徴候を数量的に表現して崩壊に到る時間との関係をつければ、予知方法が得られる筈である。

たまたま昭和24年に北陸本線能生の近くで行なつた大型の斜面崩壊実験がきっかけとなつて、斜面の表面ヒズミが予知因子としてもつとも有望との見通しをつけた。ほかに移動と傾斜もきわめて有望であるが、移動は実斜面の広大な地域での連続測定がむづかしいし、崩壊の規模により判断の基準が異なるおそれがあること、また傾斜は非常に敏感であるが、その変動は漸移的で崩壊接近の目じるしにはなりにくいことのほかに、双方共室内試験や小型模型実験では研究推進が困難と思われる。これに反してヒズミは室内試験で容易に探究できるので、はるかに有利であると言える。

土の応力-ヒズミ-破壊時間関係は一軸あるいは三軸圧縮型式で求めた。すなわちクリープ破壊試験であるが、典型的なクリープ曲線は図-1(a)に示すように、載荷時間の経過と共にヒズミ速度が漸減する第1次クリープ、次いでヒズミ速度が一定の第2次クリープ、最後はヒズミ速度が漸増する第3次クリープの3段階から成る。しかし同図の(b), (c)に示すように、斜面崩壊の模型実験では第1次クリープは無く、最初から第2次クリープで始まり、第3次クリープの領域は非常に小さい、又実斜面の崩壊の場合は同じく第2次クリープから始まり、第3次クリープ領域がかなり広いなどの相違がある。

試験結果をいろいろ検討した結果、クリープ破壊時間とよく対応するのは第2次クリープの定常ヒズミ速度で、双方を対数目盛で両軸にとり、試験値をプロットすると、図-2のぬりつぶした記号の位置になる。このほか内外の文献から数値をひろつてプロットしたものが同図の中ぬきの記号の位置になり、両方合せて両対数座標で帯状にならぶ傾向が見られる。これを式で

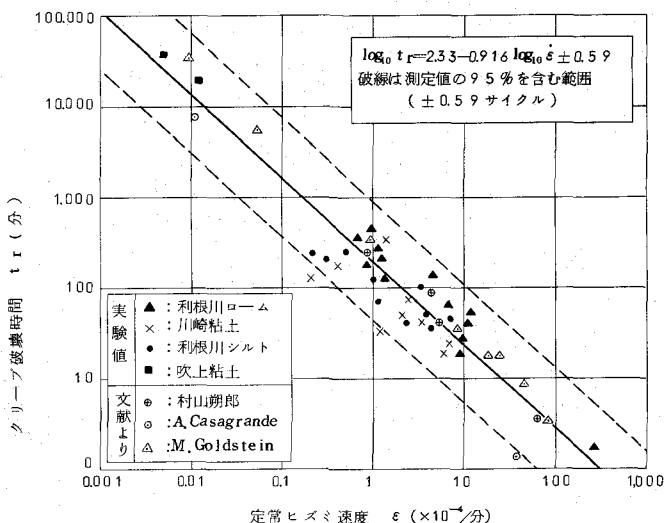


図-2 定常ヒズミ速度とクリープ破壊時間との関係

らわすと図-2の右上ワク内に記入したようになり、簡単には両者が逆比例するということになる。この式の基礎になつたデータから考えて、この関係は応力には関係なく、土の種類が異なつても成立し、また国内のみでなく海外の試験結果に対しても適合することがわかり、予知因子として十分役立つものと考えられる。

#### 4. 第2次クリープについての検討

第2次クリープにおいて定常ヒズミ速度とクリープ破壊時間との間に見出された関係が実斜面の崩壊の場合にも適合すれば、崩壊時期予知の方法として用いることができる。実斜面の崩壊時の完全な観測記録をとることはきわめてむづかしく、通常は変状に気づくのがおそくて第2次クリープの段階はほとんど過ぎて居り、第3次クリープの終末近くになつてることが多いが、それでも今までに大井川鉄道、土讃線、宗谷本線、予讃本線、東北本線浅虫等

で一応使える観測記録が得られている。この外に大型斜面崩壊実験を能生、福島、国立において実施しているので、このときの記録をも加えて検討すると図-3のように比較的よく適合する結果が得られ、かなり信頼し得ることがわかる。

#### 5. 第3次クリープの利用

第2次クリープの定常ヒズミ速度から崩壊までの余裕時間を求める方法にもまだ不十分な点がある。観測記録が増大しても危険が接近して来るのに信頼度は増大しない、また第2次クリープへの移行の初期時点が明確でないなどがその主なものである。たまたま浅虫の地すべりの際に第3次クリープ領域においても、その時点でのヒズミ速度と崩壊までの余裕時間との間に逆比例の関係が成立することを見出し、この関係をあらわす次式を導いた。

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} = A \log \frac{t_r - t_0}{t_r - t}$$

ここに、 $\varepsilon$  : ヒズミ

$\ell_0$  : 2点間の距離

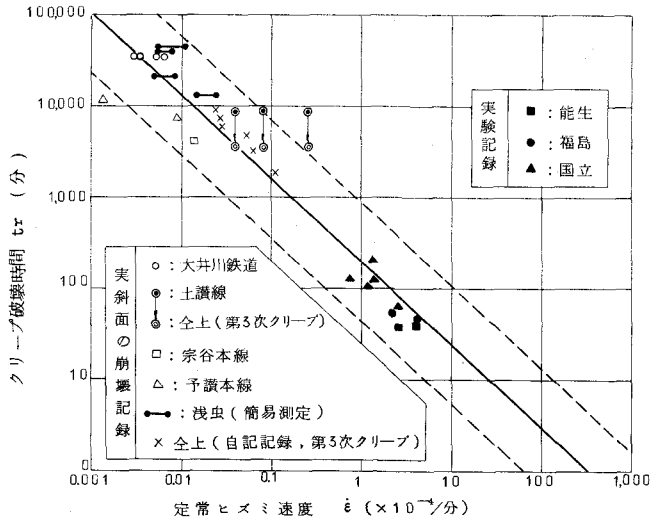


図-3 斜面崩壊実験ならびに実斜面の崩壊記録による適合性の検討

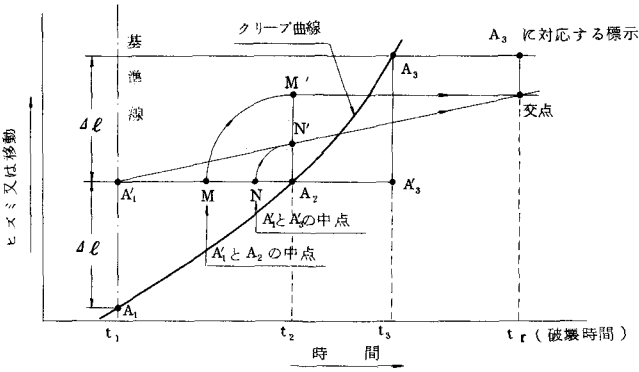


図-4 第3次クリープにおける破壊時間の図式解法

$\Delta l$  : 2 点間の相対変位

$t_r$  : クリープ破壊時間

$t$  : 現時点の時刻

$t_0$  : 時間の原点のズレ

$A$  : 常 数

この式の場合はヒズミのみでなく、変位あるいは相対変位の場合にも使用し得る利点がある。

この式は未知数として  $t_r, t_0, A$  の 3 つを含んでいるから、クリープ曲線上の 3 点が与えられれば、破壊時間  $t_r$  あるいはその時点から崩壊までの余裕時間  $t_r - t$  を求めることができる。曲線上の 3 点を選ぶ場合に、ヒズミ間隔あるいは変位間隔を等しくとると、この 3 点の各時刻  $t_1, t_2, t_3$  と余裕時間  $t_r - t$  との間につきの関係式が得られる。

$$t_r - t = \frac{\frac{1}{2}(t_2 - t_1)^2}{(t_2 - t_1) - \frac{1}{2}(t_3 - t_1)}$$

これから図 - 4 に示す手順で図式解法により破壊時間  $t_r$  を求めることができる。

図 - 5 は浅虫の地すべりについてこの方法で求めた破壊時間曲線を示すもので、基準線のとり方で実崩壊時刻へのシュウレン（収斂）が異なり、

観測期間が長ければ長い程早くシュウレンすることがわかる。このほか大井川、土讃線、飯田線などでも十分満足できる結果が得られ、数日間の観測記録があれば 1 日ずつ位の余裕で崩壊の日を示すことも可能と考えられる。また図 - 6 は宗谷本線の地すべりの場合で、崩落しないときは破壊時間曲線はシュウレンしないで、一方向にのびて行くことがわかる。

## 6. 斜面崩壊時期の予知方法の提案

斜面崩壊時期の予知は、斜面変状の初期には第 2 次クリープから概略予測を、崩壊が近づいたときには第 3 次クリープから近接予測を行なうことができる。両者の優劣は比較し得るものでなく、クリープの段階によつて適用箇所が異なるのである。

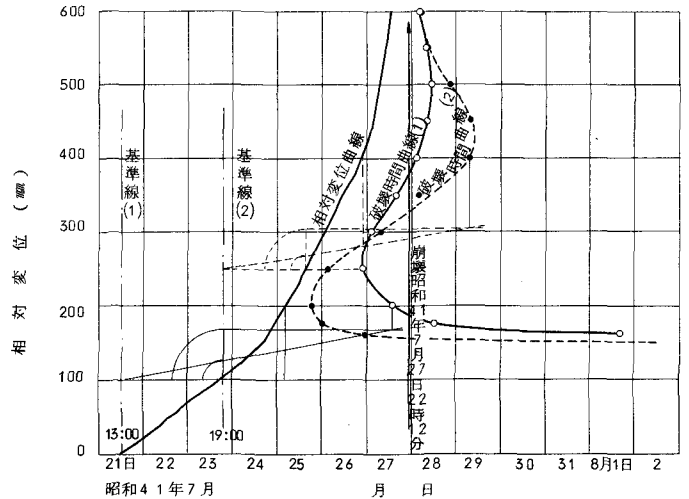


図 - 5 浅虫における地すべり

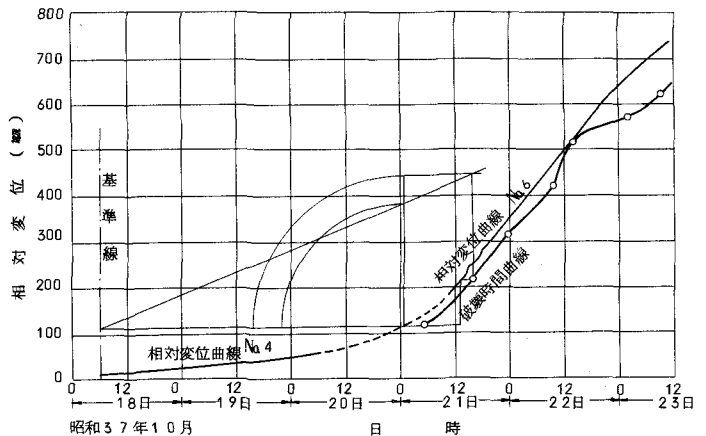


図 - 6 宗谷本線における地すべり

Precaution against Unstable Slope and  
Forecasting the Time of Its Failure

Michitaka Saito, Dr. Eng.,  
Oyo Chishitsu Co., Ltd.

It is always required to keep watch and estimate subsequent progress when a slope shows some indication of instability such as cracks or slight movements. The slope may be allowed to leave untouched, if it will cease to move before long. On the contrary, if the slope comes to cause drastic movement or destructive failure after all, necessary measures should be taken promptly, such as to remove residents or stop railway and road traffic in the warning area. It is, therefore, requested to find how and when sudden movement or failure of a slope will occur, in order to avoid unreasonable anxiety.

Through full-scale experiments, it was found that slope surface strain measurement is the most promising means of forecasting the time of slope failure. For this purpose, creep-rupture tests of soil were carried out in the laboratory, and as the result the creep-rupture life has been found inversely proportional to steady-state strain rate in the secondary creep range, and represented by the following equation;

$$\log_{10} t_r = 2.33 - 0.916 \log_{10} \dot{\epsilon} \pm 0.59,$$

where

$t_r$  : creep-rupture life in min.  
 $\dot{\epsilon}$  : steady-state strain rate in  $10^{-4}$  per min.

This relationship is also simply expressed as that the creep-rupture life is inversely proportional to the steady-state strain rate. It is rather surprising that this relationship is independent of the kind of soil and also valid for test results carried out in foreign countries. This relationship was verified by the data from field measurements of slope failure at several sites and found well applicable to the measured results.

This relationship can be further extended to the tertiary creep range. In this case transient strain rate is considered inversely proportional to the time length left before rupture in any time. This consideration leads to a logarithmic formula for the creep curve, with the following expression:

$$\epsilon = A \log \frac{t_r - t_0}{t_r - t}$$

$\epsilon$  : strain  
 $t_r$  : rupture life with an origin at optional time  
 $t_0$  : time at no strain  
 $t$  : transient time  
 $A$  : a constant.

This relation is also proved applicable to the cases of actual slope failure, and utilized conveniently with the aid of graphical analysis.

Based on these facts, the author proposes a method of forecasting the time of occurrence of slope failure, i. e., rough estimation from steady-state strain rate in the secondary creep range and precise estimation from optional strain rate in the tertiary creep range.

REFERENCES

- 1) Saito, M. and Uezawa, H.: Failure of Soil Due to Creep, Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng'g., 1961, Paris, Vol. I, pp. 315-318
- 2) Saito, M.: Forecasting the Time of Occurrence of a Slope Failure, Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng'g., 1965, Montreal, Vol. II, pp. 537-541.
- 3) Saito, M.: Forecasting Time of Slope Failure by Tertiary Creep, Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng'g., Mexico City, Vol. II, pp. 677-683.