

1. はじめに

昭和60年の地附山の崩壊以来、崩壊発生時期の予知が強く求められるようになって来た。筆者らは、数年来、第3次クリープの初期から崩壊に至るまでの経時進行過程の考察を行っている。この考察より、第3次クリープに第I段階、第II段階という二つの段階があることを示した(図-1)。このうち第II段階は、齊藤氏が示した領域である。

今回は、この第I段階、第II段階を統合した第3次クリープの基礎式を考え、基礎式に基づく崩壊発生時期の予測法について考察する。

2. 崩壊時間 t_r の予測法

2.1 齊藤法

第3次クリープにおける崩壊発生時期の主な予測法として、これまで齊藤法がよく知られている。

齊藤氏は、第3次クリープ第II段階のクリープ式として次式を示した。

$$l = A \cdot \ln \frac{t_r - t_0}{t_r - t} \quad (1)$$

ここに、 l : 移動量、 t : 時間、 t_r : 崩壊時間
 t_0 : t の初期値、 A : 定数である。上式の未知数は、 A 、 t_r 、 t_0 の3個であり、これらはクリープ曲線上の3点 ((l_i, t_i) , $i=1\sim 3$) が与えられると、崩壊時間 t_r は次式より求められる。

$$t_r = \frac{t_2^2 - t_1 t_3}{2 t_2 - (t_1 + t_3)} \quad (2)$$

ここに、 $l_2 - l_1 = l_3 - l_2 = \Delta l$ とする。

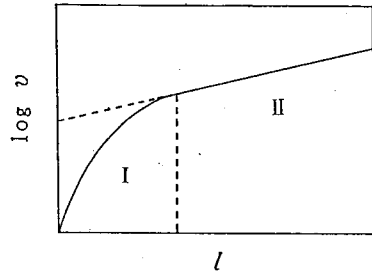


図-1 $l \sim \log v$ 関係

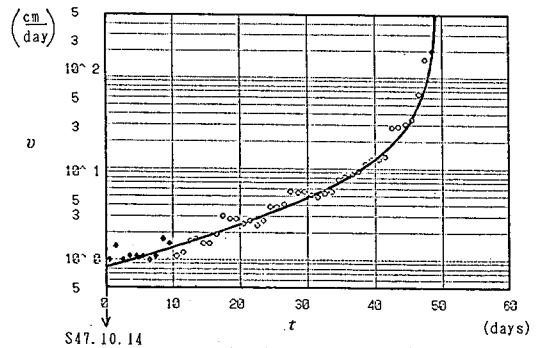


図-2 安居山の $v \sim t$ 関係

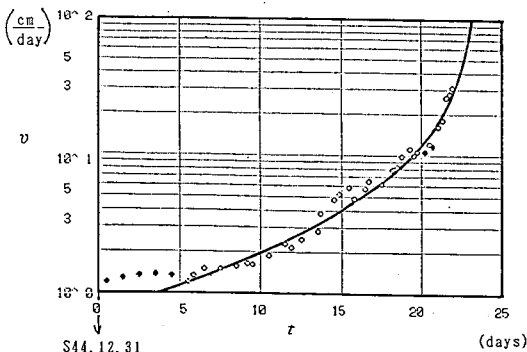


図-3 高場山の $v \sim t$ 関係

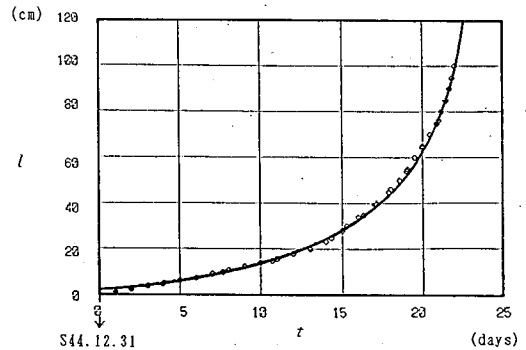


図-4 高場山の $l \sim t$ 関係

この他に、福圍は移動速度の逆数 $1/v$ と時間 t との関係より、崩壊時間 t_r を求めている。この方法の場合、齊藤領域においては、 $1/v$ と t の関係は右下がりの直線関係となり、 t 軸との交点が崩壊時間 t_r を示すことになる。さらに、最近は、土屋・大村の方法も発表されている。

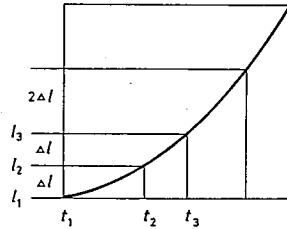


図-5 等 Δl と t, t_2, t_3 の関係

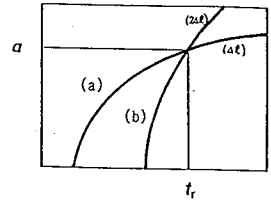


図-6 $a \sim t_r$ 曲線の説明図

2. 2 統合式による予測式

第3次式クリープ第I段階、第II段階を統合した基礎式として次式があげられる。

$$dv/dt = av + bv^2 \quad (3)$$

ここに、 v : 移動速度、 t : 時間、 a, b : 係数である。上式は、これまでの $v \sim l$ 解析より求められた結論を $a \sim v$ phase上の解析に適用したものであり、第3次クリープの初期から崩壊までの過程を表しているものと考えられる。

さて、(3)式の次の初期条件 $t = t_0$ で $v = v_0$ 、 $l = l_0$ に対する解は、次式ようになる。

$$v = \frac{ac \exp(a(t - t_0))}{b \{1 - c \exp(a(t - t_0))\}} \quad (4)$$

$$l = l_0 + \frac{1}{b} \ln \frac{1 - c}{1 - c \exp(a(t - t_0))} \quad (5)$$

$$c = bv_0 / (a + bv_0)$$

上の(4)式の関係安居山について調べたものが図-2である。図-2の黒マルは、定常的な第2次クリープと見られる領域であり、白マルが第3次クリープである。データと $v \sim t$ カーブとは良く合っている。また、図-3は高場山のデータであり、図-4は、高場山の $l \sim t$ グラフである。図-4中の曲線が(5)式である。両図ともデータと曲線とは良く適合している。

ここで、(4)式と(5)式より t を消去すれば、 $v \sim l$ 式として次式を得る。

$$v = \frac{v_0}{c} \exp(b(l - l_0)) - \frac{a}{b} \quad (6)$$

さて、崩壊時間 t_r は、(4)式や、(5)式、すなわ

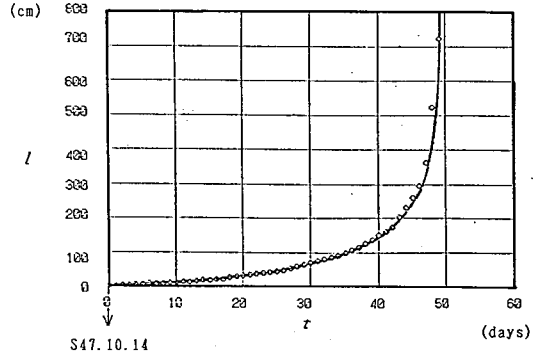


図-7 安居山の $l \sim t$ 関係

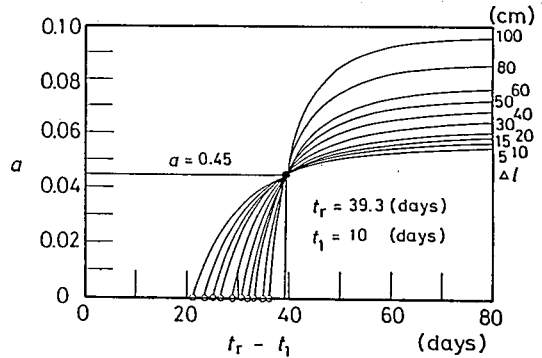


図-8 理想曲線に対する $a \sim t_r$ 曲線

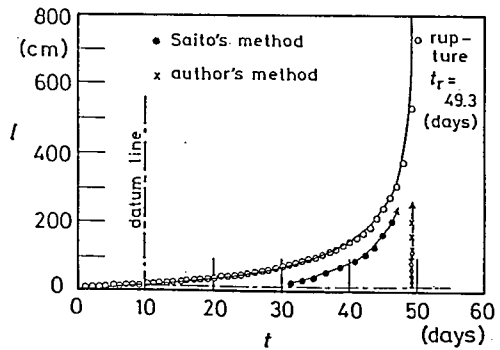


図-9 理想曲線に対する齊藤法と筆者法 ($a \sim t_r$ 法) の相違

ち $v \sim t$ 式や、 $l \sim t$ 式で 分母=0 となる
 きの時間であり、それより、次式を得る。

$$1 - c \cdot \exp(a(t_r - t_0)) = 0$$

$$\exp(a(t_r - t_0)) = 1/c \quad (7)$$

上式を先の(5)式に代入することによって次式を得る。

$$l - l_0 = \frac{1}{b} \cdot \ln \frac{\zeta_r - \zeta_0}{\zeta_r - \zeta} \quad (8)$$

$$\zeta_r = \exp(a t_r)$$

$$\zeta_0 = \exp(a t_0) \quad (9)$$

$$\zeta = \exp(a t)$$

ここで、上式の左辺 $l - l_0$ を改めて l 、すな
 わち

$$l - l_0 \rightarrow l$$

とおくと、(8)式は

$$l = \frac{1}{b} \ln \frac{\zeta_r - \zeta_0}{\zeta_r - \zeta} \quad (10)$$

となる。

さて、(10)式と先の齊藤式(1)式を比較すると興
 味あることに気がつく。それは式の形が非常に良
 く似ていることである。つまり、第3次クリープ
 の基礎式(3)式より得られる(10)式で、 $\zeta \rightarrow t$ とし
 た式が(1)式となっている点は注目される。

したがって、もし Δl に対応する ζ が3点与え
 られば、齊藤法と全く同様の方法で崩壊時間
 t_r が予測されることになる。ただし、今回の場

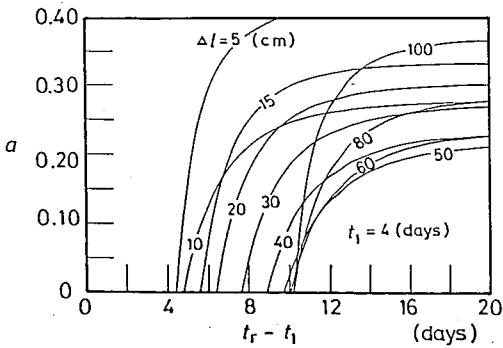


図-12 地附山cの $a \sim t_r$ 曲線

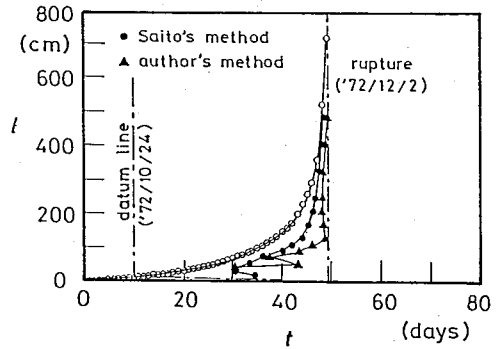


図-10 安居山(実際の予測)

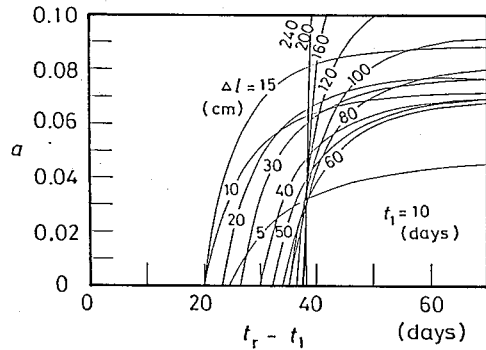


図-11 安居山の $a \sim t_r$ 曲線

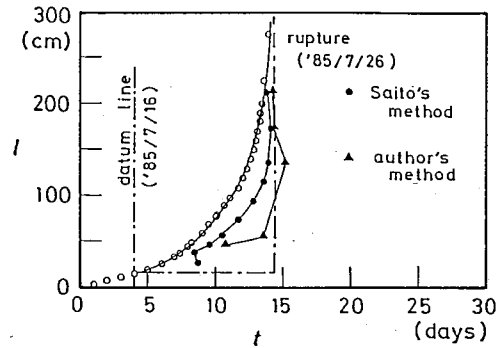


図-13 地附山cの予測結果

合とは、(9)式で表されるように未知数 a が含まれているので、これが決まらなるとは決定することができない。そこで、以下のような方法を考えた。

まず、斉藤法と同様に Δl を等しく図-5のようにとると、 (l_1, t_1) 、 (l_2, t_2) 、 (l_3, t_3) が求められる。ここで係数 a を仮定すれば、 t_r が求められる。図-6中の(a)の場合は係数 a を細かく仮定して t_r を求めたものである。こうして一つの $a \sim t_r$ 曲線が決定される。次に図-5で Δl を2倍にした $2\Delta l$ に対する $((l_i, t_i), (i=1 \sim 3))$ を求めると、この値に対する $a \sim t_r$ 曲線を描くことができる。これが、図-5中の(b)曲線であり、交点より係数 a と崩壊時間 t_r が決定される。このようにして、 a 、 t_r を推定する方法を $a \sim t_r$ 交点法と呼ぶことにする。

ここで、先の(5)式がそのまま成立しているような理想曲線を考える(例えば図-7)。この場合 $n\Delta l$ に対する $a \sim t_r$ 曲線は図-8のようになり、理想曲線に対しては、当然ながらすべて一致することになる。このような予測法の経時的過程は図-9のようになる。本予測法($a \sim t_r$ 交点法)は図中の \times 印であり、斉藤法が図中の \bullet 印である。

3. 予測例

これまででは理想曲線に対して $a \sim t_r$ 交点法を適用してきた、これを現場のデータに適用したものが図-10、図-11である。両図は安居山の崩壊であり、図中の $l \sim t$ 曲線は雲形定規で描いた曲線である。図-10の \blacktriangle 印が本法であり、 \bullet 印が斉藤法による予測値である。現場の場合、 $a \sim t_r$ 曲線の交点は図-11のようにバラツクことが多いが、隣合う Δl の $a \sim t_r$ 曲線の交点の値のみを採用したものが図-10中の \blacktriangle 印である(以下同様)。以下の各図に、各現場データに対する本法の予測結果を示す。

参考文献

- (1) 福園輝旗：地すべり22(2)、8~13、1985 (2) 斉藤迪孝：鉄研報告NO.626、1~53、1968 (3) 渡正亮：施工技術6(7)、109~112、1973 (4) 林拙郎他：地すべり24(4)、11~18、1988 (5) 林拙郎他：昭和63年度砂防学会概要集、223~226、1988 (6) 林拙郎他：100回日林論、661~664、1989 (7) 土屋・大村：地すべり26(1)、1~8、1989 (8) 山田剛二他：地すべり斜面崩壊の実態と対策、1~580 山海堂、東京、1971

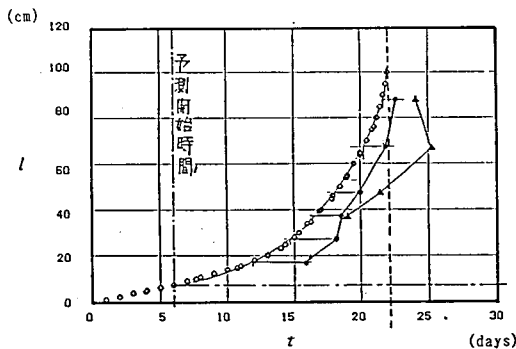


図-14 高場山の予測結果

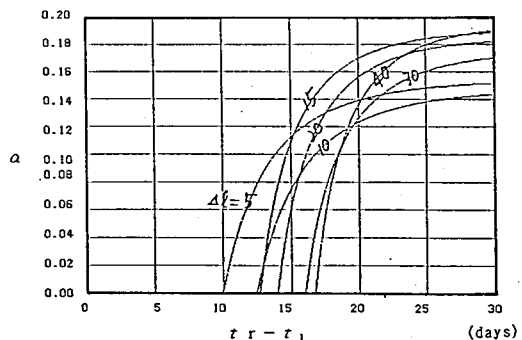


図-15 高場山の $a \sim t_r$ 曲線