

62 斜面崩壊発生の経時過程について

○
三重大生物資源 林拙郎、駒村富士弥、朴甫源、山森幹

1 はじめに

本報告では、斜面が崩壊に至るまでの現象を移動速度 v と移動量 l という局面から捉え、 $v \sim l$ 関係の測定結果をまず示す。そして、データより得られる $v \sim l$ 関係式より $v \sim t$ 関係を求め、崩壊発生までの経時進行過程を $v \sim l$ phase上の解析に基づいて考察する。

2 実験からの観察結果

数年前より筆者等は、砂をつめた土槽における崩壊実験を続けているが、崩壊に至るまでの移動量と（表面）移動速度との観察結果は、次のようにまとめられる。

① ある程度の移動量（ヒズミ量） l がないと崩壊は発生しない。

② 移動速度（ヒズミ速度） v が小さくても崩壊は発生しない。

もし、崩壊の特徴が上の①、②によって表現されるものとし、かつ崩壊過程が変形という形態量を基本にして記述されるものとすれば、崩壊する時の v と l との一般的関係を示す必要がある。すなわち、 v と l との一般的関数関係に対し次式：

$$v = dl / dt = f(l) \quad (1)$$

を明らかにすることが必要である。ここで、(1)式の微分方程式が解ければ、 t をパラメータとして $l \sim t$ 関係、 $v \sim t$ 関係が同時に決定される。

3 $v \sim l$ phaseによる検討

ここでは、飯山線高場山（S45年）および、長野市地附山（S60年）、福井市安居山（47年）、の $v \sim l$ データを用いて考察することにする。図-1は高場山の $v \sim l$ データであるが、定常クリープとみられる部分を除けば、 $v \sim l$ 関係は直線関係を示すものとみられる。図-2は、全 $v \sim l$ 関係を片対数グラフで示したものである。図中の第I段階の曲線が、図-1のノーマルグラフでは直線であった部分であり、それに続く第II段階は、片対数グラフでは直線関係を示すものと思われる。現場データの経時崩壊進行過程におけるこのような $v \sim l$ 関係は、室内実験においてもみられた関係である。

図-1より、第I段階では次式が近似できる。

$$v = dl / dt = v_0 + al \quad (2)$$

(2) 式を $t = 0$, $l = 0$ の条件で解くと、第I段階の $l(t)$, $v(t)$ 式として次式を得る。

$$l = (v_0/a)(\exp(at) - 1) \quad (3)$$

$$v = v_0 \cdot \exp(at) \quad (4)$$

一方、第II段階の $v \sim l$ 関係には、図-2より次式が近似できる。

$$v = dl / dt = v_0 \cdot \exp(b(l - l_0)) \quad (5)$$

上式の初期条件 ($t = 0$, $l = l_0$) に対する解として次式が得られる。

$$l = l_0 - (1/b) \cdot \ln(1 - b v_0 (t - t_0)) \quad (6)$$

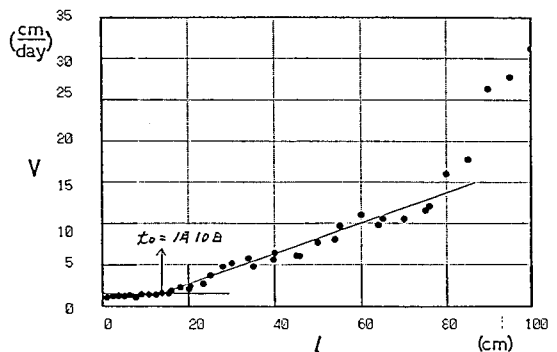


図-1 高場山の v と l の関係
(ノーマルグラフ)

$$v = v_0 / (1 - b v_0 (t - t_0)) \quad (7)$$

ここで、 $v \rightarrow \infty$ で $t = t_r$ とすれば、

$$t_r = t_0 + 1 / (b v_0) \quad (8)$$

となり、 v は次式のようにになる。

$$v = 1 / (b (t_r - t)) \quad (9)$$

上式は、崩壊時刻の直前予測式として有名な斉藤式の仮定に外ならない。したがって、これから得られる移動量 l 式も、これをヒズミ式に変形すれば、次式のような斉藤式に一致する。

$$\varepsilon = A \cdot \ln \frac{t_r - t_0}{t_r - t} \quad (10)$$

ここに、 $\varepsilon = (l - l_0) / L$ 、 L : 基準長、 $A = 1 / (b L)$ である。

以上より、斉藤式の成立領域は、本報の第II段階に相当するものと考えられる。移動速度 v の逆数と時間との関係を調べると図-3のようになり、 $1/v \sim t$ 関係においても上で述べた関係が成立しているものとみられる。しかし、第II段階において成立する斉藤式の時間領域が意外に短く、第I段階の1/3程度であることも図-3から読み取れる。

図-4～図-10は、地附山の場合である。移動曲線を図-4のように補正して用いると、図-5～図-10のような各種の曲線が得られ

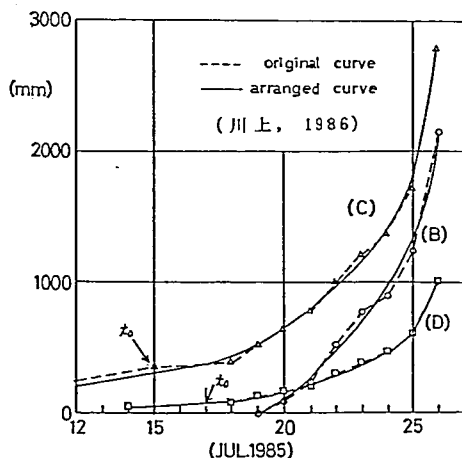


図-4 地附山の伸縮計移動量グラフ

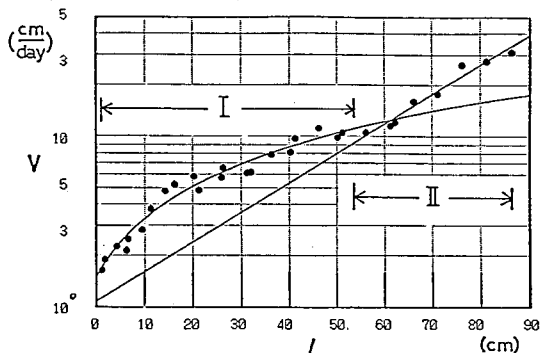


図-2 高場山の v と l の関係
(片対数グラフ)

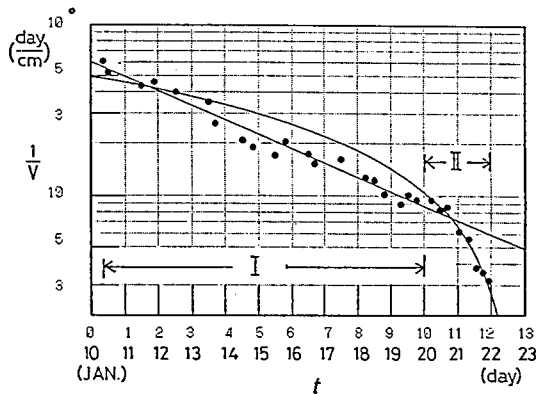


図-3 高場山の $1/v$ と t の関係
(片対数グラフ)

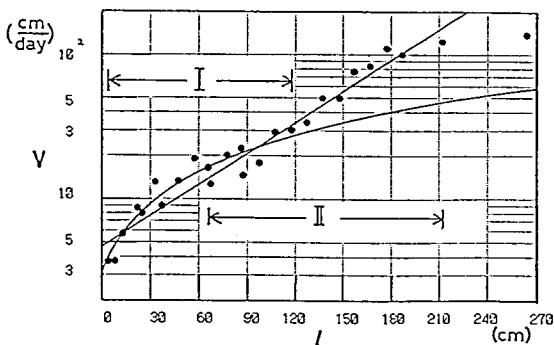


図-5 地附山 (C) の v と l の関係
(片対数グラフ)

る。この場合にも上で述べたような第Ⅰ段階、第Ⅱ段階という二つの領域が存在し、第Ⅱ段階の斉藤式の時間領域が意外と短いことがわかる。斉藤式は、従来より直前予知に対して用いられており、今回の結果は、これらのことを裏付けているが、第Ⅰ段階の存在も今後は見落とせないことになるものと思われる。

以上、高場山・地附山では先の(2)式、(5)式の $v \sim l$ 関係が成立することがわかり、 $v \sim t$ 関係の成立も確かめる事ができた。これらのことは、すぐ後に示す安居山の場合(図-11～図-13参照)でも同様である。

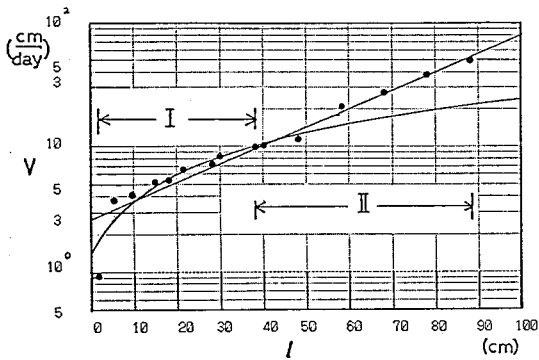


図-7 地附山(D)の v と l の関係
(片対数グラフ)

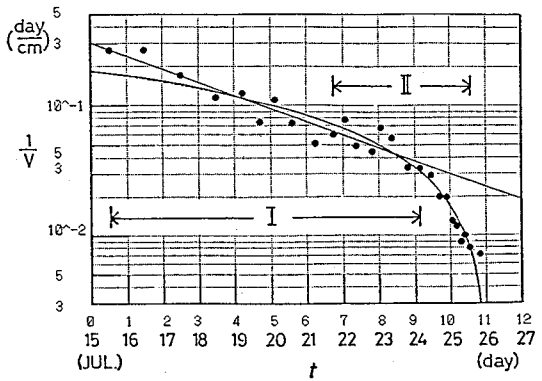


図-6 地附山(C)の $1/v$ と t の関係
(片対数グラフ)

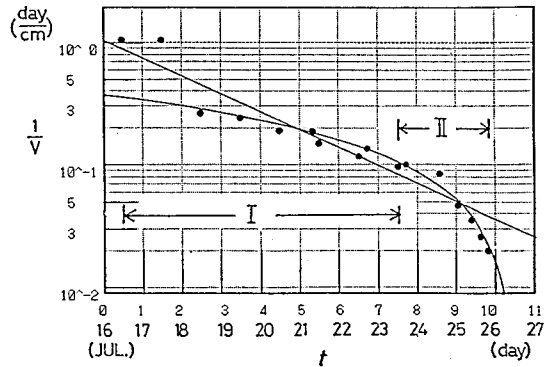


図-8 地附山(D)の $1/v$ と t の関係
(片対数グラフ)

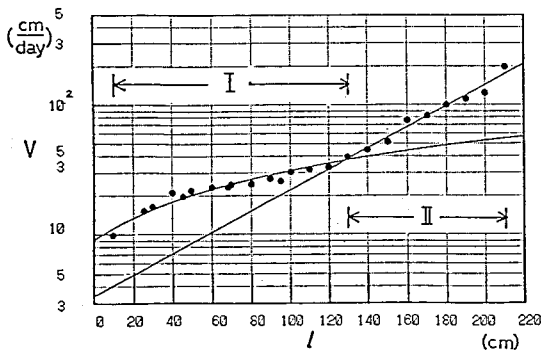


図-9 地附山(B)の v と l の関係
(片対数グラフ)

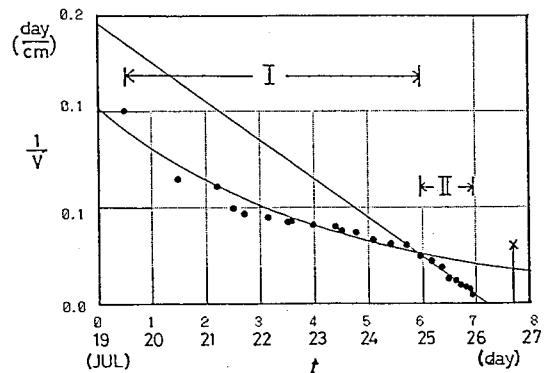


図-10 地附山(B)の $1/v$ と t の関係
(ノーマルグラフ)

4 第Ⅰ・第Ⅱ段階を連続させた場合

先の(2)式、(5)式を t で微分するとそれぞれ次式ようになる。

$$dv/dt = av \quad (11)$$

$$dv/dt = bv^2 \quad (12)$$

上式は、加速度 a と v の関係であるが、福園はこの関係を一般的に

$$a = dv/dt = av^n$$

で表している。これまでの筆者の解析によれば(11)式、(12)式で表されるような $n=1, 2$ の場合がより本質的であると考えられる。

さて、 $a \sim v$ phase上で、(11)式、(12)式が成立するとしても、(11)式の第Ⅰ段階から(12)式の第Ⅱ段階に急に移行するとは考えられず、徐々に移行するはずである。それは、 v の大小関係によって決まるので、(11)式、(12)式をまとめて次のような一つの式で表すことが可能である。

$$\frac{dv}{dt} = av + bv^2 \quad (13)$$

上式より、次のような $v(t)$ 式、 $l(t)$ 式が求められる。

$$v = \frac{aCe^{at}}{b(1-Ce^{at})}, \quad C = \frac{bv_0}{bv_0+a} \quad (14)$$

$$v = \frac{1}{b} \ln \frac{1-C}{1-Ce^{at}} \quad (15)$$

上の(15)式を、安居山のデータにあてはめたものが、図-13の曲線である。なお、図-11、図-12は、これまでの方法で示したものである。

参考文献

- 1) 林拙郎・駒村富士弥・朴甫源：地すべり，24-4，1988。
- 2) 福園輝旗：地すべり，22-2，1985。
- 3) 斉藤迪孝：鉄研報告，626，1968。
- 4) 渡正亮：施工技術，6-7，1973。
- 5) 川上浩：昭和60年長野市地附山地すべりによる災害，信州大学自然災害研究会，1986。

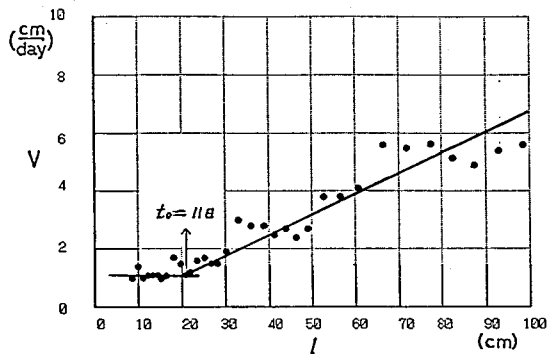


図-11 安居山の v と l の関係
(ノーマルグラフ)

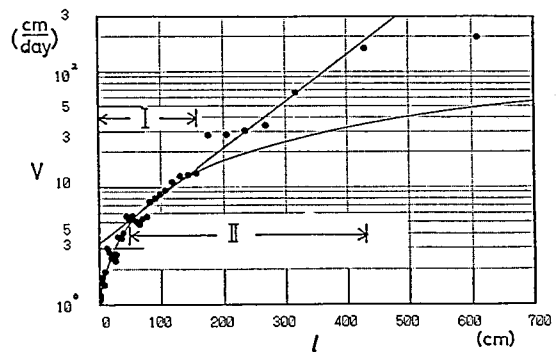


図-12 安居山の v と l の関係
(片対数グラフ)

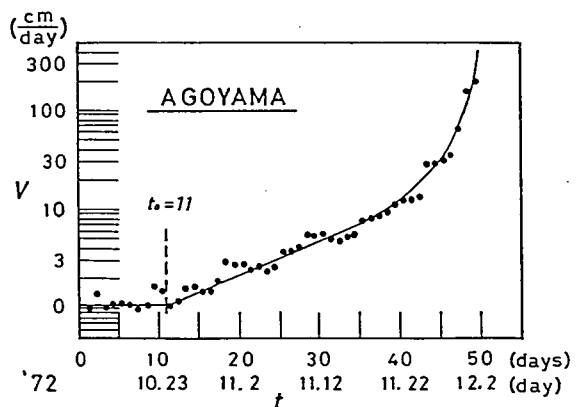


図-13 安居山の v と t の関係
(片対数グラフ)