

53 斜面崩壊の経時過程と地形特性

三重大生物資源 ○林 拙郎、山森 幹、名大農 朴 甫源

1 はじめに

第3次クリープの経時進行過程を明らかにすることは、いわゆるクリープ曲線を示すことであり、これが確定するということは、今後の崩壊予測に対しても重要な意味をもつものと考えられる。ここでいう第3次クリープは、定常速度を示すと考えられる第2次クリープに直接続く領域であり、第3次クリープを経て崩壊に至ると考えられる。この過程の現象を力学的過程とは、別に運動学的現象を示すものとしてこれまで「斜面崩壊の経時進行過程」と呼んで来た。斜面崩壊の運動学的過程としてこれまでとりあげた因子は移動量 l と移動速度 v と時間 t である。このうち、 v と l の phase に注目して、第3次クリープの崩壊過程に第I段階、第II段階という二つの典型的な領域があることを示してきた。

今回は、これら二つの典型的な過程を統一して解析し、統一した式(統一式)の妥当性を検討する。そして、その統一式の係数と各崩壊斜面の地形因子との関係を考察する。

2 第3次クリープの統一式

第I段階、第II段階を $\alpha \sim v$ phase で書けば次式のようになる。

$$\text{第I段階: } dv/dt = a_s v \quad (1)$$

$$\text{第II段階: } dv/dt = b_s v^2 \quad (2)$$

ここに、 v : 移動速度、 a_s 、 b_s : 定数である。第II段階の(2)式は斉藤(1968)式に一致する。第I段階、第II段階を統一した第3次クリープを表す式として、昨年来、筆者等は次式を示している。

$$dv/dt = a v + b v^2 \quad (3)$$

ここに、 a 、 b は定数である。上式で移動速度 v が非常に小さいとか、 $a \gg b$ である場合には、第2項が無視され、第1項のみの先の(1)式が成立することになる。逆に v が大きいとか、 $a \ll b$ のときには、第2項に比して第1項が無視され、先の(2)式が成立することになる。したがって、崩壊の進行過程が(1)式から(2)式へ徐々に移行するときには、上式がその

過程を表すものと考えられる。筆者等は、 $v \sim l$ 解析を手掛りに上の(3)式に到達した。

一方、福園(1985)は当初より $\alpha \sim v$ phase 上で考察し、データプロットより

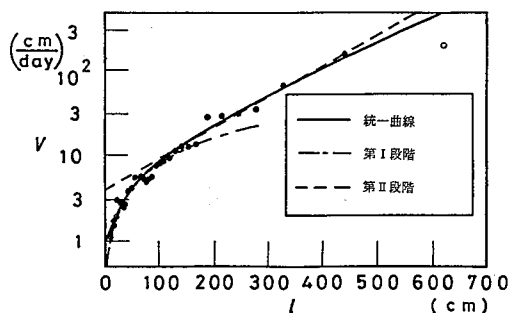


図-1 安居山崩壊の $v \sim l$ 関係 (片対数グラフ)
白マル印のデータはあてはめに使用
しなかったもの、以下同様

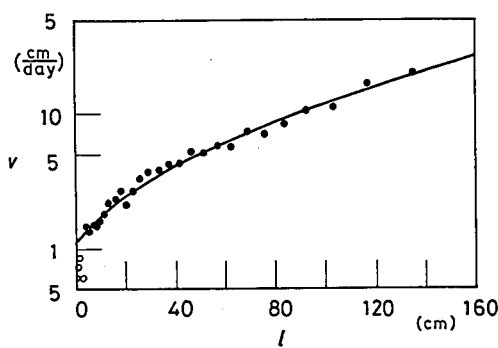


図-2 地附山(A)の $v \sim l$ 関係 (片対数グラフ)

$$dv/dt = av^n \quad (4)$$

を得た。ここに、 a 、 n は定数である。そして、 n については現場に対応した値を考えればよいとした。筆者らの場合には、 $v \sim l$ phase解析より求めた(1)、(2)式つまり(4)式の $n = 1$ または $n = 2$ が本質的であると考えてきた。(4)式は、みかけ上、(3)式のような式形が存在することを示している。さて、第3次クリープの統一式である(3)式の初期条件

$$t = t_0 \text{ で } v = v_0, l = l_0$$

に対する解は、次式のようにになる。

$$\frac{bv}{a+bv} = \frac{bv_0}{a+bv_0} \exp(a(t-t_0)) \quad (5)$$

$l \sim t$ 式に対しては上の(5)式を変形して

$$\frac{dl}{dt} = \frac{ac \exp(a(t-t_0))}{b \{1 - c \exp(a(t-t_0))\}} \quad (6)$$

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

とすると次式を得る。

$$l = l_0 + \frac{1}{b} l_n \frac{1-c}{1-c \{ \exp(a(t-t_0)) \}} \quad (7)$$

ここで、(5)式、(7)式より t を消去すれば、 $v \sim l$ 式として次式を得る。

$$v = \frac{v_0}{c} \exp(l - l_0) \frac{a}{b} \quad (8)$$

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

上式は $v \sim l$ phase上の関係式であり、この式によって統一式の適合性を調べることができる。

3 現場データと統一式の適合性

前節で求められた $v \sim l$ 関係を安居山の場合に対して調べたものが、図-1(片対数グラフ)である。図中の実線が先の(8)式による曲線である。図-1には従来の第I段階の曲線(一点鎖線)と第II段階の曲線(破線)も示されている。また、図-2は地附山の伸縮計Aに関する $v \sim l$ 関係を示したものである。安居山の場合も、地付山の場合にも先の(8)式の関係がよく認められる。

上の現場の場合に対する検討は、 $v \sim l$ phase上で行ったものである。これまで筆者等は、 $v \sim l$ phase上で崩壊進行過程を解析するのが最も行いやすい方法であると考えて来た。しかし、基本式その

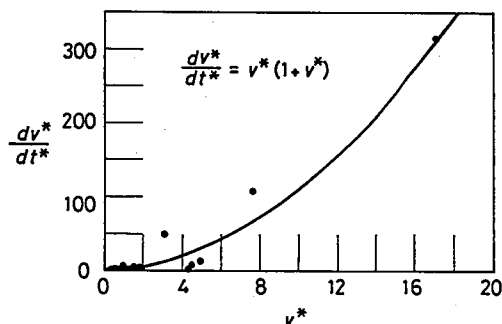


図-3 安居山の無次元データ(速度と加速度)

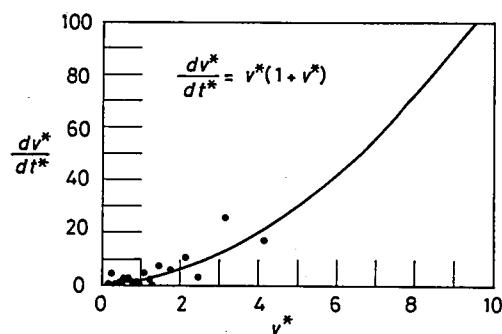


図-4 地附山(A)の無次元データ(速度と加速度)

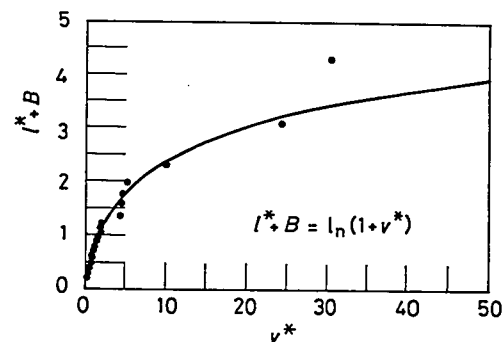


図-5 安居山の無次元データ(移動量と移動速度)

ものの妥当性を調べることも重要である。以下では基本式の(3)式を係数 a 、 b で無次元化して考察する。

まず a 、 b 等の次元は

$$[a] = [1/T], \quad [b] = [1/L],$$

$$[a/b] = [L/T]$$

であり、次のような無次元量を設定する。

$$v^* = (b/a) v, \quad t^* = a t$$

上の無次元量を用いると、先の(3)式及び(7)式は

$$\frac{d v^*}{d t^*} = v^* (1 + v^*) \quad (9)$$

$$l^* + B = \ln(1 + v^*) \quad (10)$$

$$B = \ln(1 + v_0^*)$$

となる。

この無次元式(9)式を用いて速度、加速度関係の確かめを行ったものが図-3、図-4である。同図は縦軸が無次元加速度 a^* あり、横軸が無次元速度 v^* である。図中の曲線が(9)式であり、二次曲線を表す。加速度のデータは、数値微分を2度行ったものであり、データは散乱しているが、ほぼ、(9)式の傾向にあっていものとみられる。

また、 $v \sim l$ phase上の無次元式(10)式を用いて移動量と移動速度との関係を調べたものが図-5、図-6である。同図は無次元量ではあるけれども $v \sim l$ phaseのものであり、データはよい適合性を示している。

4 統一式のパラメータと地形因子との関係

ここで、地形因子の考察に入る前に、先の(5)式を用いて崩壊時間 t_r とパラメータとの関係についてまず考察する。(5)式で、崩壊時間 t_r を

$$v \rightarrow \infty \quad \text{のとき} \quad t \rightarrow t_r$$

とすると

$$a(t_r - t_0) = \ln(1 + a/(b v_0)) \quad (11)$$

を得る。上式でもし、 a 、 b 等の定数が他の因子(例えば、地形因子や土質力学的因子)から推定できれば、崩壊時間 t_r はその因子を用いて推定できることを示している。

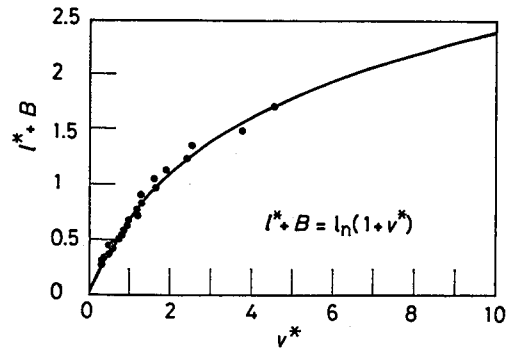


図-6 地附山(A)の無次元データ
(移動量と移動速度)

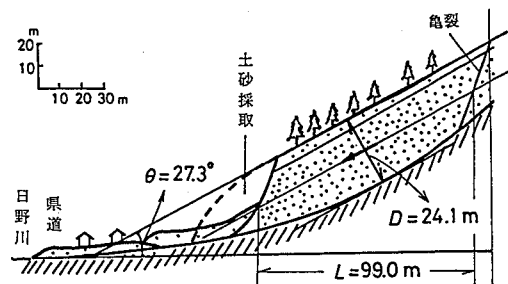


図-7 安居山崩壊の断面図と地形因子

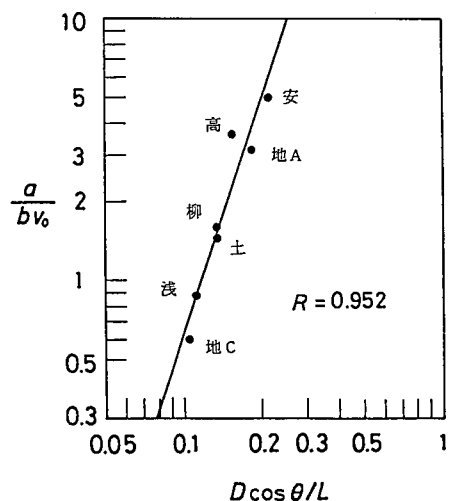


図-8 $a/(b v_0)$ と $D \cos \theta / L$ の関係

ところで、現場の地形因子は、例えば安居山の場合には、図-7のようにして崩壊層の厚さD、傾斜角 θ 、水平斜面長Lを測定した。

現在、いくつかの現場のデータについては、 a 、 b 、 v_0 の値が求められているので、これらを用いてパラメータの考察を行う。まず、(11)式の右辺の $a/(bv_0)$ と地形因子 $D\cos\theta/L$ の関係を調べたものが、図-8である。図中のRは相関係数である。図-8は、崩壊に関する無次元パラメータが地形因子に関係していることを示している。図-8にみられる $a/(bv_0)$ と $D\cos\theta/L$ の関係を(11)式に代入して調べたものが図-9である。図-8が成立すれば、(11)式より図-9が成立することは明かであるが、実際によく成立している。

ここまでは、縦軸に a_{tr} を用いて来た。しかし、現実には係数 a は崩壊が発生する付近までの $l \sim t$ 曲線がないと求められない。そこで、第I段階の係数 a_s を用いて第I段階の係数 a_{str} を直接(11)式の関係より調べたものが図-10である。同図は横軸を上(11)式に基づいて

$$1 + k (D \cos \theta / L)^n$$

としたときのものであるが、 a_{str} に対してはあまりよい対応はみられない。縦軸に a_{str} を用いるときには、横軸の因子の中に図-10のように無次元量

$$Fr = v_0 / \sqrt{gD}$$

を用いてみるのも一法である。図-11では、相関係数Rが、図-10よりかなりよくなっている。第I段階の係数 a_s を用いて崩壊時間の推定を行う場合には、Frによる推定が有効なように思える。

参考文献

- (1) 福岡輝旗：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) 土屋・大村：地すべり25(2)、2～8、1988
- (7) 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

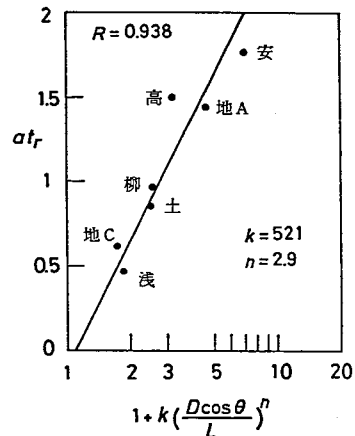


図-9 a_{tr} と $1 + k (D \cos \theta / L)^n$ の関係

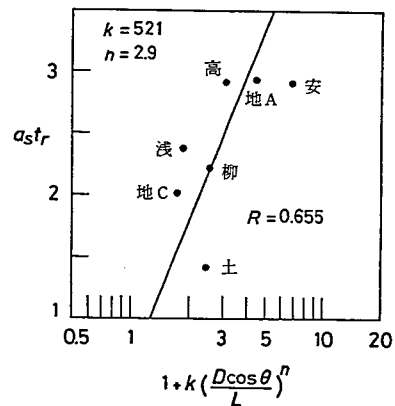


図-10 a_{str} と $1 + k (D \cos \theta / L)^n$ の関係

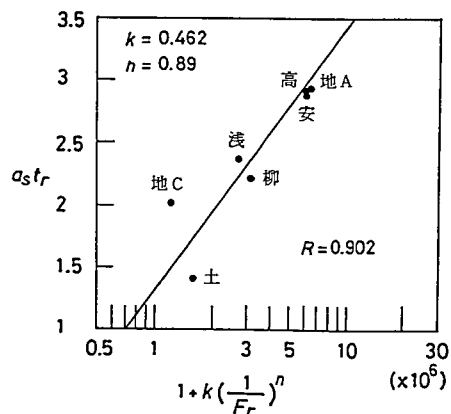


図-11 a_{str} と $1 + k (1/Fr)^n$ の関係