

## 融雪浸透水の地すべりへの影響について

吉田 昭 治\*

### Influence of the melted snow water on landslides

by

Shōji YOSHIDA

(Abstract)

The influences of melted snow water on landslides is considered by the method which estimates the rate of change of the safety factor in the ordinary method of slices with the assumed circular-arc failure surface.

In addition to the influence of the decrease of shear strength owing to an increase of pore-water pressure along the failure surface, explained ordinarily, the other influences are presented as follows :

(1) One of the influences of melted snow water is shown as the change of the safety factor consequent upon the increase of its own weight of sliding mass which depends on an increase of the wet weight of the soil mass above the groundwater level owing to the seepage water from the soil surface, as shown in Eqs. (8).

(2) The other influence is due to the increase of its own weight of sliding mass by which the water content of soil near and above the groundwater level is transformed from a wet status to a saturated status owing to a rise of the groundwater level, as shown in Eqs. (8).

The resultant change of the safety factor due to both the increase of its own weight and the decrease of its shear strength owing to the rise of the groundwater level is shown in Eqs. (14) or (15).

Key words : landslide, melted snow water, groundwater level, slope stability, safety factor  
キーワード : 地すべり, 融雪水, 地下水位, 斜面安定, 安全率

### I ま え が き

地すべりの直接的誘因として、多くの場合、融雪水や降雨などの地表水の斜面供給による地下水位の上昇、またはこれによる地すべり面の間隙水圧の上昇があげられる。しかし、この地表水供給や地下水位の上昇が、どのようにして地すべりの発生に影響するのか、その力学的機構、解釈にはまだ不鮮明なところがあると思われる。たとえば“豪雨時における自然斜面の安定に関するシンポジウム”(土質工学会、1978)においても、以下に指摘する論点についての検討は見受けられない。八木ら(1984)は雨水浸透による自重の増加を考慮した、斜面安定計算を行っているが、これらの影響をとり出して評価している訳ではない。本論は、この点の若干の整理と考察を次の3点にわたって行ったものである。

\* 新潟大学積雪地域災害研究センター

(1) 融雪水が地表より浸透して地下水位を上げ、地すべりを起こすと普通説明されているが、この融雪浸透水が地下水位を上げるにいたる水理学的過程について簡単な整理を行う。

(2) 融雪浸透水が地下水面以浅の土層の土湿増をもたらす、これが地すべりに及ぼす影響について考察を加える。

(3) 地下水位上昇が地すべりに及ぼす影響としては、地下水位の上昇が地すべり面の間隙水圧を上げることで地すべり面の有効応力の減少をきたし、これが土のせん断強度の低下をもたらすことによるとのみ普通説明されているが、地下水位の上昇による土の自重増が地すべりに及ぼす影響もあることに注目して、これらの相乗効果を安全率の変化に表して、考察を加える。

なお、1985年2月15日に新潟県青海町玉ノ木地区に地すべり災害が発生したが、この地すべりを自然災害特別研究突発災害調査グループ（代表 藤田至則）の一員として調査する機会を得た。本論はこの時の調査結果や報告（吉田，1985a）の一部を含み、またこの地すべりを具体例として念頭におきながら考察したものである。

## II 融雪浸透水～地下水位上昇の水理学的過程について

現在のところ、普通には、降雨や融雪水が地すべり発生を引き金になるのは、融雪水などの地表水の斜面への供給が、地下水位を高め、あるいは地すべり面付近の間隙水圧を高めることにより、地すべり面の有効応力低下、従ってせん断強度の低下をもたらすことによる、とされている。

この見地自体は正しいであろうが、この際、地表浸透水が地下水に到達することで地下水位が上昇すると多くの場合みなされている。ここで注意しなければならないのは、斜面の地下水位は、①その場所を含むもっとも広域の水理地質条件によって決まってくるということであり、②地下水面より以浅の土層がある程度不飽和な状態であっても、地表浸透水が水理学的連続な水分状態（吉田ら，1983）の深さのところまで達すると（すなわち地表浸透水が地下水面まで到達しなくても）直ちに地下水面への水分供給がなされ、地下水位の上昇に影響する。③まして不圧地下水だけでなく、地すべり面下部が被圧滞水層になっていると、斜面上部の亀裂や、さらに遠く離れた区域からの地表浸透水が地すべり斜面に地下水として到達しなくても、容易に、しかも速やかに水圧が伝達され地すべり斜面の被圧間隙水圧を上昇させるということである。

地すべり地の地下水調査やその結果の解釈に当たって、以上のような見地を総合的にふまえたものは比較的少ないように思われる。ここでは、以上のような見地を前提とした上で、融雪浸透水の地すべりに及ぼす影響として、融雪浸透水による土湿増加による影響、地下水位上昇による自重増加による影響などについて検討する。

## III 土湿増による安全率の変化

玉ノ木地すべりの冠頭部の表土の水分状態を2月19日（吉田，1984a）に実測したところ、積雪深が1 m 40 cmあり、気温も高く、明らかに融雪中にもかかわらず、土層は水分飽和状態でなく不飽和で、容積率にして気相は10%前後はあった。新潟のような多雪地の融雪期には、融雪水は一日にして30 mm前後が20日程度も連続して地表に供給されるように、連続的地表水供給量は少々の大雨以上であるが、単位時間当たり強度としては、例えば実際の一日の融雪時間は数時間程度であるから、8時間として約4 mm/hrであり、さらに10分間強度では0.7 mm程度と、一時的な豪雨からみると低いといえる。また融雪期に

は、大量の連続した地表供給水によって、地表まで飽和していると理解され易いが、実際は不飽和状態であり（地表近くが透水性の低い粘性土や水の集まりやすい所は別）、融雪水は不飽和な状態で地中へ浸透していることになる。仮にその斜面が不圧地下水をもっていたとしても、地下水位は地表にまで達するとは限らない。このように融雪期でも地下水面より上層に不飽和土層が存在するという事は、融雪水の浸透によって、不圧地下水面上部の土湿増をもたらすことになる。

このことは斜面安定解析の立場からは融雪浸透水が土の重量増をもたらして、これが斜面の安全率にどう影響するかという問題になる。遠藤・松崎（1985）は、玉ノ木地すべり地の林木の成長にともなう積載荷重増加の地すべりへの影響を、斜面の安全率の変化を評価する方法で検討している。ここではこの方法を参考にして、融雪浸透水などによる土湿増の安全率への影響の仕方を以下に検討する。

簡単のために、円弧すべり面を仮定した簡便分割法で検討する。問題点ができるだけ簡潔な式で表せるように、地すべり斜面の土質は均質であること、即ち土の強度定数や単位重量は一定であると仮定する。また一連の不圧地下水が存在するものとする。

分割帯片にかかる力関係などは図-1に、また使用する記号は次に示す。

$W_i$  : 帯片の重量       $dl_i$  : 帯片底面の弧長

$N_i$  : 底面  $dl_i$  に働く垂直力

$T_i$  : 底面  $dl_i$  に働くせん断力、

$\tau_i$  をこのせん断応力として、

$$T_i = \tau_i dl_i$$

$S_i$  : 底面  $dl_i$  で発揮され得るせん断抵抗力で、

$$S_i = s_i dl_i$$

ただし、 $s_i$  : 土のせん断強度、

$c'$ 、 $\phi'$  を強度パラメータ、

$\sigma_i'$  をこの面での有効垂直応力として、

$$s_i = c' + \sigma_i' \tan \phi'$$

$\alpha_i$  : 底面と水平面とのなす角

$Q_i$  : 帯片鉛直側面に働く内力

$\Delta Q_i$  : 帯片に働く内力の合力 ;  $\Delta Q_i = Q_{i-1} - Q_i$

ここでは簡単のために、間隙水圧を含む内力  $Q$  はすべり面に平行、局所安全率  $F_{s_i} = \text{一定} = F_s$  と仮定する。このときは、斜面のモーメントに関する安全率は

$$F_s = \frac{\sum S_i}{\sum W_i \sin \alpha_i} = \frac{\sum [c' dl_i + (W_i \cos \alpha_i - U_i dl_i) \tan \phi']}{\sum W_i \sin \alpha_i} \dots\dots\dots(1)$$

で表される（例えば（吉田，1985b）を参照）。

土湿増によって  $i$  番目の帯片が重量増となった時の安全率の変化  $\partial F_s / \partial W_i$  を求めると、(1)から

$$\frac{\partial F_s}{\partial W_i} = \frac{\cos \alpha_i \tan \phi' (\sum W_i \sin \alpha_i) - \sin \alpha_i \sum S_i}{(\sum W_i \sin \alpha_i)^2} = \frac{\tan \phi' \cdot \cos \alpha_i}{\sum W_i \sin \alpha_i} - \frac{\sin \alpha_i \sum S_i}{(\sum W_i \sin \alpha_i)^2}$$

$F_s = \sum S_i / \sum W_i \sin \alpha_i$  によって書き直すと

$$\frac{\partial F_s}{\partial W_i} = \frac{\cos \alpha_i}{\sum W_i \sin \alpha_i} (\tan \phi' - F_s \tan \alpha_i) \dots\dots\dots(2)$$

を得る。土湿増前で破壊に至らぬ状態では  $F_s = 1$  であったとすると、(2)式から

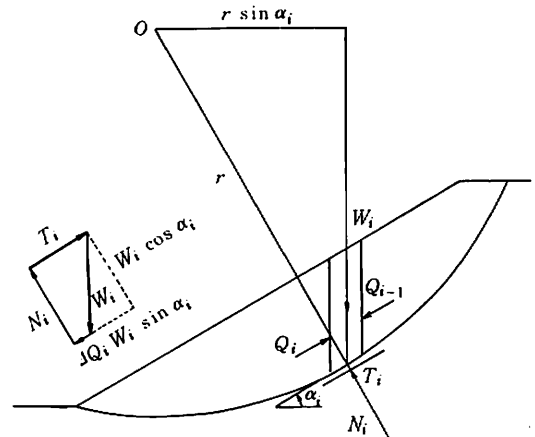


図-1 簡便分割法  
Fig. 1 Simplified method of slices.

$\tan \alpha_i > \tan \phi'$  , 即ち  $\alpha_i > \phi'$  ならば  $\partial F_s / \partial W_i < 0$  となり  $F_s$  は単調に減少  
 " < " , 即ち " < " ならば " > 0 となり " は単調に増加

となる。このことは

- $\alpha_i > \phi'$  を満たす斜面上部部の土湿増により不安定化
- $\alpha_i < \phi'$  を満たす斜面下方部の土湿増により安定化

をもたらすということになる。

なお、各帯片の土湿増 によって全体の安全率に寄与する変化  $\Delta F_{si}$  は、(2)式に実際の諸元を与えて  $\partial F_s / \partial W_i$  の値を求めれば、 $\Delta F_{si} = \frac{\partial F_s}{\partial W_i} \Delta W_i$  によって求めることができる。

次に、個々の帯片の土湿増による安全率の変化でなく、すべり土塊の全重量を  $W_T$  とすると

$$W_T = W_1 + W_2 + \dots + W_n = \Sigma W_i \dots\dots\dots(3)$$

この場合、 $\partial W_i / \partial W_T = 1$  ゆえ、

$$\frac{\partial F_s}{\partial W_T} = \frac{\partial F_s}{\partial W_1} + \frac{\partial F_s}{\partial W_2} + \dots + \frac{\partial F_s}{\partial W_n} = \Sigma \frac{\partial F_s}{\partial W_i} \dots\dots\dots(4)$$

即ち、全重量  $W_T$  の土湿増による安全率の変化率は、各帯片の土湿増による変化率の総和に等しいということになる。(2)式を用い、(4)式で求めると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_s}{\partial W_T} &= \Sigma \left\{ \frac{\cos \alpha_i}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} (\tan \phi' - F_s \tan \alpha_i) \right\} \\ &= \frac{1}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} \Sigma \left\{ \cos \alpha_i \tan \phi' - F_s \sin \alpha_i \right\} \\ &= \frac{1}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} \left\{ \tan \phi' \Sigma \cos \alpha_i - F_s \Sigma \sin \alpha_i \right\} \\ &= \frac{\Sigma \cos \alpha_i}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} - \left\{ \tan \phi' - F_s \frac{\Sigma \sin \alpha_i}{\Sigma \cos \alpha_i} \right\} \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

ここで、(5)式の中にある  $\Sigma \sin \alpha_i / \Sigma \cos \alpha_i$  をもっと分かり易い斜面の幾何学的量に変換することを試みる。いま、帯片の弧底長  $dl_i$  を一定にとっても一般性は失われないから、 $dl_i = dl$  として、

$$\frac{\Sigma \sin \alpha_i}{\Sigma \cos \alpha_i} = \frac{\Sigma dl \sin \alpha_i}{\Sigma dl \cos \alpha_i} \dots\dots\dots(6)$$

と書ける。図-2を参考にすると  $\Sigma dl \cos \alpha_i$ 、 $dl \sin \alpha_i$  は弧長  $dl$  のそれぞれ横距と縦距であるから、これらの和はそれぞれ

$$\begin{aligned} \Sigma dl \cos \alpha_i &= \overline{AC}, \\ \Sigma dl \sin \alpha_i &= \overline{BC}, \end{aligned}$$

となる。従って、すべり円弧が斜面を切る点をA、Bとし、この2点A、Bを結ぶ線分ABの傾斜角を  $\beta$  とすると、(6)式は結局

$$\frac{\Sigma \sin \alpha_i}{\Sigma \cos \alpha_i} = \frac{\Sigma dl \sin \alpha_i}{\Sigma dl \cos \alpha_i} = \frac{BC}{AC} = \tan \beta \dots\dots\dots(7)$$

となる。これは斜面が直線でも成り立つ。これから(5)式は、さらに簡単に

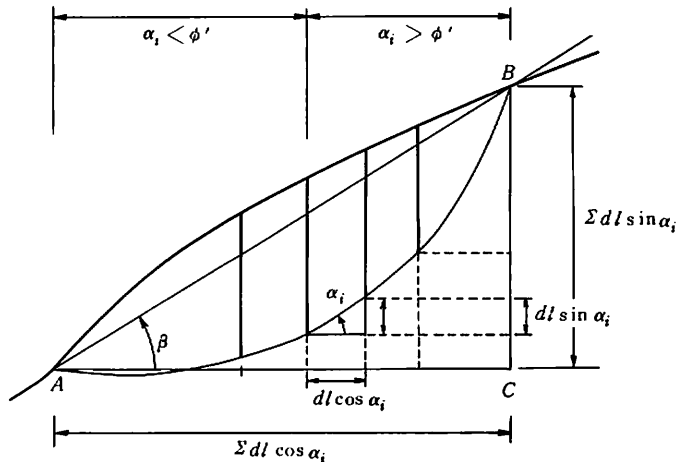


図-2  $\frac{\Sigma \sin \alpha_i}{\Sigma \cos \alpha_i} = \frac{\Sigma dl \sin \alpha_i}{\Sigma dl \cos \alpha_i} = \frac{BC}{AC} = \tan \beta, (dl = \text{const})$

$$\text{なって } \frac{\partial F_s}{\partial W_T} = \frac{\Sigma \cos \alpha}{\Sigma W_i \sin \alpha} \cdot \left\{ \tan \phi' - F_s \tan \beta \right\} \dots\dots\dots(8)$$

と表わされる。この式によってすべり土塊全体の土湿増による安全率の変化をすると

$$\left\{ \begin{array}{l} \tan \phi' > F_s \tan \beta \text{ ならば } \partial F_s / \partial W_T > 0 \text{ ゆえ, 土湿増により安全率が増す} \\ \tan \phi' < F_s \tan \beta \text{ ならば } \partial F_s / \partial W_T < 0 \text{ ゆえ, 土湿増により安全率が減る} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(i)$$

融雪浸透水による土湿増が起きる前は、斜面が力学的釣合いの極限平衡状態であったとすると、 $F_s = 1$  とおけるから、(i)は、さらに

$$\left\{ \begin{array}{l} \tan \phi' > \tan \beta, \text{ 即ち } \phi' > \beta \text{ ならば, 土湿増により安全率が増す} \\ \tan \phi' < \tan \beta, \text{ 即ち } \phi' < \beta \text{ ならば, 土湿増により安全率が減る} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(ii)$$

ということになる。

#### IV 地下水位上昇による安全率の変化

地すべり斜面に不在地下水が存在する場合、融雪によって、斜面内外の地表から浸透水が供給されると、地下水位が上昇するが、これによる斜面の安全率の変化を検討する。

すべり円弧からの地下水位の高さを  $H_i$ 、地表の高さを  $Z_i$ 、飽和単位重量を  $\gamma_{sat}$ 、地下水位以浅の平均湿潤単位重量を  $\gamma_t$ 、帯片の水平幅を  $b_i$  とすると (図-3)、

帯片の重量は、

$$W_i = \{ \gamma_{sat} H_i + \gamma_t (Z_i - H_i) \} b_i$$

地下水位  $H_i$  の変動による帯片重量  $W_i$  の変化率は

$$\frac{\partial W_i}{\partial H_i} = (\gamma_{sat} - \gamma_t) b_i \dots\dots\dots(9)$$

$\gamma_{sat} - \gamma_t > 0$  ゆえ、(9)式の地下水位上昇は、つねに重量増をもたらすことを示す。

地下水位が  $H_i$  の時のすべり面に働く間隙水圧を  $U_i$  とし、水圧分布を直線分布で近似すると

$$U_i = \Gamma \gamma_w H_i \dots\dots\dots(10)$$

ここで定数  $\Gamma$  は、斜面内の不在地下水のように、鉛直下方への速度成分がある場合は、 $\Gamma < 1$  で、かつ自然状態では 1 に近い数である。

(10)式から地下水位  $H_i$  の変化による  $U_i$  の変化率は、

$$\frac{\partial U_i}{\partial H_i} = \Gamma \gamma_w \dots\dots\dots(11)$$

さて、不在地下水状態で、地下水位の変動が安全率に影響するのは、地下水位変化による重量変化とすべり面の間隙水圧変化の重ね合わせによるから、地下水位  $H_i$  の変動による安全率  $F_s$  の変化率は、

$$\frac{\partial F_s}{\partial H_i} = \frac{\partial F_s}{\partial W_i} \cdot \frac{\partial W_i}{\partial H_i} + \frac{\partial F_s}{\partial U_i} \cdot \frac{\partial U_i}{\partial H_i} \dots\dots\dots(12)$$

で表わされる。この式の中で  $\partial F_s / \partial U_i$  は、(1)式の  $F_s$  から

$$\frac{\partial F_s}{\partial U_i} = - \frac{dl_i \tan \phi'}{\Sigma W_i \sin \alpha} \dots\dots\dots(13)$$

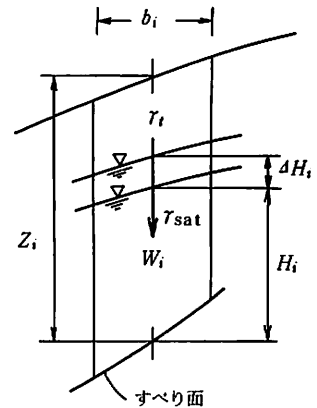


図-3

$$W_i = \{ \gamma_{sat} H_i + \gamma_t (Z_i - H_i) \} b_i$$

(12)式の各項を、(8)、(9)、(11)、(13)式を用いて書き直すと、 $\Delta r = r_{sat} - r_t$  とおいて、

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_s}{\partial H_i} &= \frac{\cos \alpha_i}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} (\tan \phi' - F_s \tan \alpha_i) \cdot b_i \cdot (r_{sat} - r_t) - \frac{dl_i \tan \phi'}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} \cdot \Gamma' r_w \\ &= \frac{1}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} \left\{ b_i \Delta r \cdot \cos \alpha_i (\tan \phi' - F_s \tan \alpha_i) - \Gamma' r_w dl_i \tan \phi' \right\} \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

$F_s = 1$  とすると、 $\tan \phi' < \tan \alpha_i$ 、即ち  $\alpha_i > \phi'$  の帯片のところでは、常に  $\partial F_s / \partial H_i < 0$  で、水位上昇は安全率の低下をもたらす。

(14)式をさらに別の形に整理すると、 $b_i = dl_i \cos \alpha_i$  ゆえ

$$\frac{\partial F_s}{\partial H_i} = \frac{1}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} \left\{ r_w dl_i \tan \phi' \left( \frac{\Delta r}{r_w} \cos^2 \alpha_i - \Gamma \right) - b_i \Delta r \cdot F_s \sin \alpha_i \right\} \dots\dots\dots(15)$$

この式で  $\Delta r = r_{sat} - r_t$  は普通 1 以下の数であり、例えば玉ノ木地すべり地の場合、 $\Delta r$  の最大値、即ち  $r_t = r_d$  ( $r_d$  = 乾燥重量) としても、固相率を 0.35 として  $\Delta r = 0.65$  (grf/cm) である。自然斜面では、 $\Gamma$  は  $\Gamma < 1$  であるが、1 に近い数であるので、ほとんどの場合  $\Delta r < \Gamma$ 、

従って、 $\frac{\Delta r}{r_w} \cos^2 \alpha - \Gamma < 0$  とみてよいであろうから、 $\alpha_i < \phi'$ 、即ち斜面の下方部であっても、(15)式から、常に  $\partial F_s / \partial H_i < 0$  であろう。

以上の(14)、(15)式から言えることをまとめると、 $\alpha_i > \phi'$  の帯片のところ(斜面の上方部)では、水位上昇により常に安全率が低下する。 $\alpha_i > \phi'$  のところ(斜面の下方部)でも、ほとんどの場合、やはり水位上昇で安全率は低下する、ということになる。

ここで一つ注意したいのは、地下水位上昇によって地すべりが誘発されるのは、すべり面の間隙水圧の上昇→有効応力  $\sigma'$  の減少→有効応力に比例する強度要素 ( $\sigma' \tan \phi'$ ) の減少によると、普通説明されていることである。これは(12)、(14)式の右辺第 2 項に相当する。そしてこれ以外に、地下水位上昇による自重増の影響があったことは見落されていることである。これは(12)、(14)式の右辺第 1 項に相当している。(14)式をみると、

$$\tan \phi' - F_s \tan \alpha = 0 \text{ を満たす } \alpha \text{ を } \alpha_c \text{ とすると、} \alpha_c = \arctan \left\{ \frac{\tan \phi'}{F_s} \right\}$$

となり、すべり面の傾角  $\alpha_i$  が、 $\alpha > \alpha_c$  であるような斜面上部では、地下水位上昇による自重増は安全率を低下するように働き、 $\alpha < \alpha_c$  であるような斜面下部では、地下水位上昇による自重増は安全率を増すように働くことになり、すべり面の間隙水圧の変動のみを考慮したものに、この影響が加わると理解すべきである。

地下水位上昇による全帯片の安全率に及ぼす影響は、(14)、(15)式の各々の総和で表わされるから、 $b_i = \text{一定} = b$  とし、(14)式から

$$\begin{aligned} \Sigma \frac{\partial F_s}{\partial H_i} &= \frac{1}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} [b \Delta r \{ \tan \phi' \Sigma \cos \alpha_i - F_s \Sigma \sin \alpha_i \} - \Gamma' r_w \tan \phi' \Sigma dl_i] \\ &= \frac{1}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} [b \Delta r \cdot \Sigma \cos \alpha_i (\tan \phi' - F_s \frac{\Sigma \sin \alpha}{\Sigma \cos \alpha}) - \Gamma' r_w \tan \phi' \Sigma dl_i] \dots\dots\dots(16) \end{aligned}$$

また(15)式から、

$$\Sigma \frac{\partial F_s}{\partial H_i} = \frac{1}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} [r_w \tan \phi' \Sigma \left( \frac{\Delta r}{r_w} \cos^2 \alpha_i - \Gamma \right) \cdot dl_i - b \Delta r F_s \Sigma \sin \alpha_i] \dots\dots\dots(17)$$

(14)式で考察したように、極めて特殊な場合を除き、(17)式で  $\frac{\Delta r}{r_w} \cos^2 \alpha_i - \Gamma < 0$  であるから、常に  $\Sigma \partial F_s / \partial H_i < 0$ 、即ち、地下水位上昇による斜面への影響は、常に不安定化の方向に働くことになる。

(註) ⑥式の  $\Sigma \sin \alpha_i / \Sigma \cos \alpha_i$  が、 $b_i =$ 一定の条件のもとで、(7)式のような斜面の傾角  $\beta$  などとの簡単な関係を見つけることができればいいが、ここではまだ示すことができなかった。

## V あ と が き

融雪水などの地表供給水が、どのような力学的機構によって地すべりの誘因となるかを、簡便分割法の滑動モーメントに関する安全率の変化を評価することによって検討し、主に次に示すような結果を得た。

(1) 融雪水のような継続的大量の表面供給水によっても、地表まで飽和浸透水になるとは限らないことを実測例で示し、この場合には、地表浸透水によってもたらされる土湿増が、地すべり発生の誘因となり得ること、またこれによる安全率低下の条件式を斜面の傾角との関係によって示した。

(2) 地表供給水による地下水位上昇が地すべり発生の誘因となる機構について、普通にいわれている地下水位上昇によるすべり面の強度低下以外に、地下水位上昇に基づく地すべり土塊の自重増による安全率の低下もあることを示した。即ち地すべりへの地下水位上昇の影響としては、この両者の複合作用を考慮すべきであることを示した。

今後は、本論でも展開したような力学的取扱いの近似性、限界性を認識した上で、融雪水など地表浸透水による安全率の低下は誘因の違いによってそれぞれどの程度のものになるかを、実際の緩急斜面の具体例について数値計算によって比較検討し、このような単純な面からも融雪水などによる地すべり発生機構の解明を深めたいと考えている。

## 文 献

- 藤田至則編著 (1985) : 新潟県青海町地すべり災害に関する総合的研究。文部省科研費自然災害特別研究突発災害研究成果報告書。
- 遠藤治郎・松崎 健 (1985) : 青海町玉ノ木地区の新旧地すべり地と植生基盤との関係。藤田至則編著、同上報告書、32-44。
- 豪雨時における自然斜面の安定に関する研究委員会 (1978) : 豪雨時における自然斜面の安定に関するシンポジウム発表論文集。土質工学会。
- 八木則男・福本泰二他 (1984) : 雨水浸透時の斜面安定。第19回土質工学会発表講演集、1279-1280。
- 吉田昭治・山田秋夫 (1983) : 降雨浸潤による地下水涵養機構と水理学的連続毛管水について。昭和58年度農業土木学会大会講演要旨集、330-331。
- (1985a) : 融雪浸透水の地すべりに対する影響。藤田至則編著の同上報告書、55-57。
- (1985b) : 斜面安定解析における安全率の定義について。新潟大災害研年報、8、173-178。