定常浸透状態における水中重量法と一般分割法の計算式

A Method to Calculate Water Pressure on a Slice as a Buoyancy in Steady Seepage Flow Condition and A General Limit Equilibrium Method of Slices.

古 谷 保*
Tamotsu FURUYA

Abstract

Limit equilibrium method of slices is commonly used in the analysis of the slope stability problems such as landslide, slope failure. There is a method to calculate individually the water pressures on the bottom, both sides, upper of a slice in the submerged slope. On the other hand, there is a method to calculate these water pressures as a buoyancy. The latter is very simple and convenient. However, this method cannot be applied in the steady seepage flow condition. The author proposed a modified calculating method by the inclined direction of buoyancy vector from hydraulic gradient in a slice in the steady seepage flow condition.

In this paper, it is shown that the modified method gives the same result with the former method to calculate each water pressure individually. A general limit equilibrium method of slices is proposed by the modified calculating method of a buoyancy. It is shown that the proposed method is very simple and general, and it gives the same result with another general limit equilibrium method of slices such as Morgenstern-Price, Spencer methods by calculations on a model slip section.

キーワード: 斜面安定解析, 水中重量法, 定常浸透状態, 一般分割法

1. はじめに

一般に地すべりなどの斜面安定問題の解析には、極限平衡の考えによる斜面安定解析法が用いられている。この方法では間隙水圧や貯水圧、側面水圧などの水圧の取り扱い方に、これらの力をそれぞれ個別に計算する「全重量＋全間隙水圧法」¹⁾と合力である浮力として計算する水中重量法がある。このうち水中重量法は計算が単純で便利な方法であるが、定常浸透状態に対しては適当な修正方法は見あたらないと言われている²⁾。筆者は定常浸透状態における水中重量法として、動水勾配を考慮して浮力ベクトルの方向を修正する方法を提案し、この方法が「全重量＋全間隙水圧法」と実質的に同じ結果を与えることを示した³⁾。分割法の計算では分割帯片の側面に作用する水圧を考慮して計算する方がより正確な結果が得られるが^{4),5)}、水中重量法の場合は浮力を考慮することによって「全重量＋全間隙水圧法」における貯水圧、側面水圧、間隙水圧等の計算を行うことができる。ここでは定常浸透状態における水中重量法の計算方法と、この方法による一般分割法の式を示した。またモデル断面について安全率の計算を行い、この式が一般分割法として妥当なものであることを示している。

2. 分割帯片に作用する力

分割法の式の導入にあたって、まず各分割帯片に作用する力を「全重量＋全間隙水圧法」と水中重量法のそれぞれについて整理する必要がある。解析しようとするすべり面の各分割帯片に作用する力は、「全重量＋全間隙水圧法」では Fig. 1 のようになる。地すべりの計算では

Fig. 1 分割帯片に作用する力
('全重量＋全間隙水圧法')

* 農林水産省 農業工学研究所

地震力を組み込むことは少ないが、式の一般化のため組み込んだ式を示す。ここで各記号は以下のように定義される。

W = 分割帯片（幅 b 、高さ H ）の全重量。

W_a = 地下水面より上の分割帯片の重量。

W_b = 地下水面より下の分割帯片の重量。

W_w = 分割帯片内の水の重量。

P = 分割帯片の底辺（長さ l ）に作用する全垂直力。反力。この面に作用する有効垂直力を P' とし、全間隙水圧（ U ）を ul とすると、 $P = P' + ul$

S_m = 分割帯片の底辺で発揮される剪断抵抗力。

$$S_m = \{c' l + (P - ul) \tan \phi'\} / F$$

ここで、 c' は有効応力による粘着力、 ϕ' は有効応力による剪断抵抗角、 F は安全率である。

P_w = 分割帯片の上辺に作用する貯水圧。

P_{Si} , P_{Si+1} = 分割帯片の両側面に作用する側面水圧。

E'_i , E'_{i+1} = 分割帯片の両側面に作用する不静定内力の水平成分。不静定内力の全水平成分を E_i , E_{i+1} とすると、 $E_i = E'_i + P_{Si}$, $E_{i+1} = E'_{i+1} + P_{Si+1}$

X'_i , X'_{i+1} = 分割帯片の両側面に作用する不静定内力の鉛直成分。

$$X'_i = E'_i \cdot \tan \theta_i,$$

$$X'_{i+1} = E'_{i+1} \cdot \tan \theta_{i+1}$$

θ_i , θ_{i+1} = 不静定内力 Z_i , Z_{i+1} の水平に対する傾き。

Z_i , Z_{i+1} = それぞれ、 X'_i と E'_i , X'_{i+1} と E'_{i+1} の合力。

$Q = Z_i$ と Z_{i+1} の合力。水平に対する傾きを θ とする。

K = 設計震度。地震力は $H/2$ の点に水平に、または分割帯片の底辺の中央に作用すると仮定している。

水中状態で、「全重量+全間隙水圧法」の場合の貯水圧 P_w 、側面水圧 P_{Si} , P_{Si+1} 、間隙水圧 U は、水の単位体積重量を γ_w として、次式で表される。

$$P_w = \frac{b \cdot (h_{wi} + h_{wi+1}) \cdot \gamma_w}{2 \cdot \cos \beta}$$

$$U = ul = \frac{b \cdot (h_i + h_{wi} + h_{i+1} + h_{wi+1}) \cdot \gamma_w}{2 \cdot \cos \alpha}$$

$$P_{Si} = \frac{\gamma_w}{2} \cdot \{(h_{wi} + h_i)^2 - h_i^2\}$$

$$P_{Si+1} = \frac{\gamma_w}{2} \cdot \{(h_{wi+1} + h_{i+1})^2 - h_{i+1}^2\}$$

また分割帯片に作用する力の多角形はFig. 2 のようになる。

水中重量法の場合の浮力 P_u は、水中及び部分水中状態下の分割帯片では水没下の水の重量に等しく、Fig. 3 あるいはFig. 4 のようになり鉛直上向きに作用する。この状態での浮力の向きについては常識的に理解できることなので説明は省略する。定常浸透状態下の分割帯片では、

それぞれの力はFig. 5 のようになり、浮力 P_u はFig. 6 に示すようにベクトルの方向が変化する。この時の鉛直に対する傾きは動水勾配 ϵ （Fig. 5）に等しくなる。動水勾配 ϵ がプラスの場合は浮力ベクトルは鉛直に対して左側の向き（Fig. 6）に作用し、マイナスの場合（Fig. 7）は鉛直に対して右側の向き（Fig. 8）に作用する。このことはFig. 7 と 8 から説明できる。まずFig. 7 において、

$$x' = h'_{wi} - h'_{wi+1} - b \cdot \tan \alpha \text{ であるから}$$

$$\tan \epsilon = \frac{x'}{b} = \frac{h'_{wi} - h'_{wi+1}}{b} - \tan \alpha$$

一方、

$$U = \frac{h'_{wi} + h'_{wi+1}}{2} \cdot \frac{b}{\cos \alpha}, \quad P_{Si} = \frac{h'^2_{wi}}{b} \cdot \gamma_w,$$

$$P_{Si+1} = \frac{h'^2_{wi+1}}{b} \cdot \gamma_w$$

であるから、Fig. 8 において、

$$\tan \epsilon' = \frac{P_{Si} - P_{Si+1} - U \cdot \sin \alpha}{U \cdot \cos \alpha} = \frac{h'_{wi} - h'_{wi+1}}{b} - \tan \alpha$$

このようにFig. 7 の ϵ はFig. 8 の ϵ' と同じ値となり、浮力ベクトルの向きは動水勾配 ϵ と等しくなることが

Fig. 2 分割帯片に作用する力の多角形

Fig. 3 分割帯片に作用する水の力（水中状態）

Fig. 4 分割帯片に作用する水の力（部分水中状態）

Fig. 5 分割帯片に作用する力
(水中重量法, 定常浸透状態)

Fig. 6 分割帯片に作用する水の力
(定常浸透状態, 動水勾配 ϵ がプラスの場合)

わかる。したがって定常浸透状態下の分割帯片では水没下の水の重量に等しい浮力が鉛直上向きに作用し、また、これに $\tan \epsilon$ を乗じた力が水平方向に作用することになる。水中及び部分水中状態では動水勾配 ϵ はゼロとなるので、この考え方で式を組み立てれば水中重量法を水中及び部分水中状態だけでなく定常浸透状態まで統一的に表現できることになる。

また地下水面が動水勾配を持つ場合の各水圧は静水圧とは異なるので、厳密にはポテンシャルラインから求めるべきであるが、分割法の計算では水位をそのまま水圧とすることが多い。動水勾配が急激に変化する場合の簡単な修正法としては水位に $\cos^2 \epsilon$ (ϵ は分割帯片内の動水勾配) を乗じる方法¹⁰⁾もある (Fig. 9)。この場合は側面水圧と間隙水圧の値は変わってくるが、Fig. 6, 8 の関係は基本的に変わらず、動水勾配によって浮力ベクトルの向きを修正すれば水中重量法を同様に適用できる。

3. 簡便法の安定計算式

「全重量+全間隙水圧法」の場合の簡便法の式は、Fig. 2 において、分割帯片の底辺に水平及び垂直方向の力の平衡式から P を消去して求められる。円弧スベリに対す

Fig. 7 分割帯片に作用する水の力
(定常浸透状態, 動水勾配 ϵ がマイナスの場合)

Fig. 8 分割帯片に作用する水の力
(定常浸透状態, 動水勾配 ϵ がマイナスの場合)

る標準スライス法では不静定内力の合力が分割帯片の底辺に平衡と仮定しているが、地すべりの場合に普通使われる簡便法では、不静定内力 X'_i , E'_i , X'_{i+1} , E'_{i+1} はゼロとする。

$$F = \frac{\sum C'/l + \sum (W \cos \alpha + P_w \cos(\beta - \alpha) - ul - (KW + P_{Si} - P_{Si+1}) \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \phi'}{\sum (W \sin \alpha + (KW + P_{Si+1} - P_{Si}) \cdot \cos \alpha - P_w \sin(\beta - \alpha))} \quad (1)$$

すべり土塊全体のモーメントの平衡から求める場合は (Fig. 10), Fig. 2 より

$$P' = W \cos \alpha + P_w \cos(\beta - \alpha) - ul - (KW + P_{Si}$$

Fig. 10 O点を中心とするモーメントの多角形(水中重量法)

Fig. 11 分割帯片に作用する力

$$-P_{s_{i+1}} \cdot \sin \alpha \text{ として,}$$

$$F = \frac{\Sigma(C' + P' \tan \phi') \cdot a}{\Sigma W \cdot x - \Sigma P' \cdot f + \Sigma KW \cdot (y + \frac{H}{2}) + \Sigma P_u \cdot \cos \beta \cdot x - \Sigma P_w \cdot \sin \beta \cdot y} \dots (2)$$

水中重量法の場合は、Fig. 11 より (1) 式の場合と同様にして、

$$F = \frac{\Sigma(C' + \Sigma((W_a + W_b) \cdot \cos \alpha - (KW + Pu \cdot \sin \epsilon) \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \phi')}{\Sigma((W_a + W_b) \cdot \sin \alpha + (KW + Pu \cdot \sin \epsilon) \cdot \cos \alpha)} \dots (3)$$

すべり土塊全体のモーメントから求める場合は (Fig. 10), Fig. 5 及び 9 より、

$$P' = (W_a + W_b) \cdot \cos \alpha - (KW \cdot \sin \alpha + Pu \cdot \sin \epsilon) \cdot \sin \alpha \text{ として,}$$

$$F = \frac{\Sigma(C' + P' \tan \phi') \cdot a}{\Sigma(W_a + W_b) \cdot x - \Sigma P' \cdot f + \Sigma KW \cdot (y + \frac{H}{2}) + Pu \cdot \sin \epsilon \cdot (y + H - \frac{H_w}{2})} \dots (4)$$

4. 簡便法による比較計算

Fig. 12 に示すようなすべり面について、簡便法 (1) ~ (4) 式によって計算した結果を Table 1 に示した (安全率は実用上は下 2 ケタの計算で十分であるが、比較のため

Fig. 12 計算例と各層の土質定数

Table 1 安全率の計算結果

	設計震度	地震力の作用点	簡便法 (1)	簡便法 (2)	簡便法 (3)	簡便法 (4)
A	0.15	すべり面の中央	1.502	1.518	1.502	1.523
B	0.15	H/2	1.502	1.596	1.502	1.602

め 3 ケタとした)。間隙水圧及び側面水圧はここでは水位をそのまま静水圧として計算している。計算結果から分かるように、(3) 式による水中重量法は (1) 式による「全重量 + 全間隙水圧法」と全く一致しており、筆者の示した計算方法が基本的に正しいことがわかる。これに対し (2), (4) 式の結果はそれぞれ幾分異なっているが、これは分割法では慣行的に (式の単純化のため) 分割帯片の重量や貯水圧、間隙水圧及び浮力等の作用点の位置が分割帯片の中央としていて、力学的に厳密でなくモーメントの計算において誤差が出ているためである (この誤差を小さくするために分割帯片の幅はある程度まで小さくする必要がある)。しかし、Table 1 の A に見るように、分割帯片に作用する水の力を正確に求めれば各計算法の差はかなり小さくなることが分かる。水中重量法は動水勾配を考慮して浮力ベクトルの方向を修正すれば定常浸透状態にも適用でき、「全重量 + 全間隙水圧法」と比較して計算が簡単で同精度になるので大変便利な方法である。

5. 水中重量法による一般分割法の計算式

一般分割法としては Morgenstern-Price 法⁶⁾ や Spencer 法 (1973 年)⁷⁾ が有名であり、特に前者は事例研究などでは世界的に使用されている。しかしながら、これらの方法はモーメント式の性質が複雑なため、事例によっては解が単純に収束しないこともあり、プログラミングにあたっては労苦の多い方法である⁸⁾。これに対し 1967 年の Spencer 法⁹⁾ は円弧すべり法であり、また不静定内力の仮定を単純化しているが、モーメント式も比較的単純で収束しやすく解を得易い方法となっている。筆者の示した方法はこの 1967 年の Spencer 法⁹⁾ と同程度に単純で、Morgenstern-Price 法⁶⁾ や Spencer 法 (1973 年)⁷⁾ のような一般性を持っている。この方法は不静定内力の水

平成分 E'_i , E'_{i+1} を使って、力学的な平衡条件を満足するように解く方法であり、不静定内力の水平に対する傾き(θ , θ_i , θ_{i+1})をパラメータとして、六つの力学的な平衡条件を満足するように式を組み立てている⁸⁾。また、滑り土塊全体の力の平衡式とモーメントの平衡式から解を求めている。水中重量法によるこの式の導入は次のようになる。

まず、Fig. 11 において、分割帯片の底辺に垂直方向の力の平衡から、

$$\begin{aligned}
 & (W_a + W_b + W_w - X'_i + X'_{i+1} - P_u \cdot \cos \epsilon) \cos \alpha \\
 & = P' + (KW + P_u \cdot \sin \epsilon + E'_{i+1} - E'_i) \sin \alpha \cdots \cdots (5)
 \end{aligned}$$

分割帯片の底辺に平行方向の力の平衡から、

$$\begin{aligned}
 \frac{S}{F} &= (W_a + W_b + W_w - X'_i + X'_{i+1} - P_u \cdot \cos \epsilon) \sin \alpha \\
 &+ (KW + P_u \cdot \sin \epsilon + E'_{i+1} - E'_i) \cos \alpha \cdots \cdots (6)
 \end{aligned}$$

ここで、 $X'_i = E'_i \cdot \tan \theta_i$, $X'_{i+1} = E'_{i+1} \cdot \tan \theta_{i+1}$ として (5) 式を整理すると (W_w は $P_u \cdot \cos \epsilon$ と等しい)、

$$\begin{aligned}
 P' &= (W_a + W_b - E'_i \cdot \tan \theta_i + E'_{i+1} \cdot \tan \theta_{i+1}) \cos \alpha \\
 &- (KW + P_u \cdot \sin \epsilon + E'_{i+1} - E'_i) \sin \alpha \cdots \cdots (7)
 \end{aligned}$$

(7) 式を (6) 式に代入して、 E'_i , E'_{i+1} について整理すると

$$E'_{i+1} = \frac{[A]}{[D]} E'_i + \frac{[B] - [C]}{[D]} \cdots \cdots (8)$$

$$\begin{aligned}
 [A] &= \tan \theta_i \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \\
 &- \frac{\tan \phi'}{F} (\tan \theta_i \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [B] &= \frac{c'l}{F} + \frac{\tan \phi'}{F} (W_a + W_b) \cos \alpha \\
 &- (W_a + W_b) \sin \alpha
 \end{aligned}$$

$$[C] = (KW + P_u \cdot \sin \epsilon) \cdot (\sin \alpha \cdot \frac{\tan \phi'}{F} + \cos \alpha)$$

$$\begin{aligned}
 [D] &= \tan \theta_{i+1} \cdot \sin \alpha + \cos \alpha \\
 &- \frac{\tan \phi'}{F} (\tan \theta_{i+1} \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)
 \end{aligned}$$

すべり土塊全体の力の平衡が成立するとき、不静定内力もまたすべり土塊全体で平衡する。すなわち、すべり土塊において、最初の不静定内力の水平成分を E_o 、最後の不静定内力の水平成分を E_n とすると、次式が成立すればすべり土塊全体の力の平衡が成立する。

$$E_n = 0 \cdots \cdots (9)$$

次にO点を中心とする不静定内力のモーメントは (Fig. 5, 10)

$$\begin{aligned}
 M &= (x + \frac{b}{2}) \cdot X'_{i+1} + (y + H - I_{i+1} - \frac{b}{2} \cdot \tan \alpha) \cdot E'_{i+1} \\
 &- (x - \frac{b}{2}) \cdot X'_i - (y + H - I_i + \frac{b}{2} \cdot \tan \alpha) \cdot E'_i \cdots \cdots (10)
 \end{aligned}$$

ここで分割帯片の底辺の中央を中心とした各分割帯片

のモーメントの平衡から (Fig. 5),

$$\begin{aligned}
 & -\frac{H}{2} KW + \frac{b}{2} X'_{i+1} - (I_{i+1} + \frac{b}{2} \cdot \tan \alpha) \cdot E'_{i+1} - \frac{H_w}{2} \cdot P_u \cdot \sin \epsilon \\
 & + (I_i - \frac{b}{2} \cdot \tan \alpha) \cdot E'_i + \frac{b}{2} X'_i = 0 \cdots \cdots (11)
 \end{aligned}$$

ここで、 $X'_i = E'_i \cdot \tan \theta_i$, $X'_{i+1} = E'_{i+1} \cdot \tan \theta_{i+1}$ として (11) 式を整理すると、

$$\begin{aligned}
 & (I_{i+1} + \frac{b}{2} \cdot \tan \alpha - \frac{b}{2} \cdot \tan \theta_{i+1}) \cdot E'_{i+1} \\
 & = (I_i - \frac{b}{2} \cdot \tan \alpha + \frac{b}{2} \cdot \tan \theta_i) \cdot E'_i - \frac{H}{2} KW - \frac{H_w}{2} \cdot P_u \cdot \sin \epsilon \cdots \cdots (12)
 \end{aligned}$$

(12) 式を用いてモーメント式、(10) 式のMを整理 (I_{i+1} , I_i を消去) すると、

$$\begin{aligned}
 M &= (x \cdot \tan \theta_{i+1} + y + H) \cdot E'_{i+1} - (x \cdot \tan \theta_i + y + H) \cdot E'_i \\
 &+ \frac{H}{2} KW + \frac{H_w}{2} \cdot P_u \cdot \sin \epsilon \cdots \cdots (13)
 \end{aligned}$$

すべり土塊全体でO点に関する外力のモーメントが平衡するなら、O点に関する不静定内力のすべり土塊全体のモーメントもゼロとなる。したがって次式が成立するときすべり土塊全体のモーメント平衡が成立する。

$$\Sigma[M] = 0 \cdots \cdots (14)$$

(9) 及び (14) 式を同時に満足する時、必要な力学的条件を満足していることになる。この時のFの値が求める解であり、一次逆補間法やニュートン・ラプソン法によって求められる⁸⁾。

6. モデル断面についての計算

水中重量法による一般分割法の計算式によって、Lambe-Whitmanの教科書 (Soil Mechanics) にあるすべり面 (Fig. 13, 複写して作成)¹¹⁾ について計算を行った。 θ_i , θ_{i+1} については一定とした。このすべり面は地下水面の動水勾配が急変している例であり、分割帯片内の地下水位から間隙水圧を正確に計算することが難しい。そこで2.で述べたように分割帯片内の地下水位に $\cos^2 \epsilon$

Fig. 13 モデル断面

Table 2 計算結果の比較

計算法	(5) ¹²⁾	(6)	(7)	(8)
簡便法	1.123	1.125	1.127	1.126
簡易Bishop法	1.259	1.257	1.258	—
Nonveiller法	—	—	—	1.250
Spencer法	1.264	1.265	1.261	—
Morgenstern-Price法	1.264	1.265	1.261	—
提案法	—	—	—	1.261

を乗じて間隙水圧を補正した(Fig. 9, ΔU だけ誤差となる)¹⁰⁾。

分割法の計算では、分割帯片の分割数によっても結果が少し異なってくる。分割数を増やすことによってすべり面の形状も正確に近似される。またモーメントの計算についても誤差が減少する。このため分割数はある程度まで増やした方が正確な結果が得られる。入力作業と計算量はそれだけ増加することになるが、ある程度まで分割数を増やせば結果は安定してくる。筆者のプログラムでは、モーメント計算の精度を上げるためプログラムの中で自動的に再分割するように工夫している。Table 2は川本¹²⁾及び筆者による計算結果であり、計算の確認のため同じ読みとりデータを用いている。(5), (6), (7)は「全重量+全間隙水圧法」による計算であり、(5), (6)がすべり面を26分割してデータ入力したもの、(7)が28に増やして入力した場合である。(8)が水中重量法による計算であり、分割数は26である。(今回作成した水中重量法のプログラムは任意形状のすべり面に適用することを前提としており、Nonveiller法¹³⁾を一般分割法とセットにして作成している。このため簡易Bishop法の代わりにNonveiller法を円弧に適用して計算した。)

教科書では、摩擦円法による計算で安全率1.27, 簡易Bishop法で1.29, 簡便法で1.17となっている。水中重量法の計算では、一般分割法で1.261, Nonveiller法で1.250, 簡便法で1.126となり、幾分低めの結果となった。これはデータを作成する段階での読みとり起因する差が幾分含まれるが、動水勾配が急激に変化する場合には補正を行っても間隙水圧を少し大きめに評価することになったためと思われる。この断面について筆者等の作成したデータでは、Spencer法, Morgenstern-Price法及び提案法等の一般分割法の計算は分割帯片の分割数を増やしてもほぼ1.261となる。

水中重量法では水の力を浮力として計算するため、間隙水圧や側面水圧, 貯水圧等として計算する「全重量+全間隙水圧法」と比較してモーメントの計算が幾分単純になり、わずかではあるがより少ない分割数で計算が安定する。また全体の計算式も単純になる。水中重量法は浮力ベクトルの方向を修正すれば定常浸透状態にも適用でき、一般分割法の計算においてもより単純に「全重量+全間隙水圧法」による計算式と同じ結果を得ることができる。

7. おわりに

地すべりの安定解析を行う場合、すべり面は地下水の存在から定常浸透状態と仮定する場合が多い。またすべり面の一部は水中状態、あるいは部分水中状態にある場合もある。そうした場合は「全重量+全間隙水圧法」を用いれば精度良く計算を行うことができる。しかし水中重量法は動水勾配を考慮してそれぞれの分割帯片における浮力ベクトルの方向を修正すれば、水中状態や部分水中状態ばかりでなく定常浸透状態にも適用でき、計算が単純であると共に「全重量+全間隙水圧法」と同精度の結果を得ることができる。この方法による一般分割法の提案式は、Morgenstern-Price法やSpencer法と同じ解を得ることができるが、式が単純になるばかりでなく分割帯片におけるモーメントの計算も簡単になるため、より少ない分割数で計算が安定する。また解を得るための一次逆補完法の計算も単純であり、水の力の扱い方が水中状態や部分水中状態、定常浸透状態などの混在する場合にも対応できるように一般化されているので便利な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 山上拓男・植田康宏: 水中にある斜面の安定解析に関する考察, 土と基礎, Vol. 30, No. 12, pp. 19-26, 1982
- 2) 土質工学会: 土質工学ハンドブック, 7.6 安定解析の精度と問題点, pp. 257, 1982
- 3) 古谷 保: 定常浸透状態における水中重量法, 昭和60年度農業土木学会大会講演要旨, pp. 422-423, 1985
- 4) 鶴飼恵三, 細堀建司: 分割法における帯片側面の水圧の処理, 土と基礎, Vol. 33, No. 4, pp. 39-42, 1985
- 5) 古谷 保: 極限平衡法を利用した斜面安定解析——Spencer-Q法と他方法との比較——, 農業土木学会論文報告集 No. 120, pp. 55-60, 1986
- 6) Morgenstern, N. R. and Price, V. E.: The Analysis of the stability of general slip surfaces. Geotechnique, 15, pp. 79-93, 1965.
- 7) Spencer, E.: Thrust line criterion in embankment stability analysis. Geotechnique, 23, pp. 311-316, 1973.
- 8) 古谷 保: 極限平衡法を利用した斜面安定解析(II)——四つの一般分割法の比較——, 農業土木学会論文報告集 No. 125, pp. 9-17, 1986
- 9) Spencer, E.: A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. Geotechnique, 17, pp. 11-26, 1967.
- 10) 古谷 保: 奈良尾地すべり地区の第三紀層泥岩及び粘土のせん断強度と安定解析による強度定数の検討, 農業土木試験場技報 c 22, pp. 41-52, 1981
- 11) Lambe, Whitman: Soil Engineering, John Willy and Son, pp.352-366, 1969
- 12) 川本 治: スライス間力を考慮した極限平衡法の検討と地すべり安定解析への適用, 農業土木試験場技報 c 22, pp. 53-67, 1981
- 13) Nonveiller, E.: The stability analysis of slopes with a slip surface of general shape. Proc. of 6th. ICSMFE. Vol. II pp. 522-525, 1965

(原稿受理日 平成7年3月13日)

地すべりの地形、地質および変質特性—北海道紋別郡生田原町東部地域の例—

「地すべり」Vol. 33, No. 1 (通巻第 125 号) pp. 1~8, 1996 年 (平成 8 年) 6 月

前田寛之

北海道紋別郡生田原町東部地域の 29 の古期地すべり地形のうち、22 が上部中新統生田原層および矢矧層分布域にあることが確認された。これらの分布は、褶曲構造、同斜構造、キャップロック構造などとともに、熱水変質帯分布に強く規制されていた。熱水変質帯で起こる地すべりを“熱水変質帯地すべり”と呼ぶことにすると、これが膨張性粘土鉱物で特徴づけられるセリサイト/スメクタイト混合層鉱物帯およびスメクタイト帯と、カオリン鉱物帯とに分布していたことは地すべりの熱水変質特性として注目に価する。

定常浸透状態における水中重量法と一般分割法の計算式

「地すべり」Vol. 33, No. 1 (通巻第 125 号) pp. 9~14, 1996 年 (平成 8 年) 6 月

古谷 保

斜面安定解析における定常浸透状態の水中重量法として、動水勾配を考慮して浮力ベクトルの方向を修正する方法を提案し、この方法が間隙水圧や貯水圧、側面水圧などの水圧を個別に計算する方法と実質的に同じ結果を与えることを示した。またこの方法における一般分割法の式を提案している。そしてモデル断面について安全率の計算を行い、この式が一般分割法として、Morgenstern-Price 法や Spencer 法と同じ結果を与えることを示した。

ファジィネスを考慮した質点系モデルによる崩土の流下範囲の予測

「地すべり」Vol. 33, No. 1 (通巻第 125 号) pp. 15~19, 1996 年 (平成 8 年) 6 月

吉松弘行

崩土の流下範囲予測のため、解析モデルの現実斜面の崩土挙動との不一致性及び斜面特性因子の計測誤差をファジィネスとして流下範囲の可能性について、質点系モデルによる解析を実施し、流下時の流動抵抗力が重要であることを示した。

東北地方の新第三紀・泥岩層における褶曲及び断層構造の成因と地すべりとの関連性

「地すべり」Vol. 33, No. 1 (通巻第 125 号) pp. 20~28, 1996 年 (平成 8 年) 6 月

阿部真郎

我々は東北地方・グリーンタフ地域の地すべり多発地点において地すべりに関連して形成された褶曲、断層構造をいくつか確認した。これらは、泥岩堆積当時の海底地すべり、第四紀以降の初生の岩盤すべり及び現在に至る地盤隆起などによって形成されたものである。

A Study on the Fractal Dimensions and Geological Condition of Landslides

「地すべり」Vol. 33, No. 1 (通巻第 125 号) pp. 29~34, 1996 年 (平成 8 年) 6 月

久保田哲也

本研究では、地すべり被災危険度の高さがその発生形態の複雑さに比例すると考え、地すべり面積率や箇所数では表現できず、これまで定性的にのみ表現されて来たこの発生形態の複雑さを定量的に表現する幾何学の新しい概念であるフラクタル次元 D (Fractal Dimension) と地質の関係を研究した結果、実際の地すべりでは D に関して地質ごとに判別可能な程度の有意な差をもち、初生地すべり危険度調査指標として地質情報から D すなわち発生形態を含めた地すべりの概略の危険度を定量的に判断し得ることが明らかとなった。

地すべり地におけるすべり面形状の推定に関する検討

「地すべり」Vol. 33, No. 1 (通巻第 125 号) pp. 35~43, 1996 年 (平成 8 年) 6 月

丸山清輝

本研究では、現在移動を停止している地すべりのすべり面調査にも適用できるすべり面形状推定法を提案することを目的として、曖昧さが伴っているボーリングコア観察結果に、地すべりブロックの形態とすべり面深度との統計的關係及び臨界すべり面解析結果を加え、地質学的及び工学的に妥当なすべり面形状の推定法について検討した。

弱面探査による新規地すべりの予知

「地すべり」Vol. 33, No. 1 (通巻第 125 号) pp. 44~52, 1996 年 (平成 8 年) 6 月

玉田文吾, 福田順二

地層中のある部分に、地質構造に起因する不連続な弱面帯が分布することがあり、これを潜在 (すべり) 域と言う。この領域に連続したせん断面が形成されると地すべりが発生する確率が高く、同時に大規模な地すべり程、前兆が現れるケースが多い。地すべり予知の第一歩は地層中に潜在域が分布するか否かを把握することである。

本文は、試験過程における弱面 (地すべり面) 探査装置の原理と構造、および探査例などについて説明、予知に有効な探査地点の選定方法を地形、地質構造の観点から述べたものである。

飽和—不飽和浸透流解析による集水井工の評価

「地すべり」Vol. 33, No. 1 (通巻第 125 号) pp. 53~59, 1996 年 (平成 8 年) 6 月

亀井健史, 榎本雅夫

地すべり対策工のなかで抑制工に分類される集水井工に関しては、その設置位置等を含め定量的な評価はなされていない。本研究では集水井が斜面内の間隙水圧挙動に及ぼす影響を把握するため、砂および粘性土から成るモデル斜面を対象に飽和—不飽和浸透流解析を行った。その結果、集水井の設置位置が斜面内の間隙水圧挙動および浸透流に与える影響を定量的な観点から明らかにしている。