地すべり地におけるすべり面形状の推定に関する検討

Method of Estimating the Longitudinal Shape of a Slip Surface in a Landslide Slope

丸 山 清 輝 *

Kiyoteru MARUYAMA

Abstract

The following facts were learned based on the results of research on a method of estimating the depth and longitudinal shape of a slip surface formed in a landslide slope.

(1) The special features of a slip surface that must be kept in mind when determining the position of the slip surface by observing cores made by boring a landslide slope were indentified and summarized.

(2) The depth of a slip surface was found from the longitudinal length of the landslide slope and the depth of the bed rock using formulae (1) and (2).

(3) The longitudinal shape of a slip surface was successfully estimated using the critical slip surface analysis method in a case where the slope strata can be categorized as a weathered stratum and bed rock.

(4) Based on the findings described in the three previous paragraphs, a summary in flow chart from of a slip surface shape estimation method that conforms to both engineering and geological principles was obtained, and it was determined that this estimation method can be applied to landslide slopes.

キーワード: 地すべり, すべり面

1. まえがき

地すべり斜面の安定を保持するために必要な地すべり防止工事の規模は、地すべり斜面の安定解析を実施し決定される。したがって、斜面安定解析の実施に際しては、主測線の設定、地表面及びすべり面の形状、すべり面の土質強度定数と間隙水圧の分布、移動層の単位体積重量等の各データを精度良く調査し求める必要がある。中でも、すべり面形状は斜面安定解析結果に最も大きく影響することから、地すべり調査の主目的であるとも言える項目であり、正確に把握し描く必要がある。

一般に、すべり面調査は、地形判読と現地踏査から地すべりの規模をある程度予測した上で調査ボーリングを実施し、詳細なボーリングコア観察を行い、更にストレインゲージパイプ、孔内傾斜計等の計測器をボーリング孔内に設置し観測を行う方法で実施されている。すべり面の形状は、この調査結果をもとに描かれる。しかし、現在活動を停止している地すべりの場合は、計測器によるすべり面調査結果が得られないことから、ボーリングコア観測の結果のみからすべり面の位置を判定しなければならない。ボーリングコア観察によるすべり面位置の判定は、専門的知識を持つ技術者の主観により実施されており、判定根拠に曖昧さを伴うため、技術者毎に見解

が異なる場合もある。このことから、ボーリングコア観察におけるすべり面位置の判定根拠を明確にしようとするファジィ理論によるすべり面の判定手法¹⁾や、ボーリング孔内における物理検層等によりすべり面の位置を推定しようとする方法²⁾などが提案されている。しかし、ボーリングコア観察によるすべり面調査結果や計測器によるすべり面調査結果をもとに、地質学的及び工学的に妥当なすべり面形状を推定する方法についての研究は少ない。

本研究は、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関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ものである。

2. 地すべり地におけるすべり面

2.1 すべり面の特徴

地すべりは、降雨、融雪水及び土工等の誘因により、斜面を構成している地塊がすべり面を境界として斜面下方に移動する現象である。したがって、すべり面では、以下に示す特徴が認められる^{1),3)}。

① すべりにより粘土化が進むため粗粒子の混入の少

* 建設省土木研究所

ない粘土層が存在する。

- ② 地層がすべりにより分断されたことによる岩種や風化の連続性の違い（堆積岩/火山岩，強風化/無風化等）が認められる。
- ③ 面の形態が地形に調和的であり，すべりにより形成された擦痕が認められる。
- ④ 地すべりの舌端部では，地すべり地塊が地表面に覆い被さったことによる酸化層や草木等の有機物が存在する。

しかし，①～③の特徴が認められた場合でもすべり面ではない場合がある。それは，断層及び熱水変質帯の存在である。ちなみに，地すべりにより形成された粘土層とその上下には，以下に示す特徴がある。

- ① 粘土層は，地すべりの移動量が大きいためから岩塊の粘土化が進み均質となっている。
- ② 粘土層の上部に地塊の移動に伴う不規則な割れ目が生じている。
- ③ 粘土の色は，褐色系や灰色の色調を呈するものが多い。
- ④ 粘土は，地すべり移動により攪乱されているため未固結かつ軟質である。

また，断層や破砕帯により形成された粘土層は，以下に示す特徴がある。

- ① 粘土層は，地すべりに比べて移動量が少ないため岩塊の粘土化が進んでいないことから亜角礫～亜円礫片をしばしば含む。
- ② 粘土層の上・下には，断層や破砕帯の変動に伴い派生したせん断割れ目が対称に生じている。
- ③ 粘土の色は，浅層部を除いてしばしば原岩色を呈する。
- ④ 最近動きが生じていなければ半固化していることが多い。

この他，地すべりによって地塊が変質することはないが，熱水変質帯では以下に示す特徴が認められる。

- ① 熱水変質帯周辺の岩塊には，珪化・脱色等の変質が生じている。
- ② 割れ目や空隙に変質鉱物（黄鉄鉱，方解石，石膏，沸石など）が存在する。

したがって，ボーリングコア観察（以後コア観察とする）によるすべり面の判定では，これらのすべり面の特徴を念頭に置いて行うことになる。

2.2 地すべり地におけるすべり面の位置

新潟県内で発生した地すべり地のすべり面調査結果を収集し，地すべり地におけるすべり面の形成位置について検討した⁴⁾。なお，すべり面は，すべてストレインゲージパイプ及び挿入型孔内傾斜計等の計測器により検知されている。また，すべり面調査結果は，地すべりブロッ

クの頭部と末端部が明瞭なものを選び用いた。

図-1，2，3には，地すべりブロックの諸元を示した。図-1には，基盤岩の岩質について示した。新潟県下で最も多く発生している地すべりは，第三紀層の地すべりであり，全地すべり面積の約60%を占めている⁵⁾。このこともあって，今回収集したデータでは，結果的に新第三紀の泥岩を基盤岩とする地すべりが圧倒的に多くなっている。図-2には，地すべりブロックの主測線の長さについて示した。100～200 mにピークを持ち，300 m未満の長さが多くなっている。図-3には，地すべりブロックの斜面勾配（図-4 参照）について示した。10～15°にピークを持ち，25°未満の斜面勾配が多くなっている。

図-5は，地すべり地塊の地質構成とすべり面の位置との関係を示したものである。すべり面では地層がすべ

図-1 基盤岩の岩質

図-2 地すべりブロックの長さ

図-3 地すべりブロックの勾配

りにより分断されたことによる岩種や風化の連続性の違い（堆積岩/火山岩，強風化/無風化等）が認めれる。このことから，地すべり地塊の地質は，ボーリング孔の地質柱状図をもとに，礫混じり粘土（茶褐色），礫混じり粘土（青灰色），強風化岩（風化岩，破碎岩を含む），弱風化岩，基盤岩に分類し整理した。また，計測器によるすべり面調査は，大部分がストレインゲージパイプにより実施され，歪ゲージは全て1m間隔に塩ビパイプに添付されたものであった。このため，すべり面深度の調査精度は，大部分が1m単位ということになることから，計測器による調査結果にコア観察結果を加えてすべり面の位置を求めた。すべり面は，礫混じり粘土（茶褐色）～基

盤岩に分類した各地層中及び，各地層の境界面（風化の不連続面）のすべてに存在していることが分かる。

表-1は，図-5に示した頻度にボーリング深度が基盤岩に達していない孔のデータも加え地質条件とすべり面の位置について，その頻度を示したものである。すべり面の位置は多い方から示すと，強風化岩の中に形成されているものが最も多く全体の53%を占め，ついで礫混じり粘土の中の18%，礫混じり粘土と強風化岩との境界の13%の順となっている。また，すべり面が存在する位置を地層の中と地層の境界に大別した場合は，地層の中が75%，地層の境界が25%となり，圧倒的に地層の中が多くなっている。

図-4 地すべりブロックの斜面勾配と長さ

表-1 地質条件とすべり面の位置

すべり面の位置	件数(94件)
強風化岩の中	50 (53%)
礫混じり粘土の中	17 (18%)
礫混じり粘土と強風化岩との境界	12 (13%)
強風化岩と基盤岩との境界	6 (7%)
弱風化岩と基盤岩との境界	3 (3%)
強風化岩と弱風化岩との境界	2 (2%)
弱風化岩の中	2 (2%)
基盤岩の中	2 (2%)

→ すべり面（数字は頻度）

図-5 地すべり地塊の地質構成とすべり面の位置

コア観察によるすべり面の判定では、①ボーリング位置が舌端部の場合酸化層や草木等の有機物があるか、②粘土層があるか、③岩種や風化が不連続であるか、が重要な判定基準となる。今回収集した調査結果では、③に該当するものが25%あったが、①の判定基準に該当するものはなかった。また、②は地層中にすべり面が存在する場合に多く、一番重要な判定根拠となっている。しかし、粘土層は数カ所の深度で認められる場合があり、どの深度の粘土層がすべり面であるかをさらに判定する必要がある。

図-6には、地すべりブロックを頭部、中間部、末端部に分け、各部の地すべり地塊の地質構成について示した。ブロック頭部ではI, II, VIのタイプが同数で多く、ブロック中間部では多い方からII, I, VIのタイプの順になっている。また、ブロック末端部では多い方からI, VIのタイプの順になっている。一般に地すべりブロック内には、大別すると引張区域と圧縮区域が存在し、各区域毎に移動層の風化度は異なっていると考えられる。しかし、図-6からはブロック内の位置による地すべり地塊の地質構成の明瞭な違いは認められない。これは、頭部及び末端部のボーリング孔の位置が、各区域の中間部であることによるためと考えられる。特に、頭部区域の上部に位置する場合は、図-5に示した8タイプの他に、引張部であるために基盤岩近くまで茶褐色を呈する地質構成となる場合が多くなると考えられる。これらのことから、地すべりブロック内における位置別の地質条件とすべり面の位置との明確な関係は認められなかった。

以上のことから、コア観察によるすべり面判定のみでは、すべり面を見つけることは非常に難しいと考えられる。したがって、基本的なことではあるが、移動が認められる地すべりでは、ボーリング調査の他に計測器によるすべり面調査を実施し、明確にすべり面の位置が分かるデータを得ることが重要である。また、現在活動を停止している地すべりでは、コア観察結果に他の工学的判定根拠を加えてすべり面判定を行う必要がある。

図-6 ブロック各部の地質構成

3. すべり面深度の推定

3.1 地すべりブロックの形態とすべり面深度との関係

今回の収集した事例の中から、地すべりブロックの中間部においてボーリング調査の他に計測器によるすべり面調査が実施され、明確にすべり面深度が判明しているものを選び、地すべりブロックの形態とすべり面深度との関係について検討した⁴⁾。

図-7には、すべり面深度/地すべりブロック長さ とボーリング位置との関係を示した。なお、ボーリング位置は、地すべりブロック頭部からボーリング位置までの長さを地すべりブロック長さで割った値である。これは、今回収集した事例では、地すべりブロックの中間部におけるボーリング位置が同一でないため、すべり面深度のボーリング位置に対する影響を調べたものである。図-7から両者間の規則性は認められず、すべり面深度はボーリング位置の影響を受けていないことが分かる。これは、すべり面形状が極端な円弧になっていないためと考えられる。したがって、ここでは、すべり面深度は、その位置による補正をせず、そのままの値を用いることにする。なお、解析では、地すべりブロック中間部から若干離れた位置のデータについても、図-7の結果をもとに用いた。

図-8には地すべりブロックの勾配とすべり面深度との関係を示した。これは、地すべりブロックの勾配がすべり面の土質強度定数(ϕ)と相関関係を有する⁶⁾ことから、すべり面深度についても勾配が関連するのではない

図-7 ボーリング位置に対するすべり面深度の影響

図-8 斜面勾配とすべり面深度との関係

かと考え検討したものである。図-8から、両者間の相関関係は認められず、地すべりブロックの勾配からすべり面深度を求めることはできない。また、すべり面深度は、工学的にはすべり面の土質強度定数(ϕ)の影響を受けるとしても、その影響は小さいことが分かる。

図-9は、地すべりブロックの長さとしべり面深度との関係を示したものである。すべり面深度は、地すべりブロックの長さに比例して大きくなる傾向があり、両者の間には相関関係が認められる。また、この関係は、最小乗法により(1)式により示される。

$$d = 0.707 + 0.082L \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 d : 地すべりブロック中間部すべり面深度 (m)

L : 地すべりブロック長さ (m)

である。

なお、分散分析の結果では回帰の有意性が認められている。したがって、概略的ではあるが、すべり面深度は、地すべりブロックの長さから求められることが分かった。

図-10には、基盤岩深度としべり面深度との関係を示した。これは、ほとんどの場合すべり面が基盤岩より浅いところに位置していることから、すべり面深度は基盤岩の深さに規制されると考え検討したものである。両者の間には、明瞭な相関関係は認められないが、基盤岩深度が大きくなるとすべり面深度も大きくなる傾向がある。そこで、すべり面深度を(1)式より更に精度良く求めるために、目的変数としべり面深度、説明変数として地すべりブロック長さ及び基盤岩深度を各々用いて重回帰分析を行った。その結果、(2)式が得られた。

$$d = -2.198 + 0.050L + 0.462R \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 R : 基盤岩深度 (m)

である。

なお、データ数は20個、重回帰係数は0.87であり、分散分析の結果では、(1)式と同様に回帰の有意性が認められている。

図-11は、実測値と(2)式により求められた計算値との関係を示したものである。すべり面深度は、図-9と比較すると(1)式よりも精度良く求められていることが分かる。

この他、地すべりブロックの幅としべり面深度との関係についても検討した。しかし、地すべりブロックの形状が単純な馬蹄形を呈しているものは少なく、複雑な形状をしているものが多かった。このため、精度良く地すべりブロックの幅を表わす指標が求められなかった。

以上のことから、地すべりブロック中間部のすべり面深度は、地すべりブロックの長さ及び基盤岩深度と相関

関係を有することが分かった。また、このことから(1)、(2)式より概略的なすべり面深度を推定することができ、ボーリング調査の必要掘削深度及び、コア観察によるすべり面判定における注目すべき区間などを知ることができる。と考える。

図-9 地すべりブロック長さとしべり面深度との関係

図-10 基盤岩深度としべり面深度との関係

図-11 (2)式による計算値と実測値との関係

4. すべり面形状の推定⁷⁾

すべり面形状は、コア観察、ボーリング孔を利用した計測器によるすべり面の検知結果及び現地踏査結果をもとに描かれる。また、描かれたすべり面形状は、地質学的及び工学的に妥当なものでなければならない。しかし、現状ではボーリング調査された地点以外のすべり面は、技術者の主観により推定されたものであり、推定根拠に曖昧さが伴うため技術者毎に見解が異なる場合もある。この問題点を解決する一つの方法として臨界すべり面解析法がある。

4.1 臨界すべり面解析法

本研究に用いた臨界すべり面解析法は、解析しようとする地すべり斜面の地形、地質構造、土質強度等の条件に関して最小の斜面安全率となるすべり面（臨界すべり面）を、斜面安定解析手法であるヤンプー法や簡便法等を用いて探索する方法である。ここでは、動的計画法と簡易ヤンプー法を用いた解析法⁸⁾により、地すべり斜面のすべり面形状の推定を試みた。

4.1.1 入力データ

臨界すべり面解析には、以下の入力データが必要である。

- ① 地すべりブロックの地表面の XY 座標
- ② 地すべり斜面内の地下水位の XY 座標
- ③ 基盤岩の XY 座標
- ④ 土層の土質強度定数
- ⑤ 単位体積重量

ここで問題となるのは、④土層の土質強度定数である。本来、土質強度定数は土質試験により求める必要がある。しかし、わが国の地すべり地の地質構造は一般に複雑である。このため、斜面安定解析を実施する際に土質試験で求めた強度定数を用いた場合、実際の現象と合わない安全率が算出されることが多い。このことから、斜面安定解析に用いる土質強度定数は経験的に決定されているのが実状である。そこで、土質強度定数を工学的に決定するために、地すべり斜面安定解析事例からすべり面の土質強度定数が逆算的に求められている。それは、現在活動中の地すべり 470ヶ所の実地調査を実施し、斜面安全率を $F_s=1.00$ として逆算により地すべりの平均垂直応力と平均せん断応力を求め、地すべり斜面勾配との関係から土質強度定数を求めた値である⁹⁾。

図-12 は、地すべり斜面勾配別に平均垂直応力と平均せん断応力との関係⁹⁾を整理したものの一部である。両者は、非常に良い相関関係を示していることが分かる。これらの図から c' と ϕ' の各値を求めた結果が表-2 である。以上のことから、本解析に用いる移動層の土質強度定数は、表-2 をもとに決めた。

(a) 地すべり斜面勾配 $10^\circ \leq \theta < 15^\circ$

(b) 地すべり斜面勾配 $15^\circ \leq \theta < 20^\circ$

図-12 $\sigma' - \tau$ の関係

表-2 地すべり斜面勾配と c' 、 ϕ' との関係

勾配(度)	事例数	ϕ' (度)	c' (tf/m ²)	相関係数
$0 \leq \theta < 10$	46	9.0	0.58	0.944
$10 \leq \theta < 15$	132	14.8	0.34	0.951
$15 \leq \theta < 20$	127	20.7	0.04	0.935
$20 \leq \theta < 25$	95	23.6	0.44	0.941
$25 \leq \theta < 30$	40	27.9	0.40	0.930
$30 \leq \theta$	27	30.0	0.73	0.944

この他、土層の単位体積重量は、移動層については一般の地すべり斜面の安定解析に用いられている $\gamma_t=1.8$ t/m³ としている。

4.1.2 解析とその結果

解析では、地すべり斜面の土層が移動層と基盤岩の 2 層に単純化できるものと仮定し、斜面内の間隙水圧は地下水位を用いている。なお、地下水位は調査期間内の最高水位である。また、すべり面探索位置は、地すべりブロック水平長さをほぼ 24 等分した各位置に設定し、地すべりブロックの上端と下端は固定し、各位置の深度方向には原則として基盤岩上方に 1 m 間隔に探索点を設けた。

本解析に用いた移動層の土質強度定数は、表-2 をもとに決めている。しかし、図-12 に示したように平均垂直応力と平均せん断応力との関係は、幅を持った比例関係にある。このため、当然のことながら、表-2 の値を用いても、斜面安全率は $F_s=1.00$ 前後にはならない場合がある。したがって、現状の斜面安全率である $F_s=1.00$

前後にするためには、 c' または ϕ' のいずれかの値を調整する必要がある。本解析法では、 c' の値を調整した場合は ϕ' の値を調整した場合よりすべり面形状の変化が大きいことが判明している。また、工学的には、土の強度定数は有効応力表示した場合 $c'=0$ という報告⁹⁾ もあることから、 c' の値を大きくすることは適切でないと考える。これらのことから、現状の斜面安全率である $F_s=1.00$ 前後にするためには、 ϕ' の値を調整することの方が合理的であると考えた。なお、 ϕ' の値の調整は、 $F_s=1.00$ 前後になるように値を試行錯誤により変化させて行った。その際、 ϕ' の値を大きくした場合、すべり面深度は大きくなる傾向が認められた。しかし、その変化は c' の値を変化させた場合に比べてわずかなものであった。

図-13 には、羽山地すべりにおける臨界すべり面解析結果を示した。羽山地すべりは、地すべりブロックの長さ 142 m、斜面勾配約 21 度の地すべりであり、基盤岩は新第三紀中新世稚谷層の泥岩である。また、地すべりブロックの地質構成は、図-13 に示すブロック中間部 HA-1 では地表から礫混じり粘土（赤褐色）→礫混じり粘土（青灰色）→強風化岩→弱風化岩→基盤岩となっており、標準的な地すべり斜面の地質構成となっている。

計測器によるすべり面調査は、ブロック中間部 HA-1 においてストレインゲージパイプにより実施されている。また、すべり面が検知された位置は礫混じり粘土（青灰色）の中である。なお、移動層の土質強度定数は、 $c'=0.44$ tf/m²、 $\phi'=33$ 度とした。求められたすべり面は、地表面形状に沿った形状を成している。また、このすべり面は、HA-1 の計測器による検知すべり面（→印）の近くを通過しており（1 m 浅い深度）、実際のすべり面形状も解析結果に近いものではないかと考える。

このことから、地すべり斜面の土層が移動層と基盤岩の 2 層に単純化できる場合、本解析法により実際に近いすべり面形状が推定できることが分かった。

4.2 すべり面形状推定法の検討

一般に、地すべり地塊は複雑な地質構成を成しており、すべり面は地塊内の脆弱層を縫うように形成されている。したがって、4.1 で示した臨界すべり面解析法を用いて

すべり面形状を推定する場合、地すべり斜面は移動層と基盤岩の 2 層で構成され、すべり面は基盤岩以浅に形成されているとする仮定が成立することを確認する必要がある。すなわち、推定されたすべり面形状が、移動している地すべりでは計測器により検知されたすべり面付近を通るか、移動を停止している地すべりではコア観察によりすべり面の可能性が高いと判定された位置付近を通るか、で確認する。そこで、曖昧さが伴っているコア観察結果に、地すべりブロックの形態とすべり面深度との統計的関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。

2.1 すべり面の特徴の項では、コア観察によるすべり面の判定において念頭に置くべきすべり面の特徴について示した。また、3.1 地すべりブロックの形態とすべり面深度との関係の項では、コア観察によるすべり面判定において注目すべき区間を示す (1), (2) 式を求めた。この他、4. すべり面形状の推定の項では、臨界すべり面解析法により実際に近いすべり面形状が推定できることを示した。以上の項から得られた成果をもとに、すべり面形状の推定法について検討し、その結果を図-14 に流れ図として示した。コア観察では、ボーリング位置が舌端部の場合は酸化層や草木の有機物があるか、粘土層があるか、岩種や風化が不連続か、が特に重要なすべり面判定根拠となると考える。また、コア観察結果から得られたすべり面は、(1), (2) 式で示される深度付近に位置し、臨界すべり面解析結果によるすべり面付近を通る必要がある。したがって、これらの諸条件を満たしたものが、地質学的及び工学的に妥当なすべり面であると考えられる。なお、コア観察により臨界すべり面解析結果によるすべり面付近を通るすべり面が得られなかった場合は、コアの見直し、主測線の設定見直し、などを行い再度検討する必要がある。また、岩盤地すべりの場合は、臨界すべり面解析における今回の仮定が成立しないことから、今後岩盤地すべりにも適用できる方法を考える必要がある。

図-15, 16 には、図-14 にもとづいた地すべり地におけるすべり面形状の推定結果を示した。

図-15 の天水越地すべりは、地すべりブロックの長さ 230 m、斜面勾配約 14 度の地すべりであり、基盤岩は、新第三紀中新世稚谷層の砂岩・泥岩互層である。また、地すべりブロックの地質構成は、図-15 に示すブロック上部 A-1 では地表から礫混じり粘土（赤褐色）→強風化岩→弱風化岩（ボーリング深度は基盤岩に達していない）、下部 A-2 では礫混じり粘土（赤褐色）→礫混じり粘土（青灰色）→強風化岩→基盤岩となっている。計測器によるすべり面調査は、孔内傾斜計により A-1, A-2 の 2 ヶ所で実施されており、すべり面が検知された位置

図-13 臨界すべり面解析結果

図-14 すべり面位置推定法流れ図

は各々強風化岩の中である。

A-2のコア観察結果では、極軟質な粘土層が5.0～5.7 m, 6.0～6.75 m, 17.8～17.9 m, 24.6～24.7 m, 27.0～27.3 mの各深度に存在している。また、(2)式によれば、すべり面は深度22 m前後に位置することになる。したがって、ブロック中間部におけるすべり面は、深度24.6～24.7 mに存在する可能性が高いことになる。一方、臨界すべり面解析結果では、図-15に示す結果が得られた。なお、移動層の土質強度定数は、 $c'=0.34 \text{ tf/m}^2$, $\phi'=22$ 度とした。求められたすべり面は、ブロック上部から緩やかに深度を増し、中間部では基盤岩の上面近くを通り下部に達する形状を成している。また、A-2におけるすべり面は、24.6～24.7 mの極軟質な粘土層の付近を通っている。なお、図中には、計測器による検知すべり面を→印で示した。検知すべり面は、24.6～24.7 mの極軟質な粘土層を通っており、臨界すべり面解析によるすべり面は、2ヶ所とも検知すべり面付近を通っていることがそれぞれ分かる。これらのことから、コア観察によるすべり面の推定深度及び計測器による検知すべり

図-15 すべり面形状推定結果(1)

面と臨界すべり面解析によるすべり面推定深度とが、ほぼ一致する結果が得られた。したがって、実際のすべり面形状は、臨界すべり面解析結果に近いものと推定され、コア観察によるすべり面深度及び計測器による検知すべり面を通して補正することにより描くことができると考える。

図-16の川井沢地すべりは、地すべりブロックの長さ203 m, 斜面勾配約14度の地すべりであり、基盤岩は新第三紀中新世椎谷層の泥岩である。また、地すべりブロックの地質構成は、図-16に示すブロック上部K-1及び

図-16 すべり面形状推定結果(2)

中間部 K-2 とも地表から礫混じり粘土(赤褐色)→強風化岩→基盤岩となっている。計測器によるすべり面調査は、ブロック上部 K-1 及び中間部 K-2 においてストレーンゲージパイプにより 2ヶ所で行われており、すべり面が検知された位置は各々強風化岩と基盤岩との境界である。

K-2 のコア観察結果では、極軟質な粘土層が 4.4~6.6 m, 17.2~17.4 m の各深度に存在している。また、(2) 式によれば、すべり面は深度 16 m 前後に位置することになる。したがって、ブロック中間部におけるすべり面は、深度 17.2~17.4 m に存在する可能性が高いことになる。一方、臨界すべり面解析結果では、図-16 に示す結果が得られた。なお、移動層の土質強度定数は、 $c'=0.34 \text{ tf/m}^2$, $\phi'=20$ 度とした。求められたすべり面は、ブロック上部及び中間部とも基盤岩より 1~2 m 程度浅い深度を通る形状を成している。また、このすべり面は、K-1 では検知すべり面(→印)より 1 m 浅い深度を通り、K-2 では検知すべり面より 2 m 浅い深度を通っていることが分かる。これらのことから、天水越地すべりと同様に本地すべりでも、コア観察によるすべり面の推定深度及び計測器による検知すべり面と、臨界すべり面解析によるすべり面推定深度とが、ほぼ一致する結果が得られた。したがって、実際のすべり面形状は、臨界すべり面解析結果に近いものと推定され、コア観察によるすべり面深度及び計測器による検知すべり面を通してに補正することにより描くことができると考える。

以上のことから、図-14 に示したすべり面位置推定法と今回提案した臨界すべり面解析法は、すべり面調査の支援システムとして有効であると考えられる。今後は、他の地形・地質条件の地すべりについても、本方法の適用性についてさらに検討して行く必要がある。

3. まとめ

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関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。以下

に、その結果を示す。

- (1) すべり面の特徴についてまとめ、コア観察によるすべり面の判定において念頭に置くべきすべり面の特徴について示した。
- (2) 新潟県内で発生した地すべり地のすべり面調査結果では、すべり面が存在する位置を地層の中と地層の境界に大別した場合、地層の中が 75%、地層の境界が 25% となり、圧倒的に地層の中が多くなっていることが分かった。
- (3) 地すべりブロックの形態とすべり面深度との関係について検討した結果、コア観察によるすべり面判定において注目すべき区間を示す(1), (2) 式が得られた。
- (4) 地すべり斜面の土層が移動層と基盤岩の 2 層に単純化できる場合、臨界すべり解析法により実際に近いすべり面形状が推定できることが分かった。
- (5) (1), (3), (4) の成果をもとにしたすべり面位置の推定法及び今回提案した臨界すべり面解析法は、すべり面調査の支援システムとして有効であることを示した。今後は、他の地形・地質条件の地すべりについても、本方法の適用性について検討して行く必要がある。また、すべり面調査においては、コア観察が最も情報量の多い調査項目であり、本方法を用いるに際しても、綿密にコア観察を行う必要がある。

最後に、本研究を実施するに際しては、新潟県土木部砂防課の方々に御支援を頂いた。また、建設省土木研究所新潟試験所秦耕二所長には、有益な助言を頂いた。ここに記して各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐渡耕一郎, 吉松弘行, 藤田壽雄: ファジィ理論によるすべり面の判定手法, 地すべり, Vol. 31, No. 3, pp. 1~8, 1994.
- 2) 中村浩之, 網木亮介: ボーリング孔内物理検層によるすべり面の推定, 土木技術資料, Vol. 32, No. 6, pp. 64~70, 1990.
- 3) 吉松弘行, 檜垣大助, 吉田克美: 地すべり地におけるすべり面の判定, 土木技術資料, Vol. 35, No. 6, pp. 40~47, 1993.
- 4) 丸山清輝, 網木亮介, 白石一夫: 地すべり地におけるすべり面形成位置の実態調査, 土木技術資料, Vol. 36, No. 3, pp. 28~33, 1994.
- 5) 新潟県農地部農地建設課: 新潟の地すべり, pp. 25~27, 昭和 59 年 8 月.
- 6) 吉松弘行, 丸山清輝, 檜垣大助ほか: すべり面の土質定数の決定手法, 土木技術資料, Vol. 33, No. 3, pp. 69~75, 1991.
- 7) 丸山清輝, 秦 耕二: 地すべり地におけるすべり面形状の推定, 土木技術資料, Vol. 36, No. 11, pp. 50~55, 1994.
- 8) 中村浩之, 久保田哲也: 動的計画法を用いた臨界すべり面解析法, 土研資料第 2425 号, 1987.
- 9) 矢田部龍一, 八木則男, 榎 明潔: 乱さない地すべり粘土のせん断特性, 地すべり, Vol. 26, No. 4, pp. 3~9, 1990.

(原稿受理日 平成 7 年 4 月 26 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。