すべり面三次元構造と地すべり地塊運動特性

A Study on Three-dimensional Shape of Sliding Surface and Movement Feature of Sliding Mass

佐々木 一 郎* 新 谷 融*

Ichiro SASAKI

Tohru ARAYA

Abstract

As the relation between the topography and movement become distinctly at the developed stage of a block type landslide, the forms of landslides were classified into I, II, III, IV. The mode of landslide movement in type I is usually considered to be translation, however, in the others types it might be accompanied with plane rotation movement (Sasaki, Araya 2000).

In this study, the above relation was considered as three dimension. At first the shapes of sliding surface were modified from the geological data of the typical developed landslide type I, II and III. And the modes of movement were considered as kinematics, then these were verified by the model experiment; the modes of movement that type I is translation and type II/III is plain rotation were occurred regulated by the shapes of sliding surface. In addition how this movement formed the topography of landslide was clarified.

Consequently the relation between the shapes of sliding surface, the modes of movement and the topography of landslide was generalized as block type landslide.

キーワード：地すべり地形，地形要素，変形，平面すべり*

1. はじめに

地すべり地では，頭部の馬蹄状滑落崖や末端部の隆起等で特徴付けられる地すべり地形が形成されるが，このような地形は斜面変動の一つである地すべり運動の特有の運動様式によって現れると考えられ，円弧すべり・平面すべりの地形モデル (Varnes 1958/1978等) がよく知られている。地すべり運動は，地すべり地塊がほぼ原形を保ったまま移動する地塊型地すべりで典型的に現れるが，とくに地すべり災害直後の変動地形 (筆者らは，等高線の不規則等にみられる相対的に長い期間を経て形成された地すべり地形と区別するために，地すべり運動の痕跡がそのまま残っている地形を地すべり変動地形と呼ぶ) は，側部 (変動地形形成方向が移動方向に対して平行から45°の開きまでの部分) における左右の形が異なった非対称性を示すものが多い (佐々木 1987)。変動地形の左右非対称性は，地すべり運動と地すべり変動地形の関係およびこれを媒介するすべり面構造等の関係を明らかにするうえで，重要な現象と考えられた。

地すべり地塊がほぼ原形を保ったまま移動する地塊型

地すべりの発達した段階では，変動地形において左右側部の変形性 (引張・剪断) の違いと側部引張変形部では横ズレ性の程度の差等が明瞭になること，その運動様式は並進が主要なものと並進・平面的回転を含むものがあること等が，地すべり災害直後の地すべり変動地形の解析によって考察され，これらの運動要素の組合せから典型的な地すべり変動地形はI・II・III・IVの四つに形態分類されること，また地塊型地すべり災害地 (約60箇所) でこの分類が妥当であることが検証された (佐々木・新谷 2000)。しかしこれは主に地すべり変動地形の平面形態特性をもとにした考察であることから，変動地形と地すべり運動との関係については，地すべり地塊の構造と地すべり運動の三次元的把握をもとに検討する必要がある。

本研究は，変動地形の研究で明らかにされた地形と地すべりとの関係を三次元的に考察するために，各タイプの地すべり地塊とすべり面をモデル化し，このモデルについて地すべり運動を運動学的に考察し，模型実験により地すべり運動と地すべり変動地形の関係を検証した。

本研究に際して，現地調査ならびに資料提供について御協力を賜った元近畿農政局谷岡健則氏，既往資料について貴重な御意見を賜った(株)アイエスター藤田壽雄氏，

* 北海道大学大学院農学研究科

(株)日本海技術コンサルタント浜崎晃氏、ジオプランナー片山慎一郎氏に深く感謝する。

2. 研究方法

地塊型平面形態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを示す各典型的な地すべり地3カ所(表-1、図-1)において、運動痕跡を示す変動地形と移動量等を調査し、その特徴から地すべり地塊の運動様式を考察し、地表地質およびボーリングデータ等をもとに、地すべり地塊とすべり面形態をモデル化した。すべり面による運動学的規定は、平面すべりの規定が基礎となるので、本研究では、すべり面が曲面を呈する平面形態Ⅳは除き、平面すべりの形態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ(後述6の表-2における、模式平面形態・各部位の変動地形の変形を参照)を対象とした。

これらの三次元モデルと変動地形の特徴および運動様式との対応関係から、地すべり地塊がどのように運動し地すべり変動地形を形成するかを運動学的に考察した。そして模型実験による検証結果にもとづき、地すべり地塊構造・地すべり運動・地すべり変動地形の関係を考察した。

地すべり運動は、すべり面上の土塊がすべるものだけではなく崩壊やクリープ変形も含むが、本研究対象としては、地すべりの典型である地塊型地すべりを取り上げ、その中から、突発的な災害として現れ、急に発生し収束に至った発達した段階の地すべり地で、地すべり地塊がほぼ一つのすべり面上をほぼ原形を保って移動し、地すべり地塊の頭部・両側部・末端部各部位の変動地形が明瞭に現れ、地形と運動の単純な形態をとったと考えられる典型的な地塊型地すべり地を分析対象とした。また、地すべり地塊運動をもたらす外力として考えられる水圧や地震はひとまず捨象し、地すべり運動をそれ自身の重力による運動として考察をすすめた。

3. 地すべり変動地形の特徴

3.1 地すべり変動地形調査結果

形態Ⅰ・Ⅱ・Ⅲの典型として取り上げた各調査地の地すべり変動地形の平面・断面図を図-2～4に、その調査結果を表-1に示した。

変動地形を示す用語の定義はつぎのようにする。

- ・滑落崖：移動地塊が末端部方向へ移動し、落差を伴う亀裂となり、地表に滑落面が露出したもの。
- ・陥没帯：滑落崖と平行に移動地塊が陥没し、向き合った一対の滑落面が帯状につづくもの。
- ・滑落崖(閉塞)：滑落崖の下に滑落面に移動地塊が接しているもの(クローズドクラック)。開口幅は、1 mm未満とした。
- ・滑落崖(開口)：滑落崖の下に滑落面と移動地塊の間が開いているもの(オープンドクラック)。開口幅は、1 mm以上とした。
- ・横ズレ：滑落崖に向かって横方向にズレが大きく認められるもの。その大きさは、移動量とほぼ同程度である。単一の面に対しては1 cm以上ずれていれば確認できるが、単一の面でのズレではなくあるゾーンで横ズレが認められる場合や、左右側部の移動量の差として確認される場合がある。
- ・側部は、移動方向に対して開きが45°までのものとする。

図-1 研究対象地

表-1 地すべり変動地形調査結果

No.	地名	府県	地質系統	幅*長さ	年代	区分	変動地形				移動量(m)				移動期間	移動速度	運動様式	分類		
				m*m			頭部	右側部	左側部	末端部	頭部	右側部	左側部	末端部	(day)	(cm/day)				
1	狸谷	京都	更新統	30*70	83	二次	滑落崖	横ズレ・滑落崖	β	横ズレ・滑落崖	α	押し出	6	6	6	10	1	600.0	並進	I
2	香住	兵庫	新第三系	85*100	71	初生	滑落崖	横ズレ・滑落崖	β	陥没帯	α	押し出	5	10	1	15	30	33.3	並進・回転	II
3	黒谷	兵庫	更新統	95*70	74	初生	陥没帯	陥没帯	α	横ズレ・陥没帯	α	隆起	7	3	7	7	1	700.0	並進・回転	III

* α:引張変形、αt:引張変形(横ズレ大)、β:剪断変形、γ:圧縮変形

* 移動速度=側部最大移動量÷移動期間

(1) 狸谷地すべり地 (形態Ⅰ)

①変動地形

頭部は滑落崖でその下部が陥没帯になっている。右側部は移動方向に平行な横ズレ滑落崖 (閉塞), 左側部は末広りの横ズレ滑落崖 (開口), 末端部が流動を伴う押し出し・隆起である。

②移動量

頭部・左右側部の移動量はほぼ同程度の約 6 m である。末端部は流動的な移動を示し、移動量がより大きくなっている。

(2) 香住地すべり地 (形態Ⅱ)

①変動地形

頭部は滑落崖で陥没帯を伴っている。初期段階のものと、その上部約 10m に新たに派生したものがある。右側部が移動方向に斜交する横ズレ滑落崖 (閉塞), 左側部が末広りの引張変形の陥没帯, 末端部が崩壊を伴う押し出し・隆起である。

②移動量

頭部の移動量は 2 つの滑落崖でそれぞれ約 5 m, 右側部が約 10m, 左側部が約 1 m, 末端部が約 15m である。左右側部を比べると右側部の移動量が大きい。末端部の平面形状は中心部が下に凸状になっているが、押し出し量は右側が大きくなっている。末端部は、崩壊と開口亀裂による緩みで、側部等と比べて移動量が大きくなっている。

(3) 黒谷地すべり地 (形態Ⅲ)

①変動地形

頭部は陥没帯となる滑落崖 (開口) である。右側部は頭部と連続する陥没帯で、末端付近で閉塞している。左側部も頭部と連続する陥没帯であるが、横ズレ陥没帯となり、末端部まで開口している。末端部は、左側が隆起

を伴う山側への回転と押し出しが顕著で、右側で押し出しが認められた。

②移動量

頭部が 7 m, 右側部が 3 m, 左側部が 7 m, 末端部は左側で 7 m である。左右側部を比べると左側部の移動量が大きくなっている。

3.2 地すべり運動と変動地形形成

各調査地の変動地形の特徴から地すべり運動を復元し、地すべり運動と変動地形形成との関係を考察した (図-5)。

(1) 形態Ⅰ

剪断変形の側部は、地すべり崩土の中に形成されている。地すべり後の平面図においてほぼ原形を保って移動した地すべり地塊を、地すべり地塊中の茶の木の列を外側の茶の木の列に合わせると、地すべり前の原地形を復元できる。これによって、地すべり運動は移動方向に平行な剪断変形の側部滑落崖 (閉塞) に沿った並進運動であり、これに伴って頭部から他の側部にかけて引張変形の滑落崖 (開口), 末端部には圧縮変形の隆起が形成されたものと考えられる。

(2) 形態Ⅱ

剪断変形の右側部滑落崖 (閉塞) は、底部すべり面が側部に現れたものである。初期段階の頭部滑落崖から下のほぼ原形を保って移動した地すべり地塊を、右側部滑落崖に沿って引き上げると、ほぼ原地形に戻る。これによって、地すべり運動は左側部末端付近を中心とする平面的回転を伴うものであり、これに伴ってすべり面の現れる右側部は剪断変形の滑落崖 (閉塞), 左側部は平面的回転によって引張変形の陥没帯, 末端部には圧縮変形の隆起が形成されたものと考えられる。

図-2 狸谷地すべり

(3) 形態Ⅲ

頭部滑落崖から下のほぼ原形を保って移動した地すべり移動地塊を、地すべり地塊の田面を外側の田面に合わせると、地すべり前の原地形を復元できる。これによって、地すべり運動は右側部末端付近を中心とし左側が大きく移動する平面的回転を伴うものであり、これに伴ってその外側の頭部から左右側部にかけて引張変形の陥没帯が形成され、右側部は平面的回転の中心付近が閉塞状となり、左側部末端部は圧縮変形の隆起が形成されたものと考えられる。

4. すべり面三次元構造

4.1 地すべり地地質調査結果

各形態の典型として取り上げた調査地の地すべり地塊構造については、地表地質調査・ボーリング調査から、以下のことが明らかになった。

(1) 狸谷地すべり地 (形態Ⅰ)

地すべり崩土と固結粘土層との境界に底部すべり面が形成され、移動方向に平行な右側部には地すべり崩土中の剪断作用による側部すべり面が形成されている。

図-3 香住地すべり

図-4 黒谷地すべり

図-5 地すべり地塊の復元図

すべり面は底部と側部二面のすべり面によるクサビ形状の構造で、これらが剪断変形部と考えられる。頭部および反対側側部滑落崖（開口）は引張変形に伴う主働破壊面と考えられる。末端部は押出しの圧縮変形による受働破壊による隆起と考えられる。

(2) 香住地すべり地（形態Ⅱ）

剪断変形の右側部滑落崖（閉塞）は、地すべり地塊底部のすべり面が地表に現れたものであり、地層面に平行に形成された粘土化帯等の弱層である。その傾斜はS方向で、反対側の側部に傾いて、末端部での移動方向SWとは約45°斜交し傾斜している。

すべり面は底部すべり面がすべり方向と斜交しそれが右側部と末端部に現れる構造で、右側部滑落崖（閉塞）が剪断変形部と考えられる。頭部滑落崖および左側部陥没帯は、地層走行に直交方向の引張変形部で、この見掛け上のすべり面は引張破壊面の集合および引張変形に伴う主働破壊面と考えられる。末端部は押出しの圧縮変形による受働破壊による隆起と考えられる。

香住地すべりでは、地すべり地塊は主に基盤岩からなり、初生すべりに近いものであることから、このすべり面構造は地質構造からも支持される。

(3) 黒岩地すべり地（形態Ⅲ）

大阪層群粘土層がすべり面である。この底部すべり面は地表には現れず、頭部と両側部は引張変形である。すべり面傾斜方向は、地層の傾斜方向に平行するN60°W方向で、末端閉塞する右側部陥没帯側に向いて、末端部での移動方向Wとは約30°斜交している。

すべり面は、底部すべり面がすべり方向に平行もしくは斜交して分布し、側部には現れない構造である。頭部および側部陥没帯は、引張変形に伴う主働破壊面である滑落面が対になり挟まれた部分が陥没したものと考えられる。末端部は押出しの圧縮変形による受働破壊による隆起と考えられる。

地すべり地塊は大阪層群粘土層から上位の砂層および段丘堆積層等であり、初生すべりに近いものであるので、このすべり面構造は地質構造からも支持される。

4.2 地すべり地塊の構造

これらをまとめると、地すべり地塊はつぎのような構造であることがわかる（図-6）。

(1) 地すべり地塊を規定する境界面

地すべり地塊は、地すべり変動を起こした地塊であり、つぎのような境界面に囲まれていることになる。

- ①地すべり地塊下部の剪断変形を示す底部すべり面
- ②地すべり地塊側部の剪断変形を示す側部すべり面
- ③地すべり地塊頭部～側部の引張変形に伴う剪断破壊による主働破壊面
- ④地すべり地塊末端部の圧縮変形に伴う剪断破壊による受働破壊面

これまでの地すべり地形モデル（たとえばVarnes 1958/1978等）では、すべり面はこのような区別がされ

ていない。一方、山田ほか（1971）は、折線状すべり面として、主すべり面と主働崩壊面・受働崩壊面との組合せを考えた。本論はこの考えと基本的に一致するが、ここではとくに底部すべり面と側部すべり面を合わせて主すべり面、主働破壊面・受働破壊面を派生すべり面とした。

(2) 地すべり地塊の構成

以上の境界面に囲まれた地塊が、地すべり運動によって生じた地すべり地塊であるが、地すべり地塊はつぎの部分に分けられる。

- ①主すべり面上の主地すべり地塊
- ②主働破壊面沿いの地すべり破碎部である派生地塊・引張変形地塊
- ③受働破壊面沿いの地すべり破碎部である派生地塊・圧縮変形地塊

これまでの地形モデルでは、地形単位として地すべり変動地形の区別がされてはいる（木全・宮城 1985等）が、

剛体的な地塊の平面すべり

弾性～塑性的な地塊の平面すべり

（地すべりの頭部が主働破壊・末端部が受働破壊となる）

塑性的な地塊の円弧すべり

（地塊が崩土化して平面状の主すべり面が短くなると

主働破壊面と受働破壊面が連続し回転すべりとなる）

図-6 地すべり地塊の構成要素

地すべり地塊に関してはこのような区別はされてこなかった。藤田（1984）は、地すべり地塊を地すべりの主体をなすところの滑らせようとする力の働く主力部分を主すべりブロックとし、その下方への移動により、上部ではテンションゾーンが、下部ではコンプレッションゾーンが形成されるとした。本論はこの考えと一致するもので、主地すべり地塊が主すべりブロック、引張変形地塊がテンションゾーン、圧縮変形地塊がコンプレッションゾーンに当たるものである。

4.3 すべり面三次元構造モデル化

以上の各形態の地すべり地塊構造から、つぎのようにすべり面三次元構造をモデル化した（図-7）。

モデル化に当たっては、つぎのような条件を与えた。

- ①剪断変形部の底部すべり面・側部すべり面は、近似平面形とし一面とする。
- ②頭部及び側部引張変形による主働破壊面は、近似平面形の分離面とし一面とする。
- ③末端部は、すべり面が直接末端斜面に現れる末端開放状態とする。
- ④地すべり地塊は、すべり面・分離面と地表面に囲まれた一つの剛体に近いものとする。
- ⑤すべり地塊は、引張変形地塊と圧縮変形地塊である派生地塊は捨象し、底部すべり面の剪断変形で移動する主地すべり地塊とする。

図-7 すべり面三次元構造モデル

(1) 形態Ⅰ

形態Ⅰの基本構造は、底部と側部との二面の剪断変形のすべり面によって、クサビが形成されたものである。頭部および反対側側部は、地すべりの進行に伴う分離面である。末端部は、側部及び底部すべり面が現れる。

(2) 形態Ⅱ

形態Ⅱの基本構造は、底部の剪断変形のすべり面がすべり方向と斜交し、それが側部と末端部に現れたものである。頭部および反対側側部は、地すべりの進行に伴う分離面である。末端部は、側部から底部すべり面が傾斜して現れる。ここでは、形態Ⅰとは異なり、クサビを形成しない。

(3) 形態Ⅲ

形態Ⅲの基本構造は、底部の剪断変形のすべり面がすべり方向に平行もしくは斜交し、地表には現れないものである。頭部および側部は、地すべりの進行に伴う分離面である。末端部は、底部すべり面が傾斜して現れる。

これらのモデルが、平面形態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲと一般的に一对一の対応関係にあるかどうかは、今後、帰納的に明らかにしていく必要がある。

5. 地すべり運動特性

5.1 すべり面構造による運動学的規定

このように、各形態分類に応じて、それぞれ独自のすべり面構造をもつことが明らかになった。この構造によって、地すべり地塊はつぎのような運動学的規定を受けると考えられる（図-8）。

(1) 形態Ⅰ

底部と側部の2面にすべり面が形成され、クサビ状構造となるので、地すべり地塊の自重作用だけのときは、2面の交差線に沿って移動する並進運動となる（Goodman 1976）。

(2) 形態Ⅱ

側部から底部にわたる一面のすべり面構造であるので、地すべり地塊の自重作用だけのときは、この一面に沿ったその傾斜方向の移動となる。すべり面の傾斜方向に対して、剪断変形の側部はその傾斜方向の反対側に形成される。すべり面が深くなる側部で抵抗が大きくなると、並進運動とともにこの側部側が支点となる平面的回転運動となる（Goodman 1976）。

(3) 形態Ⅲ

底部に一面のすべり面構造となるので、地すべり地塊の自重作用だけのときは、この一面に沿ったその傾斜方向の移動となる。しかし、すべり面が深くなる側部で抵抗が大きくなると、並進運動とともにこの側部側が支点となって回転する平面的回転運動となる。抵抗が大きくなるのは相対的であるので、すべり面が深くなる方で変形をうけやすくなると反対の回転運動となる。

以上のように、地すべり面三次元構造にもとづく演繹的考察によって、形態Ⅰでは並進運動、形態Ⅱ・Ⅲでは、

図-8 地すべり地塊の三次元運動モデル

並進をとまなう平面的回転運動となることが考えられた。これは、前節の変動地形に基づく帰納的考察結果に対応するものである。

5.2 模型実験

形態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲについて、地すべり地塊のすべり面構造に規定される運動学的考察に基づく運動およびこの運動によって形成される地すべり地塊周辺部の変形を、すべり面三次元モデルの模型を作成して検証した。

(1) 実験要領

①模型化の基礎データ

前節で検討した、形態Ⅰ・Ⅱ・Ⅲに応じた、すべり面三次元構造モデルを模型化した。ここでは、運動学的に地すべり地塊の運動を検証するのが目的であるので、地すべり地塊とすべり面の三次元的な形状と、地すべり地塊が剛体的に原形を保って主すべり面でのみ剪断破壊～変位し、運動に伴う引張変形は分離破壊となるという地すべり機構を模型化した。

②実験模型の作成

模型は形態のみのモデル化であるので、強度・長さ・密度・力・時間の各寸法比は無視し、材料は発砲スチロールを用いた。地すべり地塊を取り囲む面は、剪断変形のすべり面と引張変形の分離面の二種類とし、すべり面のみをすべりやすいように、セロハンを張った。末端部については、開放状態としたが、形態Ⅱ、Ⅲについて

は、末端部の抵抗が地すべり地塊の運動に影響を与える要素となることから、人為的にセロテープで抵抗を設けた。

③実験

地すべり地塊の運動は、手で支えて原地形状態から手を離し自重作用を再現した。

(2) 実験結果

①形態Ⅰ (写真-1)

2つのすべり面に沿う並進すべりが発生し、右側部で側部すべり面、頭部から左側部に分離面が現れた。両側部は共に横ズレ性を示した。

②形態Ⅱ (写真-2)

底部の1つのすべり面に沿う並進をとまなう平面的回転すべりが発生し、右側部で底部すべり面が見かけ上の側部すべり面として現れ、頭部から左側部に分離面が現れた。右側部は横ズレ性を示した。

③形態Ⅲ (写真-3)

底部の1つのすべり面に沿う並進を伴う平面的回転すべりが発生し、頭部から右側部および左側部にかけて分離面が現れた。このうち、左側部は横ズレ性を示し、右側部は末端が閉塞状態を示した。

(3) まとめ

この実験では、地すべり地塊がすべり面三次元構造に規定されて、形態Ⅰでは並進、形態Ⅱ、Ⅲでは、並進・平面的回転運動となることが確認された。またこの運動によって、側部において各形態に応じたすべり面や分離面、及び横ズレ性が現れることが確認された。現実の地すべりにおいては、分離面は頭部や側部の引張変形の滑落崖・陥没帯に、すべり面は側部滑落崖になるものである。

6. 平面形態と三次元運動特性

以上を総括し、各分類のすべり面構造・運動様式・これらによって現れる変動地形を、表-2にまとめた。

(1) すべり面構造

地塊型平面すべりの地すべり運動は、平面すべり面に沿うほぼ原形を保った地塊運動となるが、この運動を規定するすべり面構造を、形態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの典型的な地すべり地の調査データからモデル化した。これまでのモデルでは、すべり面は頭部から末端まで同一種類のものとされているが、本研究ではすべり面を主すべり面・派生すべり面に分け、すべり面構造では、地すべり運動の主体

すべり面構造

すべり面構造

すべり面構造

地すべり発生前

地すべり発生前

地すべり発生前

地すべり発生後

地すべり発生後

地すべり発生後

写真-1 形態Ⅰ 模型実験

写真-2 形態Ⅱ 模型実験

写真-3 形態Ⅲ 模型実験

表-2 地すべり変動地形と三次元運動モデル

平面形態分類	模式平面形態	すべり面構造	運動様式モデル	各部位の変動地形の変形			
				頭部	側部	側部	末端部
I				引張変形 α (滑落崖)	剪断変形 β (滑落崖)	引張変形 αt (滑落崖)	圧縮変形 γ (押出し)
II				引張変形 α (陥没帯)	剪断変形 β (滑落崖)	引張変形 α (陥没帯)	圧縮変形 γ (押出し)
III				引張変形 α (陥没帯)	引張変形 αt (陥没帯)	引張変形 α (陥没帯)	圧縮変形 γ (隆起)

* αt : 横ズレが大きな引張変形

* (): 変動地形の例

* 1~4: 移動前地すべり地形

* 1'~4': 移動後地すべり地形

である地すべり地塊を規定する主すべり面の構造を捉えた。

(2) 運動・変動地形

地すべり地はそれぞれの形態に応じたすべり面構造を有し、その規定を受けて並進、もしくは、並進・平面的回転の地すべり運動を行い、地すべり地塊周辺ではそれぞれのすべり面構造と運動によって、剪断もしくは引張の変形～変位がおき、地表部に変動地形が形成される。

モデルでは、引張変形部は単なる分離破壊による分離面としたが、地すべり地では主働崩壊が起き開口性の滑落崖もしくは陥没帯が形成され、平面的回転の外側に当る部分で横ズレが大きくなる。主すべり面が地表に現れた剪断変形部では、閉塞性の滑落崖が形成される。

(3) 地すべり三次元運動モデル

以上によって、形態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに応じてそれぞれ独自のすべり面構造をもち、地すべり地塊はその構造に規定された運動様式をとり、この運動によって形態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの地すべり変動地形が現れることが確認された。

これらのうち、形態Ⅰについては、大八木ほか(1970)、渡・酒井(1975)、藤田(1984)等が考察した、側部滑落崖側ですべり面が深くなるすべり面形状である。形態Ⅱはこれとは反対に浅くなる形状で、すべり面構造と平面形態の関係では、これらは矛盾する。しかし、平面形態ではⅠとⅡは類似するが、すべり面構造はⅡとⅢが同じで、Ⅱは地形との関係で底部すべり面が地表部に現れたものである。したがって、形態Ⅱは、形態Ⅲと同様のすべり面構造の規定により並進・平面的回転運動様式を

とり、底部すべり面が地表部に現れた部分で滑落崖(閉塞)、その反対側側部で陥没帯が形成されたものになる。このように、平面形態は、すべり面構造を三次元的に捉え、これに規定された運動が現れたものとする各々の関係が合理的に説明できる。

おわりに

本研究は、斜面変動の一つである地すべりのうち、地塊型平面すべりに形態分類された形態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを取り上げ、一つの近似平面すべり面上の比較的単純な地質構成体からなる典型的な地塊型地すべり災害地の調査結果をもとに、すべり面構造・運動様式・変動地形の関係を考察したものである。そして、地すべり地塊運動をすべり面構造による運動学的考察とその模型実験によってこれらの関係を検証し、これらをモデル化した。

現実に対象とする地すべり地は、すべり面にも凹凸があり、その運動はすべりだけではなく崩壊やクリープ変形も含むものであり、しかも微小な変位が長期間にわたる緩慢なものであって、地塊としての運動がつかみにくいのが実態である。しかし、ある一つの近似平面すべり面を単位とする地塊型地すべり運動は、すべり面構造に規定されたものであり、すべり面・運動・変動地形には表-2の相互関係が成り立つと考えられる。

従来、左右非対称的に現れる変動地形の原因、局所的な運動と地塊としての全体的な運動の区別、移動方向の異なる地塊の運動の捉え方、すべり面傾斜方向と移動方

向の偏差の意味等は明確になっておらず、地すべり機構解析および地すべり対策上の問題があったが、本研究結果の運動モデルおよび地すべり地塊の平面的回転運動は、これらの解決方法の鍵を提案するものとする(図-9)。

図-9 本研究結果と地すべり対策への適用

引用文献

- 藤田寿雄 (1984): 機構解析, 地すべり防止技術研修テキスト, 地すべり対策技術協会, pp.154-177
- Goodman (1976): 不連続性岩盤の地質工学 (赤井浩一・川本脩万・大西有三共訳), 森北出版, pp.178-184
- 兵庫県北淡町 (1975): 山本農地保全復旧工事報告書, 日本グラウト工業(株)
- 兵庫県豊岡土地改良事務所 (1980): 香住地区地すべり調査業務報告書, 日本グラウト工業(株)
- 平田益美・藤田寿雄・片山慎一郎 (1991): 国見地すべりの発生機構について, 第30回地すべり学会研究発表講演集, pp.207-210
- 木全令子・宮城豊彦 (1985): 地すべり地を構成する基本単位地形, 地すべり, 地すべり, Vol.21, No.4, pp.1-9
- 子川桂二・来海昭雄 (1991): 山田地すべり(その1)-地質構造と地すべり機構-, 第30回地すべり学会研究発表講演集, pp.215-218
- 京都府木津町 (1983): 狸谷農地保全災害復旧事業地質調査報告書, 日本グラウト工業(株)
- 大八木則夫・大石道夫・内田哲雄 (1970): 北松鷲尾岳地すべりの構造要素, 防災科学技術総合研究報告第22号, pp.115-140
- 佐々木一郎 (1987): 地すべり地塊の左右非対称形態, 第60回地すべり学会研究発表講演集, pp.178-181
- 佐々木一郎・新谷融 (2000): 地すべり地の平面形態の運動学的考察, 地すべり Vol.36, No.1, pp.10-16
- 申潤植・山崎孝成 (1992): 岩盤すべりの地形・地質的規制条件, シンポジウム地すべり地形に関する諸問題論文集, pp.88
- Varnes, D. J.(1958): Landslide Types and Processes, Landslide and Engineering practice, HRB, Spec. Rep., No.29, pp.20-47
- Varnes, D. J.(1978): Slopes Movement Types and Processes, Landslide Analysis and Control, HRB, Spec. Rep., No.176, pp.11-33
- 渡正亮・酒井淳行 (1975): 地すべり地の概査と調査計画の考え方, 全国地すべりがけ崩れ対策協議会, pp.12-13, pp.32-37
- 山田剛・渡正亮・小橋澄治 (1971): 地すべり・斜面崩壊の実態と対策, 山海堂, 580p

(原稿受理日 平成12年3月24日)

すべり面三次元構造と地すべり地塊運動特性

「地すべり」Vol. 37, No. 3 (通巻143号) pp. 32～41, 2000年 (平成12年) 12月

佐々木一郎, 新谷 融

本研究は、斜面変動の一つである地すべりのうち、地塊型平面地すべりに形態分類された形態Ⅰ, Ⅱ, Ⅲを取り上げ、一つの近似平面地すべり面上の比較的単純な地質構成体からなる典型的な地塊型地すべり災害地の調査結果をもとに、すべり面構造・運動様式・変動地形の関係を考察し、地すべり地塊運動をすべり面構造による運動学的考察とその模型実験とによってこれらの関係を検証し、モデル化したものである。本モデルは、地すべり対策を地すべりの運動実態に適應するための、地すべり地塊三次元運動機構解明の基礎を提供するものとする。

四国中央部御荷鉾帯の緑色岩の風化と地すべり(1)

「地すべり」Vol. 37, No. 3 (通巻143号) pp. 32～41, 2000年 (平成12年) 12月

夕部雅丈, 岡村 眞, 矢田部龍一, 八木則男, 横田公忠, 佐藤 修

四国中央部の高知県に分布する御荷鉾緑色岩類帯では、片状の緑色岩帯で地すべりが多発している。そこで片状の緑色岩の風化と地すべりの関係について水質分析、蛍光X線分析、X線回折分析により、調査した結果、片状の緑色岩は主としてアクチノライトとクロライトで構成されており、風化はアクチノライトのCaとアクチノライトとクロライトのMgが溶脱し、風化帯内の浅いすべりの場合には、主としてクロライトのMgの溶脱によってスメクタイトが生成し、すべり面粘土となって地すべりが滑動していることがわかった。

四国の地すべりの一般的特性

「地すべり」Vol. 37, No. 3 (通巻143号) pp. 50～56, 2000年 (平成12年) 12月

矢田部龍一, 横田公忠, 石井朋紀, 夕部雅丈

四国の地すべりの一般的特性を第三紀層地すべりのそれと比較しながら検討した。そして、四国の地すべりの勾配の方が10°程急であること、すべり面深度と地すべりの長さの比が大きいこと、地下水位が比較的深いこと、せん断強度に影響する鉱物としてはクロライトやマイカが支配的であること、残留状態でのせん断抵抗角が若干大きいことなどが分かった。

排水ボーリングの削孔事例からみた地質状況と削孔精度に関する考察

「地すべり」Vol. 37, No. 3 (通巻143号) pp. 57～62, 2000年 (平成12年) 12月

藤原聖一, 高橋英一, 斉藤 薫

地すべり対策工事の一つである排水ボーリング工は、地形条件、流末施設、用地の制約などの理由により排出目標位置が制限されるため、高い削孔精度が要求される。

我社で過去3年間に施工した排水ボーリング工の事例を解析した結果、排水ボーリング工の削孔精度は、削孔長と地質状況に深く関連し、たとえば、土質区分上で岩塊・玉石混じり土を削孔対象とした場合は、60m程度以内が限界であると考えられる。