

Title	地すべりの変動地形解析による地塊運動特性に関する基礎的研究
Author(s)	佐々木, 一郎
Citation	北海道大学 演習林研究報告, 59(1), 1-44
Issue Date	2002-03
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21475
Туре	bulletin (article)
File Information	59(1)_P1-44.pdf



# 地すべりの変動地形解析による地塊運動特性に関する 基礎的研究

# 佐々木一郎1

# Kinematic Study of Block Mass by Analysis on Landslide Relief by Ichiro SASAKI<sup>1</sup>

# 要 旨

近畿地方中山間地域の地塊型平面すべり地を研究対象とし、59ヶ所の地すべり事例から地塊運動特性を研 究した。それらの地すべり変動地形解析では、各部位の変動地形を形成した運動要素によって類型化し、平面 形態は側部の変形の組合せが引張・引張の平面形態Iと、引張・剪断の平面形態Iに分類し、平面形態Iでは 並進・平面的回転運動、平面形態Iでは並進運動をとり、その地塊運動によって各部位にその変形に応じた変 動地形が現れることを明らかにした。また、地質調査結果によるすべり面構造解析では、地すべりの運動主体 である主地すべり地塊とこれを規定する主すべり面を抽出し、平面形態Iでは底部すべり面が主となるすべり 面構造I、平面形態Iでは底部すべり面と側部すべり面がクサビ構造をなすすべり面構造IIをとることを明ら かにした。さらに、現場観測データによる地塊運動の解析、すべり面構造模型を用いた地塊運動の再現実験に よって、地塊型地すべりの三次元運動機構とすべり面構造・地塊運動・変動地形の相互関係を明らかにした。

以上の結果をもとに、地塊型地すべりの対策手法を提言した。

キーワード:地すべり変動地形,地すべり平面形態,地塊地すべり,平面的回転運動,三次元運動機構

2001年8月31日受理, Received August 31,2001.

1:北海道大学大学院農学研究科環境資源学専攻森林管理保全学講座,札幌市北区北9西9,060-8589

Research Group of Forest Management and Conservation, Division of Enviromental Resources, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9 Nishi 9 Kita-ku, Sapporo, 060-8589

Ħ

# 緒 言

- I. 研究方法
  - 1. 地すべり地形と運動に関する研究史と課題設定
  - 2. 研究方法
- Ⅱ.地すべり地の平面形態
  - 1. 地塊型地すべり地の変動地形の実態
  - 2. 地すべり変動地形の分類
  - 3. 平面形態からみた地すべり地塊の運動様式
- Ⅲ. すべり面三次元構造
  - 1. 地すべり地塊構造
  - 2. すべり面三次元構造モデル
- Ⅳ. 現場観測データによる運動様式の検証
  - 1. 移動杭と孔内傾斜計観測結果による運動実態
  - 2. 各種計測結果による運動実態

# 緒言

日本の総農地面積の約四割にあたる中山間地域に は、地すべり地帯が多く存在している。これらの地域 は農林業生産の場であり、近年生産性の向上を図るた めの水田区画整理や農道・林道建設等の基盤整備が進 められるようになった。これらは大規模な地形改変を 伴うものであり、地すべり運動特性を考慮に入れた土 地利用・地形改変手法の開発が求められている。地す べり現象は一般に地質的素因の有する個所に発生しそ の移動痕跡が地形として残り、局所的な徴候として現 れる初期段階から序々に進行する運動形態をとるもの であるので、地形から運動を抽出することや、地すべ り動態観測等による徴候段階での運動把握が、今後の 運動予想の重要な情報であり検討要素となる。

しかし、変動地形がどのような地すべり運動によっ て形成されたかについての研究は、左右側部を含む平 面的形態およびその三次元的運動に関して確立した理 論はなく、地すべりの地形・運動情報が的確に収集・ 整理されてこなかった。例えば、地すべり地のある地 点間で移動期間・移動方向・移動量が異なる場合、そ れらが一つのブロックの運動徴候を示すものなのか、 異なるブロックの運動を示すものなのかという問題に しばしば現場で遭遇し、地すべり機構把握と予知・対 策において重要な実践的問題を提起することがあった

- 次
- V. 平面形態・すべり面構造の分布実態からみたそれ らの分類と相互関係の検証
  - 1. 平面形態分類の妥当性の検証
  - 2. すべり面構造と平面形態の対応関係の検証
  - 3. 平面形態分類と様々な地すべり変動実態
- Ⅵ. 地すべり三次元運動機構
  - 1. すべり面構造による地塊運動の規定
  - 2. 模型を用いた地塊運動様式の再現
  - 3. 三次元運動機構
- VII. 地すべり対策への提言
  - 1. 地すべり調査方法についての提言
  - 2. 地すべり対策方法についての提言
- 摘 要
- 引用文献

が、これを判定する明確な理論がなかった。

地すべり現象は三次元空間において時間的経過を 経て現れるものであるので、重要なのはその運動特性 の時間・空間的把握である。本研究は、多様な運動物 質や運動様式をもつ地すべり現象のなかでも、その典 型と考えられる地塊型平面地すべりについて、近畿地 方中山間地域の災害に直結した地すべり現象を研究対 象とし、どのようなすべり面の場合にどのように運動 して地すべり変動地形を形成したかという地すべり三 次元運動特性を解明することを目的としたものである。

本研究に際して,御指導を賜った北海道大学大学 院新谷融氏,同中村太士氏,山田孝氏,笹賀一郎氏, 清水収氏,菊池俊一氏,並びに同農学研究科環境資源 学ゼミにおいて有益な意見を頂いた大学院生・学生諸 氏,貴重な御意見を頂いた森林空間研究所東三郎氏, 現地資料提供に協力頂いた元兵庫県農林水産部安部優 吉氏,同社土地改良事務所越智実鶴氏,島根県隠岐支 庁農林部,㈱日本海開発コンサルタント浜崎晃氏,日 本基礎技術㈱木村耕治氏,永美章氏,藤井誠人氏,現 地調査ならびに資料提供について御協力を頂いた農林 水産省近畿農政局,京都府農林水産部,兵庫県農林水 産部,和歌山県農林水産部・土木部の関係各位に深く 感謝する。

なお、本論文は北海道大学大学院学位審査論文で ある。

2

# I. 研究方法

# 1. 地すべり地形と運動に関する研究史と課題設定

# 1.1 地すべりの地形分類と運動機構

斜面変動の一つの運動様式である地すべりは,頭 部の滑落崖や末端部の隆起等に特徴付けられる特有の 地すべり地形として現れる。地すべり研究においても, 地すべり地形が,初期段階に取り上げられた(中村 1934)。

地すべり地形やそれを形成した運動は様々であり, 地すべりの分類としては,地すべりが現れる特有の地 質に注目した分類(中村 1955,小出 1955),運動形 態による分類(高野 1960,谷口 1963),運動形式と 物質のタイプを組み合わせた分類(Varnes 1958, 1978),地すべりの発達段階を考慮した分類(山田ほ か 1971)等がある。本論では,運動形態による分類 である高野(高野 1960)の区分をもとに,地すべり運 動の典型として,すべり面に沿って地すべり地塊があ まり乱されることなく移動するものを「地塊型地すべ り」と呼んだ。

地すべり運動様式の共通した特徴は,移動した土 塊が斜面にそのまま残っており,それが再び移動する と云う点である。これによって,地すべりでは地すべ り地形と地すべり運動との相互関係が認められ,地す べり地形が斜面上の土塊のどのような運動によって生 じるかについて,例えば回転すべり・平面すべり等の いわゆる古典的地すべりモデルが示された(Varnes 1958/1978,谷口 1963,藤原 1979)。

地すべり地形という場合,一般には地すべり地形 モデル等に示される地すべり運動を現す地形をいう場 合と、二万五千分之一程度の地形図からも読み取れる もう少し大きな地形規模の等高線の不規則等(高野 1960等)の特徴をいう場合がある。これらは、前者が 地すべり運動直後であって、後者は一定程度の経過を 経た後といった、時間スケールの差に対応する違いで もある。したがって、前者は特に後者と区別するため に、地形変化(高野 1960)、地すべり微地形(木全・ 宮城 1985等), 徴候 (渡・酒井 1975等), 地すべり構 造(大八木 1992)と呼ばれた。本論では、地すべり 変動(藤田 1990)を示す地形であるので、「地すべり 変動地形」と呼ぶことにした。変動地形は、一般には 地殻変動によってできた地形をいう(貝塚 1977)が、 地表変動(東 1979)を明確にするために地すべり変 動にも適用したい。

地すべりの運動の典型は,移動土塊が原形を比較 的よく保ったまま移動することである。これは特別な 面をすべり面として剪断破壊をする特性のためであり (山田ほか 1971),したがって,すべり面を生成しや すい特定の地質または地質構造のところが地すべり地 となりやすい。

地すべり運動の主体である地すべり地塊は,岩盤 地すべりのような典型的なものは,すべり面上の剛体 に近いものを考えることができ,その運動は一般に平 面状すべり面では並進運動,曲面状すべり面では回転 運動と考えられている(Varnes 1958/1978,谷口 1963,藤原 1979)。

その他,東(1979等)は,植生が地表変動に反映 されることを明らかにし,これから山腹における単純 なすべり面との関係で論じることができないクリープ 的現象の実態を明らかにした。

地すべり運動を検討するには色々な運動様式を考 慮しなければならないが、地すべり機構の典型として は、すべり面で剪断破壊し地塊がほぼ原形をたもって 移動する地塊型地すべりがあげられる。

#### 1.2 地すべり地形と運動に関する課題

地すべり災害直後のやや発達した段階の典型的地 すべりを特にその側部に注目して観察すると、以上の これまでの地すべり地形と地すべり運動の相互関係に 関する研究では説明できない、つぎのような地すべり 地塊の非対称形態とされる現象(佐々木 1987)が多く 認められる。

- ・側部の一方が滑落崖となり、他方が陥没帯となる。
   ・頭部滑落崖が両側部に連続するが、末端部で一方が開口状の陥没帯で、他方が閉塞状となる。
- ・側部の一方が押し出し傾向の雁行状亀裂で,他方 が沈下だけの陥没帯となる。
- ・末端部で側部の一方のみに押し出しが現れる。

これらの左右非対称的な形状に関しては、地すべ りの側面キレツにクローズドクラックとオープンクラッ クがあることを、渡・酒井(1975)や藤原(1979)が 取り上げた。クローズドクラックは圧縮されつつ横に 剪断されたもの、オープンクラックは引張られつつ剪 断されたものと考えられ、渡・酒井はこれら二つの組 合せを取り上げ、クローズドクラック側のすべり面の 位置がオープンクラック側より深いことを示唆した。 また藤原は、平面形状との関連や側部と頭部とのつな がりについて言及したが、これらが左右で異なる組合 せには言及しなかった。

藤田(1984)は、崖崩れや盛土斜面のすべり面形 状がスプーン状を呈するのに対して、地すべりのすべ り面は平面状を呈してその面がどちらかに偏している 場合が多く、運動方向は多くの場合いずれか一方の側 面部とほぼ並行であること、そしてこれは土塊内の応 力がいずれか一方に偏している証拠であると指摘した。

これらは、Varnes (1958/1978)の地すべりモデ ルに対して、地すべりの具体的な実態を捉え、それを 説明しようとしたものである。しかし、クローズドク ラック側が必ずしも横断的にすべり面の深くなった部 分ではないこと、両側部がオープンクラックの場合も あること、また、この場合末端での閉塞をクローズド クラックと考えるかどうか等のように、これまでの考 えでは説明できない現象が多くみられる。これは、地 形とすべり面構造と運動との関係が明らかにされてい ないためであり、その解釈によっては地すべり機構お よび対策工の考え方が異なったものとなる。

地すべり運動と地すべり地形の関係を明らかにす るには、地すべり地形を総合的・包括的にそれを形成 した地すべり運動との関係で分析し、その運動を地す べり地塊及び基盤地質の三次元構造(藤田 1984、大 八木 1992、佐々木・新谷 1998、日本地質学会地質基 準委員会 2000)をもとに検討しなければならない。

地すべり現象を地下構造との関係で論じたものに は、地すべり地形の特徴を岩盤形態や土層形態との関 係で論じたもの(佐々木 1974, 猿田 1976), 側部の 断層沿いに側面が形成され、運動方向はこれに平行し、 すべり面の等高線に直角方向ではないことを指摘した もの(大八木ほか 1970,藤田 1984)がある。また申 (1995)は、移動方向とすべり面の最大傾斜方向が一 致するとは限らないとしたが、その機構には言及しな かった。高野(1983)は、ジグザグ的な移動を示す場 合、すべり面が何枚かあってそれぞれ傾斜が異なるこ とに原因すること, また一つの平面すべり面上の地塊 でも、その移動方向が異なることがあることを指摘し た。平面すべり面上の土塊は、重力作用だけでは、す べり方向はすべり面最大傾斜方向となる(Goodman 1992)が、そうでないときは、藤田や高野のような機 構や地下水の作用あるいは他の運動様式等を考える必 要がある。

本論は、この地すべり変動地形と地すべり運動と の関係を検討することを研究課題とした。 2. 研究方法

# 2.1 研究目的

地すべり予知・対策の基礎となるのは地すべりの 運動の解明であるが,前節1.2で述べたような,こ れまでの地すべりモデルでは解釈につかない地すべり 地形の左右非対称性の問題がある。また,その他進行 しつつある地すべり徴候から地すべり運動をとらえよ うとするとき,つぎのような問題があげられる。

- ・地すべり初期段階の徴候として現れる地すべり変 動地形と地すべり地塊運動全体との関係
- ・地すべり地塊全体の運動とその一部の局所運動の 判別
- ・すべり面最大傾斜方向と移動方向の偏差
- 移動方向・移動量がことなる同一平面すべり面上の地塊の運動像

これらの問題に関してはこれまで明確に捉えられ ていなかったので、例えば初期徴候から地すべり運動 をとらえ緊急的な地すべり対策を計画・実施するにあ たって、その対象を過小評価してしまう危険性が考え られる。

これらの問題が想起されるのは、これまでのモデ ルが地すべり運動を運動方向に並行な縦断面上で考え られている二次元的なモデルであるためである。すな わち、三次元的な地すべり運動モデルは確立途上であ り、この三次元運動機構解明の遅れは、調査技術によ る地すべり地塊・基盤地質の三次元構造把握や計測技 術による三次元的地すべり運動把握が困難であるとと もに、解析技術における三次元的運動実態の二次元解 析への投影手法の遅れ等をもたらしている。

これらの問題点は多くが地塊型平面すべりであり, その解明のためには,移動の単元としての地すべり地 塊とその移動状況を明らかにし,地すべり変動地形を 地すべり運動の結果として組み立て,地すべりの運動 実態とその発生機構を反映した地すべり三次元運動モ デルの構築が求められる。平面すべりの地すべり地塊 運動様式は,これまで並進的な運動であることが前提 とされていたが,それには平面的な回転運動を伴うこ と,そして,並進運動が主体であるものと,並進とと もに平面的回転運動をとるものがあること,そして, これらの違いはすべり面の構造によるものであること 等を把握する必要がある。本研究は,斜面の動的実態 に即した対策工法・土地利用方法のために,地すべり 地塊の三次元運動機構を解明し,地すべり変動地形・ すべり面構造・地すべり地塊運動の相互関係を明らか

4

にしたすべり三次元運動モデルを構築することを目的 とする。

# 2.2 地塊型地すべり地の特徴

地すべり現象は様々な移動物質や運動様式をもつ が、地すべり運動形態の研究に当たっては、地すべり 地で起きている普遍的と考えられる地塊移動現象を取 り上げ、これを質的に同一とみなせるものに分類し、 その中で普遍的運動形態を示す運動様式を対象としな ければならない。そのためにまず、本研究では、地塊 型地すべりを主研究対象とした。地塊型地すべりとは、 地すべり地塊がほぼ原形を保ちながらすべり面上を移 動するもので、すべり面の規定を受けないクリープ運 動と比べて大規模な災害をもたらすものである。その 主な意義はつぎのとおりである。

・地すべり運動様式には地塊・崩壊・粘稠・流動型 等があるが、その「典型」は地すべり地塊が下部の すべり面にそって移動する地塊型である。

- ・地すべり「運動の初期段階」においては、地すべり 地塊はほぼ原型を保って移動するが、他の様式は 地塊部分がさらに破壊・崩壊し、流動化したもの と考えられる。
- ・地すべりの進行に伴って、地すべり地塊の頭部で 陥没し末端で隆起する等の変形が著しくなり、こ れらが崩壊・流動に転化していくが、その「運動 主体」はすべり面上をほぼ原形を保って移動する 主地すべり地塊であり、頭部や末端の変形・破壊 を経た地塊は、主地すべり地塊の運動によって形 成された派生地塊である。
- ・主地すべり地塊は、まとまった地塊として移動するもので、地すべり運動の一つの「単元」となっている。
- ・地すべりは、初生的なすべりに多い岩盤すべりに 近いものから、初生すべりがさらに再発するもの、



図-I-1 研究対象地域と調査地すべり地(〇は典型地すべり地)

および、その一部が二次的にす 表-I-1 研究対象地すべり地一覧 べる崩積土地すべり等の各発達 段階にわかれ、その地すべり地 塊を構成するものも発達段階に 応じて岩盤から崩積土に地質構 成が変化していくが、各段階の 地質構成で地塊型が現れる。

これまで一般に粘稠型地すべり が普通の地すべり(高野 1960等)と 捉えられる傾向にあったが、地すべ り発生後大規模な崩壊や流動化に至 るまでの段階においては、平面すべ り面に沿う運動様式をとる地塊型地 すべりが一般的であると考え、地塊 型平面すべりを地すべり予知・対策 の基本となる研究対象であると位置 づけた。

#### 2.3 研究対象地域

地すべり地塊の運動と地すべり 変動地形との関係をみるために、一 つの原形を保った地すべり地塊があ る一つの平面すべり面上を移動する ような地塊型平面すべりを研究対象 とするが、研究地域としては、地塊 型地すべり分布が多く, その災害直 後の野外情報が得やすい近畿地方を 主な対象地域とし、災害に直結した 地すべり地59箇所を調査地として抽 出した。これらは少なくとも災害と して認識されたものであって、災害 時調査によってその地すべり直後の 変動地形が残存していた地塊型地す べり地と考えられる個所である。そ の中には、短期間に運動し、変動地 形が地表に明確にほぼ連続して現れ た発達した段階に達しており、運動 履歴が地表形状から推定しやすい地 すべり地があった。これらの中から、 本研究で地塊型平面すべりの二つの 類型を示すと考えた黒谷地すべり地・ 狸谷地すべり地の2ヶ所を典型地す べり地とし、変動地形とすべり面構 \*これちのうち№1,37が典型地すべり事例 造分析の対象とした(図-I-1.

(佐々木・新谷 2000aより)

No.	地名	府県	地質系統	<b>幅*長</b> さ *m	災害年	備考
1		京都	更新統	30*70	1983	
2	吐山	奈良	新第三系	30*35	91	
3	馬場	和歌山	中古生界	10*13	82	
4	樫井川	大阪	更新統	130*190	84	
5	舟ン谷	和歌山	新第三系	180*180	74	
6	香住	兵庫	新第三系	85+100	73	初期発生は'71
7	成相	兵庫	白亜系	50*50	93	
8	西吉野	奈良	中古生界	70+50	90	
9	瑞穂	兵庫	新第三系	30*40	89	
10	戸田朽	兵庫	新第三系	20*50	83	
11	東条	兵庫	新第三系	65*60	86	
12	小谷	京都	更新税	35*8	86	
13	毘沙門	兵庫	新第二糸	50*65	89	
14	米田	兵庫	新弗二杀	25*25	91	
15	上對	和歌曲	新弗二米	130#250	82	
10	中正	矢岸	初弗二米	00+00	89	
10	[11] - 11- ANA 159	伯政川	初界二术	20#20	00 74	
18	「日本」	大単	<b>新兜二术</b> 车管三叉	70=00	(4 76	
19	大座	·	初示二术	20420	10	
20	11. 首田	大岸	初第二末	45+25	0% 90	
21	東西	大岸 丘南	初第二年		03	
22	비지국 1074	大岸	初步二年	60#100	86	
24	方小 京北	<b>方</b> 和	中古生界	100+100	85	初期發生け'39
25	上野	二言	更新統	70+25	93	UM/CILIE 00
26	潼	<u>一</u> 二 一	中古牛界	90*35	90	
27	住吉	兵直	白雨系	130*30	95	
28	東田	兵庫	新第三系	85+90	85	
29	北加	兵庫	新第三系	60*300	87	
30	東田	兵黨	新第三系	170+80	82	初期発生は'60
31		京都	更新統	150*50	80	
32	東	兵庫	新第三系	90+50	91	
33	東本庄	和歌山	古第三系	35*25	89	
34	吉川	兵庫	新第三系	25*16	89	
35	里西	京都	更新統	45*80	84	
36	徳光	京都	新第三系	90*150	81	
37	黑谷	兵庫	更新統	95*70	74	
38	船木	兵庫	新第三系	200+140	94	調査は'99
39	大沢	兵庫	新第三系	80#70	75	
40	東田	兵庫	新第三系	60*25	91	
41	豊岡	兵庫	新第三系	110+180	73	
42	戸田峠	兵庫	新第三系	20*70	83	
43	奥谷	兵庫	新第三系	25*30	91	
44	初湯川	和歌山	中古生界	<b>70*</b> 100	85	
45	川代	兵庫	中古生界	5*10	85	
46	<b>局子</b> ケ原	兵軍	見新統 二十十日	140*200	95	
47	日野	<b>抵貨</b>	甲古生界	110*40	91	
48	学習出原	<b>京都</b> に言	中古生养	40#40	90	
49	金云	火岸	新売二米	30#45	(9	
50	人局	大単	利弗二米	00#30 60#15	00 74	
51	17 円	大学	大府航 新留口で	00#10 45#25	(4 60	
02 52	尾び門	大學	<i>而</i> ;	10+30 10+95	02	
53	がたのない	大早	〒日主が 由士生男	20#60 95#95	92 Q1	
54	二月月	- オペ 和野山	てロエが 士管ニズ	20#20 65#70	9E 91	
55	(門) 亚·纽加	加吸川	口示二术 由士生星	65+20	00 00	
50	「市田」	- 不尺 和野山	〒口主介 新館三丞	30#5	60 39	
58	遺	*55	のの一不 更新統	30#15	Q1	
59	淹烟	<u>大阪</u>	<u>中古生界</u>	30*10	83	

表-I-1)。

地質構成を古第三紀までの基盤岩と新第三紀以降の 被覆層に分けると、近畿地方を含む西南日本は、基盤 岩が広く地表に露出しており、東北日本と好対照をな す。これは、東北日本では新第三紀以降活発な火山活 動があったのに対し、西南日本ではこれが少ないこと による。また、近畿地方は、その地形は緩やかなうね り構造をしており、活断層沿いの断層崖を除くと比較 的起伏量が少ない(藤田1985)。このため、今回の研 究対象とする地塊型の地すべりが現れやすいといえる。

各地すべり地の主な災害発生年は1973年から1995年, 地すべり地の地質は中古生代から第四紀に及び,その 規模は10m×100mから200m×200mまでであった。

# 2.4 研究方法

研究は、まず典型地すべり地を対象として、変動 地形をモデル化し、平面形態分類を行い、変動地形を 形成した運動様式について仮説を提示し、形態分類の 妥当性を検証する地すべり地形研究を行った。つぎに、 同じ典型地すべり地において、運動主体である地すべ り地塊構造および運動を規定するすべり面構造を考察 し、平面形態とすべり面構造の関係について仮説を提 示し、これを検証するすべり面構造研究を行った。こ れらの典型地すべり地においては、現場計測データは 得られていないので、同様な平面形態・すべり面構造 を有する現場計測データをもとに運動実態を取り出し、 変動地形から類推した運動様式の仮説を検証する運動 実態研究を行った。

以上の研究結果を総括し、どのようなすべり面構 造のときに・どのように地塊が運動し・どのような変 動地形が形成されるかという地すべり三次元運動機構 解明と、地すべり変動地形・すべり面構造・地すべり 運動の相互関係モデル構築を試み、今後の地すべり対 策への適用について提言した。

# Ⅱ. 地すべり地の平面形態

- 1. 地塊型地すべり地の変動地形の実態
- 1.1 典型地すべり地の変動地形調査結果

平面すべりの地塊型地すべりの典型事例として, 一日で6~7m移動して終息した黒谷地すべり地・狸 谷地すべり地2ヶ所をまず取り上げ,その地すべり変 動地形の特徴を調査した。その結果を表- $\Pi$ -1と図- $\Pi$ -1,  $\Pi$ -2に示した。

なお,変動地形を示す用語はつぎのように定義した。

- ・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。
- ・亀裂:滑落崖のように落差を伴わないもの。
- 滑落崖(閉塞):滑落崖の下の滑落面に移動地塊 が接しているもの(クローズドクラック)。開口 幅は,1mm未満とした。
- ・滑落崖(開口):滑落崖の下の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。
- ・側部:変動地形形成方向が、移動方向に対して平行から45°の開きのものまでとした(瀬野 1995の横ずれ断層の定義を参照)。
- ・横ズレ:側部滑落崖に向かって横方向(すなわち 移動方向)にズレが大きく認められるものは大。
   その大きさは、移動量とほぼ同程度である(ズレ がほとんど認められないものは小)。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。

表-Ⅱ-1	地すべり変動地形典型事例調査	結果(佐々木・新谷 2000c より)
-------	----------------	---------------------

No	,地 v·名	府県	地質系統	幅*長さ	年(代)	又 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		ÿ	領部	右側部			左側部	末端	部	頭部	右側部	左側部	末端部	(day)	(m/d	ay)	
37	黒谷	兵庫	更新統	95 * 70	74	初陥	<b>备没带</b> 陥没	带	α	横	ズレ陥没帯α	t 🕅	起	7	3	7	7	1	7.0	並進・回転	I
1	狸谷	京都	更新統	30 * 70	83	二 次 液	諸崖横ズ	レ滑落崖	β	横	ズレ滑落崖a	t 押	LH	ዘ 6	6	6	10	1	6.0	並進	П
*	* α:引張変形、αt:引張変形(横ズレ大)、β:剪断変形、γ:圧縮変形																				
* 7	*移動速度=側部最大移動量-移動期間																				





図-Ⅱ-1 黒谷地すべり地地質調査結果



図-Ⅱ-2 狸谷地すべり地地質調査結果

# (1) 黒谷地すべり地

[変動地形]

頭部は陥没帯を伴う滑落崖である。右側部は頭部 と連続する陥没帯であるが,末端付近では閉塞してい る。左側部も頭部と連続する陥没帯であるが,横ズレ 大の陥没帯となり,末端部まで開口している。末端部 は,左側で隆起を伴う山側への回転と押出しが顕著で, 右側で押出し兆候と斜面崩壊が認められた。 [移動状況]

頭部が7m,右側部が3m,左側部が7m,末端

部は左側で7mである。左右側部では左側部の移動量 が大きい。豪雨を契機に移動を開始し、約1日でこの ような形状となった。

(2) 狸谷地すべり地

[変動地形]

頭部は滑落崖でその下部が陥没帯状になっている。 右側部は移動方向に並行な横ズレ滑落崖,左側部は末 広がりの横ズレ滑落崖,末端部が流動を伴う押出しで ある。

[移動状況]

頭部・左右側部の移動量はほぼ同程度の約6m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。長雨の後に移動を開始し,約1日で このような形状となった。

# 2. 地すべり変動地形の分類

#### 2.1 地すべり変動地形を形成する地塊変形

地すべり変動地形は地すべり地塊運動によって形 成される。地すべり地塊およびその周辺地盤は,地す べり運動によって変形をうける。変形は一般に,応力・ 歪の変形の程度によって弾性もしくは弾塑性変形から 降伏,破壊にいたる(太田 1989)が,地すべり変動 地形は,変形の種類と程度によって,様々な形態をと ると考えられる。変動地形と地塊運動の関係を検討す るときは,様々な地すべり変動地形を類型化してとら えることでその単純な関係に還元できる。

平面上の地すべり地塊の運動によって、その周囲 にどのような変形が生じるかを考察する。物体は外力 によってその内部に応力を誘起すると同時に、変形し 歪を生じる。応力とこれに対応した歪の種類には、引 張・圧縮・剪断がある(秋田大学鉱山学部編 1979) が、地すべり地塊の運動に対しては、模式的につぎの ような変形を考えることができる。

- 運動方向の反対側方向に直行する面:引張変形
- ・運動方向と平行方向の面:剪断変形
- 運動方向に直行する面:圧縮変形

また,地すべり地塊各部位において,これらの変 形によってどのような変動地形が現れるかを模式的に 示した(図- II - 3)。

[頭部]

運動方向の反対側方向に直行する面であるので, 引張変形を受ける。引張変形に伴う破壊性状は,引張 方向と直行方向の分離破壊あるいは引張方向に対して 45+ ¢ /2の角度の剪断破壊(主働破壊)となる。初 期徴候は開口状の亀裂となるが、岩盤のように分離破 壊面が自立する場合は裂かが形成され、自立しない場 合は剪断破壊(主働破壊)し、陥没帯(写真-Ⅱ-1) もしくは滑落崖が形成される。

[側部]

運動方向と平行方向の面では剪断変形をうける。 この部分では、剪断破壊による横ズレ亀裂となる。地 すべり地塊はすべる傾斜角と地形勾配との関係で、亀 裂に沿って沈下もしくは隆起する。沈下の場合は滑落 崖(写真-Ⅱ-2)を形成する。

運動方向とある角度をもつ面では、頭部と同じよ うに引張変形を受け、分離破壊・裂かが形成されるが、 分離面が自立しない場合は、滑落崖もしくは陥没帯が 形成される。この場合、横ズレが大きく現れるもの (写真 – II – 3,ただしこれは引張変形部分が横ズレ を伴う亀裂帯である)と、小さいものとがある。

これまで側部に関しては、古典モデルでは側面キ レツあるいはその初期形状の雁行状キレツのみが取り 上げられており、渡・酒井(1975)がクローズドクラッ クとオープンクラックの指摘にとどまっているが、実 態としてはこの他さまざまなものが現れている。これ らは、地すべりの移動量の差によっても異なるもので あるが、これらを形成した変形を検討すると、剪断変 形と引張変形に分類されることがわかる(図-II-4)。 [末端部]

すべり面が直接地表に現れる末端開放の場合は, 剪断破壊による地すべり地塊の押出しとなる(写真-Ⅱ-4)。

すべり面が直接地表に現れない場合は、運動方向 に直行する面において圧縮変形を受ける。圧縮変形に 伴う破壊性状は、圧縮方向に対して45- ¢/2の角度 で剪断破壊(受働破壊)し隆起する。圧縮方向に平行 な垂直面では、分離破壊し地表に縦亀裂が生じる場合 がある。

# 2.2 典型地すべり地における変動地形を形成する 地塊変形

典型地すべり**地**における変動地形の特徴から,各 部位の変形を考える。

(1) 黒谷地すべり地

・頭部は陥没帯で引張変形である。

・右側部は斜交方向に形成された陥没帯を伴う滑落
 崖で,滑落崖から引き離される方向に移動した引



引張変形に伴う分離破壊による裂か







引張変形に伴うセン断破壊による滑落崖

(頭部)



主すべり面のセン断破壊による押出し



圧縮変形に伴うセン断破壊による隆起



「: セン新応力 ø: 垂直応力
 圧縮変形に伴う分離破壊による縦亀裂
 (セン斯破壊による隆起を伴う)
 (末端部)

図-Ⅱ-3 地すべり地塊各部位の変形・破壊形式と 変動地形



図-Ⅱ-4 側部変動地形の種類 (佐々木・新谷 2000aより)



**写真 – Ⅱ – 1** 頭部陥没帯

**写真 – Ⅱ – 2** 側部滑落崖 (横ズレ大・閉塞)

**写真 - Ⅱ - 3** 側部亀裂 (横ズレ大・開口)

**写真**-Ⅱ-4 末端部押出し (すべり面沿い)

平面形 態分類	模式平面形態	各部位の変動地形の変形           平面形態         頭部         側部         末端部						
·I	ai ai	引張変形 α (陥没帯)	引張変形 α t (陥没帯)	引張変形 α (陥没帯)	圧縮変形 <i>γ</i> (隆起)	平面P		
П	β γ	引張変形 α (滑落崖)	剪断変形 β (滑落崖)	引張変形 α t (滑落崖)	圧縮変形 γ (隆起)	平面P		

**表一Ⅱ-2** 地すべり変動地形の形態分類(佐々木・新谷 2000aより)

\* αt: 横ズレが大きな引張変形

\*():変動地形の例

張変形である。陥没帯が末端付近で閉塞する。

- ・左側部は斜交方向に形成され横ズレ大の陥没帯を
   伴う滑落崖で、滑落崖から引き離される方向に移動した引張変形である。
- ・末端は隆起を伴う押出しの圧縮変形である。
- ・左側部のみが横ズレ大となる。
- (2) 狸谷地すべり地
  - ・頭部は滑落崖で引張変形である。
  - ・右側部は移動方向に並行に形成され横ズレ大・閉 塞性の滑落崖であり、その延長線上で、地すべり 地塊が隆起する側部すべり面沿いのすべりである 剪断変形である。
  - ・左側部は斜交方向に形成され開口性の滑落崖で2
     ~3mの幅を経て横ズレ大であることが認められる。これは、右側部のように側部滑落崖沿いのすべりではなく滑落崖から引き離される方向に移動した引張変形である。
  - ・末端は隆起を伴う押出しの圧縮変形である。
  - ・両側部で横ズレ大となる。

# 2.3 変動地形の分類

地すべり変動地形の形態分類には、側部変動地形 の特徴を考慮しなければならない。側部変動地形の特 徴を捉える方法としては、クローズドクラックとオー プンクラックに、あるいは滑落崖と陥没帯に区分する 等があるが、これらは多様な形態を包括しにくい。地 すべり変動地形は地すべり運動の反映と考えられるの で、ここではその多様性を出現させた地すべり地塊運 動に関する変形要素に還元し、地すべり変動地形を分 類することを試みた。

典型的地すべり地の変動地形は、一般に頭部に形 成された滑落崖や陥没帯が、一方の側部にのみ連続す る共通した形態が見られる(佐々木 1991)が、他方 の側部の変動地形形成要因は同一と見るべきではない。 今回上記の運動に関る各部位の変形要素の検討から、 頭部と末端部はいずれもそれぞれ引張変形と圧縮変形 であるが、側部を形成した変形は、引張変形・引張変 形の組合せと引張変形・剪断変形の組合せに区分され た。先の2.1で検討したように、一般的に側部は剪 断変形と引張変形に分かれるが、両側部の組合せとし ては、これらの二つが地塊型地すべりの二つの類型を 示すものである。ここでは、表-Ⅱ-2のように前者 を平面形態Ⅰ,後者を平面形態Ⅱと整理した。横ズレ 性を考慮すると、平面形態 Iは、側部の一方のみが横 ズレ大となり, 平面形態Ⅱは, 両側部で横ずれ大とな る。黒谷地すべり地は平面形態 I, 狸谷地すべり地は 平面形態Ⅱに分類される。

3. 平面形態からみた地すべり地塊の運動様式

3.1 地すべり地塊の運動

各分類における各部位の変形が、どのような地塊 運動によって現れたかについて以下検討する。ここに 取り上げた典型地すべりの事例は、地すべり地塊がほ ぼ原形を保ったまま大きく移動したものであることか ら、つぎのような条件を考えることとした。

- ・地すべりは、特定のすべり面沿いに剪断破壊する ものであり、この運動によって地すべり地塊の周 辺は変形を受けるが、地すべり地塊そのものは、 剛体にちかい有限の物体とすることができる。
- ・一般に、有限の大きさと一定の形をもっている物体に外力を加えると、その物体は座標の位置を変えるとともに大きさと形を変えながら運動する。その変位・変形は、並進(平行移動)・回転・膨張・ゆがみの4つの要素に分解して考えることができる。このうち、並進と回転が、剛体の重心の直線運動とそのまわりの回転運動として表すことができる要素である(垣見、1978)。本研究で取り上げた地塊型地すべりの移動地塊が剛体的であると考えると、その運動は並進と回転とになる。
- ・地すべり地塊の運動をもたらす外力の種類・程度
   についての議論は、ここにいれない。

本研究対象とする典型的地すべり地の地塊運動は, 以上のような条件のもとでは,運動学(kinematics) モデルで物体の運動を取り扱う(Goodman 1976)こ とができ,地すべり変動地形は,地すべり地塊の剛体 的な並進もしくは回転運動による地塊周辺の変形であ るとすることができる。

#### 3.2 平面形態分類と地すべり地塊運動

地すべり地塊を剛体的なものとした場合,各平面形 態を形成した平面すべり面上の地塊運動について,つ ぎのような仮説を提示した。

- ・平面形態Iは、一つの側部は横ズレ大の引張変形 であり、もう一方の側部が横ズレ小の引張変形と なっている。これは並進運動だけではなく、移動 量が大きく横ズレ大の引張変形側を円周側とし、 末端付近で滑落崖と地すべり地塊が閉塞している 横ズレ小の引張変形側が中心側とする平面的回転 運動を示すものと考えられる。
- ・平面形態Ⅱは、一つの側部は移動方向に並行な横 ズレ大の剪断変形であり、もう一つの側部も横ズ レ大の引張変形であるので、一つの側部で剪断変 形を受けながらの並進運動と考えられる。

#### Ⅲ. すべり面三次元構造

#### 1. 地すべり地塊構造

各平面形態の典型地すべり事例の地すべり地塊構 造は、地表地質調査・ボーリング調査(兵庫県北淡町 1975, 兵庫県洲本土地改良事務所 1993, 京都府木津 町 1983) および先のⅡ.1, Ⅲ.2 で考察した変動地 形の変形性の特徴から、地すべり地塊はつぎのような 構造であることがわかる。

(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。 [地すべり地塊下部の剪断変形を示す底部すべり面]

底部すべり面は,地すべり地塊がほぼ原型を保っ て移動した地すべり地塊下部において,基盤と地すべ り崩土の境界面(狸谷)や基盤の砂層と粘土層の境界 面(黒谷)等の地質的境界面等に形成されるすべり層 である。

[地すべり地塊側部の剪断変形を示す側部すべり面]

側部で剪断変形する部分(狸谷)は、すべり面の 一種で側部すべり面となる。狸谷では地質的境界面で はなく、底部すべり面上の地すべり地塊の剪断的な変 形で、地すべり崩土中に二次的に形成された剪断破壊 による地すべり層である。

[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]

主働破壊面沿いは,地表部で滑落崖下部の沈降部 がゾーンを形成し,断面的に円弧状(狸谷)~急角度 の直線状(黒谷)になる。

[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〕

受働破壊面沿いは,地表部で隆起・押出し部がゾー ンを形成し,断面的にすべり面が円弧状~直線状をな す。

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ともに 側部すべり面を合わせて主すべり面とした。

主働破壊面・受働破壊面は、地すべり地塊運動に よってその周囲に形成される引張変形・圧縮変形にと もなう剪断破壊面であって、地すべり地塊が直接すべ り層に接し,すべり層が剪断変形し剪断破壊面を形成 する主すべり面とは異なるものである。

なお, Terzaghi & Peck (1969) は, 主働崩壊面 上の土塊が推力となり, 水平部分の土塊を押し出し, 受働破壊に至る機構を考えた。この考え方は, 申 (1989) や玉田・福田 (1987) のくさび (Wedge) と して沈下し潜在すべり面からすべらせる要因となる考 え方と一致するものである。本論では, くさび (Wedge) に当たるものを運動の結果と位置づけ, こ の形成に伴い推力を構成するものであると考えること にした。

(2) 地すべり地塊の構成要素

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 つぎの部分に区分した(図-Ⅲ-1)。

[底部すべり面上の主地すべり地塊]

主地すべり地塊は、底部すべり面に沿ってほぼ原







弾性〜塑性的な地塊の平面すべり (地すべりの頭部が主備破壊・末端部が受機破壊となる)



塑性的な地境の円弧すべり (地境が崩土化して平面状の主すべり面が短くなると 主備破壊面と受備破壊面が連続し回転すべりとなる)

図-Ⅲ-1 地すべり地塊の構成要素 (佐々木・新谷 2000c) 型を保って移動する地すべり運動の主体をなすもの。 平面形態IIでは、一つの側部は側部すべり面となる。 [頭部の主働破壊面沿いの地すべり破砕部である派生 地塊・引張変形地塊]

主地すべり地塊運動によってその頭部や側部に形 成される引張変形にともない、剛体的な地塊では裂か となるが、弾性〜塑性的な地塊では主働破壊し、主働 破壊面上の破壊・撹乱部が、派生地塊である引張変形 地塊となる。

[末端部の受働破壊面沿いの地すべり破砕部である派 生地塊・圧縮変形地塊]

地すべり地塊運動によって、剛体的な地塊等にお ける末端開放状態では、その末端部においては主すべ り面沿いの押出しとなるが、弾性〜塑性的な地塊等に おける末端閉塞状態では圧縮変形にともなって受働破 壊し、受働破壊面上の破壊・撹乱部が、派生地塊であ る圧縮変形地塊となる。

主地すべり地塊が弾性〜塑性的な場合は,頭部に 引張変形地塊,末端部に圧縮変形地塊が現出するが, 主地すべり地塊が岩盤等のように剛体的な場合は,頭 部引張変形部は裂かとして現出する。また,地すべり 地塊が崩土化し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,回転すべり面を形成 し,地すべり地塊は引張変形地塊と圧縮変形地塊から 構成されることになる。

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、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。

# 2. すべり面三次元構造モデル

# 2.1 モデル化の条件

以上の各形態の地すべり地塊構造から、つぎのように地すべり地塊運動を規定する主すべり面の三次元 構造をモデル化した(図-Ⅲ-2)。

モデル化に当たっては、つぎのような条件を与え



図-Ⅲ-2 すべり面三次元構造モデル (佐々木・新谷 2000cより)

- た。
  - ・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。
  - ・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。
  - ・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。
  - ・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。
  - ・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、主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。

# 2.2 すべり面構造

(1) 構造 I

平面形態 I の基本すべり面構造は,底部の剪断変 形のすべり面がすべり方向に並行もしくは斜交し,地 表には現れないものである。地すべり地塊の頭部およ 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。これを構造 I とする。

# (2) 構造Ⅱ

平面形態Ⅱの基本すべり面構造は,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。地すべり地塊の頭部および反対側 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。これを構造Ⅱと する。

これらは、ともに各平面形態における変動地形の 変形の組合せと対応するものであるので、平面形態Ⅰ・ Ⅱのすべり面構造モデルとする。

# Ⅳ. 現場観測データによる運動様式の検証

# 1. 移動杭と孔内傾斜計観測結果による運動実態

- 1.1 調査方法
- (1) 調査方法

前章までで,典型地すべり地における変動地形解 析およびすべり面構造解析によって,平面形態 I・II とほぼこれに対応するすべり面構造 I・IIを抽出した。 また平面形態の特徴をもとに,地すべり地塊を剛体と 仮定した場合の運動が,平面形態 I では並進・平面的 回転運動,平面形態 II では並進運動となる仮説を提示 した。

本章では、その運動が実際どのようなものである かを、各平面形態・すべり面構造を有する二か所の地 すべり地現場観測データから検証を試みることにする。 典型すべり地では現場観測データが得られていなかっ たので、表面移動量を移動杭、地中移動量を孔内傾斜 計によって観測された平面形態 I ・すべり面構造 I の 船木地すべり地(兵庫県 1995、佐々木・新谷 2000b)、 平面形態 II ・すべり面構造 II の山田地すべり地(島根 県 1989、子川ほか 1991、来海ほか 1991)を選定し た。

(2) 運動パラメータ

観測された運動データからその運動パラメータを つぎのように求めた。

並進量(m):左右側部移動量の小さい方とする 回転量(m):左右側部間移動量差とする 換算回転量(m):両側部での移動量が得られてい ない場合は、ブロック幅から、つぎのように換算回 転量を求めた

回転量×(ブロック幅÷左右間距離) 回転角(rad):左右側部の移動量の小さい側を回 転軸,左右側部間距離を回転半径とし,次式で表す 回転角=円周÷半径=回転量÷左右側部間距離

並進速度:並進量の移動速度とし,次式で表す 並進速度=左右平均移動量:移動期間 回転速度(mm/day):回転量÷移動期間 角速度(rad/day):平面的回転量の移動速度とし、 次式で表す

角速度=回転角÷移動期間 回転度:回転量÷並進量とする

 2 平面形態 I の並進・平面的回転運動(船木地 すべり地)

(1) 変動地形

頭部には落差30~110cmの滑落崖が幅140mにわた りほぼ連続して形成されている。側部には、地すべり 発生時には、左側部は頭部滑落崖形成方向の延長上に 断続する亀裂が認められ、右側部は雁行状に亀裂が形 成され下半部は隆起に転じていた。末端部は、目視で は明瞭な変状は認められていなかった。

このように各部位の変動地形がほぼ連続して現出 する発達段階のものではないが,左側部が頭部滑落崖 の延長で横ズレ成分の少ない引張変形,右側部が頭部 滑落崖と直行する方向で横ズレ成分が現れやすい引張 変形の特徴は,右側部付近を中心とする平面的回転運 動の反映であると考えられ,平面形態 I に分類された。

(2) すべり面構造

基盤の神戸層群泥岩層の上面を岩盤等高線として 表した。岩盤面がほぼすべり面となっており,移動の 主体である地すべり地塊(主地すべり地塊)の主要な すべり部分(主すべり面)の構造は,ややゆがんだ一 つの平面となりその傾斜方向は概ねS60Wである。これはすべり面構造Iを示す。

地すべり地塊の層厚は,主すべり面に分布する地 塊部分でおおよそ13~16mである。

(3) 地すべりブロックの領域区分

移動杭観測結果によって、垂直移動量が水平移動 量の2倍以上を示す沈下の著しい引張変形地塊、主す べり面の傾斜角は約6°(地表面勾配10°)とほぼ平行 な移動を示す主地すべり地塊、隆起部分である圧縮変 形地塊に区分された。

(4) 地すべり地塊運動(表-N-1, 図-N-1)

当地区は、平面形態 I ・すべり面構造 I であり、 変動地形の特徴は右側部付近を中心とする平面的回転 運動を反映するものと考えられたが、現地観測データ によっても、主地すべり地塊の地表部で、並進速度 6.2mm/day、角速度4.8×10<sup>-5</sup>rad/dayの平面的回転 運動、すべり面沿いに並進速度5.0mm/day、角速度 8.6×10<sup>-5</sup>rad/dayの平面的回転運動が認められた。

これによって、平面形態 I ・すべり面構造 I の地す ベリブロックにおける、地すべり地塊の平面すべり面 沿いの並進・平面回転運動の一つの例証が得られた。 なお、回転量/並進量で示される並進成分と回転成分 の割合は、地表部で1.1、地中部で1.6であった。

			右側 移動量	水平 (mm)	垂直 (mm)	左側 移動量	水平 (mm)	垂直 (mm)	左右間 距 離 (mm)
		引張変形地塊	I -7	101	-255	I -9	58	-88	40,000
\$1	移動杭	主地すべり地塊	П-7	141	-16	П-11	87	-36	80,000
船木		圧縮変形地塊	П-5	141	41	Ш-12	55	2	140,000
	孔内傾斜計	主地すべり地塊	No.4	11		No.5	5		70,000

表-Ⅳ-1 船木地すべり地運動パラメータ

\* 並進量: 側部移動量の小さい方

\*回転量:左右側部移動量の差

\*換算回転量=回転量×(ブロック幅140m÷左右間距離)

\*回転速度=換算回転量÷移動時間

\*回転角≕回転量÷左右間距離

\*角速度=回転角÷移動距離

\*回転度=換算回転量÷並進量

1.3 平面形態Ⅱの並進運動(山田地すべり地)
 (1) 変動地形(付図−Ⅳ-1)

頭部には、開口亀裂が発生した。右側部には、隆 起を伴う圧縮されつつ横ズレる閉塞性亀裂、左側部に は横ズレを伴う開口性亀裂が発生した。これより下の Na 4 孔から下部は、やや方向をかえ、これらの亀裂は 不明瞭となり、末端部焼野川に面して、側方侵食が活 発であった。

このように、上半部では、一方の側部が剪断変形、

他方の側部が引張変形の特徴を示し, 平面形態Ⅱに分 類された。

(2) すべり面構造(付図-N-1,付図-N-2)

底部すべり面を形成するのは,厚さ1~3mの粘 土層でほぼ平面状に分布する。末端方向と右側部側に 緩やかに傾斜し,底部すべり面が深くなる右側部に沿っ て,急傾斜の側部すべり面が形成され,これら底部す べり面と右側部の側部すべり面の2面がクサビ状構造



\*ベクトルは各側部での移動量と方向を表示 \*右側部移動量は並進量、左側部移動量は並進量+換算回転量(mm/14day) \*矢印の横の数字は垂直移動量(mm/14day) \*角速度ω(×10-5×rad/day)

図-Ⅳ-1 船木地すべり地運動模式図

並進量 (mm)	並進 速度 (mm)	回転量 (mm)	換 算 回転量 (mm)	回転速度 (mm/day)	回転角 (red)	移動 期間 (day)	角速度 (red/day)	回転度	運動 様式
58	4.1	43	151	10.8	1.1×10 <sup>-3</sup>	14	7.9×10 <sup>-5</sup>	2.6	
87	6.2	54	95	6.7	6.7×10 <sup>-4</sup>	14	4.8×10 <sup>-5</sup>	1.1	並進・
55	3.9	86	86	6.1	6.1×10 <sup>-4</sup>	14	$4.4 \times 10^{-5}$	3.3	中面的回転
5	5.0	6	12	12.0	8.6×10 <sup>-5</sup>	1	8.6×10 <sup>-5</sup>	1.6	

をなす。これはすべり面構造Ⅱを示す。

地すべり地塊の層厚は,主すべり面に分布する地 塊部分でおおよそ 5 ~14.5mである。

 (3) 地すべり地塊の並進運動(表−Ⅳ-2,図−Ⅳ-2, 付表−Ⅳ-1,付表−Ⅳ-2,付図−Ⅳ-3, 付図−Ⅳ-4)

当地区上半部は、平面形態Ⅱ・すべり面構造Ⅱで あるが、現地観測データによって、地表部でほぼ同一 方向S14Wに並進速度0.24mm/day、すべり面沿いS方 向に並進速度0.11mm/dayの並進運動が認められた。

孔内傾斜計でのすべり面付近の地中移動量と移動 杭での地表面移動量を比較すると,地表部移動量の方 が約2倍となり,移動方向も少し差異がある。これは, 地すべり地塊の塑性的変形の反映と考えられた。

このすべり面構造 II に規定された地塊の並進運動 によって,頭部には引張変形による亀裂,側部すべり 面のある右側部には剪断変形の横ズレを伴う亀裂,左 側部には引張変形の横ズレを伴う亀裂が発生したと考 えられる。

底部すべり面傾斜方向はS32Wであるが,地塊移 動方向はS14Wであった。これは,すべり面構造Ⅱの 二つのすべり面交線方向がS14Wであり,これに規定 されものと考えられる。



\*右側部移動量は並進量、左側部移動量は並進量+換算回転量(mm/97day)

- \*矢印の横の数字は垂直移動量(mm/97day)
- \*角速度 $\omega(\times 1.0-5\times rad/day)$

図-Ⅳ-2 山田地すべり地運動模式図

			右側 移動量	水平 (mm)	垂直 (mm)	左側 移動量	水平 (mm)	垂直 (mm)	左右間 距 離 (mm)
	移動杭	主地すべり地塊	I -2	22	0	I -6	23	-5	67,000
山田	了内佰公計	主地オベル地地	No.1				9		
	J L P J 199 7 4 1	土地サンウ地域	No.2				7		

表-Ⅳ-2 山田地すべり地運動パラメータ

\* 並進量:側部移動量の小さい方 \*回転量:左右側部移動量の差

\* 凹転車・圧石側部検動車の左

\* 換算回転量=回転量×(ブロック幅÷左右間距離) \* 回転速度=換算回転量÷移動時間

\*回転角=回転量÷左右間距離

\*角速度=回転角÷移動距離

\*回転度=換算回転量÷並進量

# 1.4 平面的回転運動と並進運動のパラメータ比較

以上の結果によると、船木地すべりでは主地すべ り地塊において、すべり面で角速度8.6×10<sup>-5</sup>rad/day、 地表部で角速度4.8×10<sup>-5</sup>rad/dayの平面的回転運動 が確認された。これにはすべり面で5.0mm/day、地表 部で6.2m/dayの並進運動を伴うことが確認された。 また、この主地すべり地塊の運動によって、上部(頭 部)には沈下を伴う4.1mm/dayの並進運動と角速度7.9 ×10<sup>-5</sup>rad/dayの平面的回転運動、下部(末端部)に は隆起を伴う3.9mm/dayの並進運動と角速度4.4×10<sup>-5</sup> rad/dayの平面的回転運動が認められた。これに対し、 山田では平面的回転運動が認められた。これに対し、 山田では平面的回転運動を想定した角速度は1.5× 10<sup>-7</sup>rad/dayであって、ほぼ並進にちかいことが確認 された。並進運動はすべり面で0.11mm/day、地表部 で0.24mm/dayであった。

このように,現場観測データによって平面形態 I・ すべり面構造 I を呈する船木地すべり地で並進・平面 的回転運動,平面形態 II・すべり面構造 II を呈する山 田地すべり地で並進運動を認めることができた。

回転量/並進量で示される並進成分と回転成分の 割合は,船木地すべり地では地中部で1.6であるが, 山田地すべり地では0.04であった。並進運動と平面的 回転運動様式は,ある程度相対的なものともいえるが, 角速度もしくは回転度を比較すると,量的に明らかに 異なるものであることがわかる。

# 2. 各種計測結果による運動実態

#### 2.1 移動量調査による運動実態

地すべり変動地形調査結果(次章の表-V-1) の中から,変動地形等によって頭部・側部・末端部の 移動量を測定できたものを表-Ⅳ-3にまとめ,運動 量をつぎのように取り出した。

(1) 運動パラメータ

先の1.3(1)の運動パラメータと同じとする。

ここでは,左右側部の移動量を,地すべり地塊の側 部方向両端での移動量とみなしてもとめたものである。 (2) 運動実態

表-IV-3に取り上げた各地すべり地は,変動地 形の形状や左右移動量の差が比較的明瞭に現れたもの であるが,つぎのような特徴が考えられる。

平面形態 I では, 角速度2.2×10<sup>-4</sup>~5.9×10<sup>-2</sup> rad/dayの平面的回転運動を示す。

平面形態 I では,角速度が0~3.5×10<sup>-3</sup>rad/day である。このうち,すべり面構造 I では回転角は 0 radで,構造 I では1.4×10<sup>-3</sup>~3.5×10<sup>-3</sup>rad/day であ る。すなわち,平面形態 I において,構造 I は並進で あるが,構造 I である特殊ケースでは平面形態 I と同 様な平面的回転運動様式を示す。

(3) 平面的回転運動の特徴

最大移動量と回転角・角速度は正の関係にあるが、 回転度とは負の関係にある(図-N-3, N-4, N-5)。これは、移動量が大きいほど平面的回転角が大 きくなり速度も大きくなるが、並進成分も大きくなり 回転度は小さくなることを示す。

角速度は回転角と正の関係にある(図-IV-6)。 これは、回転角が大きくなるほどその速度が大きくな ることを示す。

これらは,移動が進むに従い平面的回転成分が大 きくなり速度も大きくなる加速的な平面的回転運動と,

並進量 (mm)	並進 速度 (mm)	回転量 (mm)	換 算 回転量 (mm)	回転速度 (mm/day)	回転角 (red)	移動 期間 (day)	角速度 (red/day)	回転度	運動 様式
23	0.24	1	1	0.01	1.5×10 <sup>-5</sup>	97	1.5×10 <sup>-75</sup>	0.04	
9	0.11	-			_	81		_	並進
7	0.09	_			-	81	_	-	

表-Ⅳ-3 地すべり移動量調査表

No.	地名	幅*長さ			変動地形			側部	移動量(m)				
		m * m	頭部	右側部		左側部		末端部	組合	頭部	右側部	左側部	末端部
11	東条	65 * 60	滑落崖	横ズレ亀裂	αt	亀裂	α	隆起	a a t	1.5	1.5	0.01	0.02
29	北畑	60 * 300	滑落崖	横ズレ陥没帯	αt	滑落崖	α	流動	a a t	_	50	10	50
32	東	90 * 50	陥没帯	横ズレ亀裂	αt	亀裂	α	押し出	a a t	3	2	0.2	2
37	黑谷	95 * 70	陥没帯	陥没帯	α	横ズレ陥没帯	αt	隆起	αat	7	3	7	7
1	狸谷	30 * 70	滑落崖	横ズレ滑落帯	β	横ズレ滑落帯	αt	押し出	αtβ	6	6	6	10
6	香住	85 * 100	滑落崖	横ズレ滑落崖	β	陥没帯	α	押し出	α β	5	10	1	15
8	西吉野	70 * 50	滑落崖	不明瞭	*	滑落崖	β	押し出	β*	0.5	*	0.3	0.2

\*横ズレ性は特に明瞭なもののみを記載。

\* α:引張変形、αt:引張変形(横ズレ大)、β:剪断変形、γ:圧縮変形

\* 並進量:側部移動量の小さい方

\*回転量:左右側部移動量の差

\*回転角=回転量÷幅

\*角速度=回転角÷移動期間

\*回転度=回転量÷並進量





図-Ⅳ-5 最大移動量と角速度

同時に並進運動も進んでいく動的な運動実態を示すも のである。

特に移動量の小さな初期段階において,左右側部 移動量の差の割合である回転度が大きいことは,初期 徴候の把握に重要な示唆を与えるものである。

#### 2.2 その他の観測結果による運動実態

以上のほか,丁張り移動量等についても,観測結 果に現れた運動実態をみた(表-Ⅳ-4)。







図−Ⅳ-6 回転角と角速度

(1) 丁張りによる地表移動量(No.16中辻地すべり地)

移動開始から25日間は右側部A地点移動量が大き く現れ、左回り平面的回転角 $3.0 \times 10^{-5}$ rad/day となっ たが、その後11間で左側部B地点移動量が急激に大き くなり、A地点移動量を凌駕し、右廻り平面的回転角  $1.6 \times 10^{-4}$ rad/day となった(図- $\mathbb{N} - 7(1)$ )。

平面的回転運動は、このように回転方向を逆転さ せて進行させることがある。

(2) 孔内傾斜計による地中移動量(No.47日野地すべり

移動期間 (day)	平面 形態	すべり面 構造	並進量 (m)	並進速度 (mm/day)	回転量 (m)	回転角 (red)	角速度 (red/day)	回転度	運動様式
30	Ι	Ι	0.01	0.3	1.49	2.3×10 <sup>-2</sup>	7.6×10 <sup>-4</sup>	149.0	並進・回転
10	Ι	I	10	1,000.0	40	6.7×10 <sup>-1</sup>	6.7×10 <sup>-1</sup>	4.0	並進・回転
90	I	Ι	0.2	2.2	1.8	$2.0  imes 10^{-2}$	$2.2 \times 10^{-4}$	9.0	並進・回転
1	I	Ι	3	3,000.0	4	4.2×10 <sup>-2</sup>	$4.2 \times 10^{-2}$	1.3	並進・回転
1	П	П	6	6,000.0	0	0.0	0.0	0.0	並進
30	П	Ι	1	33.3	9	$1.1 \times 10^{-1}$	$3.5  imes 10^{-3}$	9.0	並進・回転
3	П	Ι	0	0.0	0.3	4.3×10 <sup>-3</sup>	1.4×10 <sup>-3</sup>	$\infty$	並進・回転

表-Ⅳ-4 その他の地すべり移動観測結果

(1) 中辻北地すべり地丁張り移動量

	右側	部A	左側	部B	A٠	– B	回転角	角速度	回転度
<u> 測定期間</u>	水平移動量	垂直移動量	水平移動量	垂直移動量	水平移動量	垂直移動量	(rad)	(rad/day)	
89.10.17	0	0	0	0	0	0			
10.17~11.11	38	13	0	0	38	13	7.6 $\times 10^{-4}$	3.0×10-5	$\infty$
11.11~11.22	142	77	230	257	(-) 88	(-) 180	(-) 1.8×10 <sup>-3</sup>	(-) 1.6×10-4	0.6
合計	180	90	230	257	(-) 50	(-) 167			

\*A, Bは地すべりブロック頭部付近の側部で、A~B間は50m

\*移動量の単位はmm

\*回転角=回転量÷幅 回転量は水平移動量のA-B

(2) 日野地すべり地地中移動量(孔内傾斜計)

		91. 9. 13~91. 10. 10										
孔番	<u>深度(m)</u>	Α	В	L								
No. A	13.5	-4.00	-0.30	4.01	-4							
<u>No.</u> B	12.0	-8.00	3.00	8.54	21							

\*Aは末端方向が(-)、Bは右向きが(-) \*方向はA~BのA(-)方向に対して左廻りが+(°) \*A~B間は、13m \*移動量の単位はnm

地)

同一測線方向のA, B上下二点の孔内傾斜計で平 面的に移動方向が25°変化していることが確認できる。 上部A移動量4 mmに対して下部B移動量9 mmであり、 下部で移動量が大きくなっている(図-IV-7(2))。

この同一測線方向の上下で方向が異なり平面的回転が認められることは、船木地すべり地でも同じであるが、船木では上部Na 4移動量42mmに対して下部Na 1移動量28mmであり、上部で移動量が大きくなっていた(佐々木・新谷 2000b)。

船木が一般の地すべり地での傾向であるのに対し, 日野は切土が要因となった地すべりの傾向を示すもの と考えられる。

2.3 地すべり地塊運動に伴う塑性的変形

現場観測データでは、地塊的運動とともに、つぎ のような地すべり地塊の塑性的変形が認められた。

(1) すべり面移動量と地表面移動量の差 地塊型地すべり地における典型的なすべり運動で

は、すべり面移動量と地表面移動量はほぼ同一となる



(1) 中辻北地すべり地丁張観測結果にみる平面的回転の反転



- (2) 日野地すべり地孔内傾斜計観測結果にみる
   上下(山谷)方向の移動量(nm/91.9.13~10.10)・方向変化
  - \*ベクトルは各側部での移動量と方向を表示
  - \*移動量はm/days,矢印の横()は垂直移動量

\*角速度ω(×10-5×rad/day)

図-Ⅳ-7 移動観測にみる平面的回転事例

が,一般的傾向としては地表面移動量の方が大きくな る。たとえば船木地すべり地の主地すべり地塊では, すべり面が42mmに対して,地表面移動量は74mmで,移 動方向にも差異があった。これは地すべり地塊の塑性 的~流動的変形の反映と考えられた。

(2) 上下 (山谷)方向の移動量変化

また,地塊型地すべり地における典型的なすべり 運動では,主地すべり地塊での上下(山谷)方向での 移動量は同一となるが,その上部と下部では移動量が 異なる場合がある。その傾向については大きく二つの ケースが認められる。

[上部の方が大きい場合]

たとえば船木地すべり地では、ほぼ同一平面的回 転方向沿いのすべり面移動量が上部で42mm、下部で28 mmであった。

[下部の方が大きい場合]

たとえば日野地すべり地では、ほぼ同一平面的回 転方向沿いのすべり面移動量が上部で4mm、下部で9 mmであった。

前者が末端部に圧縮変形地塊が分布する一般的地

すべり地で、後者は末端開放型の地すべり地で認めら れるケースと考えられる。

(3) 平面的回転方向の反転

すべり面構造 I では、平面的回転運動様式となる が、中辻地すべり地のように平面的回転方向が地すべ りの進行に伴い、角速度3.0×10<sup>-5</sup>rad/day の左回り 平面的回転が反転し、11日間で角速度1.6×10<sup>-4</sup>rad/ day の右回り平面的回転になったケースがある。

また,北畑地すべり地では,上下(山谷)方向で 回転方向が反転したケースがあった。

このように、現場観測データ等では、すべり面に 沿った主地すべり地塊の原形を保つような地塊運動と ともに地すべり地塊の塑性的変形が認められた。しか し、平面形態の特徴は主地すべり地塊のすべり面に沿っ た原形を保つような運動と対応関係が強く現れており、 このような塑性的変形を伴いながら、平面すべり面に 沿った地塊的な並進・平面的回転運動様式をとったも のと考えられる。

# V. 平面形態・すべり面構造の分布実態からみた それらの分類と相互関係の検証

#### 1. 平面形態分類の妥当性の検証

# 1.1 調査方法

研究対象地周辺の地すべり地59個所(図-I-1)において、つぎの項目について地すべり変動地形 調査をおこない(表-V-1)、平面形態 I・IIの分 類とこれに対応したすべり面構造 I・IIがどの程度の 妥当性をもつかを検証した。

- ・区分:地すべりの発生区分 初生(地すべり変動 地形が初めて現れた地すべり)か再発(過去に初 生的にすべった地すべり移動地塊が,ほぼ同じ規 模で移動したもの)か二次(地すべり地塊あるい は地すべり崩土・崖錐堆積物の一部が移動したも の)
- 頭部:頭部の変動地形
- ・右側部・左側部:各側部の変動地形とその変形の
   区分 変形性の区分は図−Ⅱ−4にもとづく。た
   だし、ここでは横ズレとしたのは、特に明瞭なものだけである。
- ・深度:頭部付近のすべり面深度(m)
- ・勾配:頭部付近のすべり面の勾配(°)
- 移動量:末端での平均移動量(m)
- 移動期間:移動したおおよその時間(日)

表-V-1 地すべり変動地形調査結果一覧(佐々木・新谷 2000aより)

NL-		地名 超き長さ 災害 発生反合 各部位の変動地形							平面形	+~	り面	***	すべり				
ina.	AB-10	MITKC	<b>牟代</b>	*****/	頭部	右側部	_	左側部	_	末端部	制新組合	集分類	課度	勾配		帯投幅	面構造
		m * m								<b>1</b>		_	m	•	m	m	_
1	狸谷	30*70	83	二次	清落崖	横ズレ清落崖	β	横ズレ清落屋	a	押し出	αtβ	II T	4	30	6		ш
2	吐山	30#35	91	仄	清落座	横ズレ清経歴	α Δ	根ズレ清落屋	μ μ	押し田 魚刺	ατβ	ш	2	10	1		п
3	局場	120+100	82	初生	<b>浦格座</b> 湯波座	个明瞭 <b>太明瞭</b>	t	小り原	5	电波加速	A +	п	5	40			п
4	住井川 車ン公	190+190	74	一一一 王 23	信谷康	小明課	т R	(↓ / / / / / / / / / / / / / / / / / / /	p ~	オ田崎	ρŦ	п	12	14	- 1	10	π
о с	ガンセーチャン	100+100	71	1175C	阳汉市	根へい () 特別 後でい 湯 波 湯	ρ	脑汉带	u ~	1997 HA	αß	π	15	20	15	6	ī
7	管压	60#50	03	初生	)相次市 海波港	根へに指辞屋	р А	鱼刻	~	押し出	a B	π	10	20	10	v	ī
6	成1日 高古編	70+50	. 50	而正	海波岸	不明瞭	*	·•	R	輝し出	8 *	π	15	20	0.5		ī
0 0	四日町	30#40	89		清花崖	神し出	~	不明度	*	方梗し出	v *	ī	3	6	••••		ī
10	一面朽	20#50	83	_// _/	清龙岸	神(出).	, v	會裂	à	柳儿出	α v	ī	4	5			ī
11	<b>吉</b> 条	65*60	86	 	清英岸	オズレ亀裂	ά	急裂	a	後起	a a t	ī	6	10	1.5		I
12	小谷	35+8	86	_x	清茶岸	清茶庫	ã	<b>急</b> 裂	a	押し出	αα	Ī	2	27			I
13	思沙門	50*65	89	二次	滑落崖	陥没帯	α	不明瞭	*	押し出	α <b>*</b>	I	5	5	0.3		I
14	*田	25*25	91	二次	清落崖	雁行亀裂	α	亀裂	α	押し出	αα	I	5	10			I
15	上野	130+250	82	二次	清落崖	横ズレ雁行亀表	a	陥没帯	α	不明瞭	αα	I	12	26	1		I
16	中辻	55*110	89	二次	清落崖	亀裂	α	不明瞭	*	右押し出	α*	Ι	8	10	0.4		I
17	岡	20*20	86	二次	滑落崖	亀裂	α	不明瞭	*	不明瞭	α*	Ι	6	27			I
18	北僧尾	70+60	74	二次	清蒋崖	不明瞭	*	雁行亀裂	α	押し出	α*	I	3	10			I
19	長尾	25+25	76	二次	滑落崖	不明瞭	*	陥没帯	α	不明瞭	α*	I	4	10			I
20	社	25*25	84	二次	滑落崖	不明瞭	*	不明瞭	*	左亀裂	* *	I	3	16			I
21	東田	45*25	89	二次	滑落崖	不明瞭	*	滑落崖	α	押し出	α*	I	5	10	0.5		I
22	口大谷	60*60	93	二次	滑落崖	不明瞭	*	滑落崖	α	押し出	α*	I					I
23	加茂	60+100	86	二次	滑落崖	清落崖	α	滑落崖	α	流動	αα	I	6	11			I
24	京北	100*100	39	初生	清落崖	清落崖	α	清落崖	α	押し出	αα	I	5	36			1
25	上野	70*25	93	初生	清落崖	清落屋	α	不明瞭	*	隆起	α*	1	9	10			1
26	滝	90*35	90	初生	清落崖	清落座	α	横ズレ清落屋	α	押し出	aat	1	10	27	0.2		1
27	住吉	130+30	95	初生	清落崖	単彩	α	不明瞭	*	<u>神聖現に</u> 	α <del>*</del>	1	5	14	0.3		1
28	東田	85*90	85	初生	清洛屋	个明瞭	Ŧ	<b>宿格屋</b> 過業業	α	押し田	α *	T	10	13	50		I T
29	北加	60#300	87	丹光	有格压	根ズレ陥没希	α τ	信格達	α	- 7765901 - 1478 1 111	αατ	1 7	0	10	50		T
30	果田	170+80	60	丹兌	清茶庫	不明瞭	*	黾殺 湯黄柴	α	17年し四。 18月11日	α <del>*</del>	T	0 6	10			T
31	園	100+50	01	一方元	信 裕陸 広 讥 當	小り味	Ĩ	信倍虚 查测	a ~	加加加	u +	T	6	13	3	6	Ť
32	 ★古	90+00 95±25	80		<b>陷汉而</b> 広辺進	したので見た	~	玉田醇	*	押し出	~*	î	4	27	0.4	3	Ť
30	東本庄	25±16	80		<b>陷没带</b> 陷没着	不明瞭	*	不明瞭	*	神し出	**	î	3	23	1	2	Î
35	自元	45#80	84	加生	临沿幕	オイレ協没帯	~	崩壊	*	降記	aat	r	12	8	5	10	Ī
36	金子	90+150	81	初生	臨没備	横江路没带	a	協没 <b>带</b>	α	隆起	aat	ī	25	15	35	40	Ī
37	星谷	95+70	74	初生	協没帯	協没帯	a	根ズレ陥没帯	īα	隆起	aat	I	11	18	7	10	I
38	新大	200+140	94		清蒸崖	急裂	a	亀裂	α	不明瞭	αα	I	12	7		13	I
39	大沢	80*70	75	再発	協没帯	氟裂	α	清落崖	α	崩壊	αα	Ι	10	4		8	I
40	東田	60*25	91	再発	陥没帯	亀裂	α	不明瞭	*	押し出	α*	I	5	8	0.6	5	I
41	豊岡	110*180	73	再発	陥没帯	不明瞭	*	横ズレ亀裂	α	押し出	α*	I	6	4		10	I
42	戸田峠	20*70	83	二次	亀裂	亀裂	a	不明瞭	*	押し出	a *	Ι	5	5			I
43	奧谷	25*30	91	二次	亀裂	龟裂	α	不明瞭	*	押し出	α*	Ι					I
44	初湯川	70*100	85	二次	亀裂	不明瞭	*	不明瞭	*	不明瞭	* *	I	20	40			I
45	川代	5*10	85	初生	亀裂	開口性量裂	α	王精性龟裂	γ	押し出	αγ	I	3	40			I
46	鴨子ケ原	140*200	95	初生	亀裂	亀裂	a	亀裂	α	亀裂	αα	I					I
47	日野	110*40	91	初生	亀裂	不明瞭	*	不明瞭	*	左押し出	**	I	15	31	0.02		I
48	宇治田原	40*40	90	二次	滑落崖	横ズレ清落崖	α	不明瞭	*	押し出	α*	その他	10	40			その他
49	金会	30+45	79	二次	滑落崖	横ズレ清落崖	a	<b>清</b> 落崖	. α	押し出	αα	その他	<u>5</u>	20	-		その他
50	大島	50*35	88	二次	清落嵐	清落崖	a	: 検ズレ清落崖	iα	押し出	αα	その他	7	20	5		その他
51	甲邑	60*15	74	二次	清落崖	荷格慮	α	小明瞭	*	押し出	α*	その他	· 7	12			ての他
52	毘沙門	45*35	82	二次	清落崖	· 始没希 	0	: 个明 <b>际</b> - ▲ 利	*	押し出	α*	ての他	. b	12			ての把
53	明建	40*25	62		消落屋	、中明瞭	*	· 風殺	α	押し間	α *	ての他	1 9 1 10	22			ての肥
54	生駒	25*25	91	<b>彻生</b>	荷洛康	「押し出る加」	۵	「作し出」加	ια	「作し田」	αα	ての把	5 12	40	· 3		ての肥
55	<i>洏</i>	65*70	85	例生	宿務屋	「「格屋」	۵	: 根ズレ清落屋 - 子明時	ŧα	・石押し間 ・魚別	aααt	、ての惟	10 I O	23	0.5		ての肥
56	¥ 光田	65 <b>*</b> 30	83		電殺	<b>乳</b> 没 工明曲	а	: 个明 <b>际</b> - て明瞭	*	电仪	 α =	ての他	- 10 - 10	20			ての他
57	種の不	30*5	86	K -¥	現役	不明瞭 不明時	*	· 不明原 - 不明慶	*	・ 右尾殺 ・ 去掴し □	**	ての恒 よの単	5 D	00			て v7me <i>本の</i> 絶
58	研	30#15	91	X 	电彩	不 <b>切原</b> 不明障	4	· 个吻原 : 鱼剧	*	・ カコッキ しロ 、 加速) HH	ידי וי יציה	その知	5 1 7	60 50			その伸
- 59	通知	20#10	- 83	X	- X	ጉካ原	_1		U.	льн	4 10	n	· !				

・横ズレ性は特に明瞭なもののみを記載

・ α:引張変形、αt:引張変形(横ズレ大)、β:剪断変形、γ:圧縮変形

・\*は不明瞭なもの



図-V-1 地すべり平面形態分布頻度

- ・陥没幅:頭部滑落崖下の陥没帯の幅(m)
- ・すべり面構造:地質調査結果から推定し構造Ⅰ・ Ⅱに分類
- 1.2 分類・分布の実態
- (1) 平面形態

表-V-1にもとづき各地すべり地の平面形態を 分類し,この分類がどの程度妥当性をもつかを検証す る。

今回取り上げた地塊型地すべりには,平面形態Ⅰ・ Ⅱに分類された平面すべりのほかに,曲面すべり(い わゆる円弧すべり・回転すべり)が含まれているので これをその他とした。

各地すべり地においていずれも頭部は引張変形, 末端部は圧縮変形であった。末端部の一部では剪断面 が直接現れるものがあったが,圧縮変形の特殊ケース と考えた。平面形態分類の要点である両側部は,側部 変動地形を変形の組合せとすると,平面形態Iにあた る引張変形・引張変形と平面形態Iにあたる剪断変形・ 引張変形の二つの組合せに整理された。その一部が不 明瞭なものが多く現れたが,これは地すべりの進行の 程度によるものと考え,一方の側部における変形性の 特徴等から平面形態Iと平面形態Iに分類した。

これら平面形態 I •  $\Pi$ の分布は図-V-1に示した。これによると、今回区分した平面形態 I •  $\Pi$ は、調査対象地の地すべり地の80%を占め、そのうち平面形態 I が約84%、平面形態  $\Pi$ が約16%であった。その他20%は、地塊型円弧すべりであった。

すなわち、地塊型平面すべりにおいては、現実に 現れる変動地形やその平面形態は、それぞれの地すべ り地の地形・地質条件・地すべり運動進行程度等を反 映して様々に現出するが、各部位の変形とその組合せ



図-V-2 地塊型地すべり発生区分

をとると、平面形態 I ・ Ⅱ に分類されるのであり、こ の平面形態分類が地塊型平面すべりにほぼ妥当性のあ ることが実証された。

# (2) 地すべり発生区分

表-V-1にもとづき,初生すべり・再発すべり・ 二次すべりの地すべり発生区分頻度(図-V-2)を みると,地塊型はほぼ原形を保った移動であるが,初 生すべりとは限らず二次すべりが58%あることがわか る。地すべりは,一般に初生~再発~二次に移行する が,いずれの段階でも地塊型が現れることがわかる。

平面形態ごとの発生区分頻度(図-V-3, V-4)では、平面形態Iでは二次すべりが多く、平面形 態IIでは初生と再発が多くなっている。これについて は、今後地質的に明らかにしなければならないが、平 面形態IIがより地質的な規定を受けている反映と思わ れる。

# 1.3 変動地形の現れ方

(1) 頭部変動地形区分

頭部変動地形は、初期段階の亀裂とそれが進行した滑落崖・陥没帯に区分された。その出現頻度は、平面形態区分ごとの関係(図-V-5)および発生区分ごとの関係(図-V-6)では、滑落崖が60~75%程度,陥没帯が20~30%程度,亀裂が0~20%程度であった。

(2) 陥没帯幅とすべり面深度・移動量との関係

陥没帯幅が何に依存するかについて,すべり面深 度・移動量との関係から検討してみた。

いま, 陥没帯幅w(m)とすべり面深度h(m)の関係をプロットすると図-V-7となり, つぎの回

















図-V-4 地すべり発生区分ごとの平面形態



図-V-6 発生区分ごとの頭部変動地形



図-V-8 移動量と陥没帯幅との関係

帰式が得られた。

w=-4.6 + 1.6h (相関係数r=0.91)

陥没帯は、主働崩壊線が頭部と谷側に対になるこ とによって形成されるが、主働崩壊線は勾配が60°程 度であることから、すべり面深度と陥没帯深度がほぼ 等しくなり、V-(1)式となることを示すものである。 この関係は既に高野(1960)が実験的に明らかにして いる。

さらに、陥没帯幅w(m)と移動量d(m)の関 係(図-V-8)から、つぎの回帰式が得られた。 w=4.1 d<sup>05</sup> (相関係数r=0.87) これは、移動量の大きさが陥没帯幅に影響される ことを示すものと思われる。

# 2. すべり面構造と平面形態との対応関係の検証

2.1 各地すべり地のすべり面構造と平面形態の対 応関係

# (1) 一般的傾向

一般的傾向として、すべり面構造  $I \cdot I$ に応じて それぞれ平面形態  $I \cdot I$ であることが帰納的に検証さ れた (図-V - 9)。

# (2) 特殊ケース

すべり面構造 I ではその 7 %が平面形態 II となっ ている。これに該当するのは、№ 6 ~ 8 の地すべり地 である。平面形態 II に当たる形態は、剪断変形側の側 部ですべり面が深くなっているすべり面構造 II に当た るすべり面構造が想定されており(渡・酒井 1975), 本研究でも確認された。しかし、№ 6 ~ 8 の地すべり 地は、すべり面構造 I であり、剪断変形側の側部で浅 くなっている。地すべり運動はすべり面構造に規定さ れ変動地形が形成されるという推察からは、この現象 は一見矛盾する関係にある。

しかしNo.6~8の地すべり地は、構造Iの底部す べり面が地表に現れ、この部分で横ズレ大の滑落崖 (閉塞性)となり剪断変形を、他方の側部は横ズレ小 の滑落崖・陥没帯となり引張変形(ただしNo.8は不明 瞭)を形成し、側部変動地形の組合せが平面形態IIの 剪断変形・引張変形となったと考えられる。

平面形態では平面形態Ⅱ, すべり面構造では構造 Iとなるので, 佐々木・新谷(2000等)はこれを本論 の平面形態I・IIとは別なものとして分類した。本論 では, すべり面構造と地形面との関係で現れる構造 I の特殊ケースと考えることとした。

# 2.2 既往文献によるすべり面構造の検討

# (1) 平面形態 I

平面形態 I に当たる地すべり地は,一般に流れ盤 地すべりと呼ばれるものであるので,すべり面構造と しては底部の平面すべり面が主すべり面となるすべり 面構造 I となる。

その主すべり面の成因は、地層面に並行に形成さ れた粘土化帯等の弱層であると考えられる。 (2) 平面形態Ⅱ

平面形態Ⅱに当たる地すべり地は、頭部滑落崖と 移動方向にほぼ平行な剪断変形の横ズレ滑落崖を形成 する変動地形を呈する平面形態である。これは、各地 の地すべり地で認められ、本研究対象地での地質デー タよりも詳細に研究されている(長崎県鷲尾岳(大八 木ほか 1970)、島根県山田(子川ほか 1991)、富山県 国見(平田ほか 1991)、福島県抜戸(申ほか 1992)、 大阪府亀瀬(山田ほか 1971)等)。これらの地すべり 地は、平面形態Iの地すべり地と同様に、一般に流れ 盤地すべりと呼ばれるもので、地すべり地塊底部に主 すべり面があるが、さらに側部の剪断変形を呈する横 ズレ滑落崖にそって側部すべり面が存在するもので、 本研究で明らかにした同一のすべり面構造Ⅱをなす。

これらの既往文献では、そのすべり面の成因はつ ぎのように明らかにされている。

- ・底部すべり面は、地層面に並行に形成された粘土 化帯等の弱層である(長崎県鷲尾岳(大八木ほか 1970)、島根県山田(子川ほか 1991)、富山県国 見(平田ほか 1991)等)。
- ・側部すべり面は、断層面(長崎県鷲尾岳(大八木 他 1970),福島県抜戸(申 1992)等)や不整合 面(富山県国見(平田ほか 1991)等)あるいは 地層の凹状側部(大阪府亀瀬(山田ほか 1971)) 等の形状の弱層である。

これらによると、平面形態Ⅱのすべり面構造は、 底部と側部の弱層による地質構造の規制を受けるため クサビ状の構造Ⅱをなすものである。

ただし、鷲尾岳地すべり地では、平面形態Ⅱでは 引張変形となる側部で剪断変形が現れている。これは、 構造Ⅱの底部すべり面が地表に現れ、この部分で横ズ レ大の剪断変形の滑落崖(閉塞性)が形成されたもの である。また、側部すべり面が形成されている側部で も、これを地すべり層の層準に不整合に被う火山岩が 分布する頭部付近では剪断変形ではなく、引張変形の 横ズレ滑落崖が形成されている。これは、側部すべり 面を形成した断層が、上位の火山岩に及んでいないた めに、このような引張変形が形成されたものと考えら れた(大八木他 1970)。すなわち、ここでは側部変動 地形の組合せが平面形態Ⅱの剪断変形・引張変形では なく剪断変形(一部引張変形)・剪断変形であるが、 これはすべり面構造と地形面との関係で現れる構造Ⅱ の特殊ケースと考えることとした。

構造 Iは、平面すべりのすべり面構造としては、

ごく一般的・普遍的に認められるものである。しかし, これまでの研究では、本研究で示したような変動地形 の特徴が捉えられていないものが多く、また、構造Ⅱ との区別、および変動地形の平面形態Ⅰ・Ⅱとの関係 も明確ではなかった。

以上から,これらのすべり面構造 I・Ⅱは,平面 形態 I・Ⅱの一般的すべり面構造モデルとして位置づ けることとした。

#### 3. 平面形態分類と様々な地すべり変動実態

本研究対象の地塊型平面地すべり地において現れ た斜面変動を総括すると図-V-10のようになる。こ れからつぎのことがいえる。

- ・平面形態は、すべり面構造Ⅰ・Ⅱに規定されて、
   平面形態Ⅰ・Ⅱとなる。ただし、すべり面と地形の関係で、構造Ⅰの底部すべり面が地表に現れるような場合は、平面形態Ⅱとなる。
- ・地すべり移動量が1m以下の段階では、各部位の変動地形は連続的に現れず、平面形態Iでは(頭部)~(平面的回転外側の横ズレ引張変形部にあたる側部)~(末端部)に、平面形態IIでは(頭部)~(東端部)にあたる側部)~(末端部)に

まず変動地形が現れる。この場合,平面形態 I で の(平面的回転外側の横ズレ引張変形部にあたる 側部)では,横ズレ陥没帯,横ズレ雁行状滑落崖 等となる。

- ・地すべり移動量が5~6m以上となると、末端部では圧縮変形の押出し・隆起とともに側部の一方で崩壊が現れ、末端部全般が崩壊・流動性を示すようになる。さらに進行すると移動地塊そのものが崩壊~流動化する場合があると考えられる。
- ・地すべり運動は、すべり面沿いの移動とともに、 深度方向の移動量変化(一般には地表部で移動量 が大きくなる)、移動方向での移動量変化(移動 量が大きくなる場合と小さくなる場合がある)等 の移動土塊内の塑性的変形をともなう。また、平 面的回転の進行にともなう反転もしくは移動方向 での反転が現れる場合がある。

このように、本研究は地すべり運動を中心とした 多様な斜面変動から出発し、それを現出させた基本的 ものとして、すべり面構造・地すべり地塊運動・変動 地形の三次元的相互関係を明らかにしたが、現実の地 塊型平面すべりの形面形態は様々であって、さらに塑 性的変形・地塊のブロック化・崩壊・流動等の他の斜

平面形態	すべり	並進・	
平面	面 構 <u>造</u> ]	平面的回転	
形態	すべり面構造Ⅱ	並進	①頭部清落崖α ②頭部陥没帯α ③関部検ズレ清落崖(閉島)β ⑤(側部検ズレ清落崖(閉島)β ⑥(側部検ズレ清落崖(閉島)β ⑥(側部検ズレ清落崖(閉島)α ⑦末端部押出し・隆起200、末端部押出しβ α:引展変形 β:剪断変形 y:圧縮変形
移動	<b>k</b> (m)		0.3~0.5m 1m 5~6m 15~25m
変動	副形出り	見部位	
- R81手 電動の	の変化	山近期	不増加一部の制象にノ不増加主体の現象で説動し」(主面的規制で洗剤) (平面的回転の時間後線による反転・移動方向による反転をともなう場合がある)
地境:	<b>内塑性</b> 的	内変化	深度方向での変化(一般に表層で大きくなる流動型)・移動方向での変化(顎筋側から進む前進型・末端から進む後退型)

図-V-10 平面形態分類と様々な地すべり変動実態

面変動様態を取るものであることが示された。そして これらは、すべり面構造に規定される運動の他に、地 すべり進行程度・すべり面の凹凸・地すべり地塊の性 状等の規定を受けて、地塊物質構成や様々な発達段階 等に規定されたものとして整理されたが、すべり面構 造に規定される運動が基本的であると考えられた。

すなわち、本研究で対象とした地塊型平面すべり は、①典型的な地すべり運動様式、②移動単元となる 主要な運動主体、③繰り返し現れる運動形態であり、 特に崩壊・流動に至る前の④地すべり発生の初期に現 れる運動であるので、地すべり予知・対策の対象とな る基本的運動形態であるといえる。

#### Ⅵ. 地すべり三次元運動機構

# 1. すべり面構造による地塊運動の規定

すべり面構造 I ・ Ⅱ においては、地すべり地塊は つぎのような規定をうけると考えられる。

(1) 構造 I

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(Goodman 1976)。しかし、 すべり面と地形との関係で、地形面にすべり面が斜交 するように、一方の側部で抵抗が大きくなる場合は、 並進運動とともにこの側部側が軸となり回転する平面 的回転運動となる。

#### (2) 構造Ⅱ

底部と側部の二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、二面の交差線に沿って移動する並進運動となる (Goodman 1976)。

二面の交差線方向が移動方向となるが,これは底 部すべり面の傾斜方向と異なる。

以上のように、地すべり地塊がすべり面構造の規 定をうけてどのように運動するかという考察によって も、構造Ⅰでは並進をともなう平面的回転運動、構造 Ⅱでは並進運動となることが考えられた。

すべり面上の地すべり地塊は、上に述べたように、 自重作用だけを考えるとすべり面の傾斜方向が移動方 向となるが、一般にはすべり面傾斜方向と移動方向は 一致しない。これは、一つには自重作用以外の水圧等 の作用によるものと考えられるが、自重作用だけでも、 構造 I にみる左右の不均質による平面的回転運動、あ るいは、構造Ⅱにみる側部すべり面によるクサビ状構 造による並進運動によって現れると考えられる。

#### 

すべり面構造 I ・ Ⅱ に規定される地すべり地塊が, どのような運動様式をとり,この運動によって周辺部 にどのような変形が生じさせるかを,すべり面構造モ デル模型を用いて地塊運動を再現し検討した。

(1) 検討要領

①模型化の基礎データ

前節で検討した,平面形態 I・Ⅱに応じた,すべ り面三次元構造モデル構造 I・Ⅱを模型化した。ここ では,形態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,地すべり地塊形態および主すべり面で のみすべるというすべり面性状とすべり面構造のみを 模型化した。

②模型の作成

模型はすべり面構造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り変形の分離面の 二種類とし,すべり面のみをすべりやすい性状になる 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,構造I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運動の再現

地すべり地塊の運動は,原地形状態から手を離し 自重作用を再現した。

(2) 検討結果

①構造I(写真-VI-1)

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。

②構造Ⅱ(写真-VI-2)

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。

(3) まとめ

この模型による検討では、地すべり地塊がすべり 面三次元構造に規定されて、構造 I では並進・平面的



写真-Ⅵ-1(1) すべり面構造Ⅰ



写真-Ⅵ-1(2) 地すべり前



写真-VI-1(3) 地すべり発生後

回転,構造IIでは並進運動となることが確認された。 またこの運動によって,側部において構造Iには平面 形態I,構造IIには平面形態IIを示す変形であるすべ り面(剪断変形部分)や分離面(引張変形部分),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等になるものと考え た。

# 3. 三次元運動機構

以上を総括すると、すべり面構造によって地塊運動様式が決まり、すべり面構造と地形との関係で、地 塊運動による各部位の特有の変形が現れる平面形態と これに対応した地塊構造の関係を認めることができ、 図-VI-1のすべり面構造・地塊運動・変動地形三次 元モデルにまとめることができる。平面形態分類毎に、



写真-VI-2(1) すべり面構造Ⅱ



写真-VI-2(2) 地すべり前



写真-VI-2(3) 地すべり発生後

変形によって現れる変動地形までを整理しするとつぎ のようになる。

- (1) 平面形態 I
  - 1) すべり面構造

底部に一面のすべり面構造 I となる。

2) 運動様式

地すべり地塊の自重による運動は,すべり面傾斜 方向への並進運動となる。しかし,斜面傾斜方向とす べり面傾斜方向が異なる場合が多く,すべり面の傾斜 方向側で一般に抵抗が大きくなる。この場合は,抵抗 が大きい部分が回転軸側で抵抗の少ない側部から移動 する平面的回転運動が実現し,並進・平面的回転運動 となる。この平面的回転運動によって,すべり面の傾 斜方向と異なる方向の地すべり運動が実現する。

ただし,地すべり進行の過程でこの回転方向が変 わることがある。



これらの側部は、地すべり地塊で引張変形を受け る形状に形成される。地すべり地塊は、一般に引張強 度は小さいので、この運動は最小エネルギーで運動す る様式をとる。

3)地すべり地塊の変形

底部の1つのすべり面に沿う並進・平面的回転す べりが発生し,頭部から両側部にかけて引張変形が現 れる。このうち,平面的回転の円周側側部は横ズレを 示し,中心側側部は末端が閉塞状となる。

ただし、底部すべり面が地表に出た部分では、円 周側側部の剪断変形が現れこの部分は横ズレを示す。

4)変動地形

[頭部]

亀裂(開口・落差を伴う)・裂かから主働破壊に よって滑落崖,陥没体等が形成される。これら滑落崖 等の変動地形下部に沿って,沈下が著しい引張変形地 塊を形成する。

[円周側側部]

亀裂(開口・落差を伴う)・裂かから主働破壊に よって滑落崖,陥没体等が形成される。亀裂段階では, 横ズレは明瞭ではないが,滑落崖,陥没帯,裂か等で は横ズレが明瞭となり,これらの開口部は末端に及ぶ。 ただし,亀裂段階においても,すべり方向に雁行状に 並ぶ形状を示す場合がある。ここでも頭部と同様に, 滑落崖に沿って引張変形地塊を形成する。

また,底部すべり面が地表に現れる場合は,剪断 変形で横ズレのある閉塞した滑落崖が形成される。 [中心側側部]

亀裂(開口・落差を伴う)・裂かから主働破壊に よって滑落崖,陥没体等が形成される。形状的に頭部 と連続的になり,横ズレは少ない。開口部は末端で閉 塞状となる。ここでも滑落崖に沿って引張変形地塊を 形成する。円周側側部が亀裂段階では、中心側側部に は変動地形が現れない場合がある。

[末端部]

末端開放の場合は,末端部はすべり面沿いの剪断 変形の押出しが現れる。

末端閉塞の場合は,円周側側部末端は,地塊表面 が山側へ傾斜する回転運動を伴う受働破壊で隆起等が 現れ,圧縮変形地塊を形成する。

(2) 平面形態Ⅱ

1) すべり面構造

底部と側部の二面にすべり面が形成され、クサビ

状の構造Ⅱとなる。

# 2 ) 運動様式

地すべり地塊の自重による運動は、二面の交差線 に沿って移動する交差線方向の並進運動となる。底部 すべり面の傾斜方向は、側部すべり面側へ傾いており、 クサビ状構造によって、底部すべり面の傾斜方向と異 なるすべり方向が実現する。

一つの側部は、底部すべり面と同じ剪断抵抗の小 さな側部すべり面が形成され剪断変形となり、他方の 側部は地すべり地塊で引張変形を受ける形状に形成さ れる。地すべり地塊は、一般に引張強度は小さいので、 この運動は最小エネルギーで運動する様式をとる。

3)地すべり地塊の変形

2つのすべり面に沿う並進すべりが発生し,頭部 から一つの側部にかけて引張変形,他方の側部すべり 面側で剪断変形が現れ,両側部は共に横ズレを示す。

ただし,底部すべり面が地表に出た部分では側部の 剪断変形が現れる。また,剪断変形部でもこれが被覆 層に覆われると,構ズレ引張変形となる。

4)変動地形

[頭部]

亀裂(開口・落差を伴う)・裂かから主働破壊に よって滑落崖,陥没体等が形成される。これら滑落崖 等の変動地形下部に沿って,沈下が著しい引張変形地 塊を形成する。

[引張変形側部]

亀裂(開口・落差を伴う)・裂かから主働破壊に よって滑落崖,陥没体等が形成される。地すべり地塊 本体との関係では横ズレが示されるが,引張変形地塊 を形成するので,外側の滑落崖等で明瞭な横ズレを示 さない場合がある。これらの変動地形は,形状的に頭 部と連続的になる。

また,すべり面構造と地形面との関係で底部すべ り面が一方の側部に出る場合は,底部すべり面が地表 に現れ剪断変形で横ズレのある閉塞状の滑落崖が形成 される。

[剪断変形側部]

亀裂,滑落崖が形成される。これらは閉塞状で, 横ズレが明瞭となる。ただし,側部すべり面が地表に まで及ばないときは,閉塞状は地表付近で緩み開口状 となり,雁行状に並ぶ場合がある。この場合でも,そ の側部の形成方向は,移動方向と平行であり,横ズレ が現れる。 [末端部]

末端開放の場合は、末端部はすべり面沿いの剪断 変形の押出しが現れる。

末端閉塞の場合は,圧縮変形に伴う受働破壊で押 出し・隆起等が現れ,圧縮変形地塊を形成する。

# (3) 平面すべりと回転すべりとの関係

平面形態 I・Ⅱ は平面すべり面からなる構造 I・ Ⅱ のすべり面構造に規定された地すべり運動によって 現れた変動地形であるが、地塊型地すべりにはそのほ か、曲面すべりと呼ばれる円弧状すべり面沿いの縦断 方向の山側へ地盤が傾斜する回転運動がある。この回 転すべりと直線すべりがどのような関係にあるかは図-Ⅲ-1に示したように、つぎのように整理できる。

平面すべりの運動の主体である主地すべり地塊は, 頭部から側部にかけて引張変形地塊を,末端部には圧 縮変形地塊を形成する。引張変形地塊では主働破壊が 現れ,滑落崖~陥没帯が形成される。圧縮地塊では受 働破壊が現れ,隆起・押出し等が現れる。

これらは,主地すべり地塊の移動によって現れた 派生地塊であるが,引張地塊はそれ自身も地すべりの 推力として作用していく。

地すべりの初生~再発~二次へと進行するに伴い, 地すべり地塊は原岩の組織をもったものから細分化し 風化し崩土化していくが,平面すべり面に規定される 主地すべり地塊部分がほとんどなく,引張変形地塊が 推力となり直接圧縮変形地塊に接する形をとると,主 働破壊面と受働破壊面が連続的する円弧すべり面沿い の回転すべりとなり,頭部沈下,末端隆起の変動地形 が現れる。

ただし、初生すべりでも、引張変形地塊が直接推 力となり回転すべりの形態をとるものがある。

# Ⅶ. 地すべり対策への提言

地すべり地は中山間地の緩斜面で多くは棚田地帯 を形成し、農業生産の場であるとともに生活の場となっ ている。地すべり地では、長年の生活の知恵からなる べく地すべりに逆らわないような土地利用形態がなさ れおり、そのため小面積の田が多く耕運機がようやく 通れる小道しかないという状況である。このような中 山間地域にこそ生産・生活基盤の整備が必要であるが、 地形改変が行われる場合には、それが斜面の安定を損 なわないように、そしてできれば現状より安定化させ るような地すべり対策が必要である。さらに、環境を 守る立場からは、水田および地すべり地の生態学的意 義が考えられており(岡村 1992,守山 1997等),今 後は地すべり対策にこの要素も考慮されなければなら ないであろう。地すべり対策にあたっては、地すべり 予知のための地すべりの地形・地質・運動の把握,特 にその三次元的特性把握が重要と考えられるが、これ に関する以上のような本研究結果から、つぎのような 地すべり対策への提言を行う(図-VII-1)。

# 1. 地すべり調査方法についての提言

1.1 地形変動情報について

地すべり対策の基本は,地すべりの実態把握・機 構解析であるが,そのための重要な手法の一つは,地 形に現れた変動情報の解析である。

(1) 地すべり地形判読

地すべり対策において重要な調査に,地すべり地 形判読がある。これは,対象とする個所が地すべり履 歴を有するか否か,およびその変動の程度の判定であ り,以後の地すべり対策のための解析が大きく異なる ことになる。

この地形判読においてしばしば判断に困るのが, 頭部から側部にカギ型に形成されている谷地形にその 囲まれた地塊の判定である。このカギ型の谷地形が侵 食作用のみによるもとすれば地すべり移動地塊と判定 されないが,頭部から一つの側部に形成された地すべ り陥没帯が発達したものとすると地すべり地塊と判定 される。

平面形態 I では陥没帯が左右非対称的に形成され る場合があるので、上記にような地形は地すべり地塊 の可能性のある地塊であるとマークしておく必要があ る。

(2) 地すべり徴候把握

地すべり初期段階の亀裂等の徴候は、その運動が 地すべり地塊の全体的な移動であっても、地表におい ては頭部・側部・末端部と連続して現れない場合があ る。この場合、各部分毎の現象と見誤ることがある。 たとえば、側部の現象をその亀裂等が発生した部分だ けの現象と判断すると、全体の運動が把握されないこ とになる。

側部において一方が横ズレ,他方がそうでないと きは,これらをそれぞれ別個の現象と考えるのではな く,平面形態Iのような一つの地すべり地塊の平面的

32

地すべり予知のための地形・地質・運動三次元的特性把握

地すべり地内の地盤特性(地境区) 地すべり地境の三次元的運動特性 地すべりの地形・地質・運動の相	分とその地形・運動特性) :  互関係モデル									
↓ <u>地すべり対策への提言</u>										
★ 地形変動情	報 地すべり地形判読 地すべり徴候把握									



地すべり地域の将来像



図-WI-1 本研究成果と地すべり対策への提言

回転運動の徴候ではないかを検討する必要がある。

#### (3) 地すべり運動把握

くる。この段階でも、各部分で移動方向や移動量が異 地すべり地(白石 1992))、または、別個のすべり面

なって現れる場合がある。上下方向で移動量が異なる のはよく見られる現象である(たとえば、伊藤ほか 1991. 菅原 1993) が、移動方向が異なるものについ さらにもう少し地すべり変動が進行すると、地す ては、これまで全体としての流動するような運動(た べり地塊の各部分で移動方向や移動量が明瞭になって とえば,亀の瀬地すべり地(山田ほか 1971),猿供養 である別の地すべり地塊の運動(高野 1983)と考え られてきた。また、早川ほか(1993)は地表面変位の 二次元的解析から、地すべり全体のクリープ的変形挙 動とした。

平面形態 I では同一地すべり地塊であっても、そ の部位によって移動方向・移動量が異なる平面的回転 運動をとるので、一つの地すべり地塊の平面的回転運 動とならないかを検討する必要がある。

また,すべり面最大傾斜方向と移動方向が異なる 問題(申 1995等)がある。平面すべり面上の土塊は, 重力による作用だけを考えると,すべり方向は理論的 にはすべり面の最大傾斜方向となる(Goodman 1992)ので,そうでないときは,次のケースが考えら れる。

- 重力以外の地下水の作用
- ・すべり面が多重構造になっている(高野 1983)
- ・その他の運動機構

その他は本研究で明らかにしたような、側部にす べり面がありこれに沿っている場合(藤田 1984、本 研究の構造II)と、平面的回転運動による(本研究の 構造I)場合があるので、これらを合わせて検討する 必要がある。

(4) 変動地形からのすべり面構造の推定

本研究で、平面形態 I ・ II とすべり面構造 I ・ II との対応関係が得られたので、変動地形を観察し、 これをもとに形態分類することで、すべり面構造の予 察が可能になる。

同一平面形態でもすべり面構造が異なる問題については、すべり面構造と運動様式との対応は変わらないが、底部すべり面と地形・あるいは被覆層との関係でその特殊ケースが現れるということが明らかになった。

変動地形の観察における留意点をあげる。

- 亀裂・滑落崖等は、従来、開口幅・落差が調べら れているが、その移動方向も確認する。
- その変位は、一つの亀裂・滑落崖についてである とともに、あるゾーンを介して認められる場合が あるので注意する。
- 亀裂・滑落崖等の平面的分布を押さえ,左右側部 の違いを観察する。

# 1.2 地質情報について

以上の地形変動は、地すべり運動の主体である地

すべり地塊の性状と運動を規定するすべり面構造等の 地質的実体にその根拠を求めるなければならない。

(1) 地質調査方法

地表地質踏査やボーリング調査等は,基盤岩と地 すべり地塊の地質およびその構造と,すべり面もしく はすべり面となりうる地質的弱層およびその構造等を 確認しうるものでなければならない。

# [地表地質踏査]

地表地質踏査にあたっては, 露頭観察から地すべ り崩土の分布を面的に明らかにする必要がある。藤田 (1975)は、自然に露出しているすべての崖の地層を 余さず、ベター面に調べあげる方法を強調しているが、 地すべり調査には特にこのことが必要である。基盤だ けでなく崖錐・地すべり崩土の観察が重要で、つぎの ような留意点をあげる。

- ・地すべり崩土を堆積物として調査し、各露頭の土 質・粒度・淘汰度・構造等(三梨・山内 1987等) を記載する。この場合、地すべり崩土の起源とな る地質を想定することや、原岩の組織を残存して いるか・地すべり運動によって破砕状になってい るか、あるいは主地すべり地塊・派生地塊に区分 されるかを判定することが重要である。
- ・空中写真判読や地形調査で認められた地すべり地 形は、当該個所特に境界付近での、地表の露頭観 察による地すべり崩土分布によって確認する。

・地すべり地となった地形・地質特性を見出す。 [ボーリング調査]

すべり面・基盤等の確認,および,孔内傾斜計観 測孔設置のためにボーリング調査が必要となるが,つ ぎのような留意点をあげる。

- ・ボーリング孔は、地質やすべり面の三次元構造を 捉えるように、従来のすべり方向の測線上の縦断 面的配置とともに、少なくとも一つの横断面的配 置が必要である。
- ・ボーリング孔位置は、頭部に近づけすぎると、主 すべり面が確認できない。Ⅱ.4.5(1)式によると 頭部引張変形部は、頭部亀裂等からすべり面深度 程度の幅に形成されるので、これより下方に設け るのがよい。

# (2) 地質情報解析

地質情報解析は、つぎのような作業によって、地 形変動情報や地すべり運動情報を地質的に根拠づける ものにする。

- ・地形変動情報と地質情報を総合し、地すべり地塊
   を主地すべり地塊・引張変形地塊・圧縮変形地塊
   に分けゾーニングする。
- ・平面形態を分類する。
- ・すべり面構造を組み立てる。
- ・すべり面構造・地すべり運動・変動地形の相互関係を検討する。

# 1.3 地すべり運動情報について

地すべり対策においては、以上の地形・地質情報 とともに、地すべり動態観測を適切に行い運動情報を 把握し解析する機構解析が重要である。また、動態観 測によりできるだけ早く初期徴候を捉え、今後の変動 予測をすることが対策上重要である。

# (1) 観測設備設置

本研究では、地すべり地塊は主地すべり地塊と派 生地塊である引張変形地塊・圧縮変形地塊から構成さ れるとし、地塊運動においては派生地塊を捨象し主地 すべり地塊の運動を明らかにした。派生地塊の運動は、 主地すべり地塊の運動を反映したものであるが、その 移動量は主地すべり地塊のそれと直接一致するもので はない。特に、引張変形地塊では、移動量と比例せず に沈降量が現れる場合があるので、地すべり地塊の運 動量を捉えるには、主地すべり地塊部に観測設備を設 ける必要性が考えられる。このように各観測設備はど の地塊の変動を捉えるものかを明確にして設置する必 要がある。

#### (2) 変動解析

地すべり地塊全体の動きでも地すべり運動が未発 達の段階においては、地表の地すべり徴候も部分的な 微小なもので、観測計器で捉えられる変動も局所的な ものである。本研究で明らかにしたすべり面構造・運 動様式・変動地形の関係(図-VI-1)によれば、地 すべり地塊の範囲・地塊運動様式・各部位での変形等 が検討でき、微小変動段階でもその運動実態が的確に 把握される指針が得られる。例えば、地中移動量観測 において、左右の移動に方向や量的な差が見られる場 合、従来は単にデータのゆらぎと考え、あまり重要視 されなかったが、これが平面的回転運動を示すもので あると判断されるであろう。 (3) 三次元変動予測システム

現況の自動観測システムでは、各種の測定設備を 三次元に配置されるようになっている(綱木 1996等) が、平面的回転運動が認識されておらず、左右の変動 量の差等を運動情報として利用されていない。三次元 的に各データを総合し、本研究で明らかにしたすべり 面構造に規定された運動様式を解析するシステムを組 み込めば、測定機器からの運動情報から時間・空間的 に動的な運動実態を捉えられ、今後の運動を予測する 三次元変動予測システムが可能になると考える。

#### 2. 地すべり対策方法についての提言

以上のような本研究結果から得られた地形情報解 析・動態観測手法に関する新たな知見から、地すべり 対策における新たな方法が考えられる(図-VII-2)。

#### 2.1 適切な土地利用計画

本研究では、地すべり地塊は主地すべり地塊と派 生地塊である引張変形地塊・圧縮変形地塊から構成さ れるとした。その中で、主地すべり地塊はほぼ原形を 保った移動で地表部での撹乱は少ないが、引張変形地 塊は沈降が顕著に現れ変動が著しいこと、各平面形態 に応じて引張変形地塊の分布形状が異なること等が明 らかになった。

地すべり地においては、斜面環境に適応した長年 にわたる生活の知恵としてこれらの地盤特性に応じた 土地利用が行われてきたが、今後の土地利用計画にお いては、変動地形やすべり面構造等をもとに地塊構成 を見出し、その地塊構成部分の変動状況に応じた土地 利用計画をおこなう必要がある。

斜面の土地利用においては、地形改変が斜面の安 定を損なわれず、斜面安定が維持・向上されなければ ならない。この場合、上記の地形・地質・運動情報に より、地すべり地塊の範囲・地塊運動様式・各部位で の変形等の可能性予測と、地形改変計画、土地利用計 画、防災計画の検討を行うことができる。

地すべり初期に現れる部分的な地すべり徴候につ いては、上記の地形・地質情報および運動情報解析に より、その徴候を的確に評価し地すべり進行変動予測 ができる。したがって、この段階で地すべり地塊全体 に対して早期に適切な対策をとることができる。

## 2.2 三次元地すべり対策

地すべり対策は、地すべり地塊の運動方向に対し て行うのが、効率的であり適切であると考えられる。 しかし、現場においてはこれまですべり面構造 I・II とその規定を受けた運動様式が明確になっていなかっ たため、すべり方向・すべり面最大傾斜方向・地形傾 斜方向のどれを基準にするかについて混乱があったと 思われる。本研究結果からは、つぎのように整理でき る(表-VI-1)。

杭工・アンカー工等の地すべり抑止工を設ける場

合は、構造 I と構造 II では地塊移動方向とすべり面最 大傾斜方向とが異なるので、これらを三次元的に考察 し、その抑止方向を地塊移動方向に対して向けなけれ ばならない。

また,その施工範囲は、従来,地表形状から判断 される地すべりブロック範囲としているのが一般的で あるが,地すべりブロックは主地すべり地塊・引張変 形地塊・圧縮変形地塊にゾーニングされるので,主す べり面上の主地すべり地塊の範囲を対象に施工すれば よいことになる。



**図-WI-2** 本研究結果を適用した土地利用計画検討シート(例)

すべり面構造	構造Ⅰ	構造Ⅱ
運動様式	並進・平面的回転	並進
抑止杭抑止方向 =地 <b>塊運動</b> 方向	側部を軸とする 平面的回転方向	底部・側部すべり面 交線方向
すべり面最大傾斜方向 と地塊運動方向との関係	主地すべり地塊の 下端では一致	偏差あり

表-Ⅶ-1 すべり面構造と地すべり対策の要点

地すべり斜面安定度の検討は、今後三次元的解析 とならなければならないが、解析モデルは従来のよう な底部すべり面と側部すべり面との連続的形態(たと えば、申 1989)ではなく、剪断変形部であるすべり 面構造を基礎にした、頭部・側部・末端部における引 張変形部・剪断変形部・圧縮変形を考慮した解析モデ ルが必要となる。本研究で明らかにされた三次元運動 モデルは、具体的な解析モデルを構築する際の、一般 的モデルを提供するであろう。

# 摘 要

- (1) 本研究は、地塊型平面すべりの典型的地すべり地において、すべり面構造・運動様式・変動地形の関係を三次元的に考察したものである。研究対象地域は、地塊型地すべりが多く、その災害直後の野外情報が得やすい近畿地方が選ばれた。
- (2) 典型的地すべり地の変動地形は、それを形成した 地塊運動による変形(引張・剪断・圧縮)として捉 えられ、引張変形では横ズレ性の大小に分けられた。 これによって各部位の変動地形を整理し、側部の変 形の組合せが異なる平面形態I,平面形態IIに分類 された。
- (3) これによって、平面形態を地すべり地塊構造と地 塊運動様式を反映したものとして捉えることができ た。平面形態Iは両側部の変形が引張・引張の組合 せであり、横ズレ大を呈す側部が円周側、横ズレ小 を呈す側部が中心側となる平面的回転運動が、平面 形態IIは両側部の変形が剪断・引張の組合せであり、 両側部が構ズレ大で並進運動が仮設的に提示された。
- (4) 研究対象地の59箇所の地すべり地で、平面形態分類とその分布頻度が調べられた。今回区分した平面形態 I・Ⅱは、調査対象地の地すべり地の80%を占

め、そのうち平面形態Ⅰが約84%、平面形態Ⅱが約 16%であった。その他20%は、地塊型円弧すべりで あった。すなわち、この平面形態分類が地塊型平面 すべりにほぼ妥当性のあることが実証された。

- (5) すべり面構造は、平面形態Ⅰ・Ⅱの典型的地すべり地の調査データから三次元的にモデル化された。 平面形態Ⅰでは、底部すべり面で規定され頭部・側部が分離面となる構造Ⅰ、平面形態Ⅱでは、底部と側部の二面のすべり面で規定され、頭部と他の側部が分離面となる構造Ⅱと考えられた。この平面形態とすべり面構造との対応関係は、各地すべり地調査結果からも帰納的に検証され、構造Ⅰ・Ⅱは平面形態Ⅰ・Ⅱの一般的すべり面構造と考えることができた。
- (6) 移動杭による表面移動量,孔内傾斜計による地中 移動量観測データによって、平面形態I・すべり面 構造Iの並進・平面的回転運動、平面形態II・すべ り面構造IIの並進運動の例証が得られた。前者は船 木地すべり地において、主すべり面沿いに角速度 8.6×10<sup>-5</sup>rad/day、地表部で角速度4.8×10<sup>-5</sup>rad/ dayの平面的回転運動と、主すべり面沿いに5.0mm/ day,地表部で6.2m/dayの並進運動が確認された。 後者は山田地すべり地において、平面的回転運動を 想定した角速度は1.5×10<sup>-7</sup>rad/dayでほぼ並進で あることが確認され、その運動はすべり面で0.11mm /day,地表部で0.24mm/dayであった。回転量/並 進量で示される並進成分と回転成分の割合は、船木 地すべり地では地中部で1.6であるが、山田地すべ り地では0.04であった。
- (7) これらは、すべり面構造の規定をうけた地すべり 地塊運動の運動の考察によって演繹的に推論され、 また、すべり面構造モデルの模型によって地すべり 地塊運動が視覚的に再現され確認された。

- (8) 以上によって、平面形態Ⅰ・Ⅱに応じてそれぞれ 独自のすべり面構造Ⅰ・Ⅱ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 よって平面形態Ⅰ・Ⅱの地すべり変動地形が現れる 関係を認めることができこれをモデル化された。
- (9) 地すべり運動はすべり面構造に規定される運動の 他に、地すべり進行程度・すべり面の凹凸・地すべ り地塊の性状等の規定を受けて、多様な斜面変動と して現れるが、それを現出させている基本的ものと しては、本研究結果のモデルに示されるすべり面構 造・地すべり地塊運動・変動地形の三次元的相互関 係があることが明らかにされた。
- (10) 従来,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, 本研究はこれらの解決方法を提言し,地すべり地塊 の変動特性に対応した土地利用・地形改変計画・三 次元変動解析システム・三次元解析モデル・三次元 地すべり対策等を展望した。

# 引用文献

- 秋田大学鉱山学部通信過程教育講座採鉱課程編集委員 会(1979):材料力学, 225,秋田大学
- 藤田和夫(1985):変動する日本列島, 75-90, 121-138, 岩波書店
- 藤田 崇(1990):地すべりー山地災害の地質学, 126, 共立出版
- 藤田寿雄(1984):機構解析,地すべり防止技術研修 テキスト,154-177,地すべり対策技術協会
- 藤田至則(1975): 地質への招待, 228, 玉川大学出版 部
- 藤原明敏(1979):地すべりの解析と防止工法,48-57, 理工図書
- Goodman R.E. (1976): 不連続性岩盤の地質工学 (赤井浩一他訳), 166-173, 北森出版
- Goodman R.E. (1992): ブロック理論と岩盤工学へ の応用(吉中龍之介・大西有三訳), 359, 土木工学 社
- 東 三郎(1979):地表変動論, 286, 北大図書刊行会
- 兵庫県社土地改良事務所(1995):地第6-507号船 木地区地すべり調査業務報告書,日本基礎技術㈱

- 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㈱
- 兵庫県洲本土地改良事務所(1993):地すべり災害黒 谷地区地質調査報告書,日本基礎技術㈱
- 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)
- 兵庫県豊岡土地改良事務所(1989):中辻北地区調査 設計業務報告書,日本基礎技術㈱
- 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,207-210
- 垣見俊弘(1978):地質構造の解析, 98-99,地学団体研 究会
- 貝塚爽平(1997):日本の地形,234,岩波書店
- 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, Vol.21, No.4, 1-9
- 来海昭雄・子川桂二(1991):山田地すべり(その2)-対策工法と効果について-,第30回地すべり学会研 究発表講演集,219-222
- 小出 博(1955):日本の地すべり,257,東洋経済新 報社
- 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1集,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㈱
- 三梨 昴・山内靖喜 (1987): 地質調査法, 303, 地学 団体研究会
- 守山 弘(1997):水田を守るとはどういうことか, 205, 農林漁村文化協会
- 中村慶三郎(1934):山崩,245,岩波書店
- 中村慶三郎(1955):崩災と国土-地すべり・山崩れ の研究-, 300, 古今書院
- 日本地質学会地質基準委員会(2000):第一次地質基 準,日本地質News, Vol.3, No.2, 31-38
- 岡村俊邦(1992):地すべり地のエコロジカルな土地 利用に関する提言,シンポジウム地すべり地形に関 する諸問題論文集,地すべり学会,51-61
- 大田秀樹(1989): 農業土木技術者のための最新土質 力学(その3)-土に構成則-, 農業土木学会誌, Vol.**57**, No.**9**, 67-74
- 大八木則夫(1992):地すべり地形の定義と判定,シ ンポジウム地すべり地形に関する諸問題論文集,地 すべり学会,1-8

- 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,115-140
- 佐々木一郎(1974):地すべり地塊岩盤面の形態について、地すべり、Vol.11, No.1, 7-20
- 佐々木一郎(1987):地すべり地塊の左右非対称形態, 第26回地すべり学会研究発表講演集,178-181
- 佐々木一郎 (1991):地すべり地塊の移動形態, Proceeding of the 1st Symposium on Geo-Environments、日本地質学会、113-118
- 佐々木一郎・新谷 融(1998):岩盤地すべりの三次 元破壊過程,日本地質学会第105回学術大会講演要 旨,306
- 佐々木一郎・新谷 融(2000a):地すべり地の平面形 態の運動学的考察,地すべり Vol.37, No.1, 11-17
- 佐々木一郎・新谷 融(2000b): 兵庫県船木地区地す べり移動観測結果からみた地塊の平面的回転運動, 地すべり Vol.37, No.2, 55-61
- 佐々木一郎・新谷 融(2000c): 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, 32-41
- 猿田拓己(1976):地すべり運動の形態的研究,北大
  卒論
- 瀬野徹三 (1995): プレートテクトニクスの基礎, 190, 朝倉書店
- 島根県隠岐支庁農林部(1989):山田第二期地区災害 関連緊急地すべり対策事業地質調査設計業務報告書, ㈱日本海技術コンサルタンツ
- 白石一夫(1992):積雪期に発生した地すべりの運動 形態とその対策,シンポジウム地すべり地形に関す

る諸問題論文集, 146-151

- 申 潤植 (1995):地すべり工学-最新のトッピクス-, 111-184、山海堂
- 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 88
- 高野秀夫(1960):地すべりと防止工法, 6-7, 42-53, 地球出版
- 高野秀夫(1983):斜面と防災,175,築地書館
- 玉田文吾・福田順二(1987): 陥没帯を伴う地すべり の発生機構,第26回地すべり学会研究発表講演集, 61-63
- 谷口敏雄(1963):地すべり調査と対策,16-21,山海 堂
- Terzaghi K. & Peck R. B. (1969): テルツァギ ペッ ク 土質力学 (星埜ほか共訳), 248, 丸善
- 綱木亮介(1996):最新の地すべり観測システムについて、基礎工、Vol.26, No.6, 21-26
- Varnes, D. J. (1958) : Landslide Types and Processes, Landslide and Engineering practice, HRB., Spec. Rep., No.29, 20-47
- Varnes, D. J. (1978) : Slopes Movement Types and Processes, Landslide Analysis and Control, HRB, Spec. Rep., No.176, 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, 12-13. 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,580、山海堂

#### Summary

The purpose of this study is to reveal the three-dimensional mechanism of block slide, and the areas of landslide disaster in the Kinki district were surveyed. The plane forms of landslides were classified into two, by analysis of landslide relief; the deformation type on both frank-sides of Form I was tension and tension, and that of Form II was tension and shear. And the following hypothesis was proposed; the translation or plain rotation movement formed these features.

Then, the hypothesis about correlation between the plane forms and the structure of sliding surface was proposed, by analysis of the geology of the landslides; Form I has Structure I composed of only the bottom slip surface and Form II has Structure II composed of the bottom and the side one. And the 59 points of landslide disaster places verified the hypothesis. Moreover, based on the in-situ observation datum, the illustrations of the movement of the two types were obtained.

Consequently the relation between the structure of slip surface, the mode of movement and the plane form was generalized, which was verified by the reappearing experiment of mass movement controlled by each shape of sliding surface model respectively. Finally the future application methods were proposed.

Key words : landslide relief, landslide plane form, block slide, plane rotation, three-dimensional mechanism



付図−Ⅳ−1 山田地すべり地平面図(子川・来海 1991より)



付図-IV-2 山田地すべり地断面図(子川・来海 1991より)

測	杭番	4/2	26~6	6/1	6/1~7/1移動量(mm)					7/1~8/1移動量(mm)					4/26~8/1累 計移動量(mm)				
<i>좖</i>		X	Y	Ζ	L	D	X	Y	Z	L	D	X	Y	Z	L	D	Ζ	L	D
	2	-8	-7	4	11	11	-11	-5	2	12	12	-19	-5	0	20	20	0	20	20
	2	-8	-7	4	11	11	-3	2	-2	4	4	-8	0	-2	8	8	0	22	24
	3	-10	-7	0	12	12	-12	-3	-2	12	13	-18	0	-5	18	19	-5	18	19
	Ū	-10	-7	0	12	12	-2	4	-2	4	5	-6	3	-3	7	7	-5	23	24
Ι	4	-14	-4	-1	15	15	-17	-3	-3	17	18	-20	0	-6	20	21	-6	20	21
		-14	-4	-1	15	15	-3	1	-2	3	4	-3	3	-3	4	5	-6	22	24
	5	-15	-3	0	15	15	-15	0	1	15	15	-23	0	0	23	23	0	23	23
		-15	-3	0	15	15	0	3	1	3	3	-8	0	-1	8	8	0	26	27
	6	-14	1	-4	14	15	-14	3	-3	14	15	-20	7	-5	21	22	-5	21	22
		-14	-02	-4	14	10	0	- 2	<u> </u>	4	<u></u>	-10	4	-2	1	(	-5	23	24
	2	-6	-23	3	24 94	24 24	-2	-20	-1	20 २	20 २	-10	~20	-2	11	11	0	27 28	21 38
		-6	-13	-1	14	14	-11	-13	-9	17	17	-15	-9	-3	17	17	-3	17	17
	3	-6	-13	-1	14	14	-5	Õ	-1	5	5	-4	5	-1	6	6	-3	26	26
	4	-4	-8	- 1	9	9	-5	-8	-1	9	9	-13	-10	3	16	17	3	16	17
п		-4	-8	1	9	9	-1	0	-2	1	2	8	-2	4	8	9	3	18	20
ш	5	-1	-3	-1	3	3	-5	-3	-2	6	6	-13	6	0	14	14	0	14	14
		-1	-3	-1	3	3	-4	0	-1	4	4	-8	9	2	12	12	0	19	20
	6	-6	-7	-7	9	12	-2	-6	-9	6	11	-8	1	-8	8	11	-8	8	11
		-6	-7	-7	9	12	4	1	-2	4	5	-6	7	1	9	9	-8	23	25
	7	-3	-4	-6	5	8	0	-2	-6	2	6	-1	1	-6	1	6	-6	1	6
	-	-3	-4	-6	5	8_	3	2	0	4	4	-1	3	0	3	3	-6	12	15
	2	-11	2	1	11	11	-22	4	0	22	22	-73	16	-8	75	75	-8	75	75
		-11	2	1	11	11	-11	2	-1	11	11	-51	12	-8	52	53	-8	75	75
	3	-19	-1 _1	-4	19	19	-40 _91	-1	-6	40	40	-99	-11	-34	100	105	-34	100	105
		-19	-9	-4	19	19	-21	0	-2	21	21	-59	-10	-28	00	00	-34	100	107
	4	-20	-3 -3	-4 -4	20	21 21	-30	-4 -1	-1	20	3U 21	-111	-21	-38	62	71	-38	113	119
		_20 _3	2	-2	20	21	-28	?	-7	20	20	-39	-3	-17	20	41	-17	114	141
Π	5	-3	2	-2	4	4	-25	-4	-5	25	26	-10	-1	-10	10	14	-17	39	44
	•	-3	-2	- 1	4	4	-5	-1	0	5		-3	ī	-9	3	10	-9	3	10
	6	-3	-2	1	4	4	-2	1	-1	2	2	2	2	-9	3	9	-9	9	16
	7	5	2	2	5	6	-4	-1	0	4	4	-1	-3	-8	3	9	-8	3	9
	1	-5	2	2	5	6	1	-3	-2	3	4	3	-2	-8	4	9	-8	12	18
	8	-5	1	3	5	6	-5	0	2	5	5	-2	-4	-5	4	7	-5	4	7
	0	-5	1	3	5	6	0	-1	-1	1	1	3	-4	-7	5	9	-5	11	16

**付表-Ⅳ-1** 地表面移動量(移動杭)観測結果(山田地すべり地1989年) (島根県1989より)

※ 上段は期間最終観測日の測定移動量で、下段はその期間の移動量

※ Xは末端方向が(-)、Yは右向きが(-)、Zは鉛直方向が(-) X(-)はAがS14W、BがS57W、CがS78W
 ※ L=(X<sup>2</sup>+Y<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup> D=(X<sup>2</sup>+Y<sup>2</sup>+Z<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>

孔番	深度	5/1	2~6/	1移動	<b>a</b> (mm)	6/1	~7/1	移動量	t (mm)	7/1	~8/1	移動量	(mm)	累計移 動量 (mm)
_	(m)	A	В	L	方向	<u>A</u>	В	L	<u> </u>	A	B	L	方向	L
1	4.0~	-0. 48	0.80	0. 93		-3. 16	0. 70	3. 24	_	-8. 85	1. 16	8. <del>9</del> 3		
T	5.0	-0.48	0.80	0. 93	S51E	-2.68	-0.10	2.68	S10W	-5.69	0. 46	5.71	S3W	9. 32
2	13.5 ~	-0. 54	0. 58	0. 7 <del>9</del>		-2. 30	-0. 22	2. 31		-6. 12	-0. 38	6. 13		
2	14. 5	-0.54	0. 58	0.79	S51E	-1. 76	-0. 80	1.93	S44W	-3. 82	-0.16	3. 82	S2E	6. 55
4	$\overset{11.5}{\sim}$	1. 24	-1. 32	1. 81		-0. 18	-0. 88	0. 90		-3. 89	-2. 20	4. 47		
	12. 5	1.24	-1.32	1.81	N7W	-1.42	0.44	1.49	S23W	-3. 71	-1.32	3. 94	\$60W	7.24
5	8.0~	-4. 82	0. 44	4. 84		-7.44	0.00	7.44		-10. 58	-0.10	10. 5 <b>8</b>		
-	9.5	-4.82	0.44	4.84	S75₩	-2.62	-0.44	2.66	W	-3.14	-0.10	3.14	S82W	10.64

**付表-IV-2** 地中移動量(孔内傾斜計)観測結果(山田地すべり地1989年) (島根県1989より)

\*上段は期間最終観測日の移動量で、下段はその期間の移動量

\*各孔の深度は、すべり面深度を示す。

\*Aは末端方向が(-)、Bは右向きが(-) A(-)は1孔がS8W、2孔がS4W、4孔がS40W、5孔がS80W \*L=(A<sup>2</sup>+B<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>



付図-IV-3 山田地すべり地平面図 (移動杭観測結果)



