

学 位 論 文 題 名

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

学位論文内容の要旨

日本の総農地面積の約 4 割にあたる中山間地域には、地すべり地が多く分布しているが、農林業生産の主要な場であることから、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。これら大規模な地形改変に伴って地すべり災害が誘発されるため、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その変動痕跡が地形として残ることから、この変動地形から運動特性を抽出することが重要となる。しかし、地すべりの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は未解明であり、とくに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する地形・運動情報は収集・整理すらされてこなかった。そこで本研究では、地すべり現象の典型である地塊型平面地すべりに焦点をあて、地すべり変動地形と運動特性との関連を明らかにすることを目的とした。

近畿地方中山間地域の災害に直結した地塊型地すべり地を研究対象とし、地すべり変動地形の解析により、特異地形の形成をもたらす地すべり三次元運動特性を解明することとした。これらの地すべり地の中から、地塊型平面地すべりの二つの類型を示す黒谷・狸谷地すべり地を典型事例として、地すべり地における変動地形と地すべり運動との関係を考察する地すべり地形解析と、ならびに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解析を行った。そしてこれらの結果と各地の現場計測データ等から得た運動実態の再現結果とを総合して、地すべり現象の変動地形・すべり面構造・運動の相互関係を考察した。

側部の滑落崖（閉塞・開口）と陥没帯に焦点をあてた地すべり地の変動地形解析にもとづき、平面形態を各部位の変動地形を形成した変形要素（引張・圧縮・剪断）によって類型化した。これによると、頭部と末端部の変形はいずれもそれぞれ引張、圧縮であるが、側部の変形についてみると、黒谷地すべり地は引張・引張の組合せ（平面形態Ⅰ）に、狸谷地すべり地は引張・剪断の組合せ（平面形態Ⅱ）に分類された。さらに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は両側部で横ズレ大となった。

つぎにこれらの変形要素と側部横ズレの大小という平面形態の特徴から、地すべり地塊運動様式を運動学的に考察し、平面形態Ⅰでは並進・平面的回転運動、平面形態Ⅱでは並進運動をとること、そしてこれらの地塊運動によってその周囲の各部位にその運動に応じ

た変動地形が現れるという仮説を提示した。とくに、地すべり地形に見られる左右非対称性は、この左右の変形性（引張・剪断）の違いと平面的な回転運動による横ズレの大小によって現出したものであること、また、左右側部の変動地形の変形性が異なっているのは平面形態Ⅱ、回転の要素によって左右の移動量や移動方向が異なっているのは平面形態Ⅰであることを示した。この形態分類にもとづいて、59ヶ所の地すべり変動地形解析を行ったところ80%を占める平面地すべり（20%は円弧地すべり）のうち、平面形態Ⅰが84%、平面形態Ⅱが16%を占めること、また平面形態Ⅰは二次すべり型、平面形態Ⅱは初生・再発すべり型であることが明らかとなった。

地塊型平面すべりの平面形態は様々で、塑性的変形・地塊ブロック化・崩壊・流動等、他の斜面変動と類似の態様を呈するものであるが、これらはすべり面の凹凸・地すべり地塊の性状・地すべり進行度合等の規定を受けて、多様な変動を出現させているものと考えた。しかし、すべり面構造に規定される運動が基本的であることから、地質調査にもとづき、すべり面を主すべり面（底部すべり面・側部すべり面）と派生すべり面（主働崩壊面・受働崩壊面）に、地すべり地塊を主すべり面上の主地すべり地塊と派生すべり面上の派生地塊（引張変形地塊・圧縮変形地塊）に区分し、主すべり面構造のモデル化を行った。これによって、平面形態Ⅰでは底部すべり面が主となる構造Ⅰ、平面形態Ⅱでは底部すべり面と側部すべり面がクサビ構造をなす構造Ⅱのすべり面構造をとるものとした。すべり面構造実態調査によって、この平面形態とすべり面構造との関係についてみたところ、すべり面構造Ⅰの93%が平面形態Ⅰを、すべり面構造Ⅱのすべてが平面形態Ⅱを示すことが明らかになった。

つぎに、地すべり地塊がすべり面構造に規定されてどのような運動様式をとり、どのような地すべり変動地形が形成されるかについて検討を行った。移動杭による表面移動量と孔内傾斜計による地中移動量との現場観測データによって、平面形態Ⅰ・すべり面構造Ⅰの地すべり地においては並進・平面的回転運動が、また平面形態Ⅱ・すべり面構造Ⅱの地すべり地においては並進運動が行われていることの実態を明らかにした。すなわち平面形態Ⅰ（船木地すべり地）では、主地すべり地塊の地表部（すべり面）では、角速度 4.6×10^{-5} rad/day (8.6×10^{-5} rad/day) の平面的回転運動と 6.2mm/day (5.0mm/day) の並進運動が確認された。これに対し、平面形態Ⅱ（山田地すべり地）では平面的回転運動はほとんどみられず、主地すべり地塊の地表部（すべり面）で 0.24mm/day (0.09mm/day) の並進運動が認められた。

これらは、すべり面構造とこれに規定された地すべり地塊の運動学的考察と、その形態をモデル化した模型の検討によっても確認された。また、地表部とすべり面付近では移動量・移動方向が異なっているケース、主地すべりでの上下方向での移動量の異なるパターン、平面的回転方向が地すべりの進行に伴って反転するケース等の運動実態が明らかになった。

以上のことから、平面地すべりの地塊運動は、構造Ⅰの並進・平面的回転と構造Ⅱの並進の大きく二つの運動様式をとり、すべり面構造とこれに規定された地塊運動によって、地塊周囲の各部位は変形をうけ、地表にはその変形によって地すべり変動地形の平面形態Ⅰ・Ⅱを現出させることになるという、すべり面構造・地塊運動・変動地形の三次元的相互関係が明らかになった。

従来、非対称的変動地形の原因、局所的な運動と地塊運動の差異、地塊部位ごとの移動

方向・移動量の差異、すべり面傾斜方向と移動方向の偏差などについては明らかにされてこなかったため、地すべり機構解析および地すべり対策上に問題があった。しかし本研究によって、地塊型地すべりの二つの類型を取り出し、それがすべり面構造とこれに規定された運動(とくに形態Ⅰの平面的回転運動)によって説明し得ることが明らかになったことから、地すべり三次元安定解析・地すべり三次元対策工事設計の可能性、ならびに地すべり地塊の変動特性に対応した土地利用・地形改変計画検討の可能性が提示された。

学位論文審査の要旨

主査	教授	新谷	融
副査	教授	中村	太士
副査	教授	笹	賀一郎
副査	助教授	山田	孝

学位論文題名

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

本論文は、図40、表10、写真11を含む総頁数150の和文論文であり、他に参考論文6編が添えられている。

地すべり地ではその変動痕跡が地形に残存することから、その変動地形から運動特性を抽出することが対策計画立案上重要となる。しかし地すべり変動地形の形成機構は未解明であり、とくに左右側部を含む平面形態およびその三次元運動に関する地形・運動情報は収集・整理すらされてこなかった。本研究は、地すべり災害が多発する地塊型地すべりの変動地形解析にもとづく三次元運動特性の解明を目的としたものであり、その成果の概要は以下の通りである。

1. 研究方法

近畿地方中山間地域の地塊型平面地すべり地を研究対象とした、地すべり地形と運動とに関わる変動地形解析、地すべり地塊の地質構造と運動を規定するすべり面構造解析、ならびに現場移動計測データ等にもとづく運動再現解析とからなる、地すべり地塊運動特性の総合解析手法を提起している。

2. 変動地形解析による地すべり平面形態特性

側部の滑落崖（閉塞・開口）と陥没帯に焦点をあて、各部位の変形要素（引張・圧縮・剪断）によって平面形態の類型化を行い、左右両側部ともに引張変形で側部一方が横ズレ大の平面形態Ⅰと、両側部が引張と剪断変形でともに横ズレ大の平面形態Ⅱに分類している。この形態分類にもとづいて、59ヶ所の地すべり変動地形解析を行ない、平面形態Ⅰが地塊型平面地すべりの大半（84%）を占めその多くが二次すべり型を呈する一方で、平面形態Ⅱの多くが初生・再発すべり型を呈することを明らかにしている。

つぎにこれら平面形態をもたらす地すべり地塊運動様式を運動学的に考察し、地すべり地形の左右非対称性が側部変形要素の差異（引張・剪断）とともに横ズレをもたらす平面的回転運動によるものであること、そしてこの平面的回転運動が左右の移動量・移動方向の異なる平面形態Ⅰを形成すること、すなわち平面形態Ⅰは並進・平面的回転運動（平面形態Ⅱは並進運動）に起因するものと示唆している。

3. すべり面構造特性と平面形態特性

すべり面を主すべり面(底部・側部)と派生すべり面(主働・受働)、地すべり地塊を主すべり面上の主地すべり地塊と派生すべり面上の派生地塊(引張変形・圧縮変形)の区分による、すべり面構造のモデル化を行っている。そして地すべり地質調査結果にもとづいたすべり面構造解析によって、底部すべり面を主とするすべり面構造Ⅰの93%が平面形態Ⅰを、また底部と側部のすべり面がクサビ構造を呈するすべり面構造Ⅱのすべてが平面形態Ⅱを示すなど、平面形態とすべり面構造との対応関係を明らかにしている。すなわち、地塊型平面地すべりの平面形態は、すべり面の凹凸・地すべり地塊の性状・地すべり進行度合等のなかでもとくにすべり面構造に規定された地塊運動を反映したものとしている。

4. 移動観測データ解析による地すべり地塊運動特性

移動杭による表面移動量と孔内傾斜計による地中移動量によって、すべり面構造に規定される地すべり地塊運動特性と地すべり変動地形との関連について検討を行っている。その結果、平面形態Ⅰ・すべり面構造Ⅰの地すべり試験地では、主地すべり地塊の地表部・すべり面における 6.2mm/day ・ 5.0mm/day の並進運動と角速度 $4.6 \times 10^{-5} \text{ rad/day}$ ・ $8.6 \times 10^{-6} \text{ rad/day}$ の平面的回転運動を、また平面形態Ⅱ・すべり面構造Ⅱの地すべり試験地では主地すべり地塊の地表部・すべり面で 0.24mm/day ・ 0.09mm/day の並進運動を抽出している。これら並進・平面的回転運動については、すべり面構造・平面形態の地すべりモデルによる運動再現実験によっても確認されたことから、すべり面構造に規定された地すべり地塊運動特性を解明している。

5. 地すべり地塊運動機構の解明と三次元安定対策

すべり面構造・地塊運動・変動地形の三次元的相互関係の運動学的検証を行い、主地すべり地塊の上下方向での移動量の差異、地表部とすべり面における移動量・移動方向の差異、地すべりの進行に伴う平面的回転方向の反転等、地すべり地塊の多様な運動機構を解明している。さらに本研究の成果にもとづいて、地すべりの三次元安定解析および対策・優先順位を選択や三次元対策工事設計の可能性、さらには地すべり地塊の変動特性に対応した土地利用・地形改変計画の可能性を提起している。

以上のように本研究は、地すべりの変動地形・すべり面構造・地塊運動の相互関係を運動学的に解明したものであり、その成果は学術・応用両面から高く評価される。よって審査員一同は、佐々木一郎が博士(農学)の学位を受ける十分な資格があるものと認定した。