様式７号（第 12 条，第 31 条関係）
（様式７号）(Format No.7)　日本語版

学　位　論　文　要　旨
(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	高速道路切土のり面に発生した再活動地すべりに対するリングせん断試験および順解析に基づく実証的研究(An Empirical Study on Reactivated Landslides on Cut Slopes of Expressways Based on Ring Shear Tests and Forward Analysis)
氏　名(Name)	金子　雅博

本研究は、中国地域管内の高速道路において、供用開始後 20 年～40 年が経過した切土のり面で発生した再活動地すべりを対象に、その発生メカニズムの解明と安定解析結果の適用性について検証するものである。特に、本研究では高速道路で実際に再活動が確認された 3 箇所の地すべり事例を対象に、建設時の地すべり発生状況および供用後の点検結果，近年の再活動に至るまでの地質調査・室内試験・安定解析・対策工の一連の取組みを体系的に整理した。その上で、再活動地すべりのメカニズムから安定解析評価に至る過程を明らかにすることを目的とする。

高速道路では、供用開始時までに斜面対策を実施しているものの、供用開始後から長期間の運用中に地すべりが再発する理由は十分に解明されていない。また、調査手法について一定の整理がなされているものの、具体的な実施方針は確立しておらず、維持管理上の重要な課題となっている。

再活動地すべりに着目する理由として、磯崎の研究にあるように地すべりの大半は再滑動型であることが示されている。また、高速道路調査会の調査でも再滑動型地すべりが多くの割合を占めることが報告されている。さらに近年では、比較的規模の大きい高速道路における長期滑動・再滑動地すべり箇所として全国で確認されており、重要な課題として認識されている。このため、再活動地すべりの原因究明に取り組むことは高速道路などを維持管理するためにはとても重要である。

一般的に地すべりは，地形条件・地質構造・地下水挙動・風化過程・外力など多様な因子が複雑に関与する現象である。本研究で対象とする再活動地すべりは、ごく緩慢な滑動が長時間続くもので、なかには数十年に及ぶものもある。このような地すべりでは、すべり面のせん断強度はすべり面から離れた部分のせん断強度よりも小さく、掘削や盛土など人為的変化もしくは降雨や地震等の自然条件の変化により再び滑動することが多い。

したがって、地すべりの安定性を評価するには、すべり面のせん断強度を適切に評価することが重要となる。 特に、再活動地すべりの長期安定問題は、Skempton が提唱した残留強度に伴って，最大せん断応力（ピーク強度）から漸次低下し，せん断変位の進行とともに土粒子が完全に再配向する定常応力状態に達したときの値とされる。このため、地すべり斜面の安定性を評価するには、すべり面の残留強度を適切に評価することが重要である。

しかしながら、実務における地すべり斜面の安定解析には、土質試験に基づかない逆解析がほとんどである。一方で、室内試験から得られたせん断強度と逆解析結果が一致しない事例も多く報告されており、個々の地すべり機構の特性や安定解析手法の適用性に着目して検討していくことが重要であると指摘されている。さらに、室内試験による残留強度を直接用いた解析の妥当性については十分な検証がなされていない。加えて，実際の地すべり土塊には礫分を含む場合が多いにもかかわらず，従来の室内試験では細粒分主体の供試体が用いられることが一般的であり，現地の土質条件を十分に反映していない可能性が指摘されている。

(和文 2,000 字程度 / 英文 800 語程度)
(about 800 words)

様式 7 号（第 12 条，第 31 条関係）
（様式 7 号）(Format No.7)　日本語版

これまでの残留強度に関する研究は、残留強度を求める試験方法の基準化や測定精度の向上を主な目的としており、試験手法や結果解釈の確立、荷重条件が試験結果に与える影響、土の物性値との関連性の検討が大半を占めている。一方で、室内試験によって得られた残留強度が、実際の地すべり安定解析において算出される現状安全率と整合しているかどうかを検証した事例は限られている。また、土質試験結果に基づいてすべり面の強度定数決定方法の提案はあるものの、実際の地すべり事例に適用し、その妥当性を検証した事例報告はほとんど見られない。さらに、再活動地すべりによる崩壊現場について、過去の崩壊履歴や対策工施工までの経緯，供用後の点検結果，その後の詳細調査から土質試験までの分析と評価がなされた一連の報告事例は僅かである。

以上のことから、本研究では再活動地すべりに対し、施工当時の地すべり状況を記した貴重な資料から調査や設計内容を整理し、その後の点検状況を踏まえ、新たに実施した調査ボーリングや動態観測から地すべり状況をまとめた。さらに、残留強度に着目したリングせん断試験から土質定数の設定および安定解析に必要な現状安全率を用いて、順解析を実施した。特に本研究では，現地の礫混入率に基づく礫混入供試体を作製し，残留強度特性の評価を行った点において特徴がある。

以上の検討により、室内試験によるせん断強度が実際の地すべり安定解析におおむね適用可能であることを示した。また，礫混入供試体による評価を取り入れることで，現地条件をより適切に反映した安定解析が可能となることを示した。

これらの検討を通じて、再活動地すべりのメカニズムの解明および安定解析精度の向上、ならびに従来の事例では数少ない礫混入供試体の作製に基づく順解析手法の有効性を明らかにした。

以上

(和文 2,000 字程度 / 英文 800 語程度)
(about 800 words)

様式７号（第 12 条，第 31 条関係）
（様式７号）(Format No.7) 英語版

学 位 論 文 要 旨
(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	高速道路切土のり面に発生した再活動地すべりに対するリングせん断試験および順解析に基づく実証的研究 An Empirical Study on Reactivated Landslides on Cut Slopes of Expressways Based on Ring Shear Tests and Forward Analysis
氏　名(Name)	MASAHIRO　Kaneko

This study investigates the mechanisms of reactivated landslides that occurred on cut slopes of expressways in the Chugoku region of Japan after 20 to 40 years of service and examines the applicability of stability analyses based on shear strength parameters obtained from laboratory tests. Three actual cases of reactivated landslides on expressway cut slopes were selected for detailed investigation. For each case, the landslide conditions during construction, post-service inspection records, geological surveys, laboratory tests, stability analyses, and countermeasure works were systematically reviewed. Based on these investigations, the processes leading from landslide reactivation mechanisms to stability assessment were clarified, and the effectiveness of forward analysis using residual shear strength parameters was evaluated.

Although slope stabilization measures are generally implemented before expressways are opened to traffic, the mechanisms responsible for landslide reactivation several decades after service commencement have not been fully understood. Furthermore, while general investigation procedures have been organized in technical guidelines, practical methodologies for assessing reactivated landslides remain insufficiently established, making their management an important issue in expressway maintenance.

The significance of reactivated landslides has been highlighted by previous studies showing that most landslides are reactivation-type landslides. In particular, studies by Isozaki demonstrated that the majority of landslide movements occur through reactivation of pre-existing slip surfaces. Similar findings have been reported in investigations of expressway landslides. In recent years, relatively large-scale landslides exhibiting long-term or renewed movements have been identified nationwide along expressways, emphasizing the need to clarify their causes for effective infrastructure maintenance and management.

Landslides are complex phenomena governed by various factors, including topography, geological structure, groundwater behavior, weathering processes, and external forces. The reactivated landslides examined in this study are characterized by extremely slow movements that may continue for decades. Under such conditions, the shear strength along the existing slip surface becomes lower than that of the surrounding ground. Consequently, excavation, embankment construction, rainfall,

(和文 2,000 字程度 / 英文 800 語程度)
(about 800 words)

earthquakes, or other environmental changes may trigger renewed displacement along the established slip surface.

Appropriate evaluation of slip-surface shear strength is therefore essential for assessing landslide stability. In particular, the long-term stability of reactivated landslides is closely related to the concept of residual strength proposed by Skempton. Residual strength represents the steady-state shear resistance attained after peak strength has gradually decreased with increasing shear displacement and complete reorientation of soil particles. Accurate determination of residual shear strength is therefore a key requirement for evaluating landslide stability.

Despite its importance, practical landslide stability analyses often rely on back analysis to determine strength parameters rather than using values directly obtained from laboratory testing. Moreover, many studies have reported discrepancies between laboratory-measured shear strengths and those estimated through back analysis. These findings indicate the need to evaluate stability analysis methods while considering the characteristics of individual landslide mechanisms. In addition, the validity of directly applying laboratory-derived residual strength values to actual landslide stability analyses has not been sufficiently verified.

Another issue is that actual landslide masses often contain significant amounts of gravel, whereas conventional laboratory tests generally use fine-grained specimens from which coarse particles have been removed. Consequently, traditional testing methods may not adequately represent in-situ conditions. Although previous studies have focused on test standardization, measurement accuracy, loading conditions, and relationships between residual strength and soil properties, relatively few have examined the consistency between laboratory-derived residual strength values and actual landslide stability analyses.

To address these issues, valuable historical records describing landslide conditions during expressway construction were compiled and integrated with post-service inspection data, newly conducted borehole investigations, and long-term monitoring results. Ring shear tests focusing on residual strength characteristics were then performed, and the resulting soil parameters were applied in forward analysis of slope stability.

A distinctive feature of this study is the preparation and testing of gravel-mixed specimens reproducing the gravel content observed in the field. The residual strength characteristics of these specimens were evaluated to more realistically represent actual landslide materials.

The results demonstrated that shear strength parameters obtained from laboratory tests are generally applicable to practical landslide stability analyses. Furthermore, incorporating evaluations based on gravel-mixed specimens enabled more realistic representation of field conditions and improved the reliability of stability assessments. Through these investigations, the mechanisms of reactivated

landslides were clarified, the accuracy of stability analyses was enhanced, and the effectiveness of forward analysis based on residual-strength parameters obtained from gravel-mixed specimens was demonstrated. These findings contribute to the advancement of investigation, evaluation, and maintenance technologies for reactivated landslides affecting expressway infrastructure.

（様式９号）

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏　　名	金子　雅博
審査委員	主　　査：鈴木　素之
	副　　査：中田　幸男
	副　　査：中島　伸一郎
	副　　査：吉本　憲正
	副　　査：森　　啓年
論文題目	高速道路切土のり面に発生した再活動地すべりに対するリングせん断試験および順解析に基づく実証的研究　(An Empirical Study on Reactivated Landslides on Cut Slopes of Expressways Based on Ring Shear Tests and Forward Analysis)

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

本学位論文は，高速道路の切土のり面において供用開始後長期間を経て発生した再活動地すべりを対象とし，その発生機構の解明と安定解析手法の有効性について取りまとめたものである．高速道路では，供用開始時までに斜面対策が実施されるものの，供用開始後から長期供用期間中に地すべりが再発する理由については未解明な点が多い．また，調査手法について一定の整理がなされているが，具体的な実施方針は確立しておらず，維持管理上の重要な課題となっている．本研究で再活動地すべりに着目する理由として，既往の研究において地すべりの大半が再活動型であることが指摘されており，高速道路においても同様の傾向が報告されている．このため，再活動地すべりの原因究明に取り組むことは高速道路の維持管理を行ううえで極めて重要である．さらに，再活動地すべりは一般に残留強度状態で滑動すると考えられており，その安定性評価にはすべり面の残留強度を適切に把握することが重要である．そこで，本論文では，中国地域管内の高速道路において，供用開始後 20 年～40 年を経て再活動した 3 箇所の地すべり事例を対象として，建設時から供用後に至る履歴や再活動後に実施された地質調査，室内試験および安定解析結果を体系的に整理し，その成果を全６章にまとめた．

第 1 章では，本論文の背景や目的を整理するとともに，高速道路切土のり面における地すべり対策の現状と課題についてとりまとめた．

第２章では，　A，B および C の 3 地区の再活動地すべりを対象として，建設時から供用後に至る履歴を整理・分析した．その結果，いずれの事例においても，建設時の切土掘削によって発生した地すべりが対策工実施後に安定化したものの，供用後 20～40 年を経て再び活動した事例であることを明らかにした．また，すべり面付近には膨潤性粘土鉱物が共通し

（様式９号）

て分布しており，地質および地下水条件に加え，集中豪雨の影響が再活動の誘因になった可能性があることを示した．

第 3 章では，A 地区を対象として，既存資料および追加調査結果を用いて地すべり機構を解明するとともに，複数断面および単断面に対する逆解析を実施した．その結果，各解析から得られた強度定数は概ね整合しており，実際の地すべり挙動を合理的に説明できることを明らかにした．

第 4 章では，B 地区を対象として，建設時および再活動時の調査結果を比較したうえで，リングせん断試験から得られた残留強度と地下水条件を用いた順解析を実施した．その結果，現地の変状および安全率評価を概ね再現できることを示し，順解析の有効性を明らかにした．

第 5 章では，C 地区を対象として，礫混入率を考慮した供試体のリングせん断試験により得られた残留強度の安定解析への適用性を検討した．その結果，従来の礫未混入供試体による評価では安全率が大きく乖離する一方で，原位置の条件を反映した礫混入供試体による残留強度を用いることで，安全率をより実態に近く算定できることを明らかにした．

第 6 章では，第 5 章までの結果を総括し，再活動地すべりにおいて，リングせん断試験から得られた残留強度を用いることで，従来の安定解析において課題とされていた試験結果と現地挙動との安全率の乖離を定量的に改善できる可能性が示された．これにより，実務における再活動地すべりの安定解析精度の向上に資する新たな知見が得られた．

これらの成果は，高速道路切土のり面の維持管理の高度化に有用な指針を与えるものであり，特にリングせん断試験による残留強度評価の有効性を示した点で，学術的価値のみならず実務的価値も高い．

公聴会は対面及びハイブリッドの併用開催とし，学内外からおおよそ110名の参加があった．公聴会における主な質問は，

1）粘土鉱物の分析評価の有効性について

2）安定解析でリングせん断試験を採用した理由

3）逆解析と室内試験における粘着力の差異について

4）道路切土のり面の長期安定性評価に対する残留強度の有用性について

いずれの質問に対しても発表者から的確な回答がなされた．

以上より本研究は独創性，信頼性，有効性，実用性ともに優れ，博士（工学）の論文に十分値するものと判断した．

論文内容及び審査会，公聴会での質問に対する応答などから，最終試験は合格とした．

なお，主要な関連論文の発表状況は以下のとおりである．（関連論文 計３編）

1）金子雅博，神山惇，下野宗彦，秦二朗，鈴木素之：再滑動型地すべりを対象としたすべり面と残留強度の把握および斜面安定解析の結果，地盤工学会中国支部論文報告集 地盤と建設，Vol.36，No.1，pp.161-168，2018.

2）金子雅博，神山惇，下野宗彦，秦二朗，鈴木素之：再滑動地すべりの安定性評価におけるリングせん断試験と逆算法による強度定数の比較 －供用開始後 40 年が経過した切土のり面の地すべり事例－，地盤工学ジャーナル，Vol.16，No.1，pp.49-61，2021.

3）金子雅博，秦二朗，武田龍征，軸屋雄太，鈴木素之：リングせん断試験で得られた強度パラメータに基づく再活動地すべりの順解析による安定性評価，地盤工学会中国支部論文報告集 地盤と建設，Vol.43，No.1，pp.33-45，2025.