

学 位 論 文 要 旨

氏 名 木村 匠

題 目 泥岩地すべりのすべり面に関する強度と安定解析に関する研究
(STUDIES ON SHEAR STRENGTH MOBILIZED ALONG THE SLIP
SURFACE AND STABILITY ANALYSIS OF MUDSTONE LANDSLIDES)

地すべりの発生・再発生の最大素因は土質であり、せん断強度が直接的に関与する。すべり形態およびすべり面状況を基に、ピーク強度、完全軟化強度および残留強度のいずれであるか、または、それらの複数が動員されるのかを明らかにすることは重要である。

本研究では、沖縄、島尻層群泥岩地すべりについて、まず、せん断試験により得た強度定数を活用して準初生地すべりの安里地すべりの発生・再滑動に関与する強度を明らかにした。次に、各種すべり形態におけるすべり面平均強度定数の合理的な決定手法の確立を目指した。さらに、地すべり土の強度図を用いたすべり面平均強度定数の推定を試みた。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 地すべり再滑動では、すべり面の大部分に残留強度が、一部域に完全軟化強度が関与する。地すべり発生直後（移動時）の安定解析において、すべり面平均強度として残留強度を充てることにより地下水位の推定が可能になる。すべり発生（初生）では、推定地下水位を適用することにより、すべり面平均強度定数 (\bar{c}' , $\bar{\phi}'$) を算出できた。得られた \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ と残留係数 R は、すべり面域にピーク強度（破碎泥岩）と残留強度（構造的弱面）の関与を示すことが明らかになった。
- 2) 島尻層群泥岩分布地域の地すべりは移動形態が様々であり、すべり面の状態も異なった。地すべり移動量、すべり面状況等のすべり形態に応じて測定せん断強度を適用し、土質力学的根拠を有する合理的なすべり面平均強度定数を決定した。地すべり再活動時におけるすべり面平均強度のとり得る範囲について、すべり移動量、すべり面状況を基に整理することができた。
- 3) 島尻層群泥岩地すべりのすべり形態の異なる4事例について、地すべり土の強度図を活用した \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ と測定せん断強度適用の \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ は、すべり面に破碎ピーク強度が関与する地すべりでも差は小さく、残留強度および完全軟化強度が関与する地すべりでは一致した。適切な \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ の決定のためには、すべり面土のせん断強度測定が原則であるが、何らかの制約によってそれが困難な場合には、地すべり土の強度図を活用して \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ を推算することができることが明らかになった。

学 位 論 文 要 旨

氏 名 Sho Kimura

題 目 STUDIES ON SHEAR STRENGTH MOBILIZED ALONG THE SLIP SURFACE AND STABILITY ANALYSIS OF MUDSTONE LANDSLIDES
(泥岩地すべりのすべり面に関する強度と安定解析に関する研究)

This study describes three challenges to understand the shear strengths along the slip surface of landslides in the area of Shimajiri-mudstone, Okinawa, Japan. The first discussion is the shear strengths along the slip surface in the first-time activation and reactivation of Asato landslide, which is a quasi-first activated slide. The second is a more rational determination of the appropriate average shear strength parameters (average cohesion \bar{c}' , average angle of shearing resistance $\bar{\phi}'$). Here, a stability analysis that considers both the slide patterns and slip surface conditions has been done by applying the results of laboratory shear tests of the slip surface soils. The third is the estimation of \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ using the shear strength diagram of landslide soils.

1. It is considered that in the reactivation, residual strength is applicable for most parts of the slip surface, while the remaining parts of it are at the fully softened strength. In the stability analysis during sliding subsequent to the first-time activation, using the residual strength as the average shear strength that acts along the slip surface for the entire slip surface enables estimation of the position of groundwater level. For the first-time activation, \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ was calculated through the application of the estimated groundwater level. The parameters of \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ and the residual factor R indicate that both the peak (fractured-mudstone) and the residual (structural weak planes) strength prevail on the slip surface.
2. The Shimajiri-mudstone landslides had different slide patterns, while the slip-surface conditions varied from one landslide to the other. Measured shear strengths were applied in the stability analysis depending on the magnitude of displacement and slip-surface conditions of the landslides and the average shear strength parameters have been calculated with reasonable accuracy. Ranges of average shear strength parameters at the time of reactivation are presented based on the distance of movement and slip-surface conditions of the landslides. Thus, for the application of measured shear strengths in stability analyses of landslides, it is important to grasp an appropriate perception of the actual slip-surface conditions and estimate shear strengths of slip-surface soils more accurately.
3. \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ of the four Shimajiri-mudstone landslides having different slide patterns have been obtained by two methods involving an estimation method using the shear strength diagram of landslide soils and an ordinary method using the results of laboratory shear tests of soil samples. The difference of the two average shear strengths was small in the case of the landslides where the residual and fractured-mudstone peak strengths had been mobilized, while the two methods produced close agreement in case of the landslides where the residual and fully softened strengths had been mobilized. Although, the determination of appropriate \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ is done using the measured shear strength of slip surface soil as a fundamental rule, when it is difficult to do so due to certain restrictions, \bar{c}' , $\bar{\phi}'$ can be effectively estimated using the shear strength diagram.

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏名	木村 匠
審査委員	主査 琉球大学 教授 酒井一人
	副査 琉球大学 准教授 中村真也
	副査 佐賀大学 准教授 近藤文義
	副査 琉球大学 教授 井上章二
	副査 鹿児島大学 教授 下川悦郎
題目	泥岩地すべりのすべり面に関与する強度と安定解析に関する研究 (STUDIES ON SHEAR STRENGTH MOBILIZED ALONG THE SLIP SURFACE AND STABILITY ANALYSIS OF MUDSTONE LANDSLIDES)
<p>都市近郊・農村において地すべりが多発している。地すべりの発生・再発生の最大素因は土質であり、せん断強度が直接的に関与する。すべり形態およびすべり面状況を基に、ピーク強度、完全軟化強度および残留強度のいずれであるか、または、それらの複数が動員されるのかを明らかにすることは重要である。</p> <p>本研究では、沖縄、島尻層群泥岩地すべりについて、まず、せん断試験により得た強度定数を活用して準初生地すべりの安里地すべりの発生・再滑動に関与する強度を明らかにした。次に、各種すべり形態におけるすべり面平均強度定数の合理的な決定手法の確立を目指した。さらに、地すべり土の強度図を用いたすべり面平均強度定数の推定を試みた。得られた結果は以下のように要約される。</p>	

- 1) 地すべり再滑動では、すべり面の大部分に残留強度が、一部域に完全軟化強度が関与することを示した。地すべり発生直後（移動時）の安定解析において、すべり面平均強度として残留強度を充てることにより地下水位の推定が可能になることを示した。すべり発生（初生）では、推定地下水位を適用することにより、すべり面平均強度定数を算出できた。得られたすべり面平均強度定数と残留係数 R は、すべり面域にピーク強度（破碎泥岩）と残留強度（構造的弱面）の関与を示すことを明らかにした。
- 2) 島尻層群泥岩分布地域の地すべりは移動形態が様々であり、すべり面の状態も異なつたことを指摘した。地すべり移動量、すべり面状況等のすべり形態に応じて測定せん断強度を適用し、土質力学的根拠を有する合理的なすべり面平均強度定数を決定した。地すべり再活動時におけるすべり面平均強度のとり得る範囲について、すべり移動量、すべり面状況を基に整理することができた。
- 3) 島尻層群泥岩地すべりのすべり形態の異なる事例について、地すべり土の強度図を活用したすべり面平均強度定数と測定せん断強度適用のすべり面平均強度定数は、すべり面に破碎ピーク強度が関与する地すべりでも差は小さく、残留強度および完全軟化強度が関与する地すべりでは一致することを示した。適切なすべり面平均強度定数の決定のためには、すべり面土のせん断強度測定が原則であるが、何らかの制約によってそれが困難な場合には、地すべり土の強度図を活用してすべり面平均強度定数を推算することができることが明らかにされた。

以上のように、本研究は、島尻層群泥岩分地すべりにおけるすべり面に関与する強度と、すべり面平均強度定数の合理的決定法とその推定法を明らかにしており、得られた成果は地域農業工学（地すべり学）の発展に寄与するところが大きく、学術的に高く評価できる。したがって、本審査委員会は、本論文は学位論文として十分に価値あるものと判定した。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏名	木村 匠
審査委員	主査 琉球大学 教授 酒井一人
	副査 琉球大学 准教授 中村真也
	副査 佐賀大学 准教授 近藤文義
	副査 琉球大学 教授 井上章二
	副査 鹿児島大学 教授 下川悦郎
実施年月日	平成 23年 1月 28日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) <input checked="" type="radio"/> 口答 <input type="radio"/> 筆答	
<p>主査、副査の5名は、平成23年1月28日、学位申請者本人に対して学位申請論文の説明を求め、その内容および関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は、申請者が大学院博士課程修了者としての学力ならびに識見を有するものと認め、博士（農学）の学位を与えるに十分な資格を有すると判定した。</p>	

学位申請者
氏名

木村 匠

- 【質問1】 富盛地すべりは残留係数が比較的低い値となっている。再活動型地すべりであれば残留強度の関与がもう少し大きくなると考えられるが、その理由は何か？
- 【回答1】 富盛地すべりの下方部は土被り圧が低く、移動量も小さかったため、すべり面の形成・発達が進んでおらず、完全軟化強度が発揮されると考えます。残留係数は、すべり面で発揮される抵抗力における残留強度関与の割合であり、残留強度が同時に動員される強度が小さいと比較的低い値となる側面も持っています。
- 【質問2】 再滑動時の安定計算で得た完全軟化強度関与領域を現地で検証することは可能か？
- 【回答2】 斜面状況やボーリングコアの観察によってある程度確認することができます。実際には両領域が明確な境界で接しているのではなく、間に中間的な領域が存在していると考えています。
- 【質問3】 地質弱面が存在する場合には、残留強度のような低い強度が発揮されると考えられるか？
- 【回答3】 島尻層群泥岩中の断層・小断層はほとんどがクリーンカット型であり、地質弱面には残留強度もしくはそれに近い強度が発揮されると考えられます。
- 【質問4】 強度図の活用によるせん断強度の推定手法は、すべてのケースでせん断強度を推定できるか、もしくはある条件では推定できない場合はあるのか？
- 【回答4】 すべり面において破碎ピーク強度が関与する場合、比較的推定が難しくなります。ピーク強度と物理的指標（ N 値や単位体積重量等）との関係を明らかにすることが今後の課題と考えます。島尻層群泥岩分布地域において発生する地すべりのほとんどに今回の手法が適用できると考えます。
- 【質問5】 強度図の破線は回帰線か？また、両側の点線は統計的な信頼区間の上限と下限と考えてよいか？仲順地すべりや森川地すべりの破碎ピーク強度の推定において、 ϕ'_f の推定値に差異が考えられる。解析結果への影響はどう考えているか？
- 【回答5】 破線は回帰線です。両側の点線は完全軟化強度 ϕ_{sf} の幅が反映されたものです。仲順や森川地すべりについて、破碎ピーク強度の ϕ'_f を強度図の2点線に基づいて求め、地下水位の変化による安全率の変化を確認したことがあります。森川地すべりのような小さい地すべりの場合に ϕ'_f の違いの影響が大きいことがわかりました。

【質問6】地すべりの予防という観点で、この研究の成果が活用できることは何か？また、地すべり発生前に地下水位は実測できるか？

【回答6】地すべり発生前の不安定斜面の調査において、地すべりブロックの推定と地すべり発生地下水位の推定に活用できると考えます。発生前の地下水位の実測は、モニタリングをすれば可能ですが、これまでの復旧型地すべり対策の考え方では調査費を計上できないので、現実的には難しいです。しかし、今年度、地すべりが起こる前に事前調査を行う新たな事業が予算化されましたので、今後は可能になるかもしれません。

【質問7】島尻層群泥岩地すべりは、すべてが流れ盤で起こるのか？また、受け盤で起こる場合、せん断面には異なる地質や岩石が見られるか？

【回答7】受け盤でも地すべりは起こっています。森川地すべりは受け盤で発生したものです。島尻層群泥岩は凝灰岩・砂岩層をわずかに挟む比較的均質な泥岩層ですので、すべり面は泥岩で構成されます。

【質問8】配向生粘土鉱物総量と塑性指数から残留強度を推定する2つの方法があるが、使い分けする場合はあるのか？

【回答8】すべり面土の配向性粘土鉱物総量を指標として用いれば、地質・土質、物理的・鉱物学的性質、異にするすべり面土の残留強度を推定することができます。同一の地質背景を有する地すべり土について良好な塑性指数と残留強度の関係が示されている場合は、塑性指数の活用も有効です。

【質問9】仲順地すべりのすべり面平均強度定数について、強度図活用の場合と測定せん断強度活用の場合で差異が見られた理由は何か？

【回答9】破碎ピーク強度の推定が難しいためです。今後、ピーク強度と物理的指標（ N 値や単位体積重量等）との関係を明らかにすることでより客観的に推定できると考えています。

【質問10】配向生粘土鉱物について、陽イオン交換容量等の化学性が大きく異なるスメクタイト、クロライト、マイカをひとまとめにして良いのか？

【回答10】大変位せん断によって、2:1型層状ケイ酸塩鉱物が複雑に関与し合っ
て粒子配向の配向が進み残留せん断状態に至ります。スメクタイト
単独の含有量と残留強度の関係では、多くの地すべりが関係線から
逸脱し、残留強度推定が不可能でした。一方、配向性粘土鉱物総量
との関係は全ての種の地すべり土において良好で、残留強度の推定
に適していることが明らかになっています。