

機関番号：12301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760367

研究課題名（和文）流れ盤斜面の地震時崩壊の誘因となる層理面の力学特性の類型化

研究課題名（英文）Classification of the mechanical properties of bedding planes triggering dip-slope failure during earthquake

研究代表者

若井 明彦（WAKAI AKIHIKO）

群馬大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90292622

研究成果の概要（和文）：

層理面が有する典型的な力学特性について、地震時を想定した载荷条件下での研究が極めて少ないことから、これを明らかにするため、多様な試験条件下での結果を蓄積してきた。繰返しせん断試験を行うと、処女载荷時に大きなせん断抵抗を示した後、急激にせん断強度を失うことが観察された。過去に日本国内で発生した典型的な流れ盤斜面地すべりを対象に、それぞれの斜面で地すべりの原因となった層理面の繰返し载荷時の力学特性を明らかにした。また、これに基づく地すべりの数値シミュレーション（動的弾塑性 FEM）を実施した。また、層理面の繰返し载荷時のせん断特性を把握する研究過程において、その面に垂直な引張強度が極めて低いこと、特に急速载荷時にこの傾向が顕著になることを発見した。その引張強度特性を詳細かつ定量的に調べるため、専用の岩盤打撃試験機を開発した。この装置は、層理面を挟在する岩盤の供試体の端部を層理面と垂直な方向に打撃することで、その衝撃波が層理面を波動として通過する際に層理面を引張り破壊させることを想定した新たな実験装置であり、段階的に打撃力を操作することで、層理面の引張り破壊に必要な最低限の引張力を逆算する仕組みとなっている。これを用いた層理面の引張り強度の計測結果から、地震時の層理面の引張り破壊と地すべりとの関連性を分析した。

研究成果の概要（英文）：

Experimental studies to investigate the mechanical properties of bedding planes in dip slopes are performed here, while such sort of studies have been slightly tried by others before. As seen in the experimental results in cyclic loading tests of the actual undisturbed soil specimen, the shear strength degradation after mobilizing the peak strength in virgin loading was observed. This fact will help for analyzing the numerical simulation based on the dynamic elasto-plastic finite element method for earthquake-induced landslides in dip slopes triggered by the strain-softening effects on the bedding planes. In addition, a new experimental apparatus applying impact forces perpendicular to a bedding plane in undisturbed block sample for measuring the tensile strength in high strain rate were developed in this study. The obtained results by the experiment will also be very effective for prediction of earthquake-landslides with separation of bedding plane during earthquake.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：自然災害

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地すべり、層理面、流れ盤斜面、地震、ひずみ軟化、せん断、引張り強度、要素試験

1. 研究開始当初の背景

自然斜面、特に「流れ盤斜面」が地震時に平面すべり様の大規模崩壊を起こすことがよく知られている。最近でも2004年の新潟県中越地震、2007年の新潟県中越沖地震、2008年の岩手宮城内陸地震などでは、中山間地の流れ盤斜面で大小数多くの岩盤崩壊が発生した。このような種類の斜面崩壊は一度発生すると崩壊した岩塊の長距離かつ高速の移動を伴う場合が多く、人命のみならず斜面下の社会基盤施設等に甚大な被害をもたらす恐れがある。

一方、通常の地すべりを対象にした研究においては、このように層理面などの不連続面に沿って斜面の一部が滑り出す事象を考える場合、そこには滑り面粘土などの軟弱層（あるいは残留強度に至っている既存弱面）が存在することを想定するのが一般的であり、上記の地震でしばしば報告されている凝灰岩質の薄層が地震中に急激に強度低下を起こすような現象は想定されていない。

一部の斜面では末端部の風化砂岩内で液状化に近い現象が発生した報告もあるが、必ずしも地下水位の低い斜面において、また地下水浸透がそれほど容易であるとは思えない岩質斜面においては、液状化とやや異なった機構で強度低下の発生した可能性がある。繰返し载荷により層理面の構造が失われるとともに、組織内の僅かな含水量が多少の過剰間隙水圧の上昇と動摩擦低下の作用を助長し、これらの複合作用により（巨視的に見て）ひずみ軟化が進行したと捉えて解釈するのが、最も自然な考え方であると思われる。

以上から分かるように、今後、流れ盤斜面の地震時防災対策を考える場合、地震時に大規模崩壊する現象の主たる誘因と考えられる層理面の力学特性（繰返し载荷履歴と強度低下との関係）を詳しく調査し、その強度測定のための調査・試験法を確立するとともに、適切に数理モデル化（弾塑性構成モデル）し、それに基づいて斜面全体の斜面崩壊を合理的に解釈、予測することが、きわめて重要であると考えられる。

2. 研究の目的

本課題研究において明らかにする点は、以下の二つの事項である。

(1) 層理面の一般的な地震時力学特性の調査

層理面が有する典型的な力学特性がどのよ

うなものであるか、地震時を想定した载荷条件下での研究が極めて少ない。これを明らかにするため、多様な試験条件下での結果を蓄積することが急務である。研究代表者らの行った過去の研究によると、繰返しせん断試験を行うと、処女载荷時に大きなせん断抵抗を示した後、急激にせん断強度を失うことが観察されている。日本国内の多くの地すべり地を中心に、様々な構成地質の層理面から得た不攪乱試料の室内試験を行い、それらの力学特性を明らかにすることが必要である。

(2) 層理面に実際に作用する力学条件の推定

層理面の危険度を具体的に判断するためには、その層理面に実際に作用する外力を把握しておかねばならない。日本国内の一般的な地すべり地の地層構造を想定して、(1)で得られた力学特性などに基づいて決定したパラメータによる動的弾塑性有限要素解析を行い、実際の地震時に層理面に作用する外力の条件を定量的に調べる必要がある。

3. 研究の方法

層理面の力学特性を把握するための調査・試験法を確立し、それに基づく流れ盤斜面の地震時安定性評価を行なうための一連の方法を提案するために、以下の方法・手順で研究を実施する。

(1) 層理面を挟在するブロック状不攪乱試料の採取法の検討

(2) 層理面の地震時力学特性を把握するための室内試験（繰返し一面せん断試験）法の検討

(3) 地震時に層理面に作用する荷重条件の解析的検討

まず(1)を検討する。地盤深部の層理面を採取するのはボーリング等の費用が高価となるため、同様の地層構成が見られる露頭にて行う。地震時に強度低下を引き起こす可能性のある層理面を抽出し、層理面を挟在するブロック状の不攪乱試料の採取を試みる。なお、わが国ではまだ同採取法として確立された方法が存在しないため、試行錯誤により能率的な試料採取の手法を検討する。

次に(2)の検討である。採取した試料の室内試験の実施にあたっては、地震時に実際に層理面に作用した力学条件（繰返し载荷、等体積条件、適切なせん断モードなど）を考慮した試験方法を検討する必要がある。

上記を踏まえて(3)の検討を行う。必要に応じて(2)の作業をやり直す（別の载荷条件

を与える) 必要がある。解析には群馬大学地盤工学研究室が開発した動的弾塑性有限要素解析コードを使用する。わが国の典型的な地すべり地の地盤構造を参照して地盤モデルを作成し、これに(2)で得られた力学特性を表現しうる構成モデルを導入して、既往地震の観測波形を用いた地震応答解析を行う。解析の結果得られた層理面内の応力ひずみ径路等から実際の地震中に層理面に作用する外力の条件を明らかにする。

4. 研究成果

2004年新潟県中越地震ならびに2007年新潟県中越沖地震でそれぞれ発生した堆積岩地帯の流れ盤斜面の地震地すべり現場において、多数の不攪乱ブロック試料(層理面を挟在する)を採取し、それによる等体積条件下での繰返し一面せん断試験を実施した。載荷時の拘束圧やひずみ振幅等を操作した一連の実験的検討から、層理面の地震時の力学特性を明らかにした。



層理面を含む不攪乱ブロックの採取

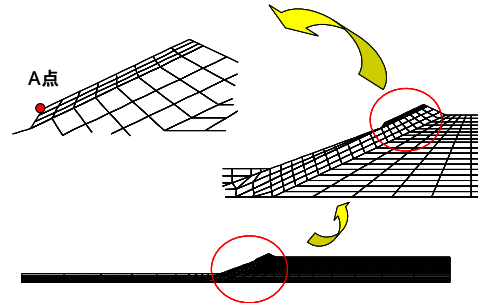


繰返し一面せん断試験後の試料

実験結果からわかるように、地震動による層理面へのせん断力の作用は、一時的な層理面のせん断抵抗の発揮を促すが、繰返し作用による構造の劣化等により、急激にその抵抗力は低下することがわかり、これが巨視的に見た層理面の急激な強度低下(ひずみ軟化と破断)に繋がる事が確認された。

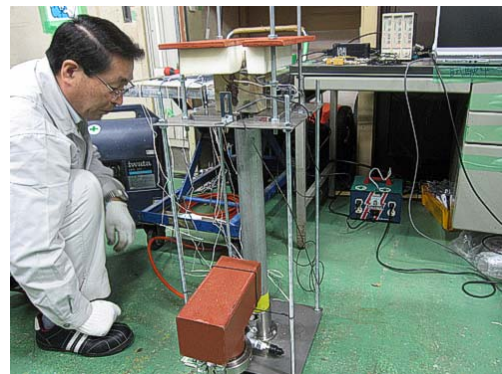
次に、このようなメカニズムを考慮した弾

塑性構成モデルを用いて、個々の地震地すべりの挙動を再現し、要素試験レベルで確認された力学特性が具体的な境界値問題(斜面問題)の解決に有効であることを確認した。具体的には、既存の構成モデルを改良した動的弾塑性FEMに基づく数値シミュレーションを実施した。



米山聖ヶ鼻地区で発生した地すべりの有限要素シミュレーションの様子

また、層理面の繰返し載荷時のせん断特性を把握する研究過程において、その面に垂直な引張強度が極めて低いこと、特に急速載荷時にこの傾向が顕著になることを発見した。その引張強度特性を詳細かつ定量的に調べるため、専用の岩盤打撃試験機を開発した。この装置は、層理面を挟在する岩盤の供試体の端部を層理面と垂直な方向に打撃することで、その衝撃波が層理面を波動として通過する際に層理面を引張り破壊させることを想定した新たな実験装置であり、段階的に打撃力を操作することで、層理面の引張り破壊に必要な最低限の引張力を逆算する仕組みとなっている。これを用いた層理面の引張り強度の計測結果から、地震時の層理面の引張り破壊と地すべりとの関連性を分析した。



層理面を含むブロック状供試体に衝撃力を与えることで層理面の急速載荷時の引張り強度を計測する試験(試験機を新たに開発)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計2件)

① 松下圭佑, 若井明彦, 門間俊之, 小松順一, 田中頼博: 地震中の層理面の強度低下が引き起こした地すべりの再現解析, 第49回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 54-55, 那覇, 2010年7月8日.

② 田中頼博, 門間俊之, 松下圭佑, 若井明彦, 林一成, 阿部真郎: 東竹沢地区における地震時大規模地すべりの再現解析—ひずみ軟化 UW モデルによる初生すべり領域に関するケーススタディー, 第49回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 52-53, 那覇, 2010年7月8日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

若井 明彦 (WAKAI AKIHIKO)

群馬大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 90292622