

氏名(本籍)	おん だ ゆう いち 恩 田 裕 一 (新 潟 県)
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	博 甲 第 794 号
学位授与年月日	平成 2 年 7 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
審査研究科	地 球 科 学 研 究 科
学位論文題目	Mechanism of the stability of slopes composed of granular materials—Laboratory experiments and modeling— (粒状体斜面の安定に関する研究)
主 査	筑波大学教授 工学博士 砂 村 継 夫
副 査	大阪教育大学教授 理学博士 石 井 孝 行
副 査	筑波大学助教授 理学博士 松 本 栄 次
副 査	筑波大学助教授 理学博士 松 倉 公 憲

## 論 文 の 要 旨

粒状体斜面の安定しうる最大の角度は安息角とよばれ、従来、安息角は斜面を構成する粒状体の内部摩擦角と等しいと考えられてきた。しかし、安息角の定義が研究者によって異なっていることもあって、その妥当性についての検討がなされたことはなかった。安息角を規定する、斜面における崩れの断面の観察がきわめて難しいこともその検討を遅らせた原因の一つと考えられる。そこで本研究では、単純な模型実験 (Tilting box 実験、一面せん断試験) と、コンピュータシミュレーションにより、(1) 安息角と内部摩擦角は等しいか、(2) 安息角を規定している崩れを支配するメカニズムは何か、という 2 つの問題について考察した。

粒状体斜面における崩れの発生限界に関する従来の多くの研究は、無限長斜面の安定解析に基づいている。この解析は、粒状体の崩れを、単位土塊の力のつりあいに置き換え、かつ無限に長い斜面を考えるため、粒状体斜面の最大傾斜角 (限界安息角) は斜面構成材料の内部摩擦角に等しいという結果が得られる。しかし、この解析は、粒状体斜面の崩れを個体の滑りと同様であるとみなしており、実際の崩れの物理的状況に基づいたものではない。そこで、粒状体斜面の崩れの実態を把握するために、実験材料としてアルミニウム棒を用い、この棒を積み上げてつくった斜面 (2次元としてモデル化) で Tilting box による安息角 (崩れの発生限界) に関する実験を行った。この方法により崩れの断面を詳細に観察・解析することが可能になった。

実験の結果、以下の 4 つのことが明らかとなった。(1) 斜面の崩れは、斜面表層の不安定粒子の回転によって引き起こされる。(2) 崩れの速度分布は表層ほど速く、固体の滑りにアナロジーできる

ものではない。(3) 崩れの深さは斜面構成粒子の平均粒径の約8倍の相当する。(4) 斜面構成粒子が均一粒径の場合には、限界安息角は極めて大きい値をとる。さらに、この実験によって得られた限界安息角の値と、一面せん断試験結果から得られた内部摩擦角の値を比較したところ、両者は必ずしも等しくないことが明らかとなった。

以上の実験結果を解釈するために、著者は新たに2次元粒状体斜面安定モデル、GSM (Granular material Stability Model) を提案した。このモデルは、個々の粒状体の力の釣合いを再現することを目的とした静力学的モデルである。このGSMモデルは、Basic言語で書かれており、粒子のパッキングプログラム・GSMメインプログラム・出力プログラムの3つのプログラムからなっている。メインプログラムでは、粒子自身の自重によってもたらされる力が、粒子間の接点を通して下方に伝達されるという仮定のうえに組み立てられており、その力の方向から斜面表層にある粒子の安定・不安定を判定した。35個のアルミ丸棒積層体のTilting box実験とGSMモデルの計算結果を比較したところ、最初に動き出す粒子およびそのときの斜面角度は両者でよく一致した。また、このモデルで、均一粒径からなる斜面が混合粒径の斜面に比べて、限界安息角がかなり大きいという実験事実をうまく説明できることも判った。

以上の実験およびモデリングにより、粒状体の崩れのメカニズムについて次のように考えた。(1) 粒状体斜面の崩れは、個々の粒子の釣合いが崩れたときに発生する。(2) 崩れは斜面表層の不安定粒子の回転により引き起こされる。(3) その粒子に支えられていた粒子は、支えを失い移動する。(4) このような作用が波及していくことにより、不安定粒子の移動が斜面全体を巻き込むような崩れをもたらす。

最後に、2次元実験で得られた結果を基に、砂礫斜面の安定・不安定を表現するパラメータを提案した。砂礫斜面の限界安息角と、個別粒子の転がり摩擦係数( $\rho$ )と充填率( $C$ )とからなるパラメータ $\rho \cdot C$ とは良い相関関係をとることが判った。このことは、斜面の崩れは粒子の回転(転がり)によって引き起こされる、という上記の結果が、砂礫のような材料からなる斜面にも適用できることを意味する。

## 審 査 の 要 旨

本研究は、地形構成材料の一つである砂礫(粒状体とも呼ばれる)斜面の安定・不安定の問題(安息角の問題に置き換えられる)を議論したものである。本研究における特筆すべき成果は、安息角と斜面構成材料の内部摩擦角とは全く別のメカニズムに支配されたものであることを明らかにした点である。すなわち、アルミ棒積層体を使うという卓抜した技法を駆使した実験から、安息角を規定する斜面の崩れは粒子の回転(転がり)が引金になっており、従来考えられてきたような、せん断(滑り)ではないことを明確にした。さらに、実験の過程で粒状体斜面で生起する崩れの実態に関する新たな知見をいくつか発見している。そして、これらの実験結果は新たに構築されたコンピュータモデルによって追試され、その妥当性が検証されている。このように従来、安息角と内部摩擦角とは等し

いと考えられてきたことに対し、両者は異なるメカニズムに支配されているという明解な答えを与えたことは高く評価される。また、論文の最後では、砂礫斜面への適用の可能性も示唆されており、本研究で得られた知見は、地形学のみならず、土質工学や粉体工学などの分野の研究にも大きく寄与するものと考えられる。その意味でも、本研究の意義は極めて大きいと認められる。

よって、著者は理学博士の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。