

(続紙 1)

京都大学	博士 (工 学)	氏名	REGMI Ram Krishna
論文題目	Study on Failure of Landslide Dam and Slope (地すべりダムおよび斜面の崩壊に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本研究では、地すべりダムのすべり崩壊の解析が可能な2次元と3次元の数値解析モデルの構築と、降雨条件下における3次元モデルを用いた斜面安定解析および地すべりダムの安定解析を行っている。基盤面上の斜面土層内の水分の挙動解析には、従来の水相のみの解析だけでなく、水-空気の2相からなる浸透流解析モデルを用いている。そして、2次元の表面流モデルと侵食・堆積モデルを浸透流解析モデルにカップリングし、降雨条件下の斜面の浸透流解析を行っている。また、斜面安定解析においては、簡易 Janbu 法だけでなく拡張 Spencer 法を用いて評価している。</p> <p>第1章は序論であり、地すべりダムの形成と崩壊、降雨による斜面崩壊の研究背景といくつかの実例について記述している。また、以下のように研究目的を示している。</p> <ol style="list-style-type: none">(1) 従来の水相のみの解析だけでなく、水-空気の2相からなる浸透流解析モデルを構築する。(2) 降雨条件下の表面流の評価のために、表面流モデルと侵食・堆積モデルを結合したモデルを構築する。(3) 地すべりの形状とその安定度や崩壊原因を調査するために、簡易 Janbu 法だけでなく拡張 Spencer 法を用いた斜面安定解析モデルの構築を行う。(4) 模型実験結果により、構築した浸透流解析モデルの妥当性を検討する。 <p>さらに、本章の最後には、本研究に関するこれまでの既往研究についてレビューを行い、本研究の位置付けを明確にしている</p> <p>第2章では、降雨による斜面崩壊と模型実験に関して、実験設備、計測機器、実験手法、および得られた実験データについて記述している。すなわち、実験では非粘着性の砂質土を用い、水路勾配が 23° と 28° のもとで、飽和度ならびに斜面土層内空気圧の分布、斜面表層流れの先端位置、下流端からの浸透流量、斜面の3次元的な崩壊形状等を計測している。飽和度の時間変化については斜面の異なる3地点でプロファイル土壌水分計を用いて計測し、空気圧の時間変化については異なる3地点に設置した圧力変換機を用いて計測している。また、斜面上部の中心線上には標尺をたてて表面流の先端位置を計測している。下流端での浸透流量は水路下流端で計測用メスシリンダーを用いて計測している。さらに、デジタルビデオカメラを用いて初期の斜面崩壊過程や崩壊土塊の挙動を撮影し、画像解析に供している。</p> <p>第3章では、降雨による斜面崩壊の3次元解析について記述している。従来の水相のみの解析だけでなく、水-空気の2相からなる浸透流解析モデルに2次元の表層流れと侵食・堆積モデルをカップリングし、間隙水圧と間隙空気圧、斜面土層内の飽和度、下流端からの浸透流量、降雨等によってもたらされる斜面表層の圧力水頭の変化について解析している。浸透流解析モデルの支配方程式は、有限差分によって離散化され LSOR スキームにより陰的に解かれている。</p>			

氏名	REGMI Ram Krishna
----	-------------------

表層流れと侵食・堆積モデルの支配方程式についても有限差分により離散化し、Leap-Frogスキームによって解いている。斜面の安定解析については、簡易 Janbu 法および拡張 Spencer 法を組み込んだ安全率を最小化するダイナミック・プログラミングに基づき、斜面の非円形の臨界すべり面を浸透流解析と同時に解いている。すなわち、浸透流解析モデルより得られた時々刻々の間隙水圧と飽和度の値から、斜面の安全率と3次元の臨界すべり面形状が求められている。斜面土層内の間隙水圧、間隙空気圧、飽和度、下流端からの浸透流量、および表面流の先端位置について数値計算結果と実験結果とを比較し、両者は比較的良く一致していることが示されている。そして、水相のみを対象とした浸透流モデルと簡易 Janbu 法とを組み合わせ用いた場合の計算結果よりも、水-空気の2相浸透流解析モデルと拡張 Spencer 法を組み合わせ用いた場合の計算結果の方がより実験結果に近い結果を得たことを示している。

第4章は、浸透流を考慮した斜面崩壊のモデルを地すべりダム（いわゆる天然ダム）のすべり崩壊に適用した例を示している。ここでは、従来の水相のみの解析だけでなく、水-空気の2相からなる浸透流解析モデルを用いて地すべりダムの堤体内の浸透流解析を行っている。その際、斜面崩壊の場合と同様に、2次元および3次元の斜面安定解析モデルとのカップリングを行い、地すべりダムのすべり安定解析を行い、すべり面の特定およびすべり崩壊時刻の推定を行っている。既往の実験結果および計算結果を用いて解析モデルの妥当性を検討している。2次元場を対象とした実験においては、ダム上流側貯水池の水位を固定した実験ケースおよび定常流量を与えたケースの2通りのケースについて2次元解析を実施している。一方、基盤面が3次元形状を呈する実験に対しては、定常流を与えたケースについて地すべりダムの3次元の浸透流解析と斜面安定解析を実施している。その結果、各実験ケースに対して、地すべりダム堤体内の飽和度の時間変化やすべり面形状についてはいずれの斜面安定解析手法でも有意な差は見られず、ダムの崩壊時刻に関しては2相流モデルによる拡張 Spencer 法がより実験結果に近い値をとることを示しており、本研究で開発したモデルの優位性が示されている。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の課題についてとりまとめている。

氏名	REGMI Ram Krishna
----	-------------------

(論文審査の結果の要旨)

本研究では、豪雨時における3次元構造をした基盤面上の土層内における空気と水分の消長を浸透流解析によって求め、時々刻々の斜面の安定性を解析することで斜面崩壊の発生時刻およびすべり面の形状を評価し得るモデルを開発し、本モデルの地すべりダムへの適用性について検討している。降雨条件下での土層内の空気と水の消長を考慮した2相モデルによる3次元の斜面安定解析および地すべりダムの安定解析についてはこれまでほとんど手がけられていない研究であり、新規性が認められる。得られた結果の概要は以下のとおりである。

- (1) 3次元構造をした基盤面上の斜面土層内の水分と空気の挙動解析のために、新たに3次元の水-空気の2相からなる浸透流解析モデルを導出するとともに、地表面での降雨-浸透流解析の境界条件となる表面流の水深を与え、かつ、表面流による侵食で地形が変化することも考慮し得る2次元表面流モデルを導入して、これらのモデルをカップリングすることで、水分と空気の消長を考慮した斜面安定解析を可能とする新たな浸透流解析モデルを構築している。模型実験結果により、浸透流解析モデルの妥当性が示されている。
- (2) 上記浸透流解析で求まる時々刻々の水分量を斜面安定解析で考慮し、斜面の安全率、すべり面の形状、崩壊発生時刻を同時に解析できるモデルを構築している。また、模型実験により本モデルの妥当性について検討している。その結果、すべり面の形状については簡易Janbu法や拡張Spencer法でも実験結果と比較的良好に一致し、有意な差は認められないが、崩壊発生時刻については2相流モデルによる拡張Spencer手法がやや優位であることが示されている。
- (3) 一般の斜面を対象として開発した上記の3次元の2相流モデルによる浸透流-斜面崩壊カップリングモデルを地すべりダムのすべり崩壊の解析に適用している。その結果、ダム堤体内の飽和度の時間変化やすべり面形状についてはいずれの斜面安定解析手法でも有意な差は見られず、ダムの崩壊時刻に関しては2相流モデルによる拡張Spencer法がより実験結果に近い値を示しており、本研究で開発したモデルの優位性が示されている。

以上要するに、本論文は、地すべりダムおよび斜面の崩壊に関する研究について論じたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年8月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位授与取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。