

氏 名	シャルマ ラジ ハリ Sharma Raj Hari
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2698 号
学位授与の日付	平 成 18 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 社 会 基 盤 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Study on Integrated Modeling of Rainfall Induced Sediment Hazards (豪雨性土砂災害現象の統合モデル化に関する研究)

論文調査委員	(主 査) 教 授 中 川 一 教 授 関 口 秀 雄 教 授 藤 田 正 治
--------	--

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、豪雨に起因して発生する個々の土砂災害現象をモデル化し、その統合化を図ることによって土砂災害現象を総合的に評価する手法について取りまとめたものである。土層内の水分量の消長を考慮し、時々刻々の斜面の安全率を評価することで斜面崩壊発生時刻と場所を特定する解析法や崩壊土砂の流出の影響を考慮した降雨・土砂流出モデル、植生指数の導入による雨滴および表面流の侵食による土砂生産モデルが示されている。そして、これらの諸現象を一連の豪雨時のイベントとして全て取り扱えるようにした統合モデルが提案され、実験データ及び観測データを用いてモデルの妥当性を検証している。本研究の目的、各章の内容を要約すると以下のようである。すなわち、本研究の主要な目的は、斜面侵食、斜面崩壊、土石流といった豪雨を誘因とする土砂災害の危険度評価を実行し得る統合モデルを構築することであり、具体的には、

- (1) 斜面土層内の土壌水分の消長を詳細に考慮した斜面崩壊予測モデルの構築
- (2) 斜面崩壊による土砂生産を考慮した降雨・土砂流出モデルの構築
- (3) 植生指数を導入した豪雨による土砂生産モデルの構築である。

第1章は序論であり、このテーマを選んだ動機と本研究の目的を述べるとともに、過去の研究を簡潔にレビューした後、各章の構成について紹介している。

第2章においては、斜面崩壊に関する室内実験の方法について論じている。まず、不飽和土壌斜面において、斜面勾配が土壌水分の移動特性および斜面の安定性に与える影響について検討している。さらに、透水係数が異なる2種類の層（上層の透水係数が下層のそれより大きい）からなる不飽和土壌斜面においても同様の検討を行っている。急勾配の斜面では土壌水分は斜面の下流部で急激に高まり、上流端では徐々に高まっていくため、斜面内の土壌水分の分布は非一様性が強く、鉛直一次元的な土壌水分量の評価法はこのような流下方向の土壌水分量の非一様性が評価できないことから、斜面崩壊のモデルには不十分であることが示唆された。また、室内実験によって以下の点が明らかにされた。すなわち、2層の異なる透水性を有する層からなる斜面においては、降雨強度が大きな降雨に対しては表層のみが2層の境界面をすべり面としてすべり、降雨強度が小さな降雨に対しては下層が水路底面をすべり面としてすべることが確認された。

第3章においては、斜面崩壊モデルとその適用例が示されている。斜面崩壊発生箇所および発生時刻を予測するには、与えられた降雨条件の下で斜面内の土壌水分量の消長を精度よく把握する必要がある。ここでは、土層内の水分の消長を精度よく評価するために、Richardsの式を用いて土層内の水分量の分布を求めるとともに、これを考慮した無限長斜面の安定性の議論を通して斜面崩壊の発生時刻を特定するモデルを構築している。土層内の圧力分布（サクション）、飽和度の空間分布、崩壊発生時刻に関する計算結果がほぼ妥当であることが2章で示した実験結果および既往の実験結果より確認された。また、このモデルを伊勢湾台風時に新規斜面崩壊が多数発生した淀川水系木津川の上流域であるタコラ谷流域に適用し、比較的高精度で実際の崩壊現象を再現し得ることを明らかにしている。また、砂粒子の密度や透水係数等の土質パラメータが斜面の安定解析の結果に与える影響について感度分析を実施し、斜面崩壊に対して影響度の大きなパラメータを提示してい

る。

第4章においては、流域における統合化された降雨・土砂流出モデルについて論じている。流域を、河道を構成する河道格子と山腹斜面を構成する斜面格子に分類し、河道および斜面における表面流とその下層における土層内の水分の消長を3章で示したモデルで解析している。その際、斜面は1層のみと仮定している。斜面においては降雨の浸透による水分移動と表面流の計算ならびに斜面崩壊の安定計算を行い、河道においては土層内の側方からの水分移動も考慮した表面流の計算を行い、河床材料の侵食・堆積速度の評価式等を用いて掃流、掃流状集合流動、土石流等の土砂移動形態による土砂生産、河床変動計算も同時に行っている。このモデルを京都大学防災研究所穂高砂防観測所の試験流域である足洗谷流域に適用し、観測された洪水ハイドログラフ、セディメントグラフと計算結果との比較検討を行っている。その結果、観測地点での洪水ハイドログラフについては両者は比較的良く一致していることが示されている。一方、セディメントグラフについては両者の傾向は一致しているものの、流砂観測データの数が少ないこともあり、モデルの適用性については更なる検討が必要である。さらに、斜面崩壊が発生した格子にあっては最寄りの河道格子に崩壊土砂が流入すると仮定し、河道格子への流入率をパラメータとした発生土石流の規模について感度分析を行っている。

第5章においては、豪雨時の表面侵食によって発生する降雨・土砂流出モデルとその適用性について検討している。表面侵食としては雨滴侵食と表面流の掃流力による侵食とを考慮している。平均粒径が30~40 μm 程度の土砂から構成されている斜面を想定しており、土砂の移動形態はウォッシュロードと想定している。対象流域はインドネシア国のプランタス川支川のレスティ川流域であり、10月~3月の雨季と4月~9月の乾季に明確に分かれている熱帯地域である。流域は火山噴火による降灰で形成された斜面からなっており、植生が未発達期の雨季初期の降雨で多量の土砂流出があり、植生が発達すると同様の降雨があっても土砂流出が抑制されるという特徴を有している。モデルにおいては土地利用の種類毎に植物の活性度を表す植生指数とManningの粗度係数とを関連付けて、表面流の掃流力による侵食特性を評価している。このモデルをレスティ川流域に適用し、4章と同様の格子モデルで降雨・土砂流出解析を行っている。その結果、流量ハイドログラフ及び濁度ともモデルによって比較的良く観測結果が再現されている。ただし、高濁度時には再現性が低下することがあることから、他の侵食要因、例えば側岸侵食やガリー侵食などとともに、人為的な要因、例えば砂利採取の影響なども再現性の低下の原因と考えられる。また、植生指数と関連付けたManningの粗度係数を用いた場合と、一定の粗度係数を用いた場合とで、流量および濁度の観測値と計算値との誤差の標準偏差を計算した結果、植生指数と関連付けたManningの粗度係数を用いた場合が、流量、濁度とも誤差の標準偏差は最小であったことが示されている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果と課題について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、豪雨に起因して発生する個々の土砂災害現象をモデル化し、その統合化を図ることによって土砂災害現象を総合的に評価する手法について取りまとめたものである。すなわち、土層内の水分量の消長を考慮し、時々刻々の斜面の安全率を評価することで斜面崩壊発生時刻と場所を特定する解析法や崩壊土砂の流出の影響を考慮した降雨・土砂流出モデル、植生指数の導入による雨滴および表面流の侵食による土砂生産モデルが示されている。そして、これらの諸現象を一連の豪雨時のイベントとして全て取り扱えるようにした統合モデルが提案され、実験データ及び観測データを用いてモデルの検証がなされている。得られた成果の概要は以下の通りである。

(1) 斜面傾斜角、斜面土層の特性、降雨強度等を種々変化させた斜面崩壊に関する一連の模型実験を行い、斜面土層内の土壌水分量の時空間分布特性と斜面崩壊時刻との関係を明らかにした。

(2) 土層内の水分の消長を精度よく評価するために、Richardsの式を用いて土層内の水分量の分布を求めるとともに、これを考慮した無限長斜面の安定性の議論を通して斜面崩壊の発生時刻を特定するモデルを構築した。土層内の圧力分布(サクション)、飽和度の空間分布、崩壊発生時刻に関する計算結果がほぼ妥当であることが上記実験結果および既往の実験結果より確認された。

(3) このモデルを伊勢湾台風時に新規斜面崩壊が多数発生した淀川水系木津川の上流域であるタコラ谷流域に適用し、比較的高精度で実際の崩壊現象を再現し得ることを明らかにしている。また、砂粒子の密度や透水係数等の土質パラメータが

斜面の安定解析の結果に与える影響について感度分析を実施し、斜面崩壊に対して影響度の大きなパラメータを提示している。

(4) 豪雨時の斜面崩壊、雨滴による斜面侵食、植生指数と斜面の等価粗度とを関連付けた表面流による斜面侵食、河床堆積物の侵食による土石流、土砂流、掃流、微細土砂等の土砂生産・土砂移動特性を考慮した統合型の降雨・土砂流出モデルを提案している。これらのモデルの妥当性は、京都大学防災研究所附属穂高砂防観測所の試験流域である足洗谷流域での観測結果や、インドネシア国プランタス川支川のレスティ川流域での観測結果により検証されている。

以上要するに、本論文は、豪雨に起因して発生する個々の土砂災害現象をモデル化し、その統合化を図ることによって土砂災害現象を総合的に評価する手法について取りまとめたものであり、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18年8月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。