

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560624

研究課題名(和文) 分布型流出モデルを基礎とした洪水・斜面崩壊リスク総合評価手法の構築

研究課題名(英文) Evaluation method of flood and slope failure risk using distributed runoff model

研究代表者

田村 隆雄 (TAMURA, Takao)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号：40280466

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：「地表面流直列2段タンクモデル」を組み込んだ分布型流出モデルを用いて流域内の地中水貯留量を推定し、この水平・鉛直分布と過去に発生した斜面崩壊の発生箇所と発生様式(表層崩壊、深層崩壊)の定量的な関連性を検証することで、分布型流出モデルを用いた斜面崩壊リスク評価手法の構築を目指した。平成21年に洪水と斜面崩壊が発生した一級河川・佐波川と平成23年に大水害と大規模な深層崩壊が発生した和歌山県二級河川・富田川にモデルを適用したところ、本流出モデルによって斜面崩壊が発生しやすい箇所および発生様式が推定可能なことがわかり、様々な流域に適用できる汎用的な手法であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：It aimed at the construction of the slope failure risk estimation method of the mountainous forested basin using the distributed runoff. The distributed runoff model has the two step tank model that can separate the overland flow. The model was applied to the Saba river and the Tomita river. The horizontal, perpendicular distribution of underground water, and the place and the form of the slope failure were quantitatively discussed. It was confirmed to be able to presume the small watershed where the slope failure was generated easily and the form of the slope failure by using this runoff model. Because the same deal had been obtained in all basins including Nakagawa that had been applied before this research, the generality of this method was shown.

研究分野：水文学

キーワード：斜面崩壊 地中水 流出モデル 深層崩壊 タンクモデル 洪水

1. 研究開始当初の背景

代表者はこれまで日本の国土面積の約70%を占める山地森林域における雨水流出機構の数理モデル化に取り組み、図1に示す「地表面流直列2段タンクモデル」と呼ぶ流出モデルを構築してきた(引用文献)。そして、それを組み込んだ分布型流出モデルを一級河川・那賀川上流域に適用したところ、モデルで推定された小流域の地中水量の水平・鉛直分布によって、過去に発生した斜面崩壊発生箇所と発生様式(表層崩壊、深層崩壊)を説明できる可能性を見だし、分布型流出モデルを用いた斜面崩壊リスク評価が可能ではないかと考えた(引用文献)。流出モデルを基礎にした本手法の評価対象は、崩壊斜面を含む小流域であり、地盤工学等で対象とするような崩壊斜面地ではないが、解析に必要な情報は水文・水資源データベースに代表される公開情報であり特別な情報・技術等を必要としないこと、潜在的な斜面崩壊箇所の一次的抽出や、森林が有する斜面崩壊防止機能と洪水低減機能の総合的な評価ができる等の特徴があり、有用と考えた。

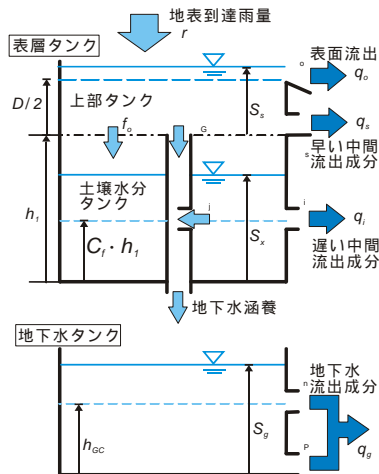


図1 地表面流分離直列2段タンクモデル

2. 研究の目的

降雨の波形・分布が異なる複数の洪水ハイドログラフを精度良く再現できる分布型流出モデルをもとに、流域地中水量やその鉛直分布に関するマクロ的な情報を抽出し、豪雨時における洪水リスクだけでなく斜面崩壊リスクも対象とした山地災害リスクを総合的に評価する手法を提案し、今後の山地災害の防災・減災に貢献することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究で使用する分布型流出モデルは、これまでにならぬ那賀川上流域等に適用し、森林流域の洪水低減機能評価(保水能の評価)を行ってきたが、大規模斜面崩壊と地中水量の考察は那賀川上流域でしか行っていない。そこで本研究では那賀川と同じく斜面崩壊が過去に発生した一級河川・佐波川での解析や、平成23年台風12号で斜面崩壊が発生した和歌山県の二級河川・富田川等を対象にした解析

を行う。具体的には以下のような手順で研究を進める。

(1) 斜面崩壊が発生した他流域の資料収集

代表者が過去に行った那賀川上流域を対象にした地中貯水量と斜面崩壊に関する研究と同じ手法を他流域にも適用して同様の結果が得られるかどうかを検証するために、九州南部、中国地方、紀伊半島南部を中心に広く災害資料収集を行う。吉野川上流については、祖谷川流域には大規模な地滑り地帯(善徳地区、怒田地区など)があり、国の直轄事業として地滑り対策事業が行われている。地滑り対策事業で整備された集水井の水位データの収集など、できる限り広範囲で資料収集に努める。

(2) 斜面崩壊が発生した他流域への適用

資料収集した多数の流域にモデルを適用して那賀川上流域と同様の知見が得られるかどうかを検証する。具体的には、過去に大規模な斜面崩壊が発生した場所、あるいは崩壊の危険があると推定されている斜面の大雨時の地中水量(保水能)は高い傾向にあるか。深層崩壊が発生した斜面やその近隣斜面では、全地中水量に占める地下水量の割合が卓越するか。逆に浅層崩壊が発生した斜面やその近隣斜面では、全地中水量に占める表層土壌水量の割合が卓越するか。の2点である。

(3) モデルにおける適正な斜面分割やパラメータのグルーピングの考察

代表者が使用している分布型流出モデルでは、膨大なモデルパラメータの効率的な同定のために、同じ地質で構成されると判断される複数の斜面を1つのグループとして扱い、グループに属する各斜面の平均土壌層厚や間隙率などを同定パラメータとして解析する(各斜面には斜面勾配を重みにして平均値まわりに配分する)という集約手法を採用している。的確な斜面のグルーピングを行うことができれば同定パラメータを削減でき同定作業は簡単になる。しかし実際には1つの斜面の地質は単一でなく、複数の地質が混在していたり、同じ地質であっても岩質が異なったりと非常にバラエティーに富むため、グルーピングが困難である。そしてそのグルーピングの良否が得られる地中水情報の精度に大きな影響を及ぼす。そこで良好な地中水情報を得るためのモデル上での適正な斜面の大きさ(分割法)、地質情報を基本にした斜面のグルーピング手法について検討する。

(4) モデルで推定された地中水情報の検証

本研究の課題の1つは、使用しているタンクモデルで推定される地中水情報に関する検証である。具体的には、表層土壌水量と地下水量についてモデル推定値と実観測値

の対応関係、表層土壌水位と地下水位の経時変化についてモデル推定値と実観測値の対応関係、の2点である。これらを実施するために、これまで研究対象としてきた那賀川上流域の実森林斜面に観測井戸を設けて、モデルで推定される地中水量の定性的・定量的評価を行う。具体的には、協力関係にある徳島県林業公社が管理する『六丁の森』に観測井戸を設ける。これまでの研究成果から、地中水については土壌水量（タンクモデルでは表層タンクと土壌水分タンクの貯水量）と地下水量（タンクモデルの地下水タンク貯水量）を分けて検証する必要がある。そこで基岩層上部（土壌層）と基岩層内部（地下水層）を対象にした2本の観測井戸を1組にして観測する。また流域にはスギ林斜面、皆伐地斜面、天然広葉樹が植栽された斜面が存在するので、それぞれに観測井戸（合計6本）を設ける。

(5)流出解析の手順とパラメータ決定法

本研究では地表到達雨量を算出する遮断蒸発モデル、および斜面の雨水流出過程を表現する地表面流分離直列2段タンクモデル、及び河道の流下・合流過程を河道側面からの横流入を考慮した修正 Muskingum-Cunge 法の3つのサブモデルを組み合わせた分布型流出モデルを使用する。このモデルを後述する佐波川中流域や富田川で観測された豪雨時の水文資料に適用し、発生した斜面崩壊とモデルで推算される森林斜面の地中水貯留高について議論する。

本研究の要点はモデルで推定される地中水量の水平・鉛直分布の確かさである。これを満足するために、モデルパラメータの決定は2段階で行い、対象流域の流出特性を表現する1組の最適パラメータを決定する。第一段階は、解析対象洪水の直近10年間に発生した比較的流量規模の大きな洪水を3~4例ほど抽出し、それらのヒドログラフを一様に再現できるパラメータを探索する。これによって異なる降雨波形、降雨の水平分布でも良好に洪水流量の経時変化を再現できるモデルパラメータ組が得られる。第二段階は得られたモデルパラメータ組を解析対象洪水に適用して、ヒドログラフの再現性を確認する。再現性が良好であればパラメータ同定に使用しなかった未知の洪水でも表現できるパラメータ組として普遍性の高いパラメータ組と考えられるものになる。

4. 研究成果

(1)一級河川・佐波川への適用結果

平成21年に発生した豪雨で表層崩壊が発生した山口県東部を流れる一級河川・佐波川の中流域（流域面積 87km²）を対象に「地表面流分離直列2段タンクモデル」を組み込んだ分布型流出モデルによる流出解析を試み、図2に示すように、流域を9つの小流域に分割して、斜面崩壊と小流域の地中水貯留量の

水平・鉛直分布について考察した。

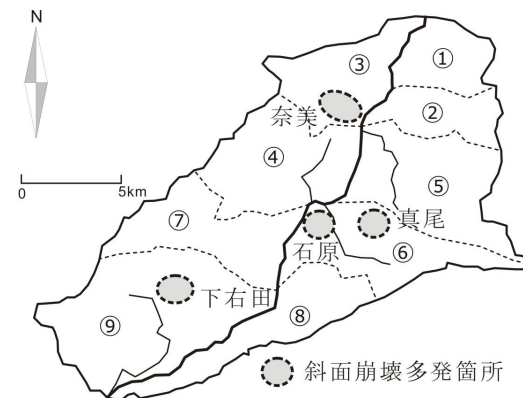


図2 平成21年豪雨における佐波川中流域の斜面崩壊箇所と小流域番号

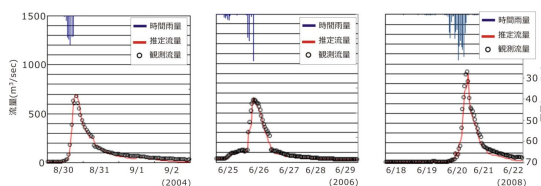


図3 洪水ヒドログラフの再現性

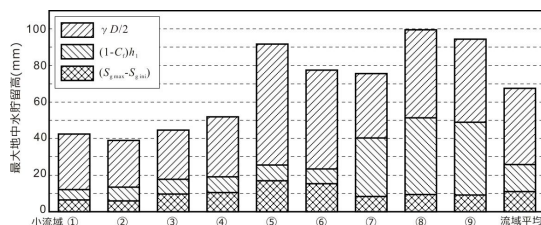


図4 平成21年豪雨における推定最大地中水量（付きの番号は図2参照）

図3に平成21年豪雨以前に発生した3つの大雨イベントの洪水ヒドログラフ再現結果を示す。再現結果は全て同じモデルパラメータ組で得られたものである。3つの洪水ヒドログラフは流量増加期から逡減期まで、いずれも良好に再現できた。図4に平成21年豪雨で観測された降雨波形を使用してモデルで推定した各小流域の推定最大地中水貯留高と表層水、土壌水、地下水の内訳を示す。再現計算において最大地中水貯留高が発生した時刻は7月21日12:00であり、各地で斜面崩壊が連続して発生した時刻とほぼ一致する。貯水量と表層崩壊の関連性を見ると、真尾、石原を含む小流域や下右田を含む小流域は9つの小流域の中でも特に大きな地中水量が推定された。貯水量の鉛直分布と崩壊との関連性を考察すると、表層タンク貯留水と地下水タンク貯留水の比率から、全ての小流域で表層タンク貯留水の割合が約80%を超え、実際の地中水が比較的地表面近くに多量に貯留されていたのではないかと推測された。今回の豪雨で発生した4つの斜面崩壊多発箇所はいずれも崩壊深さ1m~2m程度の表層崩壊であったことから、モデルで推定される地中水の鉛直分布から斜面崩壊様式を評価できる見込みを得た。

(2) 二級河川・富田川への適用結果

平成 23 年に発生した豪雨で深層崩壊が発生した和歌山県南部を流れる二級河川・富田川を対象に、流出解析を試みた。流域の概要と斜面崩壊発生箇所を図 5 に示す。

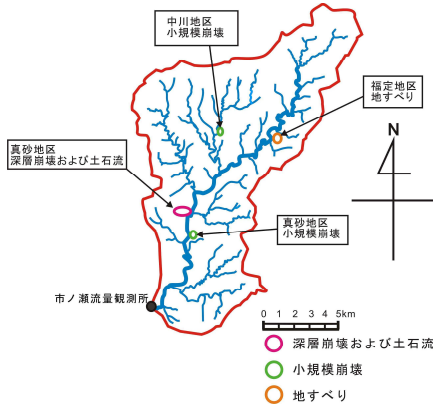


図 5 平成 23 年豪雨における富田川流域の斜面崩壊箇所

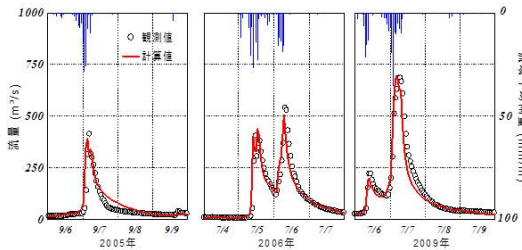


図 6 洪水ハイドログラフの再現性

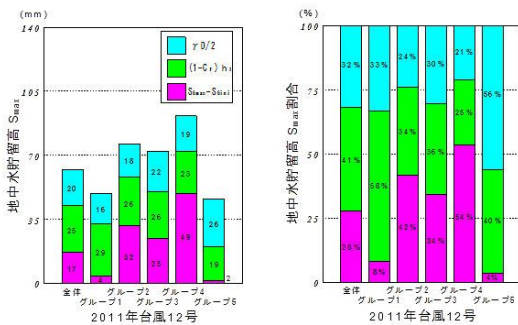


図 7 平成 23 年豪雨における推定最大地中水量とその内訳

解析対象流域は富田川の市ノ瀬流量観測所上流域(流域面積 169.4km²)であり、32 の小流域に分割して解析を行った。パラメータ同定作業軽減のために、地質の類似性から 5 つのグループに分け、グループ平均のパラメータを定めた。最も斜面崩壊規模の大きい真砂地区の深層崩壊は牟婁層群・礫岩中心のグループ 4 に分類された。図 6 にパラメータ同定に使用した 3 つの洪水イベントの再現結果を示す。いずれも同じ 1 組のモデルパラメータを用いたものであり、再現性は良好であり、モデルで推定される地中水量の信頼性を示すものである。図 7 に平成 23 年豪雨時の最大地中水量とその内訳(表層水・水色、土壌

水・緑色、地下水・紫色)を示す。深層崩壊が発生した真砂地区を含むグループ 4 の地中水量は流域の中でも特に多く、また地下水量の割合が卓越している事が分かった。

(3) 『六丁の森』での地下水位観測

平成 24 年秋から一級河川・那賀川の右支川古屋谷川流域内に位置する『六丁の森』(徳島県那賀郡那賀町)で地下水位観測井 6 本の設置工事に取りかかったが、予想外の岩盤堅さと冬季の凍結により、完成に 1 年を要した。また平成 26 年夏には、那賀川に史上最大規模の洪水流量をもたらした台風 11 号が来襲した。この洪水によって設置していた水位計が流失し、研究期間内での当地の流出解析とモデルによる推定地下水貯留高の検証が不可能となった。観測井は使用可能な状況と判断できるので、水文観測を継続し、モデルの推定地中水量の検証は今後の課題としたい。

(4) まとめ

「地表面流分離直列 2 段タンクモデル」を組み込んだ分布型流出モデルで推定される地中水量の水平・鉛直分布と実際に発生した斜面崩壊および発生様式に明瞭な関係があることが分かった。具体的には斜面崩壊発生箇所はモデルで推定される地中水量の大きな(流域の中でも卓越する)小流域であり、表層崩壊は全地中水に占める表層水と土壌水の割合が卓越する小流域で起こりやすく、深層崩壊は全地中水に占める地下水の割合が卓越する小流域で起こりやすい。本手法は水文学的なアプローチであり、従来の地盤工学や地質学からの推定手法と併用することで、斜面崩壊が発生しやすい場所の推定を容易にするとともに、正確性の向上に寄与する手法になると考える。本研究成果をもとにした森林の洪水低減機能と斜面崩壊防止機能の相互作用に関する研究や、森林の公益的機能の総合評価に関する研究、斜面災害のリアルタイム予測に関する研究等が進むものと期待される。

<引用文献>

田村 隆雄, 端野 道夫, 穴水 秀樹, 荒木 隆夫, 吉野川池田ダム上流の森林流域の洪水低減機能に関する定量的評価, 水工学論文集, 52 巻, 2008, 379-384
 田村 隆雄, 岡部 健士, 江尻 雄三郎, 新名 祐輔, 小河 健一郎, 大規模斜面崩壊が発生した豪雨時における森林斜面の貯水高に関する研究, 水工学論文集, 54 巻, 2010, 511-516

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)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

田村 隆雄, 上杉 明大, 武藤 裕則, 分布

型流出モデルを用いた佐波川流域における斜面地中水貯留高と斜面崩壊に関する考察, 第7回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 査読有, 2014, 205-210

田村 隆雄, 山下 瑛人, 武藤 裕則, 水位・雨量データと流出モデルを使用して作成した洪水時における水位流量曲線の妥当性, 水工学論文集, 査読有, 58巻, 2014, 379-384

田村 隆雄, 山下 瑛人, 武藤 裕則, 雨量・水位データと流出モデルを用いた水位・流量曲線作成法の実用性, 水工学論文集, 査読有, 57巻, 2013, 517-522

[学会発表](計2件)

長谷川 諒, 田村 隆雄, 武藤 裕則, 推定地中水貯留高と地質・植生資料を用いた豪雨時の山腹崩壊に関する考察, 平成27年度土木学会四国支部技術研究発表会, 2015年5月23日, 香川大学(香川県高松市)

上杉 明大, 田村 隆雄, 武藤 裕則, 分布型流出モデルを用いた豪雨時における斜面崩壊リスク評価, 平成26年度土木学会四国支部技術研究発表会, 2014年5月31日, 徳島大学(徳島県徳島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 隆雄 (TAMURA, Takao)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号: 40280466