

(独)土木研究所 ○田方 智, 山越隆雄, 栗原淳一, 寺田秀樹
高知大学農学部 笹原克夫
日本工営(株) 小野寺勝, 桜庭雅明

1. はじめに

火山噴火に伴い、細粒火山灰が堆積した流域では、地表面の浸透能が著しく低下し、表面流が発生しやすくなるといわれている。その結果、火山灰が堆積した流域では、噴火前には泥流や土石流が発生しなかった小雨でも泥流・土石流が発生するようになる指摘されている。降灰後の降雨による泥流や土石流の規模を把握することは、ハード対策や氾濫範囲を検討する上で非常に重要であるが、火山灰が堆積した流域では水文環境が一変しており、その変化を考慮した流出解析が必要となる。特に、泥流や土石流の発生や規模に影響する表面流の発生については、堆積した火山灰層の浸透特性が大きく影響すると考えられる。

本研究では、境界条件の与え方を工夫した不飽和浸透流解析を行うことで物理的に表面流の発生を表現するとともに、流域内の火山灰層の分布や浸透特性を考慮できる分布型流出解析モデルを検討した。そのモデルを 2000 年噴火により流域内に細粒火山灰が厚く堆積した三宅島のカニガ沢流域に適用し、現地観測結果との再現性を検討したのでここに報告する。

2. 流出解析モデル

噴火後の流域では、流域内での火山灰の分布・堆積厚、火山灰の浸透特性で流出状況が異なると考えられる。そこで、本解析モデルは流域内の火山灰の分布や浸透特性の違いを与えることのできる分布型モデルとし、流域を斜面部と河道部にわけてそれぞれの水の流下や浸透過程を追跡した。また、火山地域の地形は複雑な形状を示すため、地形モデルには地形条件をより厳密に表現できる非構造格子を用いた。

火山灰が堆積した箇所においては、Horton 型表面流の発生が支配的である。ここで、表面流の発生については土木研究所で検討しているモデル¹⁾を用いた。以下に表面流発生モデルの概略を説明する。表面流発生には時々刻々の地中の含水率やサクシジョンの影響があると考え、本モデルではより物理的な Richards の不飽和浸透理論を用いて発生過程を表現した。不飽和浸透流解析に必要であり、表面流の

発生に大きく影響する火山灰層のパラメータは、現地にて採取した不攪乱試料を用いて土壌水分特性試験を行い、その結果を van-Genuchten 式によりモデル化して求めた。ここで、

通常の不飽和浸透

流解析においては

地表面の境界条件として降雨強度を与えることが多いが、本モデルでは降雨強度が地表面の浸透能より大きいときに発生する Horton 型表面流を再現するために、一次元不飽和浸透流解析の地表面での境界条件の与え方に工夫をした。降雨強度 \leq 地表面浸透能の場合には従来のように浸透流量は降雨強度に等しいとする。逆に、降雨強度 $>$ 浸透能の場合は浸透強度は浸透能に等しいとした。ここで、地表面における浸透能は以下のように考える。図-1のように最上層セルの上半分(斜線部分)を地表面の水分状態を表す層として考え、近似的にこのセルの中心における浸透流量($q_{z=0.25}$)を地表面に入る浸透能であるとした。このとき、表面流が発生する条件であるので、地表面セルは常に飽和していると考え、地表面のサクシジョン値(ϕ_0)を 0、地表面セルの透水係数を飽和透水係数(k_s)で与え、浸透能を計算した。そして、降雨強度から同時刻の浸透能を差し引いた余剰分が表面流量として流下するものとした。

表面流の流下過程は Kinematic Wave 法によって二次元的に扱い、表面流速は Manning 則で与えた。河道部では斜面部からの水の流入を横流入量として与え、一次元不定流としてモデル化した。

3. 対象地へのモデル適用

(1) 計算対象地の概要

本研究では 2000 年に大量の火山灰噴出を伴う噴火をした三宅島のカニガ沢流域を解析の対象とした。カニガ沢は三宅島の東側に位置しており、流域面積は約 0.88km²、流路長は約 3km、平均勾配 1/5 の流域である。2000 年の噴火後には、流域内に細粒火山

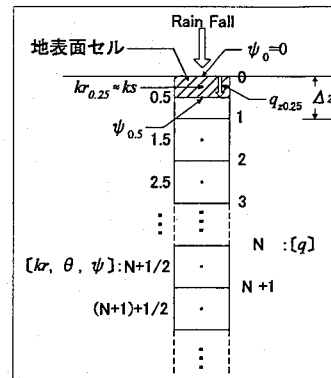


図-1 浸透モデル概念図

灰が厚く堆積しており、現在でも流域の上流側は火山灰に覆われたままである。筆者らは本流域において2002年から現地観測を実施しており、図-2に示す観測斜面(4カ所)で量水堰を設置して降雨時の流量の時間的な変化を計測するとともに、雨量や土壌水分を計測している。また流域下流端には水位計を設置し、降雨時の水位を計測することで流域からの流出流量を算出している。観測地点のうち、上流～中流域のSU・SUM・SLMでは地表面が2000年噴火時の細粒火山灰で覆われているのに対し、最下流のSLでは火山灰が薄く残るものの下層植生や落ち葉で覆われている。

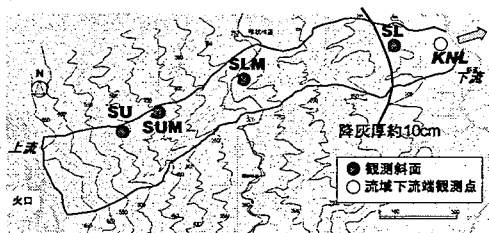


図-2 カニガ沢における流出観測地点

(2) 計算条件

対象地の地形モデルは2001年9月作成のレーザープロファイラデータを用いて非構造格子で作成した。また、本解析では図-3に示すように浸透特性の空間分布を考慮した。平面的には、難透水性であり表面流の発生に大きく影響する細粒火山灰層と、比較的透水性のよい元地山層を設定する。ここでは、現地観測結果およびこれまでの研究結果²⁾や各火山におけるハザードマップの検討により土石流やガリーの発生の境界とされている降灰厚10cmが表面流の発生に影響を及ぼす境界であると仮定し、降灰厚10cm以上と以下に分割した。また、降灰厚10cm以上の範囲では、鉛直方向にも細粒火山灰層と元地山層を想定して鉛直セルの浸透特性を2分割した。

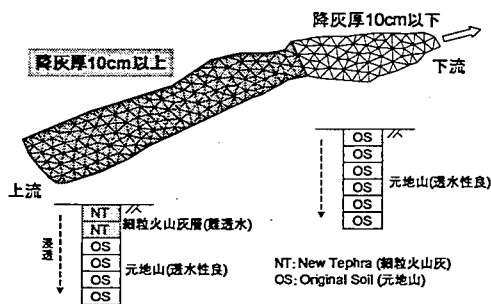


図-3 浸透特性の分布イメージ

表-1 計算条件一覧

表面流発生域(火山灰層)		表面流非発生域(元地山層)	
飽和透水係数(cm/s)	$k_{s1} 1.0 \times 10^{-4}$	飽和透水係数(cm/s)	$k_{s2} 1.0 \times 10^{-3}$
飽和体積含水率	$\theta_s 0.491$	飽和体積含水率	$\theta_s 0.43$
最小水分容量	$\theta_r 0.281$	最小水分容量	$\theta_r 0.045$
van-Genuchten	$\alpha 0.1835$	van-Genuchten	$\alpha 0.145$
van-Genuchten	$n 1.6$	van-Genuchten	$n 2.68$

計算に用いた各種パラメータを表-1に示すが、細粒火山灰層の浸透パラメータについては飽和透水試験や土壌水分特性試験結果より求めた。元地山層については様々な材料で構成されており場の均一性がなく、一概に決めることはできないと考えられるため、ここでは、やや乱暴ではあるが一般的な砂の浸透特性³⁾を参考に設定した。

(3) 計算結果

図-4に計算結果を示すが、2004年12月14日の降雨(最大10分間雨量5.3mm, 積算雨量102mm)を与え、流域下流端における実測値と計算値のハイドログラフを比較したものである。その結果、ピーク流量が実測値とよく合う結果を示した。また、ハイドログラフの立ち上がりの時間をうまく再現しており、降雨初期の浸透から表面流発生までを表現できている。

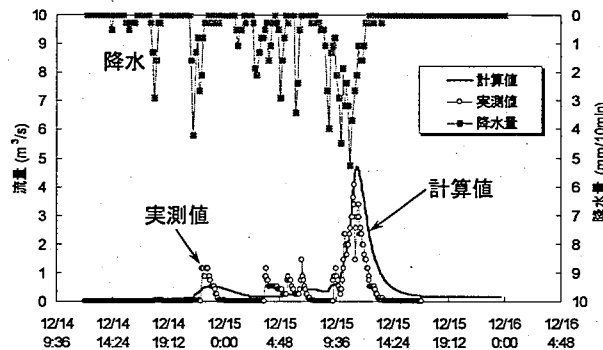


図-4 計算結果

4. おわりに

2000年に噴火し、大量の火山灰が堆積した三宅島を対象に、雨水の浸透から表面流の発生・流下を物理的に表現したモデルに、現地火山灰試料の浸透特性をパラメータとして入力して流出解析を実施した。その結果、ハイドログラフの立ち上がり時刻やピーク流量を良く再現できた。今後は、規模の異なる降雨への適用等によるモデル精度の向上や土砂流出現象を組み込むことによる総合的な流出解析モデルの開発に取り組んでいく予定である。

【参考文献】

- 1)若林栄一・山越隆雄・笹原克夫・西本晴男・小山内信智・石田哲也・竹島秀大: 三宅島新規細粒火山灰堆積地における雨水浸透モデル, 平成16年度砂防学会研究発表会概要集, pp.466-467, 2004
- 2)山越隆雄・仲野公章・山田孝・小川紀一郎・千葉達郎: 2000年三宅島雄山噴火後の降灰斜面におけるガリー形成特性, 平成13年度砂防学会研究発表会概要集, pp.436-437, 2001
- 3)(社)地盤工学会編: 不飽和地盤の挙動と評価, p.37, 2004