

土石流により引き起こされる斜面浸食過程の数値解析

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
早稲田大学大学院 学生会員 ○中山 礼奈

1. 序論

近年、土石流に伴う災害が毎年のように発生している状況にあり、現在そのメカニズムの解明とあわせて、予知あるいは被害予測といった観点から研究が進められてきている。まず、土石流が流動ならびに停止するメカニズムに関しては、これまでの数多くの研究が行われ、その成果はたとえば構成則としてまとめられている。著者が見る限り江頭らにより提案されているもの^{1),2)}が最も合理的であり、現在スタンダードな考え方として認知されているように理解している。一方、土石流によって引き起こされる地形変動の予測に関しては、これまで実験・現地調査の結果を裏付けとして、少なくとも一次元の現象に限れば十分といえる段階に来ているようである。しかし、平面二次元場における現象に関しては、たとえば最近の高濱ら³⁾による興味深い解析があるものの、未だ手つかずの議論が多く残されているようである。著者らは、これまで掃流砂としての土砂移動が引き起こす地形変動の予測手法についての検討を進めてきており、解析モデルの精緻化に努めてきた。本研究では、このような著者らの数値解析手法を基礎として、これを土石流の構成則に依拠したものへと拡張していくことを目的とする。

2. 数値解析の概要

本研究では、二次元場における土石流の流動過程とそれに伴う地形変動解析を行う。解析に当たっては、江頭による土石流の構成則^{1),2)}の考え方に従うものとした。支配方程式の詳細については、紙面の関係からここではその説明を省略する。そして、 x および y 軸方向への運動方程式や土砂濃度の保存式を数値解法する際には、近年著者らが適用してきている「CIP法」を適用するものとする。これにより数値的な不安定を起こすことなく数値解を得ることができた。また、土石流の通過に伴う浸食・堆積によって変形した地形は、局所的に安息角を越えるような斜面となることも予想される。そこで、ここでは関根⁴⁾により提案された「斜面崩落モデル」を導入することにし、このような急斜面が計算途上で出現しても無理なく計算を進めることができるようにした。この点こそが本研究の特徴であり、従来の解析と異なるオリジナルの部分であると言える。

3. 斜面の変動過程

本研究では、初期状態として「勾配変化点」を有する二次元斜面を対象に解析を行っており、上流側には勾配0.268の斜面が、その下流側には勾配0.05の斜面がそれぞれ5mの距離にわたって続いているものとする。土石流は、この斜面の上流端の中心軸上に設けられた幅10cmの開口部から流れ出るものとし、上流端における条件としては、土石流の単位幅流量を時間によらず一定の $150 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}$ とし、流入土砂の濃度を仮想的にとった勾配0.225に見合った平衡濃度に等しいものとし、上流側斜面では浸食が生じるような条件とした。斜面構成材料は粒径2.18 mmの様な砂である。また、土石流の構成則中に含まれるパラメータに関しては、江頭・伊藤^{1),2)}に倣って同じ値を与えている。図-1に解析結果の一例を示した。ここには、各時刻における斜面高の値から初期斜面高を差し引いたその時刻までの「地形変動量」の等値線図を示してある。青色の濃い区域ほど浸食が生じたことを表し、黄色の部分は堆積が生じたことを表している。本解析の結果から、初期斜面の勾配変化点である図-1中の赤色破線の断面に到るまでは流れが加速していくのに対して、土石流フロントが勾配変化点を越えると急激に減速し、この変化点付近に大量の土砂が堆積することが理解された。このことは、一次元の解析の解析を通じて既に説明されてきているが、二次元の場では斜面中心軸付近における土砂の堆積厚が大きくなり、これを迂回する流れが生じるため、結果的に一次元の場で生じる以上に流れは減速するように見受けられる。なお、この一連の計算の途上で、局所的に安息角を越えるような急な斜面が出現することが頻繁に確認

キーワード：土石流、二次元斜面の浸食・堆積、地形変動の数値解析

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1, TEL 03-5286-3401, FAX 03-5272-2915

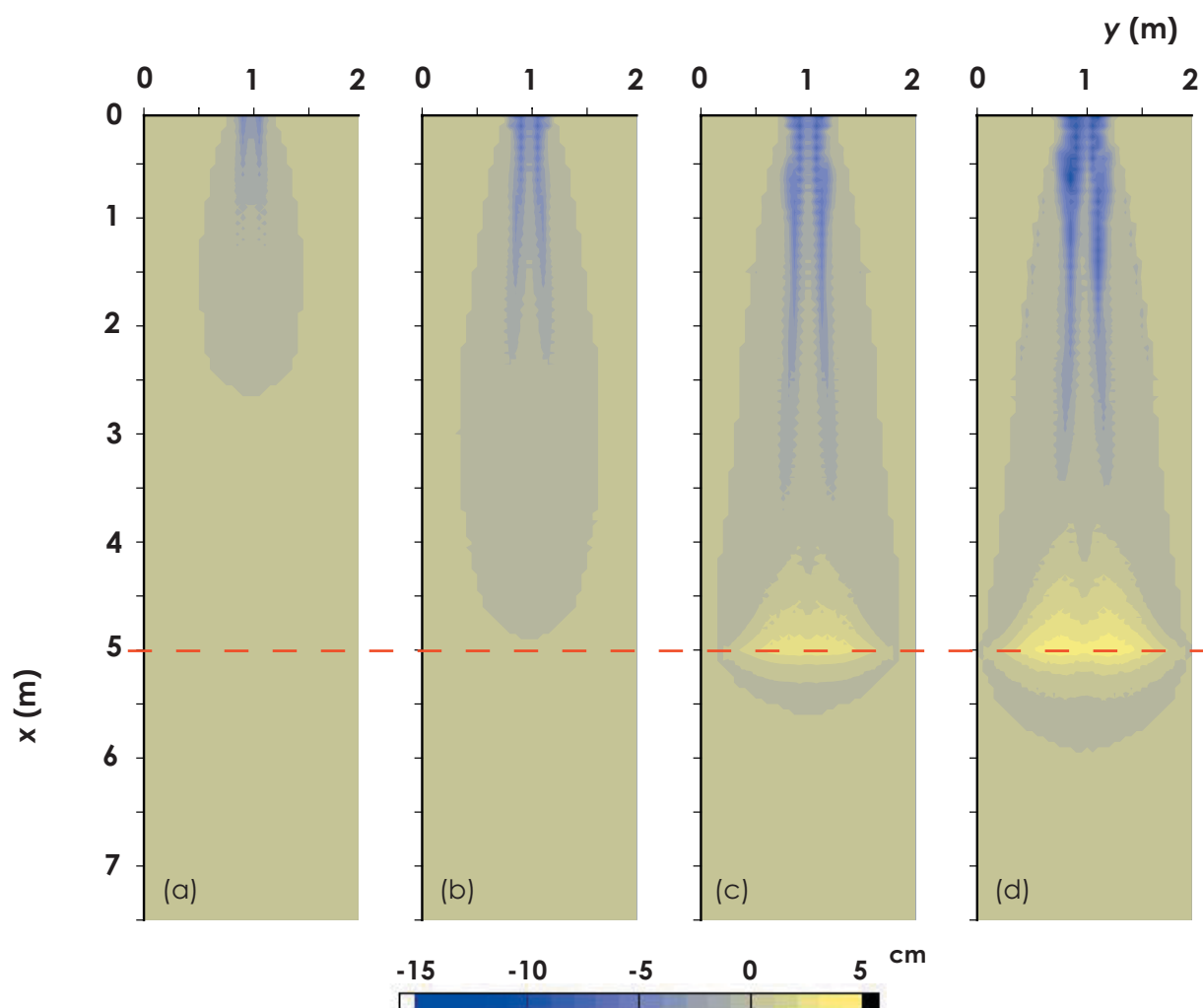


図-1 土石流により引き起こされた斜面高の変動量

(a) 流出開始から 5.6 秒後, (b) 11.2 秒後, (c) 16.7 秒後, (d) 20.9 秒後; 図中の赤破線は初期斜面の勾配変化点

され, 結果として「斜面崩落モデル」を適用しなければ合理的にかつ計算上の問題を生じることなく解析を進めることは難しいものと考えられる. 最後に, 本解析では図-1に示したものより大きな計算領域をとって計算しており, ここに結果を示した時刻に限れば, 流れが計算領域の側端の影響を受けることはないと考えてよい.

4. 結論

本研究では, 平面二次元の場における土石流の流動過程とそれに伴う地形変動予測を行うことを目的として, 数値解析手法の構築を行った. ここで解析は, 今後に向けての第一歩として, 勾配急変点を有する幾何学的に単純な二次元斜面を対象とし, この地形上で生じる浸食・堆積と, これによる地形変動のプロセスについて導かれた解析手法を用いて数値的に検討した. 結果として, 数値的な不安定が現れることもなく, 定性的には現象をうまく再現できたのではないかと判断している. ただし, 定量的な議論については今後に残されており, 実験結果や現地の災害事例などと比較検討することにより, 工学的に意義ある解析手法となるよう更なる検討を加えていく予定である.

参考文献

- 1) 江頭進治: 土石流の停止・堆積のメカニズム (2), 新砂防, Vol. 47, No. 2, 1993.
- 2) 伊藤隆郭: 土石流の構成則およびその適用に関する研究, 立命館大学学位論文, 2000.
- 3) 高濱淳一郎: 二層流モデルによる土石流の二次元氾濫シミュレーション, 土木学会第 58 回年次講演会, 2003.
- 4) 関根正人: 斜面崩落モデルを用いた網状流路の形成過程シミュレーション, 水工学論文集, 第 47 巻, 637- 642, 2003.