

土石流動態の数値シミュレーション

.....

安田勇次*

1 はじめに

発達した梅雨前線や台風の通過に伴う豪雨時に、今なお多くの土石流が発生している。平成15年7月に九州地方で発生した、斜面崩壊を誘因として発生した土石流は記憶に新しいところである。近年の土石流による災害は、「平成14年度版土砂災害の実態」によれば、過去5年の平均発生件数は193件程度である。この数字は、災害に至った土石流の発生件数であり、山間部などでは記録に残らない土石流が多く発生していることは容易に推測される。

土石流という言葉が一般に使われ始めたのは昭和41年の西湖災害ごろからで、それ以降、各方面において様々な土石流に関する研究が行われるようになった。その研究成果が総合土石流対策基本計画や土石流対策技術指針（案）として施策に反映され、最近では「土砂災害防止法」の施行に至っている。

土石流のメカニズムに関する研究は、高橋らに代表されるように、土石流観測などによる実態把握を通じ、数値シミュレーションモデルを構築するに至っている。

当センターにおいても、土石流や火山泥流の数値シミュレーションモデルを構築しており、各種業務に活用されている。

ここでは、当センターにおける土石流数値シミュレーションの概要について紹介する。

2 当センターにおける数値シミュレーション技術

2.1 経緯

当センターにおける数値シミュレーション開発は、昭和61年12月に噴火した十勝岳の災害予想区域図及び対策計画を策定するためのツールとして、火山泥流のシミュレーターを開発したことが契機で、

その後、土石流・溶岩流・火砕流についてのシミュレーターの開発を行っている。平成2年以降の雲仙・普賢岳の噴火活動に起因し発生する土石流の到達範囲図（ハザードマップ）の作成や導流堤の効果評価に活用されている。その後、平成5年度には、当センターの自主研究としてシミュレーション開発が行われ始め、当時、立命館大学江頭先生、京都大学防災研究所中川先生をはじめとする学識者の助言をいただきながら開発が行われ、平成8年にJ-SASという名称で土石流・泥流・溶岩流・火砕流のシミュレーションがパラメータを変えるだけで、同一のアプリケーションソフトとして取り扱えるようになった。

さらに平成12年度からの新たな自主研究として、J-SASの問題点等を分析し、より複雑な地形モデルや構造物の影響を考慮したシミュレーションが行えるよう改良を行っており、現在では、筑波大学宮本先生との共同研究により開発した「New-SASS」なる土石流をはじめとする数値シミュレーションツールが実用段階に達するに至っている。

2.2 土石流のシミュレーション技術

土石流の数値シミュレーションについては、現在、各研究機関や砂防関係コンサルタントなどにより開発が行われ、『新砂防』をはじめとする学会誌等で数多く紹介されている。またモデル化の考え方などについても、(社)砂防学会編「山地河川における河床変動計算の数値計算法」などにより紹介されているので、ここでは割愛させていただく。

2.3 New-SASS

当センターにおける土石流の数値シミュレーションツールは、J-SAS版とNew-SASS版の2種類がある。それぞれの開発経緯は先に述べたが、J-SAS版とNew-SASS版の大きな違いは、流れの連続性をより正確に表現するために、砂防構造物の影響が評価

* (財)砂防・地すべり技術センター砂防技術研究所
上席研究員

できる等、解析精度が大きく向上していることである。

また、土石流モデルでは、土石流の抵抗係数の取り扱い等を改良したモデルとなっている。

(1) 解析精度の向上

精度の向上に関しては、土石流に限った話ではないが、J-SAS版の解析上の問題点を挙げると以下のとおりである。

- ①完全陽解法のため、解が不安定になりやすい
- ②メッシュサイズを大きくすると、解がなまり拡散する場合がある
- ③時間的な刻みは固定としているため、計算不能と

なることや計算精度上で無駄なタイムステップが生じる

- ④流体が境界から外部（計算メッシュの下流端や両サイド）へ流出する場合、正しく計算できない場合がある（砂防えん堤地点の段落ちもしかり）

これらは、土石流の現象のモデル化という本質的な問題でなく、プログラミングに用いる離散化手法の問題である。そのため、当センターで実際に数値シミュレーションを実施する際には、これらの癖を理解した上で表現したり、土石流現象をシミュレーションするために、境界条件や初期入力パラメータを工夫し利用しているのが現状である。

New-SASS版では新しい二次元解析コードとし、解析スキームはVan LeeのTVD積分スキームを導入し精度の向上を図った。図1は解析モデルが現実の流体運動にどの程度近い挙動を示すかをテストしたもので、ダムブレイクテストと呼ばれるものである。図1(a)に示したように、初期条件として流体を柱状にモデル化し、X軸方向プラス側の壁を取り外した後の水面形の挙動を解析するモデルである。J-SASモデルには数値振動の影響が確認されるが、New-SASSモデルでは流体の変形がより滑らかに表現されている。

また、メッシュのサイズや方向に依存する問題についても、図2に示したとおり、より適切に表現することが可能となった。

(2) 土石流のせん断応力

一般的に土石流は土砂が卓越した高濃度の流れで、土砂流は土砂と水の層が分離した状態（掃流状集合流動状態）と理解されている。J-SASは、この土石流から土砂流までの土砂移動の形態を連続的に取り扱うことができるモデルとなっている。

土石流と土砂流では流れ全体と摩擦速度の関係性が異なるため、土石流と土砂流で流速係数を別々に設定する必要がある。J-SASにおいては、その遷移状態を一般的には高橋の土砂濃度式で知られている式形を用いて判別を行っている。

New-SASSにおいては、実際の土石流に見られる渓床侵食を考慮するため、流体の石礫濃度と河床から取り込まれる石礫濃度との関係により土石流動層の流速分布形による場合わけを行って計算している。

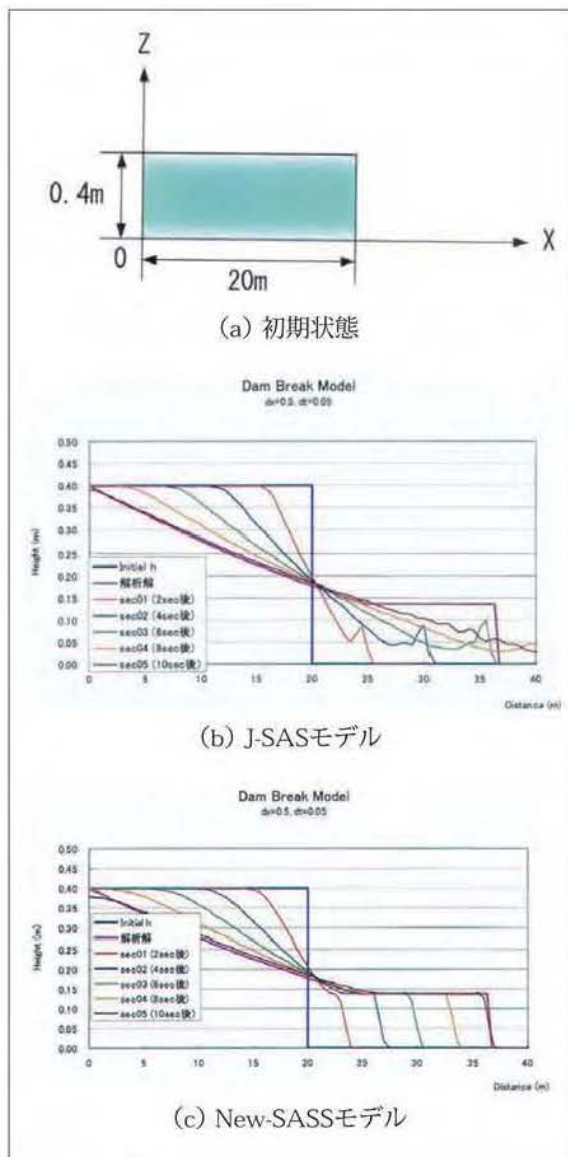


図1 ダムブレイクテスト

3 土石流シミュレーションと施設効果

New-SASSを用いた土石流のシミュレーション結果の一例を図3に示す。図3(a)は施設配置しない状態の計算結果、図3(b)は谷出口付近に砂防えん堤を配置した状態の計算結果である。その他の条件は全て同一である。図3に示したように、施設を配置した場合、谷出口付近での堆積量が少なくなっており、砂防えん堤上流域で土砂が堆積している。また、図4に示す砂防えん堤付近の縦断面図においても、砂防えん堤による堆砂形状をよく表現している。

この計算結果が示すように、砂防えん堤等の施設を考慮したシミュレーションが可能となった。

4 おわりに

ここでは、当センターにおける数値シミュレーション技術の紹介をさせていただいた。ここに示したNew-SASSは、土石流の流動過程における堆積・侵食を考慮できる唯一のモデルである。

しかし、実際の土石流の発生・流下・堆積過程における観測事例はほとんど得られていない現状を考えると、数値シミュレーションで得られた結果をいかに評価するかは、依然として技術者の判断に委ねられるところであることには変わりない。

これからの砂防基本計画をはじめとする砂防事業における数値シミュレーション技術は、より一層、

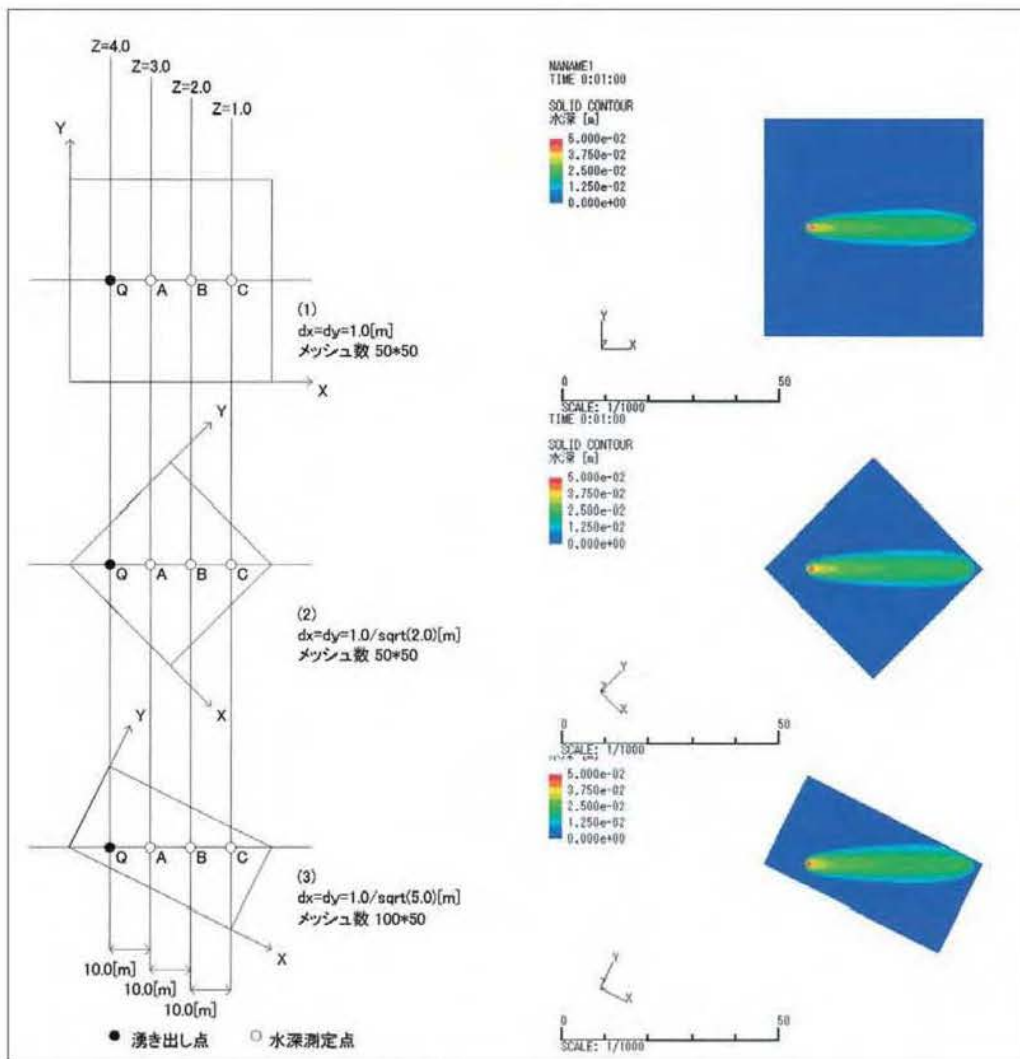


図2 メッシュの方向を変化させた場合のテスト (New-SASS)

必要不可欠なものとなる。当センターにおいても、シミュレーション技術の蓄積や関係諸機関と共同して、土石流の発生等メカニズムの解明に努めていくことが重要であると考えます。

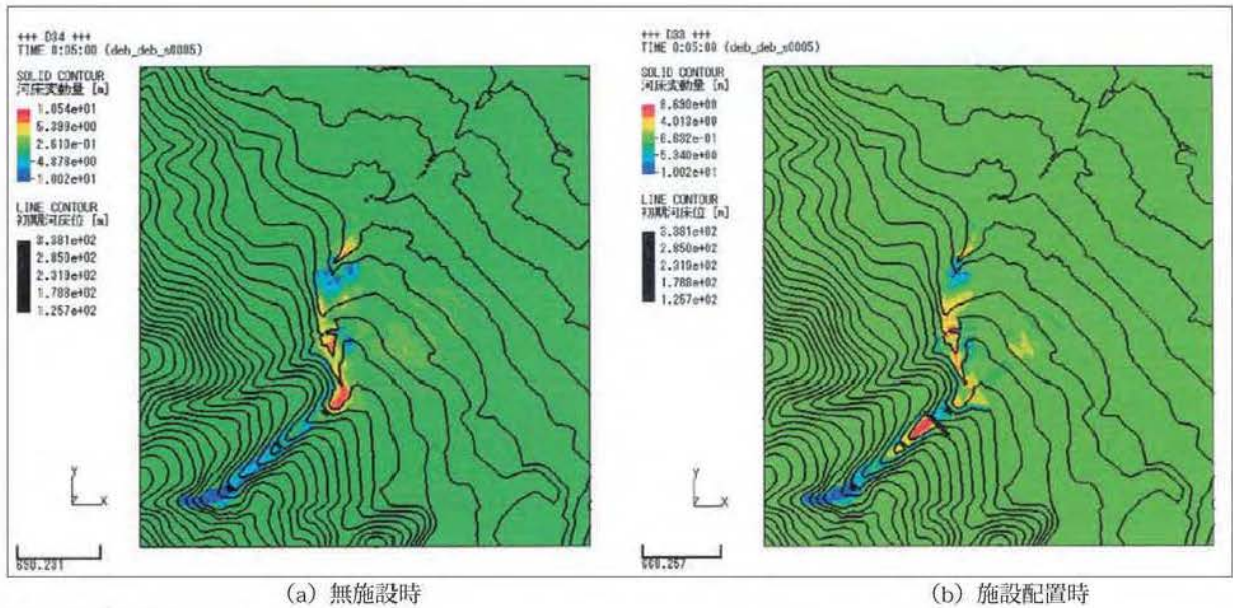


図3 New-SASSによるシミュレーション結果

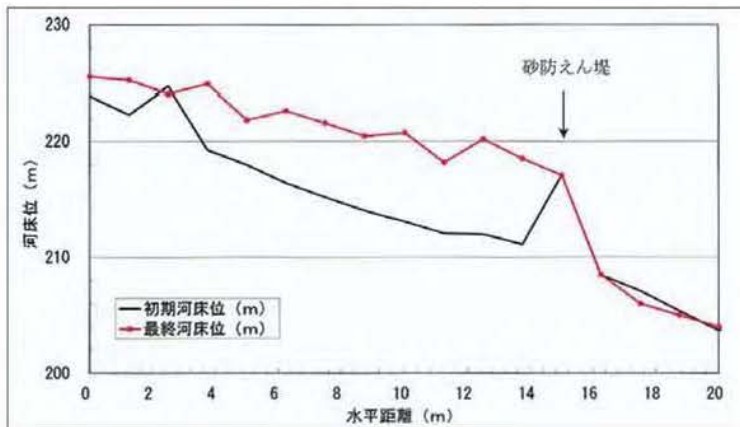


図4 砂防えん堤付近の縦断面図