

天然ダムによる土石流想定範囲計算システム (QUAD-L) の開発と2011年台風12号災害における適用

清水武志* 内田太郎** 山越隆雄*** 石塚忠範****

1. はじめに

2011年5月1日に「土砂災害警戒避難区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」が一部改正（以下、「改正土砂法」）された。これにより、国土交通省は、政令の要件を満たす規模の天然ダムが発生した場合、改正土砂法に基づいて「緊急調査」を実施し、その結果は「土砂災害緊急情報」として都道府県等へ通知し、一般に周知する。その情報は、重大な土砂災害が想定される土地の区域および時期から構成される。前者の区域（以下、「土石流氾濫想定区域」）の情報を作成するために、緊急時の情報が乏しい状況であっても、一定程度の精度を有する推定を迅速に実施する手法が必要となった。筆者らは、天然ダムは実績が少ないため、経験的手法よりも現地情報を柔軟に反映できる数値計算手法が適当と考えた¹⁾。

土石流の流下・氾濫に関する数値計算手法に関する検討は、20年以上の歴史がある。また、天然ダムの越流侵食プロセスについても、数値計算手法の検討が行われてきており、中でも、LADOFモデルは、実際の天然ダムの決壊事例に適用され、再現性が確認されてきた²⁾。これまで砂防の行政事務において、数値計算は河床変動量推定などに活用されていたものの、緊急時に利用するために積極的に活用されていなかった。この理由としては、従来の数値計算プログラムの多くが、1) 十分なユーザーインターフェース（以下、UI）を備えていない、2) 様々な目的・現象に活用できるようになっているため数多くの入力条件の設定を必要とするなど、必ずしも使いやすいものではなかったことが考えられる。近年、1) についてはGUI*を備えた数値計算プログラムが開発され³⁾、汎用的な土砂移動の数値計算が以前より幅広く用いられるようになってきている。一方、著者らは、緊急調査の初動期（発災後1週間程

度) の数値計算システム Quick Analysis system for Debris flow induced by Landslide dam version 1.0 (QUAD-L ver1.0 ; 以下「QUAD1.0」) の開発を担うに当たり、土石流氾濫想定区域を緊急時に推定するという明瞭な目的があるため、2) の課題を克服したシステムを作成する方針を立てて、極めて限定的な機能を有する、簡便に使用できるシステムを設計した。

一方、QUAD1.0による推定の核となる天然ダム越流侵食プロセスと土石流氾濫に関する数値計算プログラムについては、その再現性が十分に確認されている（一財）砂防・地すべり技術センターおよび（一財）砂防フロンティア整備推進機構によりそれぞれ開発されたプログラムを用いることとした。（独）土木研究所は、改正土砂法の要求を満たすためのUI、データ変換等の制御プログラムを作成した（以下「QUAD1.0制御プログラム」）。QUAD1.0制御プログラムは、数値解析以外の、特に利用者が触れる部分に関するすべての機能を担っているため、以下の記述でQUAD1.0はQUAD1.0制御プログラムおよび総称を表す用語として使用する。本稿では、QUAD1.0の設計に際して留意した事項から、類似条件下で数値計算システムを作成する場合に共通すると思われる考え方を第2章と第3章で述べた後、QUAD1.0を2011年台風12号災害で活用した事例を第4章に略述する。なお、本稿の一部は清水ら⁴⁾及び石塚ら⁵⁾において発表した。

2. QUAD1.0の設計

大規模な天然ダムに対する緊急調査を開始した後、土砂災害緊急情報を迅速に提供するためには、如何なる状況でも情報を発信できるように、国土交通省職員が独力で、調査・解析が実行できることが望ましい。そこで、天然ダム決壊等が急迫しつつある状況で使用するQUAD1.0は、汎用性を犠牲にして緊急調査に必要な最低限必要な処理を実行する数値計算システムとして設計された。最低限満たすべき機能は、0) 標準的事務用コン

Development of computer application for estimating debris flow prone area induced by landslide dam overtopping, and its application to landslide dams created by Typhoon Talas in 2011

*土木用語解説：GUI

コンピュータを使いプログラム起動後2～3時間以内に一定程度の精度の土石流氾濫想定区域を算出すること、である。その上で、1) 利用者がミスなく迅速に結果を得ること、2) 同一条件下では理想的には誰が実施しても同一計算結果を出力すること、3) 結果を得るまでの時間は可能な限り短いこと、4) 数値計算システムの使用が簡便であること、が求められた。さらに、プログラム配布に関して、国土交通省の職員が使用するデスクトップ型アプリケーションとして作成することになったため、5) 国土交通省内のどの支分局の端末でも動作すること、6) 休日等で情報管理者がいない場合も使用可能であること、も求められた。5)と6)に関しては、a)特別なレジストレーション操作を伴うインストール不要、b)国土交通省内で再配布可能でかつ開発者権利が守られるための付随する著作物（プログラム言語・ライブラリ等）のライセンスへの留意、などにも注意を払った。

3. QUAD1.0の実装

QUAD1.0の実施項目は図-1のように、通常の解析支援プログラムと同様であるが、前章0)～4)の目的達成のために、いくつかの工夫を施した。

3.1 入力項目の絞り込み

著者らは、結果への影響度や調査の難易によって調査項目を分類し、結果への影響度が大きく計測が容易な限定された諸元をQUAD1.0への入力諸元として選定した。調査の方法は、緊急調査の手引きに示した。緊急時は、それらの諸元のみで、一定程度の精度で迅速に結果を得られると考えたためである¹⁾。天然ダム越流侵食プログラムなどへのデータ変換などの処理はすべてQUAD1.0の内部で自動的に行う。この結果、利用者は、入力ミスや操作時間が減少し、QUAD1.0を簡便に利用できる。

また、利用者がQUAD1.0と対話するUIは、現代的な画面であるGUIとせず、コマンドライン形式とした（図-2）。GUIを動かすのに必要なプログラム群（ライブラリ）がインストールされていなくても作動しなければならないからである。

以上の工夫により、QUAD1.0は、緊急調査の手引きに沿って調査された15項目以下の数値を入力するだけでパラメータ設定が可能となった。

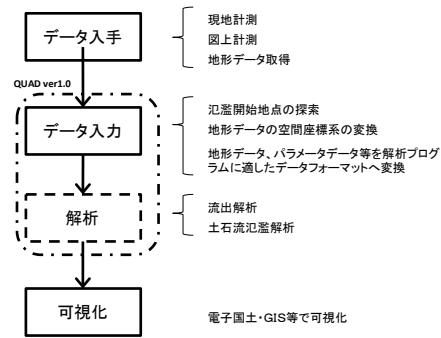


図-1 土石流氾濫想定区域の推定におけるQUAD1.0の位置づけ（可視化に適した形式のデータを生成するが、可視化自体は電子国土等を使用する）

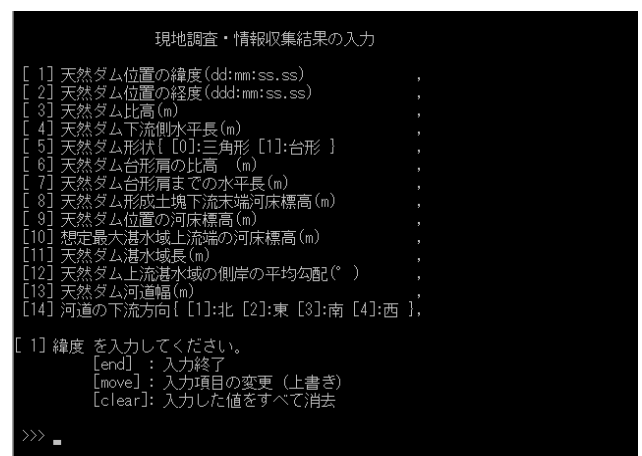


図-2 QUAD1.0パラメータ入力画面

3.2 地形データ

天然ダムが生じる場所を事前に予測することは困難である。緊急調査は、大規模な天然ダムが発生すれば、直轄砂防区域に限らず日本全国いずれの場所でも実施する可能性がある。そのため、任意の地点で土石流想定氾濫範囲を推定できる環境整備が必要である。一方、土石流氾濫想定区域を推定するためには3次元の地形データが欠かせない。新規に地形データを取得するには多大な時間や労力、予算を要する。そこで、QUAD1.0では国土地理院によって全国同一精度で整備されている基盤地図情報 数値標高モデル10mメッシュ標高（以下、「数値地形データ」）を用いることを基本とした。一部の地域には、レーザープロファイラによる5m以下の空間分解能を持つ地形データも存在したが、まずは、全国を同一の精度でカバーすることを優先した。

QUAD1.0では、数値地形データを国土地理院のインターネットサイトからダウンロードした後、そのままのデータを特定のフォルダに移動す

るだけで利用することが可能である。計測諸元と同様に、必要なデータ形式・地理座標系に自動的に変換される。この工夫によって、利用者が地理座標系などの知識を習得する必要がなくなり、利用手順の習得も容易になる。また、利用者が行う処理手順が大幅に減少し、全体の処理時間の迅速化とケアレスミスを排除できる。



図-3 地形データ入力：国土地理院ホームページ (<http://www.gsi.go.jp>) での地形データダウンロード画面

3.3 計算結果の可視化

一般的に土石流氾濫計算を行うと出力される、数字の羅列である計算結果を可視化する必要がある。氾濫範囲と周辺地形や人工構造物との関係を確認するためには、地理情報システム (GIS) で表示することが多い。一方、土砂災害緊急情報における土石流想定氾濫区域の表示の表現として、氾濫区域と居室を有する人家との位置関係が明瞭にわかることが要求される。そのため、家の位置、地形、氾濫範囲など複数地図を重ねた地図を作成する必要がある。この目的を達するのにGISを用いれば容易であるが、GIS自体の習得にはかなりの時間を有し、緊急調査の調査手法やQUAD1.0の使用方法を習得するより大変である。また、多くのGISは高価な商品であり、緊急調査を行う事務所で使い慣れたGISが使えるとは限らない。

そこで、インターネット環境のみで利用できる国土地理院の電子国土を用いて、土石流氾濫想定区域を表示することを基本とした。電子国土は、背景図として2万5千分の1相当の地形図が日本全国分整備されているWebGISである。土石流氾濫想定区域の電子データを電子国土へ入力すれば、2万5千分の1の地形図上に自動的に土石流想定氾濫区域が重なる。そのため、土砂災害緊急情報の

図を容易に作成できる。また、国土交通省内部のシステムに情報をアップするため、情報を無意識のうちに外部サーバへ送信する心配もある程度抑制される。加えて、電子国土の使い方を一度覚えれば、可視化以外にも天然ダム湛水域の計測などを行うこともできる。

4. 2011年台風12号における適用

4.1 概要

2011年9月初旬に日本列島に接近・上陸した台風12号は、紀伊半島において甚大な被害をもたらした。奈良県、和歌山県、三重県の3県で合わせる208件の土砂災害が発生し、死者49名・行方不明者13名の人的被害が発生した (国土交通省砂防部ホームページより)。深層崩壊に伴い天然ダムが数多く形成され、その決壊による土石流の二次災害が懸念されたことも特徴である。

4.2 国土交通省による緊急調査

国土交通省近畿地方整備局が、台風通過後の9月5日から6日にヘリコプター調査を行い、規模が大きいと視認された天然ダムについては、手持ち型レーザ距離計で即時にその形状を計測している。これによって、緊急調査の着手要件である比高 (天然ダム土塊の下流と越流想定開始地点の標高差) や土石流氾濫推定区域に不可欠な諸元を速やかに取得した。近畿地方整備局は9月6日から改正土砂法に基づく緊急調査に着手した。

大規模な天然ダムが決壊すると、大規模な土石流によって下流域で多大な被害が生じる可能性があるため、近畿地方整備局はQUAD1.0を用いて、土石流氾濫想定区域を行い、緊急調査着手から2日後の9月8日に、図-4に青色で示す土石流氾濫想定区域を速やかに公表した。緊急調査では、天然ダム決壊に伴う土石流氾濫想定区域は逐次更新する。緊急調査開始直後は、精度の粗い調査結果であっても速やかに土石流氾濫想定区域を発表し、その後、調査の進捗に応じて区域を更新する。9月8日の第1報発表後、詳しい地形の情報が得られるに従い、9月12日に1度更新し (図-4の赤いメッシュ)、11月3日に再更新をした。より詳細な情報は、近畿地方整備局の2011年9月8日、12日、15日、11月3日などの記者発表資料で確認できる。

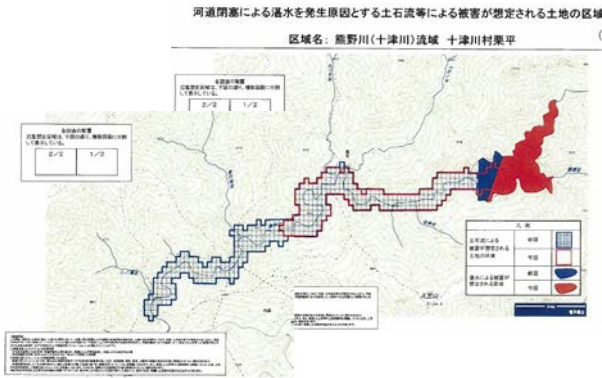


図-4 栗平地区における土石流氾濫想定区域。国土交通省2011年9月12日記者発表資料を編集。青いメッシュが9月8日に発表した区域、赤いメッシュが9月12日に更新した区域である。図は電子国土上で表示させたものである。

5. まとめ

土砂災害防止法の改正によって、大規模な天然ダムの決壊に伴う土石流氾濫想定区域を推定することを目的とした数値解析手法が実務に導入された。これに伴い“緊急”時に特化した数値計算システム開発の必要性が生じ、これに対応するための道具として、様々な関係者によって、QUAD1.0が開発された。

2011年台風12号においてはアクセスが困難な山地に天然ダムが形成したにも関わらず、国土交通省は土石流氾濫想定区域を発災後数日以内に発表できた。しかし、緊急調査の実施や土石流氾濫想定区域の公表など、多くの関係者にとって初めて経験する事項が多く、現場での技術力の向上⁶⁾や、データ計測方法の確立、精度を考慮した説明の方法⁷⁾など、QUAD1.0以外にも土砂災害緊急情報発信者や作成者サイドにも多くの課題が見つかった。

土砂災害緊急時の調査手法やQUAD1.0の改良を含めて、種々の場面に即した数値解析技術や計測機器の開発も重要な課題として再認識されたと

考えている。筆者らも、より使いやすい道具の開発を継続的に進めたいと考えている。

謝 辞

QUAD1.0の開発全般に関しては、国土交通省砂防計画課 國友優企画専門官（当時）、中村圭吾課長補佐（当時）、越智英人課長補佐に、数値解析プログラムの使用許可に関して（一財）砂防・地すべり技術センターおよび（一財）砂防フロンティア整備推進機構に、プログラム開発過程では、吉野弘祐交流研究員（当時）と木佐洋志交流研究員に、多大なる協力を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 内田太郎、山越隆雄、清水武志、吉野弘祐、木佐洋志、石塚忠範：河道閉塞（天然ダム）及び火山の噴火を原因とする土石流による被害範囲を速やかに推定する手法、土木技術資料、第53号、第7号、pp.18～23、2011
- 2) 里深好文、吉野弘祐、水山高久、小川紀一郎、内川龍男、森俊勇：天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究、水工学論文集、51、pp.901～906、2007
- 3) 中谷加奈、里深好文、水山高久：GUIを実装した土石流一次元シミュレータ開発、砂防学会誌、61-2、pp.41～46、2008
- 4) 清水武志、内田太郎、山越隆雄、石塚忠範：緊急調査初動期の区域推定計算プログラムQUAD1.0の設計と開発、平成24年度砂防学会研究発表会概要集、Pa-65、pp.494～495、2012
- 5) 石塚忠範、岡本敦、中込淳：台風12号に伴い紀伊山地で発生した深層崩壊の二次災害対策について：京都大学防災研究所研究集会「深層崩壊」、pp.46～51、2012
- 6) 吉田一光：平成23年台風12号による河道閉塞への対応（緊急調査及び土砂災害緊急情報）、砂防と治水、44-6、pp.24～29、2012
- 7) 中込淳：平成23年台風12号による紀伊山地河道閉塞（土砂ダム）対応について、河川、No.2、pp.29～38、2012

清水武志*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員
Takeshi SHIMIZU

内田太郎**



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室主任研究官、博士（農学）
Dr.Taro UCHIDA

山越隆雄***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム主任研究員、博士（農学）
Dr.Takao YAMAKOSHI

石塚忠範****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員
Tadanori ISHIZUKA