

堰塞湖所導致土石流預估影響範圍計算系統 (QUAD-L) 的開發 與該系統運用在 2011 年塔拉斯 (Talas) 颱風 12 號造成的災害

清水武志* 內田太郎** 山越隆雄*** 石塚忠範****

1. 前言

2011 年 5 月 1 日「土砂災害警戒避難區域等土砂災害防止對策推動相關法」完成部分修正（以下，「修正土砂法」）。根據這項修正，發生滿足政令要件規模之堰塞湖時，國土交通省應依據修正土砂法，實施「緊急調查」，其結果應當作「土砂災害緊急資訊」，通知都道府縣等，並周知民眾。該資訊乃是由預估會發生重大災害的地區與時間所構成。若要製作前者之區域（以下，「土石流氾濫預估區域」）資訊，即使欠缺緊急資訊，也必須有能迅速實施，且具有一定程度精度之推定方法。筆者等人認為，堰塞湖這方面研究還很少，因此與其參考經驗方法，不如具有彈性地運用能反映現場資訊的數值計算方法，更為恰當¹⁾。

有關土石流流動・氾濫相關數值計算方法的研究，已經超過20年。堰塞湖溢流侵蝕過程方面，也有許多人進行數值計算方法的研究。其中，LADOF模式運用在實際堰塞湖潰壩案例，確認了其重現性²⁾。之前的砂防行政事務，雖然也把數值計算活用於河床變動量推定等，但尚未積極活用於緊急狀況。基於這樣的理由，傳統大部分數值計算程式因為：1) 尚未具備充分的使用者介面（以下，UI），2) 為了能應用於各種目的與現象，須設定許多的輸入條件等等，未必好用。近年來，1) 的部分有人開發出具備圖形使用者介面（GUI*）的數值計算程式³⁾，可以做廣泛用途的土砂移動數值計算，比以前更被廣泛運用。另一方面，筆者等人負責開發緊急調查的初期階段（災後1週左右）數值計算系統QUick Analysis system for Debris flow induced by Landslide dam version 1.0（QUAD-L ver1.0。接下來

*土木用語解說：GUI

開發下列「QUAD1.0」之際，因為有緊急時刻推定土石流氾濫預估之區域的明確目的，因此擬定製作可以克服2) 課題之系統，並設計了具備非常特定機能且使用簡便的系統。

另一方面，運用 QUAD1.0 所推定的核心內容，也就是堰塞湖溢流侵蝕過程與土石流氾濫相關數值計算程式，運用了已充分確認其重現性的（一般財團法人）的砂防・地滑技術中心與（一般財團法人）砂防第一線整備推進機構所分別開發程式。（獨立行政法人）土木研究所開發了為滿足修正土砂法需求的 UI、數值變換等控制程式（以下「QUAD1.0 控制程式」）。QUAD1.0 控制程式具備數值分析之外、特別是使用者會遇到部分的所有機能，因此在下列說明之中，QUAD1.0 乃是 QUAD1.0 控制程式與總稱的用語。本文根據設計 QUAD1.0 的注意事項，將類似條件下製作數值計算系統時應為共通的想法，放在第 2 章與第 3 章說明之後，第 4 章則略述 2011 年塔拉斯颱風災害中活用 QUAD1.0 案例。此外，本稿部分內容由清水等⁴⁾與石塚等⁵⁾所發表。

2. QUAD1.0 的設計

開始進行大規模堰塞湖緊急調查之後，若要迅速提供土砂災害緊急資訊，最好國土交通省職員能獨立進行調查與分析工作，才能在任何狀況下將資訊傳達出去。因此，經常運用在堰塞湖潰堤等持續急迫狀況下的 QUAD1.0，其設計原則是一種可犧牲其多功能性，而當作是緊急調查時進行最低限度必要性處理的數值計算系統。這裡所謂最低限度須滿足的機能，指運用 0) 標準事務性電腦而在啟動程式之後 2~3 小時內，能算出一定

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

程度精度的土石流氾濫預估區域。不僅如此，也能達成以下目標，1) 使用者能正確迅速地得出結果，2) 在相同條件下，理想上任何人實施，都能輸出相同的計算結果，3) 得到結果所需時間最短，4) 數值計算系統使用簡便。此外，發送程式方面，因為已經製作成國土交通省員工所能使用之桌上型應用程式，因此，5) 國土交通省內任何分支局的終端裝置都能啟動這種程式，6) 即使例假日等資訊管理者不在場，也能使用。5) 與 6) 方面，須注意事項如下：a) 不需要安裝特別註冊操作的裝置，b) 為了讓國土交通省內部可以自由地將程式相關部門進行運用，且程式開發者權利受保障，該程式所附屬之著作物（程式語言・程式庫等），也應注意須有使用執照許可。

3. QUAD1.0 的實際安裝

QUAD1.0 的實施項目如圖-1 所示，QUAD1.0 的實施項目和通常的分析支援程式相同，為了達成前章 0)~4) 的目的，須解決以下以個問題。

3.1 鎖定輸入項目

筆者等依據對結果的影響高低與調查難易度，進行調查項目分類，選定幾個對結果影響較大且容易計測的項目，列入 QUAD1.0 的輸入項目。調查方法如緊急調查的手冊所示。做這樣選定的主要原因是，緊急時刻只須掌握這些項目，就能達到一定程度精度且迅速地得出結果¹⁾。數據轉換成堰塞湖溢流侵蝕程式的處理工作，都能在 QUAD1.0 內部自動進行。這就大大降低使用者的輸入錯誤、縮短操作時間，讓 QUAD1.0 更加方便好用。

此外，使用者能和 QUAD1.0 對話的使用者介面（UI），不使用現代化畫面的圖形用戶介面（GUI），而採用指令行形式（圖-2）。原因是，即使沒安裝啟動圖形用戶介面（GUI）所需之程式群（程式庫），也必須能進行運作。

經過以上改善動作，QUAD1.0 就能只靠輸入參考緊急調查手冊所調查 15 個項目的以下數值，即完成參數設定。

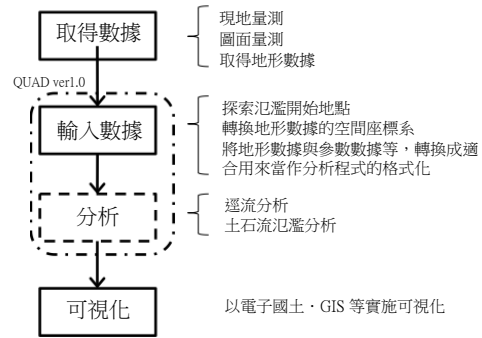


圖-1 推定土石流氾濫預估區域的 QUAD1.0 之定位（可取得可視化形式之數據，可視化則是因為使用了電子國土等）

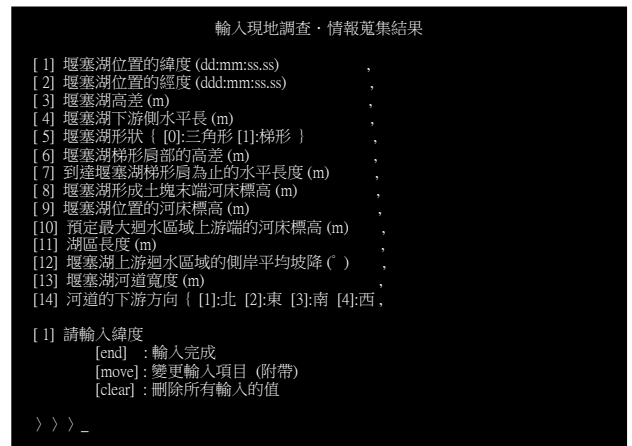


圖-2 QUAD1.0 輸入參數畫面

3.2 地形數據

形成堰塞湖的地點很難事先預測。一旦出現大規模堰塞湖而啟動緊急調查，應不必侷限於直轄砂防區域地日本全國各地都能實施。因此，須做好環境整備工作，以便能在任何地點推定土石流預估氾濫範圍。另一方面，推定土石流氾濫預估區域，三次元地形數據不可或缺；但重新取得地形數據，得耗費大量時間、勞力與預算。因此，基本上 QUAD1.0 利用的是國土地理院所建立、全國相同精度的基盤地圖資訊 數值高程模型 10m 網格高程（以下，「數值地形數據」）。雖然部分地區擁有雷射掃描 5m 以下空間解析度之地形數據，但仍應優先用相同的精度，推動於全國。

QUAD1.0 使用方法很容易，只需從國土地理院網站下載數值地形數據，然後把數據轉入特定磁碟文件夾即可。和計測各項目相同的，所需之數據形式與地理座標系，都會自動轉換。因為有

這樣的設計，使用人不需另外學習地理座標系統知識，就能很容易學會操作程序。此外，因為使用者操作程序大幅減少，整體操作更快速，也不易操作錯誤。



圖-3 地形數據輸入：國土地院網頁
(<http://www.gsi.go.jp>) 之地形數據下載畫面

3.3 計算結果之可視化

一般而言，進行土石流氾濫計算時所輸出一系列數字之計算結果，應予以可視化。通常為了確認氾濫範圍與周邊地形、人工構造物之關係，大都利用地理資訊系統（GIS）加以顯示。另一方面，說明土砂災害緊急資訊的土石流預估氾濫區域時，須清楚說明氾濫區域與有居民住宅之位置關係。因此，須製作將住宅位置、地形、氾濫範圍等複數地圖重疊而成的地圖。運用 GIS 容易達成這項目地，但學習使用 GIS 本身相當耗時，比學習緊急調查的調查方法及 QUAD1.0 使用方法還費事。此外，大部分 GIS 產品都很昂貴，且未必使用緊急調查辦公室所習慣運用的 GIS。

因此，基本上應運用侷限網路使用的國土地院電子國土，來說明土石流氾濫預估區域。電子國土乃是一種背景圖，也就是將日本全國地形做成 2 萬 5 千分之 1 地形圖的 WebGIS。土石流氾濫預估區域電子數據輸入電子國土，就能在 2 萬 5 千分之 1 地形圖上，自動呈現土石流預估氾濫區域。有了這套系統，就很容易製作完成土砂

災害緊急資訊之地圖。此外，某種程度也可減少把資訊上傳到國土交通省內部系統時無意識中傳送到外部伺服器的狀況。不僅如此，學會電子國土操作方法之後，也能在可視化之外，進行堰塞湖湖區等的量測。

4. 2011 年塔斯拉(Tales)颱風的運用

4.1 概要

2011 年 9 月上旬登陸日本列島的颱風 12 號，在紀伊半島釀成嚴重災情。奈良縣、和歌山縣、三重縣 3 個縣合計發生 208 件土砂災害，造成 49 人死亡、13 人失蹤之災情（參見國土交通省砂防部網頁）。其災害特徵是大規模崩塌導致產生許多堰塞湖，而堰塞湖可能潰決導致土石流二次災害，令人擔憂。

4.2 國土交通省進行緊急調查

颱風通過之後，9 月 5、6 日國土交通省近畿地方整備局實施直升機調查，以手持式雷射測距儀當場量測目視確認規模較大的堰塞湖形狀，迅速掌握高差（堰塞湖土塊的下游與預估開始溢流地點的高程差）與土石流氾濫推定區域等這些著手緊急調查要件不可或缺之項目。近畿地方整備局並且從 9 月 6 日起，依據修正之土砂法著手實施緊急調查。

大規模堰塞湖潰決可能出現大規模土石流而造成下游區域嚴重災情。近畿地方整備局利用 QUAD1.0，確認土石流氾濫預估區域並實施緊急調查 2 天之後，9 月 8 日迅速公布如圖-4 所示、藍色標示的土石流氾濫預估區域。根據緊急調查結果，逐次更新堰塞湖潰決所致土石流氾濫預估區域。開始實施緊急調查之後，即使精度較差的調查結果，也都馬上發布土石流氾濫預估區域。之後仍持續依據調查進度，更新預估之區域。9 月 8 日第 1 次發布後，因為取得更詳細的地形資訊，便於 9 月 12 日更新（圖-4 紅色網格），11 月 3 日再度更新。更詳細的資訊可參照近畿地方整備局 2011 年 9 月 8 日、12 日、15 日、11 月 3 日等記者新聞稿發布資料。



圖-4 栗平地區土石流氾濫預估區域。國土交通省 2011 年 9 月 12 日記者會發表資料。藍色網格為 9 月 8 日所發表區域，紅色網格為 9 月 12 日更新之區域。圖顯示在電子國土上。

5. 總結

土砂災害防止法修正之後，實務上引進了旨在推定大規模堰塞湖潰決所致土石流氾濫預估區域的數值分析方法。因此有必要開發特別是“緊急”時可運用的數值計算系統，而與此對應的，相關專家學者配合開發了 QUAD1.0 這樣的工具。

2011 年塔拉斯颱風在人員難以到達的山地，形成了堰塞湖，國土交通省乃在災害產生數日內發表了土石流預估氾濫區域。但緊急調查的實施，以及公布土石流氾濫預估區域等等，其中有許多相關人士第一次處理的事項，包括如何提升現場技術能力⁶⁾，確立數據量測方法、重視精度的說明方法⁷⁾等等，土砂災害緊急資訊發布者與製作者的網站，也可看到許多 QUAD1.0 之外的課題。

我的看法是，經由上述研究可以了解，土砂災害緊急時的調查方法，以及如何改良 QUAD1.0、開發能配合各種不同狀況的數值分析技術與量測機器，也是重要課題。筆者等人也應持續地開發更好用的工具。

致 謝

開發 QUAD1.0 過程中，承蒙國土交通省計畫課 國友優企劃專門官（當時）、中村圭吾課長輔佐（當時）、越智英人課長輔佐，數值分析程式使用許可相關（一般財團法人）砂防・地滑技術中心（一般財團法人）砂防第一線整備推進機構，以及程式開發過程中吉野弘祐交流研究員（當時）與木佐洋志交流研究員諸君，提供非常大的協助。在此謹表謝忱。

參考文獻

- 1) 內田太郎、山越隆雄、清水武志、吉野弘祐、木佐洋志、石塚忠範：迅速推定河道閉塞（堰塞湖）與火山噴發導致土石流所造成災害範圍的方法，第 53 號，第 7 號，pp.18~23，2011
- 2) 里深好文、吉野弘祐、水山高久、小川紀一郎、內川龍男、森俊勇：堰塞湖潰決導致洪水逕流預測方法相關研究，水工學論文集，51，pp.901~906，2007
- 3) 中谷加奈、里深好文、水山高久：實裝 GUI 的土石流一次元模擬開發，砂防學會誌，61-2，pp.41~46，2008
- 4) 清水武志、內田太郎、山越隆雄、石塚忠範：緊急調查初期階段推定程式計算 QUAD1.0 的設計與開發，2012 年度砂防學會研究發表會概要集，Pa-65，pp.494~495，2012
- 5) 石塚忠範、岡本敦、中込淳：颱風 12 號導致紀伊山地發生深層崩塌二次災害對策：京都大學防災研究所研究集會「深層崩塌」，pp.46~51，2012
- 6) 吉田一亮：2011 年颱風 12 號導致河道閉塞的對應處理措施（緊急調查以及土砂災害緊急情報），砂防與治水，44-6，pp.24~29，2012
- 7) 中込淳：2011 年颱風 12 號導致紀伊山地河道閉塞（土砂壩）的對應處理措施，河川，No.2，pp.29~38，2012

清水武志*



獨立行政法人土木研究所
筑波 中央研究所土砂管理
研究群組火山・土石流團
隊 研究員
Takeshi SHIMIZU

內田太郎**



國土交通省國土技術政策
綜合研究所危機管理技術
研究中心砂防研究室 主
任研究官、博士（農學）
Dr. Taro UCHIDA

山越隆雄***



獨立行政法人土木研究所
筑波 中央研究所土砂管理
研究群組火山・土石流團
隊 主任研究員、博士
（農學）
Dr. Takao YAMAKOSHI

石塚忠範****



獨立行政法人土木研究所
筑波 中央研究所土砂管
理研究群組火山・土石流
團隊 高等研究員
Tadanori ISHIDUKA

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2017

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。