

## 堰塞湖及火山噴發所導致土石流迅速推定其災害範圍的方法

内田太郎\* 山越隆雄\*\* 清水武志\*\*\* 吉野弘祐\*\*\*\* 木佐洋志\*\*\*\*\* 石塚忠範\*\*\*\*\*

### 1. 前言

地震與豪雨所導致大規模河道閉塞（堰塞湖）（以下「河道阻塞（堰塞湖）」都作「堰塞湖」），會因為堰塞湖上游累積的水溢流而導致土石流（以下稱為「堰塞湖所導致土石流」），有時會造成堰塞湖下游嚴重災情<sup>1)</sup>。此外，噴發之後火山灰等堆積，遇到降雨所發生的土石流（以下稱為「火山噴發所導致土石流」），有時會對堆積火山灰等溪流的下游造成嚴重災情<sup>2)</sup>。為了減輕這類堰塞湖或火山噴發形成土石流所造成的災情，應儘速推定有產生災害之虞的地區範圍與時期。

2011年5月1日部分修正土砂災害警戒區域等推動土砂災害防止對策相關法律（以下稱為「土砂災害防止法」）的法規（以下稱為「修正土砂災害防止法」）開始施行。該法施行之後，若確認有形成堰塞湖以及火山噴發導致火山灰等符合要件之狀況，應實施緊急調查，發布土砂災害緊急資訊。與此同時，國土交通省砂防部砂防計畫課、國土技術政策綜合研究所砂防研究室、土木研究所土砂管理研究群組，也配合整理了「依據土砂災害防止法實施緊急調查手冊（河道閉塞所導致的土砂災害對策編）與同（噴發所導致火山灰等堆積之後降雨所造成土石流對策編）（以下稱為「手冊」）」。

入門手冊中依循修正過的土砂災害防止法旨趣，說明了國土交通省利用調查來標示，預估堰塞湖形成土石流與火山噴發導致土石流所可能造成災情地區之方法。在形成堰塞湖等狀況所導致土石流可能造成災害的緊急狀況下，為了提供居民避難行動之參考，應儘速提供有產生災害之虞區域等資訊。因此，本手冊除了確保所

提供資訊須有一定程度精度之外，主要還是必須在最短時間內得出結論，整理出最低限度應實施緊急調查內容，以便能提供區域與時間等資訊。本報告便是手冊所提到調查與分析之中，預估堰塞湖形成土石流與火山噴發所導致土石流可能造成災害區域的初期階段調查・分析方法。



照片-1 2008年6月岩手・宮城內陸地震所導致堰塞湖（2008年6月28日攝影）



照片-2 2011年1月霧島山(新燃岳)火山噴發（2011年1月27日攝影）

Quick analysis method for assessing debris flow hazard area induced by overtopping erosions of landslide dam and post-eruption rainstorm

## 2. 方法概要

### 2.1 目標現象

#### (1) 堰塞湖所導致的土石流

手冊中設定，堰塞湖形成後，上游迴水水位會慢慢上升，然後因為開始溢流、阻塞河道的土砂急速被侵蝕而土石流化，並在下游地區造成氾濫。

此外，豪雨期間有可能產生堰塞湖，或豪雨過程中堰塞湖有溢流侵蝕之虞時，無可用來進行調查、分析之緩衝時間，也就很難當作緊急調查對象。在此，設定堰塞湖形成土石流所可能造成災害的地區時，手冊之中並未考慮豪雨導致流入流量增加所對於堰塞湖湖區的影響，而是基本上會設定堰塞湖上游迴水水位上升、常態流量而造成堰塞湖開始侵蝕的狀況。

#### (2) 火山噴發所導致的土石流

手冊之中設定，火山灰等堆積導致斜面滲透能力明顯降低，降雨時雨水幾乎沿著表面流動而形成土石流，並在下游地區造成氾濫。

此外，過去曾造成大面積氾濫災情、讓火山噴發導致土石流傾瀉而下之降雨，其降雨強度不只大且總雨量也大。因此，設定後述水文歷線圖時，都先設定對象區域 24 小時實際的雨量歷線圖。

### 2.2 檢討方法

推定可能產生土石流等土砂災害之地區，主要有以下二大類方法。

- ① 分析過去的土砂災害案例，清楚指出土石流等所影響範圍的地形特徵，推定擁有該地形特徵之範圍，為所設定的土砂災害影響地區
- ② 運用納入支配土石流等影響所及範圍的物理過程數值模擬而推定區域之方法

過去土砂災害對策所使用大部分是①分類方法。比如，目前都道府縣所實施、依據土砂災害防止法所設定之土砂災害警戒區域，就是依照①分類方法進行。另一方面，②這種方法有許多不確定因素，因此只運用在不曾發生、規模很大的土砂移動現象上面。

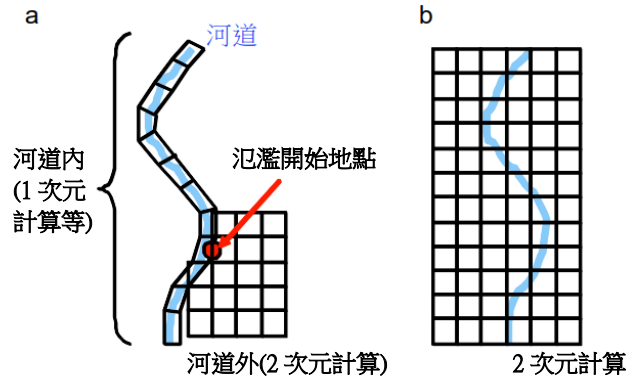


圖-1 計算氾濫區域分割概念圖

本手冊之中所探討對象、堰塞湖形成土石流，以及火山噴發所導致災害之案例未必很多，且災區範圍可能明顯受到堰塞湖所形成地點，上下游地形、堰塞湖規模與形狀、火山灰堆積範圍等影響。因此，①這種方法可能難用來推定預估會產生災害的地區，而比較適合運用②這種利用數值模擬方法，進行推定。

### 2.3 數值模擬方法

從區域認定的角度來看，數值模擬方法有以下二大類（圖-1）。

- a. 計算河道內河川流動方向的水位與河床水位等變動（以下稱為 1 次元計算。），然後尋找氾濫開始地點。河道外則計算 2 次元水位等變動（以下稱為 2 次元計算。）的方法

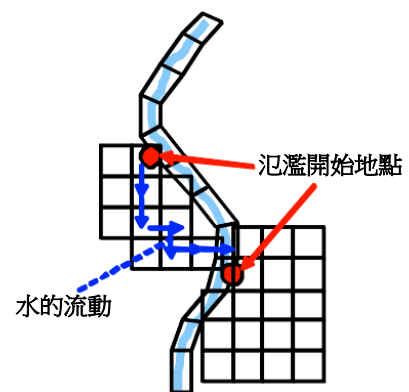


圖-2 有多數開始氾濫地點時的概圖

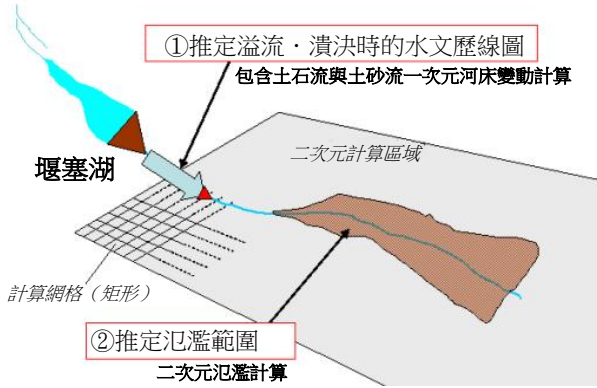


圖-3 設定堰塞湖形成土石流所可能造成災情的地區方法

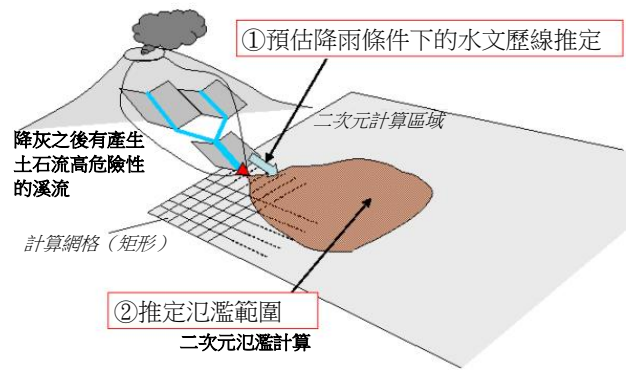


圖-5 預估火山噴發形成土石流所可能造成災情的地區方法

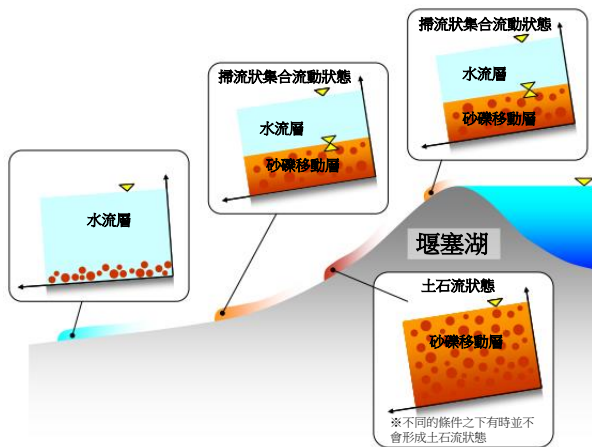


圖-4 堰塞湖區域的1次元計算方法概念圖

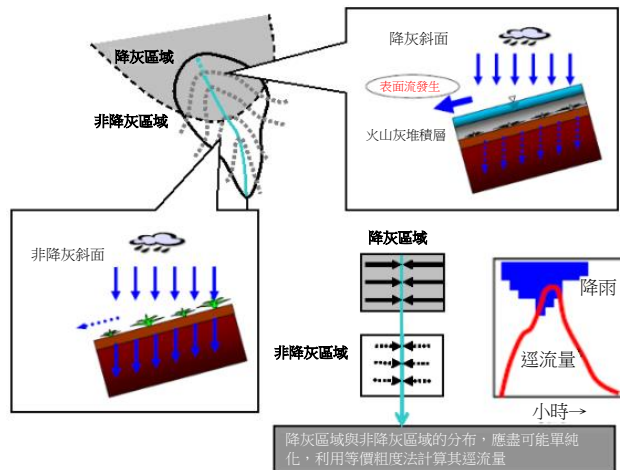


圖-6 火山灰流域的分布型逕流計算概念圖

b. 河道內外一起實施 2 次元計算的方法

a 方法比 b 方法更能精確地表現河道地形，更適合用來說明是否有氾濫狀況。但運用 a 方法若要高精度地表現河道地形，須做好事前準備工作（製作詳細的測量與地形數據），若事前沒有做好準備工作，有可能開始測量之後仍得進行。此外，如圖-2 所示，進行河道內計算若出現多數泛濫開始地點，而要從下游開始氾濫地點推定氾濫範圍時，須評估上游氾濫開始地點氾濫的影響。此外，山區氾濫的水與土砂有時會再度回到河道內（圖-2）。a 這種河道內與河道外各自獨立計算的方法，無法充分說明這些現象。因此，為了能連動地實施河道內 1 次元計算與河道外 2 次元計算，應事先把地形數據整合進來。

另一方面，運用 b 方法時，雖然可能無法高精度地說明河道地形，但國土地理院已整備並公開 10m 網格高程數據，在全國任何地點，都已經能快速製作地形數據。因此，按照手冊的基本概念，也就是「不只確保一定程度的精度，也必須不費時地很快得出結果」原則，還是應該使用 b 方法。

(1)堰塞湖所導致的土石流

如前述，進行氾濫計算時，河道內外概括地運用 2 次元計算；進行堰塞湖溢流侵蝕過程數值計算，則雖然近年來有人建議使用 2 次元計算方法，但實際現象驗證尚未充足。另一方面，用 1 次元方式處理堰塞湖的模型已確認實際現象也可適用，重現性相當高<sup>3), 5)</sup>。因此，本手冊基本上是組合以下兩種方法，一起運用，（圖-3）：

①堰塞湖下游末端往上游區域的 1 次元河床變動計算

②堰塞湖下游末端往下游區域的 2 次元氾濫計算



特別是①連續處理了包括土石流與推移質，並運用了確認堰塞湖重現性的里深等 (2010) 的方法<sup>3)</sup> (圖-4)。

(2)火山噴發所導致的土石流

推定火山噴發所導致土石流的水文歷線，應考量火山灰等的堆積範圍與滲透量設定有效降雨量，進行可實施表面流計算的分布型逕流計算。在此，手冊基本上搭配運用了以下二種方法 (圖-5)：

- ① 從開始氾濫地點往上游的分布型逕流計算
- ② 從估計開始氾濫地點往下游的二次元氾濫計算

火山噴發應先估計火山灰會有多大範圍，然後在各溪流實施土石流流動氾濫計算，盡早得出結果，然後針對①這部分，按照手冊基本觀念，「除了確保一定程度的精度，更應盡快得出結果」，然後盡可能如圖-6 所示地簡明扼要說明流域狀況，利用運動波法進行流動計算 (圖-6)。

2.4 2次元氾濫計算

2 次元氾濫計算之中，水與土砂流動用 xy 方向的流動加以說明。但如圖-7 所示，山區河道有時會走網格的斜方向路線 (圖中由 A 網格往 D 網格的方向)。此時，2 次元氾濫計算的水與土砂，不會直接由網格 A 流到網格 D，而是可能以 A→B (或 C) →D 的路線流動，由此就能算出水與土砂之流動量。

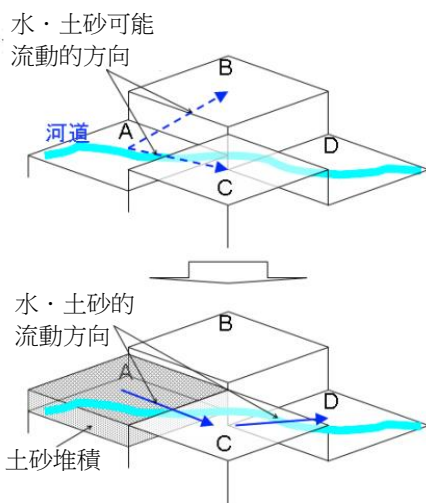


圖-7 河道往斜方向流動時課題概念圖

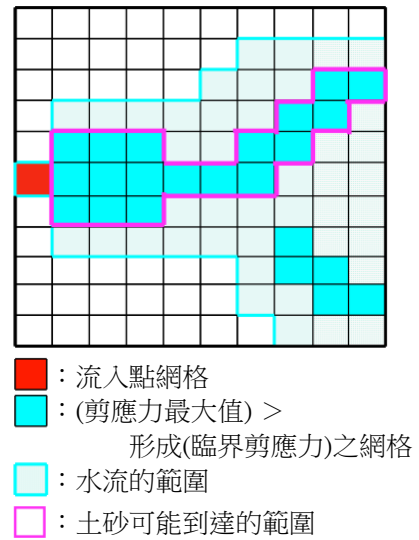


圖-8 土砂可能到達範圍概念圖

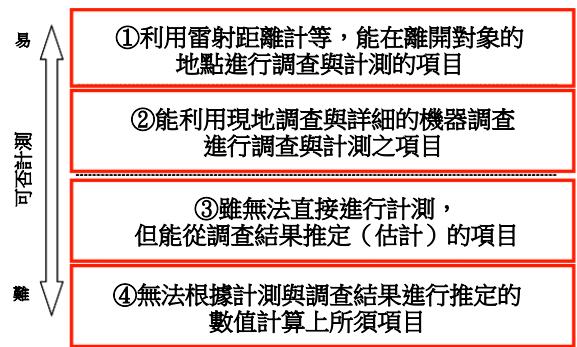


圖-9 設定有致生災害之虞區域預估計算方法之輸入項目方法的概念

但 B 與 C 網格的原本高程高於 A，如圖-7 所示，2 次元氾濫計算之中，網格 A 之高程應高於 B 之高程。因此在 A 之中，土砂堆積後會先從 A 往 B 以及 D 的方向流動。換言之，儘管原本山谷與河道彼此連接，看起來像牆壁那樣的地形，但計算上實際並不存在。因此，大量土砂堆積的土砂氾濫範圍，有可能比實際狀況還小。

若要某種程度解決這種問題，解決方法有①將網格尺寸縮小，②進行 DEM 校正，以便讓河道能連續。但①計算需要時間，②製作 DEM 的時間會拉長。因此，為了避免拉長解析所需時間，減少如圖-7 所示 DEM 對氾濫計算的影響，應分析算出「土砂能抵達的範圍」，然後由此算出土砂的氾濫範圍。在此，計算出來的各網格最大剪應力，便是以超過臨界剪應力網格之中，空間上從

堰塞湖下游末端開始連續的網格，作為「土砂可能到達的範圍」(圖-8)。

### 3. 調查方法

#### 3.1 調查項目的分類觀念

進行圖-3 與圖-5 所示的計算時，須假設非常多的輸入條件。但如果要全部高精度地假設輸入條件，須耗費大量勞力與時間。因此，參考本手冊「除了確保一定程度的精度之外，應盡快得出結果」的基本觀念，就可從「能否量測」與「影響計算結果的程度」的觀點，整理出輸入條件。能否量測方面，首先區分出能量測之項目(圖-9的①與②)、難以直接量測的項目(圖-9的③)、就連間接量測也很困難，但必須進行數值計算的項目(圖-9的④)。然後，地震或火山噴發時，有時難以從地面接近災區地點，因此能量測的項目又分為①即使從遠處(上空等)也能進行量測的項目與②不到現場就無法進行量測的項目兩種(圖-9)。然後參照過去的研究成果<sup>5)</sup>，實施感度分析，就可將其對於計算結果的影響分為大中小 3 個階段。類似這樣事先決定好推定災害範圍之際緊急實施最起碼量測之輸入條件，就能在有限時間內依據可能可以實施的調查結果，得到最佳精度的結果。

#### 3.2 調查項目的分類結果

堰塞湖下游末端往上流域的 1 次元河床變動計算、火山噴發所導致土石流開始氾濫地點開始往上游區域的分布型逕流計算，以及堰塞湖以及火山噴發所導致土石流 2 次元氾濫計算之參數分類結果，如圖-10、圖-11 與圖-12 所示。然後，依據圖-10~圖-12，如圖-13 所示，其調查方法有 3 種，都整理在參考手冊之中。比如，圖-10 顯示，堰塞湖的高差與堰塞湖下游的坡降會明顯影響計算結果而且容易量測，因此應實施現場量測。

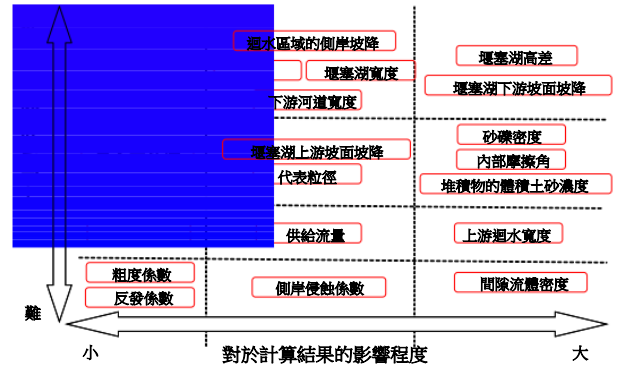


圖-10 堰塞湖下游末端上游區域 1 次元河床變動所使用的參數分類

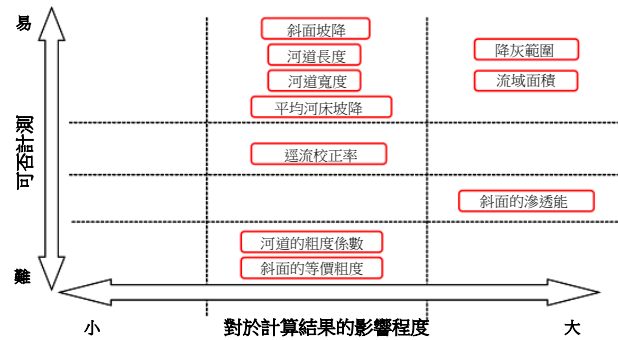


圖-11 火山噴發導致土石流氾濫開始地點上游區域分布型逕流計算所使用的參數分類

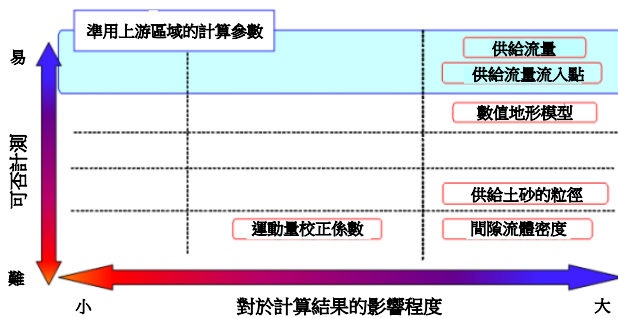


圖-12 2 次元氾濫計算所使用的參數分類

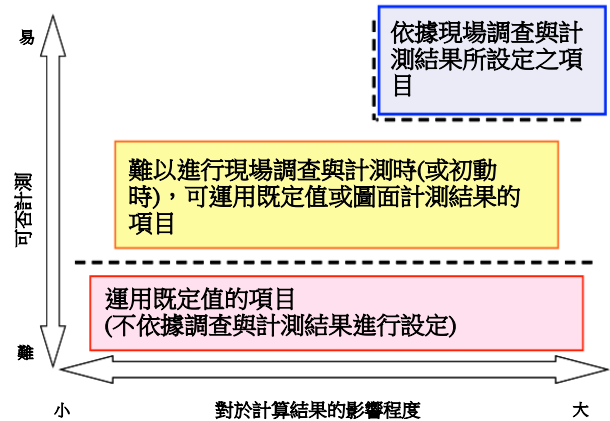


圖-13 參數設定方法的分類

參考手冊中指出，初期階段最好能不浪費時間地盡快得到結果，因此應從直升機等上面，利用長距離雷射測距儀，量測<sup>6)</sup>堰塞湖的形狀。

#### 4. 結語

本文概略說明手冊所提的調查方法，藉由分析綜合整理可迅速獲得堰塞湖與火山噴發導致土石流可能致災的影響範圍。但今後仍須進一步進行分析方法的檢討與改良，調查方法與事前準備工作方面，也應持續實施檢討與技術開發。

#### 致 謝

本方法進行綜合整理之際，承蒙京都大學水山高久教授、立命館大學里深好文教授、京都府立大學高濱淳一郎準教授、財團法人砂防第一線整備推進機構森俊勇理事長、財團法人砂防・地滑技術中心松井宗廣理事提供寶貴建言，在此謹表謝忱。

- 1) 田畑茂清・水山高久・井上公夫：堰塞湖與災害，古今書院，2002
- 2) 池谷浩・石川芳治：1991年雲仙岳噴火所造成火山碎屑流、土石流災害，土木技術資料，第33卷，第11號，pp.52~60，1991
- 3) 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，Vol.51，pp.901~906，2010
- 4) 田村圭司・內田太郎・吉野弘祐・森俊勇・里深好文：岩手宮城內陸地震所發生堰塞湖溢流侵蝕狀況的數值模擬，土木技術資料，第52卷，第2號pp.6~9，2010
- 5) 千葉幹・森俊勇・內川龍男・水山高久・里深好文：2006年颱風14號在宮崎縣耳川所形成堰塞湖潰決過程與堰塞湖警戒避難相關提案：砂防學會誌，Vol.60，No.1，pp.43~47，2006
- 6) 內田太郎・吉野弘祐・清水武志・石塚忠範・小竹利明：運用長距離雷射測距儀量測堰塞湖形狀，土木技術資料，第53號，第5號，pp.22~25，2011

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  
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  
Takao YAMAKOSHI

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

吉野弘祐\*\*\*\*



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 交流研究員  
Kosuke YOSHINO

木佐洋志\*\*\*\*\*



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 交流研究員  
Hiroshi KISA

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。