

運用長距離雷射測距儀的堰塞湖形狀量測

內田太郎* 吉野弘祐** 清水武志*** 石塚忠範**** 小竹利明*****

1. 前言

地震與豪雨所形成的堰塞湖會，因為堰塞湖上游蓄積的水溢流，導致形成堰塞湖的土塊受到劇烈侵蝕。於是大量的水摻雜土砂往下流動，很容易就會造成下游嚴重災情¹⁾。若要降低這類堰塞湖所造成的災情，重點除了早期發現堰塞湖並掌握其形狀之外，也應推定災害規模，以及致災之虞的範圍。近年來推定災害規模之際，有人運用將溢流所導致堰塞湖侵蝕過程，予以模式化的數值模擬方法²⁾，發現只要能掌握堰塞湖位置與形狀等，就相當能重現堰塞湖的溢流侵蝕狀況³⁾。

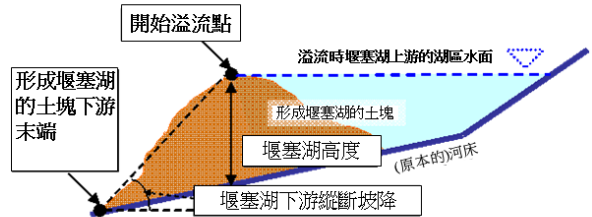
如何早期發現堰塞湖並掌握其形狀，有人利用空載雷射掃描儀，結果顯示，這種方法能早期發現堰塞湖⁴⁾，並且掌握詳細的堰塞湖形狀⁵⁾。

但利用空載雷射掃描儀實施量測費用昂貴，且需專門的量測與分析技術，另外還有分析耗時等的問題。

另一方面，運用長期數值計算進行研究之後發現，發現溢流導致堰塞湖被侵蝕時的洪峰逕流量，明顯受到堰塞湖高度、堰塞湖下游縱斷面坡降（圖-1）影響⁶⁾。因此，若能簡易地提早量測出堰塞湖的高度與下游縱斷面坡降，就能運用數值模擬技術，迅速推定堰塞湖所可能導致下游災害的範圍。

因此，本研究旨在探討可實施長距離量測的雷射測距儀，應用於早期量測堰塞湖高度與下游縱斷面坡降的有效性。同時，本研究設定發生大規模地震時，人員可能難以靠近山區，因此也探討了運用直升機進行量測的可能性。

(a) 堰塞湖形成地點橫斷圖



(b) 堰塞湖形成地點橫斷圖

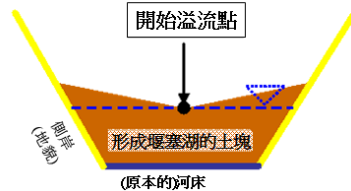


圖-1 堰塞湖概念圖

表-1 運用雷射測距儀的規格表

量測距離		5 m~4,000 m
倍率		5 x
雷射波長		1550 nm
精度	測距	±5 m
	測角（方位角）	±0.57°
	測角（仰角）	±0.17°

2. 方法的探討

本研究所運用的雷射測距儀，能實施量測者與量測目標地點二點之間距離、方位角、仰角與俯角3個項目的量測。所運用的測距儀規格，如表-1所示。此外，聯結雷射測距儀與市售攜帶型GPS之後，可自動地根據量測者與量測目標地點二點之間的距離、方位角、仰角與俯角量測結果，量測出目標地點的緯度、經度與標高。因此，本研究旨在運用雷射測距儀與GPS，進行堰塞湖開始溢流點（堰塞湖各橫斷面最低高程之中標高最高地點）與形成堰塞湖之土塊下游末端（參照圖-1）的緯度、經度與高程量測，並實施精度驗證。



照片-1 沼倉裏沢の堰塞湖（2010年9月27日撮影）



照片-2 量測實況

另外，考量直升機內的直升機機體與其他量測儀器本身的磁場，可能導致雷射測距儀內部方位角量測感測器受影響，因此，本研究事先和量測時相同狀況地運用雷射測距儀與直升機（國土交通省東北地方整備局「陸奧號」），量測已知之目標物，並實施了方位角量測感測器的校正。

3・驗證方法

3.1 檢討對象

本研究主要對象是，2008年6月岩手宮城內陸地震所形成堰塞湖之中的沼倉裏沢地區堰塞湖（照片-1）。沼倉裏沢地區的堰塞湖在地震1週之後，2008年6月21日清晨開始自然溢流，堰塞湖出現侵蝕現象。沼倉裏沢地區堰塞湖的詳細報告，請參照參考文獻7)。依據後述之雷射掃描數據，侵蝕後堰塞湖高度與從溢流開始點到下游末端為止的水平距離，各約25m、500m。

3.2方法

驗證方法乃是由國土交通省東北地方整備局與土木研究所實施、假設出現堰塞湖時的緊急調查訓練一併進行。該訓練於 2011年1月 26、27日實施，26日進行室內雷射測距儀使用方法訓練，翌日實施從直升機運用雷射測距儀的堰塞湖量測。

量測工作由參加訓練的東北地方整備局員工實施。實施量測的員工，都是第一次運用雷射測距儀進行量測。該訓練採取3人一組、總計4組的方式進行，用輪流的方式，3個人都量測了堰塞湖開始溢流點，以及形成堰塞湖土塊下游末端之中的1處。

一開始在容易視線辨認的目標地點，藉由引導直升機，實施了量測目標地點周邊照片的數位相機拍攝。然後同組的3人一面從相機螢幕看照片一面討論，完成目標地點的詳細位置定位。亦即，過程中實施了確認應以堰塞湖開始溢流點或形成堰塞湖土塊下游末端地點作為量測目標之訓練。而且，針對每個量測目標地點，每位量測者連續實施5次（有的人實施3次）量測工作。為了能在量測完了之後確認該地點就是量測之目標，讓量測目標地點置於畫面中央地再度拍照。接下來實施量測的員工，輪流地讓直升機往下一個量測目標地點前進，並且運用前述方法，實施下一個地點的量測。此外，本量測之中，直升機與量測對象的距離約400m。

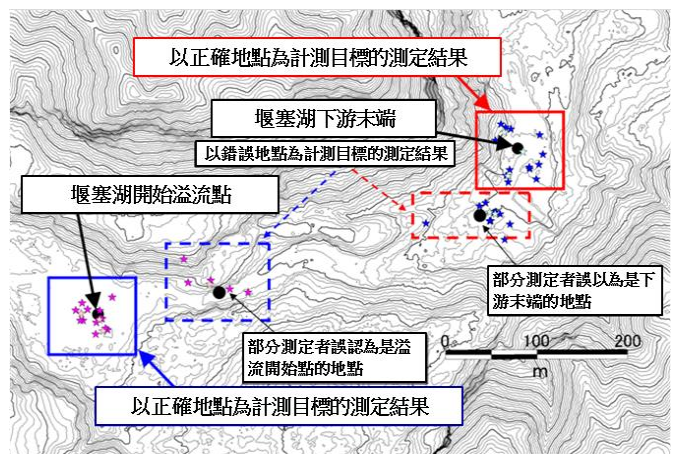


圖-2 測量結果平面圖

（黑色圈圈為量測者設定為目標的地點；星星符號為測量結果）

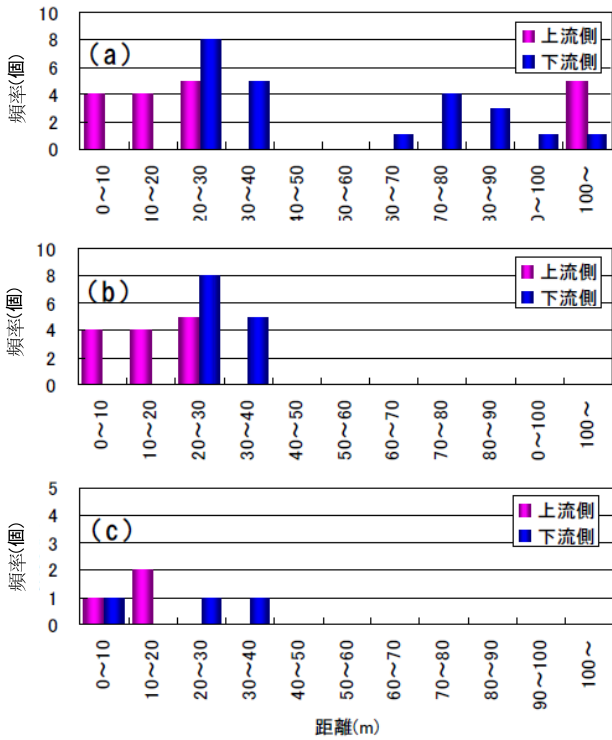


圖-3 測量結果與實際水平方向的位差：(a)全結果、(b)能正確確認目標的量測結果、(c)能正確確認目標的量測者之平均值

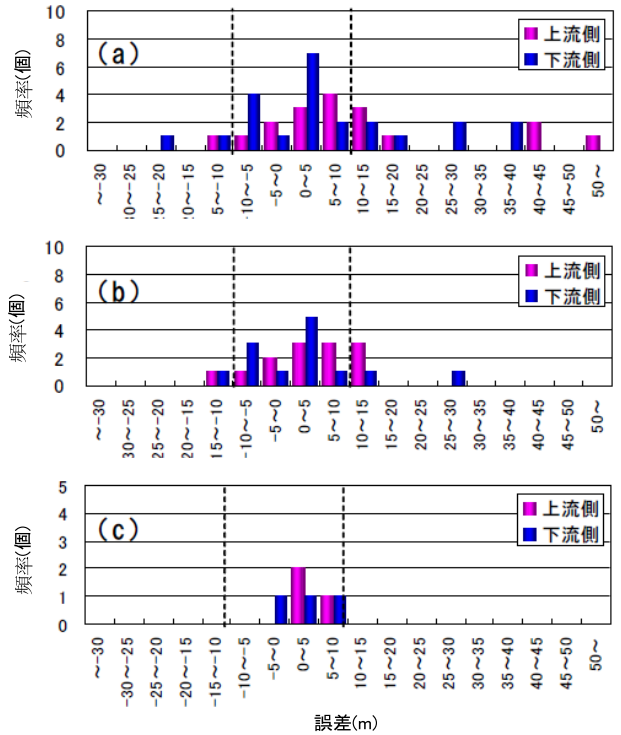


圖-4 測量結果與實際垂直方向的位差：(a)全結果、(b)能正確確認目標的量測結果、(c)能正確確認目標的量測者之平均值

另一方面，運用 2009 年 4 月所取得的雷射掃描數據，算出了堰塞湖開始溢流地點與堰塞湖下游末端緯度、經度、高程。然後和量測結果比較，檢討運用本方法的可行性。但有可能是抄錄GPS輸出值時所造成明顯錯誤的數值，不在下面檢討範圍內。

4. 檢証結果

4.1 目標之設定

圖-2標示了運用雷射掃描數據所製作地形圖上量測到的經、緯度與數位相機數值所確認之量測目標與地點。此外，圖中也標示了依據定義（參照 圖-1）與雷射掃描數據，判斷可能是堰塞湖開始溢流點與土塊下游端的地點。如圖所示，堰塞湖開始溢流點，量測者之中有一位實施了從實際開始溢流點往下 120m 下游地點目標的量測。此外，堰塞湖土塊下游末端的量測者之中，有兩位的量測目標是 80 m 上游地點。另一方面，六位量測者的量測目標是，雷射掃描數據所算出堰塞湖開始溢流點，或土塊下游末端的目標地點。

圖-4 測量結果與實際垂直方向的位差：(a)全結果、(b)

4.2 經、緯度的測量結果

其次，圖-3a乃是由經、緯度量測結果與目標地點的經、緯度所算出水平距離位差頻率分布。如圖所示，半數以上量測結果與實際之差位，低於40m。但有些位差大到超過100m。

圖-3a所顯示的位差包含①前節所標示錯誤設定目標所導致的位差，與②量測所導致之誤差。因此，為了去除①的影響，圖-3b只使用大概能正確確認目標的量測者量測結果（圖-2藍或紅實線圍起來範圍的結果），指出量測結果與實際之間的位差。然後，將能正確確認目標之量測者所完成的 5 次量測結果平均值，剔除其中差距最大的 2 次，再從剩下的 3 次算出經、緯度，以及和實際狀況之間的位差（圖-3c）。如圖-3b所示，若能正確確認目標，量測與實際位差最多為40m。然後，大約80%機率是位差小於30m。另外，量測 5 次而採用其中平均值較接近 3 次加以平均時，位差低於40m，且2/3量測者低於20m。

4.3 高程的測量結果

和經、緯度的檢討相同，圖-4a~c分別顯示出全量測結果與實際高程的差位、能大概正確特定目標時量測結果與實際高程的位

差、能正確確認目標的量測者結果之中，去除最大與最小量測結果後，3次的平均值與實際高程之位差。

如圖-4a所示，有的量測者所得到的量測值超過實際高程50m，有的只超過20m。雖然在能正確確認目標的情況下，大體上多半是得到較高的量測值，但最後仍控制在+30m~-20m範圍內（圖-4b）。然後，能正確確認目標的量測者5次量測結果，去除其中最大與最小量測結果之後的3次平均值，在+10m~-5m範圍內；2/3量測者的量測值在±5m以內，顯示出良好的結果。

5. 結論與今後之課題

大規模坡面崩塌導致形成堰塞湖時，須能快速運用數值計算，量測出堰塞湖形狀所可能影響預估災害的程度大小。有人提議使用長距離雷射測距儀進行量測，並進行了實證實驗（驗證測試）。結果顯示，即使原本完全沒有量測經驗的人，只要能正確地確認目標地點，即使從直升機上面，也能得到水平方向20m以內，垂直方向大概5m以內的量測精度。另外，此次參與實證實驗（驗證測試）者並未有運用相同方法量測經驗，因此可以推論，反覆訓練應該可提高測定之精度。

另一方面，這次也實施了已開始溢流的堰塞湖量測。原因是，開始溢流之後，更容易確認堰塞湖開始溢流點，以及形成土塊之下游端等的位置。然而，仍有部分量測者未

能正確確認目標地點，導致量測值與實際高程出現很大的位差。由此可知，若要運用長距離雷射測距儀，高精度地實施堰塞湖形狀量測，重點在於能否正確確認目標地點。也因此，實施能確認正確目標量測地點的訓練非常重要。

另外，緊急調查時也很可能受到各種制約，因此，不必侷限於上述方法，最好能準備更多的量測手法，適度地搭配運用。

參考文獻

- 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) 里深好文、吉野弘祐、水山高久、小川紀一朗、內川龍男、森俊勇：堰塞湖潰決所導致洪水逕流之預測方法相關研究，水工學論文集Vol.51、pp.901~906、2010
- 3) 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造成堰塞湖溢流侵蝕狀況數值模擬，土木技術資料、第52卷、第2號、pp.6~9、2007
- 4) 小山內信智、內田太郎、伊藤英之：運用雷射探查篩選地震時形成堰塞湖的方法，土木技術資料、第49卷、第9號、pp.42~47、2007
- 5) 吉野弘祐、內田太郎、田村圭司、小竹利明：堰塞湖溢流所導致侵蝕與土砂流出之實態：運用雷射探查進行解析、砂防學會誌、Vol.63、No.5、pp.27~35、2010
- 6) 千葉幹、森俊勇、內川龍男、水山高久、里深好文：2006年颱風14號所導致宮崎縣耳川所形成堰塞湖的潰決過程與堰塞湖警戒避難做法相關提案：砂防學會誌、Vol.60、No.1、pp.43~47、2006
- 7) 內田太郎、松岡曉、松本直樹、松田如水、秋山浩一、田村圭司、一戶欣也：堰塞湖溢流侵蝕之實況：宮城縣三迫川沼倉裏沢地區案例：砂防學會誌、Vol.63、No.3、pp.23~29、2009

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（前 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）
Taro UCHIDA

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

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

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・土石流團隊高級研究員
Tadanori ISHIDUKA

小竹利明*****



國土交通省東北地方整備局河川部建設專門官
Toshiaki KOTAKE

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。