

土木研究所資料

堰塞湖監視技術手冊（草案）

2008年12月

獨立行政法人土木研究所
土砂管理研究群組
火山・土石流團隊

Copyright © (2007) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

本報告書取得獨立行政法人土木研究所理事長認可而刊行，因此，非經取得獨立行政法人土木研究所理事長認可之文件，不得全部或部分轉載、複製本報告書。

堰塞湖監視技術手冊（草案）

土砂管理研究群組	火山・土石流團隊	上席研究員	田村 圭司
〃	〃	主任研究員	山越 隆雄
〃	〃	交流研究員	松岡 暁
〃	〃	交流研究員	伊藤 洋輔
〃	〃	前交流研究員	田方 智 ^{*1}
〃	〃	前交流研究員	柳町 年輝 ^{*2}

要 旨

2004 年新潟縣發生中越地震之後，信濃川水系芋川流域形成許多堰塞湖。此外，2008 年岩手・宮城內陸地震，也在栗駒山周邊造成許多堰塞湖。本手冊乃記取過往教訓，檢討現行堰塞湖監視技術缺失彙整而成。

^{*1} 現 職 日本工營（股）

^{*2} 現 職（股）拓和

關建字：堰塞湖 地震 監視

前言

地震與豪雨導致崩塌，有時會因為崩塌土砂阻塞河道而形成堰塞湖。堰塞湖形成後上游淹水會導致上游淹水災害，下游則可能因為堰塞湖潰堤而造成土石流等嚴重危害下游區域民眾的災情。日本這方面早期著名案例有1889年的十津川災害、1953年有田川災害與1984年長野縣西部地震御岳山崩等堰塞湖，最近則有2004年新潟縣中越地震形成芋川流域堰塞湖，以及2008年岩手・宮城內陸地震所形成的栗駒山山麓堰塞湖。

本手冊參考既有文獻「建設省綜合技術開發計劃災害資訊系統開發報告書」第Ⅲ卷第5編 土砂災害重建編（1992年3月）等，並彙整2004年10月23日新潟縣中越地震與2008年6月14日岩手・宮城內陸地震所發生等堰塞湖相關研究與技術發展進度，其中包括目前所能掌握的堰塞湖知識、資料與數據、技術資訊，以及據此建立的實施堰塞湖監視重要技術一覽表。希望本書能有助於建立迅速有效的堰塞湖現場監視系統。

如何解決堰塞湖問題除了上述報告書，也可參考「大規模堰塞湖形成與潰堤相關異常土砂災害應變手冊（草案）」（2005年3月（財團法人，以下「財」）砂防前線整備推進機構），或「堰塞湖形成時的土砂災害應變指南」（國土技術政策綜合研究所製作中（2008年12月））。

最後，本手冊製作過程承蒙負責處理2004年新潟縣中越地震後堰塞湖問題的國土交通省北陸地方整備局、新潟縣土木部砂防課，以及目前還在處理2008年岩手・宮城內陸地震所產生堰塞湖的國土交通省東北地方整備局堰塞湖處理團隊成員提供大量參考資訊與建議，同時也承蒙（財）砂防前線推進機構森俊勇理事長、京都大學大學院農學研究科水山高久教授與長野縣建設部砂防課栗原淳一課長等先進，給予本書廣泛的指導與建議，在此致上最高謝忱。

目次

	頁
1. 本手冊的目的	1
2. 堰塞湖監視	3
2.1 堰塞湖監視的目的與項目	3
2.2 堰塞湖監視體制整備注意要點	8
3. 堰塞湖概況掌握	9
3.1 基礎資料的確認・蒐集	9
3.2 堰塞湖整體狀況的掌握（概況調查）	10
(1) 現地踏勘調查	10
(2) 直升機調查	11
4. 監視・掌握	13
4.1 堰塞湖整體狀況的監視與掌控	13
4.2 淹水區水位監視	16
4.3 掌握流入淹水區的流量	23
(1) 以連續流量觀測掌握流入流量	24
(2) 以定期流量觀測掌握流入流量	24
(3) 以H-V曲線與水位觀測掌握流入流量	25
(4) 以雨量觀測預測流入流量	25
4.4 土砂堆積區監視	27
(1) 溢流侵蝕導致潰決之監視	28
(2) 地滑崩塌或進行性破壞導致潰決的監視	30
4.5 土砂堆積區逕流流出量的掌控	32
4.6 崩塌區與周邊狀況的監視	33
(1) 崩塌前兆現象的掌握	33
(2) 邊坡變位的觀測	33
4.7 土砂堆積區潰決導致發生土石流等的監視	36
(1) 以水位計（超音波式水位計等）進行檢知	36
(2) 以振動檢知式土石流感測器（振動感測器）進行檢知	37
(3) 以監視員或安裝監視器進行監視	38
(4) 以接觸型感測器（鋼索感測器）進行檢知	38
(5) 以雨量觀測預測土石流是否發生	39
5. 選定監視資訊傳送系統	40
(1) 衛星小型畫面傳送裝置（Ku-SAT）	41
(2) 災害對策遙測裝置	43
6. 因應狀況變化而更新觀測機器與資訊傳送系統	45

< 參考文獻 >	46
< 觀測機器與傳送機器相關用語解說 >	47
< 卷末資料 >	49
1. 代表性的監視・觀測機器性能與規格	50
2. 以直升機進行監視	52
3. 直升機搭載簡易雷射測儀實施堰塞湖調查模擬結果	68
4. 潰堤與上游淹沒所需時間的推定方法	71
5. 溢流導致堰塞湖潰決時的洪峰流量推定方法	75
6. 上游流入流量的預測方法	78
7. 地面測量機器性能比較表	83
8. 空投式水位觀測浮筒	84
9. 崩塌檢知感應器	86
10. 崩塌區計測數據管理基準值（參考資料）	87
11. 崩塌邊坡緊急計測方法（RE・MO・TE2）	88
12. 觀測設施登記簿案例（以岩手宮城內陸地震時的案例）	89
13. 監視資訊通訊系統	99
14. 堰塞湖場內監視機器的無線化	105
15. 中越地震所造成堰塞湖監視方法相關訪談結果	106
16. 岩手・宮城內陸震生堰塞湖監視方法相關問卷調查結果	111

1. 本手冊的目的

本手冊旨在彙整實施堰塞湖形成地點監視的注意要點，以協助建立更迅速有效之堰塞湖監視系統，順利實施緊急監視。

「解說」

本手冊的適用範圍

發現堰塞湖之後須實施防止二次災害的緊急概略調查與危險度緊急評估。本手冊詳細說明根據這些調查與評估選定應監視堰塞湖之後的緊急監視方法。

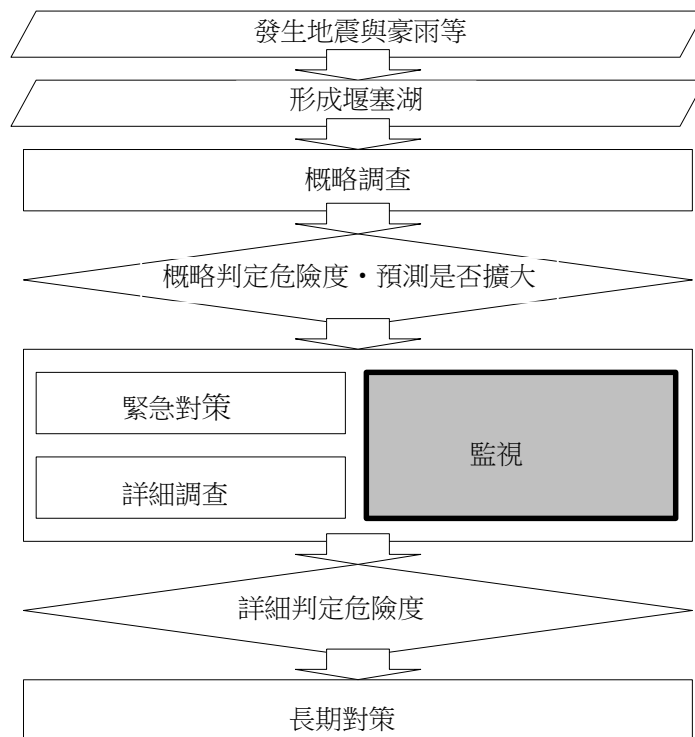


圖 1.1 堰塞湖問題處理流程

此外，若堰塞湖形成後須立刻實施應變措施且無暇進行監視，或堰塞湖規模太小不需監視時，不適用本手冊。

本手冊主要彙整土木研究所員工所實施初期段階堰塞湖監視做法而成，圖 1.1 堰塞湖處理流程「監視」以外的部分，可另外參考國土技術政策綜合研究所「堰塞湖形成時的土砂災害處理方法指南（草案）」。

本手冊概要

本手冊具體解說形成堰塞湖地點的以下相關內容。

- 監視的項目與方法
- 選定監視所需機器
- 建立監視所需資訊通訊系統

另外，本手冊係依據既有文獻「建設省綜合技術開發計劃災害資訊系統開發報告書」第Ⅲ卷第5編 土砂災害重建編(1992年3月) 1)等，並參考2004年10月23日新潟縣中越地震導致形成茅川流域堰塞湖的處理案例，以及2008年6月14日岩手・宮城內陸地震所形成栗駒山周邊堰塞湖處理案例而製作完成。

本手冊將堰塞湖形成區域分為「淹水區」、「土砂堆積區」、「崩塌區」、「周邊區」(參照圖1.2)。另外，周邊區指和淹水區緊隣之坡面。

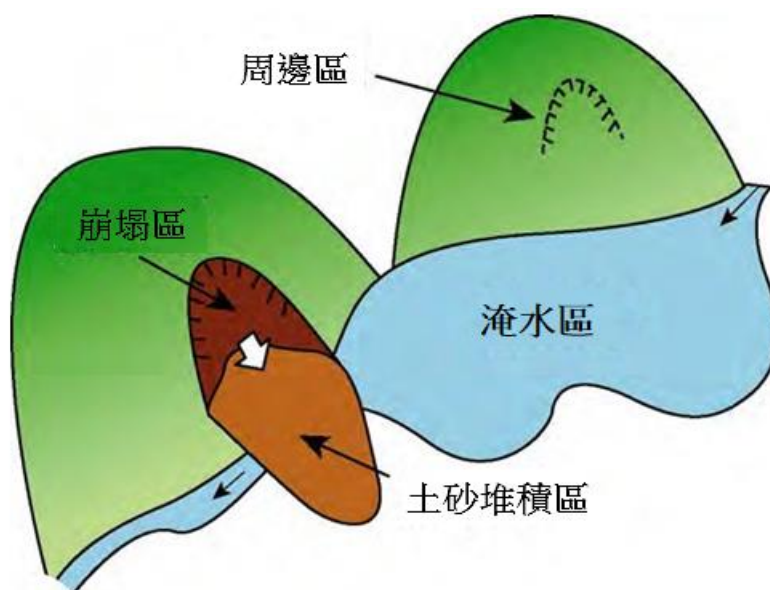


圖 1.2 堰塞湖各部位名稱

2. 堰塞湖監視

2.1 堰塞湖監視的目的與項目

若要事前預測堰塞湖形成後會不會造成二次災害並適當地擬定對策，須實施堰塞湖整體狀況、淹水區水位、往淹水區的流入流量以及土砂堆積區等的監視。

「解說」

河道阻塞後水流貯存上游地區形成淹水區，上游因此淹水造成災情，下游則有淹水區溢流或滲透水逕流導致土砂堆積區侵蝕、潰堤而造成土石流、洪水、崩塌部擴大崩塌等嚴重二次災害之虞。

若要正確評估、掌握二次災害發生危險程度、擬定適當的對策，須針對土砂堆積區、淹水區、崩塌區與土砂堆積區的上、下游實施監視。

監視項目因堰塞湖形成地點與規模而異，常態監視項目如表 2.1 所示。其中，從新潟縣中越地震與岩手・宮城內陸地震所造成堰塞湖的處理經驗，整理出以下 4 個重要項目。

①監視、掌控堰塞湖整體狀況

②監視淹水水位

③掌握往淹水區的流入流量

④監視土砂堆積區

表 2.1 堰塞湖形成後的監視項目與監視方法・觀測機器

	監視目的	監視項目	方法與觀測機器
①	監視・掌控堰塞湖整體狀況	・土砂堆積區、淹水區、崩塌區與周邊區	・目視判讀、直升機、監視攝影機
②	監視淹水區	・淹水水位	・直升機、水位標、地面測量、水壓式水位計、空投式水位觀測浮筒
③	掌握往淹水區的流入流量	・流量 ・淹水水位 ・雨量	・流速計、浮標、監視攝影機 ・直升機、水位標、地面測量、水壓式水位計、空投式水位觀測浮筒 ・雨量計
④	監視土砂堆積區	・侵蝕速度 ・異狀	・目視判讀、直升機、監視攝影機 ・簡易雷射儀、地面雷射掃描、全站儀 ・崩塌檢知感測器
⑤	掌握土砂堆積區的逕流流出量	・流量	・流速計、浮標、監視攝影機 ・水位標、水位計
⑥	監視崩塌區與周邊狀況	・崩塌前兆現象 ・邊坡變位	・目視判讀 ・地表伸縮計、崩塌檢知感測器、簡易變位板、移動樁、GPS 測量、地面測量
⑦	監視土砂堆積區潰決所可能導致的土石流等	・土石流等的發生	・水位計、振動感測器、目視判讀、監視攝影機、鋼索檢知器 ・雨量計

：重要項目

堰塞湖形成後的監視流程如圖 2.1 所示。堰塞湖監視與觀測機器配置等的示意圖，如圖 2.2 所示。此外，本手冊所說明監視與觀測機器選定條件綜合整理，如表 2.2 所示。

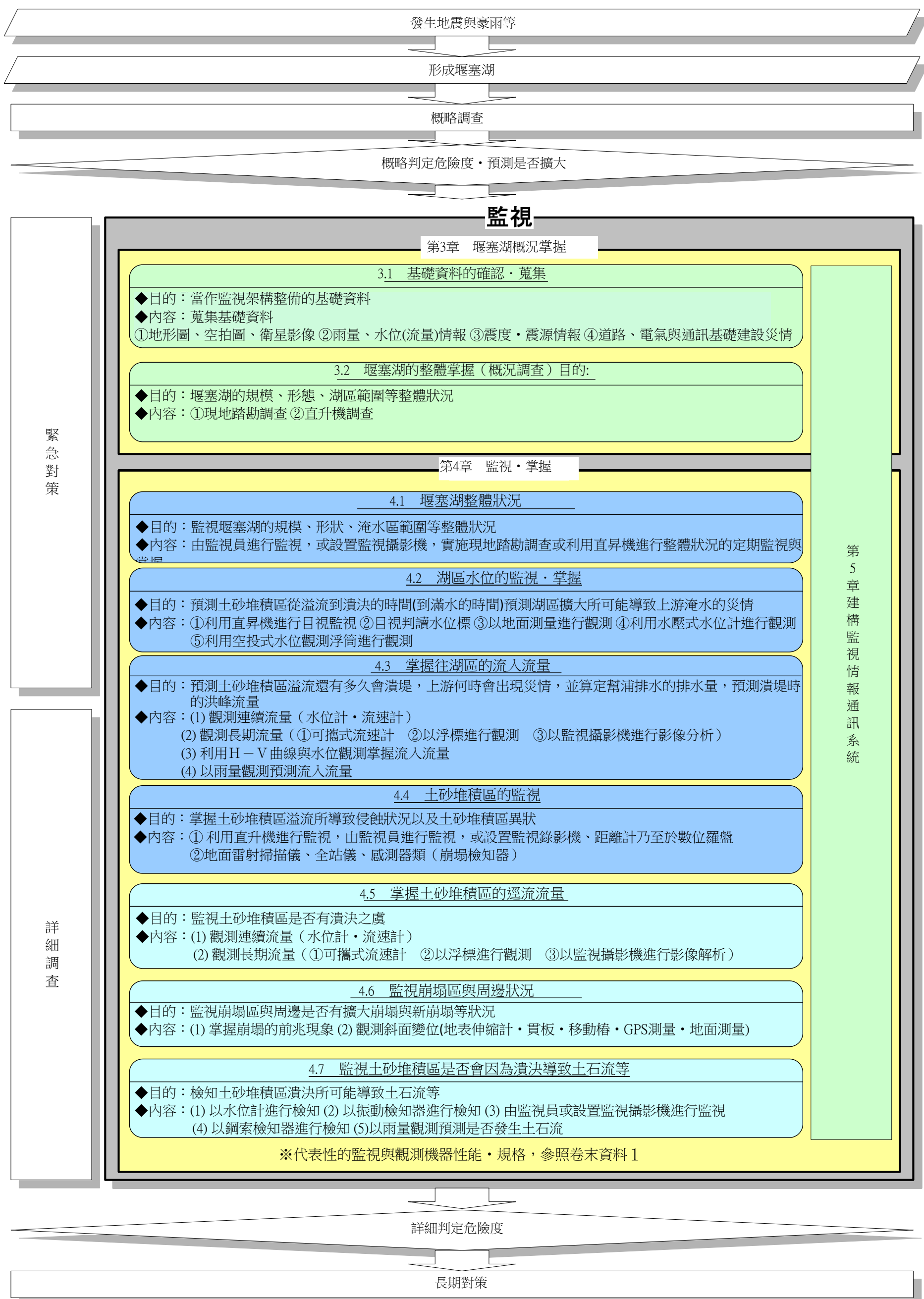


圖 2.1 堰塞湖形成後的監視流程
（注：無著色部分不列入本手冊處理範圍）

圖 2-2 堰塞湖監視整體示意圖



表 2.2 堰塞湖監視・觀測機器選定條件

●觀測機器															●訊息傳送機器									
監視內容		整體狀況	水位				降雨量	流速		侵蝕量			移動量		崩塌檢知	土石流發生檢知		通訊方式						
監視機器		監視錄影機 (市售的錄影機等)	目視 水位標	以測量機 器進行 計測	空投式水 位觀測浮 筒	水壓式水 位計	傾斗型雨 量計	浮標	可攜式簡 易流速計	距離計(簡 易雷射儀)	地面測量機器 全站儀(無 稜鏡)3D雷射		地面測量	伸縮計	崩塌檢知 感測器	振動檢知 器等	手機	衛星通訊系統		地面無線通訊系統				
監視的目的	①淹水區水位	○	○	○	○	○												衛星電話	衛星小型畫 面傳送裝置 Ku-SAT	國土交通省 移動通訊系 統 K-COSMOS	災害對策用遙 測裝置			
	②往淹水區的流入流量	○	○	○	○	○	○	○																
	③土砂堆積區	○								○	○	○												
	④從土砂堆積區的逕流 流出量	○	○	○	○	○		○	○															
	⑤崩塌區與周邊狀況	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○										
	⑥發生土石流等	○													○									
設置運用・環境條件	可攜式(只能人力攜帶)	○	○	○	(直升機搬運)	○	○	○	○	○	○	14~18kg	○	○	○	○	人力可搬運否	○ (10kg)	○ (10kg)	△ (約100kg,可 複數分割)	○ (數kg)	△ (約70kg,可 複數分割)		
	迅速性(觀測機制整備 時間)	○	○	※2 △	○	※2 △	※2 △	○	※2 △	○	※2 △	※2 △	※2 △	※2 △	※2 △	※2 △	迅速性	○	○	○	○	※7 ○		
	無人自動連續觀測	○	×	×	○	○	○	×	×	×	×	△ 軟體開發	×	○	○	○	電源(電池、 太陽能電池)	○ 待機:5000小 時,通話200 分鐘左右	○ 使用靜止衛星 時,通話時間 約120分鐘;使 用低軌道周回 衛星時,通訊 專用的約3個月	×	需發動發電機(補給一次燃料 標準可使用時 間為4~8小時左 右,長時間型的 為72小時)	○	蓄電池可使用2 週	
	電源(運用可人力攜帶 之電池或太陽能電池)	※1 △	- 不需要	○	○	○	○	- 不需要	○	○	○	※1 △	※1 △	○	○	○								○
	夜間	×	×	×	○	○	○	×	○	×	×	○	×	○	○	○								
	大雨・霧	△ 視線清楚 即可	△ 視線清楚 即可	△ 視線清楚 即可	○	○	○	△ 視線清楚 即可	○		×	×	×	○	○	○								
資訊傳達路線之適應性	手機	※3 △	※4 ○	※4 ○	○	※6 △	※6 △	※4 ○	※4 ○	※4 ○	※4 ○	※6 ○	※4 ○	※6 ○	※6※8 ○	※6※8 ○	大雨・霧	○	△ 有時大雨會出 現不穩定狀況	△ 有時大雨會出 現不穩定狀況	○	○		
	衛星電話	※3 △	※4 ○	※4 ○	○	※6 △	※6 △	※4 ○	※4 ○	※4 ○	※4 ○	※6 ○	※4 ○	※6 ○	※6※8 ○	※6※8 ○	災害時通訊 可靠性	×	(視災害規模 與狀況而定)	○	○	○		
	衛星小型畫面傳送裝置 Ku-SAT	○	○	※4 ○	※9 ○	※6 △	※6 △	※4 ○	※4 ○	※4 ○	※4 ○	※6 ○	※4 ○	※6 ○	※6※8 ○	※6※8 ○	數據傳送 容量	使用3G手機: 高速通訊地 區:最大 384kbps通常 地區:64kbps	往下最大64kbps 往上4.8 kbps	影像傳送64kbps 數據傳送16kbps	電話回線數據 通訊	約數百bps(水位 計數據等最大2 量)		
	國土交通省移動通訊系 統 K-COSMOS	×	※5 ○	※5 ○	※9 ○	※5 △	※5 △	※5 ○	※5 ○	※5 ○	※5 ○	×	○	※5 ○	※5 ○	※5 ○								
	災害對策用遙測裝置	×	×	×	※9 ○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	備註	災害時通訊 可靠性低	不同的靜止衛 星、周回衛星 ，有的需要調 整天線，有的 不必	需運送車與發 電機	只限能通訊的 區域	數據傳送量少 到BCD訊號輸入 2量，雨量輸入 1量為止	
	備註		須安排24 小時有人 值班	人無法靠 近的地方 也能計測	具有優異 的迅速性 與安全性	注意避免 被土砂埋 沒	不適合豪 雪地帶冬 季的監視	大約每日 計測一次 ，需人手	計測範圍 直到測桿 凸出位置 為止	若要每個 點都計測 ，精度會 變差	每個點都 計測		需要人手	不適合豪 雪地帶冬 季監視	不適合豪 雪地帶冬 季監視	不適合豪 雪地帶冬 季監視								

※1 機器可運用時間會因為觀測頻率及所準備電池容量而改變。(一般連續使用案例: ○錄影機: 專用大容量電池可使用5小時左右, ○全站儀: 內藏電池約可使用半天, ○3 D掃描器: 專用電池可使用數小時)

※2 有時需耗時間架設觀測機器

※3 利用PC等, 傳送靜止畫面

※4 使用電話機能口頭傳遞訊息, 或利用PC等進行數據通訊

※5 使用電話機能口頭傳遞訊息

※6 連結數據記錄器・PC・數據機等, 進行數據通訊

※7 實施緊急對策, 利用簡易的桿子或管子, 架設天線。

※8 有時會因為系統構造導致檢知之後遲遲無法完成訊息傳送的工作時間。

※9 浮筒內設計特定小電力無線裝置, 可以在收到無線電之後變換訊號

2.2 堰塞湖監視體制整備注意要點

掌握基礎資料與概況調查結果，就可評估機材準備狀況、現地電力・通訊與交通基礎建設破損狀況，建立具有可行性的堰塞湖監視體制。實施監視之際，應儘可能運用各種方法，確保數據可靠性。

「解說」

(1) 監視體制的建立

建立監視體制需一定的時間，慢慢準備就能建立具有高精度監視能力的體制，重點是針對能整備監視體制的期間^{*}、機材準備狀況、現地電力・通訊基礎設施破損狀況、其他機關的對策・監視體制及以往的現地道路交通狀況等，建立具有可行性的監視體制。個別監視項目中的監視方法與如何選定機器，參照第4章。

本手冊所謂的監視體制，因僅是緊急應變性質，在此情況下個別監視方法所達成的監視數據可靠性，難免會比平常時低。因此，最好考量所監視標的堰塞湖的重要性，盡量不要只單一的監視方法與單一的通訊手段，而應建立多重的監視體制。

比如，重要監視項目之一的流入流量，不應只直接計測流入河川的流量，而須也根據淹水區水位計測結果，算出單位時間內水位增加狀況，從而算出流入流量。同時用兩種方法來計算流入流量非常重要。此外，實施水位計測，即使能設置並已架設可連續自動計測之水位計，最好還是同時實施水位標目視監視。

(2) 修正監視體制

配合堰塞湖狀況及保全標的之狀況乃至於氣象條件變化，隨時調整監視體制。此外，若需長期實施監視，建立持續性監視體制的注意要點，參照第6章。

※能完成監視體制整備期間的決定

監視體制整備工作至少須在標的堰塞湖潰堤、或上游房屋淹水之前完成。雖然監視體制整備工作最重要的是迅速完成，但若能推定到滿水位或淹水為止還有多少時間，仍能有一段時間可用來改善監視方法，隨時修正監視體制。

首先應根據概況調查結果等，掌握堰塞湖各種內容與項目，乃至於周邊保全標的之位置等，然後依據堰塞湖地點周邊的大比例尺圖面，算出滿水位與堰塞湖上游區域可能造成淹水災害的淹水水位，以及上述二者之中較低水位之容量（V）。

可從水位上升速度等的現地調查，推定來自上游流入流量時，把這部分當作流入流量（ Q_{in} ），然後根據 V/Q_{in} 推測到達滿水或淹水的時間（參照卷末資料4），就能決定還有多少時間可用來建立監視體制。

此外，若無法根據現地調查進行推定，可運用附近觀測所的流量觀測資料與數據（最近10年內左右），整理單位面積月別平均日流量，乘以堰塞湖上游流域面積，概略推定堰塞湖形成時期往淹水區的流入流量（ Q_{in} ）。

3. 堰塞湖概況掌握

3.1 基礎資料的確認・蒐集

建立監視體制須有可參考之基礎資料，因此得先蒐集地形圖、流域空拍・衛星影像、雨量・水位（流量）觀測所等的情報，並予以確認。

「解說」

若有地震與豪雨導致形成堰塞湖的報告，為了避免二次災害，應緊急實施大廣域概略調查與危險度概略判定。這類調查與判定所篩選出來應予以監視的堰塞湖地點，須立刻確認堰塞湖形成位置與需保全標的分布狀況，儘速掌握流域狀況（流域規模、流路平面・縱斷面狀況、砂防施設設置狀況等）與預期的迴水範圍，才能建立監視體制。

又，隨著邊坡崩塌擴大與淹水區水位上升・潰決，災情有擴大之虞時，需掌握流域雨量狀況與往淹水區的流入流量。此外，也須掌握可能引發更大災情的餘震等地震資訊。

因此，需確認並蒐集如下的資料與資訊。

- 大比例尺地形圖（1/1,000～1/5,000）
- 大區域地形圖（1/10,000～1/25,000）
- 縱斷圖（直到迴水區域上游端～保全標的為止）
- 橫斷圖（包含淹水區、土砂堆積區、保全標的周邊、其他水流區間可能出現災情的地點（橋梁等））
- 流域空拍或衛星影像（堰塞湖形成後）
- 流域的雨量、河川水位（流量）報告
- 震度、震源相關資訊
- 道路、電氣、通訊基礎建設災情

另外，進行概略調查也應某種程度確認・蒐集這些基礎資料。比如，發生大型天災時，日本國土地理院都會緊急提供空拍圖與衛星圖面，可加以運用，再度確認監視堰塞湖所需資料，進一步蒐集尚不足的部分。

3.2 堰塞湖整體狀況的掌握（概況調查）

為了掌握堰塞湖規模、形態、淹水區範圍等堰塞湖整體狀況，應實施現地踏勘調查、直升機空拍、監視攝影機調查等。這些調查結果便是建立監視體制的基礎資料。

「解說」

進行大範圍概略調查時，應某種程度掌握堰塞湖的規模、形態、範圍等概況，若需進行監視，應確認下列項目，必要時實施再度調查。調查方法則有現地踏勘調查、直升機調查法。

- 崩塌區：崩塌地是否還會擴大、地質、長度、寬度、發生源面積、地形高低差
推測最大崩塌深度、推定移動土塊量、崩塌地的坡度
- 土砂堆積區：堰塞湖的高度・長度・寬度・上下游堤體坡度
構成材料的透水係數・粒徑分布、溢流河川寬度、溢流流量
堤體侵蝕地點與形狀、堤體土砂的侵蝕狀況
堰塞湖形成前的原來河床坡度
- 淹水區：往堰塞湖淹水區流入的流量、
堰塞湖淹水區的水位、淹水區狀況
到滿水為止的地形高差・淹水區容量、堰塞湖上游流域面積
- 周邊部：堰塞湖淹水區周邊坡面崩塌等

上述調查項目有些須進行定性調查，所取得的資訊將成為接下來實施監視的重要基礎資訊。此外，有可能成為設置監視機器制約條件的事項，需事先予以確認。

表 3.2 係填寫堰塞湖整體調查結果格式案例。

（1）現地踏勘調查

概況調查旨在利用目視、攝影、錄影、簡易電射、GPS 等方法，從判斷沒有二次災害危險的地點，掌握堰塞湖整體（主要是土砂堆積區・淹水區・崩塌區）狀況。可以的話，應設置臨時水位標。此外，應事先確認是否有可設置觀測機器的地點，以及能否設置人工構造物（護岸、橋梁等）、確保電源的方法、如何前往現場等等。

調查時應攜帶手機（最好攜帶複數品牌）・K-COSMOS・衛星電話等通訊器材，確認通訊狀況良好。此外，在能通訊的前提下，必要時應即時傳送資訊與影像到防災辦公室。

(2) 直升機調查

利用直升機調查流域整體狀況，可掌握土砂堆積區的位置、規模、形態、崩塌危險性，淹水區的大小、流入狀況，崩塌區的規模、擴大崩塌危險性，以及保全標的位置等資訊。

但若夜間或氣候惡劣難以進行直升機調查，就只能進行有限的地面調查。直升機空拍調查作業要領與詳細做法，可參照表 3.1 與卷末資料 2・3。

表 3.1 直升機調查重點

調查項目	調查（攝影與判視）重點	資訊內容	
		實態	變動
①位置	利用GPS所取得的緯度經度資訊，在地形圖上確認位置	○	
②高度	針對整個堰塞湖進行拍照，利用攝影影像在地形圖上畫出堰塞湖狀況，計測其高度、長與寬。 於直升機上利用簡易雷射測距儀，進行高度、長與寬等計測※	○	
③長		○	
④寬		○	
⑤上下游堤體坡度		○	
⑥水流流入量	空投浮木然後拍照，利用錄影影像計算其流速與河寬		○
⑦堰塞湖水位（變化）	針對相同地點實施複數空拍，比較前後影像內容的差異		○
⑧ 構成材料的透水係數	實施堰塞湖圖像放大攝影，依據錄影影像進行推定	○	
⑨構成材料的粒徑		○	
⑩周邊的地形與人家之分佈狀況	依據所拍攝影像掌握整體狀況。	○	
⑪建築物與設施等的災情	針對災區實施影像放大攝影	○	

※參照卷末資料 3

局部修改「建設省綜合技術開發計劃災害報告系統開發報告書(1992年3月)」¹⁾

另一方面，若堰塞湖範圍太大或地面視野不佳等狀況，導致難以整體定量掌握堰塞湖的規模、形狀與淹水區範圍時，可實施「航空雷射測量」。航空雷射測量能取得3次元數據，特別是依據堰塞湖形成後航空雷射測量所製作的地形圖精度很高，能有效掌握淹水區滿水位時的容量。另外，航空雷射測量相對而言較容易反覆實施，且能直接將計測結果數位化，能有效掌握土砂堆積區與崩塌區的變位狀況。但須注意，航空雷射測量調查完成後無法立刻運用其數據，因為還得花點時間進行數位化。

另外，夜間直升機難以出任務時，也可考慮使用UAV（Unmanned Aerial Vehicle，無人機）。

表 3.2 堰塞湖調查格式（案例）

調查表作成日時； 年 月 日 時 分※
調查者；（單位或團體） 姓名

①形成地區名	都道府縣	市郡區	區町村
②河川名	水系	川	
③圖面名	(1/25,000)		
④堰塞湖位置	緯度	經度	
⑤堰塞湖形成日時	年 月 日 時 分（頃）		
⑥形成堰塞湖的直接誘因	地震・火山噴火・豪雨・融雪・其他（ （地震情報；震度・與震央的距離・是否會有餘震） （豪雨的原因；颱風・熱帶低氣壓・雷雨・其他（ ））		
⑦土砂移動形態	土石流・地滑・崩塌・其他（ ）		
⑧調查方法	地面・空中；目視・測量・攝影・VTR・其他		
⑨形成地區概況 （地形・地質特性）			
⑩崩塌區的狀況	地 質：		
	寬 度：	最大寬度	平均寬度（m）
	長 度：	最大長度	平均長度（m）
	發 生 源 面 積：	（m ² ）	
	高 差：	（m）	
	推定最大崩塌深度：	（m）	
	推定移動土塊量：	（m ³ ）	
	崩 塌 地 的 坡 度：	（°）	
⑪土砂堆積區的狀況	堰 塞 湖 的 高 度（H）：（m）		
	堰 塞 湖 的 長 度（L）：頂端長度L1 底部長度L2（m）		
	堰 塞 湖 的 寬 度（B）：（m）		
	上下游堤體坡度（n）：上游堤體坡度（n ₁ ） 下游堤體坡度（n ₂ ）		
	堰塞湖推定土塊量（V）：（m ³ ）		
	堰塞湖構成材料的透水係數（K）：*（m/s）		
	堰塞湖構成材料的粒徑分布：*		
	溢流河川寬度、溢流流量：☆（m）（m ³ /sec）		
	堤 體 侵 蝕 地 點 與 形 狀：☆如略圖所示		
	堤 體 土 砂 的 侵 蝕 狀 況：☆		
	堰塞湖形成前原來河床的坡降（θ）：（°）		
⑫湖區的狀況	堰塞湖湖區的流入流量（Q _{in} ）：（m ³ /sec）		
	堰 塞 湖 水 位：如略圖所示		
	堰 塞 湖 湖 區 狀 況：如略圖所示		
	到達滿水為止的高差・容量：如略圖所示 高差（h ₁ -h ₃ ）=（m）、容量=（m ³ ）		
	堰塞湖上游流域面積（A）：（km ² ）		
⑬預測堰塞湖開始溢流的時刻 （滿水位的容量）÷（流入流量）		時間 分後 （ 日 時 分 左右）	
⑭預測堰塞湖開始往上游淹水的時刻 （到往上游淹水的容量）÷（流入流量）		時間 分後 （ 日 時 分 左右）	
⑮堰塞湖周邊地形、民宅等的分佈		如 略圖所示	
⑯人員傷亡・建築物・設施等受災狀況		配合時間前後，在圖表中標示出來	
⑰接下來的雨量、流量等情報			
⑱其他			

※： 從堰塞湖形成之後每小時製作一張。
*： 有資料就填入圖表之中。
☆： 土砂堆積區開始產生溢流流時，立刻註記。
粗線： 應以現地踏勘調查或直升機調查確認之項目。

⑲略圖・照片（直升機空拍照片，為方便判讀，同時提供磁片等實體照片。）

•左右岸高度（H）不同時，左岸高度為（H左）、右岸高度為（H右）。
•堰塞湖形狀手繪、要素與細項之定義

⑳後續處理工作（掌握應實施監視的地點，了解現地是否有制約條件，以及崩塌狀況是否會擴大等）

4. 監視・掌握

4.1 堰塞湖整體狀況的監視・掌控

為了監視堰塞湖的規模、形狀與淹水區範圍等堰塞湖整體狀況，應以監視員或監視攝影機實施連續監視。另外，也應以現地踏勘調查、利用直升機定期監視、掌握堰塞湖整體狀況。

「解說」

為了連續監視堰塞湖的規模、形狀與淹水區範圍等，應配置監視員或設置監視攝影機。實施監視員人員配置，須注意安全管理。此外，長期實施監視，最好設置監視攝影機。若堰塞湖規模太大，無法從監視站或設置監視攝影機地點看到整個堰塞湖，或者無法設置監視錄影機，應依 3.2 節所述實施現地踏勘調查，或利用直升機進行調查，持續性地監視、掌握整體狀況。

此外，以監視攝影機等所取得的監視成果，比如水位計顯示出異常值時，也可確認現場狀況（「水面產生波浪」等）與觀測機器設置狀況（「水位感測器因為某種原因破損」等）等地，扮演掌握觀測機器數據與現地狀況之對應措施的輔助角色。

監視攝影機主要是監視、掌握以下事項（P7 表 2.2）。

- ① 淹水區水位
- ② 往淹水區的流入流量
- ③ 土砂堆積區異狀
- ④ 土砂堆積區逕流流出量
- ⑤ 崩塌區域與周邊區域異狀
- ⑥ 是否有發生土石流

新潟縣中越地震（2004年）形成堰塞湖後約一周設置監視攝影機，能連續性地監視土砂堆積區及周邊區域。

【以直升機進行監視的注意要點】

堰塞湖規模大而無法用監視攝影機等一眼看遍整個堰塞湖時，以直升機進行監視相當有效。堰塞湖直升機調查主要是晴天持續定期監視，以及降雨或地震（餘震）後監視地形是否變化。以下是利用直升機執行監視任務的主要項目。若監視調查確認土砂堆積區等出現變化，就可標示地點，實施拍照。直升機空拍監視詳細做法，參照卷末資料 2。

<晴天連續時>

- 土砂堆積區下游水的顏色
 - 斷續地確認顏色是否和上游不一樣
- 土砂堆積區上游淹水狀況
 - 先設定目標物，然後確認其變化狀況
 - 儘可能同一個地點拍照，就能從照片上看出變化
(地圖與容量數據完成後，儘可能實施定量評估)
- 確認土砂堆積區是否有漏水或產生新的水路・流路
 - 確認和上次拍照內容相比，是否有變化(調查員換人時，比較照片即可)
- 坡面是否有大規模龜裂或滑移
- 坡面是否有漏水或積水

<雨天之後、地震(餘震)後> 應追加空拍的事項

- 確認周邊是否有進一步形成大型堰塞湖
- 確認崩落地點的坡腳是否有淘刷情況

【以監視攝影機進行監視的注意要點】

第一次進行現場觀測，不妨立刻用隨身攜帶的相機迅速拍攝現地狀況，實施影像監視。

電池可提供數小時電源，但實施連續監視就得定期更換電池，因此最好準備發動發電機。發電機所需燃料補給，也應建立燃料補給體制。

攝影機應盡可能固定一個角度，比較能清楚了解所拍攝標的物之變化。可以的話，最好事先設置水位標等，以便讀取水位。

設置攝影器材須注意防雨與防塵。若須進行夜間監視，得搭配設置照明器材，使用高感度攝影機。照明器材需有發動發電機提供電源。冬季實施監測時，須注意器材是否耐寒。

拍攝完成的影像可利用 Ku-SAT 即時傳送到有關單位，機材還沒抵達現場，可先利用手機或衛星電話、PC等，將畫面傳送出去。

若堰塞湖狀況須實施長期監視，最好架設定置型監視攝影機。此時需搭配更新資訊通訊系統，配備商用電源(參照第6章)。



圖 4.1 監視攝影機與 Ku-SAT

●堰塞湖的淹水區監視



→
x日後



●堰塞湖下游側流路監視



→
x日後



圖 4.2 以監視攝影機進行影像監視

事先對好畫面角度，較容易掌握變化的情況。

【資訊聯絡方法】

需事先確保現地與遠方保全標的地域以及災害對策本部等之間的聯絡方法。初期聯絡可使用手機、衛星電話，等到 Ku-SAT 搬入，可同時使用這種通話機能，事先備妥聯絡方法的冗餘度。

4.2 淹水區水位監視

若要預測土砂堆積區溢流導致潰決所需時間（到達滿水位的時間），預測湖區擴大可能導致上游區域淹水災害，都必須監視淹水區水位。

「解說」

河道封閉後上游造成會形成淹水區。淹水區水位上升可能會因為土砂堆積區溢流造成潰堤，或者淹水區上游造成淹水災害。若要掌握淹水區水深、淹水區到土砂堆積區頂端的高差以及上游淹水範圍，都必須監視淹水區水位及其變動狀況。

淹水區水位可能不分日夜持續上升，須 24 小時監視，基本上觀測間隔為 1 小時，但也可配合水位變動狀態彈性調整。若無法接近危險的淹水區，可利用直升機進行目視監視。

根據所觀測到的淹水區水位推定到達潰決以及上游出現淹水災情所需時間的方法，參照卷末資料 4。

【淹水區水位觀測方法的選定】

監視淹水區水位的方法，主要有直升機目視觀測、空投型水位觀測浮筒自動觀測、設置水位標的地面目視觀測、以測量機器觀測基準面與水面之高差、利用水壓式水位計實施自動觀測等。

若難以由地面接近淹水區，或發生二次災害危險性高，初期觀測淹水區水位可利用直升機進行目視。此外，空投型水位觀測浮筒只需直升機空投，能安全且迅速地完成設置工作，是相當有效的淹水區水位觀測方法。

若能由地面進入淹水區，可設置水位標實施目視觀測，但若斷崖陡峭等阻隔而無法進入淹水區附近，可利用測量機器，從遠處觀測水位變化。不論使用哪種觀測方法，都得充分注意、避免餘震等所導致的邊坡崩塌或土砂堆積區潰決產生的土石流，危及作業員生命。

到潰決還有一段時間，且能準備並搬運機材進入現場時，可設置水壓式水位計或非接觸式水位計，實施水位自動觀測。此外，開始自動觀測之後仍須利用水位標等持續實施目視觀測，以確認自動觀測機器的精度。

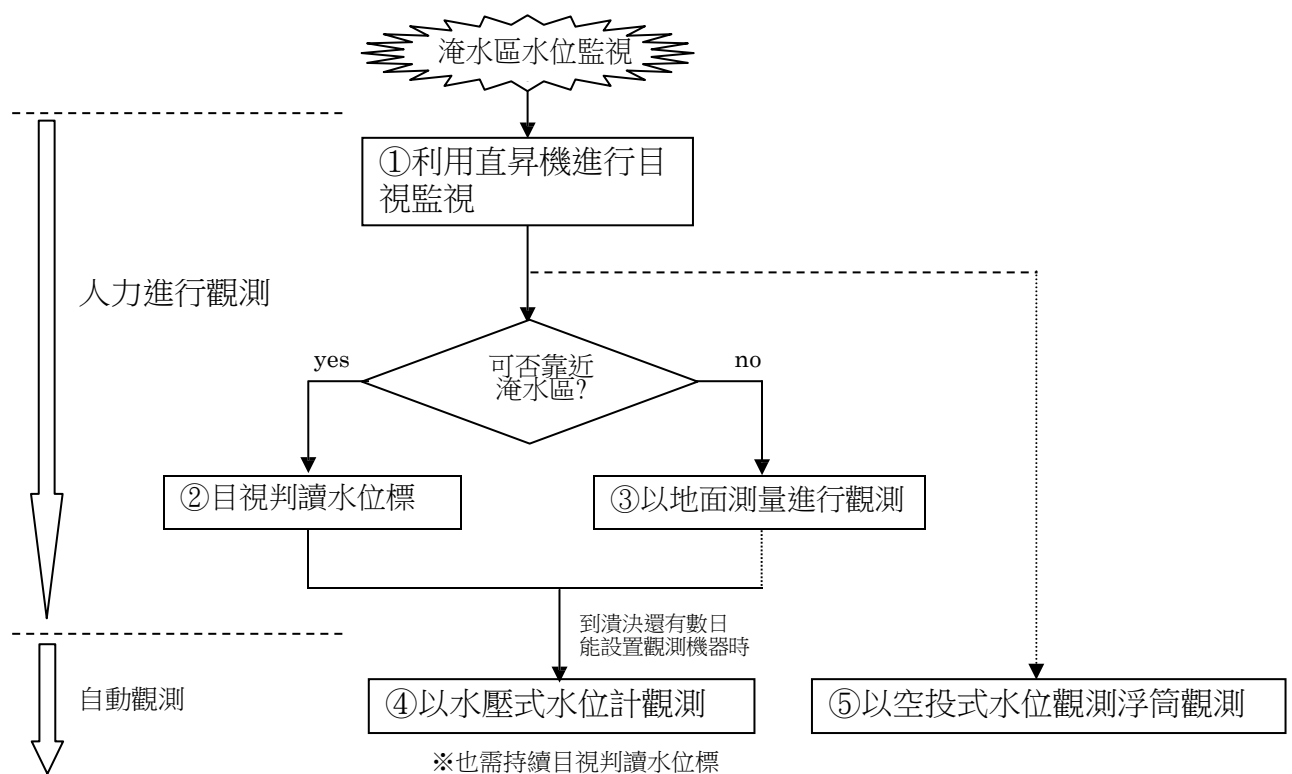


圖 4.3 水位觀測方法流程

①利用直升機進行目視監視

堰塞湖形成後，若初期觀測時間有限，且很快就潰堤、難以從地面接近淹水區，可用直升機目視的方法觀測淹水區水位。監視水位最好參考淹水區周邊人工構造物等，定量判讀水位上升狀況。此外，判讀時須進行相同位置與構圖的攝影，以便下次判讀時能比較水位的高低。

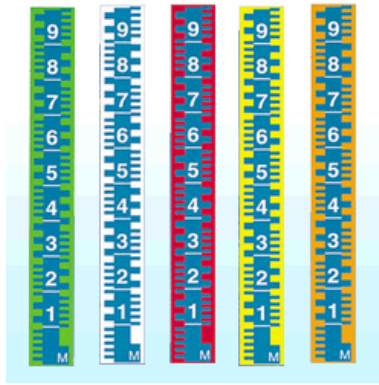
②水位標的目視判讀

堰塞湖潰決迫在眉梢時，多半來不及準備水位計與 Ku-SAT。此時可在須測定範圍內設置幾個水位標（河川用量水板或測量用量尺），定期實施水位目視觀測。此外，無法靠近水面附近時可投擲空投式水位標（可用目視浮筒算出水位），進行目視觀測。

緊急時須不分晝夜觀測，應建立夜間連續觀測的人員體制、配備照明器材等對應措施。

另外，在能確保監視攝影機功能時可加以應用，也可在能避免二次災害的安全地點設置監視器進行監視。之後各種通訊與量測機器搬入，就改用水位計與 Ku-SAT 實施自動連續觀測，建立遠端監視體制。

但即使已開始實施自動連續觀測，仍須維持能以目視或攝影機確認水位標的觀測（主要是為了出現觀測數據異常值時，可比較、確認）。



河川用量水板

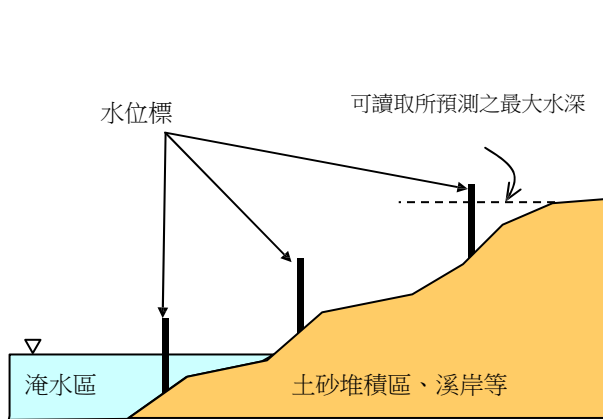
一般用來測量河川水位，
容易目視判讀。



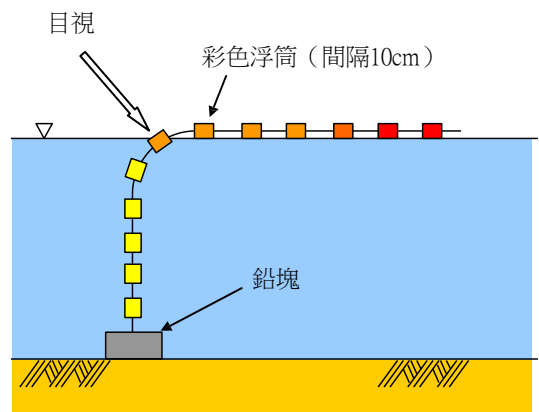
測量用鋁質量尺

容易購得，可用來測量，
數字與刻度較小。

圖 4.4 常用水位標種類



河川用量水板、測量用量尺
(水位標打入土砂堆積區等狀況時)



空投式水位標
(斷崖、土砂崩塌而無法靠近水邊時)

圖 4.5 水位標的目視判讀



圖 4.6 設置水位標案例

③以地面測量進行觀測

若因為無法靠近淹水區等原因而無法設置水位標，可利用測量機器進行遠距水位變化觀測。使用能量測斜距離與高度角（一般為免稜鏡型，測距距離2000m），量出基準地點與水面之高差，算出水位。此時應事先設定基準地點的海拔（或任意高度）。夜間則用照明機器照射目標水面，進行觀測。

此外，實施這種計測有條件限制，那就是須能清楚看到湖面與溪岸的接觸地點，因此得特別注意觀測地點的現場狀況（會不會發生二次災害等危險性）。

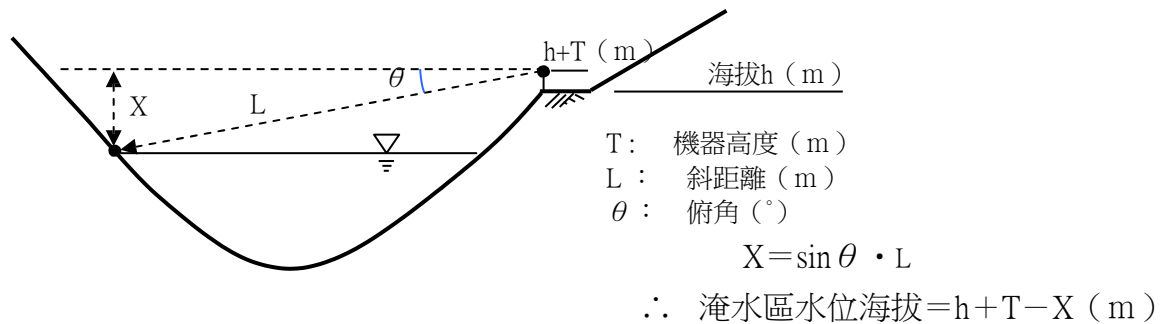


圖 4.7 算定淹水區水位海拔度概念圖

④以水壓式水位計進行觀測

人力實施水位觀測非常耗費人力，若到潰決還有幾天時間、來得及準備觀測機器，最好設置水壓式水位計等，進行自動觀測。

自動觀測機器須設在背後坡面較少土砂流入、溪岸穩定的地盤，並用錨樁等固定。若地盤鬆軟，也可打設臨時樁或放置鉛塊。另外，感測器不可太淺，否則水位降低時感測器變成在水面上，就無法進行計測。但放得太深，也可能被土砂淹沒而感受不到水壓。深淺得適度調整，才能穩定地實施觀測。

除了水位計，最好同時設置 Ku-SAT 與災害遙測裝置，自動傳送觀測數據。地震所導致的堰塞湖，設置水位計之後可能發生餘震導致感測器走位，因此若餘震發生前後出現水位數據不連續等狀況，需予以校正。另外，設置水位標時，最好事先做好可確保數據精度的相關措施。

土砂大量流入、難以設置並運用水壓式水位計的地點，且湖面上有橋樑等的地點，可使用非接觸型水位計（超音波式・電波式・光波式），可避免水位計被土砂淹沒，或遭流下物體衝撞而破損。

<到能開始進行水位自動觀測的所需日數>

以水位計實施自動觀測越快越好，但機器購置以及現場建置需要時間，大部分情況是土砂災害發生後得花好幾天到幾週才能建置完成。此外，有時觀測機器與傳送機器介面難以整合，也會拖延時間。2008年岩手・宮城內陸地震後出現15個堰塞湖，當時的自動觀測機器最快5日，最慢3週完成建置。

因此，為了儘早實現水位自動監視，須事前準備機器，減少購置觀測機器所需日數，實現並利用直升機，減少搬運與建置所需日數。

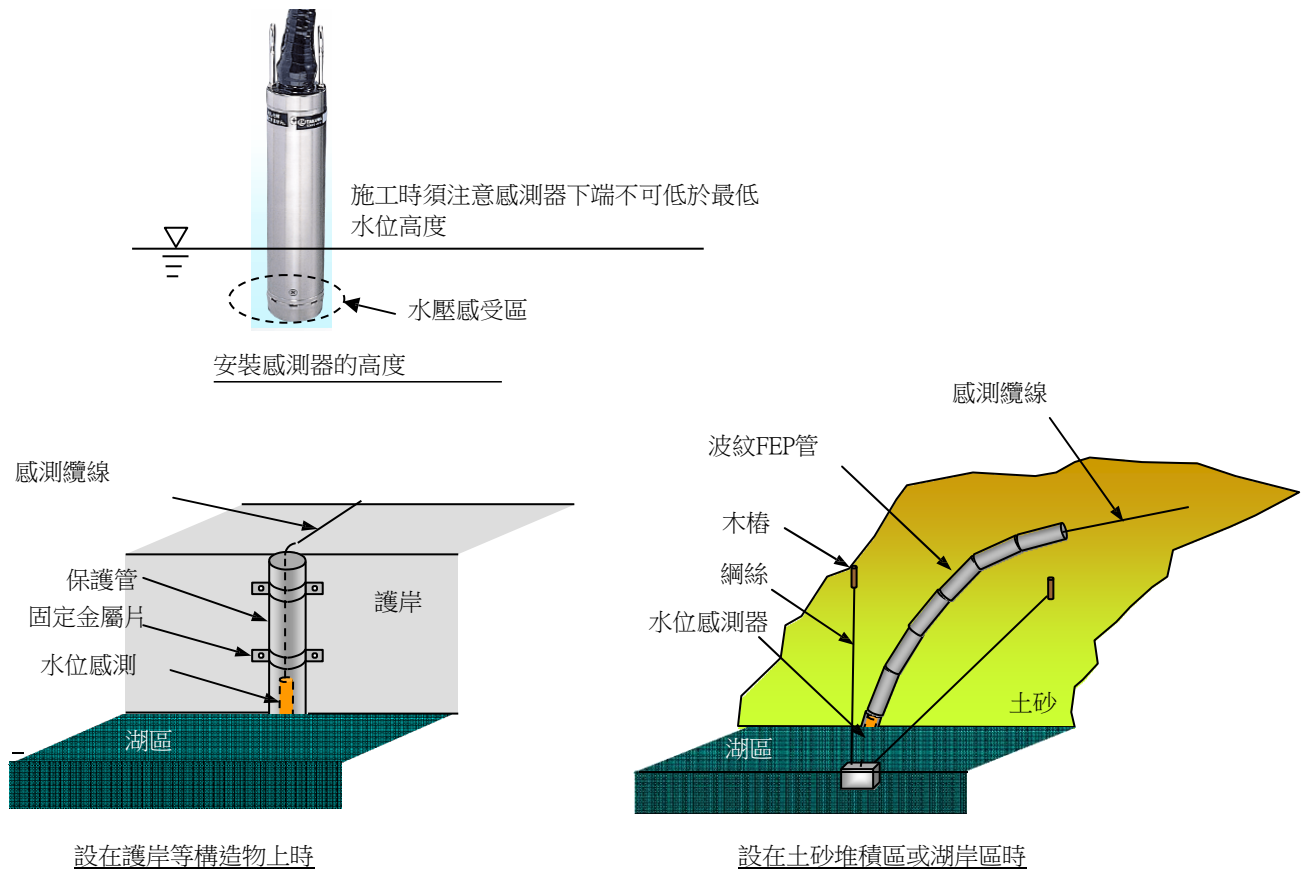


圖 4.8 水壓式水位計設置概念圖



圖 4.9 水壓式水位計設置案例

配備鋼絲與重錘的感測器由上方吊掛垂下湖中
感測纜線用波紋FEP管保護。
(2008年岩手・宮城內陸地震導致磐井川與市野野原地區形成堰塞湖淹水區水深監測案例)

⑤以空投式水位觀測浮筒進行觀測

堰塞湖形成後若須迅速且安全地實施滿水位自動連續觀測，可設置土木研究所所開發的空投式水位觀測浮筒。

空投式水位觀測浮筒由內建衛星通訊裝置的浮筒，以及內建水位感測器的盒子構成，不僅能用直升機快速運送，空投之後浮筒與盒子自動分離，能透過衛星通訊進行遠方監視。

設置時須事先了解當時水深等狀況、決定設置地點，淹水區水位上升預估量須在水位計能實施量測的範圍內。另外，若水位計纜線被纏住會影響量測效果，因此須空投在較少樹木或土砂流入量小的地點（詳細做法參照卷末資料8）。此外，設置階段所觀測到的水位和以設置時水位為基準的觀測水位，兩者乃是相對值，海拔則不明。因此，須應用地面測量或空載光達測量所取得水面與堆積土砂的測量結果，換算成海拔值。



圖 4.10 空投式水位觀測浮筒外觀

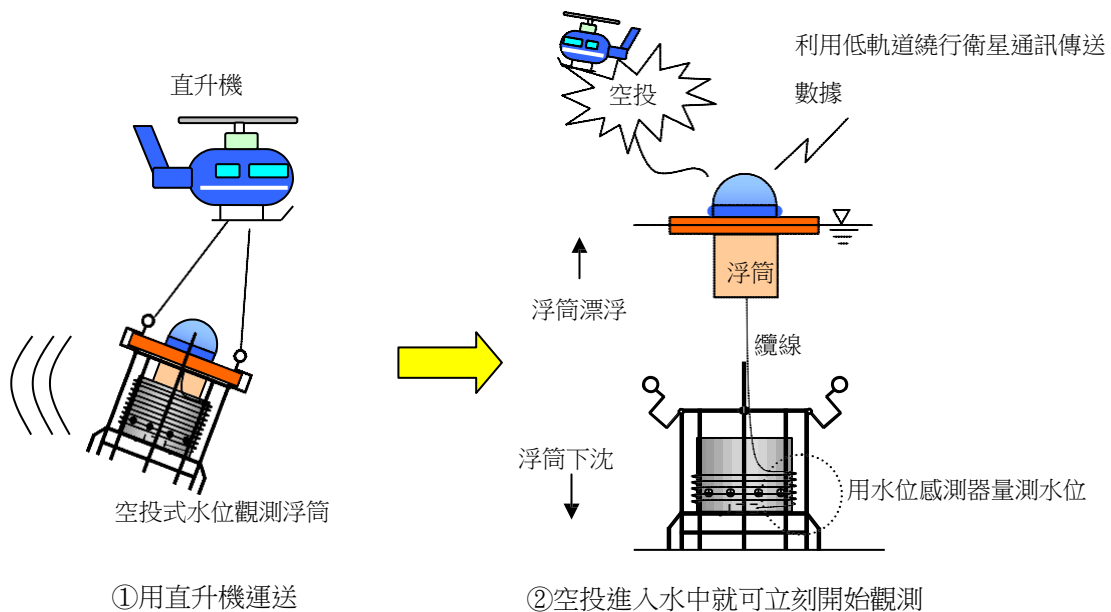


圖 4.11 空投式水位觀測浮筒設置概念圖

【算出滿水位與觀測水位之高差】

利用上述①～⑤方法觀測到的水位數值，最好事先依電子基準點等，轉換成絕對海拔。有了絕對海拔，就能事先掌握從頂端（滿水位）的絕對海拔到開始溢流（滿水）的高差。此外，掌握上游區域淹水範圍也是重要的。

另外，若將水位數據轉換成絕對海拔有困難時，就應事先掌握觀測水位與滿水位的最低限度高差，因此須測量堰塞湖壩體頂端（滿水位）。進行測量時，可運用航空雷射測量，或由直升機進行目視。

另外，實施測量預測可能會出現頂端附近巨礫、倒木等空隙導致水流出來，即使尚未達滿水位仍溢流的狀況。因此，在此算出滿水位與觀測水位的高差，應該在估計值的安全性方面預留空間。

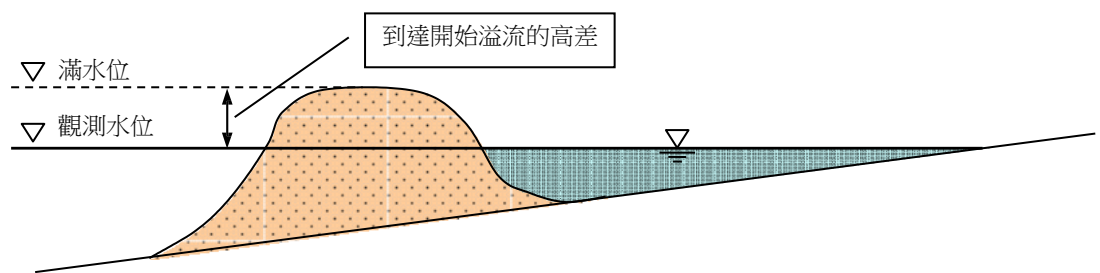


圖 4.12 到達開始溢流（滿水）的高差

【觀測機器與傳送機器介面的整合性】

用來測定淹水區水位的觀測機器，須和用來將數據傳到遠方的傳送機器介面整合。

一般而言，訊號傳送方式主要有數位訊號與類比訊號兩種，前者包括 BCD 碼（對於進位、針腳分配有數種類等）、電壓接點訊號、連續訊號（RS-232C 與 RS-422 這種規格，通訊格式則每台機器都不同），後者種類區分的方法是電壓、電流以及輸出範圍的差異。

因此，觀測機器的輸出訊號以及傳送往機器輸入訊號，都須事先充分確認訊號種類與規格，必要時設置訊號轉換器，進行整合。

4.3 掌握流入淹水區的流量

要正確預測土砂堆積區溢流導致潰決，以及上游區域淹水還有多少時間、幫浦排水量與潰決時的洪峰流量，須事先掌握往湖區的流入流量。

「解說」

若要預測土砂堆積區開始溢流以及上游區域開始淹水還有多少時間，得先掌握淹水區水位上升速度。水位上升速度由上游的流入流量與淹水區面積決定，因此須做好掌握・監視流入流量的工作。另外，實施幫浦排水也須掌握流入流量，才能算出必要的排水量。

卷末資料 4 乃是根據水位上升速度計測值，預測到溢流與淹水還有多少時間，但即使不考慮水位上升速度而直接計測上游流入流量，同樣能預測到溢流以及淹水還有多少時間。預測到溢流與淹水還有多少時間，最好能使用兩種方法，雙重地確認。除此之外，預測潰決時的洪峰流量，上游流入流量會變成不可或缺的參數，須事先掌握流入流量。

實務上陡峭出區出現堰塞湖時，進入堰塞湖上游區域，本身就很困難也就很難掌握流入流量。但如上述，掌握流入流量，因此應先實施流量觀測。

除此之外，從所觀測到的流入流量與淹水區水位（4.2），可推定潰決與上游出現淹水災情還有多少時間，可也推定溢流造成堰塞湖潰決時的洪峰流量，這兩者都整理在資料 4・卷末資料 5 之中。

【選定流入流量觀測方法】

堰塞湖形成後有的很快潰決，初期對應處理以及到潰壩為止的時間都很短時，此時就可利用淹水區水位上升速度與逕流流出量之差，逆算得出流入流量。換言之，在能掌握逕流流出量或逕流流出量少到可加以忽視的情況下，若能如卷末資料 4 所示地掌握精確的 H-V 曲線，就能從水位觀測結果逆算得出流入流量。

此外，若能靠近淹水區上游流入區域，且還有時間進行流量觀測，依現地狀況有以下兩種掌握・監視流入流量的方法。首先，能設置觀測機器時，可用水位計與流速計實施流入流量自動觀測。若不能設置觀測機器，可利用攜帶型簡易流速計、浮標與錄影機等，定期地算出流入流量瞬時值。但若有複數河川流入淹水區，須針對各河川進行觀測，掌握其分別流入流量。

此外，若要確認所觀測逕流流出量之精度，最好如前述地事先比較 H-V 曲線水位觀測（4.2）所間接算出的流入流量推定值。

除此之外，利用數值計算等算出流入流量時，須取得雨量數據，必要時最好設置雨量計。

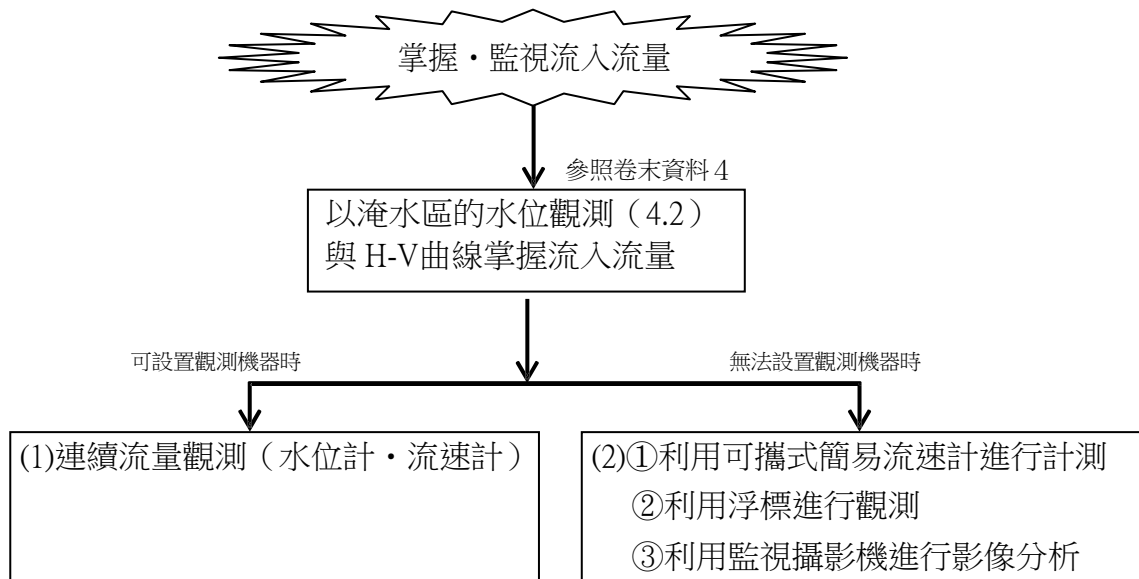


圖 4.13 往淹水區流入流量觀測內容的選定流程

(1) 以連續流量觀測掌握流入流量

流入區護岸工等構造物上能設置觀測機器時，設置水壓式水位計或流速計，就能算出流量。特別是有橋或防砂壩等橫斷構造物時，除了上述器材之外，也可安裝非接觸型水位計（超音波式・電波式・光波式）・流速計，實施計測。

此外，若流入區上游原本就有流量觀測機器（水位計・流速計），也可運用其數據。

(2) 以定期流量觀測掌握流入流量

流入區無人工構造物而難以設置觀測機器時，若需實施連續觀測可利用定期性可攜式流速計（電磁式・迴轉式），實施定期計測或者浮標・錄影等的目視判讀，概略掌握水測與流路寬度，便能定期算出流入流量瞬時值。

① 利用可攜式流速計進行觀測

利用可攜式流速計（電磁式・迴轉式等），不僅能人力測定淹水區流入區流速，也能概略掌握水深與水流寬度，算出往淹水區的流入流量。但須走入水中，得注意二次災害。

② 利用浮標進行觀測

淹水區上游河道利用浮標測定流速，能同時概略掌握水深與水流寬度，算出往淹水區的流入流量。若能到達現場，這種方法相當簡便。流速測定的頻率有時會受降雨・融雪狀況影響，平常時大概每天實施一次。

③ 利用監視攝影機進行影像分析

利用監視攝影機不僅能即時掌握現地變化狀況，還可重複播放將影像，更正確地判讀水位與流速。

為了讓監視攝影機能以更好的精度判讀流速，最好選擇斷面變化較少地點、與流動方向垂直方向地架設機器。此外，最好事先在視野內代表性河道斷面實施橫斷測量，算出水位與斷面積之關係。另外，要從影像中讀取水位與流速，須事先在觀測地點做一些標記。流速可從單位時間內漂浮小枝與落葉等的流動距離推定出來。

另外，有時使用攝影機，進行攝影與影像分析，也是有效的。

(3) 以H-V曲線與水位觀測掌握流入流量

利用斷面法等，從地形圖與土砂堆積區的形狀與高度，算出海拔別的淹水量，做成H(淹水區水位)－V(淹水區水量)曲線。從 H-V 曲線與淹水區的水位觀測（參照4.2），可算出流入流量，並推定還有多久會到達滿水位。但這種方法的有效性會受土砂堆積區逕流流出量與漏水量乃至於地形圖精度高低影響，因此須事先注意，流入流量的值其實只是概略值。此外，流入區有複數支流流入時，無法針對個別河川一一算出其流入流量。若已掌握逕流流出量（參照4.5），計算流入流量時也應考量逕流流出量。

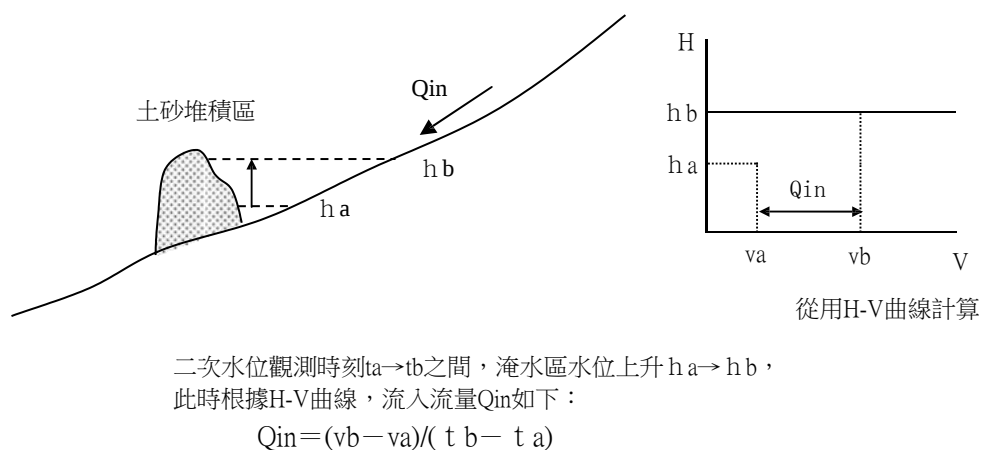


圖 4.14 以H-V 曲線算出流入流量

(4) 以雨量觀測預測流入流量

堰塞湖形成後若預期會有降雨，為了預測潰壩而實施上游區域的流入流量預測。預測流入流量所需資料方面，進行流入流量預測，應掌握形成堰塞湖上游區域與堰塞湖堆積區周邊的降雨量

。也可利用附近氣象局所提供雨量觀測數據；流域較廣時，則應積極活用雷達雨量計數據。比如，利用氣象廳所發布降水短時間預測與降水即時預報[※]之類的降雨預測資訊，也是有效的方法。此外，在多積雪山區若積雪期出現堰塞湖，也須掌握融雪量。

另外，利用所觀測到的雨量，依時間序列地預測上游區域流入流量的方法，可參考卷末資料6。

※ 降水短時間預報與降水即時預報系根據過去下雨區域變動狀況與現在雨量分布，利用 1km 四方網格預測未來 1～6 小時的雨量分布。通常 1 天發布 3 次。與今日・明日預報以及天氣分布預報不同，應儘可能利用短時間間隔所發布的數據，詳細且迅速地提供 1～6 時後的雨量預測。

4.4 土砂堆積區監視

若要掌握土砂堆積區溢流所導致侵蝕狀況以及土砂堆積區異狀，應利用目視、地面測量、監視攝影機與感測類等，進行監視。

「解說」

堰塞湖潰決主因據說有①溢流侵蝕導致潰決，②地滑崩塌導致潰決，③進行性破壞導致潰決等3種²⁾。但過去堰塞湖潰決幾乎都是溢流所致³⁾。只是，堆積土砂透水性較高時，堤體內滲漏越來越嚴重，就可能因此產生地滑崩塌或進行性崩塌而潰決。

因此，須針對溢流侵蝕狀況以及堰塞湖土塊滲透水滲出狀況等異狀，進行監視。

2004年中越地震後芋川流域東竹澤地區所形成堰塞湖之後，為了利用監視攝影機實施定性的侵蝕狀況掌握，因此注意到實施定量監視必要性的課題。

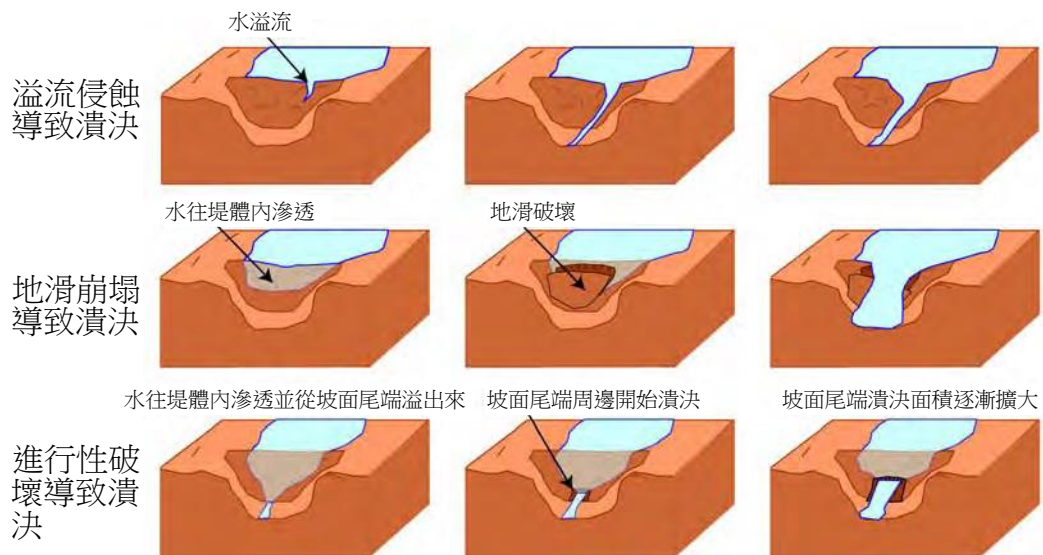


圖 4.15 堰塞湖潰決原因概念圖

【選定監視下游坡面狀況的方法】

堰塞湖形成後，初期對應措施以及到潰壩為止都只有很短時間，此時最好利用直升機進行監視（參照4.1），或利用目視監視、手持式計測裝置（數位羅盤・距離計）進行監視。

若到潰決仍有相當多的時間，可利用觀測機器（測量機器或感測類）進行監視。

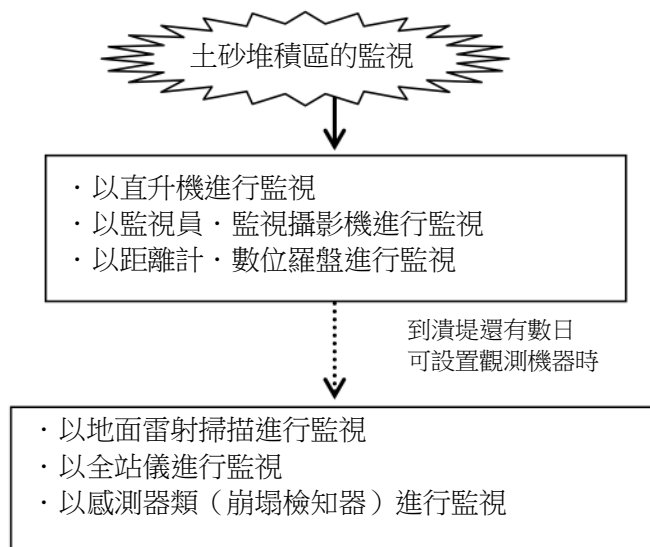


圖4.16 選定土砂堆積區觀測方法的流程

(1) 溢流侵蝕導致潰決之監視

侵蝕等狀況，可利用監視攝影機進行定性觀測，或以地面雷射掃描機器進行定量觀測。無法設置觀測機器或緊急情況時，可使用簡易雷射（數位羅盤・距離計）。除此之外的狀況，可利用地面掃描或全站儀（免稜鏡）觀測。主要的地面測量機器性能與規格，如卷末資料 1 所示。此外，利用堰塞湖堤體侵蝕模擬模式所實施的量測實驗而做出的針對各觀測機器性能比較表，彙整在卷末資料 7。根據計測實驗，自然環境中觀測機器能發揮功能的距離等，依視雷射入射角與標的物顏色等而異，未必與公稱值相同，因此，使用時須注意配合現場的自然條件。

觀測機器最好設置在能俯瞰觀測標的物整體形狀且無視線死角的安全地點。

另外，若只須掌握侵蝕狀況與侵蝕速度，全站儀可提供高精度且取得測試成果所費不高；但侵蝕狀況掌握之外應用實施數值計算等狀況時地形數據等等也可考慮進行其他分析時，最好以地面雷射掃描進行量測。此外，若監視標的距離相當遠（超過2000m），或從地面上無法一目了然，也可使用空載光達測量。



東竹澤地區的堤體侵蝕狀況
出處「2004年新潟縣中越地震所造成土砂災害及對應措施 H17.2 湯澤砂防辦公室」

除了利用這些觀測機器監視堤體侵蝕狀況，也可搭配利用逕流流出量（參照4.5）觀測結果，進行溢流侵蝕導致潰決的觀測。

① 距離計或數位羅盤距離計（簡易雷射）

針對計測標的物遠距照射雷射光，能計測其斜距離，因此就能以經時計測的方式，計測其侵蝕部深入狀況，掌握侵蝕速度（測距距離1,100m）。這種方法能簡單地完成計測，但有手震問題，準確性較差，只能概略掌握調查精度。

有的機型不只斜距離，也能計測高度角與水平角，並能作為簡易版免稜鏡全站儀。這種機型的侵蝕部計測方法、侵蝕速度、侵蝕量計測方法、觀測條件，與免稜鏡全站儀相同。

② 地面雷射掃描

地面雷射掃描（測距距離2,000m）遠距發射雷射光，測定其反射光以取得觀測物地形形狀的3維數值資料。歷時地連續觀測預估會發生侵蝕的坡面，可定量掌握侵蝕地點、形狀與侵蝕速度。

機器由本體與三腳體制成，可人力搬到測定地點，但整體重量（本體14~18kg）仍比其他測量機器重。開始觀測就固定設在測定地點，較有效率，但本體無防水機能，須設屋頂等遮蔽物。此外，觀測時需人力操作，電源為12V電池，也可以發動發電機提供電源。

可不分日夜觀測，但有霧時難以發揮功能。此外，須注意觀測標的物的雷射光入射角太低或標的物為暗色系時，反射率降低有時無法取得觀測數值等問題。

③ 全站儀（免稜鏡）

全站儀有稜鏡（測距距離5,500m），及不需反射板而使用雷射光的免稜鏡（測距距離2,000m）二種。

以土塊的侵蝕上端、下端、側端作為測定點而計測其XYZ座標，將所取得數值描成點，即可取得侵蝕形狀。經時地實施這類計測，可掌握侵蝕速度與侵蝕量。

需注意觀測條件，若入射角太低或標的物為暗色系，反射率降低就無法正常計測。此外，夜間需以照明機器照射觀測物，確認能視覺辨識觀測點。

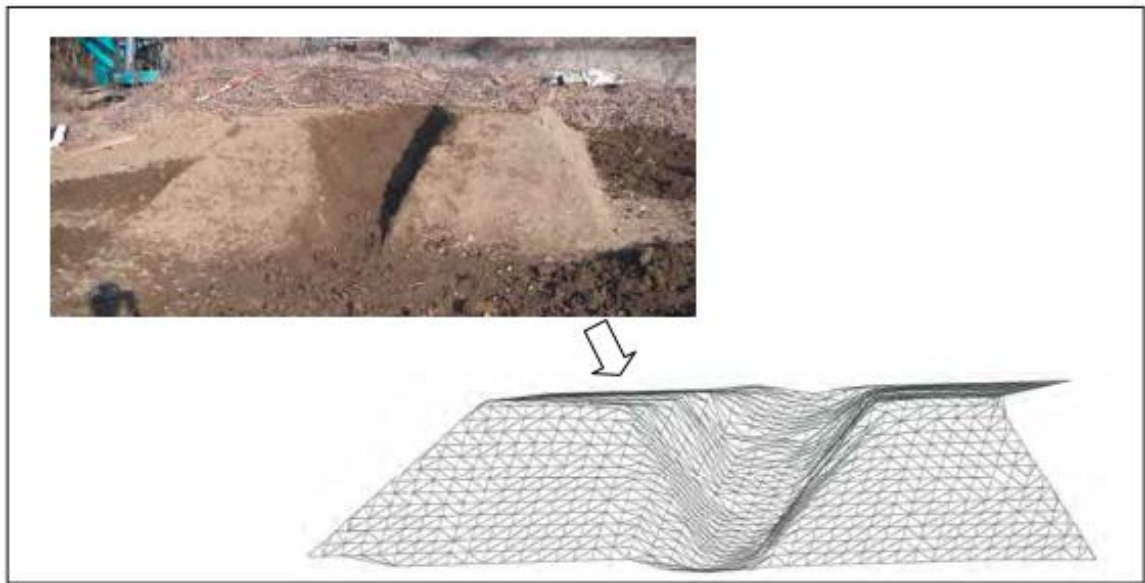


圖4.17 利用地面雷射掃描製作 3 維數據的例子

【掌握侵蝕狀況】

掌握往縱斷方向的侵蝕速度，能判斷會不會有潰決危險。因此至少每次計測都應製作縱斷圖，從經時變化掌握堤體侵蝕狀況，也能幫助今後的預測。此外，運用地面雷射掃描進行計測，最好事先算出侵蝕土砂量。

(2) 地滑崩塌或進行性破壞導致潰決的監視

由監視員、監視攝影機或利用直升機實施定期監視（詳細做法參照 4.1），主要是能定性地監視堆積土壩下游側漏水混濁狀況、龜裂、管湧、小崩塌等土砂堆積區異狀。監視攝影機應架設在可鳥瞰整個堤體的安全地點，同時用地面雷射掃描等器材，實施定量觀測，監視土砂堆積區。若能在堆積土壩邊坡上設置觀測機器，應利用崩塌檢知感測器（參照土木研究所共同研究、卷末資料 9）掌握逕流（參照 4.5），其計測結果可用協助了解堆積土壩下游是否有漏水混濁或地滑崩塌、進行性破壞等狀況。

崩塌檢知感測器

崩塌檢知感測器可感測到堤體變位所導致的感測器傾斜，將相關狀況的數據用無線傳送出去，可監視土砂堆積區是否有異狀。應在可能產生進行性破壞的地點，設置這種感測器，掌握大規模潰決前兆（小崩塌），或可能導致潰決的崩塌狀況。

就機器特徵而言，崩塌檢知感測器能即時取得崩塌資訊，而且容易設置，價格低廉。

其機器構成包括感測器、收訊機與電源裝置等。感測器所發送無線電傳送距離，大約直線 500~1km；若遭遇地形或樹木阻擋，傳送距離會降低，因此設置前應進行無線電傳送試驗。

設置感測器的地點就能實施測定，最好實施多點配置，更能檢知土砂堆積區產生變位的位置及發生時刻，然後利用傳送裝置，即時地進行遠方監視。

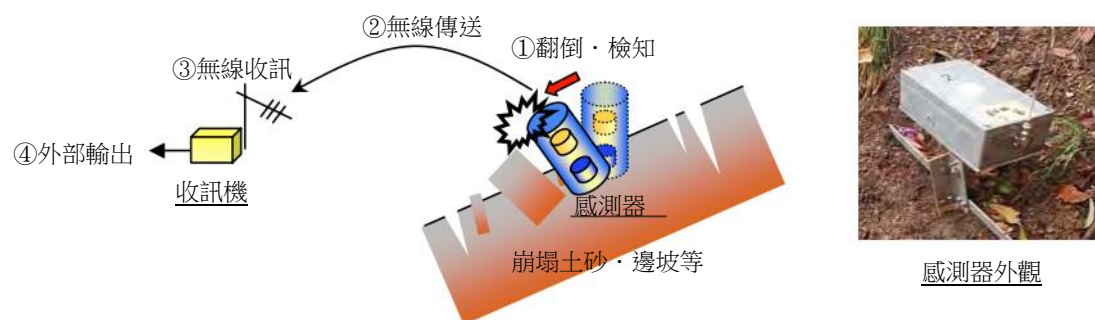


圖4.18 崩塌檢知感測器檢知機能示意圖

4.5 土砂堆積區逕流流出量的掌控

目的是監視土砂堆積區潰決狀況，以觀測土砂堆積區下游的水位，掌握逕流流出量。

「解說」

土砂堆積區破壞主因是 a) 伴隨溢流的侵蝕導致破壞，b) 封鎖區域內部滲透水造成管狀水路的形成，其擴大導致土砂堆積區破壞⁴⁾。

2004年中越地震新潟縣中越地方芋川流域的堰塞湖，土砂堆積區頂端設置水管等進行排水，結果排水量變大，排水路末端容易發生侵蝕狀況。因此，緊急對策實施後，也需掌握逕流流出量。

由上可知，實施緊急對策前須在土砂堆積區下游，仔細監視從土砂堆積區出來的逕流流出量（＝溢流流量＋漏水流量），若已實施緊急對策，也須同時監視包含排水流量在內的逕流流出量，一旦發現逕流流出量突然比流入流量大增等異常狀況，就得警戒是否因為土砂堆積區侵蝕造成破壞。另外，往下游的逕流流出量會使得淹水區水位上升，結果提高堤體內的水力梯度，因此，即使沒有管湧造成破壞，逕流量也可能持續增加。另外，若要掌握淹水區水位上升速度，也須掌握逕流流出量。

【選定逕流流出量觀測方法】

選定逕流流出量觀測方法的做法，與「選定流入流量觀測方法」相同（參照 4.3）。

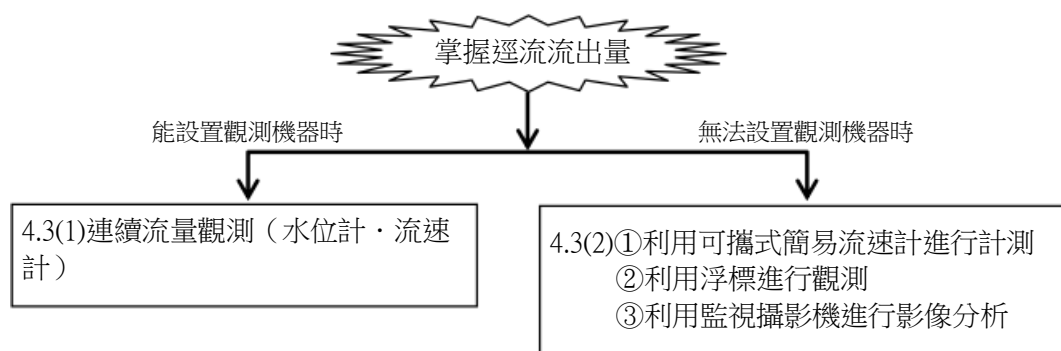


圖 4.19 選定淹水區逕流流出量觀測方法的流程

4.6 崩塌區與周邊地區狀況的監視

為了監視崩塌區與周邊地區是否有擴大崩塌、新的崩塌等狀況，應利用地表伸縮計與地面測量等方法，掌握崩塌前兆現象，以及可能會崩塌的邊坡變位狀況。

「解說」

堰塞湖形成後，應立刻實施救援活動與緊急對策工程。這些工作都在崩落地正下方或很靠近的位置實施，因此須確保作業安全。為了確保即使邊坡擴大崩塌也能維護安全，應掌握邊坡崩塌前兆現象，與崩塌邊坡變位狀況。做法是利用地表伸縮計與地面測量，直接觀測地表面滑動量，然後從滑動速度評估邊坡變位危險度。為了防止二次災害，應仔細確保安全。崩塌區域觀測數據管理基準值，如卷末資料 10 所示。

另外，發生大規模崩塌時崩土流入淹水區，若出現湧潮導致溢流，就可能造成潰決。崩塌坡面之外的地方，也可能因為持續餘震、降雨、淹水，導致新的崩塌，因此須監視周邊地區可能崩塌危險的地點。

(1) 崩塌前兆現象的掌握

邊坡崩塌前兆現象主要如下。確認出現前兆現象，代表崩塌危險性已大大提高。

- 是否有出現頭部龜裂・高低落差狀況，以及這些狀況是否擴大
- 是否有出現落石與小崩塌
- 是否有出現樹木根部切斷聲音
- 是否出現邊坡湧水量改變狀況

(2) 邊坡變位的觀測

確認有龜裂等狀況，應監控邊坡變位及其滑動速度，配合現場狀況運用下列觀測機器。

- 地表伸縮計
- 簡易變位板
- 移動樁
- GPS測量
- 地面測量

另外，進入崩塌區才能設置上述計測儀器，實施設置作業過程中，須注意安全。

① 地表伸縮計

地表伸縮計乃是在地表面滑動區域與滑動區域之間的二點（中間夾著崩塌的龜裂）拉出鋼鋼線，觀察其伸縮狀況，測量地表面上二點之間的相對變位。伸縮計本體應設在龜裂上方的不動點上，龜裂下方的滑動區，則打設鋼板樁，其間用鋼鋼線連結起來。鋼鋼線不可讓落葉・落枝或野生動物碰到，因此得用PVC管等加以保護。

使用注意要點包括，崩塌擴大時不易找到不動點。若地表明顯被攪亂，有時會出現鋼鋼線無法拉成一直線的狀況。另外，地震導致形成堰塞湖時，即使發生餘震後沒產生變位，單單震動就可能超出伸縮計警戒範圍，而讓警報響起。

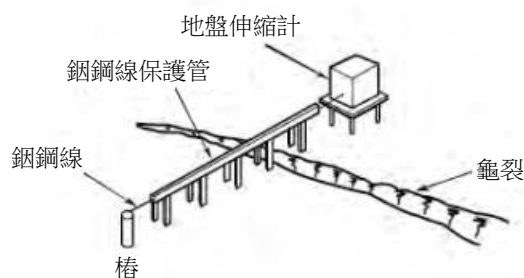


圖 4.20 伸縮計外觀與測定概要圖

② 簡易變位板

和地表面伸縮計一樣，簡易變位板也是用來量測兩點之間的相對變位，但無法實施自動觀測，因此需定期設定手動計測。可搭配使用木材現場製作，也可購買搭配固定工具與盒子的鋁製產品等專業用品。

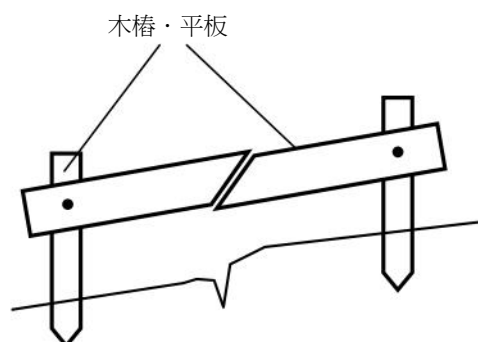


圖 4.21 簡易變位板的外觀與測定概要圖

③ 移動樁

設定複數移動樁，可計測到一直線上的滑動速度。預估會產生擴大崩塌，或新崩塌頭部不明顯時，這是有效做法。

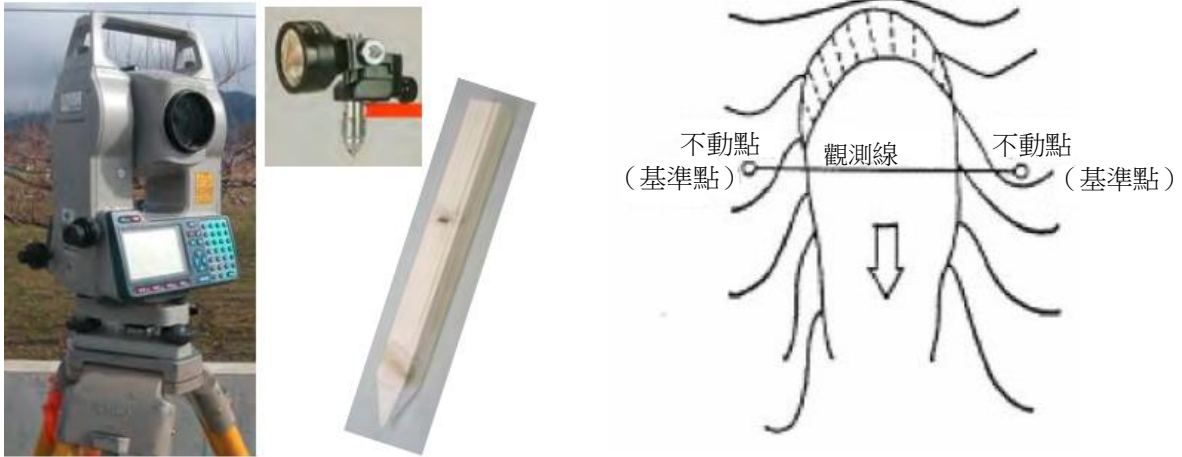


圖 4.22 移動樁的外觀與測定概要圖

④ GPS測量

在基準點與測點這 2 個地方設置 GPS 觀測機，接收 GPS 衛星所發出電波，測定 2 點之間的距離。

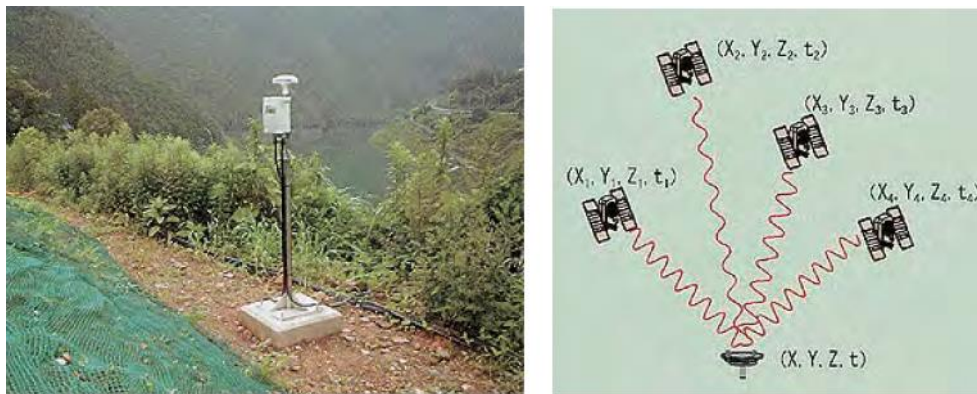


圖 4.23 GPS感測器外觀與測定概念圖

⑤ 地面測量（固定點測量）

移動區域範圍內設置測定點，以設在不動區的該點座標作為基準點，每隔一定期間進行測量，算出移動量。

在測定點（樁）上裝置稜鏡或反射板，利用全站儀實施測量。

另外，難以進入的崩塌地危險邊坡，或餘震可能導致擴大崩塌的地點，最好利用RE・MO・TE2（土木研究所共同研究）（參照卷末資料 11）。

4.7 土砂堆積區潰決導致發生土石流等的監視

土砂堆積區潰決導致發生土石流，應在下游區域設置土石流發生檢知裝置，檢知是否發生土石流。

「解說」

土砂堆積區潰決會產生土石流等。土石流流動形態會因為閉塞區域下游河床坡度、堤體壩高、淹水區水量與構成材料而有差異，主要有土石流、土砂流與山洪暴發等，以湧潮形態往下游流動。而且不僅是降雨時，無降雨時也可能導致下游區域水位急遽上升，須特別注意。

土砂堆積區潰決導致發生土石流等狀況時，基本上應實施土砂堆積區監視工作（參照 4.4）進行直接監視，但若無法實施夜間監視或觀測機器尚未齊備，也可在土砂堆積區下游適當地點，實施間接監視。另外，預防潰決產生土石流，預先設置土石流發生檢知感測器，監視是否產生土石流等。決定土石流等發生檢知基準時，應將監視結果所推測潰決導致土石流等的洪峰流量納入考量，事先設定可防範下游氾濫災害的警戒避難用（居民用），與下游河道內緊急工程安全管理用（工程相關人士使用）兩種檢知基準。此外，發生土石流等狀況，如何將檢知的資訊傳達出去，應配合用途檢討適當方法。最好確保複數的檢知方法與通訊方法。

有必要將上述各機器設置地點、設定目地等事先整理成觀測設施紀錄簿，讓相關機關分享相關資訊（參照卷末資料 12）。

（1）以水位計（超音波式水位計等）進行檢知

若能在堰塞湖下游設置水位計，就可利用水位計得知是否出現土石流。適合的量測定方法包括非接觸型土石流超音波式水位計與電波水位計等。

設置注意事項包括，設置感測器的地點須高於所預估的土石水流位，也就是比較不會受水路變化影響的地點。

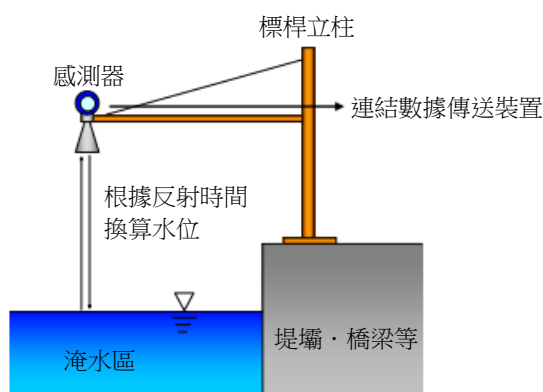


圖 4.24 超音波水位量測定方法概要

（2）以振動檢知式土石流感測器（振動感測器）進行檢知

利用振動感測器測定土石流造成的地盤振動加速度或速度，超過設定值就是土石流。其特徵為可反覆使用，是能藉由振動強度推定土石流規模。

設置場所須可確實傳達土石流所造成振動，且不太受土石流之外因素所造成振動雜音與雜波（工程車輛通行等）影響。因此，設置前須進行振動試驗與雜訊測定。一般而言都設在靠近溪流的地點，設置時須特別注意避免二次災害。

所取得振動數據就能得知土石流，因此須根據地盤振動強度⁵⁾、波形、持續時間、包絡（envelope）比^{比如 6)、7)}等，設定檢知基準。波形數據通訊量大，因此在剛發生災害後有時不易建立能儘量即時傳送波形數據的通訊網。此時可在現場，根據上述基準判別是否發生土石流，將其結果訊息傳送出去。若能傳送大訊息量數據，最好能在現地對策本部處理該數據，進行檢知。此時若因為某種原因誤發出檢知訊號，也能立刻由工程人員檢查波形，確認是否有誤。

另外，若所產生土石流不含大量石礫，就不會有強大振動強度，有時會因此無法檢知其是否為土石流，這是須注意之處。

設置振動感測器詳細做法，可參照「振動檢知式土石流感測器設置手冊（草案）2005 年 7 月」⁵⁾。

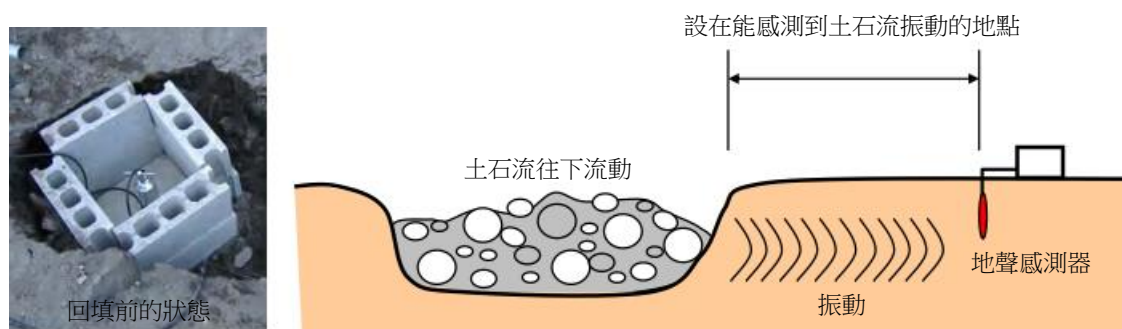


圖 4.25 振動感測器的外觀與設置案例

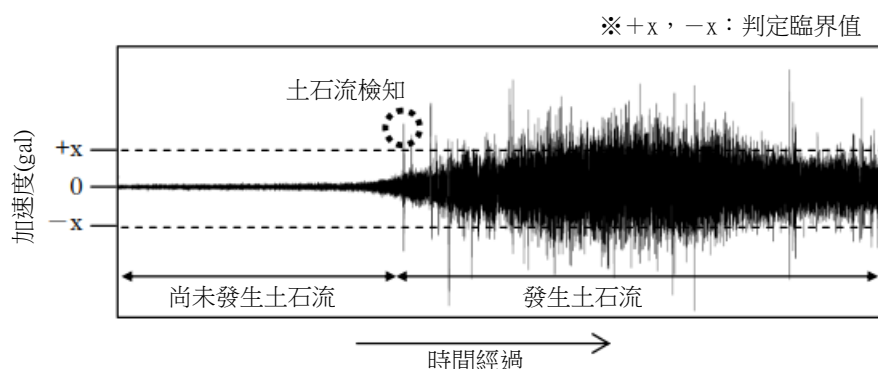


圖 4.26 以振動感測器檢知土石流的概要

（3）以監視員或安裝監視器進行監視

監視是否發生土石流的方法有，配置監測員與設置監視攝影機。此外，用來掌握堰塞湖整體狀況的監視器也能提供土石流產生時的影像。因此，該當攝影機也可作為（1）、（2）或（4）觀測機器的輔助觀測方法，用來監視是否發生土石流。近年來影像分析速度提升，也可利用影像分析，檢知是否發生土石流，讓監視攝影機的影像更有效地發揮效果。

（4）以接觸型感測器（鋼索感測器）進行檢知

鋼索感測器做法是，橫斷溪流設置的鋼索線會被流動土石流等切斷，如此就能檢知發生土石流。

應利用溪流下游橋腳、防砂壩等安定地點，並考量平常時水深，以及潰決形成土石流洪峰流量時的推定水深，決定其設置高度，然後於溪流橫斷方向設置鋼索。另外，若無橋腳等構造物，可利用立木或設置樁進行臨時裝置（須注意這些立木與臨時裝置，須能承受受到鋼索被切斷的強度）。設置時人員須進入溪流，須特別注意工程安全管理。

另外，必須確保下游工程人員與居民，能在檢知發生土石流到土石流抵達期間，有足夠時間往安全地點避難。因此，鋼索感測器最好配置在上游區域。同時，工程地點與附近聚落附近應設置警報機，以便發生土石流能直接將訊息傳達給工程人員與當地居民。再者，於上下方設置兩條以上的鋼索，並依工程安全用的嚴格基準（設置高度：低）與警戒避難用的寬鬆基準（設置高度：高）加以區分，也是一有效方法。

若要提高感測器檢知可靠性，最好上下游設置的鋼索要 2 條以上鋼索，當複數鋼索被切斷，就能確認已經發生土石流。

另外，豪雪地區有可能出現鋼索被雪切斷的狀況，因此，應設在不會被雪埋沒的橋樑下方等位置。

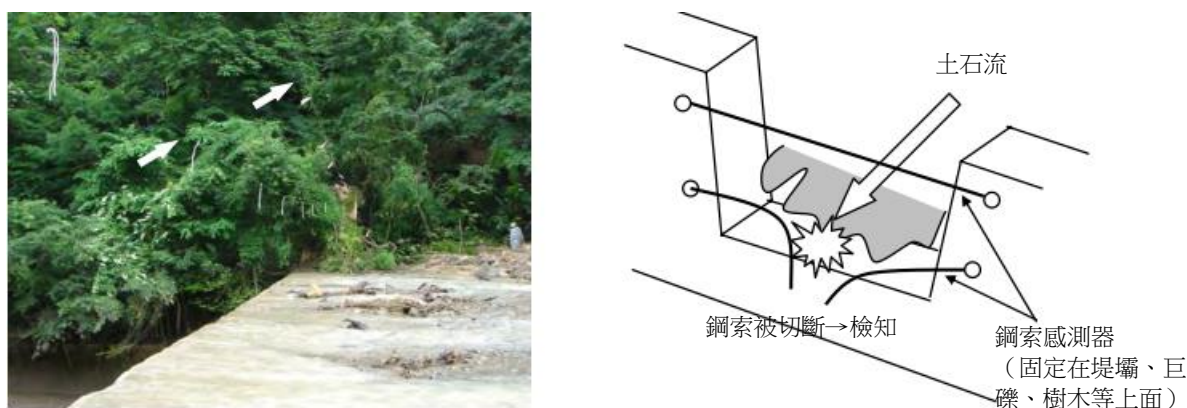


圖 4.27 鋼索感測器設置概要

(5) 以雨量觀測預測土石流是否發生

發生堰塞湖與邊坡崩塌等狀況後若下大雨，可能會誘發土石流，因此監視區域上游的雨量觀測是必要的。但既有的雨量觀測所觀測密度不大，也有因地震破損無法觀測的情形發生，因此會有增設置雨量計的需要。

堰塞湖使用的雨量計系統之中，特別感受器類型、搬運性、資訊傳送、電源等越來越重要。

感受器方面常見的是上方開口的傾斗型雨量計。另外也有側面開口，能在強風下提升雨滴捕捉率的高海拔雨量計，應配合現場狀況選擇適合器材。

搬運性方面，雨量計系統若能以直升機直接送到設置現場，可使用角框等裝器材，然後用吊掛方式進行設置，最好能短時間調整即完成現場作業。另外，若只能人力運送器材，須事先分割必要器材，分散重量。

為了方便攜帶送且使用低消耗電流，傳遞訊息最好使用衛星手機。衛星手機通訊主要利用低軌道周回衛星或靜止衛星 2 種形式。前者在電流消耗量與通訊品質較有利。

沒辦法取得商用電源時，須以電池作為電源。若預計監視期間很長，應搭配使用太陽能電池。

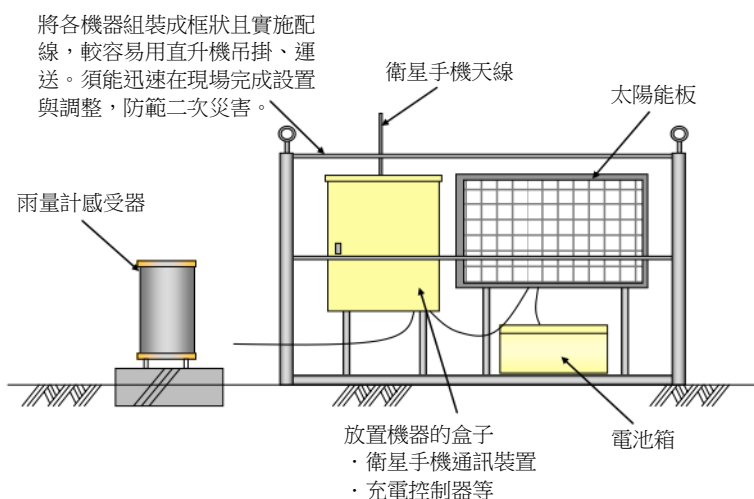


圖 4.28 雨量觀測系統概要圖

5. 監視資訊傳送系統的選定

建立遠距監視觀測標的傳送系統，進行訊息傳送。堰塞湖形成初期應調查人員如何抵達現場、資訊容量與通訊迴路、電源等事項，選定適當的監視資訊傳送系統。

「解說」

為了傳達第 4 章所說明的觀測機器資訊，應建立傳送系統，讓災害對策本部與辦公室能進行監視。

監視員進行監測的結果報告，可以的話應使用手機或K-COSMOS傳送，沒辦法也可檢討使用衛星手機或無線電（參照卷末資料 13）。

另外，監視機器傳送相關數據與資訊做法如下。

通常，實施連續觀測的機器若要傳送資訊，多半使用有線光纜訊號傳送系統，以及可傳送雨量計等資訊的遠距無線通訊方式。若既有的監視機器與資訊傳送方法已有這些功能，應予以活用。

不過，堰塞湖未必會發生在長期觀測地點，光纜等斷線或設施故障等狀況也可能發生，上述資訊觀測系統派上用場機會小，得建立新的傳送系統。

通常堰塞湖形成初期所能建立的系統，其機能會受限於能否順利抵達現場、訊息容量、通訊迴路與電源容量等，應以迅速性為最優先。

【觀測資訊傳送系統的選定】

堰塞湖形成時建立的觀測資訊傳送系統主要有二大類，亦即堰塞湖形成初期系統，以及之後隨狀況變化更新的系統。

能在堰塞湖形成初期建立的系統

能在堰塞湖形成初期建立的系統，不只須有穩定的迴路與電源、傳輸訊號量夠大，更重要的是建立速度要快，得立刻展開監視。因此，只要能傳出資訊，即使只是最低限度資訊，也應盡快以能迅速上場的通訊機器，建立臨時通訊系統。

之後若依狀況變化需進行長期監視時，應完成電話迴路復舊、鋪設商用電源與光纖電纜等，把初期運用的通訊系統更新為能穩定傳送大訊息量的系統（參照第 6 章）。

堰塞湖形成時的觀測資訊傳送系統，包括能在緊急時刻確保迴路、抵抗災害並有效處理暴增之訊息量，國土交通省所有的衛星小型影像傳送裝置（Ku-SAT）與災害遙測最有效的資訊傳送方法，應積極活用。

(1) 衛星小型畫面傳送裝置 (Ku-SAT)

1) 系統概要

國土交通省所有的衛星小型影像傳送裝置、又稱「可攜式基地台」，能直接搬到災害現場，透過人工衛星將現場監視資訊傳送給其他行動基地台或固定基地台（災害對策本部・辦公室等）。

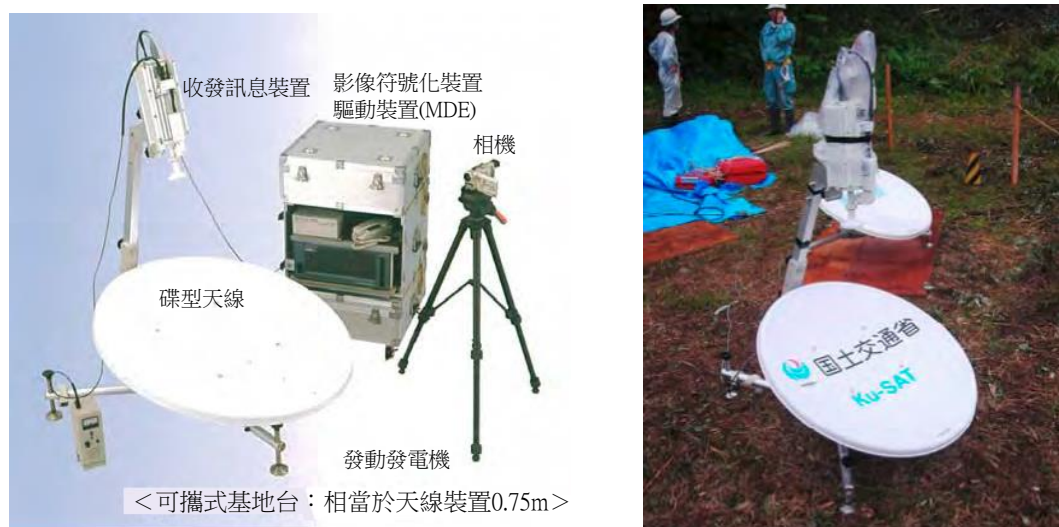


圖 5.1 Ku-SAT可攜式基地台外觀與現場設置狀況

2) 特徵

①優點

- ・能不受地面災害影響地進行通訊。
- ・因為是可攜式，能直接帶到災害現場。
- ・能多地點同時接收現地資訊，因此能容易傳送訊息給複數單位。
- ・可利用畫面傳送裝置進行類動畫傳送，有助於對策本部等掌握狀況。
- ・能以聲音通話或數據進行通訊，因此可當作資訊聯絡迴路。
- ・可增加圖像迴路與聲音迴路數目。
- ・能建立場內PHS電話網，因此能和從對策本部等，以及遠離Ku-SAT的現地作業者聯絡。
- ・可利用衛星接收器簡單地調整天線方向。
- ・已有許多災區運用實例，證明有效。

②運用之注意事項

- ・現場南方仰角約 45°（因經緯度而有差異）不受遮蔽、阻擋。
- ・須經常補給發動發電機燃料（但近年來已有可連續使用 3 天的機型）。
- ・豪雨可能使通訊不穩定。因此若需以鋼索感測器等快速地將檢知資訊傳達出去，可能會有障礙。
- ・目前每個辦公室都只有 1~2 台，若同時多地點發生災害，機器可能不足。（此時得由各單位協調，確保需要的地方有足夠機器）
- ・重量約 100kg，雖可分拆，但僅以人力搬送無法走太遠。
- ・冬季積雪地區可能因為積雪而無法使用，但可設小屋，將 Ku-SAT 放進屋內，解決積雪問題（參照圖 5.2）。



圖 5.2 冬季積雪期間設置Ku-SAT案例（迫川水系溫湯地區）

3) 使用示意圖

- 可用來傳送手機與衛星手機所無法傳送之現場狀況的靜動畫、聲音通話與數據的系統

表5.1 衛星小型影像傳送裝置（Ku-SAT）系統監視機器對照表

監視內容	整體狀況	水位				降雨量	流速		侵蝕量			移動量		崩塌檢知	土石流發生檢知
監視機器	監視攝影機 (市售的錄影機等)	水位標 目視	以測量機器進行計測	空投式觀測浮筒	水壓式水位計	傾斗型雨量計	浮標	流速計迴轉・電磁・超音波	距離計 (簡易雷射)	地面測量機器		地面測量	伸縮計	崩塌檢知感測器	鋼索感測器等
										全站儀 (免稜鏡)	3D雷射掃描				
影像傳送裝置	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
數據傳送 (連接數據收集器機・PC)	—	○ 需輸入作業	○ 需輸入作業	△ 需另設中繼基地台	○	○	需輸入作業	△ 有些機型需輸入	○ 需輸入作業	○	○ 通訊時	○ 需輸入作業	○	有時收訊時間遲延會影響警報發令	有時收訊時間遲延會影響警報發令

※實施聲音通話時也可用口頭傳達各監視機器資訊。

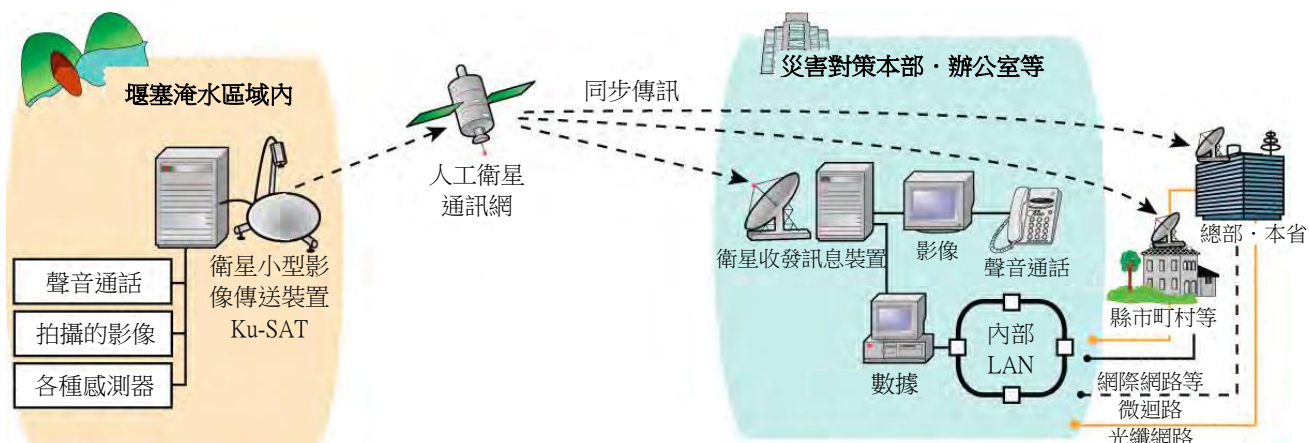


圖 5.3 衛星小型影像傳送裝置（Ku-SAT）系統運作示意圖

(2) 災害對策遙測裝置

1) 系統概要

災害對策遙測裝置是雨量觀測等常使用，可用車輛等帶至災害現場的可攜式遙測無線裝置。

其特徵是已取得國土交通省電波頻率使用執照（50 Mhz波段 3 頻率之 1），不須申請即可立刻派上用場。

可傳送數據為水位× 1 量、雨量× 1 量、接點（鋼索感測器、振動感測器、伸縮計等）× 1 量。

另外，設置前應做好書面檢討工作，設計好迴路，確認是否能架設無線迴路（傳送距離及其地形會影響無線傳送性能）。



外觀照片

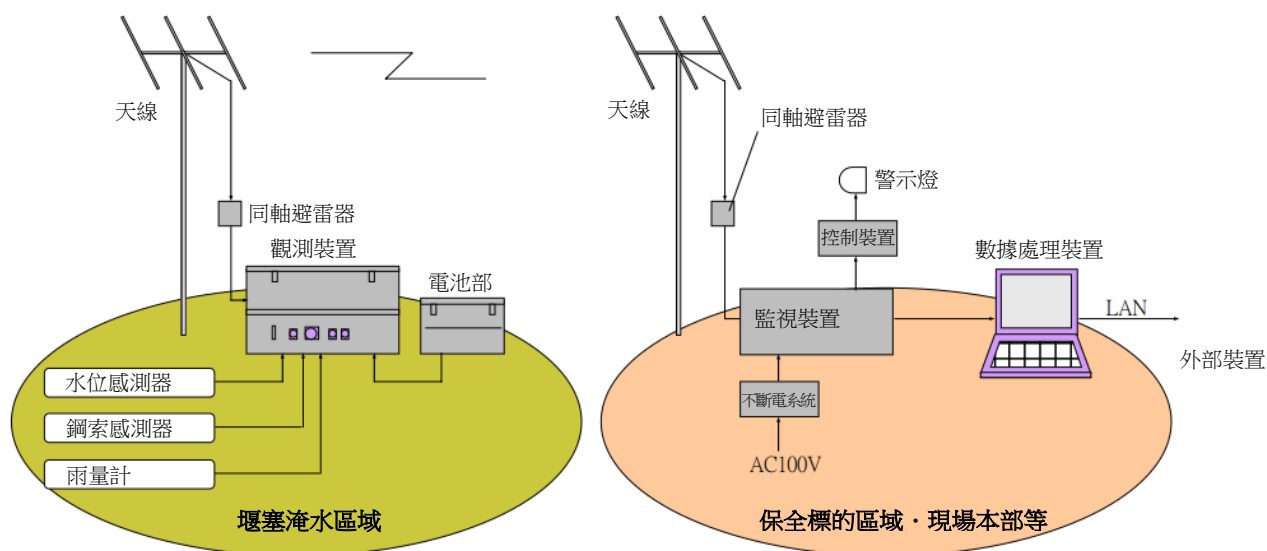


圖 5.4 災害對策遙測觀測裝置

2) 特徵

①優點

- ・ 已完成無線通訊執照申請，可直接利用。
- ・ 災害時使用不必擔心訊號大量集中問題。
- ・ 訊號傳輸無秒差，適合搭配鋼索感測器傳送高度緊急性的資訊。
- ・ 設置遙測裝置防雨箱，可考慮於露天使用。
- ・ 大小有考量到搬運效率高低。

②運用之注意事項

- ・ 設置前須進行無線迴路書面檢討，並須進行現場訊號傳送試驗。
- ・ 訊號傳輸量太少。（水位感測器× 1 量、感測器接點× 1 量、雨量× 1 量）
- ・ 目前機器數目還不足以普及全國使用。

3) 使用示意圖

・使用臨時數據通訊系統感測器

表5.2 災害對策遙測監視機器對照表

監視內容	全體狀況	水位				降雨量	流速		侵蝕量			移動量		崩塌檢知	土石流發生檢知	
監視機器	監視攝影機 (市售的錄影機等)	水位標 目視	以測量機器進行計測	空投式觀測浮筒	水壓式水位計	傾斗型雨量計	浮標	流速計 迴轉・電磁・超音波	距離計 (簡易雷射)	地面測量機器 全站儀 (免稜鏡)		3D雷射掃描	地面測量	伸縮計	崩塌檢知感測器	鋼索感測器等
數據傳送 (連接數據收集機・PC)	×	×	×	△ 需另設中繼基地台	○	○	×	△ 有些機型需輸入	×	×	×	×	×	○	○	○

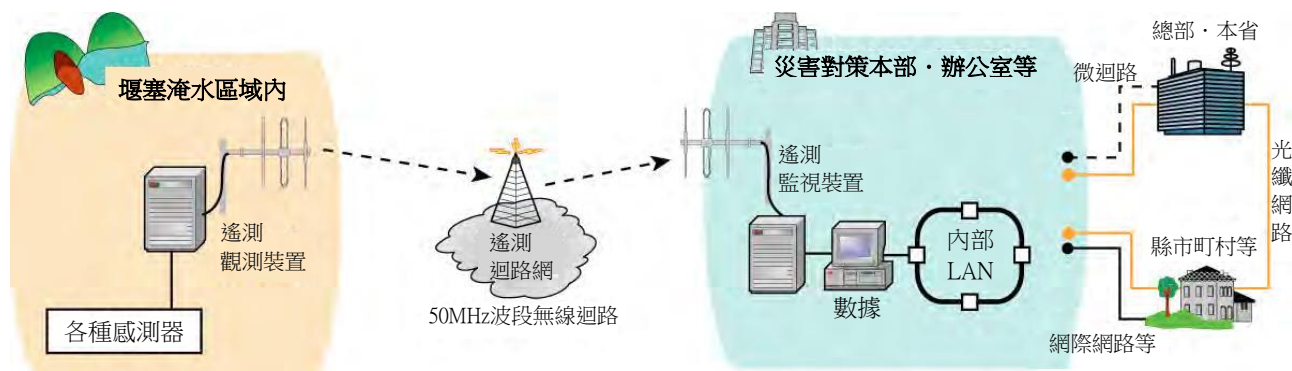


圖 5.5 災害對策遙測裝置使用示意圖

6. 因應狀況變化而更新觀測機器與資訊傳送系統

配合堰塞湖狀況與變化，更新觀測機器與資訊傳送系統等。

「解說」

初期建立的觀測機器與資訊傳送系統，因最重要的是儘早開始監視，會有觀測與傳送項目不足等的問題，因此應配合堰塞湖狀況與變化，實施系統更新，確保具有足夠穩定性，能傳送高精度且大量的資訊。

初期系統主要的問題與更新做法如下。

①能使用的傳送裝置有限，因此訊息傳送量小，訊號不穩定。

→ 鋪設光纖電纜，建立可傳送大量數據到堰塞湖現場的系統。

②初期系統依賴太陽能電池與乾電池供應電源，只能使用低耗電觀測機器，機能與規格受限。若以發電機供電，得經常運補燃料。

→ 直接將商用電源鋪設到堰塞湖現場。

③初期大都是必須人工操作觀測與訊息傳送的半自動系統，得持續投入大量人員。

→ 改實施自動化系統，進行無人連續觀測。

④觀測機器到資訊傳送機器與保全標的警報裝置之間所鋪設長距離纜線，容易被土石流或邊坡崩塌、工程用車輛等切斷，或遭雷擊而受損。

→ 監視機器到資訊傳送裝置之間的通訊，改成無線化（參照卷末資料 14）。

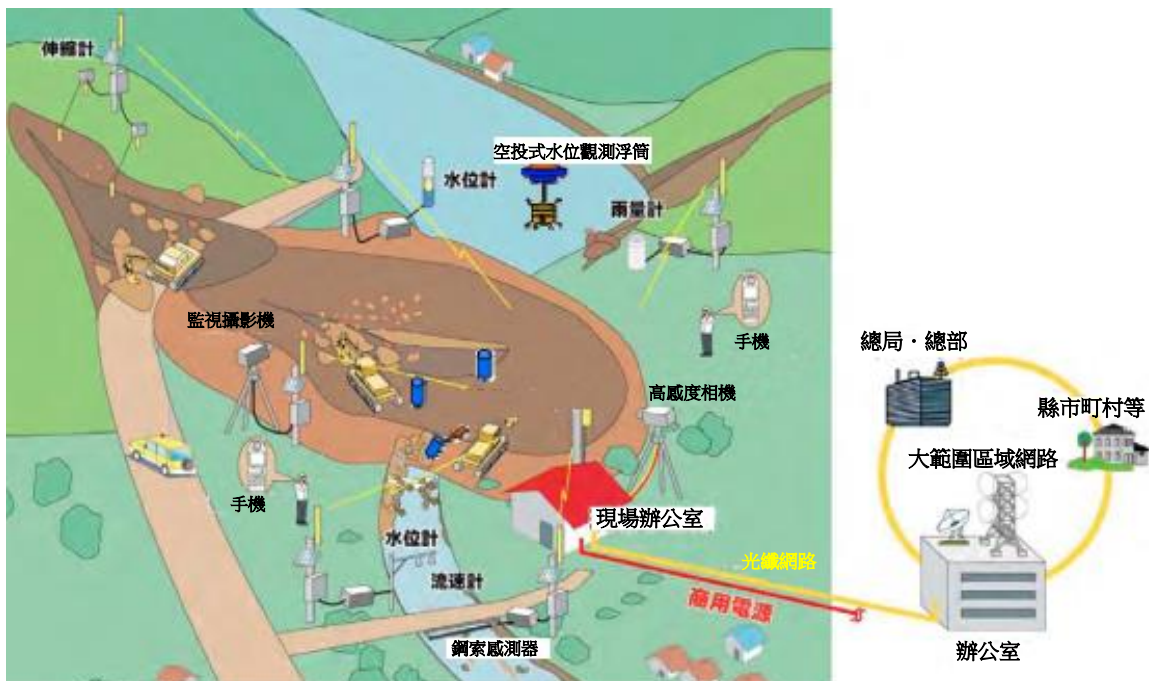


圖 6.1 系統更新後的堰塞湖監視・觀測示意圖

<參考文獻>

- 1) 建設省綜合技術開發計畫災害資訊系統開發報告書(1992年3月)
- 2) 高橋保・匡尚富：堰塞湖潰決導致土石流的規模相關研究，京都大學防災研究所年報，31號，B-2，pp.601-615，1988.
- 3) Schuster R.L. and Costa J.E., "A Perspective on Landslide Dams", in Landslide Dams by the American Society of Civil Engineers, pp.1-20., 1986
- 4) 水山高久・石川芳治・福本晃久：堰塞湖的破壞與對策，土木技術資料，31-11，pp.50-56，1989
- 5) 振動檢知式土石流感測器設置手冊(草案)2005年7月，土木研究所資料
- 6) 武澤永純・柳町年輝・山越隆雄・栗原淳一：重點放在處理波形形狀的振動感測器相關土石流檢知基準提案，砂防學會研究發表會概要集，pp.202-203，2007
- 7) 大角恒雄・淺原裕・下川悦郎：野滔川利用振動感測器的土石流檢知自動判定系統之考察，砂防學會，Vol.61，No.1，pp.3-10，2008

<觀測機器與傳送機器相關用語解說>

水位標

用來目視水位、附有刻度的鋼板。有河川・水庫專用、以1cm為刻度且辨識性佳的產品。緊急時也可使用測量用的量尺。

水壓式水位計/水晶式水位計

將水壓變化轉換成電氣訊號而測定水位的水位計，特徵是小型、容易設置。此外，水壓感受部使用水晶振動子的水壓式水位計特別稱為水晶式水位計，其精度高、測定範圍大，因此常應用於測量堰塞湖淹水區水位。

空投式水位觀測浮筒

可只靠直升機空投就能完成設置、立刻運用之水位計。由浮筒（內建衛星通訊裝置）與內盒（內建鉛錘、水位感測器）構成，土木研究所所開發具備優異迅速性、可安全避免二次災害的感測機器。

超音波式・電波式・光波式水位計

從收發超音波（或電波、光波）的感測器往水面發射脈衝波，然後依據到反射為止的脈衝波行走時間算出水面距離的水位計。不必接觸水面也能測定，不會有遭受漂流物撞擊破水的危險，適合運用在土石流流動的溪流等。

浮標

用來測量河川流速，保持一半在水面上、一半水面下的浮標。可從橋樑等投下，依據其流到預定距離的時間，算出流速。工程人員可不用下水，觀測精度低於可攜式流速計。此外，夜間進行浮標測定，上端須安裝發光棒，以提高辨識效果。此外，浮標材質通常使用直管紙，若要避免留下垃圾，則可使用具備高度分解能力的水宣紙產品。

可攜式流速計

能手動計測流速，有計算水流推動旋槳迴轉數目而算出流速的迴轉式流速計，以及掌握水流橫切過磁場時所產生起電力，換算成流速的電磁式流速計等。測定時需踏入水中，因此須避免發生二次災害。

電波式流速計・超音波流速計

由水面上方往水流面收發電波，藉由此時所產生頻率位相差（都卜勒效應）測定表面流速固定式流速測定機器。特徵是可不必要接觸水面並能實施高流速測定。兩者差異在於電波式精度不受氣溫影響，且須擁有電波執照。超音波則是容易受氣溫影響，須另設氣溫計實施校正。若能先用另設的水位計算出水位與斷面積，就能將斷面積乘以本流速計所測得流速，算出流量。

地表伸縮計

在地表面移動區與不移動區的兩點之間（中間夾著崩塌龜裂）拉一條銹鋼線，計測其伸縮量就能算出變位的機器。廣泛運用於地滑監控。

鋼索檢知器

土石流檢知感測器的一種。在溪流橫斷方向拉出鋼索檢知器的線，由土石通過鋼索被切斷的狀況，就能檢知土石流。構造簡單相對可靠性高，但每次操作完都得重新拉線。若能在相同場所不同高度設置複數感測線，也能用來推定土石流規模。

振動檢知式土石流感測器（振動式感測器）

土石流感測器的一種。利用設置在溪流附近、能測定土石流沿溪流流動時所發生地盤振動大小的振動計，振動超過一定大小就能感測、檢知可能發生土石流的機器。可重複檢知，同時能推定土石流流量與規模。

崩塌感測器

崩塌感測器能檢知變位所導致感測器傾斜狀況，然後用無線電將訊息傳遞出去。可用來監視堤壩區侵蝕導致產生變位之狀況。特徵是廉價、施工簡單、可長期應用等。

雨量計（傾斗型雨量計）

進入口徑200mm傾斗受水口的降水達到0.5mm或1.0mm就會傾倒一次，依據翻倒次數就能推定雨量的雨量計。日本氣象廳自動氣象數據探測系統（AMEDAS）觀測所大量使用。近年來也有將受水部設在側面、能提高風雨降水捕捉效果的高海拔用雨量計。

監視攝影機

有市售錄影機或監視專用CCTV攝影機二種。前者價廉且容易操作、購買，消耗電力小，常用來實施Ku-SAT影像監視。後者影像分析度高，夜間使用效果佳，但消耗電力大、資訊傳送量大，需以光纖電纜等傳送資訊。

雷射掃描儀（光達）

朝計測標的物打雷射光，從雷射光往返所用時間，計測兩地距離，同時根據照射方向與角度資料，能取得計測標的三維座標的機器。能幾乎將所有標的物的詳細立體形狀畫出來，常見做法有飛機搭載雷射測距裝置實施測量的「航空雷射掃描測量儀」，與比航空雷射測量精密度更高且能高精度取得資料、可攜式測量機所使用的「地面雷射掃描測量儀」二種。

全測站儀

全測站儀乃是可同時測定測定點垂直角・水平角・距離三項要素，並將測定值轉成數位而儲存起來的電子光學測量機，也是目前測量機主流產品。全測站儀有稜鏡與免稜鏡兩種，前者測定射在測定點反射鏡的反射光，測距長而精度佳，但很多堤壩現場難以設置反射鏡，也就無法運用這種方法。後者不必設反射鏡，就能測定標的物的反射，因此也能用於堰塞湖測量。

距離計（簡易雷射測距儀）

遠距地朝計測標的物照射雷射光，然後從反射所需時間計算距離。也有可測量高角度或平面角的機型，堪稱是免稜鏡雷射全測站儀的簡易版。價格低廉、重量輕且體積小，容易攜帶。

GPS（Global Positioning System）

運用衛星測定標的物在地球上目前位置的全球定位系統，可應用在各種領域。將GPS設在堆積土砂中，可掌握其移動量；若運用於山區，則有時會受地形與樹木影響而接收不到訊息。

Ku-SAT（衛星小型畫面傳送裝置）

應用國土交通省各辦公室所建立通訊衛星的資訊傳送裝置，分為行動基地台（設在辦公室）與行動基地台（設在災害現場），機器元件則有天線、ODU、LDU、影像符號化裝置。特徵是具有優異的機動性、廣域性、一傳多、耐災害性。可利用圖像傳送、電話或電話線的方式傳送數據。

遙測系統/災害遙測

遙測儀可運用無線方式將水位與雨量等觀測資訊傳送到遠方，是國土交通省與各自治體廣泛運用的資訊收發系統。實施災害遙測時，可將本系統人工帶到災害現場。

卷末資料

1. 代表性的監視・觀測機器性能與規格

表 代表性觀測機器的性能與規格（1）

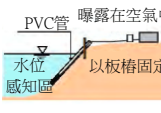
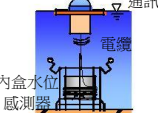
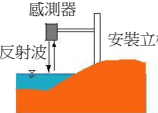
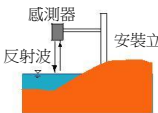
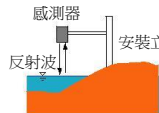
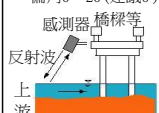
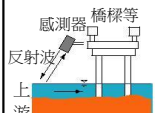
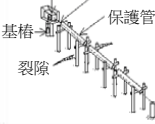
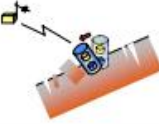
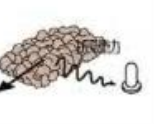
監視內容		整體狀況		水位				流速			
監視機器		可攜式攝影機 (數位相機)	固定式攝影機	水壓式水位計	空投式水位觀測 浮筒	非接觸式水位計			可攜式流速儀 (普萊斯式・電磁式等)	非接觸式流速計	
						超音波式水位計	電波式水位計	光波式水位計		電波式流速計	超音波式流速計
外觀											
測定項目		影像	影像	水壓到水位變換	從感測器到水面為 止的距離(水深)	從感測器到水面為止 的距離(水深)			旋槳的迴轉次數等	都卜勒變位	都卜勒變位
測定範圍		依鏡片・設定位置而定 被拍攝物體最低照明度 : 5lx	依鏡片・設定位置而定 被拍攝物體最低照明度 : 0.0007lx	～水深70m	～水深40m	水深0.6～15m	水深0～20m	水深3～50m	0～2m/s左右	流速: 0.5～20m/s 距離: 1～40m	流速: 0.5～10m/s 指定水位10m以內
測定精度		畫素: 水平1920 畫素×垂直1080畫素	解析度: 水平850條 、垂直350條	F.S 0.05% (10m測定用0.5cm)	F.S 0.05% (10m測定用0.5cm)	± 1cm	± 10cm	± 1cm	F.S 1%	± 0.05m/s	± 0.01m/s
電 源	電源種別	商用電源 電池驅動	商用電源	商用電源 電池驅動	電池驅動	商用電源	商用電源 電池驅動	商用電源 電池驅動	電池驅動	商用電源 電池驅動	商用電源
	消耗電力・電流 (標準電池的使用時間)	4.5W 使用標準電池: 約2小時	AC100V 約270W	DC12V 3mA (感測器單體)	DC12V 450mA (含感測器、通訊裝置)	DC12V・20W以下 AC100V・30VA以下 (感測器單體)	DC18-36V 最大22mA (感測器單體)	DC12V (感測器單體)	電池約15小時	DC48V 最大0.12A	AC90～110V
與通訊系統連結 (詳細參照表2)		Ku-SAT 衛星通訊車 光纖等	Ku-SAT 衛星通訊車 光纖等	幾乎所有機器都 能傳送	用內建的衛星通訊 終端機傳送	幾乎所有機器都 能傳送	幾乎所有機器都 能傳送	幾乎所有機器都 能傳送	—	幾乎所有機器都 能傳送	幾乎所有機器都 能傳送
施工效率・附帶設施		三腳等設置 設在屋外須有方法  相機用三腳架	相機支柱、電源配線 等施工 高度約1m  監視攝影機 影像內容 數位傳送	固定設置在護岸 等地點  PVC管 曝露在空氣中 以板棧固定 水位 感知區	由直升機空拋設置  浮筒 衛星 通訊 電纜 內盒水位 感測器	收發器安裝立柱等 施工  感測器 安裝立柱 反射波	收發器安裝立柱等 施工  感測器 安裝立柱 反射波	收發器安裝立柱等 施工  感測器 安裝立柱 反射波	需人工安裝立柱等  感測器	可用三腳架等簡易設置, 或設在橋腳等構造物上 俯角20～45°(建議40°) 偏角0～20°(建議0°)  感測器 橋樑等 反射波 上游 下游	設置在橋腳等構造物上 俯角30～45°(標準45°) 偏角0°標準  感測器 橋樑等 反射波 上游 下游
維持管理注意事項		換電池 鏡片髒污	—	被流入的土砂埋沒 感應部航髒・阻塞	土砂或流木勾住電纜、 餘震導致內盒翻倒	—	—	鏡片髒污	—	—	—
代表性機器的單體費用概算 (不含工程費與通訊機器費用)		5～20萬日圓	300～500萬日圓	20～130萬日圓	370萬日圓～ (含通訊機器)	100～200萬日圓	100～200萬日圓	100～200萬日圓	40～60萬日圓	100～300萬日圓	100～300萬日圓
初次運用時所需措施		都是日常常用配件, 容易取得	須設置商用電源 設置工程得花點時間	水文觀測常用, 容易取得,可以 臨時設施進行運用	廠商未必有庫存, 最好事先備齊	廠商未必有庫存, 須進行立柱施工等	廠商未必有庫存, 須進行立柱施工等	廠商未必有庫存, 須進行立柱施工等	水文觀測常用 容易取得	廠商未必有庫存, 且須橋樑等構造物	廠商未必有庫存, 且須橋樑等構造物
備 註											

表 代表性觀測機器的性能與規格（2）

監視內容		降雨量	侵蝕量			移動量	崩塌檢知	發生檢知	
監視機器		傾斗式雨量計	距離計 (簡易雷射儀)	全站儀 (無稜鏡)	3D雷射掃描儀	伸縮計	崩塌感測器	鋼索感測器	振動感測器
外觀									
測定項目		傾斗的傾倒次數	由雷射往返時間算出到標的物的距離	由光往返時間算出到標的物的距離	由雷射往返時間算出到標的物的距離	鋼鋼線的伸縮量	感測器的傾斜度	鋼索切斷	土石流振動
測定範圍		150mm/h以下	10~1,100m	5~2,000m	2~2,000m	~500m	傾斜30°以上	鋼索切斷 拉扯強度141kg	~2000gal DC~30Hz
測定精度		0.5 or 1.0mm	0.5~1.0m	$\pm(10+10\text{ppm} \cdot D)\text{mm}$	$\pm 10\text{mm}$	0.1mm	—	—	0.1gal以下
電 源	電源種別	商用電源 電池驅動 (感測器不需電源)	電池驅動	電池驅動	商用電源	電池驅動	電池驅動 (接收信號機側 需另外安裝)	商用電源 電池驅動	商用電源 電池驅動
	消耗電力・電流 (標準電池的使用時間)	4號電池2顆約使用1年 (使用簡易記錄器)	DV3V	DC6V 內建電池約可使用 6小時	108W以下	3顆一號乾電池， 可使用6個月以上	4顆三號乾電池1年 以上	DC12V 平均消耗電流： 0.5mA以下	DC12V 20mA
與通訊系統連結 (詳細參照表2)		幾乎所有機器都能 傳送	—	幾乎所有機器都能 傳送	幾乎所有機器都能 傳送	幾乎所有機器都能 傳送	幾乎所有機器都能 傳送	幾乎所有機器都能 傳送	幾乎所有機器都能 傳送
施工效率・附帶設施		水平固定基台 	距離計：手持計測 	以三腳架等設置 	以三腳架等設置 	設置基樁與保護管 伸縮計 鋼鋼線 基樁 保護管 裂隙 	邊坡打設基樁 固定感測器 	設在溪流兩岸的 構造物或基樁上 	設在基礎土台上 
維持管理注意事項		去除集水部的雜草 樹葉等	—	—	—	避免鋼鋼線接觸不良	—	被動物等切斷	雜波導致錯誤動作
代表性機器的單體費用概算 (不含工程費與通訊機器費用)		10~40萬日圓	距離計：3~6萬日圓	100~200萬日圓	~200萬日圓	20~30萬日圓	感測器5萬/台 接收訊號機 50萬	60萬日圓	70~200萬日圓
初次運用時所需措施		氣象觀測常用， 容易取得、施工	測量時常用，容易 取得器材	測量時常用，容易 取得器材	價格昂貴，未必需 要採購這項儀器	常用來進行地滑 觀測，取得容易	廠商未必有庫存	常用來進行土石流 觀測，容易取得	廠商未必有庫存 需設定檢知基準
備 註									

2. 以直升機進行監視

～土木研究所資料：擷取自”以直升機進行土砂災害狀況相關研究報告書（1991年7月）”

1. 直升機各種感測器與土砂災害資訊內容關聯性之探討

根據以往地震等災情調查結果，蒐集並傳達土砂災害資訊應改善重點如下。

a) 蒐集資訊太費時

停置車輛等道路障礙物、設施受損以及返家車輛增加等導致道路壅塞，因此無法順利實施設施土砂災害調查。此外，民眾通話暴增，經常因此難以將調查結果傳播出去。

b) 資訊傳達內容不足

災後情況混亂，所傳遞的資訊多只是片段內容，接收資訊者無法藉此充分掌握災情。

c) 資訊不正確

同時湧進大量未經確認資訊時，只能靠負責調查人員主觀判斷，無法充分確認資訊是否精確。

過去經驗顯示，災後進行現場災情調查，卻多半難以在土砂災害發生後迅速蒐集並正確地將資訊傳達給有關部門。因此，發生大規模、大面積土砂災害時，可運用富有機動性的直升機進行空中災害調查。是能正確且快速傳送災情、客觀的資訊傳送方式，且能使用可留下記錄的相片，以及錄影等影像資訊。

1.1 防災資訊直升機“藍天號”概要⁵⁾

本項調查運用建設省1988年4月引進的防災資訊直升機“藍天號”。引進藍天號目的在於河川、海岸、道路等設施發生大規模災害時，可即時蒐集並傳達大範圍眾多資訊。為了降低災情、協助提早災害重建，也可提升設施管理、設施計畫與調查等的效率而引進這種美製雙旋翼中大型直升機「貝爾214ST」機種。本機主要性能如表－1.1所示。本機主要用來進行資訊蒐集與傳達，配備影像傳送系統、衛星定位裝置、熱線影像系統、垂直立體空拍系統等。

表－1.1 藍天號的主要性能

最大搭載人數 (含駕駛員)	20名
最大巡航速度	240km/h
最大運用高度	6,060m
最大續航距離 (增加油料箱時)	1,080km
最大續航時間 (增加油斷箱時)	4.5小時
有效載重量	3,619kg

1.2 空中資訊感測器概要

蒐集防災資訊專用的直升機「藍天號」配備空中資訊感測器如表1.2所示有4種。其中，監視錄影機主要用來確認視野的垂直靜像錄影機。這些錄影機都能空中立即傳送所拍攝影像資料，能迅速蒐集災害資訊，因此可能成為災區主要資訊來源。以下介紹4種直升機所配備感測器機能。

1.2.1 彩色錄影機

本錄影機搭配防震懸架裝置（WESCAM）與三軸陀螺儀，可偵測振動量，搭配校正機制，因此能取得穩定光軸。攝影機光軸方向（攝影方向）與焦距、焦點之選定，乃至於對焦等操作，都可用機內遙控裝置操作完成。

配備2/3英吋規格之二色變異稜鏡3管光導攝像管，具備水平解析度（中心部）650條以上之性能。影像有效畫素為橫×縱＝450×350，約15萬畫素。又，每個畫素大小約20 μ m平方。影像上所拍攝物體大小可配合比例尺（膠點距離／攝影距離）變化。因此，每個畫素所顯示拍攝物體邊界長度試算如下。實際最小辨識長度約6條掃描線，具體而言，其識別極限值為表－1.3值的6倍，且辨識難易度會受被拍攝物體反射能、反差與明亮度等攝影環境影響。除此之外，辨別難易影響要素還有被拍攝物體與相機的相對速度，以及比例尺。

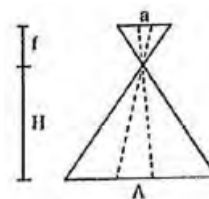
表－1.2 空中資訊感測器

感測器的種類	感測領域	光 軸	焦距距離	收 錄
照相錄影機 (HL-95)	可視光線	水平 360° 垂直 30°～90°	f=12.5～275mm 伸長2倍	3/4"，1/2" VTR
熱紅外線錄影機 (2500A/B)	熱紅外線 (8～12 μ m)	水平 +120°～－120° 垂直 +30°～－180°	普通角 (40"×21.5°) 望遠 (7°×3.25°)	1/2" VTR
垂直靜像錄影機 (MK-70) 2台	可視光線	垂直固定 垂直固定 基線長 11m	f=60mm (53mm×53mm)	各種 底片
監視錄影機 (C1-10)	可視光線	垂直固定 垂直固定 基線長 11m	f=8mm	1/2" VTR

表－1.3 從攝影距離H與焦點f關係看影像的辨別長度

H \ f	12.5～275mm	25～550mm
	24.0～1.1cm	12.0～0.55mm
150m	24.0～1.1cm	12.0～0.55mm
300m	48.0～2.2cm	24.0～1.1cm

$a : f = A : H$ 因此，
 $a = (f/H) A$
 H ：攝影距離
 A ：被拍攝物體的長度
 f ：焦距
 a ：影像長度



1.2.2 熱紅外線錄影機

Hg Cd Te元素的單管連續掃描影像感測器能感測 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 熱紅外線，因此能辨別 $-30^\circ\text{C} \sim +55^\circ\text{C}$ 範圍的物體。此外，其溫度解析度為 0.1°C ，最小辨別溫度差為 0.25°C 。有效畫素約橫 $\times$ 縱 $= 350 \times 180$ （160）（（ ）為窄視野），影像解析度若以彩色錄影機為1.0，本錄影機約 $0.8 \sim 0.7$ 。

1.2.3 垂直靜像錄影機

這是有效畫角 $53\text{mm} \times 53\text{mm}$ 、內部定位要素明顯的照相測量用錄影機，在機頭與尾部以基線長11m的間隔安裝。緊急救災的重點在於迅速製作資料而非要求精密圖像，因此即使精度要求較低的重疊攝影率60%左右產品也無妨。即使重疊攝影率提高到90%，因為 $H = 125\text{m}$ ，還是只能進行低空攝影。實務上多配合比例尺 (f/H) ，適當地調整快門間隔，取得目標影像。

從快門間隔 (t) 與飛行速度 (V) 可依據 Vt 算出基線長。若重疊攝影率60%，

$$Vt = (1 - 0.6) A$$

$$\therefore a = (f/H) (Vt/0.4)$$

因此，從飛行速度 (V) 與對地高度 (H) ，能如表－1.4所示地算出快門間隔。

但若低空高速飛行，影像可能模糊，因此，垂直靜像攝影辨識長度設定為 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ ，若快門打開期間，只有這個長度的影像移動，就和影像明顯模糊時的對地高度進行飛行高度搭配，選擇適合的快門速度，如表－1.5所示。

若快門為低速的話，有時影像還是會因為機體振動而模糊，特別是 $1/125$ 秒以下容易發生這種現象。

另外，使用垂直靜像錄影機無法在空中調整曝光量，得事先設定好現場明亮度與底片感光度，並決定好快門速度之組合。此外，使用紅外線底片等特殊底片，最好先安裝IR濾鏡並調整焦距。

表－1.4 根據對地高度 H 與飛行速度 V 之關係選擇快門間隔

$H \backslash V$	30km/h	60km/h	90km/h	120km/h
150m	0.4sec	3.2sec	2.1sec	1.6sec
300m	12.7sec	6.4sec	4.2sec	3.2sec
450m	19.1sec	12.7sec	6.4sec	4.8sec

表－1.5 根據對地高度H與飛行速度V之關係選擇快門速度

H \ V	30km/h	60km/h	90km/h	120km/h
150m	1/125～ 1/500	1/250～ 1/500	1/500	1/500
300m	1/60～1/500	1/125～ 1/500	1/250～ 1/500	1/250～ 1/500
450m	1/60～1/500	1/125～ 1/500	1/125～ 1/500	1/250～ 1/500

1.2.4 監視錄影機

以CCD作為攝影元件的錄影機，水平解析度為300條。這種錄影機的光軸固定在垂直正下方，因此，除了能確認靜態錄影機的視野，也能判定直升機所在地、掌握災害平面規模，並能以立體影像判定高度與深度等活用。利用立體攝影圖像判定高度與深度時，彩色錄影機的錄影影像與垂直靜像攝影具有優異解析度，若能連續長時間記錄監視器錄影影像，就能在任何地點實施高度判定。

立體模式的高差（ ΔH ）公式如下。

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{P + \Delta P} H$$

H : 攝影高度
 ΔH : 高差
 P : 視差
 ΔP : 視差差

視差 (P)乃被拍攝物體 (點) 2張影像的位置差，基線長 (B) 與比例尺 (f/H) 的積 $P = (f/H)$ ，視差為影像上2點視差量之差。因此，高度的精度會明顯受影像上視差的測定精度影響，影像分析能越高，精度越好。就此而言，監視錄影影像品質低於其他種類的影像數據。

利用視差差的測定技術也可用來測定流速。

1.2.5 已經高度化的新技術

為了提升資訊蒐集能力與資訊加工技術，今後須全力發展的新技術如下。

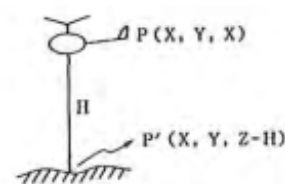
(1) 影像感測

若要提升解析度，可使用高畫質系統。

達到目前產品2部倍水平掃描數目1125條、畫素提升5倍，即使不必降低高差高度，也可取得高解析度。此外，改善攝影環境方面，有夜視系統。其最低亮度只需0.021 Lux，就能取得彩色照片，能大幅提升夜間與低溫環境蒐集資訊能力。除此之外，也可考慮使用影像雷達系統與衛星圖像資料庫系統等方法。

(2) 地形感測

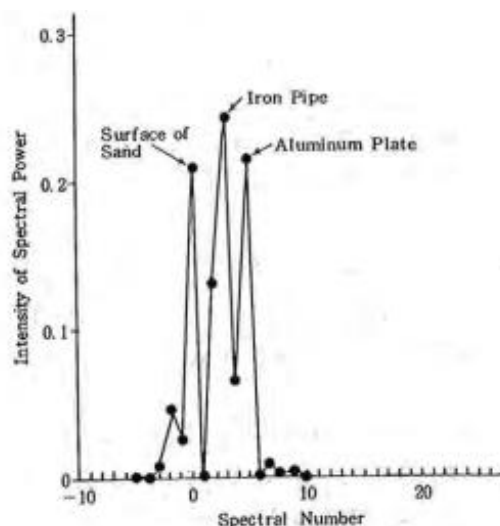
GPS數據可掌握直升機所在地，若能了解直升機與地表距離，即可取得地形斷面資料（縱・橫斷，高低落差・深度）。這種方法特別能迅速定量地掌握堰塞湖及大型坡面崩塌・地滑等大規模土砂災害型態特徵。這種影像數據的優勢在於能蒐集面的資訊，高度與深度方向的資訊精度則有待加強。若能補充探測資料，就能提高資訊蒐集精度。特別是運用雷射的探測，其光束角較小，即使林地也能有效運用。目前有人開發出可在10～500m間隔達到0.2m精度的產品。



差・深度）。這種方法特別能迅速定量地掌握堰塞湖及大型坡面崩塌・地滑等大規模土砂災害型態特徵。這種影像數據的優勢在於能蒐集面的資訊，高度與深度方向的資訊精度則有待加強。若能補充探測資料，就能提高資訊蒐集精度。特別是運用雷射的探測，其光束角較小，即使林地也能有效運用。目前有人開發出可在10～500m間隔達到0.2m精度的產品。

(3) 土質感測

災區土質資訊是預測災害是否擴大、擬定復舊計畫非常重要的基礎資料，但現行計測方法只能從表面狀態推測，最好能進一步及時掌握移動土塊厚度與內部構造、滲透面深度等，更有效判定其危險度。目前已有實用化的地面型雷達探測機，今後最好進一步開發運用空中資訊感測雷達波的方法。



圖－1.1 檢知埋在砂中目標的實驗結果（快速傅立葉轉換後），此時鋼管埋在表面下方40cm位置。此外，鋁板鋪在砂盒下面（距離砂表面下方70 cm）。

地下探測雷達即使無法掌握土壤粒徑組成，也可能能具體掌握堰塞湖土砂堆積部高度、崩塌殘土厚度與表層土層厚度等深度方向的土質構造。

圖－1.1係砂中目標檢出案例。若地層的比誘電率的差別夠大，就能檢出其層面，當作土質感測器利用。另外，這種機器也具備地形感測機能。

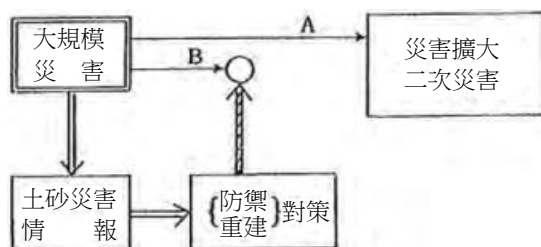
(4) 位置感測

GPS系統不需行動基地台，能提供相當不錯的位置精度，也有人在研究災害資訊系統開發計畫方面的應用。

實務上定點收訊時可定位到數cm以下，但利用直升機這種移動體實施觀測，會有超過幾m位數的誤差，因此還只是研究開發階段。

1.3 土砂災害資訊內容與感測器的有效性

本調查目的在於發生大規模災害時，如何提供基本資訊，協助防止災害擴大、防止二次災害，災區設施快速重建等。



換言之，本計畫希望運用土砂災害資訊為基礎的緊急對策等，防止或減輕（演變B）大規模災害發生後土砂移動過程導致災情擴大而造成的二次災害（演變A）。

土砂災害資訊可分為掌握災害實況的實際狀況資訊，以及預測災害是否擴大、防止二次災害的變動資訊二類。這二類還可進一步細分，如下。

a. 用來掌握實際狀況的資訊

- a-1. 大面積邊坡崩塌・地滑與堰塞湖的位置・形狀・規模・範圍相關資訊
- a-2. 災區人員傷亡・建築物・道路・設施等災情相關資訊
- a-3. 災區周邊地形・土地利用・交通等相關資訊

b. 用來預測變動情況的資訊

- b-1. 地質・土質・構成材料・湧水・流入流量等變動因素相關資訊
- b-2. 龜裂・樹木傾倒・小規模崩塌・構成物異狀（變位・裂縫）等前兆現象相關資訊

根據這樣的分類，本調查之標的也就是土砂災害資訊內涵如下。大規模災害標的主要是堰塞湖以及大面積邊坡崩塌・地滑，由空中調查土砂災害的項目如表－1.7所示。¹⁾表之中被認為今後應具備的資訊感測，同樣也具有對應性。

表－1.6 土砂災害資訊內涵的分類

土砂災害的內涵		實態資訊			變動資訊		堰塞湖	大面積邊坡倒塌
		a-1	a-2	a-3	b-1	b-2		
①	大面積邊坡崩塌・地滑	○	○					①②③④
②	河床變動（堰塞湖）	○	○				①②③④	
③	山坡龜裂					○		⑤
	水壩龜裂					○		⑤
④	周邊土地利用狀況			○			⑦	⑦
⑤	周邊道路重建狀況		○				⑩	⑧
⑥	土砂災害前兆現象					○	⑤⑥⑦⑧	⑥
⑦	其他				○			

表－1.7 土砂災害資訊內容

區分	土砂災害資訊內容	資訊內涵	
		實態	變動
大面積邊坡崩塌・地滑	① 位置	○	
	② 範圍（長・寬・面積）	○	
	③ 形狀（縱斷形狀・橫斷形狀）	○	
	④ 崩土到達的範圍・土量	○	
	⑤ 邊坡・坡面的異狀等		○
	〃 龜裂		○
	〃 小規模崩塌		○
	〃 樹木等傾倒		○
	〃 構造物龜裂		○
	〃 湧水・山澗水的流量變化、混濁		○
堰塞湖	⑥ 測定地表移動量（速度）		○
	〃 和地表既有影像比較（移動量）		○
	⑦ 周邊的地形・民宅分布狀況	○	
	⑧ 人員傷亡・建築物・設施等的災害狀況	○	
	① 位置	○	
	② 高	○	
	③ 長	○	
	④ 寬	○	
	⑤ 水流流入量	○	
	⑥ 壩的水位（變化）		○
	⑦ 構成材料的透水係數	○	
	⑧ 構成材料的粒徑	○	
	⑨ 周邊的地形・家屋分布狀況	○	
	⑩ 人員傷亡・建築物・設施等的災害狀況	○	

發生土砂災害時能取得災區實況的主要資訊來源如下。

- 空拍影像
 - ・彩色錄影
 - ・熱紅外線錄影
 - ・垂直立體攝影（及監視器畫面）
- 補充資訊來源
 - ・2萬5千分之1地形圖
 - ・災害前的圖像數據（衛星影像、空中錄影）
 - ・防災資訊地圖等（地質圖，氾濫危險區域等）
- 數據加工支援
 - ・直升機的位置・高度・焦距等

涵蓋全國的1/25000地形圖，也是有效的補充資訊來源。不論哪裡發生災害，只要搭配直升機的影像數據，就能掌握影像的基本資訊（a. 實態資訊）。

此外，數據加工支援方面，可利用GPS進行定位，找出攝影光軸方位，並利用地形感測與土質感測等設備，建立災害形狀相關數據，達成資訊內容高度化與效率化。

表－1.8乃土砂災害資訊內容與各種資訊來源對應性之檢討結果。

資訊與感測器的對應性及相關問題如下。

a. 大面積邊坡崩塌・地滑

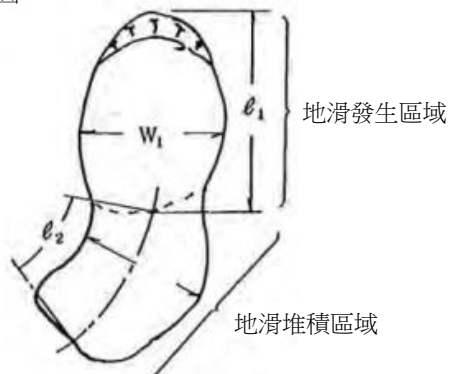
① 位 置

利用彩色錄影與地形圖，能迅速掌握災害發生地點與災害目前到達的地點等。也可利用衛星定位GPS等。

② 範圍（長・寬・面積）

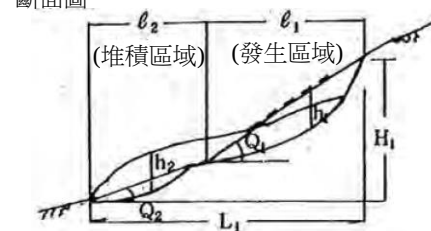
按照下圖所示地滑形狀各內容項目的定義，從直升機空拍影像檢查非災區與災區的界線，然後把圖片套到地形圖上，就能知道災區範圍。

平面圖



- W_1 發生地滑區塊最大寬度
- W_2 移動土塊堆積區域最大寬度
- l_1 發生地滑區塊最大水平距離
- l_2 移動土塊堆積區域最大水平距離

斷面圖



案例調查之中的 l_1 、 l_2 、 W_1 、 W_2 定義

表－1.8 土砂災害資訊內容與感測器的對應性

土砂災害資訊內容		影像感測				地形 形圖	GPS		既有 影像	相關 數據	地形 感測	土質 感測
		彩色 VTR	熱紅 外線	垂直 拍照	監視器 VTR		位	高				
大面 積 邊 坡 崩 塌 · 地 滑	①位置	○	△		○	○	○					
	②範圍（長・寬・面積）	○	△		○	△	○	○		○	○	
	③形狀（橫斷形狀・縱斷形狀）	△		○～△		△					○	
	④崩土到達範圍・土量	○			○	○	○			○	○	○
	⑤邊坡・坡面的異狀											
	〃 山腰龜裂・高低水平差異・隆起	△	△	○							△	
	〃 小規模崩塌	○	○									
	〃 樹木等傾倒	○～△	△									
	〃 構造物的龜裂・隆起	△		○								
	〃 湧水・山澗水的流量變化・混濁	○～△	○～△									
	⑥測定地表移動量（速度）											
	〃 移動量（比較2個時間點影像）	○～△		○					○			
	〃 泥沼厚度・含水量		△									○
	〃 構成土塊材料的土質	△	△									△
堰 塞 湖	⑦周邊的地形・民宅分布・土地利用	○		○	○	○			○			
	⑧人員傷亡・建築物・設施災情											
	〃 建築物・設施災情	○				○			○～△			
	〃 道路修復狀況	○				○						
	② 位置	○	○		○	○	○					
	②高度（厚度） ③長 ④寬	○	○		○	○		○		○	○	△
	⑤流入流量											
	〃 河床橫斷形狀 縱斷形狀	△		○		△					○	
	〃 流速	○		○								
	⑥壩的水位（變化）											
	〃 水位（變化）	○									○	
	〃 溢流・侵蝕・濁水	○	○									△
	⑦構成材料的滲透係數	△	△									△
	⑨ 構成材料的粒徑	△										△
	⑨周邊的地形・民宅分布・土地利用	○		○	○	○			○			△
	⑩人員傷亡・建築物・設施災情											
	〃 建築物・設施災情	○				○			○～△			
	〃 道路修復狀況	○				○						

凡例：○：有對應 △：難以對應 無：無對應 高：高度 位：位置

此時若併用地形感測並記錄飛行速度，就能高精度地掌握範圍。

此外，也可從形狀要素相互關係迅速有效地得出推定值。

③ 形狀（縱斷形狀・橫斷形狀）

和蒐集範圍資訊相同狀況，圖像數據大多很難掌握高度方面的資訊。利用垂直立體攝影相當耗時，且須針對每個部分完成計測再整合起來，操作不易，地形感測因此相形重要。

若要有效率掌握災區基本形狀，應使用地形感測。

④ 崩土到達範圍・土量

綜合崩土範圍與形狀，就可掌握崩土到達範圍與土量等災害資訊。

⑤ 邊坡・坡面的異狀

邊坡・坡面異狀是災害擴大前兆的重要資訊。

類似這樣的異狀需仔細了解，圖像數據分解能高低因此攸關重要。

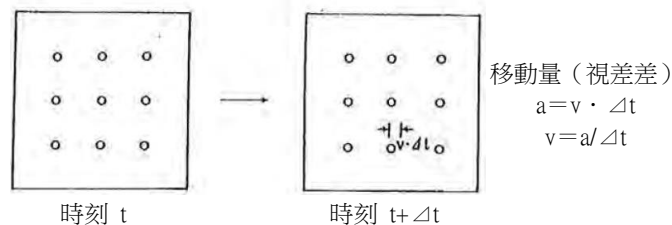
對地高度150 m時，以焦距150 mm攝影可得到20 cm大小，算是長度的最小單位；若以44倍變焦、最長焦距550 mm處理，就會變成5 cm左右。

因此，大於5 cm才能辨識出所拍攝物品內容，因此，有些資訊內容預估得設定超低速・低高度・長焦點的攝影模式。

⑥ 地表移動量（速度）之測定

災害發生期間土砂移動速度快，彩色錄影是重要資訊來源。但類似前兆現象這樣的微速度現象，錄影難以掌握，最好篩選出能利用垂直攝影取得視差差的土砂移動變動地點，實施速度計測。物體移動速度測定，主要是運用喀麥隆效應之原理。

下圖只有中間的點才擁有速度 v ， Δt 時間之後會出現右圖影像。兩者差距就是視差，一般而言，因為地表有凹凸，所以任何地點都有視差，因移動導致視差的增減，稱為視差差。知道視差差的量，就能得出 Δt ，從而算出速度。



地表移動相關的資訊，包括構成材料的厚度・含水量・土質等資訊，對於預測災害是重要的。土層含水狀態會影響地表所放射熱紅外線，因此能以熱紅外線錄影了解其狀態，特別是運用電磁波的土質感測器所取得資訊，能有效推定地滑面位置。

⑦ 周邊的地形・民宅分布・土地利用

搭配使用彩色錄影VTR與地形圖，就能掌握這些現況。

若能取得既有的空拍圖或錄影VTR，就可立刻派上用場。但必須是之前不久製作的。

⑧ 人員傷亡・建築物・設施災情

道路重建狀況也是，都和⑦大致相同，但建築物設施災情特別須注意是否有微細龜裂與變形，因此最好像

⑥ 那樣實施攝影。

人員傷亡方面沒辦法直接取得相關資訊。建築物與設施是否有全倒、被淹沒、流失等狀況，可用大比例尺地圖加以判讀、調查。

b. 堰塞湖

① 位 置

與前項的大面積坡面崩塌・地滑相同

②～④ 高度・長度・寬度

與前項的大面積坡面崩塌・地滑相同

但堰塞湖高度（土砂堆積高度）也可利用土質感測器加以計測。

此外，堰塞湖堆積坡度（下游側）若能事先利用地形感測器加以計測，就能推定溢流時的水流剪應力。

⑤ 流入流量

若能取得河川橫斷形狀、水深與平均流速，就能推算出流入流量。河川橫斷形狀可從影像與地形圖推算出來，或者也可利用地形感測進行推算。流速可依據喀麥隆效應計算出來，或利用浮標法算出平均流速。

喀麥隆效應主要應用在水面較平滑地點，且需有較多浮游物。浮標測法則受限於必須用飛機空投。

以飛機空投浮標，需事先申請出動飛機。

⑥ 水壩的水位（變化）

掌握溢流・侵蝕・漏水等變化，加上以小時為單位的時序列連續觀察（攝影），就能掌握水壩水位變化。

但微小水位變化沒辦法只用圖像數據了解，不妨搭配比較地形感測斷面的方法。

⑦，⑧ 構成材料的滲透係數與粒徑

堰塞湖構成材料的土質常數，很難從遙測數據算出來。

因為圖像數據只能顯示表面狀態，無法說明內部狀態。即使熱紅外線錄影取得溫度分布與其時間變化，從而掌握構成材料與含水的不同分布狀況，仍無法了解其物性質。甚至即使完成土質感測、檢知不同物性邊界，還是很難了解構成材料之物質性質。

因此，就構成材料的滲透係數而言，得靠經驗判斷該表面物質狀態是粗砂粒、水容易滲透，還是細砂粒而具有良好保水性。若要了解其含水狀態，熱紅外線攝影可派上用場。

錄影機畫素越高，就能辨識越小粒徑。比如，高度150 m、焦距150 mm攝影，能辨識出1 m以上岩塊，1 m以下的就比較難以辨識。此時若搭配使用垂直立體攝影，能將辨識度縮小到5 cm。

若同時使用適當的長度標尺，進行表面石礫攝影，就能算出表面石礫粒徑分布。

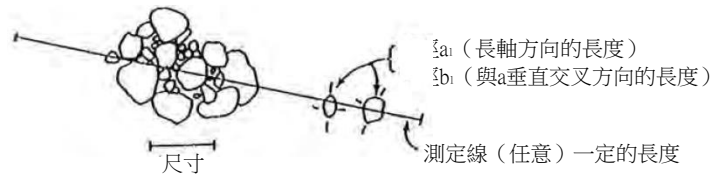
影像中任意畫直線，算出上面的石礫長徑^(a)、中徑^(b)、（短徑^(c)假定為上下方向），然後根據 $3\sqrt{abc} \propto 2\sqrt{ab}$ 算出粒徑，就能了解其粒徑組成狀況。

但這種方法只能了解表面粗粒礫的組成，無法顯示構成材料整體的粒徑。

⑨ 周邊地形・民宅分布・土地利用

與大面積坡面崩塌・地滑相同

參考（以照片調查粒徑組成）



代表粒徑通常就是中軸 (b)。此外，

也可了解以下的關係： $b \approx \sqrt[3]{abc}$

在此，假定

$$\alpha \cdot \sqrt{ab} = \sqrt[3]{abc}$$

就能從 $\sqrt{ab}$ 算出代表粒徑。蒐集測定線上每個不同粒徑階別的代表粒徑，就能算出粒徑組成。

⑩ 人員傷亡・建築物・設施受災狀況

與上述內容相同。

1.4 情報蒐集之飛行方法檢討

土砂災害資訊的內容，分成兩類整理會比較有效率。一類是用來掌握大面積坡面崩塌・地滑與堰塞湖檢討結果、災害實態的資訊。另一類是用來掌握二次災害等擴大預測相關變動的資訊。

此外，若要了解土砂災害發展階段，可從資訊活用的角度，區分以下不同的飛行方法種類。

- a) 緊急飛行
- b) 特定飛行
- c) 調查飛行

這些飛行方法的實施程序及其解說，下頁起將有所說明。

災害發生之後實施的緊急飛行，首要目的是將現場狀況及時傳達給災害對策本部，因此須重視影像傳送系統等的訊息傳遞。

反之，若重視災害實態的詳細掌握與變動預測等加工資訊，基本上須使用品質良好的第一手數據資料，即時資訊傳送的要求則較少。

換言之，災害復舊的各階段，所需的土砂災性質與傳遞方法都不同。其中，正式實施復舊對策的第三階段，不會那麼重視直升機所傳遞的資訊，即緊急復舊為主的第二階段，直升機所傳送資訊估計也有限制如下。

- (1) 雖然已經實施地面調查，但須立刻進行緊急復舊。
- (2) 直升機調查所取得的定量資料，可提供應急重建參考。

因此，利用直升機蒐集土砂災資訊的階段，主要是災害重建第一階段。原因是，可以遠比地面巡邏調查更高速、迅速且無死角地調查，快速而整體地掌握災區位置・範圍・災情分布，以及重要設施災情概要、二次災害發生的徵兆等，也可作為之後擬定災後復舊方針的參考。

表－1.9 直升機階段性飛行方法

飛行方法	緊急飛行	特定飛行	調查飛行
災害復舊 第一階段 (擬定方針)	依據蒐集大區域資訊視察者之指示，進行飛行・攝影	按照所設定的路線飛行，依攝影條件進行調查	接受細部擴大調查視察者的指示
災害復舊 第2階段 (緊急復舊)	——	——	無法實施地面調查、定量型的資料
災害復舊 第3階段 (正式復舊)	——	——	有效情況

特別是此次調查標的係長野縣西部地震之後發生土砂災害所造成的大規模災害，當地情況是放著不管很可能會引發重大二次災害，因此希望直升機充分發揮其機能。

以下整理透過這次調查工作所得出，可用來掌握土砂災害災情、取得復舊工法選定所需資訊的直升機飛行方法。

1.4.1 從直升機機能的角度來看

a) 飛行高度

就直升機機能而言，任何高度都能飛行，但畢竟有最低飛行高度的規定限制，若需低於該規定高度飛行，得事先申請航空局許可。難免有時會因為事態緊急而來不及申請，所以原則上還是必須在最低飛行高度以上進行飛行工作。此外，直升飛行某種程度可以配合高低起伏，但不易保持固定的最低高度，通常會變成接近等壓面（一定高度）的飛行模式。因此，遇到調查地點海拔較高的部分，直升機仍須要維持最低飛行高度，此時凹凸所導致的比例尺（ f/H ）變化，就可用變焦方式加以處理。

b) 旋 轉

直升機駕駛員・錄影人員及彩色錄影機位於機體右側。因此，直升機旋轉通常是右轉（順時針）比較容易。也因此，機上視察者如果也能坐在右側，彼此比較容易溝通。

c) 機內通話

除了視察者坐右側之外，最好還能事先統一攝影標的物用語，可讓直升機駕駛與錄影人員以及視察者有共通的語言。飛行之前得事先磋商，掌握彼此都了解的專有名詞，這點非常重要。

d) 飛行方法

強風下飛行，飛行方法有時會受到制約，有時因此無法自由選定相機光軸方向，因而無法取得預期的數據資料。

e) 法規與規則

直升機相關的法規與規則，主要有以下幾點。

- 須依據飛行計畫進行飛行
- 須遵守管制圈與管制區內的飛行限制
- 必須是視線良好飛行條件下（視程5 km，雲底300 m以上）才能飛行
- 場外起降的事前許可
- 事先取得限制高度以下飛行許可
- 事先取得拋投物體（浮標）許可

1.4.2 從各種感測器的機能來看時

a) 比例尺

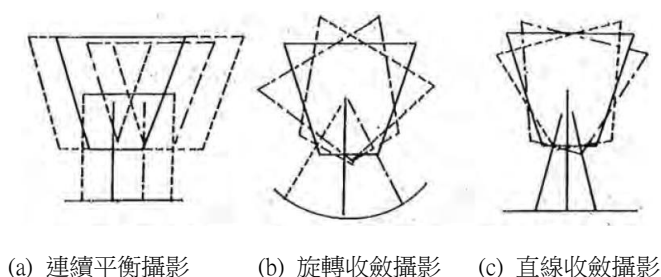
比例尺會明顯影響圖像數據資訊精度。這種參數（ f/H ）之中，相當於H的對地高度就直升機機能而言，並不容易精確掌控。因此，不妨調整攝影機焦距，決定比例尺。在空中使用變焦機能時，為了能讓視察者有效判斷，最好每個不同焦距進行攝影都維持一定期間（比如幾秒）以上，過程中隨時用聲音記錄當時的焦距是多少即可。

b) 光 軸

遭遇重大災害，多半得對該地點實施旋轉攝影（圖－1.2(b)），或進行追蹤攝影（圖－1.2(c)）。以加工技術提升災害資訊時，類似（圖－1.2(a)）的狀態也能製作立體聲對，算是不錯的飛行方法。因此，最好也入類似(a)的攝影方法，此時重點在於不使用機體軸，而是與飛行方向成直角地取其光軸。

c) 曝 光

彩色錄影機有自動曝光調節機能，即使白天戶外、陰天也能攝影（最低感度200 Lux）。因此，垂直靜止攝影機在沒辦法進行控制的條件下，必須考量現地的明亮度條件，事先設定曝光量。此時從機體振動的角度來看，曝光速度須高於 $1/250$ ，並須事先決定可以配合所使用底片感光條件的快門速度。使用開放的F 5.6鏡頭，基本上最好晴天白天進行攝影。



圖－1.2 傾斜攝影的分類

底片感光度變化方面，黑白底片解像力較佳，因此不一定要使用彩色攝影，建議使用黑白照片。此外，若使用熱紅外線底片，應搭配底片形式裝置IR濾鏡，並須事先修正焦點位置。

1.4.3 從災害形態來看

a) 大面積邊坡崩塌・地滑

類似御岳崩塌這樣的巨大災害，很難一舉掌握其整體樣貌，因此最好能綜合災害的各部分，整理出整體圖像。

通常以遠景掌握全貌，但有時為了掌握二次災害災情是否擴大、設施損傷程度如何，重要地點必須實施細部擴大攝影。類似這樣地同時蒐集性質相反的資訊，很難只靠調整攝影機焦距就解決問題，更何況直升機還有續航時間的限制。因此，面對御岳崩塌這樣的巨大災害，有必要針對攝影目的，使用更多的飛行時間。災害資訊內容基本上有以下二大類。

① 用來掌握災害規模與範圍等實態的攝影

② 用來掌握預測災害是否擴大之變動因素的攝影

若要掌握災區實態，除非情況緊急，否則應從周邊開始攝影。此外，活用擁有垂直光軸的監視錄影機，並遵照參考定義地進行縱橫斷飛行，更容易掌握災害的規模與型態。特別是未來若引進地形感測，更能即時掌握縱橫斷形狀、深度坡度等重要資訊。

用來掌握變動因素的攝影，其攝影標的乃是包含周邊地區的整個災害區域。若還不了解出現變動因素的地點，可按照橫斷或縱斷方向保持一定飛行方向，用掃描飛行的方法進行攝影。此外，這項攝影工作的基本條件是利用擴大攝影或立體攝影等，蒐集能用來解讀的影像，因此必須配合現場設定標準的比例尺（ f/H ），且搭配設定其飛行速度、攝影高度等飛行方法。類似這樣配合災害規模設定適當的攝影與飛行方法，最好事先予以標準化（圖－1.3）。

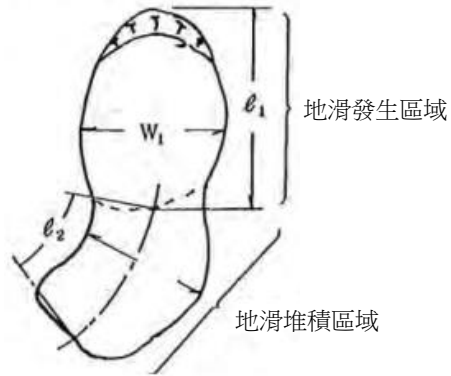
b) 堰塞湖

堰塞湖是很容易導致二次災害的高危險性災害，必須實施緊急對策與居民避難等緊急措施。其中包括必須快速決定堰塞湖水位上升導致氾濫、溢流、管湧等可能造成堰塞湖潰決的因素並予以資訊化，提供對策本部參考。

因此，堰塞湖攝影主要是實施變動因素攝影。此外，攝影時必須預測災害可能擴大的時期，因此應進行時序列的攝影與飛行。

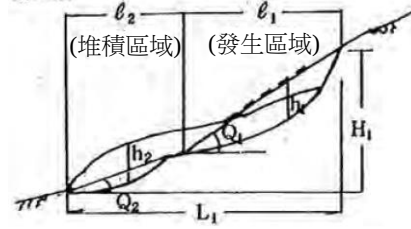
不只堰塞湖，情況緊急時不太有時間以量測技術進行資訊加工，此時有必要人工構造物大小的比較標的，以及道路與土地利用邊界泡水、埋沒地點和潰決地點之位置判定等，迅速地將影像資訊化。在此情況下，須由經驗與知識豐富的視察者進行解讀，並應盡量利用大比例尺地圖資料當作輔助材料。

平面圖



- W_1 發生地滑區塊最大寬度
- W_2 移動土塊堆積區域最大寬度
- ℓ_1 發生地滑區塊最大水平距離
- ℓ_2 移動土塊堆積區域最大水平距離

斷面圖



案例調查之中的 ℓ_1 、 ℓ_2 、 W_1 、 W_2 定義

圖－1.3 大面積斜面崩塌・地滑調查進行規模掌握

3. 直升機搭載簡易雷射測儀實施堰塞湖調查模擬結果

1 前言

地震所形成堰塞湖大小等項目乃是接下來緊急對策所必須參考的極重要資訊，但過去災害發生之後實施直升機調查，只能根據周遭地物的比例，進行目視判讀。

最新方法則是，利用直升機上的簡易雷射測距計，是否能有效計測堰塞湖各項內容，本文實際進行了模擬與檢證。

2 實驗方法

此次模擬計測標的是2004年10月中越地震所形成新瀉縣芋川流域東竹澤的堰塞湖。所使用直升機為北陸地方整備局的「北陸號」（照片1）。簡易雷射測距計則使用美國Laser Technology公司產品「Tru Pulse 360」（照片2）。此外，「Tru Pulse 360」之概要如表1所示。



照片1 北陸號



照片2 Tru Pulse 360

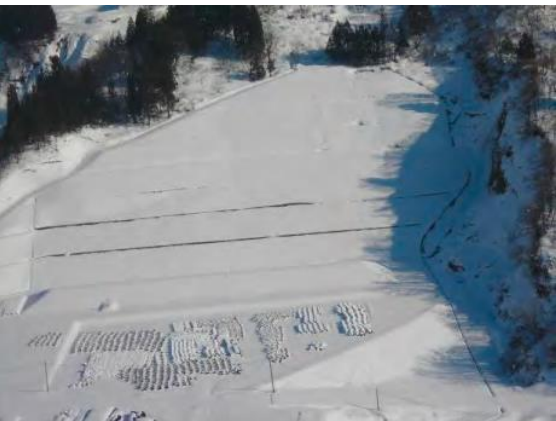
模擬計測地點堰塞湖堤體的①東竹澤一號、二號堤（照片 3）、模擬崩塌地的②東竹澤地區崩塌坡面處理工程（照片 4）。

表1 Tru Pulse 360概要

產品名	Tru Pulse 360 (Laser Technology公司：美國)	
尺寸	50 × 120 × 90mm	
重量	220g	
測定模式	直線距離、水平距離、垂直距離 傾斜距離、目標物的高度方位角	
間隔測定模式	直線間隔距離、水平間隔距離 高低差、高低傾斜角、2點間直線的方位角	
測定範圍	距離	0.1m~1000m
	傾斜距離	上下±90°
	方位角	0~359.9°
精度		±30cm
		±0.25°
		±1°
電源	三號鹼性電池2顆 (電池壽命：可使用約7500次)	



照片3 堰塞湖（東竹澤）



照片4 崩塌坡面（東竹澤）

操作方法是讓直升機盤旋在各計測地點上空，然後搭配運用表2所列6種方法實施模擬計測。此外，三腳架設置狀況與徒手計測狀況，如照片5、6所示。

表2 計測方法

對物距離	遠(700~800m)	近(300~400m)
窗子的狀態	開	關
測定方法	三腳架	徒手



照片5 三腳架設置狀況



照片6 徒手計測

3 實驗結果

此次計測結果如表3所示，實驗結果概要如下。

表3 計測結果

		遠(700~800m)		近(300~400m)		実際の数値
		手持ち	三脚	手持ち	三脚	
(天候良好)	高さ(m)	-	-	25	22	18.7
	距離(m)	-	-	28	28	23.3
	下照法角度	-	-	25/81 (16.1°)	22/81 (15.9°)	18.7/85 (13.5°)
(悪天候)	斜視長(m)	191	185	198	175	169
	幅(m)	163	157	224	144	170
	方位	81/174 (26.8°)	60/176 (20.3°)	33/196 (9.7°)	50/175 (16.8°)	55/160 (20.5°)

3.1 關窗進行計測

在關窗狀態下幾乎無法實施計測，頂多只能由機體上方往正下方實施計測（約250m距離）。主要原因是，直升機的防風玻璃（合成樹脂）曲折率太大。

3.2 計測所需時間

扣除前往現場的時間（20分），實際在現場進行計測的時間為13：30～14：10，約40分鐘。原本預定在每個計測地點實施上述6種模擬計測工作，但因為實際關窗狀態下無法計測，只能做其中的4種計測。因此，每計測1個地點平均時間約5分鐘，在這5分鐘之間分別完成4種計測。

3.3 計測環境

不論徒手還是使用三腳架，手都晃動得很厲害而難以計測。計測本身很容易，但每種計測所需時間都只有數十秒，加上手部晃動常會出現計測錯誤，相當費時。

距離拉到700～800m時，即使防砂壩的壩翼整體（大約15m×15m大小），也因為振動使得目標難納入計測袖範圍內。

3.4 計測精度

感覺上用三腳架震動幅度很大、振動頻率也高，似乎比徒手計測還難操作，但的計測數據精度並未低於徒手。結論是，不論使用三腳架還是徒手，效果都差不多。

三腳架的2支腳放在機體地板上，另1支腳放在座位上，予以固定。結果，地板上的2支腳似乎直接傳遞了機體的震動。

另一方面，徒手操作時雖可相當程度吸收機體振動，但按計測鈕時計測器容易偏移，若是職業級攝影師可能可以大幅減少手的晃動。另外，發現三腳架的1支腳靠在觀測者的大腿上或在計測按鈕上安裝點動開關，可能可以提高精度。

3.5 計測誤差

此次計測所取得數值和實際值相比，18項數據之中有13項的計測誤差低於實際值20%。但數據明顯偏離實際值的（30%以上），也有3件。這是未來須進一步檢討的地方，甚至也可能因為觀測者手抖動而變成計測了非預定的地點。

實際計測時，相同地點應反覆計測，取其平均。

崩塌地計測時，邊坡長度計測精度明顯大於寬度計測。原因之一是，測距計的水平角計測精度只有垂直角計測精度四分之一。

3.6 觀測者與計測方向

計測地點①之中原本是打算計測堤壩側面的覆雪面，但因為無法進行計測，改計測防砂壩本體。此外如前述，即使關窗狀態下，在適當距離以內還是可以計測正下方。因此，計測方向最好和所觀測標的坡面垂直。也因此，這次順利完成目標防砂壩本體前坡面的計測，實際上計測堰塞湖下游和緩邊坡時，讓直升機在堰塞湖大約正上方盤旋，應該能

完成高精度的計測工作。

3.7 其他

此次天氣晴朗，調查標的區域完全覆雪，因此雷射光沒有減衰，加上反射也很強，是實施雷射計測的理想狀態。至於在有霧靄的氣象條件下，或者針對崩塌土為暗色系土色的情況，是否能進行如此次的遠距離計測，仍有待進一步檢討。

可開閉窗子寬度約23cm，明顯太少，進行長距離計測造成干擾，因此，最好使用窗子較寬的直升機進行類似計測工作。

所拍攝的計測標的（堰塞湖崩塌坡面等）照片，都應當場記錄寬與長度等。

如果一人觀測另一人記錄，計測工作會更有效率。

4. 潰堤與上游淹沒所需時間的推定方法

～只靠淹水區水面就推定堰塞湖潰堤或上游區域出現淹水災情還有多少時間～

若要預測土砂堆積區何時溢流以及上游區域何時淹水，須先掌握淹水區水位上升速度。水位上升速度的因素包括淹水區水位以及上游流入流量，因此監視的最主要項目是掌握流入流量。

流入流量與流出流量最好分別參考流量觀測（4.3・4.4）所計測到的值，若難以實施流量觀測，可用如下方法算出還有多少時間會開始溢流（滿水），或者上游區域出現淹水災情。

還有多久會溢流(s)=到滿水時還有多少容量(m^3)／（流入流量(m^3/s)^{*1}）

還有多久會淹水(s)=到淹水時還有多少容量(m^3)／（流入流量(m^3/s)^{*1}）

※1：利用H-V曲線與淹水區的水位觀測（4.2）掌握流入流量

【計算滿水時容量的方法】

計算淹水區滿水位容量可利用航空雷射測量做成的地形圖。因此，最好提早完成這種地形圖。若沒有時間進行雷射測量，也可利用既有地形圖，算出到滿水時還有多少容量。雖然這種做法精度會較低，但可爭取時效，盡快取得成果。就地形圖的比例尺而言，最好使用精度較佳的大比例尺。

$V1 < \text{到滿水時還有多少容量}(m^3) > = (h1 - h2) (A1 + A2) / 2 + (h2 - h3) (A2 + A3) / 2$

$V2 < \text{到淹水時還有多少容量}(m^3) > = (h2 - h3) (A2 + A3) / 2$

- ・ h3為依據水位觀測（4.2）所取得的計測值 (m)
- ・ A1～A3為根據地形圖所算出的面積 (m^2)

*斷面法的做法是，最好細分斷面（面積）。

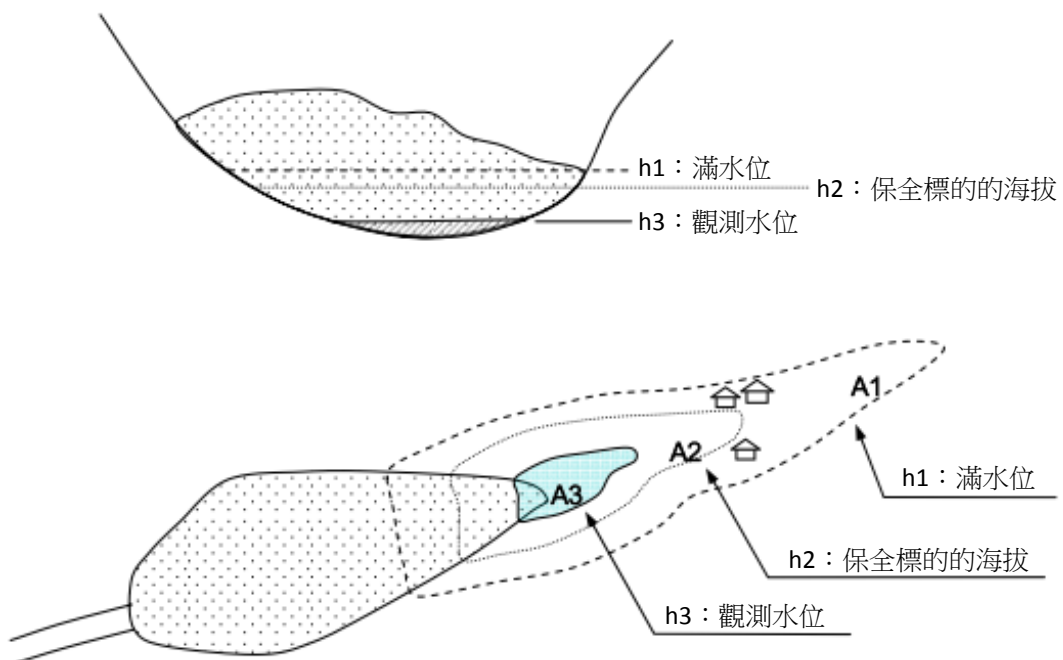
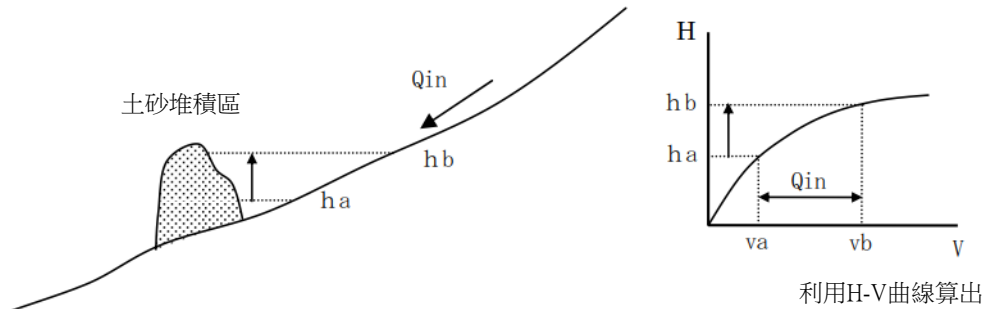


圖 到滿水位以及到淹水還有多少容量的估算方法案例

【流入流量的計算方法】

利用斷面法等，能從地形圖與土砂堆積區形狀與高度，算出海拔別淹水區水量，做成H（淹水區水位）－V（淹水區水量）。從 H-V 曲線與淹水區的水位觀測（參照4.2），可算出流入流量，推定還有多久未到達滿水位。但這種方法的有效性，會受到土砂堆積區的流出流量與漏水量乃至於地形圖精度高低影響，因此須事先注意，流入流量的值其實只是概略值。此外，即時流入區有複數支流流入，也沒辦法針對個別河川一一算出其流入流量。



二次的水位觀測時刻 $t_a \rightarrow t_b$ (s)之間，淹水區水位會上升 $h_a \rightarrow h_b$ (m)
此時根據H-V曲線，流入流量 Q_{in} (m^3/s) 如下。

$$Q_{in} = (v_b - v_a) / (t_b - t_a)$$

圖 利用H-V曲線算出流入流量

【算出還有多久會溢流與淹水的方法】

利用上述算出到達滿水位還有多少容量與流入流量，就可算定到達滿水與淹水還有多少時間。

$$t_1 < \text{到達溢流還有多少時間 (s)} > = V_1 / Q_{in}$$

$$t_2 < \text{到達淹水還有多少時間 (s)} > = V_2 / Q_{in}$$

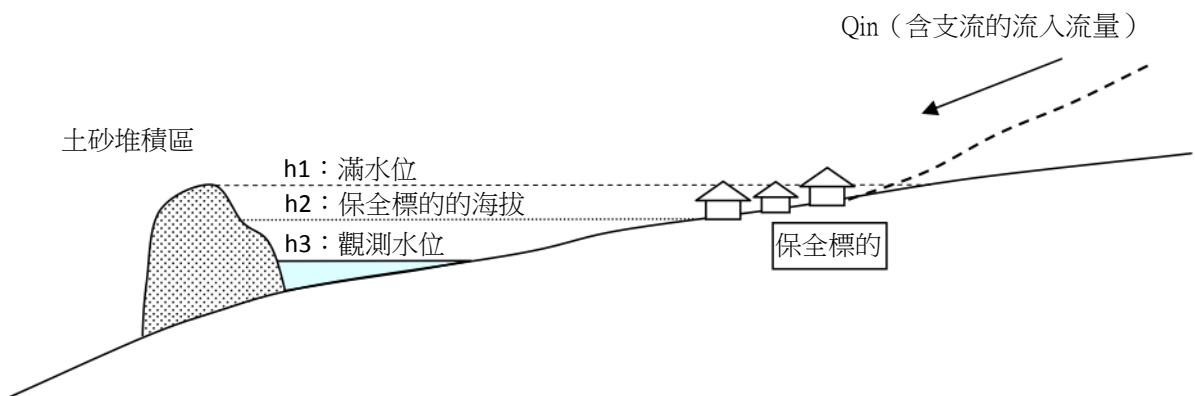


圖 土砂堆積區多久會溢流、上游區域多久淹水的估算方法案例

～利用淹水區水位與流入流量・流出流量推定還有多少時間會潰堤以及上游區域會產生淹水災情～

若要預測土砂堆積區何時溢流以及上游區域何時淹水，須先掌握淹水區水位上升速度。水位上升速度的因素包括淹水區水位以及上游流入流量，因此監視的最主要項目是掌握流入流量。

可用如下方法算出還有多少時間會開始溢流（滿水），或者上游區域出現淹水災情。

還有多久會溢流(s)=到滿水時還有多少容量(m^3) / (流入流量(m^3/s))

還有多久會淹水(s)=到淹水時還有多少容量(m^3) / (流入流量(m^3/s))

在此，計算淹水區滿水位容量可利用航空雷射測量做成的地形圖。最好提早完成這種地形圖。若沒有時間進行雷射測量，也可利用既有地形圖算出到滿水時還有多少容量。雖然這種做法精度較低，但可爭取時效，盡快取得成果。就地形圖的比例尺而言，最好使用精度較佳的大比例尺。

流入流量與流出流量，則分別利用流量觀測（4.3・4.5）計測得到的值。

【算出方法】

$V1 < \text{到滿水時還有多少容量}(\text{m}^3) > = (h1 - h2) (A1 + A2) / 2 + (h2 - h3) (A2 + A3) / 2$

$V2 < \text{到淹水時還有多少容量}(\text{m}^3) > = (h2 - h3) (A2 + A3) / 2$

・ h1為依據水位觀測（4.2）所取得的計測值 (m)

・ A1～A3為根據地形圖所算出的面積 (m^2)

*斷面法的做法是，最好細分斷面（面積）。

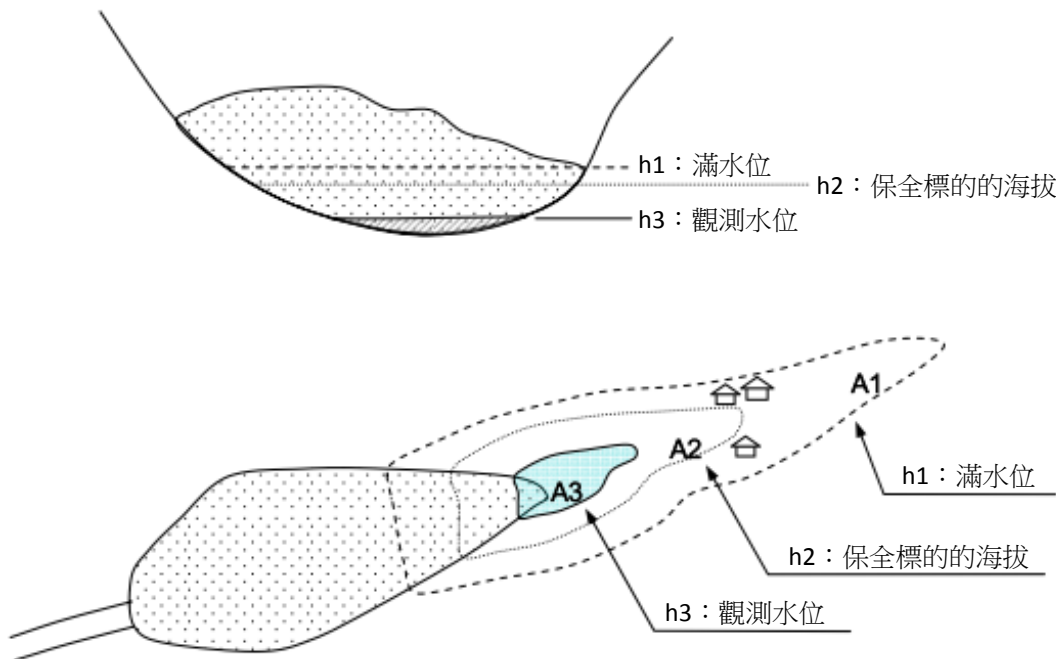


圖 到滿水位以及到淹水還有多少容量的估算方法案例

$$t1 < \text{到達溢流還有多少時間 (s)} > = V1 / \{ (Q_{in} + q_{in \text{支流} 1} + \dots) - Q_{out} \}$$

$$t2 < \text{到達淹水還有多少時間 (s)} > = V2 / \{ (Q_{in} + q_{in \text{支流} 1} + \dots) - Q_{out} \}$$

- Q_{in} (m^3/s) 與 $q_{in \text{支流} 1}$ (m^3/s) 乃是利用流量觀測 (4.3) 所計測得到的值 (但若有複數支流, 須加總所有河川流入流量)
- Q_{out} (m^3/s) 乃利用流量觀測 (4.5) 所計測得到的值

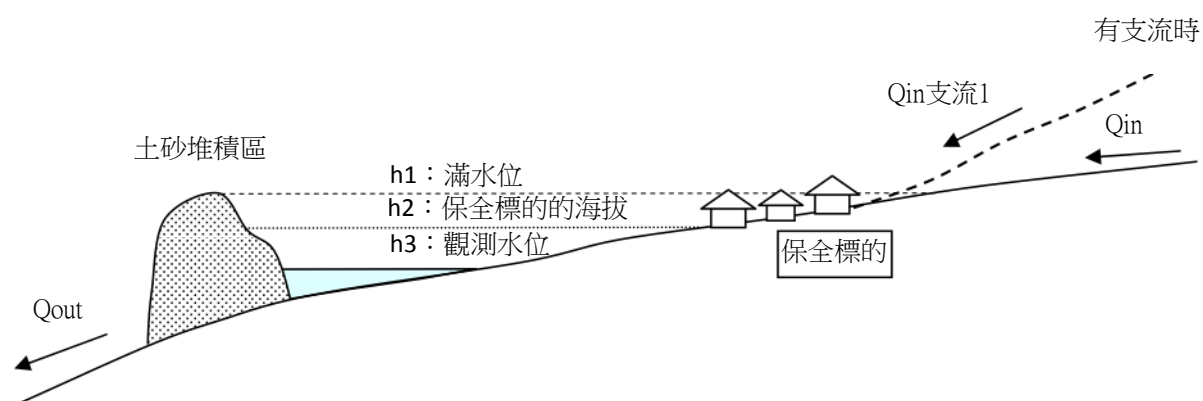


圖 還有多少時間土砂堆積區會開始溢流以及上游區域開始淹水的估算方法案例

5. 溢流導致堰塞湖潰決時的洪峰流量推測方法

溢流導致堰塞湖潰決時的洪峰流量，越往下游的位置越小（里深等，2007a）。此外，模擬計算已經確認，不同堰塞湖形狀會導致潰決時流量產生差異（里深等，2007b）。考量這些狀況，計算洪峰流量可有以下幾種方法。

但若堰塞湖形成後就須立刻算出潰堤後堰塞湖正下方概略洪峰流量，可使用下列3種概算公式。

～將往下游洪峰流量衰減納入考量的堰塞湖潰決時洪峰流量估算方法～

根據高濱等（2000）提案、解析從土石流往推移質型態集體流動遷移過程的二層流模式，里深等（2007a）進行了堰塞湖潰決過程中的洪水分析。將這種分析方法套用在德島縣那賀川流域高磯山崩塌所形成堰塞湖潰決時的洪水，結果如圖1所示，堰塞湖形成地點往下游約42km細野這個地方的洪峰流量，大約只有堰塞湖正下方（約5km）小濱這個地方洪峰流量的1/3，確認越下游洪峰流量會越衰減。

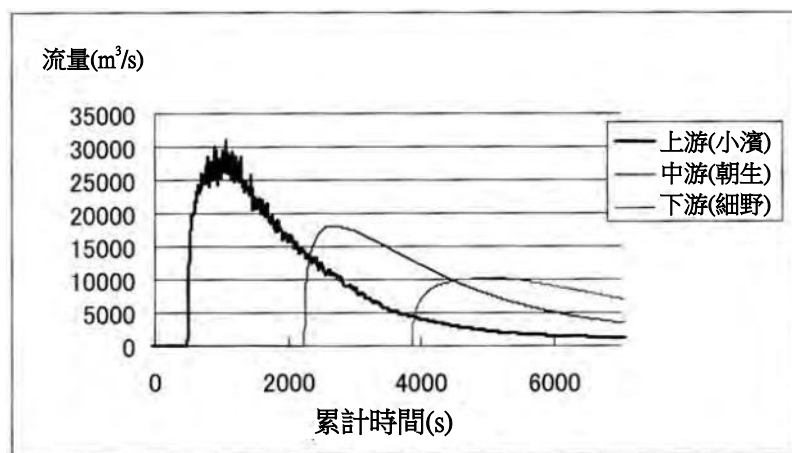


圖1 流量的時間變化（引自里深等，2007a）

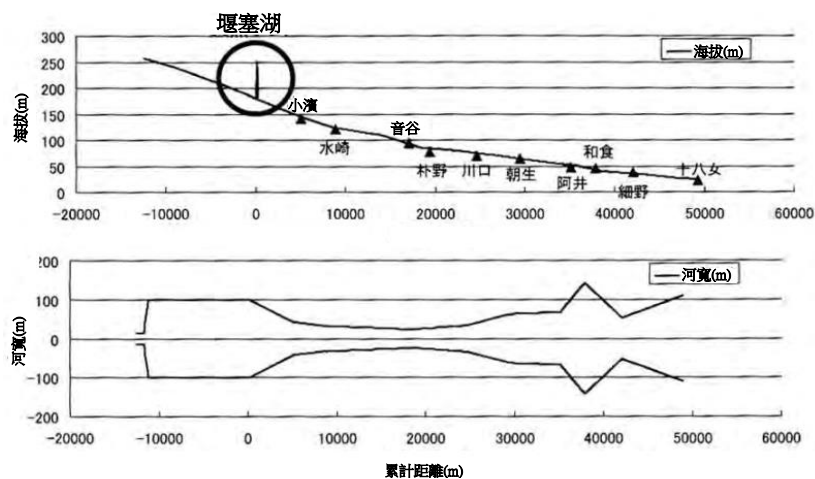


圖2 計算河道的縱斷狀況與河寬（引自里深等，2007a）

另外，也有將側岸侵蝕與堰塞湖形狀納入考量的例子，里深等（2007b）探討新潟縣中越地震所產生芋川流域的堰塞湖，計算其潰堤所形成洪水水文歷線圖。結果發現，形狀之外各項因素與條件幾乎相同的堰塞湖，三角形形狀（圖3之堰塞湖C）下游的洪峰流量，比梯形（圖3之堰塞湖A）洪峰流量大5倍以上（圖3），且下游河寬較窄的地點，側岸侵蝕寬度度更大（圖4）等，可見計算潰決時洪峰流量應注意堰塞湖形狀問題。

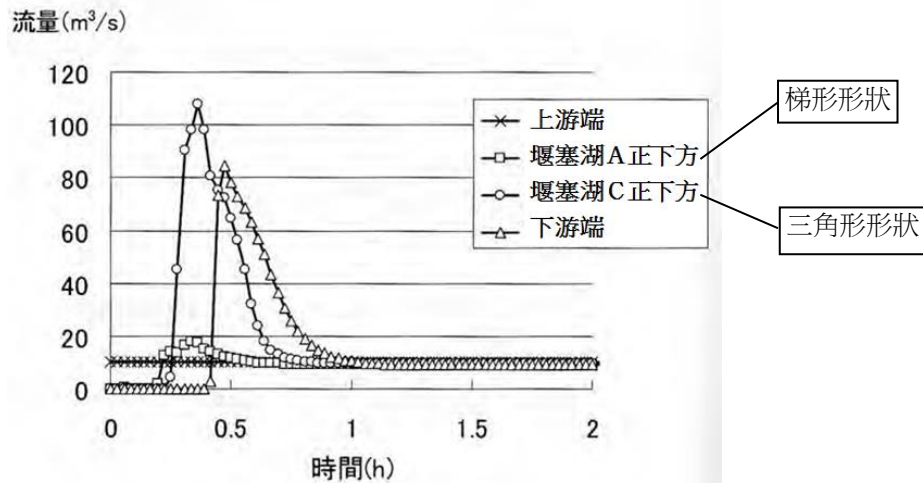


圖 3 堰塞湖下游的水文歷線（引自里深等，2007b）

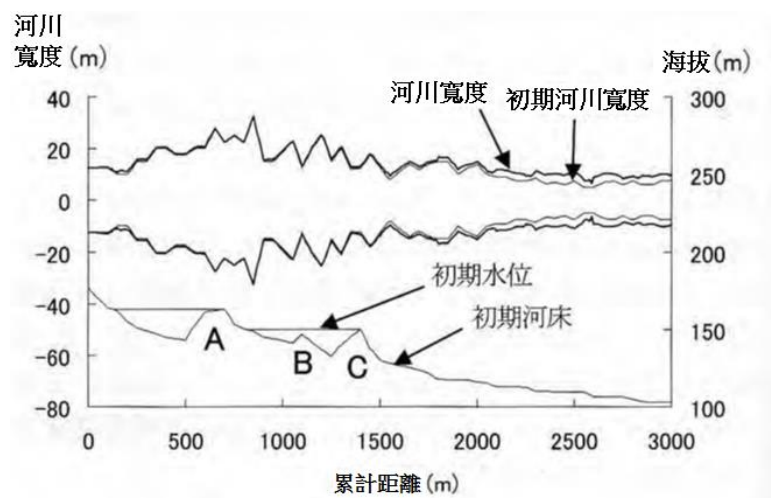


圖 4 河川寬度的變化（引自里深等，2007b）

關於這些模式的細節，請參照里深等（2007a）與里深等（2007b）。

～參考文獻～

里深好文・吉野弘裕・小川紀一郎・森俊勇・水山高久・高濱淳一郎（2007a）：高磯山堰塞湖潰決時產生洪水之重現，砂防學會誌，Vol.59，No.6，p.32-37。

里深好文・吉野弘裕・小川紀一郎・水山高久（2007b）：推定堰塞湖潰決時洪峰流量的一個考察，砂防學會誌，Vol.59，No.6，p.55-59。

高濱淳一郎・藤田裕一郎・近藤康弘（2000）：從土石流往推移質型態集體流動遷移之水流分析法，水工學論文集，第44卷，p.683-686

～溢流所導致堰塞湖潰決時堰塞湖正下方洪峰流量計算概算式～

① Costa (1988) 所提出的洪峰流量計算公式

$$Q=181 \times (V \times h / 10^6)^{0.43}$$

在此，Q：堰塞湖潰決時的洪峰流量 (m³/s)

V：堰塞湖的貯水容量 (m³)

h：堰塞湖的高度 (m)

② 田畑所提出的洪峰流量計算公式

$$\frac{q}{q_{in}} = 0.542 \times \left[\frac{(gh^3)^{0.5}}{\tan \theta \times q_{in} \times 1,000} \right]^{0.565}$$

在此，q：堰塞湖潰決時每單位寬度的洪峰流量 (m²/s)

q_{in}：往堰塞湖地點每單位寬度的流入量 (m²/s)

g：重力加速度 (9.8m/s²)

h：堰塞湖的壩高(m)

θ：河床坡度(°)

(引自「田畑・水山・井上：堰塞湖與災害，p.161」)

③ 石川所提出的洪峰流量計算公式

●依據粒徑所訂出的關係式

$$Q=0.512 \times (S \times h / 10^4)^{0.347} \times B \text{ (平均粒徑 } 0.25\text{mm 時)}$$

$$Q=0.290 \times (S \times h / 10^4)^{0.384} \times B \text{ (平均粒徑 } 2.50\text{mm 時)}$$

●依據單位寬度流入量所訂出的關係式

$$Q=0.194 \times (S \times h / 10^4)^{0.485} \times B \text{ (往堰塞湖地點每單位寬度的流入量為 } 0.1\text{m}^2/\text{s 時)}$$

$$Q=0.780 \times (S \times h / 10^4)^{0.326} \times B \text{ (往堰塞湖地點每單位寬度的流入量為 } 1.0\text{m}^2/\text{s 時)}$$

在此，Q：堰塞湖潰決時的洪峰流量 (m³/s)

S：堰塞湖的蓄水量 (m³)

h：堰塞湖的壩高 (m)

B：堰塞湖的壩寬 (m)

(引自「石川等 (1991)：土木研究所資料，pp57」)

6. 上游區域流入流量的預測方法

(1) 既有的逕流預測方法之應用

預測堰塞湖流入流量的該流域及周邊類似流域時，若已實施水壩開發調查等並且建立逕流預測模式，即可藉由掌握預測堰塞湖上游降雨量，推定流入流量。

(2) 該當流域或周邊類似流域已有河川流量數據時

若無既有的逕流預測方法，可先選擇「建設省河川砂防技術基準（草案）調查編」等所紹介之水槽模式、運動波法、貯留函數法等一般性的逕流計算方法，或是由各學會所提案方式中選擇適當者，計算流量。運用這些方法須決定許多數參數，參數的率定必須既有的降水量數值與河川流量數值，根據這些數值進行適當的參數率定。P.79以下係針對信濃川水系芋川流域運用陸等（1998）模式的結果。此外，模式詳細運用方法，也可參照伊藤等（2006）的做法。

(3) 該河川與周邊河川無可做參考之流量數據時

無（1）所述方法，也無該當河川與周邊河川無可做參考之流量數據時，可利用合理化公式與單位歷線法的整合方法（防災調節池等技術基準（草案））。

～參考文獻～

陸旻皎・小池俊雄・早川典生（1989）：開發可對應處理分布型水文資訊的逕流模式，土木學會論文集，第411號，pp.135-142・

伊藤禎將・山越隆雄・栗原淳一・寺田秀樹・宮島邦康・幸弘美・見上哲章（2006）：運用芋川流域分布型模式的融雪量模擬，砂防學會研究發表會概要集，pp.380-381・

防災調節池等技術基準（草案）解說與設計實例（1988）：社團法人日本河川協會，p.13-14

空間分布型逕流模式之運用案例 1

～2006年度大規模地震所導致土石流之發生預測方法相關檢討業務 報告書 2007 年 2 月

獨立行政法人土木研究所土砂管理研究群組火山・土石流團隊 選萃，部分修改～

重現計算標的：夏季豪雨時的排水

適用標的流域：信濃川水系魚野川右支川芋川流域（38 km²）

運用模式：陸等的洪水逕流模式

雨量數據：地面雨量數值

參數：如下

地形網格：50 m網格

輸入資料：小時雨量

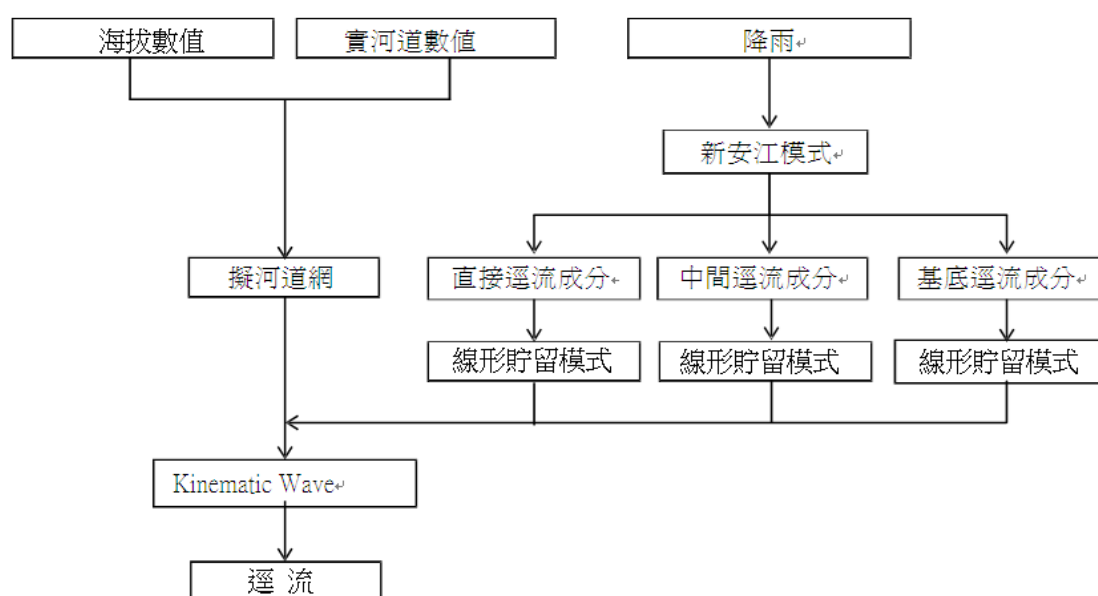


圖 陸等的洪水逕流模式之流程圖

模式 參數	內容	陸等的 參數	本模式的參數
<i>B</i>	土壤水分量分布曲線的斜率	0.2	0.2 (與陸等的參數相同)
<i>Imp</i>	非滲透區域的面積率	無記載	0.1
<i>WMM</i>	各網格的最大貯水能力	無記載	160mm 由 <i>b</i> , <i>imp</i> , <i>WM</i> 逆算。參照2.6公式
<i>WM</i>	各網格的貯水能力	120mm	120mm (與陸等的參數相同)
<i>W</i>	初期土壤水分量	無記載	將初期土壤水分量調節至大致與初期流量一致的程度
<i>Cs</i>	表面逕流衰減係數	0.3	0.3 (與陸等的參數相同)
<i>Cg</i>	中間逕流衰減係數	無記載	0.953 (應用既有的研究成果※)
<i>Cb</i>	基底逕流衰減係數	0.995	0.995 (與陸等的參數相同)
<i>Fc</i>	最終滲透量	40mm/day	40mm/day (與陸等的參數相同)
<i>N</i>	等價粗糙係數	無記載	在水理公式集運用範圍內進行設定 (參照表2.4)

模式的重現結果：

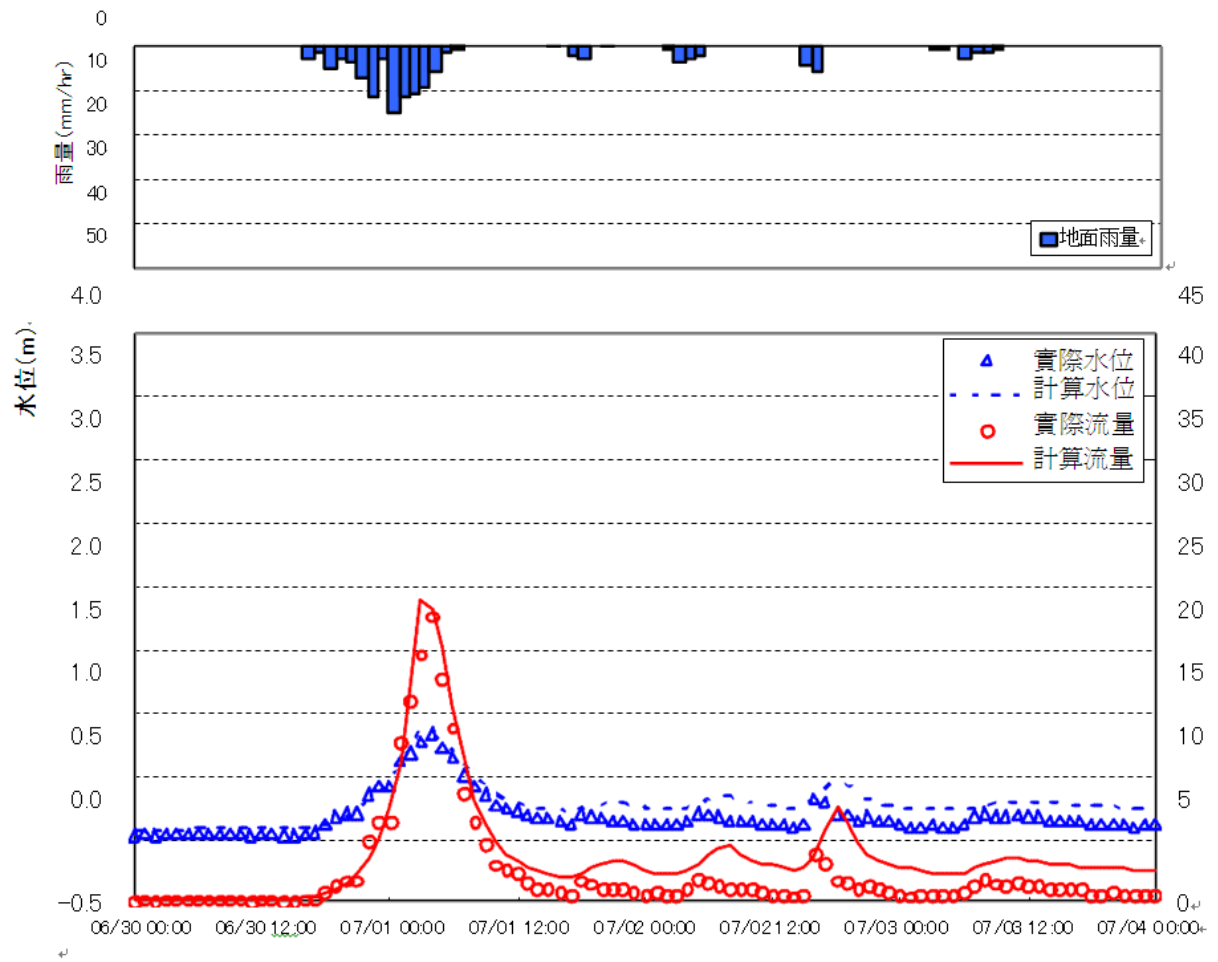


圖 分布型重現計算結果（地面雨量）

空間分布型逕流模式之運用案例2

～伊藤等（2006）的選粹，部分修改～

重現計算標的：融雪期豪雨所伴隨的排水

運用標的流域：信農川水系魚野川右支川芋川流域（38 km²）

運用模式：陸等的洪水逕流模式＋栗原等的融雪模式

雨量數據：地面雨量數據

參數：如下

地形網格：50 m網格

輸入資料：時間雨量、天氣（日照量）、最高・最低氣溫

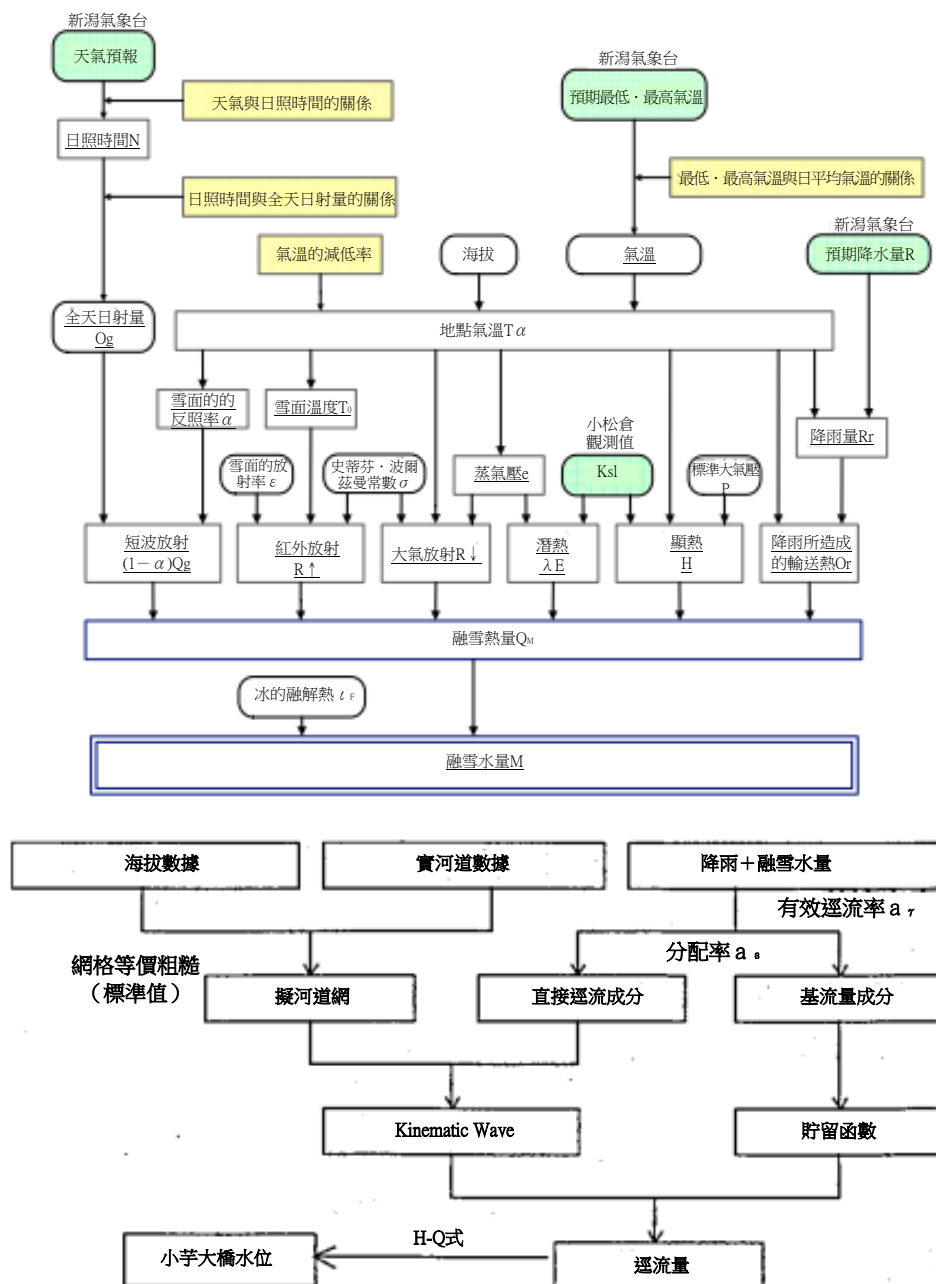


圖 栗原等的融雪模式（上段）與陸等的洪水逕流模式（Ar-As模式；下段）的流程圖

表 所設定參數的一覽表

模式 參數	內容	數值	備註
Ksl	反映潛熱與顯熱計算所需地形特性之係數	1.2	水津(2001)在新潟縣津南町的做法案例
As	直接逕流與基流量成分的分配律	0.9	以試誤法進行設定
Ar	有效逕流率	0.8	嘗試錯誤地進行設定
N	運動波法	—	在水理公式及運用範圍內進行設定

模式的重現結果

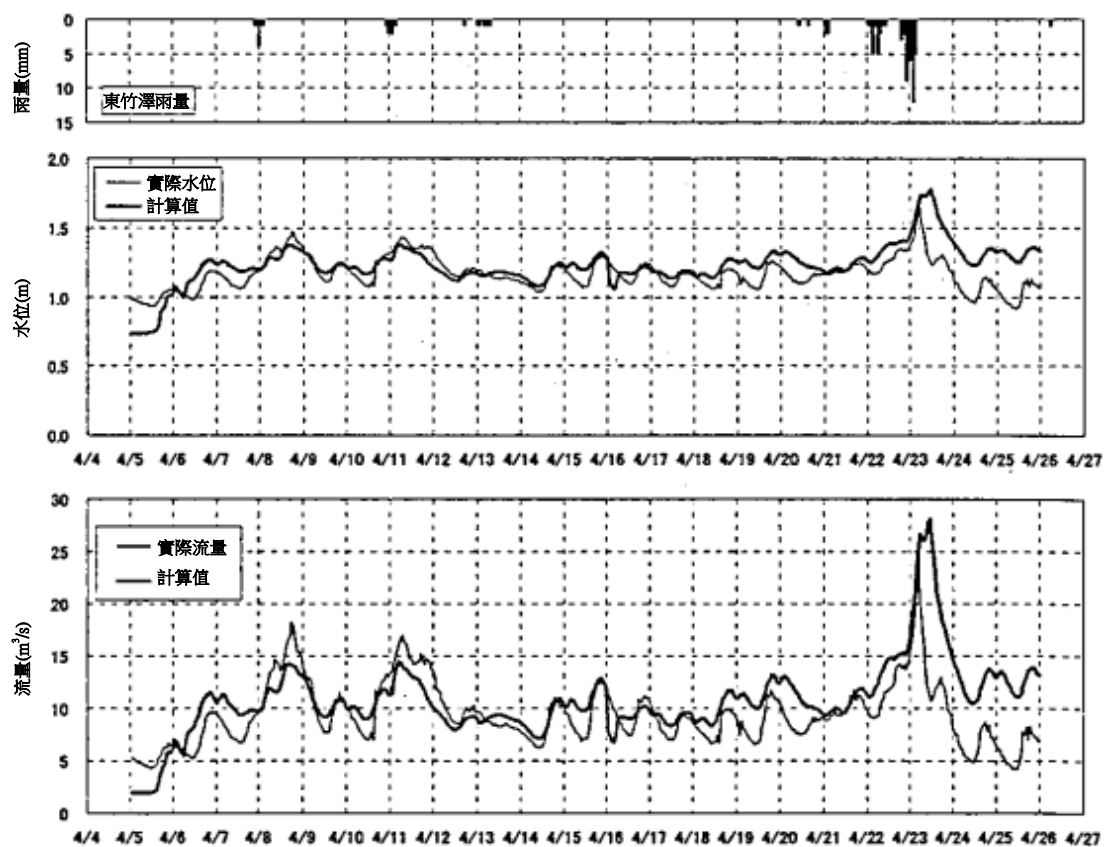


圖 逕流計算結果（小芋大橋地點）

7. 地面測量機器性能比較表

計測機器			特 性		是否需 進入堤體	機器性能 (一般公稱值) ^{※1}		重量	從作業面來看的一 般適用可能距離 ^{※2}	電源	對於不可視 區域的對應
			優 點	缺 點		適用的距離	精度				
①	全站儀	免稜鏡型	■能遠距進行計測。 ■劣於TS(稜鏡型)，但可進行長距離計測，具有高精度。 ■手動計測，但每個地點的計測時間與稜鏡大約相同。	■雷射入射角較淺或標的為暗色系時，雷射反射率較低，較難以計測。 ■侵蝕量得另外計算。	○ 不需要	1.5～250m (無目標、測定白色物時)	±(5+2ppm・D)mm	本體5～6kg 三腳 kg	1.5～200m	裝卸式電池	不可計測
②	簡易雷射	電子羅盤	■能遠距進行計測。 ■能斜距、水平角、高角度計測。 ■具有優異的可攜性。 ■每1點的計測時間約數十秒左右。	■屬於中精度。 ■雷射入射角較淺或標的為暗色系時，雷射反射率較低，較難以計測。 ■侵蝕量得另外計算。	○ 不需要	1.0～200m (白色・灰色標的)	50m —— 3cm 150m —— 5cm (A公司製品時)	本體1.6kg 支柱0.4kg	1.0～130m (A公司製品時)	乾電池	不可計測
③		測距儀	■能遠距進行計測。 ■能快速進行斜距計測。 ■具有優異的可攜性。	■屬於低精度。 ■雷射入射角較淺或標的為暗色系時，雷射反射率較低，較難以計測。 ■侵蝕量得另外計算。 ■計測值無法自動記錄。	○ 不需要	1.0～1,000m	0.5m單位@100m未滿 1.0m單位@100m以上 (B公司製品時)	本體 0.2～0.4kg	1.0～150m (B公司製品時)	乾電池	不可計測
④	3D雷射掃描	地面	■能遠距進行計測。 ■能進行面的計測。 ■能用3次元方式掌握觀測標的物。 ■能以長距離且高精度地實施計測。 ■計測本身能實施數十分鐘。	■雷射入射角較淺時，難以取得數據。 ■算定侵蝕量進行分析處理，需30分～數小時。 ■計測儀器價格昂貴(約2000萬日圓)。	○ 不需要	2～1000m (C公司製品) 300m (D公司製品) 1.5～350m (E公司製品)	<標準偏差> ±10mm(單發測定) ±5mm(平均化) (C公司製) 距離4mm、座標 6mm@50m (D公司製) 6.5mm@200m (E公司製)	本體 14～18kg 三腳 kg 發電機 kg 電腦1.5kg	1.5～200m (E公司製品時)	發動發電機	不可計測

※1) 主要是以混凝土構造物等為標的，因此堰塞湖土塊可能較大、品質較差。

※2) 考量不同自然環境中的作業效率與測量精度會有差異，這是一般使用狀況所判斷的距離數值。有時條件比所記載數值還更嚴苛。

上述①～④計測機器的計測條件別適用性如下。

外部環境條件	計測的適用性	標的條件	計測的適用性
夜間	需設置打光器。3D時有打光器更好。	水	雷射光漫射。
雨・雪	可進行計測。	積雪	積雪導致無法正確進行土砂面計測。
大雨・霧	無法取得標的的視準。	含大量水分的土壤	雷射光有漫射之虞。
逆光	有時無法確保精度。	岩盤濕潤像鏡子時	雷射光有漫射之虞。
		暗色系地盤	雷射光反射狀況較差。

8. 空投式水位觀測浮筒

(1) 概要

須監視堰塞湖淹水區水位時，早期都是陸路運送水位計或衛星通訊裝置，並且人力施工，因此若道路寸斷就無法施工，施工期間也有遭遇二次災害之虞。

為了解決這些課題，土木研究所開發了空投式水位觀測浮筒，能運用直升機迅速且安全地實施淹水區水位監視。

(2) 機器特徵

①優點

- ・能迅速且安全地完成設置

從直升機上面拋投下去就能完成設置與運用工作，即使道路寸斷也不受影響，且無遭受二次災害之虞。

- ・能長期、穩定地運用

內建電池蓄電量達3個月左右，且因設在淹水區中央，不會因為土砂流入造成機器破損，能長期且穩定地加以運用。

- ・利用衛星手機傳送系統

因為利用低軌道周回衛星傳送系統，低消費電流、機器小型化加上不需調整天線，所測定數值也能用email傳送出去，再以專屬軟體製作表格。

- ・能協助進行土砂堆積區危險度評估

直升機空投浮筒時也可同時目視掌握水面與土砂堆積區頂端高差，了解滿水位與觀測水位差距，協助評估土砂堆積區危險程度。

②使用時的注意事項

- ・直升機利用注意事項

擬定設置計畫或實施階段，直升機航運管理者應事先確認下列事項。此外，需向航空局提出飛航計畫、取得許可，應提早進行相關協議。

- * 實施這項作業的直升機乃是吊掛物資專用小型直升機（配備有鋼索、電磁掛勾）。此外，實施這項作業需2人左右同乘。
- * 空投式水位觀測浮筒重量約60kg（遠低於直升機最高吊掛重量（數百kg），因此運送過程中需調整飛行速度，避免浮筒飄向後方）。
- * 空投設置時，浮筒應保持直立狀態，並從水面附近拋投。
- * 空投設置前，為了選定拋投位置，應縮小範圍巡航堰塞湖附近。

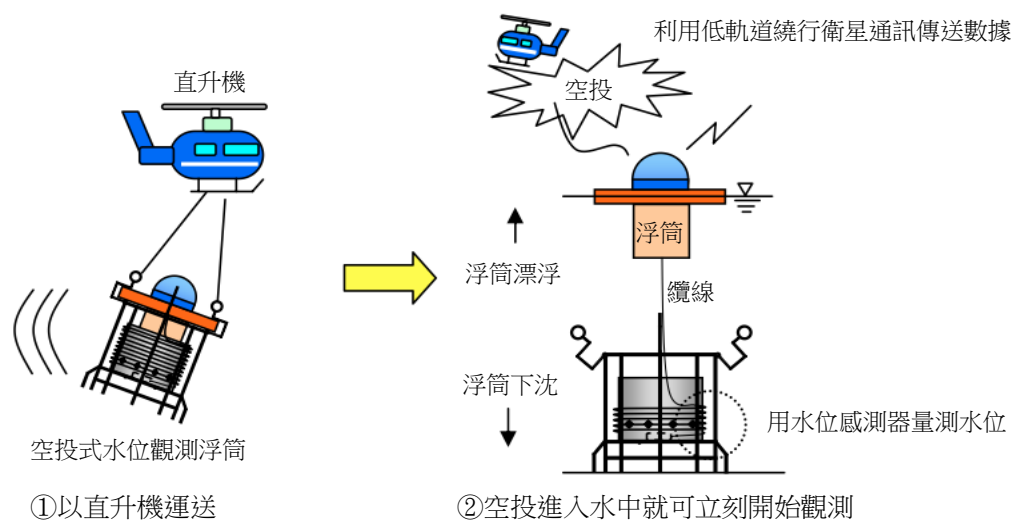
- ・餘震造成水位監測位置滑移

監視大地震所造成堰塞湖淹水區時，餘震有時會導致水中盒子裡面的感測器深度位置產生變化，水位感測器所取得水位數值可能因此不同。（用其他水位測定方法也可能出現這項問題）

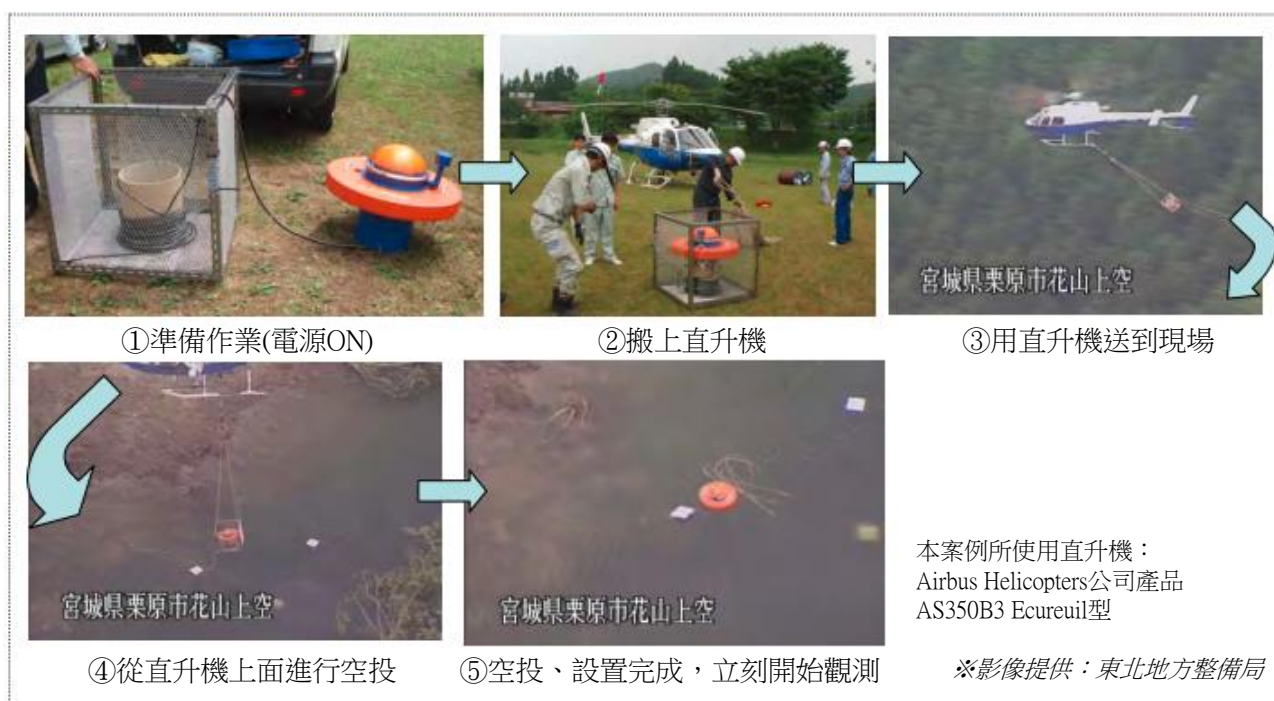
- ・換算成海拔值

設置階段乃是以設置時的水位為基準，掌握與觀測水位的相對水位差，此時並不了解海拔，因此需利用地面測量或航空測量所取得水面與土砂堆積區土砂測量結果，換算成海拔值。

(3) 機器概要

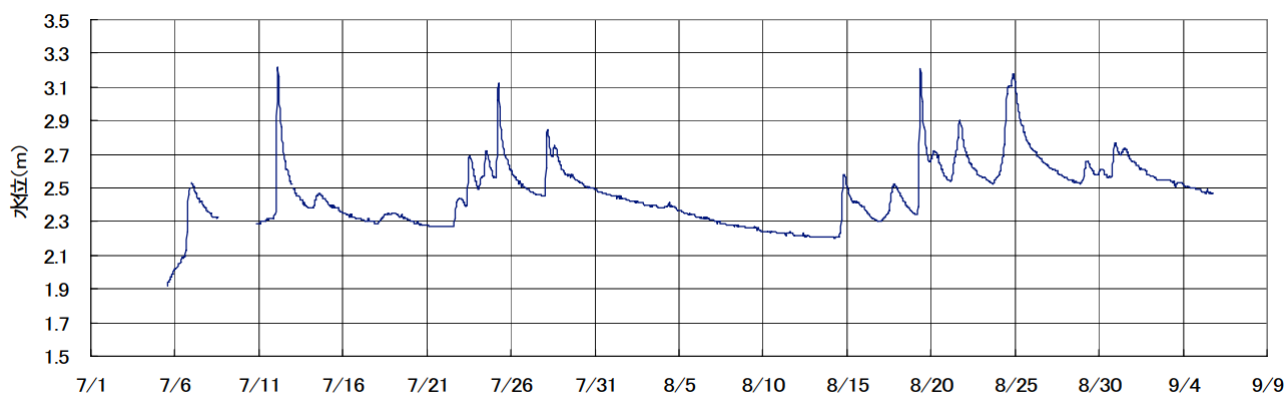


空投式水位觀測浮筒設置概念圖



空投式水位觀測浮筒設置程序

(2008年岩手・宮城內陸地震所形成迫川・湯濱地區堰塞湖的觀測浮筒設置案例)



空投式水位觀測浮筒所取得水位數據案例

9. 崩塌檢知感應器

(1) 概要

崩塌檢知器乃是土木研究所與民間企業為了及時監視邊坡變位資訊而共同研究、開發完成的機器。

檢知變位所造成感測器傾斜並以無線傳送，就能監視土砂堆積區是否有侵蝕等所造成的變位。

機器由感測器、收訊機、電源裝置等構成，能檢知設置在監視標的地點的感測器傾斜狀況，並同時以無線電發出訊息、收訊器接收訊息。在直線視線開闊的地點，無線電傳送距離約500~1km，但若受到地形與樹木阻擋，傳送距離會因此降低。因此，設置前須實施無線電傳送試驗。

因為是在設置感測器的地點進行測定，最好進行多點配置，更能檢出土砂堆積區出現變位的位置與發生時刻，然後利用傳送裝置即時進行遠方監控。

(2) 機器特徵

①優點

- 能即時監視土砂變位狀況：

感測器翻倒後，立刻能利用無線電收發訊息。收訊機能對各種傳送機器輸出訊息，達成即時監控目的。

- 設置容易：

每個感測器只有2kg左右，容易搬運、設置。設置時間短，能避免遭遇二次災害危險。

- 可長期運用：

感測器內建電池續電力超過1年以上。

- 價格便宜：

每台感測器價格只有數萬日元，即使實施多點監視，費用也不高。



感測器外觀

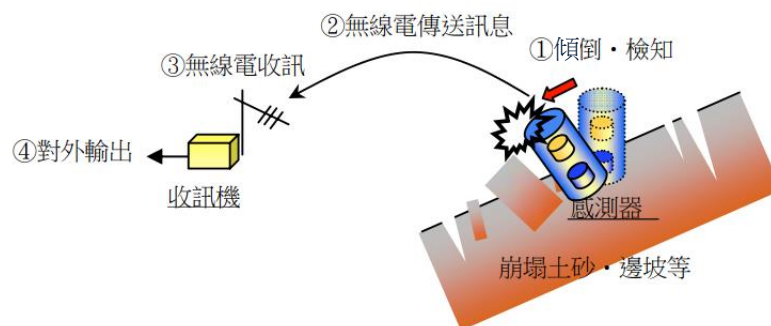
②缺點

- 無線電傳送距離：

空曠地區的無線電傳送距離約500~1km，但若受地形與樹木阻擋，傳送距離會因此降低，因此，設置前須實施無線電傳送試驗。

- 檢知之後難以繼續使用：

感測器檢知一次之後，無法在該狀態下繼續使用。此時須人力修正，使之直立。



崩塌檢知感測器的檢知概要圖

10. 崩塌區計測數據管理基準值（參考資料）

設定崩塌區計測數據管理基準值，可參考下列資料。

表 崩塌區計測數據管理基準值的參考資料

計測器種類	機關名與研究者	管理基準值				備註		
地表伸縮計	渡（1985）	警戒態勢/必要時避難 持續5～10日1mm/day以上或 持續2日以上超過1cm/day。 緊急避難・該地區內管制出入 2～4mm/h 以上。						
	西嶋（1991）	警戒體制 5～10mm/日以上 避難體制 2～3mm/h 以上				農林水產省技術檢討委員會「緊急地滑對策」所發表數據。這是總計15年期間長野縣地滑調查・對策・施工結果之彙整。		
	(財) 高速道路調查會 1988年2月	調查・設計階段的管理基準值 ・確認為異常值的最小值 0.5mm/日 ・活動期間應判斷為地滑時 (1) 計測值確認有經時的累積性時 (2) 複數計測機器同時顯示同樣的變動傾向時 (3) 反覆產生與降雨・降雪有關的累積變動時 （含迴轉・回歸變動） (4) 特別是，以管內應變計或地中傾斜計等所實施地中變位計測所取得能認定地滑面的計測結果時 施工階段的管理基準值 ・點檢・需注意或強化觀測 5mm以上/10日 ・檢討對策 5～50mm以上/5日 ・警戒・緊急對策・禁止通行等的檢討 10～100mm以上/1日 ・嚴重警戒・禁止人員通行 100mm以上/1日 維持管理階段的管理基準值 ・點檢・需注意或強化觀測 10mm以上/30日 ・檢討對策 5～50mm以上/5日 ・警戒・緊急對策・禁止通行等的檢討 10～100mm以上/1日 ・嚴重警戒・禁止人員通行 100mm以上/1日				超過計測誤差的計測值，稱為「異常值」。		
	齊藤（1972）	日常變化 10°/分以上 須注意 10°/分以上 須警戒 10°/分以上 嚴重警戒 10°/分以上	單位是 地表應變速度	土與基礎（1972）等。 由包含未崩塌的經驗餘裕時間之判斷所得區的區分值。				
	建設省 河川砂防技術(草案) ・調查編	警報 4～1mm/h 以上 預測地滑的運動型態（局部摘要） 新鮮或弱風化岩盤 突發性 風化岩盤 急速性，1cm/日以上 礫混合土砂 斷續性，1mm～10cm/日 黏土性 繼續性，1mm～1cm/日	市售警報器					
	藤原（1979） 地盤變動種別一覽表							
		變動種別	日變位量 (mm)	累積變動量	往一定方向 的累積傾向	變動型態 (拉扯・壓縮・ 斷續)	綜合判定	
							變動判定	活動性
		變動 A	1以上	10以上	顯著	拉扯	確定	活潑地運動中 表層・深層地滑
		變動 B	0.1～1	2～10	稍顯著	拉扯・斷續	準確定	緩慢運動中，黏土值・ 崩積土地滑
		變動 C	0.02～1	0.5～2	稍有	拉扯・壓縮	潛在	須持續觀測
		變動 D	0.1以上	無	無	無規則性	以上	局部地盤變動・其他
光波測距儀	(財) 高速道路調查會 1988年2月	調查・設計階段的管理基準值 ・確認為異常值的最小值 固定式 5mm/回 移動式 10mm/回 ・活動期間應判斷為地滑時（加上上記） (1) 計測值確認有經時的累積性時 (2) 複數計測機器同時顯示同樣的變動傾向時 (3) 反覆產生與降雨・降雪有關的累積變動時 （含迴轉・回歸變動） (4) 特別是，以管內應變計與地中傾斜計等所實施地中變位計測所取得能認定地滑面的計測結果時 施工階段的管理基準值 ・點檢・需注意或強化觀測 5mm以上/10日 ・檢討對策 5～50mm以上/5日 ・警戒・緊急對策・禁止通行等的檢討 10～100mm以上/1日 ・嚴重警戒・禁止人員通行 100mm以上/1日 維持管理階段的管理基準值 ・點檢・需注意或強化觀測 10mm以上/30日 ・檢討對策 5～50mm以上/5日 ・警戒・緊急對策・禁止通行等的檢討 10～100mm以上/1日 ・嚴重警戒・禁止人員通行 100mm以上/1日					超過計測誤差的計測值，稱為「異常值」。	

出處) 地滑觀測便覽 H8.10 (社) 地滑對策技術協會，等

11. 崩塌邊坡緊急計測方法 (RE · MO · TE 2)

概要

RE · MO · TE 2 (Remote Monitoring Technology 2)¹應在與預估會再次崩塌或災情擴大之斜面有段距離的地方設置標的物，然後瞄準該標的物，高精度地計測地盤變位 (圖-1~4)。這種計測方法有如下特徵。

- ①因為有標的物，不太容易產生瞄準誤差。
- ②能計測的距離比全站儀遠，而且可實施夜間計測。
- ③以小標示板 (±30cm/300m) 作為標的物，能完成設置與計測。
- ④設置準備作業只需5分鐘左右，完成設置就能開始計測。
- ⑤能在安全場所進行標的設置與計測作業。
- ⑥利用專屬包裝，可在24小時內宅配到全國各地。

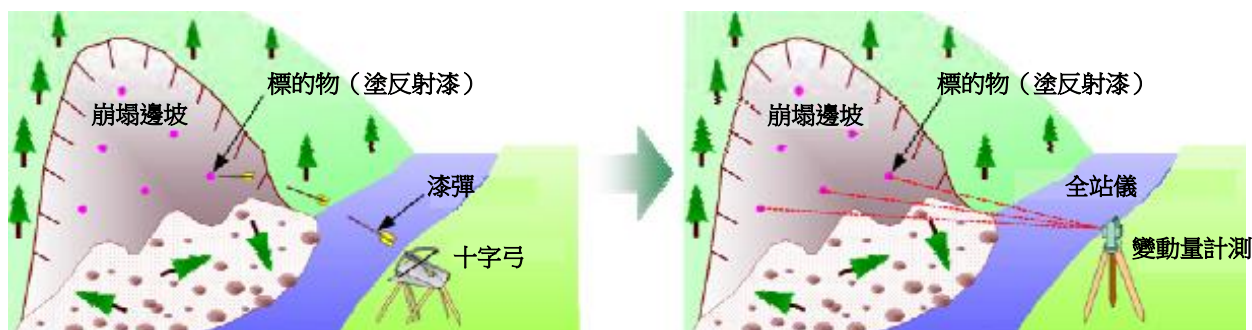


圖-1 設置標的物與觀測概要



圖-2 標的物設置用機材



圖-3 資機材同樣的捆包與開封狀況



圖-4 完成設置的標的物

1 專利申請第2006-219156號

12. 觀測設施記錄簿案例（岩手宮城內陸地震時的做法）

080628架設（土石流感測器）

規格－1

水系名		北上川水系（迫川）		地點名		迫S-4（感測器） [溫湯地區(④)上游部]	
設置位置		經度140° 46' 11" 緯度 38° 53' 18"		住所		宮城縣栗原市花山町溫湯	
設置年月日		2008年6月27日		查詢單位		北上川下游河川辦公室	
位置圖（1）		6/27 WS設置高度為2m。 7/4 開始發送與感測器有關之手機訊息。 （只傳送給相關登錄者） 7/12 [2：45]警報啟動（感測器切斷就會啟動警報） 7/18 PM 復舊完成（12日切斷的感測器復舊，設置高度2m） 警報裝置（吊橋部分）預定撤除 （7/25）國總研・土研了解狀況 警報裝置（吊橋部分） 清淤工程 迫川防砂壩 清淤工程 溫湯壩 警報裝置（辦公室前）					
位置圖（2）		圖 例 土石流感測器 感測器纜線 警報裝置					
設置的目的							
下游工程用 · 下游居民用 （工程名稱：溫湯地區清淤工程） （標的地區名稱：溫湯溫泉下游）							

水系名		北上川水系（迫川）		地點名		迫S-4（感測器） 【溫湯地區(④)上游部】	
設置前的 狀況照片							
設置後的 狀況照片		 2008.8.1 予定撤除吊橋 警報装置 6/27 10:00設置直2mにて。 7/4 センサー反応に備る機軸電圧の調整開始 （調整記録のみ） 7/11(12:50)警報作動⇒故障作動による移動センサー記録による誤報。復旧 7/15(14:45)警報作動(センサー切断による) 7/16(14:45)復旧完了(12日移動によるセンサー復旧、設置直2m)					
國總研、土研對於設置相關的意見							
【現地確認日】2008年6月23日							
■實施堰塞湖排水工程之前，在能設置鋼索感測器的時間點，將溫湯防砂壩堤部的鋼索感測器移設到本地點。（這是為了在環境條件許可移設的時間點，抵達保全標的溫湯溫泉）。 ■鋼索感測器設置在離河床大約H=2m的地點。（6月26日完成設置鋼索感測器）							

水系名	北上川水系（迫川）	地點名	迫S-4（感測器） [溫湯地區(④)上游部]
設置位置	經度140° 46' 14" 緯度 38° 52' 34"	住所	宮城縣栗原市花山町溫湯
設置年月日	2008年6月27日	查詢單位	北上川下游河川辦公室

位置圖（1）



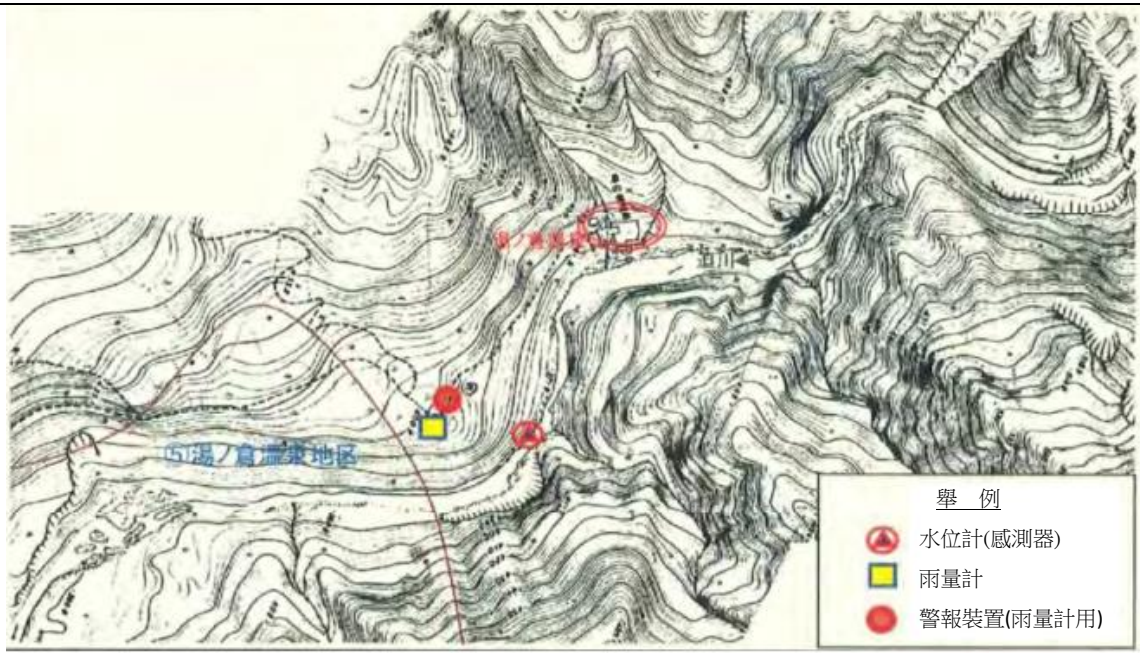
位置圖（2）



設置的目的

下游工程用 · 下游居民用
 （工程名稱：溫湯地區清淤工程） （標的地區名稱：溫湯溫泉下游）

水系名		北上川水系（迫川）		地點名		迫S-4（感測器） [溫湯地區(④)上游部]	
設置前的狀況照片		 迫川 大荒沢橋  迫川  迫川 大荒沢橋					
設置後の狀況照片		 警報装置 設置在現場辦公室前 WS設置高度2m  迫川 大荒沢橋  迫川  迫川 大荒沢橋					
國總研、土研對於設置相關的意見							

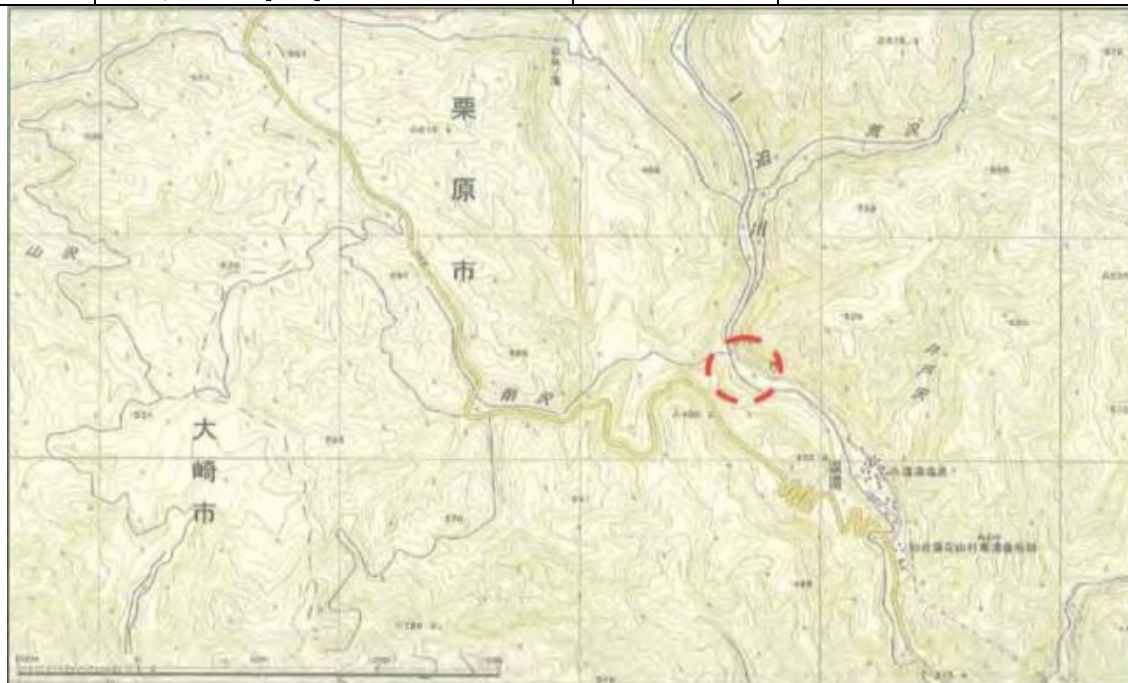
水系名	北上川水系（迫川）	地點名	迫川WL-4（水位計） [湯倉溫泉地區(⑤)]			
設置位置	經度 緯度	住所	宮城縣栗原市花山町本澤岳山			
設置年月日	2008年6月29日（水位計） 2008年8月 日（雨量計・警報）	查詢單位	東北技術辦公室 (北上川下游河川辦公室)			
位置圖（1）						
位置圖（2）						
設置的目的						
下游工程用 (工程名稱：湯倉地區工程) 下游居民用 (標的地區名稱：湯倉溫泉)						

水系名	北上川水系（迫川）	地點名	迫川WL-4（水位計） [湯倉溫泉地區(⑤)]
設置前的狀況照片			
設置後的狀況照片	 纜線  水壓式水位計 感測器與纜線		
國總研、土研對於設置相關的意見			
【現地確認日】2008年6月23日 ■研議設置浮標GPS（暫稱），掌握淹水區水位。			

水系名	北上川水系（迫川）	地點名	迫川WL-4（水位計） [湯倉溫泉地區(⑤)]
設置前的狀況照片			
設置後的狀況照片	帳篷內設置雨量表 (設置雨量顯示器與迴轉燈) 連結Ku-sat (每10分鐘將雨量數據傳送回本局) 雨量計設置位置 (將樹木狀況與是否影響工程等納入考量並決定。) 		
國總研、土研對於設置相關的意見			
【現地確認日】2008年6月23日 ■研議設置浮標GPS（暫稱），以掌握淹水區水位。			

水系名	北上川水系（迫川）	地點名	迫川WL-3（水位計） [迫川防砂壩(第2個)部分]
設置位置	經度140° 46' 11" 緯度 38° 52' 9"	住所	宮城縣栗原市花山町本澤
設置年月日	2008年7月 2日 [設置] 2008年7月30 日 [變更]	查詢單位	北上川下游河川辦公室

位置圖（1）



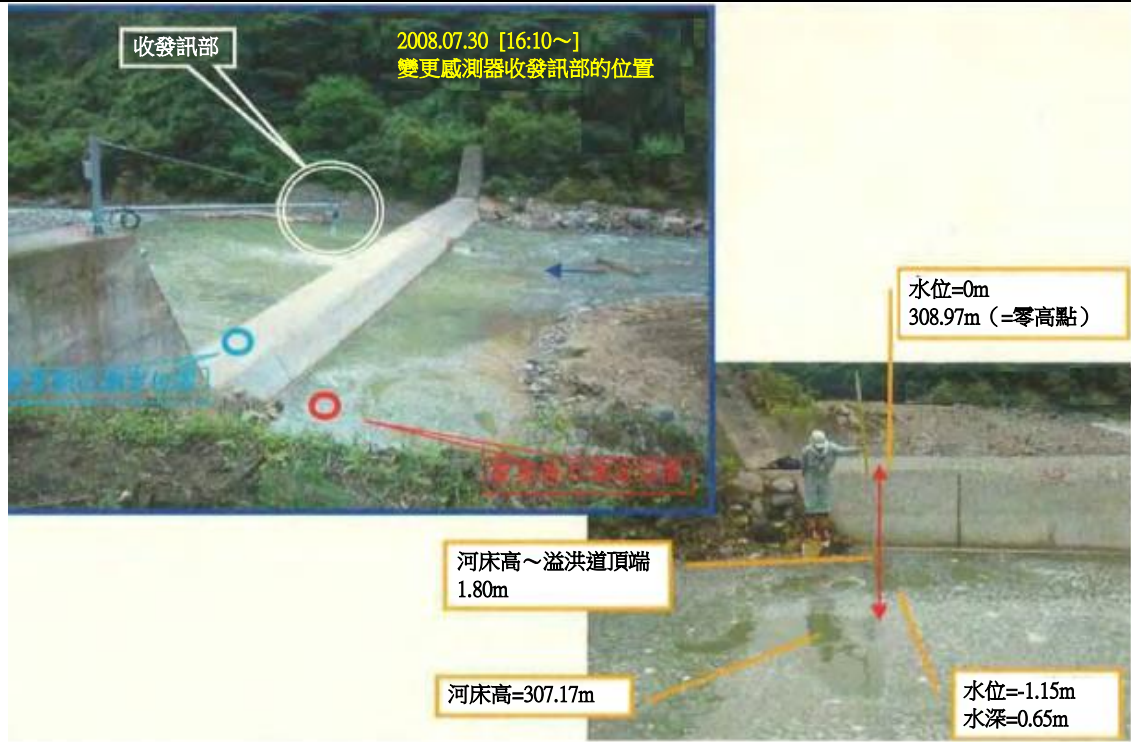
位置圖（2）



設置的目的

下游工程用 ・ 下游居民用
 （工程名稱： ） （標的地區名稱：溫湯地區下游）

水系名		北上川水系（迫川）		地點名		迫川WL-3（水位計） [迫川防砂壩(第2個)部分]	
設置前的狀況照片							
設置後的狀況照片		2008年7月2日設置  水位計感測器零點高 T.P. 308.97m （防砂壩通水頂端高）					
國總研、土研對於設置相關的意見							
【現地確認日】2008年6月23日 ■設置超音波水位計（監視上游堰塞湖的流出狀況等，以提供下游居民安全管理參考）。 ■變更為電波方式（因為考量必須以無線電傳輸訊息）							

水系名		北上川水系（迫川）		地點名		迫川WL-3（水位計） [迫川防砂壩(第2個)部分]	
設置前的 狀況 照片							
							
國總研、土研對於設置相關的意見							
【現地確認日】2008年6月23日							
■設置超音波水位計（監視上游堰塞湖的流出狀況等，以提供下游居民安全管理參考）。							
■變更為電波方式（因為考量必須以無線電傳輸訊息）							

13. 監視資訊通訊系統

13.1 手機通訊系統

1) 系統概要

這是最常使用、以手機傳達監視資訊的方法。利用人手1支的手機，不需另行建立新的系統，是能迅速利用且有功效的方法。

但山區有時無訊號，且有時地震等大規模災害導致電信公司通訊設備與網路受損，或網路使用量暴增而無法連線，這些是必須注意的地方。

手機除了通話，也可用內建攝影機進行動、靜態攝影，並連結電腦，將訊息傳送出去。

2) 特徵

①優點

- 可立刻購置或已備妥
- 每個人都會操作
- 不需建立新的操作系統，馬上就能找到許多有用的功能
- 有些手機內建高解析度數位相機，可進行動態攝影

②缺點

- 山區經常無訊號
- 有時地震等大規模災害導致電信公司通訊設備與網路受損
- 災害時，可能因為網路使用量暴增而無法連線
- 電池需充電，得確保電源

3) 利用方法示意圖

- 在手機有訊號地點，初期的概略調查就能當作能迅速有效的聲音、通話與數據傳系統使用

表13.1 手機通訊系統與監視機器對照表

監視內容	整體狀況	水位				降雨量	流速		侵蝕量			移動量		崩塌檢知	土石流發生檢知	
監視機器	監視攝影機 (市售的錄影機等)	水位標 目視	以測量機器 進行計測	空投式觀測 浮筒	水壓式 水位計	傾斗型 雨量計	浮標	流速計 迴轉・電磁 ・超音波	距離計 簡易雷射	地面測量機器 全站儀 (免稜鏡)		3D雷射 掃描	地面測量	伸縮計	崩塌檢知 感測器	圖案感測器 等
數據傳送 (連接數據收集器機・ PC)	△ 靜止影像	○ 需輸入作業	○ 需輸入作業	○	○	○	○ 需輸入作業	△ 有些機型需 輸入	○ 需輸入作業	○	○	○ 需輸入作業	○ 通訊時間長	○	△ 有時收訊時 間遲延會影 響警報發令	△ 有時收訊時 間遲延會影 響警報發令

※實施聲音通話時也可用口頭傳達各監視機器資訊。

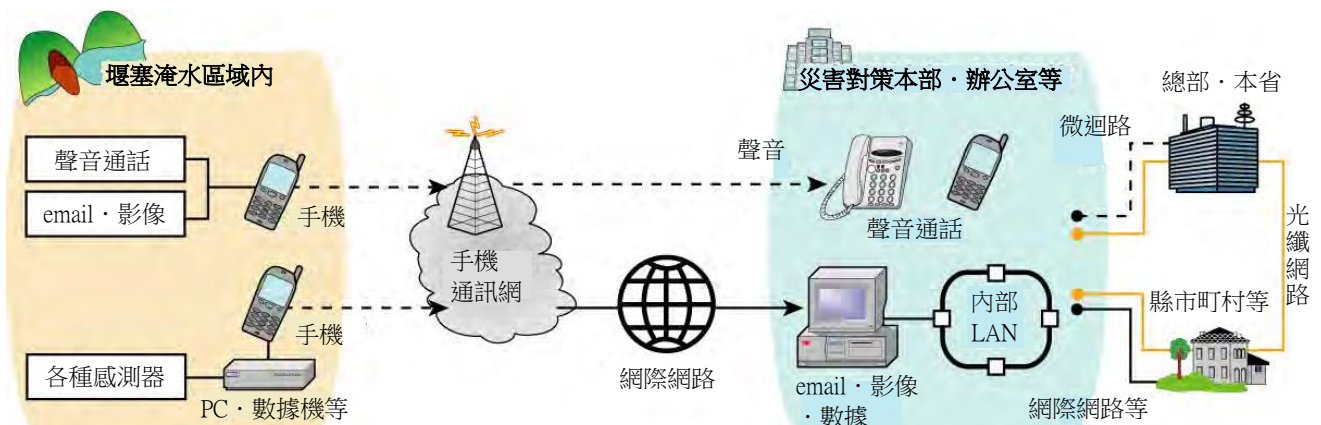


圖13.1 手機通訊系統利用示意圖

13.2 衛星無線通訊系統

衛星通訊系統乃是以人工衛星作為基地台，具有廣域性、同報性、耐災害性優點，並能簡易設定迴路。已經有很多領域派上用場。確認災害時具有高度通訊有效性。

因為透過衛星轉播，衛星通訊系統不易受災害影響，即使山區也能通訊，因此被國土交通省・地方自治體・警察・消防單位當作緊急通訊系統使用。

衛星通訊系統主要種類包括民間電話公司所提供的①衛星手機、國土交通省所購置的②衛星通訊車、③衛星小型畫面傳送裝置（Ku-SAT）等方法。

(1) 衛星手機

1) 系統概要

衛星手機主要是以人工衛星代替設在地面上的基地台，特徵是使用範圍廣，不易受地面災害影響。種類包括有利用靜止衛星或利用低軌道周迴衛星兩種，其特徵如下表所示。

表13.2 衛星手機比較表

所使用衛星	靜止衛星	低軌道周回衛星
飛行高度	12000km	780km
調整天線方向	必需（正南方45°仰角附近須無遮蔽）	不需
數據通訊	能	能
電池性能	連續帶機時間：20小時 連續通話時間：2小時	連續帶機時間：30小時 連續通話時間：3.6小時
通話終端裝置重量	約1700g	約400g
通話終端裝置外型	 (圖像：轉載自NTT DOCOMO公司HP)	 (圖像：轉載自KDDI公司HP)

2) 特徵

①優點

- ・不會像地面設備那樣受到災害影響地保持正常通訊
- ・即使山區也能通訊（但須在與衛星連接的直線上無樹木等障礙物，才能正常通訊）

②缺點

- ・連續通話時間比手機短
- ・通話聲音品質比一般手機差
- ・數據傳送出去需幾分鐘才能收到

3) 利用方法示意圖

- ・在手機有訊號地點，初期的概略調查就能當作能迅速有效的聲音、通話與數據傳系統使用

表13.3 衛星手機系統監視機器對照表

監視內容	整體狀況	水位				降雨量	流速		侵蝕量			移動量		崩塌檢知	土石流發生檢知
監視機器	監視攝影機 (市售的錄影機等)	水位標 目視	以測量機器 進行計測	空投式觀測浮筒	水壓式 水位計	傾斗型 雨量計	浮標	流速計 (迴轉・電磁・超音波)	距離計 (簡易雷射)	地面測量機器		地面測量	伸縮計	崩塌檢知 感測器	鋼索感測 器等
數據傳送 (連接數據收集器・ PC)	△ 靜止影像	○ 需輸入作業	○ 需輸入作業	○	○	○	○ 需輸入作業	△ 有些機型 需輸入	○ 需輸入作業	○	○ 通話時間 長	○ 需輸入作業	○	△ 有時收訊 時間遞延 會影響警 報發令	△ 有時收訊 時間遞延 會影響警 報發令

※實施聲音通話時也可以用口頭傳達各監視機器資訊。

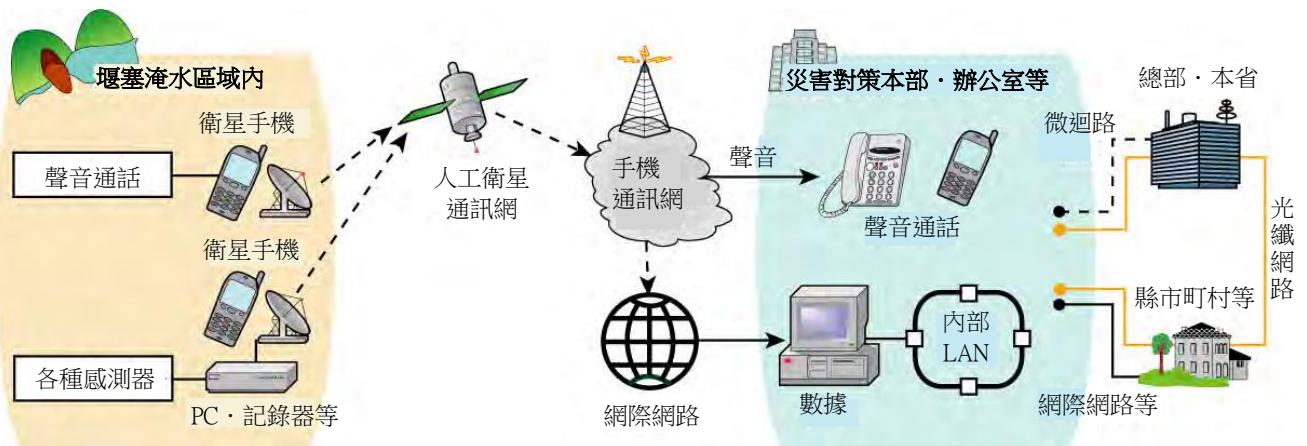


圖13.2 衛星手機系統利用示意圖

(2) 衛星通訊車

1) 系統概要

國土交通省所擁有的衛星通訊車搭載衛星通訊設施、電源等，可使用禁止衛星（JCSAT衛星），能建立災害現場衛星通訊車與災害對策本部、地方整備局等之間的通訊網，確保幾乎全日本地區都能進行通訊。衛星通訊車不會受到災害影響，任何地方都可設置通訊網，因此可用來蒐集災害現場資訊，支援其他通訊網路。另外，衛星通訊車也搭載可以將直升機所拍攝影像轉播傳到辦公室的裝置，但缺點是若無道路靠近堰塞湖，車輛便無法進入。

< 衛星通訊車的主要通訊裝置與線路數 >

通訊裝置：輸出功率 300W
 通訊頻率：14/12GHz
 通訊終端裝置：通訊線路數 6ch、確認線路數 1ch
 影像終端裝置：1.5Mbps 準動畫、6.3Mbps 動畫
 小型交換裝置：收容線路 衛星線路連接線數 6 線路
 衛星汽車電話線路數 1 線路
 內線數 11 線路
 發動發電機：固定出力 11KVA



圖13.3 衛星通訊車的外觀與主要規格

（參考案例：北陸地方整備局所有的衛星通訊車）

2) 特徵

①優點

- 能不受災害影響地進行通訊
- 能以影像傳送裝置傳送動畫（也可將直升機所拍攝影像傳到辦公室等）
- 搭載衛星電話等交換裝置，可利用複數的電話線路
- 相關機關若裝設衛星收訊裝置，也能同時接收訊息（資訊的統一發送・共享）

②缺點

- 若無道路可到達堰塞湖附近，車輛便無法進入

3) 利用示意圖

- 若有道路靠近堰塞湖附近，就能傳送影像，扮演對策本部、市町村等訊息傳遞的基地台

表13.4 衛星手機系統監視機器對照表

監視內容	整體狀況	水位				降雨量	流速		侵蝕量			移動量		崩塌檢知	土石流發生檢知
監視機器	監視攝影機 (市售的錄影機等)	水位標 目視	以測量機器進行計測	空投式觀測浮筒	水壓式水位計	傾斗型雨量計	浮標	流速計 (迴轉・電磁・超音波)	距離計 (簡易雷射)	地面測量機器		地面測量	伸縮計	崩塌檢知感測器	鋼索感測器等
影像傳送裝置	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
數據傳送 (連接數據收集機・PC)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

※實施聲音通話時也可以用口頭傳達各監視機器資訊。

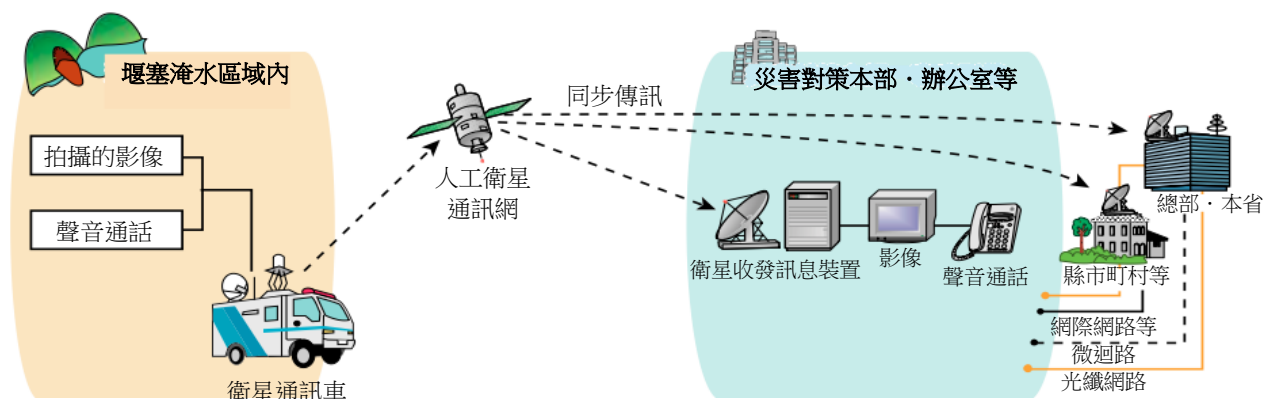


圖13.4 衛星通訊車系統利用示意圖

13.3 地面系無線通訊系統（國土交通省移動通訊系統（K-COSMOS））

1) 系統概要

國土交通省移動通訊系統（K-COSMOS），乃利用地面系的移動無線通訊系統，不只災害時可派上用場，也可運用於平常的業務管理。其專用移動通訊設施為MCA（Multi Channel Access）方式，乃是可讓許多人同時利用複數頻率的業務用無線通訊方式，特徵為具有強大混合訊號能力，操作者不需具備無線工程師資格。

能與微迴路、衛星迴路等連結，迅速蒐集災害資訊，進行聯絡與指揮。也可用聲音的方式進行通訊，掌握現場狀況。



圖13.5 K-COSMOS外觀

另外，若堰塞湖位於山區等K-COSMOS電波無法覆蓋、難以通訊的地點，可出動K-COSMOS通訊車，扮演基地台功能，確保能繼續傳送訊息。



圖13.6 K-COSMOS通訊車外觀

2) 特徵

①優點

- ・平常就已發揮功能，也可派到堰塞湖地區支援
- ・不需建立新的系統
- ・訊號集中或訊號混合狀況，也能發揮機能

②缺點

- ・訊號不及之地，就無法進行通訊（但若以K-COSMOS通訊車作為基地台，就有訊號）

3) 利用方法示意圖

- ・可當作有訊號、初期的臨時資訊通訊系統
- ・主要通訊資訊內容：聲音通話等

表13.5 K-COSMOS系統監視機器對照表

監視內容	整體狀況	水位				降雨量	流速		侵蝕量			移動量		崩塌檢知	土石流發生檢知	
監視機器	監視攝影機 (市售的錄影機等)	水位標 目視	以測量機器進行計測	空投式觀測浮筒	水壓式水位計	傾斗型雨量計	浮標	流速計 迴轉・電磁・超音波	距離計 簡易雷射	地面測量機器 全站儀 (免稜鏡)		3D雷射掃描	地面測量	伸縮計	崩塌檢知感測器	鋼索感測器等
數據傳送 (連接數據收集器機・PC)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

※主要是聲音通話，口頭傳達各監視機器的資訊。

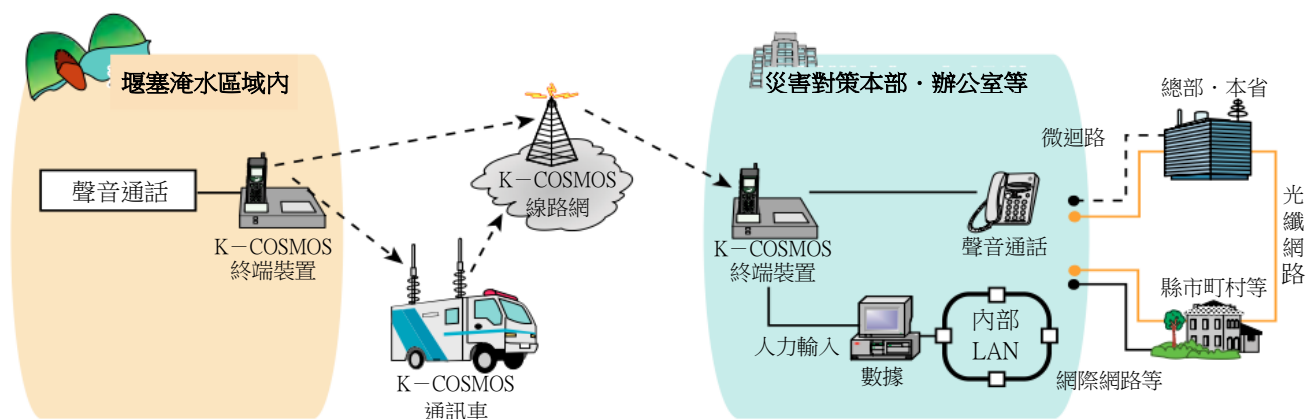


圖13.7 K-COSMOS系統利用示意圖

14. 堰塞湖場內監視機器的無線化

堰塞湖初期所設置監視機器主要是為了建立緊急通訊系統；若用纜線長距離連接監視機器與資訊通訊系統機器，一旦實施堰塞湖緊急對策工程，纜線可能會被緊急對策等工程車輛切斷。

為了避免纜線被工程車輛切斷，最好實施無線化。

無線傳送監視機器數據的方法，包括不需執照的微弱無線、特定小電力無線、無線LAN、ZigBee等無線通訊方法。

無線通訊方式各有其特徵，應針對現場特徵、是否容易取得、觀測機器的相容性等，選定適合產品。

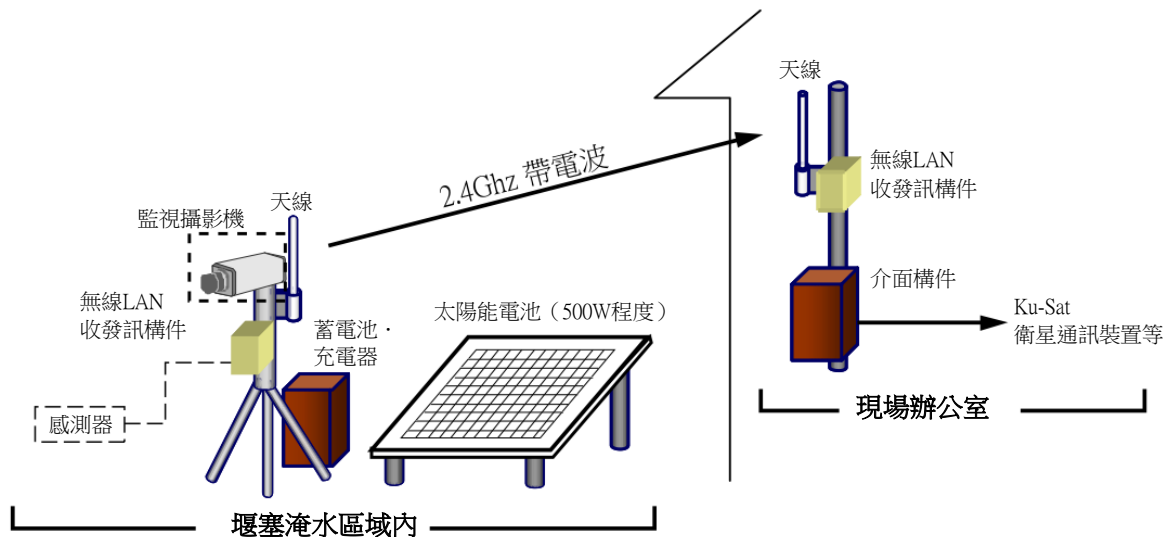


圖 以無線LAN傳送堰塞淹水區域內的影像資訊（參考例）

15. 中越地震所造成堰塞湖監視方法相關訪談結果

中越地震堰塞湖監視方法相關訪談結果

(斜體字為訪談結果)

湯澤砂防辦公室實施訪談，結果如下。

問1. 出現堰塞湖時需觀測的項目是什麼？

問1-1 堰塞湖發生時需觀測項目如下。實際上進行監視與觀測之後，是否得追加什麼項目？

各項目實施如下

①雨量：利用新潟縣所設置的雨量計進行觀測

②淹水區水位：利用新潟縣設置的測量用設備與水位計進行觀測

③往淹水區的流入量：未調查（從淹水區水位上升狀況進行推估）

④從淹水區的流出量：不定期實施流量觀測（確認幫浦效率等）

⑤淹水區面積：利用既有的地形圖製作H-V曲線

⑦崩塌坡面（地滑坡面）的變位觀測：在地表設置傾斜計，但實施緊急・應急對策工程時有時會形成障礙而無法順暢地實施觀測。

⑧土砂堆積區下游側的侵蝕速度・量：未實施詳細的地形測量

⑧土砂堆積區下游側的異狀（比如漏水等）：實施工程之際藉由定期現場巡視，確認有無異狀

⑨有無發生土石流：降雪期之前在寺野設置土石流感測器，新潟縣政府設置在梶金橋與小芋川大橋。

⑩掌握現地整體狀況

問1-2 實際進行觀測之際最需要的觀測項目是？

①堰塞湖上游區域（淹水區）水位資訊

②堰塞湖流入與流出量資訊

③堰塞湖淹水區面積相關資訊

問1-3 觀測項目之中最希望能自動傳送出去的資訊是什麼？

④堰塞湖上游區域（淹水區）水位資訊

⑤堰塞湖流入與流出量資訊

⑥堰塞湖淹水區面積相關資訊

問1-4 問1-1觀測項目之外，以經過時間為軸，整理成傳送方法、觀測機器設置狀況、資訊內容、提供標的等的反應狀況，製作成表。表一1~表一4的空欄、錯誤、追加部分、特別註記部分是什麼？

（又，若知道有與下列整理項目內容有關之資料，可否借用？）

提供機器設置日時，資訊傳送數據清單、機器設置配置圖、寺野・東竹澤經過報告之各種資料。

問2. 監視與觀測機器

問2-1 有機器會因為價格、是否容易取得、設置時間條件等無法配合而難以設置嗎？若有這種狀況，難以配合的條件是什麼？

這次的機器業者有庫存，取得沒有問題。除非有難度較高的條件，否則應可取得該機器。

問2-2 經歷過地震災害之後，預防災害所應事先準備的觀測機器與機材為何？

①顧問公司或業者有機器相關庫存資訊即可。

②對應處理災害的觀測機器須能快速交件，進行現場設置。

問2-3 目前的監視・觀測機器之觀測精度・警報基準值大約多少？是否有針對觀測精度與警報基準值進行檢討？

①警戒基準水位乃是暫定性的。

②可適用地滑4mm等一般作法。

問2-4 所設置並實施觀測的機器也有些問題，其問題具體內容及實施對策為何？

①只靠單一感測器無法驗證觀測結果，必須同一種複數感測器或不同種類感測器交叉比對。

・除了東竹澤水位觀測，還加上新潟縣以及湯澤砂防的觀測結果，交叉驗證。

②水位計

・觀測初期階段臨時設置壓力式水位計，因此和無法進行其零點設定，而以讀取測量工具箱進行的觀測實施並行觀測，之後才變換成為絕對海拔。

・壓力式水位計乃是臨時裝置，所取得的數據不穩定，有時會和測量工具箱所得到的數據不同（之後才會穩定下來）

・實施水位觀測，相互比較間隔10分鐘的數據，很容易發現參差不齊。若要平均化處理，可用一小時為單位作為觀測週期。

③流入量

・上游有好幾個堰塞湖，很難掌握水位等實況，因此低估了流入量，導致設置太少土砂堆積區排水幫浦，排水幫浦的排水能力也不足。因此，得先掌握上游區域，才能計算出所需的排水能力，以及該設多少台抽水幫浦。

・堰塞湖上流區域雖已充分了解須以三角堰實施流量觀測，但堰塞湖形成時難以靠近因而無法觀測堰塞湖時，人員難以接近，因此無法實施觀測。

④流出量

・在堰塞湖下游橋梁定期實施流量觀測，掌握流出量。

・還不了解堰塞湖的漏水水量。

⑤湖水面積

・沒有地震前詳細的地圖與空照圖，只靠目前的1/5000地圖作判斷，精度不高。

・有崩塌發生，使得淹水區水面下的地形難以瞭解。

・災害發生後容易取得空拍圖等地形異狀相關資訊，但不易確認發生前的原地形。因此，進行相關調查應事先做好準備工作。

⑥崩塌邊坡的變位觀測

・實施對策工程乃最優先課題，因此用來掌握地滑動態的鑽探調查等難以實施。

⑦侵蝕量

・來自現地的資訊幾乎都是照片，無法從照片算出侵蝕量。

問2-5 就觀測的整體狀況而言，目前的做法是否有需改良或改變的地方？

①現地確認

- ・ 直升機相當有效，可靈活運用民間航測公司的數據。
- ・ 有必要檢討從照片等平面圖取得Z軸方向資訊（高度資訊）的方法（災害剛發生時無法進行現場正確測量，只能根據手邊資料加以推定）

②觀測機器的小型・輕量化

- ・ 處理災害問題的觀測機器，重點是小型、輕量。
- ・ 比如，像冰桶那樣大小，且須具備戶外使用防水構造。

③堰塞淹水區通訊無線化

- ・ 堰塞湖場內觀測機器用纜線常被工程車輛切斷，因此須實施無線化。

④防止感測器錯誤運作對策的事前準備

- ・ 有時會有鋼索檢知器等被打雷誘導造成錯誤運作。最好建立單一感測器操作錯誤對策，並比對其他感測器（水位、流量等）資訊，建立可防止錯誤操作的系統。

⑤確保電源

- ・ 如何靈活運用發動發電機，並給予充足供油。

⑥支援

- ・ 災害發生時有地滑專家常駐現場，非常有效地解決了問題。
- ・ 總部支援可減輕第一線辦公室負擔，順利推動具體對策。（第一線辦公室人力有限，難以自行判斷並行動）

⑦影像

- ・ 現場取得的資訊除了觀測數據，影像資訊也不可或缺。影像須能停格傳送。

問2-6 今後若須新設置觀測機器，其觀測目的、機器、設置場所等為何？

①目前寺野堰塞湖現場還沒看到監視攝影機，須盡快設置。

②目前觀測機器是否設置在適當地點，以及配置計畫是否恰當，有必要檢討（比如其所設定的溫度是否能代表當地狀況等）

③為了確保安全，今後仍應實施計測。

④對策工程實施後的土地利用

- ・ 為了監視對策地點面對地滑的安全性，須建立常時監視系統。

3. 資訊的通訊・系統

問3-1 傳達資訊給辦公室、局、本省、市町村，尚未達成自動化的原因為何？（現場→辦公室・相關機關、辦公室→相關機關）

- ① Ku-SAT迴路不足。
- ② 災害發生時無法使用手機。今後可同時使用傳統無線電，但須平常習慣使用。
- ③ 衛星手機電池容量不足，結果一天之內交替用了3支衛星手機，感覺通訊還不穩定、不方便。
- ④ 只靠單一迴路，迴路斷線時就無法傳送資訊。因此應搭配無線電與有線傳送方式，以雙管道概念實施迴路雙重化（搭配運用i mode與光纖網路）。

問3-2 有了地震災害實際經驗，覺得防備災害應事先準備怎樣的資訊通訊系統與資訊機器？

Ku-SAT設在總局，須用直升機送到現場，但仍有下列問題。

- ・ 迴路不足還得增強。每一個現場都得設定至少「1影像+數據」的資訊構成。
- ・ 拋物型天線被雪覆蓋的對策（下面設投光器，加溫使雪融化）

問3-3 會議所使用多螢幕資訊機器是否有須改善之處？

- ① 目前只有8個畫面，傳送新聞畫面就會減少可使用畫面，因此希望能再多一些畫面。
- ② 畫面上會顯示出雷達雨量，但看不出重點，最好在畫面上做標示。
- ③ 資訊機器容量太小，無法看到其他辦公室影像。

問3-4 利用網路伺服器打造資訊共享環境需要多久？是否有其他資訊管理問題（比如，是否得區分閱覽專用與可改寫之資訊種類，安全性等）？

- ① 一天就可建立。
- ② 必須有資料夾製作規則。目前持續在做。

問3-5 利用網路服務建立資訊共有環境的目前使用狀況，以及現場實施資訊共有時是否有遭遇什麼問題？

- ① 照片傳閱相當方便。
- ② 目前還在使用。
- ③ 須進行既有資訊資料庫化
 - ・ 無發生前與後之地形圖，只能從道路記錄簿等相關資訊推定。如果能蒐集相關資訊並製作資料庫，運用起來會比較順暢。
- ④ 活用工程相關人士所收集之資訊。
 - ・ 利用NTT DOCOMO公共迴路與光纖將資訊傳送到辦公室。此外，現場數據應匯集到監督員手中，實施一元管理。

4. 總結

問4-1 除了上述問題之外，現場實際上還有發生其他什麼問題嗎？解決對策為何？

無

問4-2 目前尚未解決的問題是什麼？

Ku-SAT迴路。每個場所最少都需要一個影像與一個數據。

問4-3 整體而言最大的困擾是什麼？

手機無法使用（參照問3-1）。

問4-4 堰塞湖狀況變化是否有造成所需資訊・項目怎樣的改變？

參照所提供資料。

問4-5 目前（2005年10月）的危機管理行政工作，分攤（中央政府、縣、市町村）狀況如何？

①新潟縣砂防實施了下游龍光地區的土石流警戒・避難，湯澤砂防則只提供資訊。

②機器的準備範圍與資訊責任分界點，應以予明確化。

問4-6 選定監視・觀測項目時，是否有已檢討完成的內容，以及已參考之事例、資料（災害資訊系統開發報告書 第Ⅲ卷 基礎設施編 「1992年3月 建設省」等）？

參考業者的提案。

5. 其他

堰塞湖不同發生狀況，其對策做法有很大差異。亦即，只出現一個堰塞湖和同時出現許多堰塞湖，如何清淤、確保清淤時有地方堆放，並確保工程車輛能進入現場等的狀況條件，都不相同。

16. 岩手・宮城內陸震生堰塞湖監視方法相關問卷調查結果

針對東北地方整備局所實施岩手・宮城內陸地震堰塞湖對應措施的問卷調查結果，其中有關堰塞湖監視的項目摘要如下。

堰塞湖對應處理措施

I 堰塞湖的調查

1. 地點調查、發表

- 這次上午就已確認堰塞湖地點，因此應派先遣班進行直升機載砂防專家前往調查（3機），（這次是從第二天開始）
- 堰塞湖不在直接管轄區域內，因此不知道可調查到什麼範圍
- 堰塞湖不在直接管轄範圍內，因此，大規模地點的發表及之後的調查等，乃是以砂防部line為主體，並未上傳災害對策總部系統
- 即時影像處理系統處理連續畫面效果很好，災害發生後應立刻讓各單位使用這套系統
- 國土地理院所提供資料（1/3萬地圖、照片）對調查與整理工作非常有用（災後第二天收到）
- 每年都能取得衛星照片（精度20cm），可確認地貌是否有異狀（購買災後衛星照片）
- 不同政府部門零零散散進入現場實施現地調查、設置感測器等工作，應事先規劃協力體制

2. 規模的調查（LP）

- 災害發生後隔天就實施LP測量，迅速完成對應處理工作
- 現場調查發現很多是災害前LP資料所無的狀況，很難確定堰塞湖位置（地點），難以設定重要事項與要素（精度參差不齊）

3. 監視

- 地震後立刻擬定直升機調查計畫與水位感測器監視計畫，災後一周取得研究機關對於本計畫的認可
- 土木研究所所製作「堰塞湖監視技術手冊（案）」※接下來最好進行下列補充。
 - ◆監視堰塞湖基本上應使用直升機。（這次因為災區範圍大且出現堰塞湖，道路不通，且地震後餘震造成落石，相當危險。）
 - ◆3.1堰塞湖狀況的「基礎資料的確認・蒐集」圖面中，山區圖面還沒完成，因此留下應立刻實施LP測量的紀錄（應在災前事先做好紀錄）
 - ◆4.1堰塞湖整體狀況的監視・掌握【以監視器進行監視的注意要點】之中，是否可檢討以直升機運送
 - ◆4.2監視淹水區水位①從直升機進行目視監視 最好記載攝影時每次應調整、對準的角度。
 - ◆5監視資訊通訊系統的選定 之中最好記載將監視資訊廣泛地傳達給行政機關與地區居民的網路系統很重要重要這件事
 - ◆另外，山區不可能有道路進入，因此最好記載有必要檢討用直升機搬運這件事
 - ◆卷末資料 1. 代表性的監視・觀測機器性能・規格之中，追加土研式空投式水位計
 - ◆降雪期與融雪期的監視計畫要點與彙整部分，內容須補強

※岩手・宮城內陸地震時有發送本手冊之暫定版。

◆追加直升機調查的重點

- ・儘可能由相同的人進行調查，實施比較
- ・適當調查頻率為何？（想法）
- ・可請砂防專家一起調查，指導
- ・是否有方法可確認土砂堆積區下游是否有漏水，其注意要點為何等
- ・溢流時的確認事項，以及對民眾公開資料的製作方法

◆鋼索檢知器的高度區分

- ・有記載設置2根，1根工程用（1m），另1根居民避難用（2m）

◆觀測機與資訊傳訊裝置設置費的概算金額

◆在道路無法通行地點監視水位方法案例

◆山區無電力或無電話線時的對應處理方法

◆市町村的避難基準要領

- ・相關的監視項目與頻率等

◆錄影機影像監視在工程期間遵照本省之指示實施工程轉播

◆提供資訊給縣與市的方法

- ・由局HP發布資訊，或用EMAIL把資訊傳到手機等等

○需要有像這次這樣大範圍（含直轄區域外）發生災害時初期對策與行動體制的堰塞湖對應處理手冊

- ・應事先設定好面對災害應建立怎樣的因應體制，實施怎樣的對應處理措施
- ・確認有堰塞湖之後須建立監視體制，並催促NTT與電力公司確保通訊與電力正常
- ・發電機的燃料搬入也和工程以及資訊傳送有關連，目前是各自搬入應相互連繫才對
- ・其他機關也應設置複數的鋼索檢知器，進行資訊共享，但介面不合的改良作業得花點時間
→統一機器規格並周知相關單位

○堰塞湖位置（地點）等資訊分享工作做得不徹底

- ・本省各單位給了各式各樣的資訊與指示，資訊與指示錯綜複雜

(1) 直升機監視

○相同區域有複數直升機空拍並傳送訊息，訊息大量集中而來，讓地面相關操作人員疲於應付
→須事先決定傳送影像訊息的直升機

○監視結果（照片）應周知相關辦公室與縣，若收到縣指示須注意某些地點，應立刻實施追加調查並提供報告

○航空局周休二日，因此利用民間直升機實施復舊作業時，須在周五之前完成飛行申請（如何協力完成復舊工作，是今後須檢討方向）

○因為事前已經呼籲自衛隊加入協力作業體制，因此在國交省直升機因為天候惡劣而無法起飛時，早上就取得了自衛隊的空拍資訊

○原本預定以直升機搭載相機進行空拍，但飛行期間因為本部希望看到影像，就切換成錄影模式而無法進行拍照（來自本部的單方向指示，導致無法實施原定的調查工作）

(2) 影像監視

- 本省的資訊傳達（指示）系統尚未統一，現場混亂。
- 各辦公室都有Ku-SAT機器，因為資訊通信技術課配置狀況有先處理好，後才能順暢的搬到現場，並有效地提供庫存
 - 若能在東北轄區內進行適當的機器配置會更好
- Ku-SAT所使用電源也就是小型發電機連續運轉時間約5小時，因此得想辦法維持運轉
 - 應事先配備可連續運轉72小時的小型發電機另外，發電機出現故障等問題時，也應檢討設置備用電源（電池、燃料電池等）
- 在湯倉溫泉地區設置Ku-SAT，因為機材故障導致影像傳送速度變差（不是速度）
 - 在無法進行資機材地面搬運的地點，應事先設置或搬進去二套預備資機材（包括）
- 很多影像監視設置的目的不明確，不同的課要求進行拍攝角度設定或變更（也有本省直接電話指示的狀況）
 - 影像不只要能傳出去就好，須明確設定目的而傳送（是為了掌握災區狀況，還是將資訊提供給災民，或者進行工程監視？）
 - ※目的不明確，就無法決定是由本局業務負責對應處理工作，還是由辦公室負責，如此也沒辦法建立明確的指揮系統（變成無法區分是緊急災害派遣隊TECFORCE的預算還是災害預算）
- 資訊蒐集車可傳送影像，但也可用普通車輛追加影像傳送機能的方式，在各縣廳所在地配備影像傳送車輛

(3) 水位・雨量監視

- 利用Ku-SAT傳送數據時，運用了中越地震曾派上用場的系統，順利解決了問題（WS共通）
- 超過臨界值時的EMAIL通知方面，因為沒有實施變更通訊地址群組發送訊息試驗，結果即使超過了臨界值，還是沒有發出訊息
 - 系統等些微內容變更，也須有確認的動作。
 - （※最初設定時（通訊地址群組變更前）實施確認動作發現並無問題，因此判斷不需要，但二個臨界值之中只有一個進行變更，導致這樣的問題）
- 進行堰塞湖監視的地點，須實施水位觀測，地方整備局應事先準備水位計
- 特別是像這次因為土砂崩塌無法通行時，最好在全國先設定幾個地點，備妥能用直升機空投的土研式水位計

(4) 土石流感測器監視

- 土石流感測器（由土木業者設置）與Ku-SAT（由電訊業者設置）的連接器，其AB接點不合
 - 須和同業者事先磋商，溝通意見。此外，即使進行現地調查也必須一同前往，並且共享整體（影像、水位、雨量、WS）監視計畫
- 設置土石流感測器時，最好由TECFORCE（經驗者）指導。（國總研）

(5) 其他

- 應確保與現場能通訊（地方整備局150台衛星手機）
- K-COS比預期的更具有利用價值，淺布地區只使用K-COS
- 因為南側有山，衛星手機不通
- 初期對應處理工作（調查等）方面，有經驗的本省與北陸地方整備局指導很有幫助

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4121 December 2008

編輯・發行 ©独立行政法人土木研究所

本資料的轉載・複写的查詢

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県筑波市南原1－6 電話029－879－6754

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。