行政院農業委員會水土保持局

與您一起打拼

行政院農業委員會水土保持局
54044南投市中興新村光華路6號
https://www.swcb.gov.tw

109年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究 成果報告書

109年度 行政院農業委員會水土保持局

SWCB-109-311

109年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究成果報告書



行政院農業委員會水土保持局　編印
中華民國109年12月

計畫編號：SWCB-109-311

109 年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究

The Study of Mitigation Strategies and Impact for Large-Scale Sediment Disasters Report in 2020

執行單位　：　財團法人農業科技研究院

研究主持人　：　黃德秀 研究員

研究人員　：　林家興、林詠喬、白佩鑫、林宥伯、林恩如、陳昭岑

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 109 年 12 月

109 年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究

摘要

本計畫為三年期(108-110 年度)之連續型計畫案，109 年度完成工作項目包含：國內外土砂防災研究及技術文獻分析、水土保持局歷年土砂防災成果盤點與分析、水土保持基礎資料、集水區土砂災害模擬測試與分析，土砂防災研究發展議題等相關成果，並發表研究論文共計 9 篇，分別為期刊論文 1 篇 (審查中)，國際研討會論文 1 篇，國內研討會論文 7 篇，另書籍雜誌 1 篇。各項工作成果摘要如下：

國內外土砂防災研究及技術文獻分析，面對氣候變遷衝擊與衍生複合型災害，造成嚴重災情，各國政府部門相關單位積極投入基礎調查、科學研究等以擬定具體因應策略，藉由氣候變遷情境之影響與分析等資料，建立各階段減緩與調適策略，並適時檢討因應對策以完善管理機制。日本國土交通省舉辦專家會議針對各項議題研擬因應對策，其檢討過程及制定策略對於國內未來在研擬與推動減緩及調適對策上，極具參考價值，本項工作擬就此方面進行相關文獻蒐集，重點摘錄氣候變遷情境預測、土砂災害特徵、調適策略制定方向及措施等，相關結果可作為國內未來推動氣候變遷調適相關計畫時參考。

歷年已完成之土砂防災技術研究成果則以彙整 97 年度至 108 年度水土保持局之委辦與研究計畫成果報告計 2620 冊，並以此為依據執行成效分析，並評估各項技術或研究案持續發展之可延續性。

今年度盤點資料基礎資料主要以河床質及斷面共通性欄位及數值格式等進行率定，繼去年數位化包含集水區水文資料、河川水理、相關雨量站、地質鑽探、表土試驗、地電阻等基礎資料，今年資料管

理平台則規劃處理河床質採樣資料包含樣孔及表面粒徑資料，斷面資料包含斷面樁及橫斷面二種基礎資料，以資料產製之時間、空間資訊關係建置於平台內，並以年度、縣市、關鍵字及空間選取方式，方便使用者進行檢索查詢與加值應用，期望水土保持局資料平台能成為坡地與水土保持相關之資料中心，提供各界研究所需基礎資料。

水土保持基礎資料管理，所遇到問題主要為委辦案產製基礎資料無共通性資料欄位，無數位化檔案資料，地理圖資為紙本資料或 PDF 格式檔案，不利於機器自動化讀取並轉錄於資料庫，因此對於以上問題，水保局目前定期召開「資料工作圈」，討論開放資料標章統計情況、基礎資料格式範本訂定、開放資料集清單、平台系統 API 清單、開收地理資料集清單、核心圖資資料集清單等各項議題，藉由歷次資料管理工作圈討論並追蹤上述議題、資料調整及增減項目、格式訂定、API 管理等，最後由「資訊推動小組」決議後而訂定各式編碼規範與管理作業要點，並於今年發布「行政院農業委員會水土保持局共通性資料欄位編碼規範」及「行政院農業委員會水土保持局數值資料及地理圖資管理作業要點」，以利資料流通交換與介接，並達有效資料管理及共享之目的。

建構智慧防災的坡地環境一直是水保局努力的願景，智慧防災不僅強調科技面，對於資料儲存、管理、交換等資料治理亦是重點之一，因此，以水保局目前業務型態，其資料類型多元化，需訂定相關資料標準及作業規範，以達成水土保持基礎資料有效整合、加值、共享之目標。藉由水土保持基礎資料管理精進方案，期能透過有效的資源整合，避免重複性支出，同時提升機關內部知識共享，促進資料流通及加值應用，使本局在資料管理符合國際相關標準與國內相關標準並遵

循國內法規。

土砂災害模擬相關模式測試與分析，109 年度完成「土石流溢流點劃設對流動堆積區影響研究」、「GEE 雲端分析平台應用於堰塞湖潰決評估之可行性研究」、「頭社水庫水下地型調查與無人機建模研究」等三個研究案例，建置數值模型評估土砂災害並探討模式適用性與分析結果。

國內現行土石流影響範圍劃設步驟依序為：選定土石流溢流點位置、估算土砂流出量、以池谷浩公式計算淤積長度、根據土石流最大擴展角(105 度)劃設扇型區域，再以坡度 2 度為土石流停止點及最大堆積深度(10~12m)等條件，依現場地形進行影響範圍之修正。但由於溢流點位置多取決於調查人員之經驗及主觀判定，其結果常因人而異。本研究以 2018 年南投縣名間鄉仁和村土石流事件為例，運用 H.O.S.T 地圖具有極佳立體感及可呈現微地形特徵之優點進行溢流點選定，再藉由土石流二維動床模擬，探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異。結果顯示，不同溢流點位置，對於下游土砂堆積形狀及淤積高度影響甚大，而以 H.O.S.T 地圖輔助選定之溢流點，較能符合該土石流事件土砂堆積之現象。

堰塞湖由於壩體材料鬆散，經統計約 50%於形成 10 日內即潰決，造成下游地區生命財產損失，故如何在限時間內評估潰決可能性係防災工作上經常面臨的難題。由於堰塞湖形成位置難以預測，且通常位於山區上游集水區，現地測量常不可行，故其蓄水規模不易探測。為在災害發生時快速評估壩體穩定性，本研究嘗試運用 Google earth engine (GEE) 平台提供多時期 sentinel-1 雷達影像和現有的 DEM 資料，推估堰塞湖蓄水深度、面積與體積關係 (Elevation-Area-Volume

Curve, EAV Curve)。並利用 EAV 曲線值與雷達影像多時期資料估計上游入流量，搭配壩體穩定性指標 (DBI) 作為初步危險性分析和決策依據。本研究先以水庫蓄水量作為研究案例，利用水利署之實測資料驗證此方法之可行性，其成果將可作為後續堰塞湖潰決評估和災情研判與決策參據。

第三個案例則為瞭解 Deeper Pro 聲波水深量測儀與無人載具兩者能否搭配使用，以獲得水下地形資訊及空間座標位置，及後續室內構造物建模等三項作業。Deeper Pro 聲納水深探測器於現地訊號接收距離與功能測試，搭配 UAV 進行掛載作業，以作為未來堰塞湖發生時使用 UAV 進行水深量測之前期研究測試。UAV 拍攝任務之設定為頭社水庫正射影像空拍作業，檢視庫區水體範圍，其判釋成果，可作為未來堰塞湖上游迴水長度及蓄水範圍判定之前期研究測試。頭社水庫構造物模型建置，於現場規劃航線後，係利用 Marvic Pro 及 Phantom 4 Pro V2 進行照片拍攝，配合後續室內作業以 Bently Context Capture 進行正射影像及 3D 模型產製。此次調查成果可知，Deeper Pro 可快速提供水深及水下地型資訊，但原始資料呈現為剖面帶狀地型構造，對後續分析作業較為不便，因此需室內作業處理後，以得較高精度數值水下地型資料。建置 3D 數值模型時，因水面拍攝之異常資訊如反光、散射及無參考點等影響，建議後續如有水面拍攝作業時，需特別記錄水面高程資訊，以作為模型建置修正使用。

在土砂防災研究發展議題項目，蒐集日本近期氣候變遷相關研究與報告，研析其因應作為、災害風險評估、調適策略制定、防減災對策等整合及應用方式，歸納整理其核心策略，結果發現，其土砂災害調適策略涵括軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向，重點摘錄氣

候變遷情境預測、土砂災害特徵、調適策略制定方向及措施等，並於109 年出版「109 年度國內外水土保持技術發展趨勢-氣候變遷下日本河川及土砂防災對策研析」報告 1 冊。

關鍵詞：大規模土砂災害、土砂災害模擬、土砂災害防減災對策、水土保持技術與研究發展

The Study of Mitigation Strategies and Impact for Large-Scale Sediment Disasters Report in 2020

Abstract

This project is a continuous research from 2019 to 2021. The main achievement of the project in 2020 includes four items: (1) case study and data collection of sediment-related disaster prevention and technology literature, (2) inventory the sediment-related research results and annual projects of the Soil and Water Conservation Bureau (SWCB), (3) test and analyze the numerical model of watershed sediment-related disasters, (4) integrate the future development issues for sediment-related disaster prevention and mitigation strategy. We conducted the above items with the Research and Technology Development Team of SWCB, and has published 9 research papers including one journal paper and seven conference papers. The results are briefly described as follows:

First, In view of the case study and data collection of sediment-related disaster prevention and technology literature. Facing climate change impact and adverse consequences of the compound disaster resulted in catastrophic flood and sediment-related disasters. The government of various countries invests in fundamental investigation and research to figure out mitigation and adaptation strategies. Based on data collection, emission scenarios for climate change, and associated impacts to development strategic planning of each stage and implementing and modifying adaptation strategies. The Japan Ministry of Land,

Infrastructure, Transport, and Tourism (MLIT) organizes experts meeting to discuss mitigation, adaptation, and remedial measures. In Taiwan, the administration can take Japan's experience as an example of how to developing adaptation plans and measures. The literature summarizes the climate change scenarios, characteristic of sediment-related disaster, development of adaptation measure, and can provide a supporting reference for future associated climate strategic planning. Furthermore, this project item is a supporting reference for relevant policy-making, management strategies, and action plans in the future.

Second, we inventoried the SWCB annual project reports of sediment-related disaster strategies and technology through collecting and analyzing 2620 reports (2008-2019). Based on the inventory result, we conducted an effectiveness analysis and evaluated the potential development and feasibility of each report.

The basic data of this year's inventory data are mainly calibrated based on bed material and cross-section common fields and numerical formats. After the digitization, it includes basic data such as watershed hydrological data, river hydrography, related rainfall stations, geologic drilling, surface soil experiment, and ground resistance. We plan for this year's data management platform that is processed bed material quality sampling data including sample hole and surface particle size data, and sectional data includes two basic data of section stake and cross sections. Based on the time and space information relationship of the data production system is built into the platform, and the selection method of

year, county, keyword, and space is used to facilitate users to search, query, and add value applications. The data management platform based on inventory results is a root for slope-related research and data intelligence. Furthermore, the platform offered by SWCB could provide valuable information for relevant government units.

The main problems encountered in the management of basic data of soil and water conservation are that there is no common field in the basic data of the commissioned case production system, countless digitized file data, and the geographical map data are papers or PDF format files, which is not conducive to automatic machine-reading and transcription to the database. Therefore, in response to the above issues, the SWCB currently convenes a "data circle" regularly to discuss open data mark statistics, basic data format template setting, open data set list, API platform system list, list of geographic datasets developed, and list of the core map data collection, etc. Discussing and tracking the above issues through previous data management work circles by data adjustments, additions, and deletions, formatting, API management, etc. Finally, the "IT Taskforce" decided on various coding standards and management key points, and issued the "Common Data Column Coding Standard of the Soil and Water Conservation Bureau, COA" and "Key points of geographic map management and numerical data of the Soil and Water Conservation Bureau, COA". To facilitate data circulation, exchange, and interface, and achieve the purpose of effective data management and sharing.

SWCB keeps committed to the vision of building an intelligent

environment of slope disaster prevention. An intelligent environment of slope disaster prevention not only emphasizes the technical aspect, but also focuses on data management such as data storage, management, and exchange. Therefore, with the current business type of SWCB, its data types are diverse. For effective integration, value-added, the sharing of diverse data types, data standards, and operating specifications need to be established. With the advanced project for basic data management of soil and water conservation, it is anticipated to avoid repetitive expenditures and improve the internal knowledge sharing through effective resource integration. Moreover, data management could promote data circulation and value-added applications, further, make SWCB's data management comply with relevant international standards, domestic-related standards, and following domestic regulations.

In the aspect of the test and analyze the numerical model of watershed sediment-related disasters, in 2020, we had completed three research cases, “Apply the H.O.S.T Map to Assist the Location of Debris Flow Overflow Point Delineation” and “Feasibility Study of the Application of Google Earth Engine to Assist the Assessment of Landslide Dam-break” and “TouShe Reservoir Bathymetry Measurement and UAV Photography to 3D models”. All of which are building a numerical model to evaluate sediment-related disasters and discuss the applicability of the model and analysis results.

The delineation process of debris flows influence zone is done by estimating the location of overflow point, runout volume of debris flow,

runout distance of debris flow, debris flow fan area at an angle of 105 degrees, and cooperate with transportation end edge zone of riverbed slope of 2 degree and maximum deposition depth and field data to modify the influence zone. The location of the overflow point is determined by the experience and subjective consciousness of the investigator and the result is quite different by person. This study takes 2018 Renhe Village debris flow event as an example applied the H.O.S.T. Map and two-dimensional numerical model to choose the overflow point location and discuss the variations that cause different changes in the influence zone. The result showed that varying the overflow point will affect the deposition area and depth. The H.O.S.T. Map can support the appropriated location of the overflow point chosen and the simulated result compared well with debris flow event

In the latter case, past studies present about 50% of the landslide dams broke within ten days because of the unstable materials of the dam composition. The landslide dam-break cause deaths and property loss in downstream areas. Therefore, how to assess the possibility of dam-break within the limited time is an issue for disaster prevention works. Due to the location of the landslide-dammed lake on upstream watershed is difficult to predict and survey, the water storage is hard to detect. In order to conduct an efficient dam stability assessment when a disaster occurs, this study attempts to apply the Google Earth Engine (GEE) platform to provide multi-period radar images of sentinel-1 for use with existing DEM to estimate the relationship between the storage depth, area and volume of the

landslide-dammed lake (Elevation-Area-Volume Curve, EAV Curve). By the EAV curve and the multi-period data of radar images, this study calculates the upstream in-flow. With the dam stability index (DBI), the following results provide preliminary risk analysis and decision-making. This study initially evaluates the storage capacity of reservoir. In addition, the estimated results are compared to the actual measurement data provided by the Water Resources Agency and further verify the feasibility of this method. The feasibility study is a reference as the basis for initial hazard analysis and decision-making to achieve the purpose of disaster reduction.

Third, base on three items including understanding whether the Deeper Pro infrasonic fathometer can be used with UAV survey equipment, obtaining underwater bathymetry information and spatial coordinates, and subsequently building the interior construction. The Deeper Pro infrasonic fathometer is used to test the on-site signal reception distance and function and is used with UAV for mounting operations, as an initial test for the use of UAV for bathymetry measurement when a landslide dam occurs in the future. The UAV is set as an aerial photography operation of orthophotos of the Toushe reservoir to examine the scope of the water body in the dam. The results of the interpretation can be used as an initial test to determine the length of backwater and the storage range of the landslide dam in the future. To building the 3D models of the Tafwale reservoir, first, planing the airline, taking aerial-photo by Marvic Pro and Phantom 4 Pro V2, and Using Bently Context Capture to produce orthophotos and 3D models in subsequent indoor work. Throghing this survey, the Deeper Pro can

provide the water depth and underwater bathymetry information quickly in the survey. But the original data is presented as a cross-sectional belt-shaped terrain structure, which is more inconvenient for subsequent analysis operations. Therefore, it needs to be processed indoors to obtain better high precision bathymetry data results. When building a 3D numerical model, due to the reflection, scatter, and no reference point from the effects of abnormal information on water surface photography. It recommended that if subsequent taking photography operations on the water surface, the water surface elevation information should be specially recorded for use as model building corrections.

In the case of integrating the future development issues for sediment-related disaster prevention and mitigation strategy. The climate change associated research and report were collected and the countermeasure, climate change-related risk assessment, developing adaptation measure, the combination of prevention and mitigation measure is base on four aspects including software, hardware, management, and self-organized communities. The literature summarizes the climate change scenarios, characteristics of sediment-related disaster, development of adaptation measures published a report entitled “Trend for Research and Technology Development of Soil and Water Conservation 2020 River and Sediment-related Disaster Mitigation and Adaptation Strategies under Climate Change in Japan”.

Keywords：Large-scale Sediment Disaster, Simulation of Sediment-related Disasters, Mitigation Strategies for Large-Scale

Sediment Disasters, Soil and Water Conservation Technology and Research Development

目次

摘要 II

ABSTRACT VII

目次 XV

表次 XVIII

圖次 XX

第一章 緒論 1-1

第一節 研究背景 1-1
第二節 研究目標 1-2
第三節 研究報告架構 1-3

第二章 歷年土砂防災技術與研究成果盤點 2-1

第一節 盤點工作範圍 2-2
一、 水土保持及分局委辦及研究計畫成果 2-2
二、 委辦計畫成果盤點工作項目說明 2-5
第二節 盤點成果分析 2-7
一、 盤點結果 2-7
二、 立體地形圖 H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋 2-20
三、 評估歷年成果延續發展之可行性 2-25

第三章 水土保持基礎資料 3-1

第一節 前言 3-1
第二節 河床質盤點情況 3-3
第三節 基礎資料格式率定與建置 3-16
一、 粒徑試驗分析 3-16
二、 細顆粒材料之代表性樣品 3-18
三、 基礎資料欄位訂定 3-21
四、 結論 3-24

第四章 土砂災害變遷趨勢及數值模擬分析 4-1

第一節 土石流溢流點劃設對流動堆積區影響研究 4-1
一、 緣起 4-1
二、 材料與方法 4-4
三、 成果與討論 4-12
四、 結論 4-16

第二節　GEE 雲端分析平台應用於堰塞湖潰決評估之可行性研究 4-17
一、　前言 4-17
二、　材料與方法 4-17
三、　成果與討論 4-25
四、　結論 4-30
第三節　頭社水庫及集集攔河堰調查與無人機建模研究 4-34
一、　前言 4-34
二、　材料及方法 4-35
三、　調查結果 4-54
四、　評估與建議 4-64
第五章 氣候變遷下日本河川及土砂防災對策 5-1
第一節　前言 5-1
第二節　氣候變遷情勢推估 5-3
一、　國內外氣候變遷相關研究報告蒐集與彙整 5-3
二、　氣候變遷所面臨課題 5-11
三、　氣候變遷情勢推估 5-12
第三節　近年土砂災害特徵 5-20
一、　致災類型 5-22
二、　受災案例 5-23
三、　防災重點 5-28
第四節　氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊 5-32
一、　土砂災害影響 5-33
二、　土砂災害衝擊 5-37
第五節　日本河川及土砂災害因應氣候變遷對策研析 5-1
一、　防災對策目標設定 5-1
二、　調適策略制定方向 5-5
三、　調適策略的措施 5-14
四、　防災對策檢討 5-27
第六節　結論與建議 5-36
一、　結論 5-36
二、　建議 5-39
第六章 結論與建議 6-1
第一節　結論 6-1
一、　水土保持技術研究課題 6-1
二、　防災技術與研究成果盤點 6-4
三、　土砂災害模擬相關模式測試與分析 6-5

第二節　建議 6-8
一、　水土保持技術研究發展規劃 6-8
二、　歷年委辦案件成果可延續性建議 6-11
第三節　研究成果發表 6-15
參考文獻 1
附錄一 行政院農業委員會水土保持局共通性資料欄位編碼規範 1
附錄二 政院農業委員會水土保持局數值資料及地理圖資管理作業要點 7
附件一 數值資料與地理圖資命名原則 14
附件二之一資料申請及審核程序－一般民眾 17
附件二之二 資料申請及審核程序－本局及分局同仁 18
附件二之三 資料申請及審核程序－廠商 19
附件二之四 資料申請及審核程序－外單位 20
附件三 資料管制同意書 21
附件四 資料銷毀紀錄 22
附錄三 研究成果發表 24

表次

表 2-1 歷年委辦及研究計畫數量統計 2-4
表 2-2 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (1) 2-5
表 2-3 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (2) 2-6
表 2-4 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (3) 2-7
表 2-5 總計各分局河床質調查資料 2-10
表 2-6 盤點斷面及河床質調查資料 2-10
表 2-7 盤點資料成果類別 2-11
表 2-8 細部盤點項目與統計數量 2-19
表 2-9 不同圖層適用之判釋特徵 2-24
表 3-1 苗栗縣沙河溪樣孔代表粒徑 3-5
表 3-2 南化及烏山頭水庫集水區河床代表粒徑 3-5
表 3-3 來社溪樣孔代表粒徑 3-6
表 3-4 蘇澳溪樣孔代表粒徑 3-6
表 3-5 蘇澳溪表面代表粒徑 3-6
表 3-6 油礦溪集水區河床質採樣代表粒徑 3-7
表 3-7 南澳北溪代表粒徑 3-7
表 3-8 現地篩分析記錄表 (水土保持局，2010) 3-11
表 3-9 體積法現場調查記錄表 3-12
表 3-10 現場採樣記錄表 3-12
表 3-11 表面粒徑調查記錄表 (水土保持局，2010) 3-13
表 3-12 建議修改之現地篩分析記錄表 3-14
表 3-13 建議修改之表面粒徑調查記錄表 3-15
表 3-14 標準篩號及孔徑 3-17
表 3-15 室內篩分析最低需求細顆粒材料重量 3-18
表 3-16 不同代表粒徑之曼寧 N 值經驗公式 3-22
表 3-17 河床質範本 (1) 3-23

表 3-18 河床質範本 (2).....3-23
表 3-19 河床質範本 (3).....3-23
表 4-1 土石流潛勢溪流 (D126) 概況表 4-6
表 4-2 土石流模擬情境參數表 4-12
表 4-3 GEE 影像判釋法水位推估結果.....4-32
表 4-4 GEE 影像判釋法蓄水體積推估結果 4-33
表 4-5 外業調查儀器 4-35
表 4-6 P4P PRO2 規格性能諸元 4-39
表 4-7 MAVIC PRO 規格性能諸元 4-40
表 4-8 手持式 GPS 規格性能諸元.....4-41
表 4-9 E-GNSS R6 移動站規格性能諸元 4-41
表 4-10 DEEPER SMART SONAR PRO 移動站規格性能諸元 4-42
表 5-1 氣候變遷各領域面臨課題..... 5-3
表 5-2 氣象變遷對土砂災害影響.....5-34
表 5-3 氣候變遷對水災災害影響及對策方向 5-35
表 5-4 氣候變遷下之土砂移動現象.....5-37
表 5-5 土砂災害對策、技術應用等歷年修正過程.....5-27
表 6-1 研究成果-2020 論文發表 6-16

圖次

圖 1-1 計畫研究架構圖 1-6

圖 2-1 盤點工作架構及流程 2-3

圖 2-2 歷年委辦計畫性質數量統計 2-4

圖 2-3 資料平台綜合查詢-基礎資料 2-8

圖 2-4 資料管理平台綜合查詢-河床質資料 2-9

圖 2-5 資料管理平台綜合查詢-粒徑分布曲線圖 2-10

圖 2-6 H.O.S.T 地圖製作原理圖 (資料來源：HTTPS://TECH.SWCB.GOV.TW/RESULTS/RESULTSREDMAP) 2-12

圖 2-7 CS 地圖原理圖(資料來源：HTTPS://WWW.SLIDESHARE.NET/OSGEOJAPAN/CSFOSS4G-2017-TOKYO) 2-12

圖 2-8 HOST 與 CS 地圖應用案例 (BIGGIS 巨量空間資訊系統) 2-13

圖 2-9 空間資訊圖資圖層 (BIGGIS 巨量空間資訊系統) 2-14

圖 2-10 監測資料資訊 (大規模崩塌監測資料庫及整合查詢系統) 2-15

圖 2-11 大規模崩塌潛勢區監(觀)測階段(大規模崩塌監測資料庫及整合查詢系統) 2-16

圖 2-12 資料加值應用類-虛擬實境工具 2-18

圖 2-13 教育訓練課程 2-18

圖 2-14 技術文件-HOST 地圖及 CS 地圖之判釋及簡易操作指引 (HTTPS://TECH.SWCB.GOV.TW/EDUCATION/EDUCATIONMANUAL) 2-21

圖 2-15 HOST 地圖製作原理 (圖左上)、平面調色盤 (圖右上)及立體調色盤 (圖下) 2-22

圖 2-16 相同地點不同型態地形圖呈現之效果 2-22

圖 2-17CS MAP 色調判釋原則 2-24

圖 2-18 地圖標示與量測 (座標位置資訊、距離與範圍) 2-24

圖 3-1 南澳北溪樣坑 1 泥砂粒徑分佈曲線圖 (水保局，2014，「南澳北溪集水區(碧侯等重點區域)細部規劃」) 3-8

圖 3-2 蘭島溪試區之粒徑分布圖 (資料來源：水保局，2019，調整型防砂壩之技術研發與應用(2/3)) 3-8

圖 3-3 開口樣板及採樣繩 (水保局，2019，無人載具高解析影像及光達點雲於山區河川表層粒徑分析之精進研究).....3-10
圖 3-4 常態分布、正偏態分布及負偏態分布曲線 (BUNTE & ABT，2001).....3-20
圖 3-5 最大粒徑與取樣重量關係 (BUNTE & ABT, 2001).....3-20
圖 4-1 花縣 DF166 土石流潛勢溪流 (HTTPS://246.SWCB.GOV.TW/MAP/INDEX/0/花縣 DF166/中)..... 4-2
圖 4-2 土石流溢流點地形位置參考 (資料來源：水保局，2018)..... 4-3
圖 4-3 仁和村土石流災害事件研究流程圖..... 4-4
圖 4-4 南投縣仁和村土石流災害範圍示意圖..... 4-5
圖 4-5 研究區域土石流模擬範圍示意圖..... 4-7
圖 4-6 地形縱剖面資料-發生、流動、堆積段..... 4-8
圖 4-7 地形縱剖面資料-土石流溢流點位置..... 4-8
圖 4-8 名間雨量站 10 分鐘雨量資料 (C0I410)..... 4-9
圖 4-9 中寮雨量站 10 分鐘雨量資料 (C0H950)..... 4-9
圖 4-10 上游流量邊界條件.....4-11
圖 4-11 設定土石流溢流點模擬位置.....4-13
圖 4-12 RUN1 溢流點 1 之模擬結果.....4-14
圖 4-13 RUN2 溢流點 2 之模擬結果.....4-14
圖 4-14 RUN3 溢流點 3 之模擬結果.....4-15
圖 4-15 RUN4 考量建物高度模擬結果.....4-15
圖 4-16 雷達影像判釋堰塞湖水體評估研究流程圖.....4-18
圖 4-17 寶山第二水庫.....4-19
圖 4-18 水位高程推估法流程.....4-23
圖 4-19 GEE 雲端平台自動化判釋流程示意圖.....4-24
圖 4-20 GEE 雲端平台操作介面.....4-24
圖 4-21 影像判釋法計算結果 (圖左：蓄水面積; 圖右：蓄水體積).....4-25
圖 4-22 不同時間寶山水庫水體範圍判釋結果.....4-26
圖 4-23 水位-面積-體積曲線圖.....4-27
圖 4-24 誤差分析 (圖(A): 水位誤差; 圖(B): 體積誤差).....4-29

圖 4-25 誤差分析圖 (圖左: 推估水位誤差; 圖右: 推估體積誤差).....4-29
圖 4-26 頭社水庫位置圖 (資料來源：GOGGLE MAP).....4-34
圖 4-27 頭社水庫與禁航區位置 4-45
圖 4-28 頭社水庫周範禁航區 4-45
圖 4-29 DEEPER PRO 量測展示介面 (HTTPS://DEEPERSONAR.COM/US/EN_US/EXPLORE/DEEPER-APP) 4-46
圖 4-30 DEEPER PRO 提供即時量測範圍 4-46
圖 4-31 使用 BIGGIS 平台初步圖層套疊及任務規劃 (HTTPS://GIS.SWCB.GOV.TW/) 4-47
圖 4-32 民航局遙控無人機管理資訊系統.....4-47
圖 4-33 空域查詢註意事項.....4-48
圖 4-34 活動申請明細及基本資料.....4-49
圖 4-35 證明文件上傳、飛行空域、操作排除項目 4-49
圖 4-36 申請空域範圍劃設.....4-50
圖 4-37 飛行活動申請審核通過 4-50
圖 4-38 活動後登載-飛行任務報離.....4-50
圖 4-39 無人載具飛航申請程序流程圖 4-51
圖 4-40 正射影像產製流程.....4-53
圖 4-41 頭社水庫現場作業照片(109 年 11 月 7 日).....4-54
圖 4-42 頭社水庫現場飛行任務規劃航線設定 4-55
圖 4-43 頭社水庫 3D 建置使用照片數.....4-55
圖 4-44 光線不良、失焦及過度曝光之影像.....4-55
圖 4-45 頭社水庫取像位置.....4-57
圖 4-46 頭社水庫控制點位置 4-57
圖 4-47 空間座標系統 4-58
圖 4-48 檢視匹配點.....4-58
圖 4-50 3D 軟體預設建置流程.....4-59
圖 4-51 未修正水庫水體高程之 3D 模型 4-60
圖 4-52 庫區水面高程修正.....4-60

圖 4-53 頭社水庫 3D 模型建置成果 4-60

圖 4-54 航線規劃及聲納測量範圍.....4-62

圖 4-55 水深量測點位置圖 4-62

圖 4-56 頭社水庫二維水深平面圖.....4-63

圖 4-57 頭社水庫三維水下地型俯視圖 4-63

圖 4-58 頭社水庫三維水下地型側視圖 4-63

圖 5-1 溫室效應影響下各類型災害之威脅 (國土交通省河川局，2010)..... 5-2

圖 5-2 未來氣候變遷趨勢-觀測溫度年平均值 (國土交通省，2019，気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会) 5-13

圖 5-3 IPCC-AR5 預測世紀末溫度變化趨勢 (國土交通省，2019，気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会).....5-13

圖 5-4 歷史降雨量觀測值變化趨勢 (國土交通省，2018).....5-14

圖 5-5 未來氣候變遷下強降雨及洪水發生頻率增加趨勢 (國土交通省，2018，異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会).....5-15

圖 5-6 超過河川氾濫危險水位之發生狀況 (國土交通省，2019，気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会).....5-16

圖 5-7 氣候變遷下海平面上升增加趨勢 (國土交通省，2020).....5-17

圖 5-8 未來海岸沿岸地區影響情況 (國土交通省，2020).....5-17

圖 5-9 氣候變遷引致土砂移動現象嚴重化 (國土交通省，2020).....5-18

圖 5-10 氣候變遷影響下土砂量增加 (國土交通省，2020).....5-19

圖 5-11 土砂災害警戒區示意圖 (國土交通省).....5-20

圖 5-12 土砂災害發生件數統計圖 (統計期間昭和 57 年 (1982 年)至令和 1 年 (2019 年)，國土交通省砂防部，2019).....5-21

圖 5-13 颱風事件伴隨發生土砂災害統計圖 (統計期間昭和 57 年 (1982 年) 至令和元 1 年 (2019 年)，國土交通省砂防部，2019).....5-22

圖 5-14 令和元年東日本颱風土砂災害特徵 (國土交通省，2019).....5-23

圖 5-15 岡山縣創數市真備町淹水狀況 (國土交通省，2019) 5-24

圖 5-16 各地區土砂災害狀況 (國土交通省，2019) 5-24

圖 5-17 那珂川堤防潰決淹水災害 (國土交通省 關東地方整備局，2020).....5-26

圖 5-18 令和元年 (2019 年) 東日本颱風豪雨事件災害情況 (國土交通省，

2019，令和元年の土砂災害) 5-26
圖 5-19 因應氣候變遷土砂災害對策檢討課題 (國土交通省，2020) 5-27
圖 5-20 因應氣候變遷土砂移動現象課題 (國土交通省，2020).....5-28
圖 5-21 複合型因素形成之土砂洪水氾濫災害 (國土交通省，2019) 5-28
圖 5-22 實效性避難之土砂災害因應對策 (國土交通省，2019).....5-31
圖 5-23 A1B 情境預測下最大流域年平均降雨量 (國土交通省，2020).....5-32
圖 5-24 氣候變遷下複合災害嚴重化現象 (國土交通省，2019).....5-33
圖 5-25 近年多處同時發生土砂災害狀況 (國土交通省，2020).....5-39
圖 5-26 洪水氾濫災害狀況 (國土交通省，2020，気候変動を踏まえた砂防技術検討会) 5-39
圖 5-27 土砂災害警戒區域指定狀況 (國土交通省，2020) 5-40
圖 5-28 土砂災害警戒區域認知狀況 (國土交通省，2020) 5-41
圖 5-29 土砂災害防災地圖公告狀況 (國土交通省，2020) 5-42
圖 5-30 土砂災害警戒情報發布狀況 (國土交通省，2020) 5-42
圖 5-31 綜合流域治水對策 (國土交通省，2020) 5-3
圖 5-32 氣候變動適應相關的基本施策 (環境省，2018)..... 5-5
圖 5-33 相關單位權責分工明確化 (環境省，2018) 5-6
圖 5-34 氣候變遷相關施實策略目標 (環境省，2018)..... 5-7
圖 5-35 氣候變動調適計劃進度管理示意圖 (環境省，2018) 5-7
圖 5-36 採用適應性管理的調適策略 (國土交通省，2015) 5-8
圖 5-37 現在發生氣候變動現象處理對策 (國土交通省，2015).....5-10
圖 5-38 將未來之影響納入考量 (國土交通省，2015).....5-10
圖 5-39 考量軟、硬體之綜合措施 (國土交通省，2015).....5-10
圖 5-40 減少反覆施作的工程設計 (國土交通省，2015).....5-11
圖 5-41 與自然環境和諧共生 (國土交通省，2015) 5-12
圖 5-42 慮地域特性並推動各級 (地方政府、企業、居民等) 合作(國土交通省，2015) 5-13
圖 5-43 水災害調適策略的基本方向 1 (國土交通省，2015) 5-15
圖 5-44 水災害調適策略的基本方向 2 (國土交通省，2015) 5-16

圖 5-45 河川及下水道設施之綜合運用（國土交通省，2015) 5-17

圖 5-46 發生頻率較高災害事件的防災對策-維護及更新措施.....5-17

圖 5-47 最大化現有設施功能的運用-水壩災前放流作業（國土交通省，2015) . 5-18

圖 5-48 災害外力超過設施之防災能力 - (施設運用、構造、維護順序等).....5-19

圖 5-49 考慮災害風險之土地利用對策（國土交通省，2015) 5-19

圖 5-50 災害外力超過設施之防災能力 - (城市規劃和社區發展合作) 5-20

圖 5-51 各單位協力整合之災害應變系統（國土交通省，2015).....5-21

圖 5-52 災害事件超過設施之防災能力 - (疏散避難、緊急活動、事業連續性計畫等準備工作) 5-21

圖 5-53 土砂災害調適策略（國土交通省，2015).....5-22

圖 5-54 土砂災害發生頻率增加之措施 5-23

圖 5-55 里山砂防理念（資料來源：HTTPS://WWW.SFF.OR.JP/BIZ/3-2/) 5-25

圖 5-56 促進綠化帶、里山砂防事業例 5-25

圖 5-57 土地利用及住宅使用之風險管理（日経クロステック，HTTPS://XTECH.NIKKEI.COM/ATCL/NXT/MAG/NCR/18/00092/051800001/).....5-26

圖 5-58 避難勸告與指示之發布範圍（內閣府，2015).....5-32

圖 5-59 避難準備情報之對象範圍（內閣府，2015) 5-32

圖 5-60 使用高精度地形圖以提升土砂災害警戒區判釋(國土交通省，2020，近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について).5-35

第一章 緒論

近年來受極端氣候變遷影響，導致颱風豪雨之降雨延時與強度改變，並造成複合型土砂災害事件，不再是以往單一災害型態，且大規模土砂災害影響面積廣、規模大、災害類型多，使得山區面臨崩塌、土石流、堰塞湖等災害，而下游地區則是面臨洪水氾濫、水庫大量淤積、水資源供給調節等不同類型災害的威脅。

自莫拉克颱風引發小林村大崩塌事件之後，引起國內外對「大規模崩塌」、「深層崩塌」的討論與調查。為因應氣候變遷衝擊，行政院於 105 年正式核定氣候變遷下大規模崩塌防減災第一期計畫(106 至 109 年度)，目前各項行動計畫已依續推動，希冀能逐漸提升坡地災害應變能力。面對大規模土砂災害之高度不確定性及災害風險，現有治理強度及防減災體制對於因應大規模災害應變及減低風險之能力有限，為強化大規模崩塌防減災之能力，降低災害之風險並提升聚落安全防護能力，完整建構大模崩塌防減災體系，實有需要預先籌備第二期(110-113) 計畫先期工作，以利大規模崩塌防減災工作之推動。

第一節　研究背景

為強化大規模崩塌防減災技術與提升防災應變能力，將藉由蒐集、更新與研析國內外土砂研究技術文件、盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析、集水區土砂災害模擬模式精進測試與分析、研擬土砂防災研究發展議題等方式，以達成規劃大規模土砂災害相關研究議題設定、發展大規模災害情境模擬架構、建立大規模土砂災害風險與衝擊評估機制、基礎資料集彙整整合與建置、研擬大規模土砂災害防災對策等目標。

在氣候變遷衝擊下，未來天然災害之頻率及規模有加劇趨勢，水土保持局在集水區土砂治理、土砂監測與防災管理、坡地永續利用等工作將面臨重大挑戰，以因應氣候變遷之影響。為減少大規模崩塌災害高強度規模與災害風險之不確定性，水土保持局已投注大量的人力及預算，然面對不可預期之複合型災害，組織內部需隨時審視、檢核、重整業務執行步驟，以保持各部門間之協調性與競爭力。期望藉由蒐集、參考國內外相關技術、法規、政策等文獻進行分析，並參酌鄰近國家因應氣候變遷所擬定之對策與發展的新型技術，循此脈絡做為研擬提升國家土砂災害防災能力之策略。

再者，利用分年分期之各項調適策略步驟，達成「建構科技、創新、智慧的坡地防災」、「維護安全、生態、多樣的水土環境」、「營造保育、利用、永續的國土資源」之目標，並朝最終達成「建構智慧防災的坡地環境」之願景邁進。

第二節　研究目標

本期計畫之工作項目包含：收集國內外土砂研究技術文件與研析、盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析、集水區土砂災害模擬相關模式測試與分析，以及研擬土砂防災研究發展議題等四項研究目標，分別說明如下：

1. 本計畫藉由蒐集國內外土砂防災研究及技術相關資料進行文獻分析，此次主要蒐集日本近期氣候變遷相關研究與報告，研析其因應作為、災害風險評估、調適策略制定、防減災對策等整合及應用方式，重點摘錄氣候變遷情境預測、土砂災害特徵、調適策略設定目標及制定措施等，其結果可作為國內未來推動氣候變遷調適相關計畫時參考。

2. 盤點水土保持局歷年土砂防災計畫，對於研究計畫成果進行分析，對於開放資料、核心資料、基礎資料、向量資料、影像資料等，建立相關基礎資料標準化規範與格式，作為建立資料管理與加值應用之前置作業。
3. 集水區土砂災害模擬，本次以仁和村土石流災害進行研究，利用 HOST 地圖進行溢流點位置選定，配合現地調查修正影響範圍，並以 Hyper Kanako 二維土石流模式探討不同溢流點位置對於土石流影響範圍、下游土砂堆積狀況與淤積高度之差異。
4. 本研究在集水區土砂災害模擬新技術應用上，嘗試運用 Google earth engine (GEE) 平台之 sentinel-1 雷達影像和 DEM 資料，推估堰塞湖蓄水深度、面積與體積關係(Elevation-Area-Volume Curve, EAV Curve)。後續研究為利用 EAV 曲線值與雷達影像多時期資料估計上游入流量，搭配無因次阻塞指標(Dimensionless Blockage Index, DBI)，在災害發生時快速評估壩體穩定性，作為初步危險性分析和決策依據。
5. 研擬土砂防災研究發展議題，則是透過研擬規劃大規模土砂災害相關研究議題設定、發展大規模災害情境模擬架構、建立大規模土砂災害風險與衝擊評估機制、基礎資料蒐集整合與建置、研擬大規模土砂災害防災對策等目標，以提升大規模崩塌防減災技術並強化防災應變工作。

第三節　研究報告架構

本研究「大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究」，由上述四大項研究目標規劃本研究報告架構，整體研究流程如圖 1-1，各章節內

容分別說明如下：

第一章，緒論，說明研究背景、目標及研究架構。

第二章，歷年土砂防災技術與研究成果盤點，盤點各項基礎資料並對值得加值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向，同時對其共通性欄位及數值格式等進行探討，繼去年數位化包含集水區水文資料、河川水理、相關雨量站、地質鑽探、表土試驗、地電阻等基礎資料，今年資料管理平台則規劃處理河床質採樣資料包含樣孔及表面粒徑資料，斷面資料包含斷面樁及橫斷面二種基礎資料，以資料產製之時間、空間資訊關係建置於平台內，並以年度、縣市、關鍵字及空間選取方式，方便使用者進行檢索查詢與加值應用，期望水土保持局資料平台能成為坡地與水土保持相關之資料中心，提供各界研究所需基礎資料。

第三章，水土保持基礎資料管理，藉由定期召開「資料工作圈」及「資訊推動小組」，針對盤點各項基礎資料問題進行討論，遭遇問題如基礎資料無共通性資料欄位，無數位化檔案資料，地理圖資為紙本資料或 PDF 格式檔案問題等，除此之外包含開放資料標章、基礎資料格式範本訂定、開放資料集清單、平台系統 API 清單、開收地理資料集清單、核心圖資資料集清單等各項議題，藉由歷次資料管理工作圈討論並追蹤上述議題、資料調整及增減項目、格式訂定、API 管理等，最後由「資訊推動小組」決議後而訂定各式編碼規範與管理作業要點，以利資料流通交換與介接，並達有效資料管理及共享目的。

第四章，土砂災害變遷趨勢及數值模擬分析，其一為運用 HOST 地圖協助判釋土石流溢流點，由於土石流溢流點位置通常位於坡度變化處、地形開闊處、谷口處、河道具障礙物處、河道轉彎處等地點，

運用 H.O.S.T 地圖具有極佳立體感及可呈現微地形特徵之優點進行溢流點選定，並利用土石流數值模擬，探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異；其二為運用 GEE 與雷達影像輔助堰塞湖潰決評估，由於堰塞湖形成位置難以預測，且通常位於山區上游集水區，現地測量常不可行，故其蓄水規模不易探測，運用 GEE 平台與開放衛星及 DEM 資料，推估堰塞湖蓄水深度、面積與體積關係，藉由蓄水體積與水位高度變化推估上游入流量及水位上升速度，可作為初步判斷堰塞湖危險水位及預警發布之用。

第五章，國內外研究與技術發展，本章節以日本氣候變遷河川及土砂防災對策蒐集相關資料，此次主要以氣候變遷情勢推估探討氣候候變遷所面臨課題、近年土砂災害特徵探討致災類型及防災重點、土砂災害的影響、衝擊及對策、因應氣候變遷對策研析則是對於防災對策目標設定與調適策略制定方向及河川及土砂災害調適措施等研析，以瞭解目前日本於氣候變遷對於河川及土砂防災對策等考量及制定過程，以供相關單位針對氣候變遷研擬因應治理對策參考。

第六章，結論與建議，依據本年度執行之工作項目分別為：收集國內外土砂研究技術文件與研析、盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析、集水區土砂災害模擬相關模式測試與分析，以及研擬土砂防災研究發展議題等四大項，提出各項工作結論與建議。

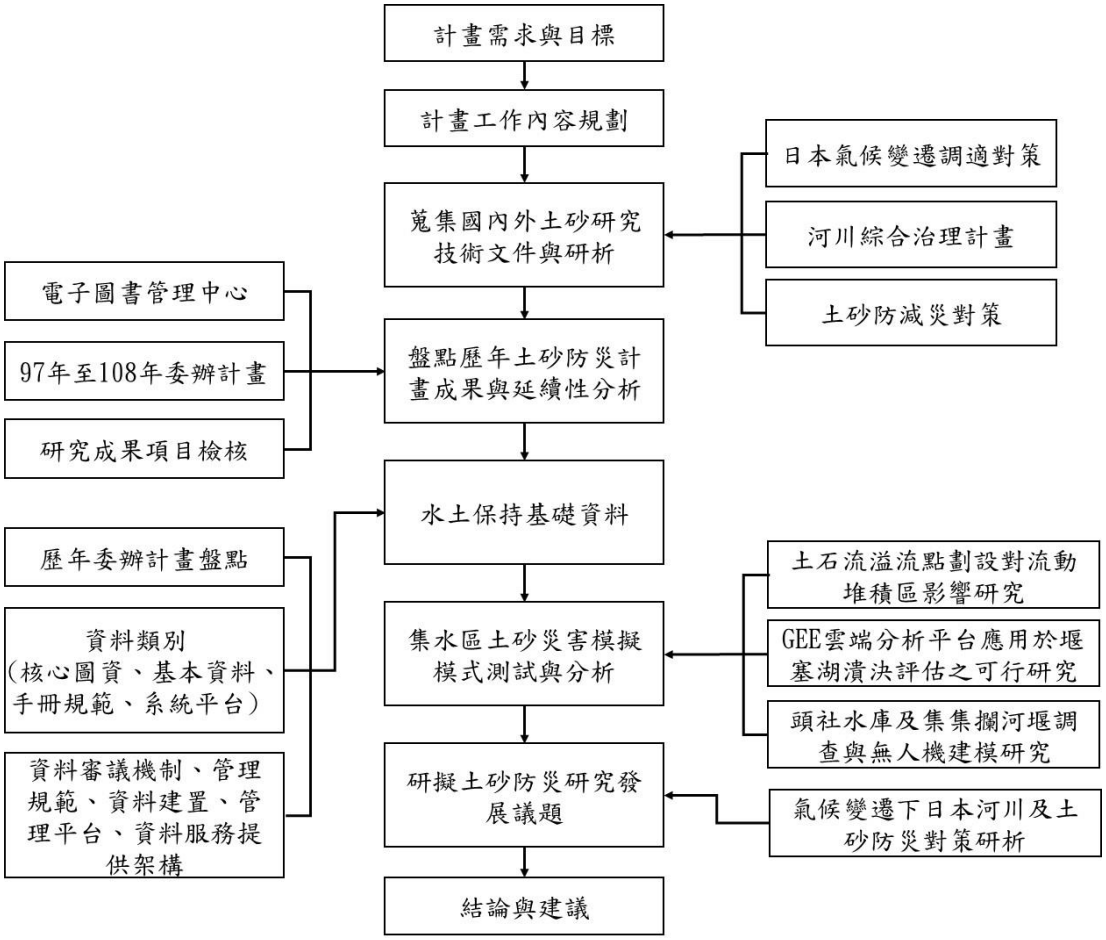

計畫需求與目標
計畫工作內容規劃
蒐集國內外土砂研究技術文件與研析
日本氣候變遷調適對策
河川綜合治理計畫
土砂防減災對策
電子圖書管理中心
97年至108年委辦計畫
研究成果項目檢核
盤點歷年土砂防災計畫成果與延續性分析
水土保持基礎資料
歷年委辦計畫盤點
資料類別（核心圖資、基本資料、手冊規範、系統平台）
資料審議機制、管理規範、資料建置、管理平台、資料服務提供架構
集水區土砂災害模擬模式測試與分析
土石流溢流點劃設對流動堆積區影響研究
GEE雲端分析平台應用於堰塞湖潰決評估之可行研究
頭社水庫及集集攔河堰調查與無人機建模研究
研擬土砂防災研究發展議題
氣候變遷下日本河川及土砂防災對策研析
結論與建議

圖 1-1 計畫研究架構圖

第二章 歷年土砂防災技術與研究成果盤點

水土保持局歷年土砂防災技術與研究成果盤點所累積之基礎資料、核心資料、向量資料、影像資料等成果相當豐碩，為能將資料數位化與彙整，達到資源整合效益、資料分類與流通，對後續成果檢核與發展延續性評估，供水土保持局執行資料管理，並藉由每季召開「資料管理工作圈」會議，持續檢討各項委辦計畫產出圖資及核心圖資之標準，以作為資料控管之依據。

藉由盤點目項逐一檢視各項委辦及研究計畫所產出之成果，除報告書格式及上傳內容有無缺漏外，其餘各盤點細項主要是將產出資料進行盤點、清查、整合，並探討各項資料之格式及開放資料所需之共通性欄位是否符合水保局共通性資料欄位編碼規範，以避免不同時期之產出成果資料格式不一致、不相容。

後端資料之整合歸檔、儲存與共享，則是以目前水保局規劃之基礎資料管理平台，提供資料有效進行整合並共享資源給全局同仁使用，對於委辦廠商使用之需求，提供給委辦廠商使用則依申請審核機制辦理，並為達成開放環境、跨領域合作應用與推廣，利用 API 服務將資料與外單位進行流通與交換。

本年度盤點工作內容為 97 年至 108 年度水土保持局各業務組(中心)及分局所執行之委辦及研究案共計 2620 件，其中初步篩選可能包含基礎資料與後續加值應用之案件，共計 1861 件委辦計畫成果報告，並依據各業務單位常使用之參考資料進行詳細的成果盤點。各計畫成果盤點分類統計，期能達成資料彙整與資源共享目標，將值得加值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向。

第一節　盤點工作範圍

一、水土保持及分局委辦及研究計畫成果

本研究檢視水土保持局歷年委辦與研究案件成果，對於開放資料、核心資料、基礎資料、向量資料、影像資料等，建立相關基礎資料標準化規範與格式，並以資料彙整與資源共享為目標，將值得加值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向，由上述工作項目規劃盤點架構及流程如圖 2-1 所示。

本項盤點工作是蒐整水土保持局電子圖書管理中心系統資料庫，查詢民國 97 年至 108 年之委辦及研究計畫。其中，依各組室、中心與分局進行分類篩選，統計計畫數量如表 2-1 所示。自 97 年至 108 年之委辦與研究案共計 2620 件，平均每年約 200 件委辦計畫。

本年度盤點 108 年相關委辦計畫總計為 229 件，以計畫性質進行區分，如圖 2-2 所示，共計可分為一般行政、前瞻基礎建設計畫、重劃區外緊急農路設施改善計畫、農村再生建設與發展計畫、整體性治山防災、水土保持試驗研究、流域綜合治理計畫、氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫、農村再生規劃及人力培育計畫等 9 大類別，其中以氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫盤點數量 98 筆最多，次之為整體性治山防災計畫盤點數量共 82 筆。

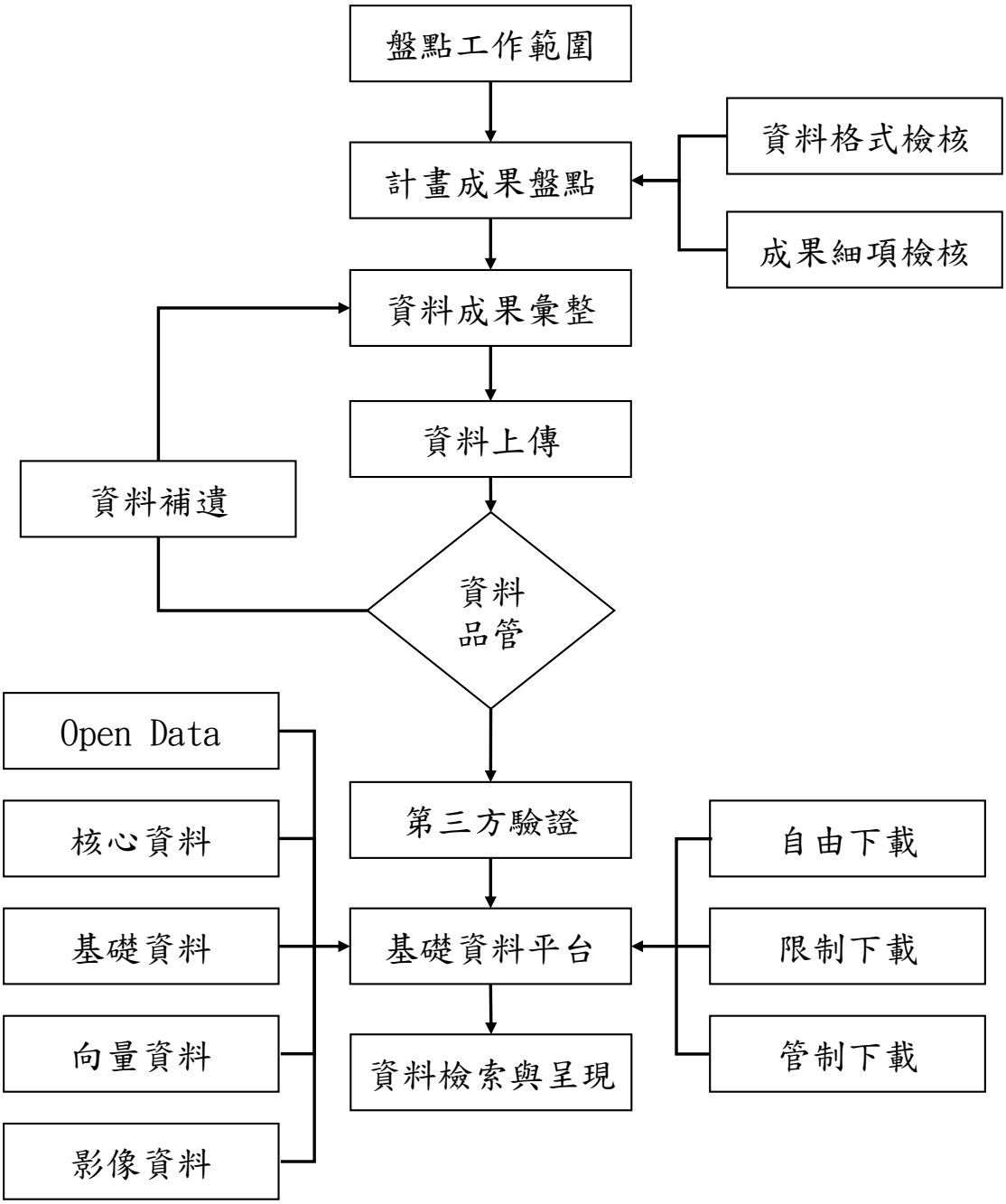


圖 2-1 盤點工作架構及流程

表 2-1 歷年委辦及研究計畫數量統計

年度 / 各組室(分局)	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	個別加總
綜合企劃組	8	26	24	15	26	25	23	23	18	13	11	10	222
保育治理組	24	16	15	16	13	13	21	23	36	34	30	23	264
農村建設組	17	21	22	27	26	21	23	21	23	21	18	19	259
監測管理組	15	12	12	11	11	9	11	7	9	13	12	16	138
土石流防災中心	14	43	35	29	27	20	29	24	19	18	18	18	294
技術研究發展小組	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	12	12	27
台北分局	11	28	19	10	15	14	17	18	21	28	22	22	225
台中分局	14	34	21	18	20	20	20	22	20	31	27	29	276
南投分局	16	44	21	22	26	21	24	23	21	29	20	28	295
台南分局	23	40	11	13	23	23	21	18	16	20	23	24	255
花蓮分局	9	24	14	15	17	18	19	14	13	16	15	14	188
台東分局	7	23	20	12	14	16	17	14	12	14	14	14	177
年度加總	158	311	214	188	218	200	225	207	208	237	222	229	總計 2620

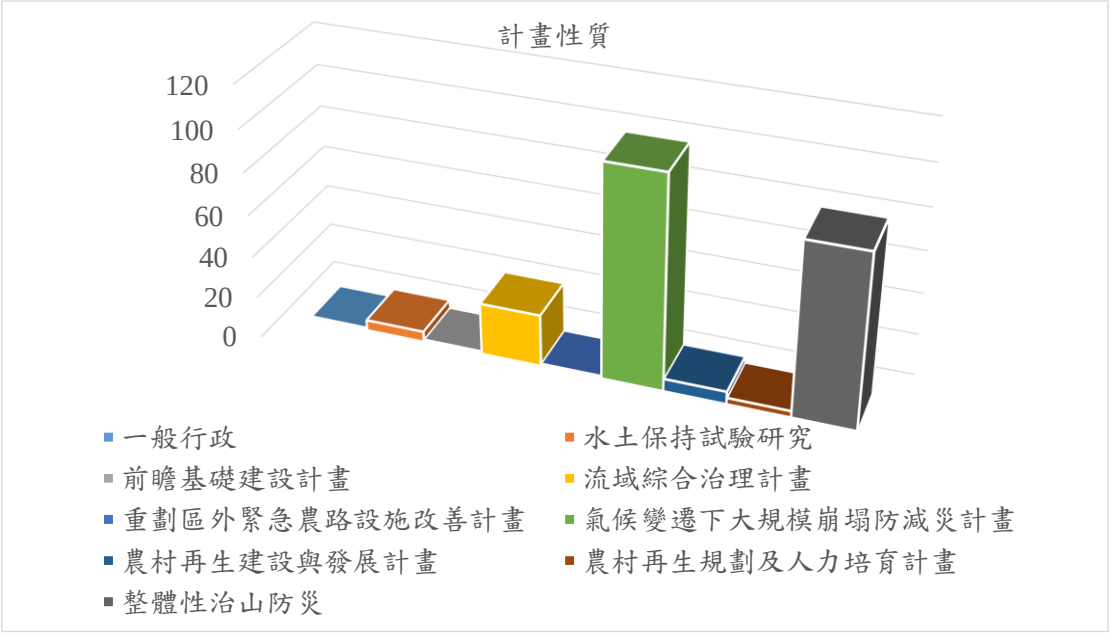


圖 2-2 歷年委辦計畫性質數量統計

二、委辦計畫成果盤點工作項目說明

本次盤點工作重點係對於計畫成果進行細部盤點，將盤點工作項目分為 30 項，主要是依照報告格式及上傳內容有無缺漏、航遙測影像資料 (含 UAV 及其產製資料)、集水區水文資料、集水區地文資料、監測儀器相關資料、現場調查 (災害照片、構造物調查)、生態檢核 (生態敏感區位、重要物種棲地)、教育訓練及出版品 (專書、海報、微電影)、特殊分析技術等等項目進行盤點，依 30 項細部關鍵項目進行盤點作業 (表 2-2、表 2-3、表 2-4)。

表 2-2 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (1)

編號	盤點項目(單位)	內容說明
1	報告書格式之正確性	是否符合水保局格式、完整單一檔案、能下載查看等等
2	檢核電子書之正確性	是否能在線上使用， 是否與報告書內容一致
3	UAV 拍攝項目(處)	斜拍、正射、DSM、影片、環景、3D 建模
4	航遙測影像相關圖資	光學衛星、航空正射、雷達衛星、資源衛星
5	光達產製 DEM	是否有產製 DEM 或者是紅色地圖相關研究
6	斷面樁設置數量(支)	報告書中提及斷面樁設置並有詳細描述資料
7	斷面量測(km^2)	報告書中針對河道斷面量測的範圍統計
8	河床質調查數量(處)	報告書中針對河床質調查量測報告，是否有完整實驗成果資料
9	土壤力學參數	產出相關土壤力學參數， 如 C、 φ、 Kh 等
10	雨量資料 (時雨量、年平均)	針對研究區域蒐集平均雨量相關資料

表 2-3 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (2)

11	重現期雨量資料 (不同頻率年)	針對研究區域蒐集或計算其重現期雨量
12	重現期洪峰流量資料 (不同頻率年)	針對研究區域蒐集或計算其重現期洪峰流量
13	土砂產量推估計算 (土砂收支)	運用土砂量計算公式或是數值模式推估集水區土砂產量
14	運用數值模式計算 (數值模式名稱)	如降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式、警戒模式
15	監測站相關資料(處)	計畫研究區設置土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站
16	土壤沖蝕相關資料	如紀錄沖蝕針相關量測資料
17	崩塌量測儀器	如雨量筒、地質鑽探、地下水監測站、孔內傾斜儀、伸縮計、GPS 變位計、地表位移樁等等
18	地球物理探測相關資料	如地電阻、孔內電測(自然電位、電阻率、射線等)、孔內攝影
19	平台建置 (維護)	委辦計畫之平台建置與維護並記錄其名稱
20	崩塌判釋	如地表地質調查、衛星影像判釋
21	災害案例或工程案例相關	災害案例、治理工法、工程案例的詳細調查研究報告
22	回歸公式 (屬性)	回歸公式並記錄其應用屬性 (崩塌面積、體積估算、流量估算、流速估算、災損估算)
23	災害照片紀錄	蒐集災害相關照片
24	構造物調查	紀錄構造物調查並統計件數
25	實境模擬相關	是否將水土保持局業務結合最新科技如 VR、AR、MR
26	生態檢核相關	如生態敏感區位、重要物種棲地、環境改善建議
27	教育訓練	統計報告書中教育訓練項目與其類型

表 2-4 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (3)

28	相關出版品	如專書、摺頁、海報、影片、微電影
29	值得進入倉儲系統的圖資	研究是否有產出新的空間資訊圖資，如 GIS 圖資、KML 圖資
30	特殊分析技術	其他有特別可以紀錄的內容或是技術如水下聲納探測、光學式自動化雨滴頻譜儀、海事衛星通訊整合、地聲探測

第二節　盤點成果分析

一、盤點結果

今年度盤點資料由 97 年度至 108 年度共 1861 件水土保持及防災類委辦及研究計畫成果，以目前盤點成果顯示每年逾兩百件研究計畫產出成果相當豐碩，為掌握歷年盤點成果，並將盤點成果數位化包含集水區水文資料、河川水理、相關雨量站、地質鑽探、表土試驗、地電阻、河床質、斷面等資料，基礎資料數位化總數為 2603 筆 (圖 2-3)。

技術研究發展小組在今年度盤點成果則是對斷面及河床質資料進行數位化並彙整於水土保持局基礎資料管理平台。目前在資料平台上，於綜合查詢底下，基礎資料總計有 2603 筆資料，分別為集水區水文資料 717 筆、河川水理 477 筆、相關雨量站 201 筆、地質鑽探 176 筆、表土試驗 12 筆、地電阻 32 筆、斷面樁 971 筆 (待上傳數量 575 筆)、河床質 16 筆 (待上傳數量 804 筆)、橫斷面 1 筆 (待上傳數量 1117 筆) ，細項資料如表 2-5 及表 2-6 所示。

在資料呈現上考量各計畫研究區調查時間及空間關係，以年度、縣市、關鍵字及 Google 圖幅上選取空間範圍等方式選取，以方便使用者進行檢索查詢，以樣孔粒徑查詢為例，於圖 2-3 上點選點所欲查

詢樣孔資料欄位 (如圖 2-3 橘色方框)，則會顯示如圖 2-4，使用者可再於「詳細資料」欄位 (如圖 2-4 橘色方框)，則會顯示計畫資料 (計畫編號及計畫年度)、基本資料 (試坑/斷面編號、執行單位、子集水區名稱、調查類別、縣市名稱、鄉鎮市名稱、村里名稱)、調查資料 (坐標資訊、取樣日期、粒徑最大值及平均值)、代表粒徑資料 (D10、D16、D20、D30、D35、D40、D50、D65、D75、D84、D90、D95) 獲取所需之詳細資料。另外點選「粒徑分布曲線圖」 (如圖 2-3 紅色方框)，則會自動繪製所選取點位或計畫調查之粒徑分布曲線圖如圖 2-5，並可讓使用者可自行選擇輸出 PNG、JPEG、PDF、SVG、CSV、XLS 等格式下載。



圖 2-3 資料平台綜合查詢-基礎資料



河床質資料-碼崙溪1

計畫資料

計畫名稱：南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃

計畫編號	計畫年度
101WS083	2012

基本資料

試坑/斷面編號	執行單位	子集水區名稱	調查類別	縣市名稱	鄉鎮市區名稱
碼崙溪1	臺北分局	碼崙溪	樣孔粒徑	宜蘭縣	大同鄉

村里名稱
樂水村

調查資料

坐標_X	坐標_Y	取樣日期	樣孔Dmax數值	樣孔Dn平均值
303675	2721752	2013/09/11	300	17.07

D值

D_10 (mm)	D_16 (mm)	D_20 (mm)	D_30 (mm)	D_40 (mm)	D_50 (mm)
1.39	2.09	2.56	4.13	5.77	8.83

D_65 (mm)	D_75 (mm)	D_84 (mm)	D_90 (mm)	D_95 (mm)
25.54	40.3	80.82	107.84	203.92

圖 2-4 資料管理平台綜合查詢-河床質資料

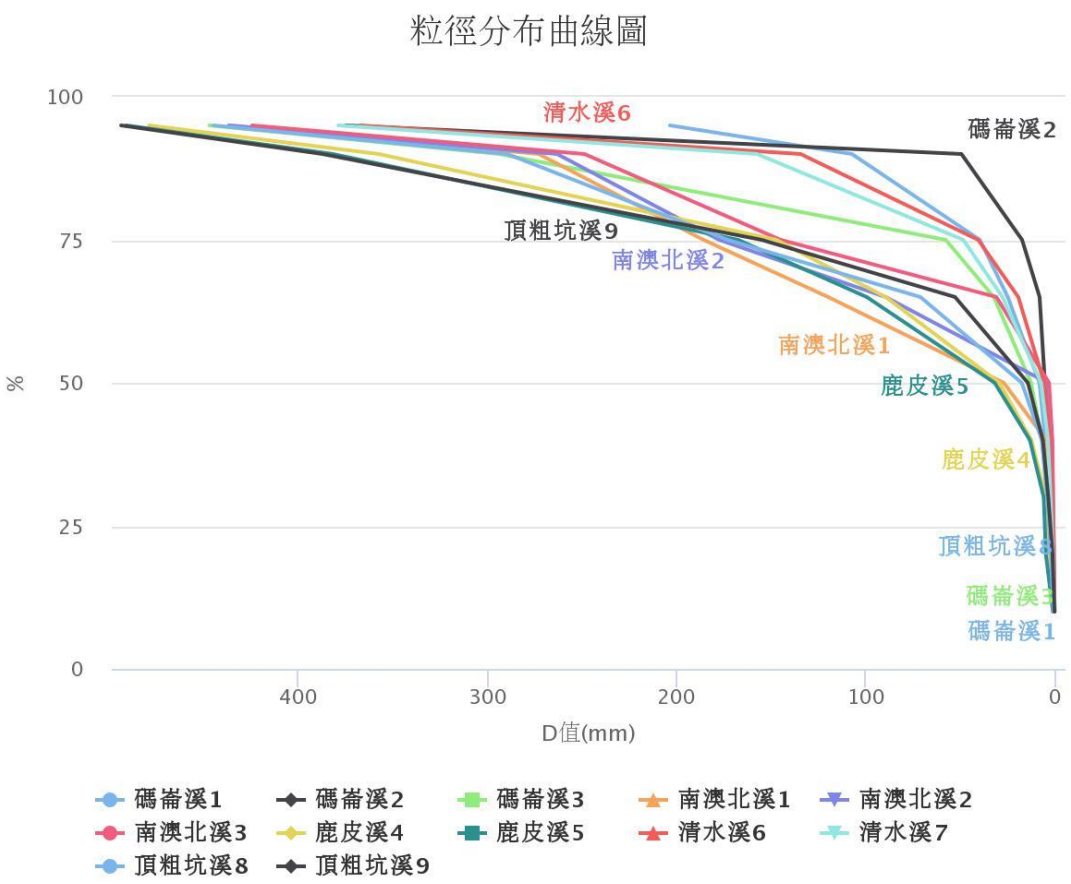


圖 2-5 資料管理平台綜合查詢-粒徑分布曲線圖

表 2-5 總計各分局河床質調查資料

分局範圍	樣孔	表面	年代範圍
臺北分局	185	209	2013 ~ 2017
臺中分局	48	32	2013 ~ 2016
南投分局	68	91	2012 ~ 2017
臺南分局	88	62	2012 ~ 2018
臺東分局	6	-	2011
花蓮分局	18	13	2013 ~ 2015
總計	413	407	

表 2-6 盤點斷面及河床質調查資料

項目	斷面樁	橫斷面	河床質
盤點數量	1546	1118	820
已上傳資料平台	971	1	16
處理中數量	575	1117	804

盤點資料成果，可以概略分成：空間資訊類 (航遙測資料、UAV資料、紅色地圖)、現場(監測)資料類 (雨量、流量、地下水、鑽探、地電阻)、數值模式類 (降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式)、集水區相關類 (河床質、斷面測量、水文資料、生態調查)、加值應用類 (3D 模型、環景影像、AR、VR、MR)、教育訓練與出版品 (專書、海報、影片)等六大類 (表 2-7)。

表 2-7 盤點資料成果類別

空間資訊類	UAV、航遙測影像、光達產品
集水區相關	河道質、斷面測量、土壤參數、水文資料、土砂產量、崩塌判釋
數值模式類	數值模式、回歸公式
現場資料類	監測、崩塌儀器、地球物理探測、案例、災害照片 、構造物調查、生態檢核
資料加值應用	平台建置、虛擬實境模擬
教育訓練與出版品	教育訓練、出版品

根據歷年盤點統計結果，1861 冊報告書中有 1324 冊符合規定格式，電子圖書則為 1250 冊符合，其餘不符合規定之主要的樣態包含：未上傳單一完整檔案、報告書內容格式有誤、電子書不完整等，皆列為不符合項目，盤點歷年統計結果如表 2-8 所示。

1. 空間資訊類：

今年盤點各類委辦研究計畫，以 UAV 影像、航遙測影像及光達資料其加值成果為 DEM 及 DSM 兩種，技研小組利用「H.O.S.T 地圖視窗化程式」將全臺 1 米網格 DEM、全臺 20 米網格 DEM 數化建置成 H.O.S.T 地圖，其是利用 DEM 資料之高程、坡度及開闊度三項

資訊配合立體調色盤及平面調色盤產製 (圖 2-6)，另外使用 QGIS 所提供之「CS Map Maker」模組套件將全臺 1 米網格 DEM、全臺 20 米網格 DEM 數化建置成 CS 地圖 (Curvature-Slope Map)，其是利用 DEM 之高程、坡度及曲率三者資訊疊合製作成 CS 地圖 (圖 2-7)，其製圖成果皆上傳至 BigGIS 系統供同仁及大眾使用。

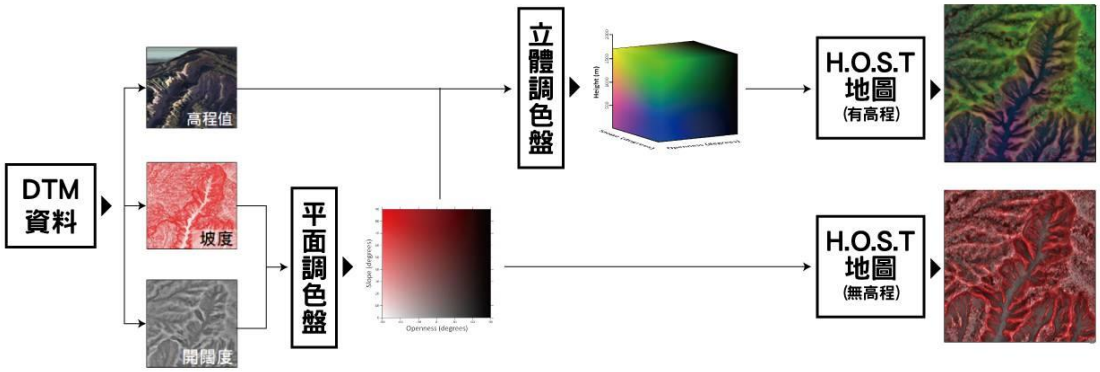


圖 2-6 H.O.S.T 地圖製作原理圖 (資料來源：

https://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsRedMap)

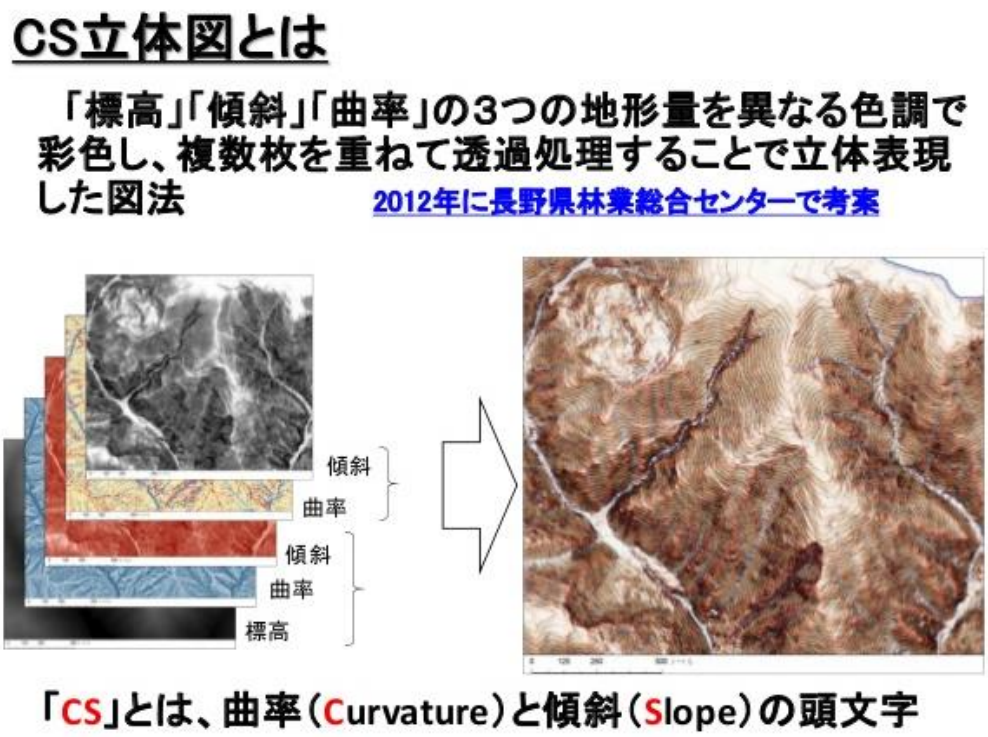


圖 2-7 CS 地圖原理圖(資料來源：

https://www.slideshare.net/osgeojapan/csfoss4g-2017-tokyo)

在空間資訊盤點上，目前以 UAV 影像、航遙測影像及光達資料(DEM、DTM、DSM)、紅色地圖、CS 地圖等資料作為檢核項目，將委辦廠商所產出之資料成果透過電子圖書管理中心系統進行上傳後，再由後端管理介接至各資料儲存伺服器統一管理，目前於 BigGIS 巨量空間資訊系統查詢上，其基礎圖層包含四大項，分別為核心圖層(含行政區界、道路圖、地籍圖、地質調查所、林務局、水土保持局、水利署、漁業署等圖資)、衛星影像 (含 Formosat-2、SPOT、Sentinel-2、Landsat-8、Pleiades、Sentinel-1、Corona、QuickBird、WorldView2、Formosat-5、GF-1、PlanetScope 等衛星影像)、航空照片 、UAV 空拍(含正射影像及 3D 模型)，並將成果公開於 BigGIS 巨量空間資訊系統平台上 (圖 2-8、圖 2-9)，方便民眾、學術研究、防災科普教育及局內同仁使用。對於以往空間資料常常是保存於委辦廠商，或是儲存於地理倉儲系統，對資料整合及使用效益無明顯提升，目前將所有資訊整合並介接於 BigGIS 系統上展示，有助於提升資源之使用效益，並達成有效資源整合與共享，其資源流通及使用效益有明顯改善。

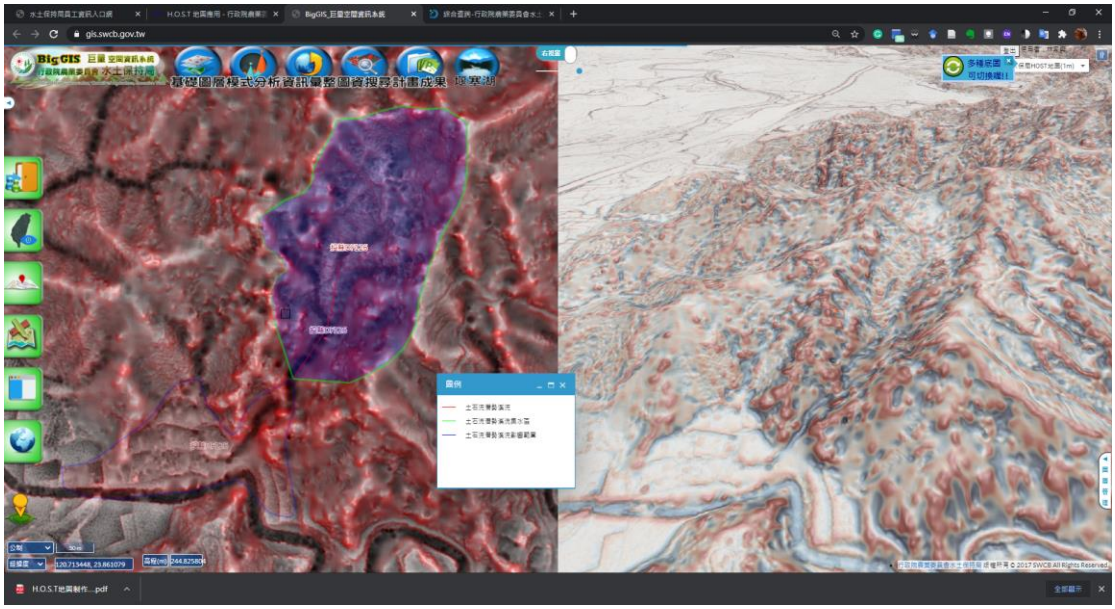


圖 2-8 HOST 與 CS 地圖應用案例 (BigGIS 巨量空間資訊系統)

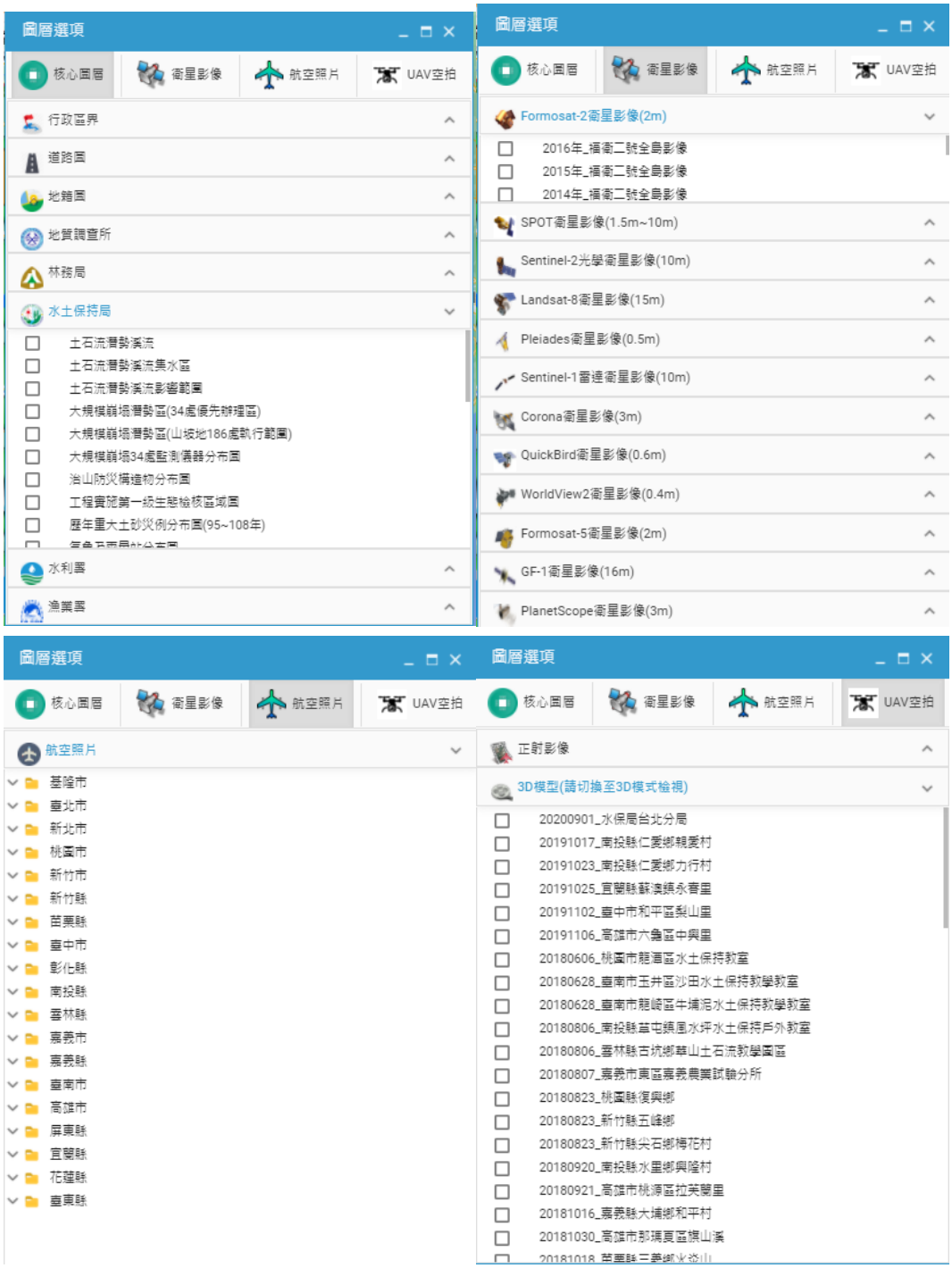


圖 2-9 空間資訊圖資圖層 (BigGIS 巨量空間資訊系統)

2. 現場(監測)資料類：

監測資料於細項盤點時，對於委辦研究計畫設置現場監(觀)測站(如土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站)進行盤點，其設置之儀器如水位觀測井、定置型孔內傾斜儀、雨量計、

地表傾斜計、孔內伸縮計、時域反射儀、封層水壓觀測井、GPS 地表變位、陣列式位移計等資料 (圖 2-10)。藉由上述儀器之監(觀)測成果，提供地表地物特徵及地形變化、地下水位變化、邊坡穩定變化、地下變化等等資訊，以因應不同形態之災害階段。

目前水土保持局對於大規模崩塌潛勢區調查及監測分三個階段，廣域監測階段、地表位移監測階段及細部監測階段等三者，不同階段調查項目隨保全度、發生度及活動度之不同辦理方式亦不同，各階段建議考量適當之方式以符合需求及目的，相關階段之調查任務內容如圖 2-11 所示。

長期現場監(觀)測各項記錄資料，其為重要之歷史觀測資料，對於瞭解各集水區、土砂災害潛勢區等長期變化趨勢提供相當大的助益，且對於災害事件前後治理工程之設計規劃及工程治理成效提供基礎資料，俾供工程人員及相關單位參據。



圖 2-10 監測資料資訊 (大規模崩塌監測資料庫及整合查詢系統)

監測與觀測階段	調查項目	建議使用之觀測與監測儀器	
		優先考慮	可考慮
廣域監測階段	1. 地表地物特徵 2. 地表地形變化	• 光學影像 • 雷達衛星影像	• 自記式雨量計 • 光達影像
地表位移監測階段	1. 地表地物特徵 2. 地表變位監測 3. 地表地質調查	• 光學影像 • 雷達衛星影像 • 雨量計(自動) • 地表伸縮計(自動) • 地表GPS系統(自動)	• 結構物變位監測儀器 • 光達影像
細部監測階段	1. 地下水位監測 2. 邊坡穩定性監測 3. 地表變位監測 4. 地下變位監測	• 光學影像 • 雨量計(自動) • 地表伸縮計(自動) • 地表GPS系統(自動) • 自記式傾斜儀(自動) • 水位/水壓觀測井(自動)	• 光達影像 • 雷達衛星影像 • 結構物變位監測儀器

圖 2-11 大規模崩塌潛勢區監(觀)測階段(大規模崩塌監測資料庫及整合查詢系統)

3. 集水區相關類：

此類集水區資料是基礎研究不可獲缺之重要資料，以集水區之河床質、斷面測量、坡面測量、水文資料、地文資料、生態資料等進行蒐集，依委辦計畫成果可分成定點儀器量測、現場採樣作業及室內物性分析等方式獲得此類資料，其後續可將成果提供於降雨逕流分析、水理分析、土砂收支分析、邊坡穩定分析等數值模擬之用。今年度盤點河床質及斷面資料，發現各委辦計畫所上傳成果資料欄位及命名格式等皆不相同，其問題及後續修正與建議請參閱本報告第三章。

4. 數值模式類：

主要是應用不同類型之水文、水理、土砂運移、邊坡穩定等模式推估降雨逕流(流量歷線)、水理量(水深、流速、影響面積)、土砂潛勢影響區(崩塌區、流動區、侵蝕區、堆積區)、邊坡破壞面(臨界破壞深度、破壞面、滑動量體)等資料，並藉由現場(監測)資料及集水區相關

類資料進行率定驗證，由長期監測之基礎資料進一步迴歸不同屬性之經驗公式，供管理單位對災害事件後續推衍長期趨勢變遷使用，且配合設計事件之情境設定演算，供後續工程設計參考。

5. 加值應用類：

在資料加值應用類方面，是以 UAV 影像資料之加值應用成果如 3D 模型、環景影像、AR、VR、MR 等擴增實境、虛擬實境、混合實場之數位 3D 科技之體感應用，讓使用者透過穿載裝置儀器，藉由土砂事件建置之展示空間，體驗災害區之現況，可作為工程設計及規劃探討之用，亦可透過如沉浸式訓練平台之輔助，作為工程人員教育訓練之用 (圖 2-12)。

6. 教育訓練與出版品：

各項委辦計畫在教育訓練主要分成兩個類別，一個是對民眾宣導活動，如土石流防災教育宣導、酷學校行動知識、水土保持教育宣導、防災專員訓練、自主防災社區等，並透過水土保持相關出版品、課程講解及實際練習等方式，使民眾易於瞭解水土保持、土石流防災教育相關知識，並學習山坡地災害潛勢與面臨大規模災害的應變措施。

另一個則是供水保局工作同仁提升專業技能知識之用，如工程技術、採購防貪指引要領、文書及檔案管理系統、治理工程、生態檢核、職業安全衛教、資訊安全管理、構造物工程設計研習、水土保持工程管考系統教育訓練、大規模崩塌相關防減災等多方面教育訓練課程，有助於提升同仁業務職能外，藉由各類型教育訓練提供同仁在技術面、工程面、資訊面、法制面等不同層面之技能知識學習並強化自主技術能力 (圖 2-13)。

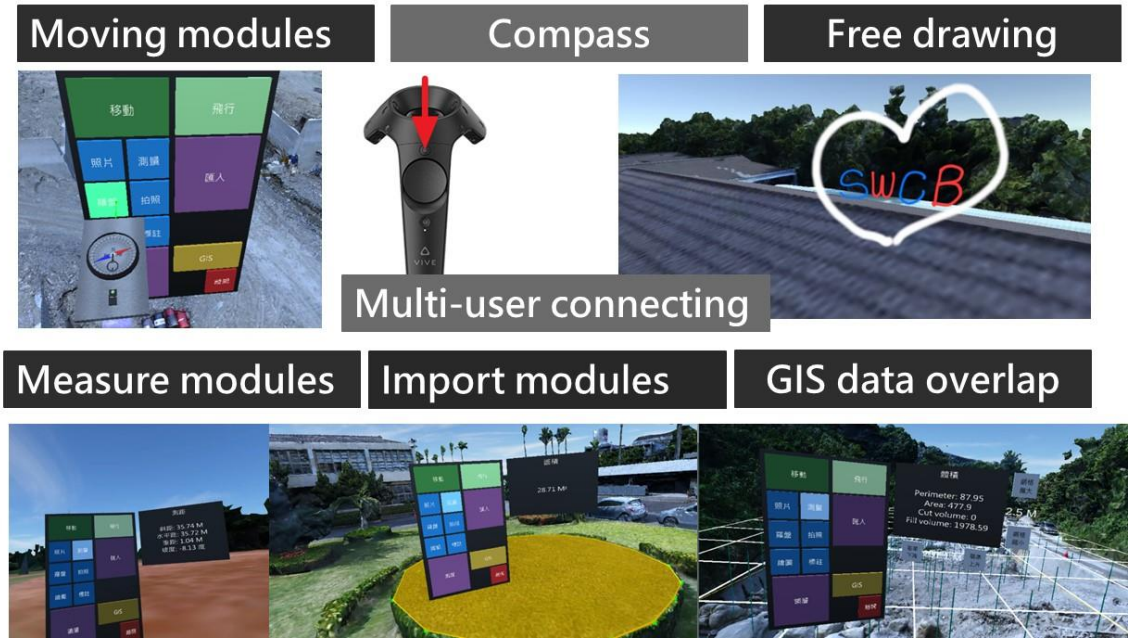


圖 2-12 資料加值應用類-虛擬實境工具

6 外	職安健康週-挖掘機吊掛作業認證機制說明(第二場次)	2	行政院農業委員會水土保持局
7 外	大規模崩塌防減災成果發表會	大規模崩塌防減災成果發表會(12/23)	行政院農業委員會水土保持局
8 外	大規模崩塌防減災成果發表會-現地參訪	大規模崩塌防減災成果發表會-現地參訪	行政院農業委員會水土保持局
9 內	必 109年委辦計畫作業管理系統教育訓練		局本部/綜合企劃組/企劃科(企一)
10 內	文書及檔案管理教育訓練	文書及檔案管理教育訓練	局本部/秘書室/行政科
11 內	文書及檔案管理教育訓練	文書及檔案管理教育訓練	局本部/秘書室/行政科
12 外	調整型防砂壩新思維研討會	調整型防砂壩新思維研討會	行政院農業委員會水土保持局

圖 2-13 教育訓練課程

表 2-8 細部盤點項目與統計數量

編號	盤點項目(單位)	統計數量
1	報告書格式是否正確	1324 符合
2	電子書是否完整與報告書相同	1250
3	UAV 拍攝(處)	1317
4	是否申請遙測相關圖資	249
5	是否運用光達產製 DEM	77
6	斷面樁設置數量(支)	26
7	斷面量測(km^2)	222
8	河床質調查數量(處)	123
9	是否有土壤力學參數參考	64
10	是否有年平均雨量資料	260
11	是否有重現期雨量資料	208
12	是否有重現期洪峰流量資料	199
13	是否有土砂產量推估計算	250
14	是否有運用數值模式	345
15	監測站相關資料(處)	199
16	是否有沖蝕針運用相關資料	11
17	是否有崩塌儀器量測資料	617
18	是否有地球物理探測相關資料	144
19	是否有相關平台建置、維護	228
20	是否有運用崩塌判釋技術	284
21	災害案例或工程案例相關	143
22	是否有產出回歸公式	41
23	是否有災害照片紀錄	137
24	是否有構造物調查	247
25	虛擬實境、擴增實境相關	24
26	是否有生態檢核相關	197
27	是否有教育訓練	507
28	是否有產出相關出版品	757
29	值得進入倉儲系統的圖資	131
30	是否有包含特殊技術分析	229

二、立體地形圖H.O.S.T 地圖及CS地圖判釋

前一章節空間資料盤點之 UAV 影像、航照資料及光達資料(DEM、DTM、DSM) 等資料作為 H.O.S.T 地圖及 CS 地圖之輸入資料，今年度技術研究發展小組則是整理相關資料及程式操作過程，於 9 月出版「立體地形圖 HOST MAP 及 CS MAP 判釋參考指引」及「H.O.S.T 地圖製作簡易操作指引」兩本書籍 (圖 2-14)。

「H.O.S.T 地圖製作簡易操作指引」，是加值應用 2016 年及 2017 年創新研究計畫補助研究成果，其為國立中興大學水土保持學系蕭宇伸教授結合地形高程(Height)、開闊度(Openness)、坡度(Slope)，開發出新型態三維視覺化地形圖(Terrain Map)－H.O.S.T 地圖。H.O.S.T 地圖與紅色地圖最大不同處在於計算方法之改良與加入高程資訊產製立體調色盤等 (於 2018 年 6 月取得國內專利 I627602 號，本 H.O.S.T 地圖製作程式受專利保護限水土保持局同仁使用)。

H.O.S.T 地圖所使用之平面調色盤是由地形坡度及地形開闊度組成，顏色配置參照 Chiba et al. (2008)之研究。而所謂某位置點之地形開闊度，其實可以視為該處之光源接收量，如山頂(脊)處由於地形開闊度較佳，故光源接收量大，反映在 H.O.S.T 地圖上，其顏色即為白色；反之，如該處為河谷，則光源接收量較少，故在 H.O.S.T 地圖上即為黑色。此外，對於某位置點之坡度，H.O.S.T 地圖則採用陡坡為紅色，緩坡為白色之代表色 (圖 2-15)。

雖然利用平面調色盤所繪製之H.O.S.T地圖可解決陰影圖缺點並保留其優點，但若將高程變化套疊等高線圖或分層設色圖，將導致整張地圖過於複雜。因此蕭宇伸教授研究團隊將平面調色盤加入高程資訊設為 z 軸製作出立體調色盤，其中若該地地勢越高，其顏色越偏綠，

以此來判斷高程；另將高程值較低處由白色改為藍色，故紅色部分將被融合成紫色 (圖 2-15)。

過去常用之 1/25000 經建版地形圖，甚至使用空載光達製作高精度的 1m DEM (數值高程模型)，以等高線圖展示時，一般未經訓練的人並不容易直接判讀並於腦海自動轉換成三維地形，更因精度有限，而無法呈現微地形變化。另外，使用衛星影像則會因植生關係，無法看到山區小徑，對於地形與地質災害判釋為一大挑戰。因此，相較於一般傳統地形圖呈現方式，透過地形開闊度與坡度的組合，H.O.S.T 地圖表現出絕佳的立體感，上述問題皆可逐一解決，就算是未經訓練之一般民眾，亦可直覺得看出道路、山脊、山谷...等地形特徵 (圖 2-16)。



圖 2-14 技術文件-HOST 地圖及 CS 地圖之判釋及簡易操作指引 (https://tech.swcb.gov.tw/Education/EducationManual)

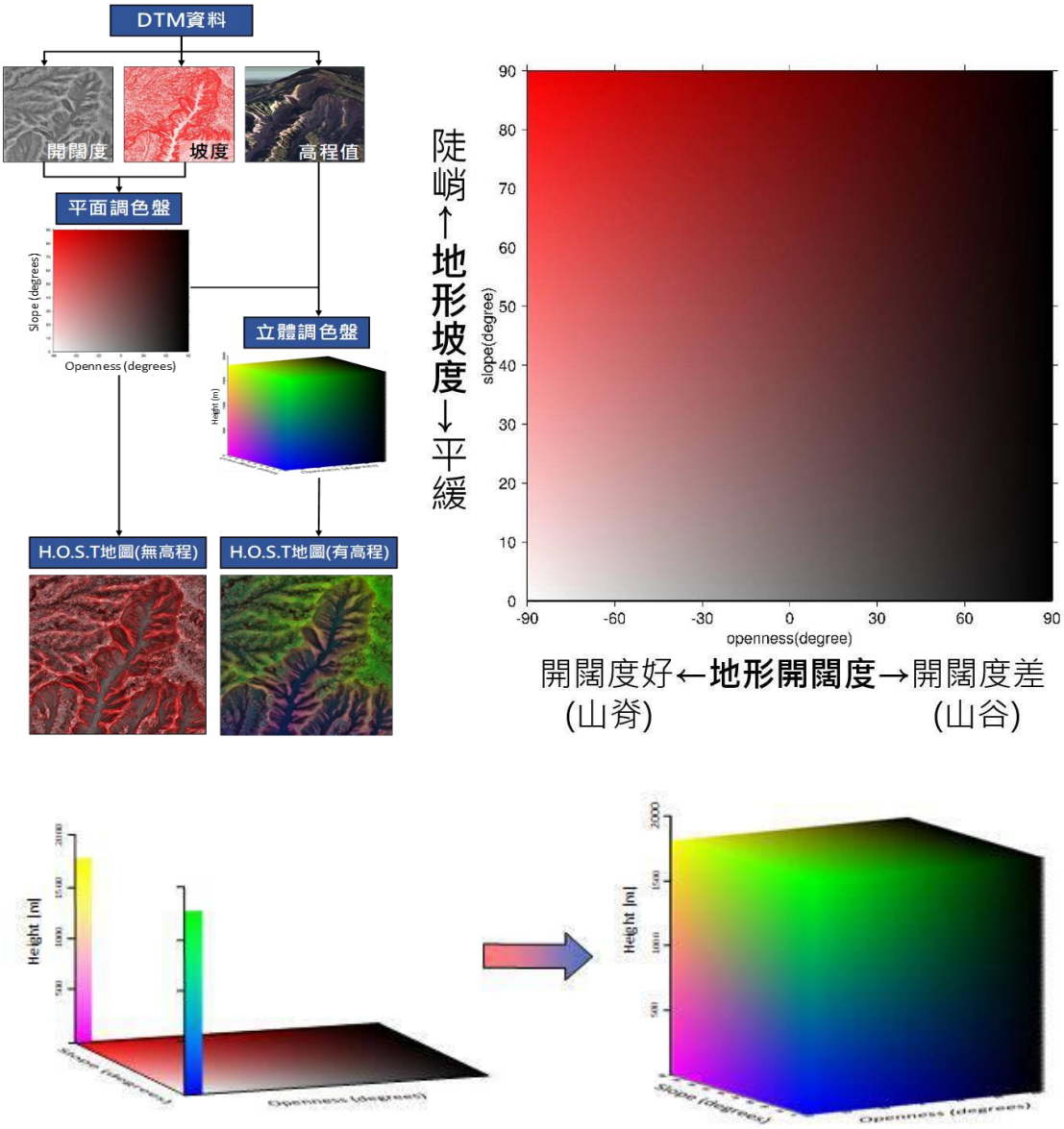


圖 2-15 HOST 地圖製作原理 (圖左上)、平面調色盤 (圖右上)及立體調色盤 (圖下)

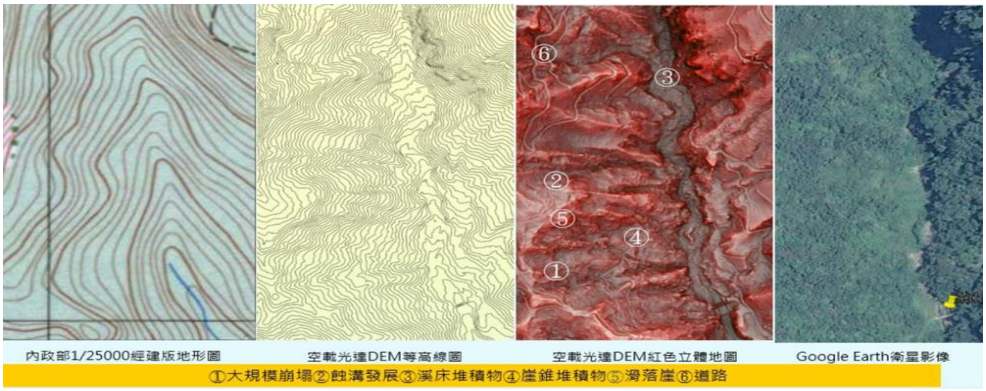


圖 2-16 相同地點不同型態地形圖呈現之效果

「立體地形圖 HOST MAP 及 CS MAP 判釋參考指引」，其手冊摘要介紹各種描繪地貌的數位圖資 (光學影像、DEM、DSM、HOST MAP、CS MAP) 以及說明進行地貌判讀時的共通性原則 (表 2-9)，章節安排上以 HOST MAP 於地貌判釋之應用、CS MAP 於湧水判釋之應用、GeoPDF 之介紹與應用為主，並以圖文說明方式列舉數例供使用者可於 BigGIS 平台進行實作與學習；此外，依據野外調查之業務需求，亦整理製作 GeoPDF 方法供判讀者便於攜出調查使用。

針對崩塌前後之常見地貌特徵，HOST MAP 的判釋案例，其地貌特徵於崩塌前如蝕溝發育、向源侵蝕、雙溝同源、多重山稜、遷急線、遷緩線、反向坡、坡趾隆起等，崩塌後常見地貌特徵如崩塌坡面、崩崖、坡面料源、土石堆積區、溪床堆積區等。

CS MAP 可判釋出地貌特徵與立體感，由兩種色系組成-青色與橘紅色，當局部地貌呈現青色則表該地屬凹面型地貌 (如野溪、河谷、邊坡之凹洞、湧力等)，顏色越濃則凹陷程度越劇烈，反之，當局部地貌呈現橘紅色則表該地屬凸面型地貌 (如山稜線、斷崖邊、出路岩塊、硬岩層等)，顏色越濃則凸出程度越劇烈 (圖 2-17)。

一般在進行外業調查前，常需先蒐集相關地質、地理、水文以及監測資料等資訊，並將所需資訊展於地圖上，便於一目了然各點位地貌特徵與儀器之空間相對位置，以往多以印出紙張地圖的方式攜帶出差，近年則因資訊數位化、普及率和便利性，可採含有地理資訊的 Geospatial PDF 取代傳統 tiff 或 jpg 等圖像傳統格式。GeoPDF 可透過 APP 放入行動裝置(如手機或平版)中隨身攜帶，作為離線地圖以及地圖標示功能 (圖 2-18)。

表 2-9 不同圖層適用之判釋特徵

項目	光學影像	地形彩色圖	等高線圖	坡度圖	坡向圖	地形陰影圖	數值高程圖	HOST MAP	CS MAP
地上物辨識	★	△	△	△	△	△	△	●	△
地貌陡峭	●	●	★	★	△	●	●	★	★
相對高程	△	★	★	△	△	●	★	●	●
崩塌判釋	★	△	△	△	△	●	△	●	●
微地形判釋	△	△	△	●	△	●	△	★	●
水道判釋	★	△	●	●	△	△	△	●	★
備註	★表示「適用」；●表示「尚可」；△表示「不建議」								



圖 2-17CS MAP 色調判釋原則

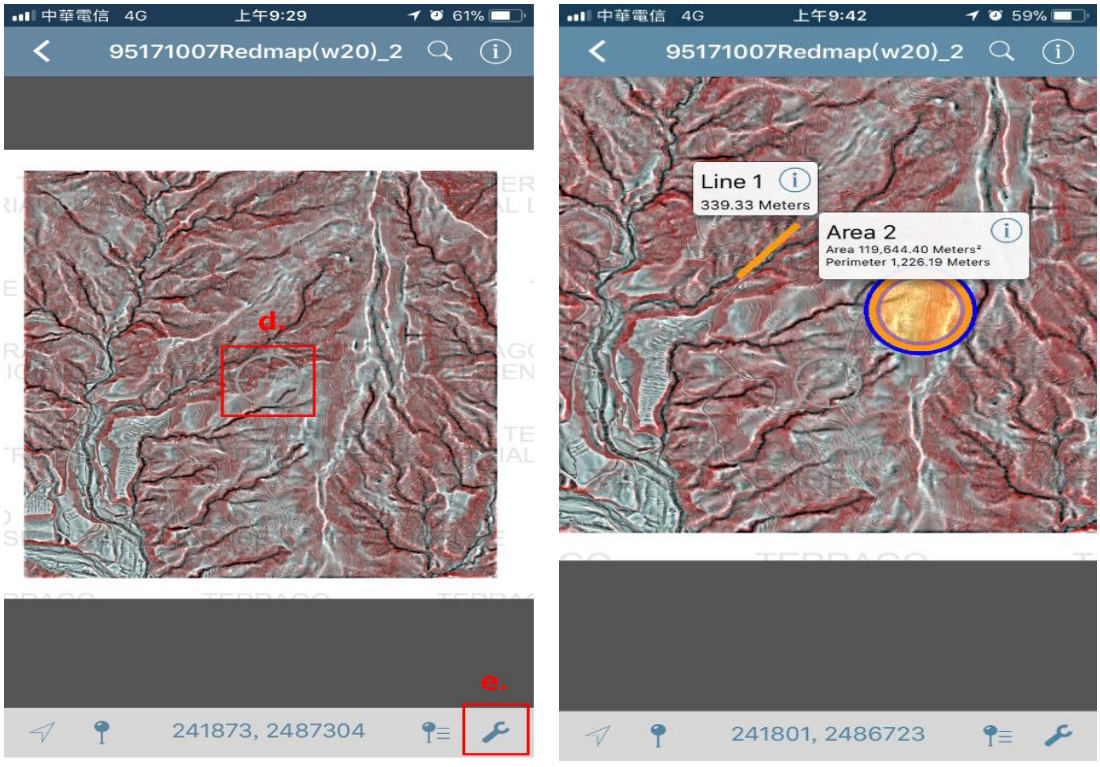


圖 2-18 地圖標示與量測 (座標位置資訊、距離與範圍)

三、評估歷年成果延續發展之可行性

今年度盤點資料由 97 年度至 108 年度共 1861 件委辦及研究案件成果，以空間資訊類而言，可以大面積檢視山坡地歷年之變化過程，作為時間與空間之記錄資料，而在集水區資料類與現場資料類，其可作為數值模式輸入參數之使用，以推估山區災害之影響，或工程整治成效評估之用；現場與監測資料類，則是對於潛勢災區具有預警之用，並可依蒐集資料即時調整潛勢區治理之軟硬體策略方法；在加值應用類，則是將所有計畫產出成果，加以彙整至資料管理平台，以提供水土保持局人員或民眾查詢、應用及後續計畫研提之用；最後教育訓練及出版品，則是將水土保持教育生活化，使民眾有感於氣候變遷與災害頻率及規模擴大等影響，將出版品管理、分享、永續運用，推動機關人員專業技能學習，並提升民眾水土保持知識。

然在歷年盤點資料亦顯示出目前水土保持局在資料管理與維護上所遭遇之問題如下：

1. 其一為目前盤點計畫成果產出相當豐碩，各計畫中專有名詞所代表意義未達一致性，因為前瞻策略與管理、基礎試驗研究、工程技術發展、軟體防災對策、新興科技應用與農村再生等六大領域隨時代進步，其專有名詞亦隨新技術、新領域發展等推陳出新，因此，造成多數新興專有名詞未收錄於水保局於 2007 年編著之「水土保持名詞詞彙」書籍中。
2. 其二為各不同領域計畫成果產出資料格式 (欄位命名、類型、代碼、數值型態等)均不相同，且多數以紙本報告之圖或表呈現並未數位化 (如水文與地文資料、監(觀)測資料、地理資訊資料、工程圖說等)，各項類型資料格式等皆不相同，增加資

料之整合、管理、查詢、儲存之難度。

3. 其三為各委辦計畫於計畫執行期間，委辦廠商架設監(觀)測設備，蒐集汛期前後或是監測地表、地中、地下變位等各種監(觀)資料，然各委辦廠商所使用之監測設備不同，如未事前律定統一規範，可能造成相同資料呈現之數值格式、命名規則、記錄周期、量測精度均不同，增加資料管理與維護上的難度。
4. 其四為向量資料、部份現地調查資料等成果上傳後，尚未建立自動化驗證機制或第三方驗證機制，目前水保局對於 UAV 空拍成果、航遙測資料上傳已建置第三方驗證機制，並針對檔案格式及精度進行檢核，確保資料無毀損且具有一定之精度，目前盤點資料顯示，向量資料與現地調查資料尚未有一定檔案格式及檔案精度制定，因此尚需人工負責檢視資料是否毀損可用、內容是否完整、資料格式是否正確等問題。
5. 其五為現今 AIoT 物聯網結合人工智慧技術升級與應用普及，並藉由 5G 數據傳輸速度提升，有助於達成智慧化坡地災害管理，且導入自動化監(觀)設備減少人力巡查作業成本及資源，然當所有資料上傳至雲端統一管理時，應強化資安管理問題。

本年度累積歷年盤點成果，根據上述五項資料管理與維護，提出以下建議方法：

1. 隨新技術、新領域發展等推陳出新，因此，造成多數新興專有名詞未收錄，建議每三至五年藉由召開專家會議，詳細解釋與說明新專有名詞之中、英文名稱及定義，可作為推廣水土保持教育使用，有助於釐清名詞混淆，並供各界從業人員參考。
2. 今年度水保局技術研究發展小組藉由盤點成果報告書，找出

相關基礎資料 (河床質樣孔與表面粒徑及斷面資料) 並對其數值格式及欄位命名等提出建議，並與各相關組室召開「資料治理工作會議」，共同討論基礎資料建置規劃，以利後續資料庫建立與加值應用。建議後續應持續依此機制運作，定期檢視盤查委辦案件產出資料，藉由各組室業務專業角度檢視該項資料是否值得收錄為開放資料、基礎資料或核心資料等，並於「資料管理工作圈」提報討論。

3. 目前各項委辦案執行廠商與設置監(觀)測儀器皆不相同，建議對於各項水文、地文、地表、地中、地下等環境資料所需儀器，檢視目前業界所使用或建議之穩定可靠設備，定期更新設備型錄提供承辦人員與委辦廠商檢示選用監(觀)設備之可用範圍，並建立符合局內資安規範、共通性資料欄位編碼規範、數值資料及地理圖資管理要點之成果資料回傳機制。。
4. 建議於各項委辦計畫上傳成果之基礎資料項目，藉由學研專家、業界技師、資安人員等召開基礎資料會議，討論檔案格式、驗證機制、符合資安之回傳機制，建置各類資料檔案格式 (系統自動檢視資料格式與完整性)，以符合資訊安全規範與建立自動化第三方驗證機制以節省人力與維護管理資源。
5. 目前新興應用科技結合大數據分析監(觀)測資料，透過大數據分析環境觀測資料，利用雲端即時監控危險區域狀況，以找出關鍵災害發生因子或門檻值，進而提升坡地災害的管理效率，透過預防性防災管理、強化韌性減災整備及災後精準治理措施，可為山坡地治理帶來極大助益。對於資料管理人員而言，資料不落地能隨時隨地對資料與資安進行控管，對承辦人員

而言，可獲得即時資訊，但對於機關而言，雲端管理無可避免資安問題，卻是造成資料外流風險原因，且私有雲及公有雲之建置與管理成本皆不相同，因此需訂定各類資料資安等級及存取規範，以因應未來雲端辦公作業方法。

鑑於委辦計畫廠商眾多且各計畫產出成果型態眾多。因此，建議於計畫執行期間如期中驗收前後，針對廠商進行共通性資料欄位編碼規範、數值資料及地理圖資管理要點等教育訓練，使廠商瞭解各項產出成果所需繳交標準及格式，若遇無制定規範資料，建議應以符合開放資料格式產製，以避免未來盤點時，出現如報告格式錯誤、缺漏，甚至產出資料成果無法數位化等問題。

第三章 水土保持基礎資料

第一節　前言

進入數位治理時代，資料蒐集與分析將是政府決策及施政的重要依據，資料類型多元化，包含業務資訊系統類型資料、委辦及研究案類型資料，對水土保持局 (以下簡稱本局) 而言都是相當重要的資產；在資料管理 (規範) 之建置及標準化下，以分散式產出、集中管理進行資料整合，將資源整合於單一窗口，同時，為因應未來組織再造工作，資料之治理、歸類、維護、流通及整合運用，以提升跨機關資料交換及運用效能，為基礎資料管理 (資料標準化及作業規範) 必須面臨的首要課題。

經盤點本局歷年委辦及研究成果相當豐碩，惟大部分之成果尚未數位化或分散儲存於各業務單位所設置之系統，形成系統眾多維護不易、資料分散、資安風險等相關疑慮，且資料在歸類、查詢、交換、流通、管理上未能達到最佳效益，便於供給同仁及大眾使用。

今年度在盤點基礎資料方面，以河床質及斷面資料為例，於前一章節得知，目前河床質含樣孔及表面粒徑共計 820 筆資料，斷面資料含斷面樁 1546 筆及橫斷面 1118 筆，成果相當豐碩，但由於各委辦案研究成果繳交格式並不一致，導致資料平台欲收錄基礎資料時，遇到下列問題：

其一為委辦案產製基礎資料無共通性資料欄位，無法統整收錄於資料庫中，或收錄於自建伺服器中亦無法與既有資料庫介接交換使用，僅能以人工方式逐筆自報告書上登打數位化，再轉錄至資料庫中。

其二為數值資料如業務統計資料、現地調查及觀測資料僅為紙本

資料，並無數位化檔案格式，無法收錄至資料庫中。

其三為地理圖資為具有空間資訊與相關屬性者，如向量資料、影像資料、數值地形模型、三維模型等，由於資料呈現為紙本資料，或提供 PDF 格式資料，不利於機器自動判讀，因此無法自動化轉錄於資料庫中。

由以上三項問題，為目前盤點基礎資料欲收錄至資料平台時最常遇到之問題，且以開放資料格式而言，主要格式類型包括 CSV、XML、JSON 等，由各單位所提供資料集以 API 介接或系統平台自動取得方式開放，提供各機關介接與普羅大眾使用。因此，目前遇到盤點出來基礎資料如是紙本形式或是 PDF 形式，僅能靠人力作業，相當耗時費力，其人力建置成本相當高昂。

對於以上問題，水保局目前定期召開「資料工作圈」，討論開放資料標章統計情況、基礎資料格式範本訂定、開放資料集清單、平台系統 API 清單、開收地理資料集清單、核心圖資資料集清單等各項議題，藉由歷次資料管理工作圈討論並追蹤上述議題、資料調整及增減項目、格式訂定、API 管理等，最後由「資訊推動小組」決議後而訂定各式編碼規範與管理作業要點，並於今年發布「行政院農業委員會水土保持局共通性資料欄位編碼規範」及「行政院農業委員會水土保持局數值資料及地理圖資管理作業要點」，以利資料流通交換與介接，並達有效資料管理及共享之目的。

以下為今年度盤點河床質資料相關問題，及後續修改情形提出相關建議，並經過資料工作圈會議討論後，訂定河床質格式範本，以納入本局基礎資料並收錄於資料平台。

第二節　河床質盤點情況

為瞭解集水區土砂運移狀況，河床質調查包含樣孔粒徑調查及表面粒徑調查兩種，依據水土保持手冊 (水保局，2017)，其河床質採樣分析方法如下：

(一) 河床質採樣

採樣孔位置選定在沖淤嚴重河段，過去曾受洪水影響之河床面，每一公里調查一處以上。

採樣孔至少為一平方公尺之正方形，深度至少六十公分(如遇岩盤左右移動量測)，同時進行野外粗顆粒篩分析，細粒徑以四分法採取樣品回室內分析；並記錄採樣尺寸，推算採樣體積，記錄最大石徑之尺寸。

(二) 河床質粒徑分析

1. 野外粗顆粒分析

凡大於標準篩 3/8 吋以上之礫石，分用 1 吋、1/2 吋、3/4 吋及 3/8 吋之方孔篩，於挖掘現場做篩分析，將各篩上停留之礫石分別秤重記錄，大於 3 吋以上之礫石，則直接使用鋼卷尺量其粒徑並秤重，同時記錄各樣孔之最大石徑。

2. 細粒徑分析

通過 3/8 吋之顆粒，秤重以四分法檢取二公斤重之樣品，烘乾秤重，再於室內以標準篩#4、#8、#16、#20、#30、#50、#100、#200 號分別篩分析，將各篩上停留之砂秤重記量，依樣品重與採樣總重之比例，換算各粒徑別之停留重量，再與野外粒顆粒分析結果合併，依各粒徑分別算出其停留百分率及通過百分率。

3. 粒徑分析

以顆粒分析結果之粒徑百分率，繪出各採樣孔之顆粒分布累積曲線，以下列計算式求平均粒徑：

$$D_n = D_i \times P_i$$

式中，D_n: 平均粒徑，單位 mm; D_i: 兩相鄰篩號之孔徑之幾何平均值，單位 mm; P_i: 篩號停留百分率。

(二) 表面粒徑調查分析方法

每五百公尺至少取一處為調查之主斷面，再於主斷面上、下游每間距十公尺，另取二個副斷面，合計共五個斷面。每一個斷面以等間隔 (或整數距離) 之測點，量測在該測點上之泥砂粒徑，每一個斷面以不少於五個測點，測點之間隔不得超過五公尺。每一測點量測十公分以上之粒徑，依統計資料繪製粒徑分布曲線圖。

由歷年成果報告調查結果得知(表 3-1 至表 3-7)，目前在粒徑分布之樣孔或是表面代表粒徑選取上有所不同，由最小粒行為D5、D10、D16、D20、D25、D30、D35、D40、D50、D60、D65、D75、D84、D90、D95、D_n等不同粒徑大小的選用，部分研究提供粒徑之標準差σ_g，以顯示採樣處粒徑分散程度。表格呈現之欄位亦大不相同，在採樣地點資訊上，有以編號名稱、溪流名稱、橋樑名稱等來代表，但並未附註座標資訊，亦或是有座標資訊，但不知其對應之大地座標系統，難以從表格得知其真實位置，對於相同治理集水區無法累積長期監測採樣調查成果。

另在外採樣日期方面，有標示為年月日三者或汛期前後，部分未標示採樣日期資訊，此資訊需再於各紙本報告內文或是附錄內搜尋。由近年成果報告河床質盤點資料顯示，在欄位命名、數值格式及代表粒徑選用上均不相同，而部份成果報告書若是以粒徑分布曲線圖形式

呈現 (圖 3-1、圖 3-2)，不僅無法取得確切的粒徑資料，且不利於機器自動化讀取，難以整合進既有資料平台利用。

對比歷年河床質盤點成果資料，其代表粒徑選用、欄位命名、數值格式等資料上並無統一格式，因此對於治理集水區或相同河段內，其河床質調查成果無法長期累積應用，難以檢視集水區土砂運移狀態及對河道粒徑變化程度進行分析比較。再者後續資料加值應用、流通、共享上因資料格式不一致，難以整合應用，其次代表粒徑選用不同，此顯示河床質採樣代表粒徑無標準值與通用欄位格式，因此後續需研擬河床質之樣孔及表面粒徑資料標準格式及通用欄位訂定。

表 3-1 苗栗縣沙河溪樣孔代表粒徑

試坑邊號	代表粒徑(mm)									σ_g	平均粒徑(mm)
	d5	d16	d25	d50	d65	d75	d84	d90	d95		
01	0.03	0.06	0.09	0.19	0.24	0.30	0.38	0.49	0.72	2.43	0.134
02	0.04	0.09	0.18	6.44	36.35	81.85	118.73	163.15	209.19	36.69	31.747
03	0.10	1.24	10.69	92.79	123.48	153.59	183.95	210.97	233.48	12.20	62.84
04	0.09	0.39	3.78	156.43	199.37	215.55	230.11	239.82	247.91	24.31	86.88
05	0.12	0.36	0.50	0.84	1.49	1.93	3.96	11.87	21.39	3.34	1.623
06	0.05	0.16	0.26	0.60	0.82	1.28	1.74	2.28	3.93	3.33	0.47

資料來源：水保局，2018，「沙河溪集水區（北河村南北橋重點區域）細部規劃」

表 3-2 南化及烏山頭水庫集水區河床代表粒徑

水庫	採樣地點	平均粒徑 d_m(mm)	最大粒徑 d_{max}(mm)	各代表粒徑(mm)					
				d_{20}	d_{35}	d_{50}	d_{65}	d_{75}	d_{90}
南化	1-關山九號橋	21.68	200	3.06	7.74	16.35	24.7	33.52	81.01
	2-亞美坑橋	31.09	350	2.66	6.23	9.63	21.37	44.29	124.87
	3-關山十五號橋	51.66	200	6.42	25.7	48.66	89.02	119.71	167.88
	4-平坑水泥橋	44.71	150	9.07	22.79	41.14	66.62	92.97	127.72
烏山頭	1-南勢坑橋	19.60	120	2.71	9.75	16.12	23.36	29.38	45.64
	2-溪灣橋	17.70	140	2.38	8.46	15.05	23.13	29.19	40.51

資料來源：水保局，2019，「烏山頭及南化水庫集水區整體調查規劃」

表 3-3 來社溪樣孔代表粒徑

編號	日期	X	Y	樣坑代表粒徑(mm)											溪段
				d_{10}	d_{16}	d_{20}	d_{30}	d_{35}	d_{40}	d_{50}	d_{65}	d_{75}	d_{84}	d_{90}	
A03	2014/7/21	217867	2491570	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1	**1.2**	3.4	28.5	52.6	65.2	內社溪 01
S2	2015/3/29	218277	2492228	0.7	1.1	1.5	2.3	3	3.7	**5.5**	9.5	14.7	23	35.1	來社溪 03
S3	2015/3/29	218660	2492481	2.1	3.9	5.2	9.5	10.6	12	**16.5**	24.5	34.4	53.6	69.6	來社溪 04
S6	2015/3/28	217892	2491563	1.4	2.3	2.9	5.3	7	9	**15.9**	30	49.7	92.3	159.7	內社溪 01
H05	2016/10/29	218274	2492273	0.84	1.3	1.6	2.35	3.08	3.83	**8.83**	19.51	29.56	50.58	68.04	來社溪 03

資料來源：水保局，2019，「高變動溪床沖淤變化對保全對象之衝擊及因應評估(以來社溪內社溪滙流口為例)第二年」

表 3-4 蘇澳溪樣孔代表粒徑

坑名	平均粒徑(mm)	代表粒徑大小(mm)										
		d10	d16	d20	d30	d35	d40	d50	d65	d75	d84	d90
蘇澳溪_01	24.55	0.68	1.17	1.56	2.87	3.47	4.52	7.62	16.21	23.52	49.24	132.85
白米溪_01	67.88	0.72	1.62	2.38	4.52	5.82	7.84	12.61	30.12	100.22	234.87	298.45
白米溪_02	36.81	0.71	1.72	1.81	3.78	4.77	6.22	11.68	23.85	30.52	49.22	152.32
白米溪_03	22.12	0.21	0.65	0.92	2.0	2.8	3.95	6.45	16.2	18.5	29.8	42.5
圳頭坑溪_01	119.61	2.92	8.75	12.55	24.85	30.21	36.82	56.45	142.21	225.34	325.12	346.85
圳頭坑溪_02	47.67	0.61	1.17	1.78	3.25	4.65	6.85	12.45	30.85	49.85	132.52	187.65

資料來源：水保局，2019，「蘇澳溪等集水區大規模土砂收支模式及觀測站建置與評估」

表 3-5 蘇澳溪表面代表粒徑

坑名	平均粒徑(mm)	代表粒徑大小(mm)										
		d10	d16	d20	d30	d35	d40	d50	d65	d75	d84	d90
蘇澳溪_01	194.5	107.5	127.0	132.4	161.8	184.5	192.2	209.4	254.0	291.0	332.2	349.5
白米溪_01	230.1	105.2	125.2	131.2	150.5	162.7	189.8	231.2	278.5	326.8	351.2	402.2
白米溪_02	361.6	82.4	108.4	128.5	178.2	254.0	381.2	550.8	602.2	652.7	685.2	700.0
白米溪_03	171.3	100.8	125.6	132.2	148.5	154.2	162.4	172.4	201.2	213.6	233.7	250.7
圳頭坑溪_01	138.0	79.2	85.4	91.2	111.6	125.2	130.2	152.7	194.5	232.5	300.8	381.9
圳頭坑溪_02	230.2	92.6	114.5	129.2	161.7	182.6	198.4	232.4	300.8	362.5	508.6	607.4

資料來源：水保局，2019，「蘇澳溪等集水區大規模土砂收支模式及觀測站建置與評估」

表 3-6 油礦溪集水區河床質採樣代表粒徑

一號孔	D_{10}	D_{30}	D_{50}	D_{60}	D_{90}	最大粒徑（mm）	備註
106年	0.6	2.2	17	25	75	278	
107年	0.8	7	20.6	36.5	231.9	400	
108年	0.9	19.0	93.9	156.4	385.6	560	汛期前
108年	0.6	7.8	20.6	28.2	111.5	300	汛期後
二號孔	D_{10}	D_{30}	D_{50}	D_{60}	D_{90}	最大粒徑（mm）	備註
106年	2.8	17	40	60	310	337	
107年	0.2	1.8	7.1	11.6	44.1	235	
108年	1.0	8.2	22.6	32.3	140.9	475	汛期前
108年	0.7	3.4	10.4	20.5	413.8	750.0	汛期後
三號孔	D_{10}	D_{30}	D_{50}	D_{60}	D_{90}	最大粒徑（mm）	備註
108年	0.1	5.9	49.7	86.2	212.2	325	汛期前
108年	0.5	13.7	40.5	73.0	225.9	440.0	汛期後

資料來源：水保局，2019，「河道底床載觀測系統精進與示範集水區規劃」

表 3-7 南澳北溪代表粒徑

樣坑編號	座標 TWD97		代表粒徑(mm)				
	X 座標	Y 座標	D_{50}	D_{65}	D_{75}	D_{95}	D_{max}
1	329461	2710028	134.2	241	365	425	453
2	327789	2710938	3.8	14.5	41.3	323	405
3	328138	2710078	1.9	18.4	30	275	402
4	328779	2709215	7	29.5	63.4	425	420
5	329280	2708393	5.4	16.5	38.4	185	310
6	329239	2708092	11.5	30.5	55	198	365
7	328991	2706957	40	135	192	398	420
8	327742	2706918	11	28	56	295	373
9	327357	2707010	42	115	235	425	455
10	326856	2706923	48.5	92	154	375	475

資料來源：水保局，2014，「南澳北溪集水區(碧侯等重點區域)細部規劃」

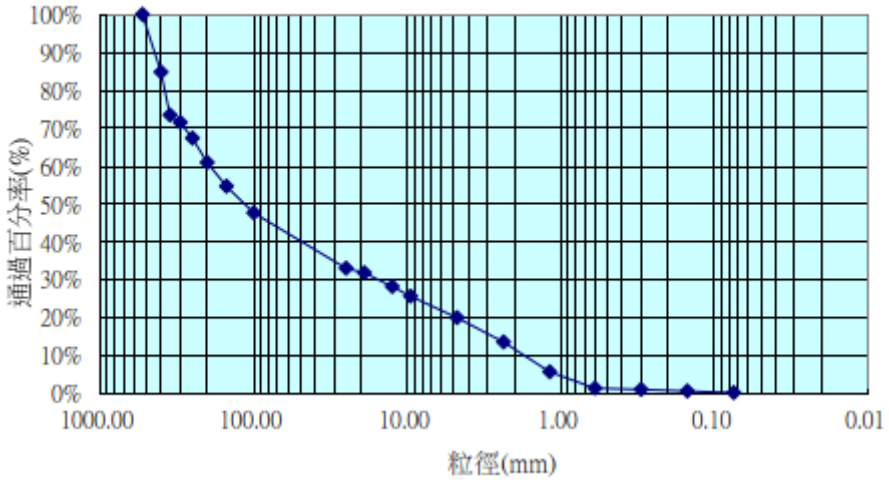


圖 3-1 南澳北溪樣坑 1 泥砂粒徑分佈曲線圖 (水保局，2014，「南澳北溪集水區(碧侯等重點區域)細部規劃」)

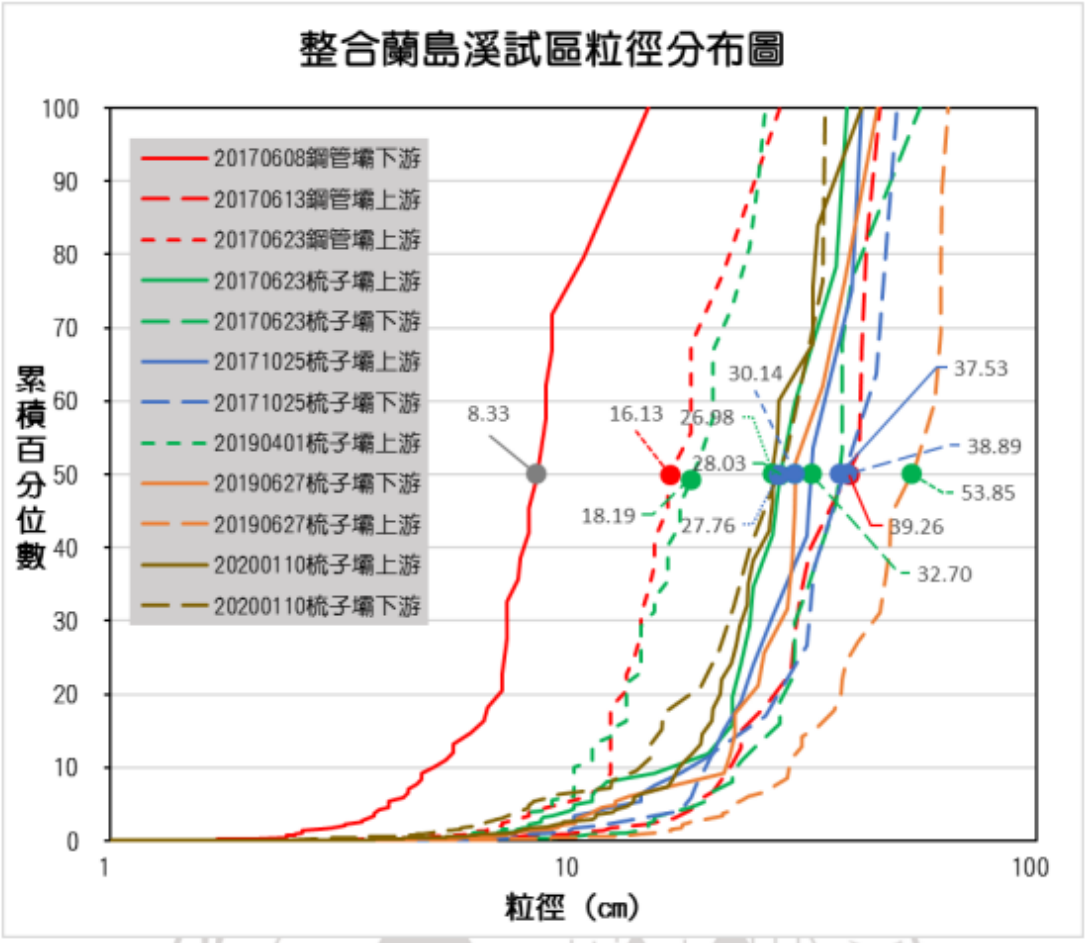


圖 3-2 蘭島溪試區之粒徑分布圖 (資料來源：水保局，2019，調整型防砂壩之技術研發與應用(2/3))

目前水保局技術研究發展小組，檢視水土保持手冊「基本資料調查與分析篇」，對於現地樣孔篩分析記錄表所採用之篩尺寸為 12 吋、6 吋、3 吋、1.5 吋、3/4 吋、1/2 吋、3/8 吋、#4 號篩網等 (表 3-8)，其所規範僅為現地篩分析使用，對於室內篩分析表格並無規定，但於調查方法中，則是有提到通過 3/8 吋標準篩之顆粒，於室內再以標準篩#4、#8、#16、#20、#30、#50、#100、#200 號分別篩分析。

對於目前河床質採樣盤點資料雖然相當豐富，但各類委辦案、研究案等繳交結果是以報告書為主，其對於河床質之格式並無特別規範，因此參考國內經濟部水利署水利規劃試驗所「河床質調查作業參考手冊(草案)」之河床質採樣調查方法，分別為體積法採樣與網格法採樣兩種，其採樣方式分為現場篩分析 (3 吋、1.5 吋、3/4 吋、3/8 吋)、開口樣板量測 (大於 3 吋) 及四分法室內篩分析 (小於 3/8 吋)，對應之記錄表如表 3-9 所示，其對於室內篩分析之表格亦無規定，但於室內篩分析則是採用美國標準篩號#4、#10、#20、#40、$60、#100、#200、底盤 (或#4、#8、#16、#30、#50、#100、#200、底盤亦可)進行篩分析。

在表面粒調查方法，水規所調查手冊則採用網格法方式，其使用採樣繩、開口樣版、捲尺等進行現地採樣 (圖 3-3)，在撿拾粒徑則是當粒徑之 B 軸大於 8 毫米拾取，小於 8 毫米以下不撿取，且當採樣數量大於 100 顆則結束採樣，其對應之記錄表如表 3-10 所示。另在由於現場粒徑可能大於開口樣版最大粒徑 256 毫米，且 256 毫米粒徑以正立方體計算可能重達 44.5 公斤 (假設泥砂密度 2650kg/m^3，重量為$(0.256)^3$*2650 ≒ 44.5 kg)，無法搬運量測，因此大於 256 毫米顆粒則利用捲尺記錄，可區分為 362、512、724、1024 毫米等粒徑等級。

另外比對於水保手冊表面粒徑調查表(表 3-11)，並無規定代表材料之粒徑大小，亦無規定表面徑粒撿拾數量大小，僅於調查方法中述明量測粒徑大於五公分以上之粒徑，依粒徑大小統計資料繪製粒徑分布曲線圖。

因此針對上述樣孔及表面粒徑不足之部份，建議在現地篩分析記錄表於表中將代表材料分成現地量測、現地篩分析、室內篩分析等三種不用作業程序，並依照粒徑大小 3 吋 (76.2 mm) 至 20 3/16 吋 (512 mm) 為現地量測作業、3/8 吋 (9.5 mm) 至 1.5 吋 (38.1 mm) 為現地篩分析作業、#200 號 (0.074 mm) 至 #4 號 (4.75 mm) 篩網為室內篩分析作業，其建議記錄表如表 3-12 所示。

表面粒徑之部份，則是建議補上篩號尺寸，並為降低採樣人員量測錯誤，建議將原需量測粒徑之長軸、中軸、短軸改以通過開口樣板進行量測，將其區分為大於 1.5 吋 (38.1 mm) 以上至小於 20 3/16 吋 (512 mm) 間進行檢拾量測作業，並於現場量測大於 512 毫米為採樣最大粒徑，其建議修改之記錄表如表 3-13 所示。



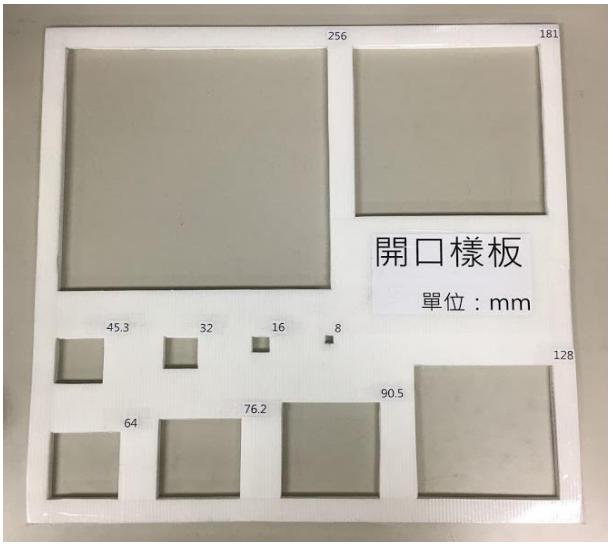


圖 3-3 開口樣板及採樣繩 (水保局，2019，無人載具高解析影像及光達點雲於山區河川表層粒徑分析之精進研究)

表 3-8 現地篩分析記錄表 (水土保持局，2010)

計畫名稱：_____

調查坑編號：_____試驗編號：_____

調查坑位置說明：_____

調查範圍中心點坐標：Y_____ X_____(TWD97)

調查坑尺寸：寬x長x深=_____mx_____mx_____m

調 查 者：_____ 日 期：____年____月____日

代表性材料	篩尺寸	採樣位置（深度）			
		m		m	
		（kg）	（%）	（kg）	（%）
	> 12"				
	12" ~ 6"				
	6" ~ 3"				
	3" ~ 1.5"				
	1.5" ~ 3/4"				
	3/4" ~ 1/2"				
	1/2" ~ 3/8"				
	3/8" ~ #4				
	< #4				
總 計					

採樣最大粒徑：_____（cm）

現地紀錄（照片）
（含開挖前、現地篩分析，以及參與人員、當地街景等）

表 3-9 體積法現場調查記錄表

計畫名稱							
施做位置		編號		日期		天候	
最大粒徑(a×b×c)	公分	調查單位		調查人員			
現地篩分析結果	表　層(深度：　公分)		底　層(深度：　公分)		試坑體積(立方公尺)		
粒徑(毫米)	重量(公斤)		重量(公斤)				
					GPS 座標 TM2_97		
512					X：	Y：	
362					收集細料重量(公斤)		
256					表層	底層	
181							
128					斷面描述		
90.5							
76							
38.1（1 1/2"）							
19 （3/4"）							
9.5（3/8"）							
9.5（3/8"）以下							

表 3-5　體積法現場調查記錄表

資料來源：水規所，2007，「河床質調查作業參考手冊(草案)」

表 3-10 現場採樣記錄表

施作位置	高雄市寶來區建山里 荖濃溪河床砂洲 偏左岸					斷面編號					日期			天候	
斷面測點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	標繩端點	R	X		
1													Y		
2												L	X		
3													Y		
4											施作位置描述				
5															
6															
7															
8															
9											小計				
10											512	362	256	181	128
11															
12															
13											90.5	76.2	64	45.3	32
14															
15															
16											16	8	未拾取		
17															
18															
19											調查單位				
20											調查人員				

資料來源：水保局，2019，「無人載具高解析影像及光達點雲於山區河川表層粒徑分析之精進研究」

表 3-11 表面粒徑調查記錄表 (水土保持局，2010)

表 調 2-12-3 表面粒徑調查記錄表(水土保持局，2010)

施工計畫名稱：_____

調查坑編號：_____試驗編號：_____

調查範圍位置說明：_____

調查範圍中心點坐標：Y_____ X_____(TWD97)

調查範圍：寬x長=_____mx_____m

調 查 者：_____ 日 期：____年____月____日

代表性材料	尺寸	數量（顆粒）	長軸 (m)	中軸 (m)	短軸 (m)

現地紀錄（照片）
(含參與人員、當地街景等)

表 3-12 建議修改之現地篩分析記錄表

計畫名稱：_____

調查坑編號：_____試驗編號：_____

調查坑位置說明：_____

調查範圍中心點坐標：Y_____ X_____（TWD97）

調查坑尺寸：寬 × 長 × 深=_____m × _____m × _____m

調 查 者：_____ 日 期：____年____月____日

代表性材料		篩尺寸 篩號-(mm)	停留重量	停留百分率	備註	
現地量測			(kg)	(%)		
		20_3/16" (512)				
		14_1/4" (362)				
		12" (304.8)				
		6" (152.4)				
		3" (76.2)				
現地篩			(kg)	(%)		
		1.5" (38.1)				
		1" (25.4)				
		3/4" (19)				
		1/2" (12.7)				
		3/8" (9.5)			過 3/8"篩總重：_____kg	
過 3/8"篩總重，四分法取約 2 公斤樣品			換算過篩總重停留量	換算過篩總重停留百分率	烘乾樣品停留篩重	烘乾樣品停留百分率
室內篩			(kg)	(%)	(kg)	(%)
		#4 (4.75)				
		#8 (2.36)				
		#16 (1.19)				
		#20 (0.84)				
		#30 (0.59)				
		#50 (0.297)				
		#100 (0.149)				
		#200 (0.074)				
					底盤：_____kg	
總 計						

採樣最大粒徑：_____（長軸*中軸*短軸 mm）

現地紀錄（照片）
（含開挖前、後、現地篩分析、樣坑資料，以及參與人員、現地特徵等）

表 3-13 建議修改之表面粒徑調查記錄表

施工計畫名稱：_____

調查斷面編號：_____試驗編號：_____

調查斷面位置說明：_____□ 主斷面 □ 副斷面

調查斷面中心點坐標：Y_____ X_____(TWD97)

調查斷面：寬×長=_____m×_____m

調 查 者：_____ 日 期：____年____月____日

代表性材料	尺 寸 篩號-(mm)	通 過 數 量 （顆 粒）	累積通過百分率
	小於 20_3/16" (512)	97	97 %
	14_1/4" (362)	50	50 %
	12" (304.8)	40	40 %
	10.08" (256)	34	34 %
	6" (152.4)	30	30 %
	3" (76.2)	10	10 %
	大於 1.5" (38.1)	2	2%
	總 計	100	

現場採樣最大粒徑：_____mm_____

註[1]：量測 50mm 以上之粒徑

註[2]：大於 256mm 以上粒徑，使用鋼捲尺量測

現地紀錄（照片）
（含測點、現場量測、斷面資料，以及參與人員、現地特徵等）

第三節　基礎資料格式率定與建置

由前一節河床質盤點情況可以得知，目前本局委辦計畫於成果交付時，尚未有統一規範及格式，因此造成各委辦案件河床質調查成果在表格及製圖上不一致，為了有效蒐集並建置計畫成果，經參考水保手冊及水利署河床質相關文獻，調整現地篩分析記錄表及表面粒徑調查記錄表，並於表格中詳細註明各粒徑取樣所對應之篩號尺寸及所需補充之現地紀錄事項。

一、粒徑試驗分析

參照水利署河床質調查手冊(草案), 其室內篩分析作業程序，現地採樣材料於現場篩分析，通過 3/8 吋篩之細顆粒材料以四分法收集具代表性樣品，帶回室內篩分析試驗，其步驟如下：

1. 將細粒料分散置入烘箱烘乾 24 小時。

2. 採用美國標準篩號#4、#10、#20、#40、#60、#100、#200、底盤(或#4、#8、#16、#30、#50、#100、#200、底盤亦可)進行篩分析 (表 3-14)。

3. 將每一個空篩秤重記錄。

4. 組合所有空篩，將細粒料倒入#4 號篩，置入搖篩機搖篩至少 20 分鐘。

5. 將每一篩號分開秤重記錄，與空篩之差值即為停留於該篩號上之材料重。

6. 依照與現場細粒料總重為比例，換算回原始細料重量後，併入現場篩分析資料進行粒徑分析。

表 3-14 標準篩號及孔徑

美國標準規格 A.S.T.M		美國篩網協會規格 TYLER (泰勒)	
篩號	孔徑 (mm)	篩號	孔徑 (mm)
3	6.35	3	6.68
3.5	5.66	3.5	5.613
4	4.76	4	4.699
5	4	5	3.962
6	3.36	6	3.327
7	2.83	7	2.794
8	2.38	8	2.362
10	2	9	1.981
12	1.68	10	1.651
14	1.41	12	1.397
16	1.19	14	1.168
18	1	16	0.991
20	0.84	20	0.833
25	0.71	24	0.701
30	0.59	28	0.589
35	0.5	32	0.495
40	0.42	35	0.417
45	0.35	42	0.351
50	0.297	48	0.295
60	0.25	60	0.246
70	0.21	65	0.208
80	0.177	80	0.175
100	0.149	100	0.147
120	0.125	115	0.124
140	0.105	150	0.104
170	0.088	170	0.088
200	0.074	200	0.074
230	0.062	250	0.061
270	0.053	270	0.053
325	0.044	325	0.043
400	0.037	400	0.037

二、細顆粒材料之代表性樣品

由於現地採樣後之細顆粒材料帶回室內分析必須具有代表性，因此體積法採樣所得材料於現場進行篩分析，通過 3/8 吋篩之細顆粒樣品必須符合以下兩點要求：

1. 將所有細顆粒材料充分混合攪拌均勻後，以四分法將材料重量減低至所需重量，可參依 ASTM C702 步驟。

2. 收集通過 3/8 吋篩之細顆粒材料樣品 (含有水分重量) 約 3 公斤重進行室內篩分析，此重量僅為一建議值，ASTM D41 或 CNS 488 A3007 對最低之乾燥材料重量之建議值如表 3-15，細顆粒材料重量可依據實際狀況加以彈性調整。

表 3-15 室內篩分析最低需求細顆粒材料重量

ASTM D421	
材料最大粒徑，英吋(毫米)	最低需求材料重量，公克
3/8 (9.5)	500
3/4 (19.0)	1000
1 (25.4)	2000
1 1/2 (38.1)	3000
2 (50.8)	4000
3 (76.2)	5000
CNS 488 A3007	
1/2 或更小(12.5)	2000
3/4 (19.0)	3000
1 (25.4)	4000
1 1/2 (38.1)	5000
2 (50.8)	8000
2 1/2 (63.0)	12000
3 (76.2)	18000

資料來源：水規所，2008，「河床質調查作業參考手冊(草案)」

本研究並參考 Bunte 及 Abt 於 2001 年之技術報告「Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring」一書中所提，河床質粒徑分布於山區常呈現正偏態 (Positively Skewed)，因此會偏離對稱常態分布，而在正偏態分布會偏向較細礫石及砂 (finer gravel and sand) 部分，其粒徑組成則是以較細顆粒 (finer particle) 含概大部份材料。而正偏態也可能是由於非代表性採樣分析之結果，其大部分組成材料佔總重量的 30 % 至 50 % 導致 (圖 3-4)。因此，Bunte 及 Abt 建議在分析粒徑分布之偏態時，採樣需有代表性，而大粒徑之重量不應超過總重量之某一百分比。Church et al. (1987) 建議當最大粒徑為$D_{max} \leq 32\ mm$時，取樣重量應小於 0.1%，$D_{max} \leq 64\ mm$時，取樣重量應小於 1%，$D_{max} \leq 128\ mm$時，取樣重量應小於 5% (圖 3-5)。

由於水保手冊河床質調查內容，並無規範室內作業之流程，此部分建議參考水規所河床質調查作業參考手冊內容，另外對於最低需求細粒料重量，此部分水保手冊做法則是以秤總重以四分法檢取二公斤重樣品，但對於其代表性並無規範，建議可以參照表 3-15。

另外當粒徑分布曲線呈現偏態情況時，可以參考 Bunte&Abt 之建議，檢視室內篩分析作業最大粒徑所應取之採樣重量是否符合建議值，如符合仍然出現偏態情形，則檢視現場河床質狀態，是否該採樣位置河床質組成是以某一粒徑佔大多數才形成正偏態或負偏態情形。由於此部分於現場細顆粒作業時，較難以肉眼判斷各粒徑組成重量與帶回比例，建議參照表 3-15 即可。

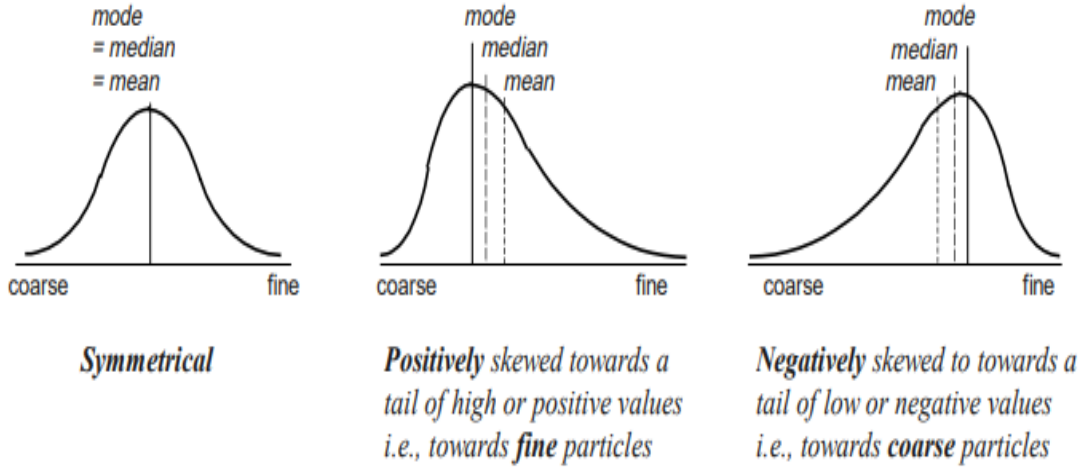


圖 3-4 常態分布、正偏態分布及負偏態分布曲線 (Bunte & Abt，2001)

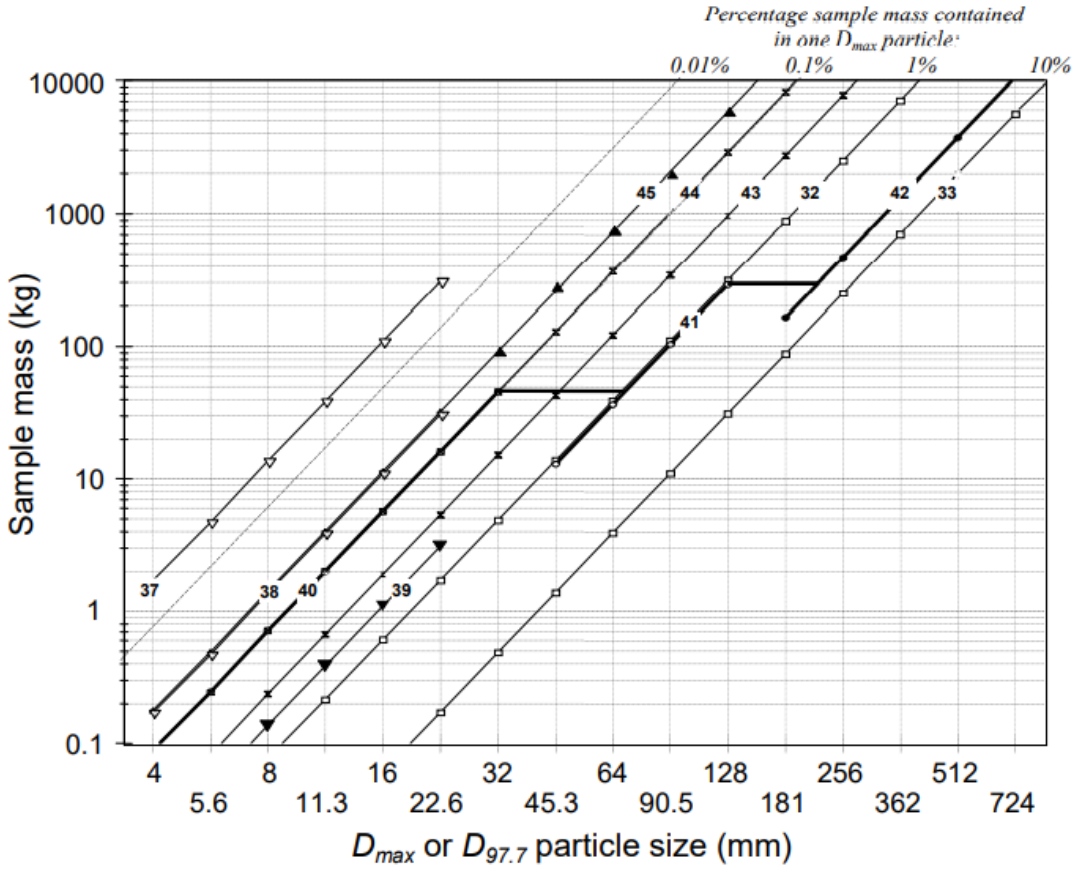


圖 3-5 最大粒徑與取樣重量關係 (Bunte & Abt, 2001)

三、基礎資料欄位訂定

為瞭解河床質組成材料粒徑與集水區河道特性，以及後續水理模式分析參數及泥砂生產量調查之基礎依據。藉由河床粒徑分布範圍及代表粒徑，配合經驗公式用以推估曼寧 n 值。Yen (2002) 彙整諸多專家學者經驗公式以不同代表粒徑 (d_x) 推估曼寧 n 值如表 3-16 所示。依據現場調查之河床質樣孔及表面代表粒徑，利用表 3-16 之經驗公式，即可推求曼寧 n 值，後續可提供水理演算、土砂收支分析、河床載運移量等所需之參數。

土壤材料中粒徑級配及顆粒尺寸特性，有效粒徑D10指通過百分比為 10%所對應粒徑尺寸，而D60指通過百分比為 60%所對應粒徑尺寸，並定義均勻係數 (Coefficient of uniformity) 如下：

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

當C_u介於 1 ~ 4 時為均勻土壤 (Uniform soil); C_u介於 5 ~ 8 時為級配好之土壤 (Graded soil); C_u大於或等於 9 時為級配良好之土壤 (Well-graded soil)。

依據水土保持手冊-河床質調查、水規所「河床質調查作業參考手冊」、Bunte &Abt (2001) 技術報告、Yen (200) 所彙整之經驗公式及土壤粒徑均勻係數特性，建議河床質之代表粒徑由小至大分別為D10、D16、D20、D30、D40、D50、D65、D75、D84、D90、D95、Dmax、Dn等十三個代表粒徑，並考量前節河床質盤點相關問題，河床質表格欄位建議包含：編號、縣市別、鄉鎮、村里、子集水區、座標 (TWD97 系統)、調查類型 (樣孔粒徑、表面粒徑)、計畫年度 (西元)、執行單位、計畫名稱、取樣日期 (年/月/日)等，其河床質範本如表 3-17 所示。

表 3-16 不同代表粒徑之曼寧 n 值經驗公式

研究者	代表粒徑 (d_x)	$\alpha_x = k_s / d_x$	$n = C_n \times k_s^{1/6} = \frac{k_s^{1/6}}{7.66\sqrt{g}}$
Ackers&White (1973)	d_{35}	1.23	$0.0431d35^{1/6}$
Stickler (1923)	d_{50}	3.3	$0.0509d50^{1/6}$
Keulegan (1948)	d_{50}	1	$0.0417d50^{1/6}$
Mayer&Peter (1948)	d_{50}	1	$0.0417d50^{1/6}$
Thompson & Campbell (1979)	d_{50}	2	$0.0468d50^{1/6}$
Hammond et al. (1984)	d_{50}	6.6	$0.0571d50^{1/6}$
Einstein & Barbarossa (1952)	d_{65}	1	$0.0417d65^{1/6}$
Irmay (1949)	d_{65}	1.5	$0.0446d65^{1/6}$
Engelund & Hansen (1967)	d_{65}	2	$0.0468d65^{1/6}$
Lane & Carlson (1953)	d_{75}	3.2	$0.0506d75^{1/6}$
Gladki (1979)	d_{80}	2.5	$0.0468d80^{1/6}$
Leopold et al. (1964)	d_{84}	3.9	$0.0523d84^{1/6}$
Limerinos (1970)	d_{84}	2.8	$0.0495d84^{1/6}$
Mahmood (1979)	d_{84}	5.1	$0.0547d84^{1/6}$
Hey, Bray (1979)	d_{84}	3.5	$0.0514d84^{1/6}$
Ikeda (1983)	d_{84}	1.5	$0.0446d84^{1/6}$
Colosimo et al. (1986)	d_{84}	3 6	$0.0501d84^{1/6}$ $0.0562d84^{1/6}$
Whiting & Dietrich (1990)	d_{84}	2.95	$0.0499d84^{1/6}$
Simons & Richardson (1966)	d_{85}	1	$0.0417d85^{1/6}$
Kamphuis (1974)	d_{90}	2	$0.0468d90^{1/6}$
Van Rijn (1982)	d_{90}	3	$0.0501d90^{1/6}$

資料來源：Yen，2002，「Open channel flow resistance」

表 3-17 河床質範本 (1)

編號	縣市別	鄉鎮	村里	子集水區	TWD97_X	TWD97_Y	調查類型	計畫年度(西元)	執行單位
碼崙溪1	宜蘭縣	樂水村	大同鄉	碼崙溪	303675	2721752	樣孔粒徑	2013	臺北分局
碼崙溪2	宜蘭縣	樂水村	大同鄉	碼崙溪	304242	2720962	樣孔粒徑	2013	臺北分局
碼崙溪3	宜蘭縣	樂水村	大同鄉	碼崙溪	304542	2720267	樣孔粒徑	2013	臺北分局
南澳北溪1	宜蘭縣	南澳村	南澳鄉	南澳北溪	327954	2710275	樣孔粒徑	2013	臺北分局
南澳北溪2	宜蘭縣	碧候村	南澳鄉	南澳北溪	328658	2709298	樣孔粒徑	2013	臺北分局
南澳北溪3	宜蘭縣	南澳村	南澳鄉	南澳北溪	328322	2709870	樣孔粒徑	2013	臺北分局
鹿皮溪4	宜蘭縣	金岳村	南澳鄉	南澳北溪	329016	2706935	表面粒徑	2013	臺北分局
鹿皮溪5	宜蘭縣	金岳村	南澳鄉	南澳北溪	326762	2707008	表面粒徑	2013	臺北分局
清水溪6	宜蘭縣	員山村	三星鄉	清水溪	311969	2725469	表面粒徑	2013	臺北分局
清水溪7	宜蘭縣	員山村	三星鄉	清水溪	312761	2724868	表面粒徑	2013	臺北分局
頂粗坑溪8	宜蘭縣	崙埤村	大同鄉	頂粗坑溪	313395	2731248	表面粒徑	2013	臺北分局
頂粗坑溪9	宜蘭縣	中華村	員山鄉	頂粗坑溪	312058	2732418	表面粒徑	2013	臺北分局

表 3-18 河床質範本 (2)

計畫名稱	取樣日期(年/月/日)	D10 (mm)	D16 (mm)	D20 (mm)	D30 (mm)	D40 (mm)
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	1.39	2.09	2.56	4.13	5.77
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	0.91	1.44	1.79	2.97	4.00
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	1.54	2.34	2.88	4.95	7.38
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	1.28	1.78	2.11	3.47	5.24
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	0.80	1.01	1.14	1.63	2.15
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	0.87	1.05	1.18	1.63	2.00
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	1.51	3.38	4.62	5.46	30.00
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	1.72	3.94	5.41	6.57	32.45
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	0.82	1.15	1.37	2.29	3.72
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	1.00	1.44	1.74	2.97	4.30
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	1.43	2.21	2.73	4.73	7.59
(南澳南北溪等集水區蘇拉颱風災害細部調查規劃)	20130911	0.89	1.50	1.91	4.15	7.00

表 3-19 河床質範本 (3)

D50 (mm)	D65 (mm)	D75 (mm)	D84 (mm)	D90 (mm)	D95 (mm)	Dmax (mm)	Dn (mm) 平均粒徑	備註
8.83	25.54	40.30	80.82	107.84	203.92	300.00	17.07	特徵粒徑由圖表求得
5.95	8.74	17.99	37.20	50.00	375.00	700.00	8.03	特徵粒徑由圖表求得
13.27	32.93	58.32	199.80	294.12	447.06	600.00	29.35	特徵粒徑由圖表求得
27.63	120.39	186.20	238.40	273.21	436.60	600.00	59.52	特徵粒徑由圖表求得
4.52	90.00	177.95	229.27	263.49	436.74	610.00	48.89	特徵粒徑由圖表求得
3.76	31.54	145.51	207.64	249.05	424.53	600.00	37.66	特徵粒徑由圖表求得
13.13	90.00	147.75	273.73	357.72	478.86	600.00	55.20	特徵粒徑由圖表求得
13.87	100.00	167.96	296.29	381.84	490.92	600.00	61.02	特徵粒徑由圖表求得
6.30	20.00	41.16	97.42	134.93	367.47	600.00	16.79	特徵粒徑由圖表求得
7.92	28.35	49.04	114.35	157.89	378.94	600.00	20.48	特徵粒徑由圖表求得
18.15	71.67	173.45	243.23	289.75	444.88	600.00	52.52	特徵粒徑由圖表求得
14.92	53.38	155.55	294.62	387.34	493.67	600.00	52.14	特徵粒徑由圖表求得

四、結論

目前本局委辦計畫於成果交付時，尚未有統一規範及格式，因此造成各委辦案件河床質調查成果在表格及製圖上不一致，為了有效蒐集並建置計畫成果，目前由水保局技術研究發展小組，針對各項基礎資料進行相關文獻與應用案例蒐集，藉以率定各項基礎資料之所需之基本欄位及代表特性資料。

目前水土保持基礎資料管理上，所遇到問題主要為委辦案產製基礎資料無共通性資料欄位，無數位化檔案資料，地理圖資為紙本資料或 PDF 格式檔案，不利於機器自動化讀取並轉錄於資料庫，因此對於以上問題，水保局目前定期召開「資料工作圈」，討論開放資料標章統計情況、基礎資料格式範本訂定、開放資料集清單、平台系統 API 清單、開收地理資料集清單、核心圖資資料集清單等各項議題，藉由歷次資料管理工作圈討論並追蹤上述議題、資料調整及增減項目、格式訂定、API 管理等，最後由「資訊推動小組」決議後而訂定各式編碼規範與管理作業要點，並於今年發布「行政院農業委員會水土保持局共通性資料欄位編碼規範」及「行政院農業委員會水土保持局數值資料及地理圖資管理作業要點」，以利資料流通交換與介接，並達有效管理資料及共享之目的。

第四章 土砂災害變遷趨勢及數值模擬分析

第一節　土石流溢流點劃設對流動堆積區影響研究

一、緣起

土石流為一種自然現象，其發生需具備足夠的水供應、足夠的溪床堆積物、足夠的坡度等三個基本條件。受到降雨影響，當水與土砂等混合物在一定坡度條件下，受重力驅動誘發土石流沿坡面上游往下游運移之現象，即為土石流 (謝正倫，1999)。一般而言，土石流常發生於山區溪溝或陡峭邊坡上，為一種混合礫石、土砂、水等物質之流動體，以重力作用為主，水流作用為輔的一種高含砂濃度混合之兩相流 (two-phase flow)，其流路具明顯侵蝕坑溝，下游堆積處常形成扇狀堆積區，其流動前緣有巨大石礫聚集 (水土保持手冊，2017)。

土石流之運動型態可以分為發生段、流動段及淤積段三者，其對應之溪流坡度分別為 10 度以上、介於 6 至 12 度間、小於 6 度三個區間，國內外學者研究土石流發生段介於 32 度至 42 度間，溪流型土路流流動段坡度介於 6 至 15 度間，坡面土石流為 15 度以上(謝正倫等人，1992；謝正倫，1999；游繁結等人，1987；陳天健等人，2015;) Daido, 1971; Iverson, 2014; McMillan et al., 2005; Nettleton et al., 2005; Takahashi, 1977; 水土保持手冊，2017) 。

陳宏宇等人調查 2012 年蘇拉颱風土石流災害事件，其造成花蓮秀林鄉和中部落土石流 (花縣 DF166，圖 4-1) 未從原溢流點順潛勢溪流流出，卻因溢流點附近土石堆積造成其轉向 90 度向南進入聚落(陳宏宇等人，2012; 吳亭燁，2016)，由此可知土石流因地貌改變，使得流動受阻或改變流路，因此其土石流溢流點亦隨之改變位置，進而

影響下游衝擊影響範圍。

依據「土石流潛勢溪流劃設作業手冊 (水保局，2018)」，國內現行土石流影響範圍劃設步驟依序為：選定土石流溢流點位置、估算土砂流出量、以池谷浩公式計算淤積長度、根據土石流最大擴展角 (105 度) 劃設扇型區域，再以坡度 2 度為土石流停止點及最大堆積深度 (10~12m) 等條件，依現場地形進行影響範圍之修正。土石流溢流點為容易溢出河道之位置，由現地勘查或室內作業判定流流點位置，其地形條件為坡度陡變處、地形開闊處、谷口、障礙物及河道轉彎處等 (圖 4-2)。

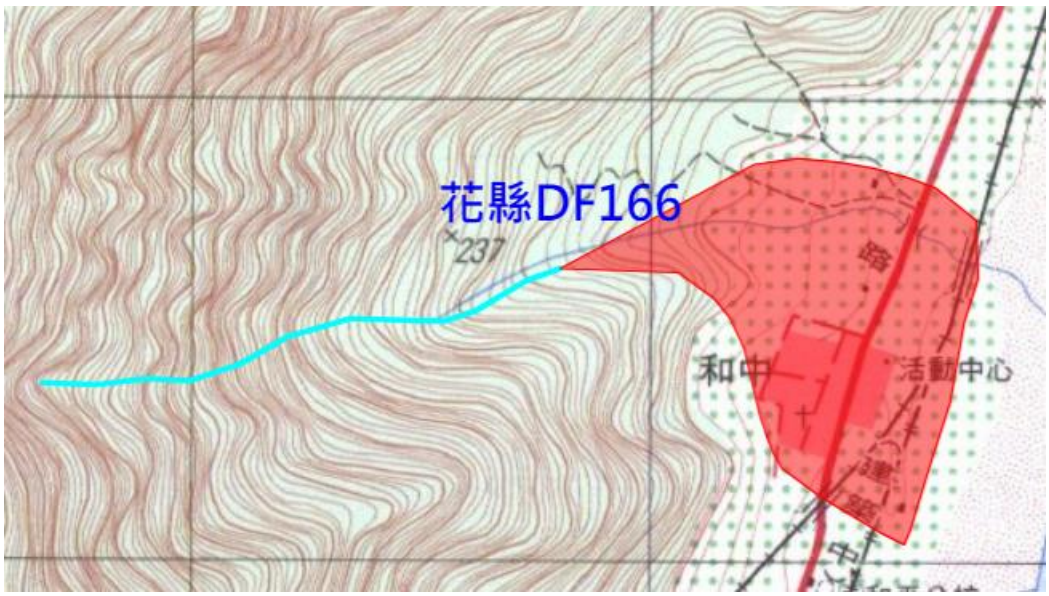


圖 4-1 花縣 DF166 土石流潛勢溪流

(https://246.swcb.gov.tw/Map/Index/0/花縣 DF166/中)

由於溢流點位置選定會決定上游集水面積及下游影響範圍劃設，因此溢流點之判定非常重要。但目前土石流溢流點位置多取決於調查人員之經驗及主觀判定，其結果常因人而異。本研究以 2018 年南投縣名間鄉仁和村土石流事件為例，運用 H.O.S.T 地圖具有極佳立體感及可呈現微地形特徵之優點進行溢流點選定，再藉由土石流二維動床

模擬，探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異。結果顯示，不同溢流點位置，對於下游土砂堆積形狀及淤積高度影響甚大，而以H.O.S.T 地圖輔助選定之溢流點，較能符合該土石流事件土砂堆積之現象。



坡度陡變化



地形開闊處



谷口



障礙物



河道轉彎處

圖 4-2 土石流溢流點地形位置參考 (資料來源：水保局，2018)

二、材料與方法

由於土石流對於下游保全對象造成之危害取決於土石流規模與淤積段之淤積範圍。此次仁和村土石流事件雖未達雨量警戒值，但仍發生土石流災害事件，顯示災害預測之不確定性，且土石流受地表地形影響將改變其流動及淤積行為，因此本研究由現場調查資料並應用數值模擬分析，探討上游溢流點位置及土石流堆積區建物阻擋效應對於土石流流動及堆積區範圍之影響，其研究流程如圖 4-3 所示，期望研究成果可供評估土石流潛勢溪流影響區精進之參考。

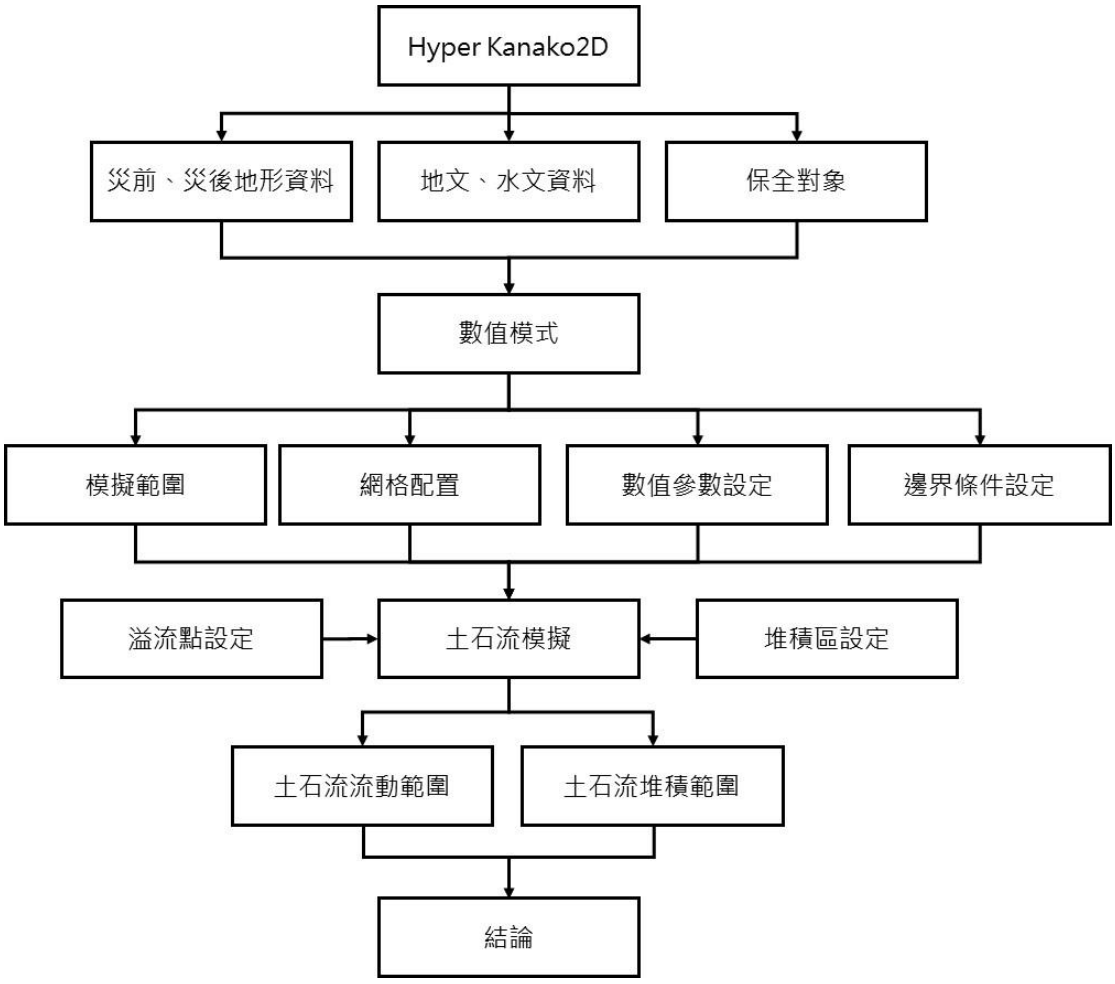


圖 4-3 仁和村土石流災害事件研究流程圖

(一) 仁和村土石流事件

2019 年 8 月 15 日於南投縣仁和村土石流潛勢溪流 (投縣 DF126) 發生土石流災害事件，上游坡面崩塌面積約 1.44 公煩，長度約 240 公尺，寬度約 60 公尺，平均深度約 5 公尺，崩塌土方量約 72,000 立方公尺；下游堆積區長度約 150 公尺，寬度約 120 公尺，平均堆積深度約 4 公尺。本次事件造成一座橋樑沖毀，投 39 線中斷 100 公尺，一棟三合院遭掩埋毀損，無人員傷亡 (圖 4-4、

表 4-1)。以此次事件而言，其累積降雨量 225 豪米，尚未達到土石流警戒雨量 (南投縣名間鄉仁和村警戒值為 350 豪米)，顯示災害發生之不可預測性，推測可能受降雨影響使得崩塌坡面土壤含水量升高，再加上 16 日清晨地震之影響，觸發生土體運動，才引起此次土石流災害事件。

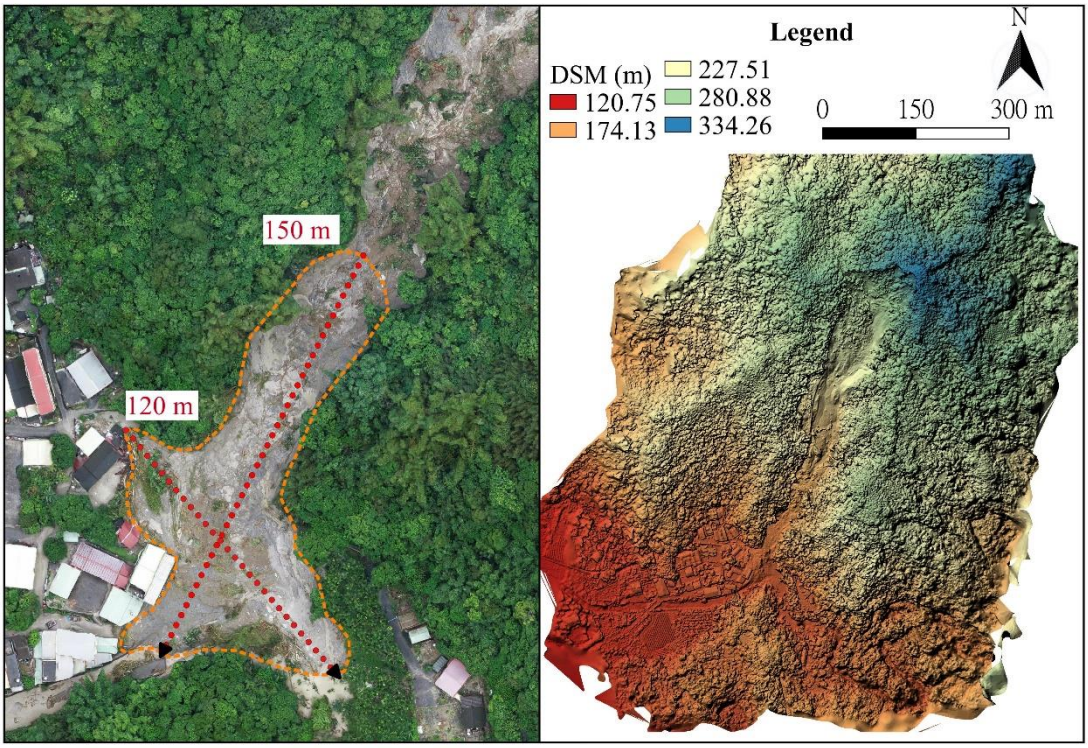


圖 4-4 南投縣仁和村土石流災害範圍示意圖

表 4-1 土石流潛勢溪流 (D126) 概況表

既有編號	溪流型 (投縣 DF126)	土石流警戒值	350 mm
縣市	南投縣	保全戶數	5 戶以上
鄉鎮	名間鄉	鄰近道路	投 39 縣
村里	仁和村	地標	坑口
崩塌規模	明顯大面積崩塌	崩塌量體	72,000 m^3
坡度因子	≦30 度	堆積土石	≦8cm
土地利用	崩塌區為原始林無開發	地質條件	卓蘭層 (主要組成砂岩、泥岩及砂頁岩互層)
與防災措施相關之公共場所	無	風險等級	高
雨量站	名間、中寮	災害時雨量資料	時雨量：10 mm/hr 累積雨量：225 mm

(二) 研究區域

本研究以 HyperKanako2D 模擬，模擬情境考量建物地形(HydroDEM)及溢流點位置，以瞭解土石流發生之流動及堆積範圍。透過基礎資料及現場相關調查資料蒐集，以建置數值模擬所需之參數及情境設計，基礎資料包括災害數值高程模型 (DEM)、事件雨量資料、土石流溢流點位置、下游建物高程資料、土石流淤積區範圍及相關資料。考量建物對於土石流沖積扇阻擋效應之影響，本研究利用災害 1 米數值高程模型配合災害 UAV 產製之數值表面模型 (SDM)，利用 GIS 軟體製作建築地型，以模擬建物阻擋效應之影響。在上游溢流點位置，本研究採用水保局土石流防災資訊網之土石流潛勢溪流圖、土石流潛勢溪流集水區圖、土石流潛勢溪流影響範圍圖等資料，以設定土石流溢流點位置。

研究區域之模擬範圍如圖 4-5 所示，土石流上游集水區面積為 8.21 公頃，平均坡度為 33.5 度，再依據災前災後地形之縱部面資料，其崩塌發生區坡度約 34.4 度，土石流流動侵蝕區約 15.9 度，於地形隘口上游流動堆積區約 10.5 度，下游淤積區約 3.9 度 (圖 4-6)。並根據土石流潛勢溪流 108 年及 109 年溢流點相關資料，設定不同之溢流點位置如下圖 4-5 之點 1 及點 2 所示，其地形剖面位置如圖 4-7，另由紅色地圖於流動段顯示之隘口地型，設定溢流點 3。本研究蒐集名間雨量站 (C0I410) 及中寮雨量站 (C0H950) 該場事件之雨量資料，其 10 分鐘降雨資料顯示，名間雨量站最大降雨強度約 34.5 mm/10minkba 其累積雨量達 261 豪米，中寮雨量站最大降雨強度約 38 mm/10min 其累積雨量達 274 豪米 (圖 4-8、圖 4-9)。在土石流上游入流量之計算，則是使用合理化公式配合降雨資料進行水文分析，推估尖峰流量。

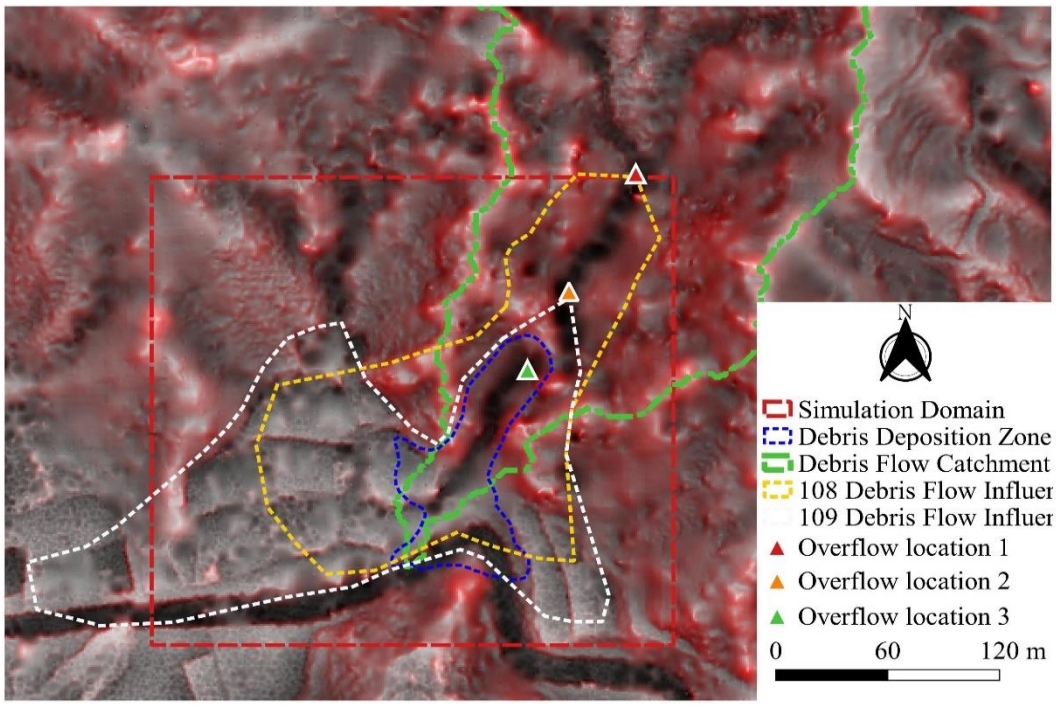


圖 4-5 研究區域土石流模擬範圍示意圖

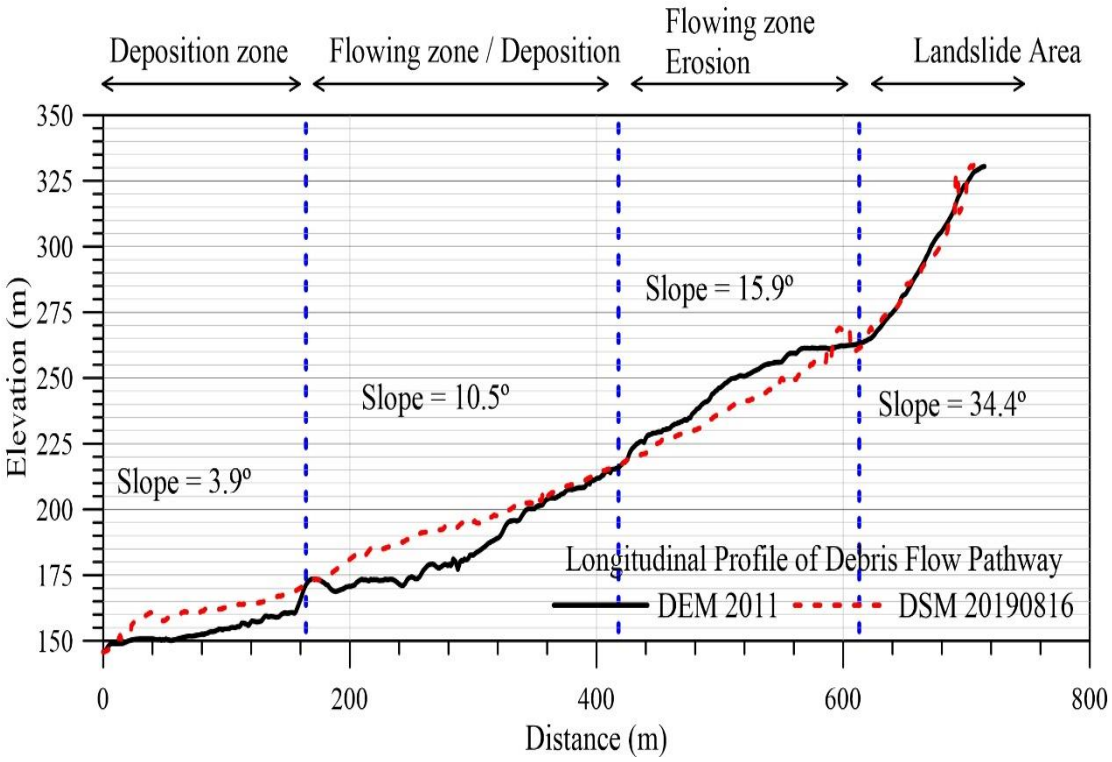


圖 4-6 地形縱剖面資料-發生、流動、堆積段

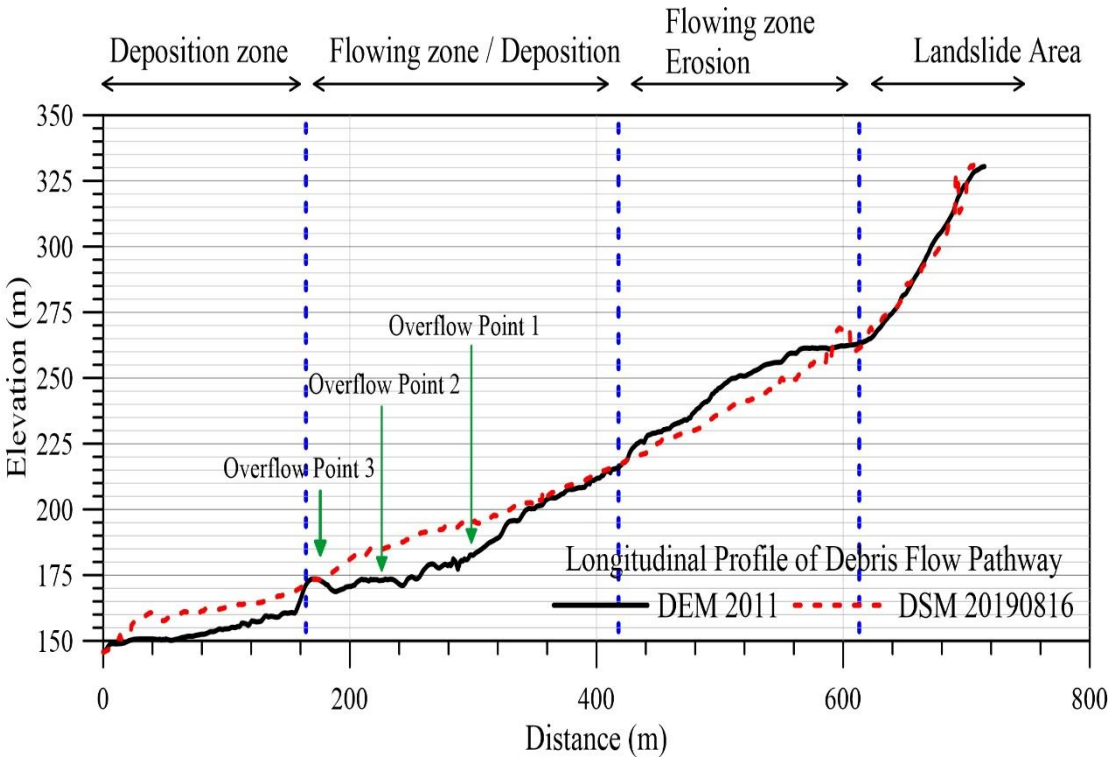


圖 4-7 地形縱剖面資料-土石流溢流點位置

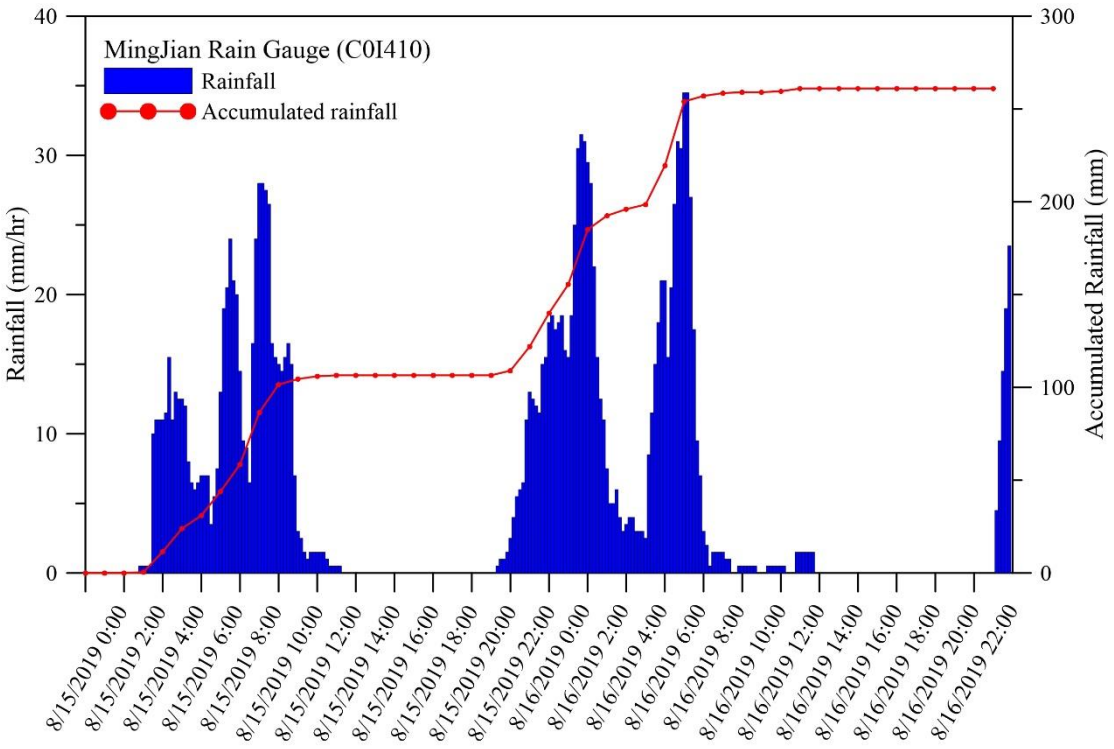


圖 4-8 名間雨量站 10 分鐘雨量資料 (C0I410)

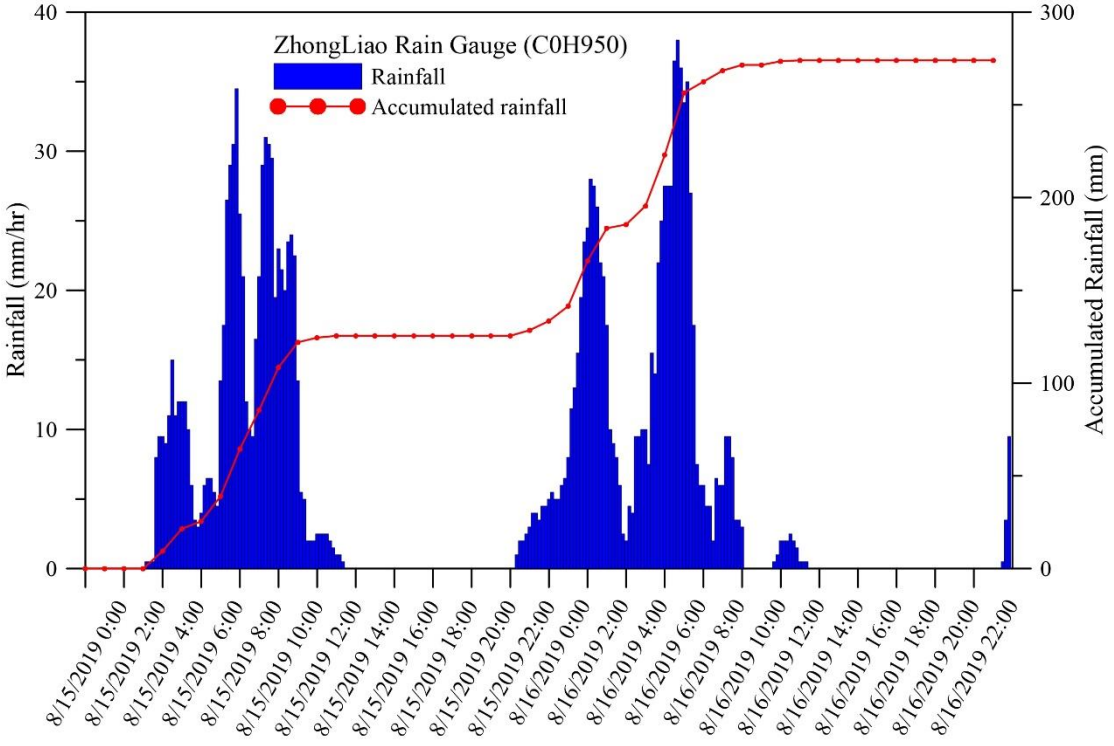


圖 4-9 中寮雨量站 10 分鐘雨量資料 (C0H950)

(三) 土石流數值模式及設定

本研究應用 Hyper Kanako 2D 土石流二維動床數值模式進行此次仁和村土石流事件之模擬，Hyper Kanako2D 模式依據京都大學 Takahashi 教授等人之理論發展而成 (Takahashi and Kuang, 1986; Takahashi and Nakagawa, 1991; Takahashi et al., 2001) ，其理論方程式包含連續、動量、河床變動、侵蝕與堆積速度及底床剪應力等，而後整合為一維及二維之土砂數值模式，並開發成視窗化使用者介面 (Nakatani et al., 2008) ，以簡化地形建置及數值參數輸入方式。

Hyper Kanoko 2D 藉由求解水深、流速及地形變動來解析土石流運動及堆積過程，其土石流之連續方程式 (流體及土砂)、動量方程式 (X 軸及 Y 軸)、地形變動方程式所採用控制方程式如下：

$$\frac{\partial \mathrm{h}}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = S_T \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathrm{Ch}}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial Chu}{\partial x} + \frac{\partial Chv}{\partial y} = S_T C_* \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial \mathrm{t}} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -g\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{t}} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -g\frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \mathrm{z}}{\partial \mathrm{t}} + S_T = 0\,,\ \begin{matrix} if\ C < C_\infty \wedge S_T > 0 \\ if\ C > C_\infty \wedge S_T < 0 \end{matrix} \begin{cases} s_t = \delta_e \frac{C_* - C}{C_* - C_\infty}\frac{q}{d} \\ s_t = \delta_d \frac{C_\infty - C}{C_*}\frac{q}{d} \end{cases} \quad (5)$$

上式(1)至(5)中，h為水深、u為 X 方向之流速、v為 Y 方向之流速、C為土石流體積濃度、z為底床高程、t為時間、C_*為土石流動床層體積濃度 (sediment concentration by volume in the movable bed layer)、C_∞為平衡濃度 (equilibrium sediment concentration)、g為重力加速度、$\mathrm{H} = \mathrm{h} + \mathrm{z}$為水位、$\rho$為流體密度、$S_T$為侵蝕/堆積速度、$\tau_x$及$\tau_y$分別為 X 及 Y 方向之剪應力、$\delta_e$侵蝕速度係數、$\delta_d$為堆積速度係數、q為單

寬流量、d為顆粒粒徑。

本研究應用 Hyper Kanako 2D 模擬土石流災害事件，使用 2011 年災前 DEM 之 1 m * 1 m 精度地形資料建置崩塌前地形，並考量建物地型使用 DSM 之 0.1 m * 0.1 m 精度地形資料建置建物高程，於模式中設定數值解析之網格大小為 1 m * 1m，其模擬網格數約為 39,204 個。在上游邊界方面，由於無架設流量站相關資料，因此以合理化公式估算流量歷線作為模式輸入水文資料，其上游集水面積約 8.21 公頃，該場事件降雨強度約 35mm/hr，逕流係數因上游為陡峻山區，參考水保手冊 (2017) 設定為 0.85，推估流量約 0.7 m^3/s，推估土石流濃度則是利用 Takahashi et al. (2001) 平衡濃度公式計算土石流濃度 (式 6)，並參考 Natakani et al. (2016)之流量計算公式 (式 7)，其土石流尖峰流量約為 2.2m^3/s (圖 4-10)，本研究土石流模式參數及情境設定如表 4-2 所示。

$$C_d = \frac{\rho tan\theta}{(\sigma-\rho)(tan\phi-tan\theta)} \quad (6)$$

$$Q_{sp} = \frac{C_*}{C_*-C_d} Q_p \quad (7)$$

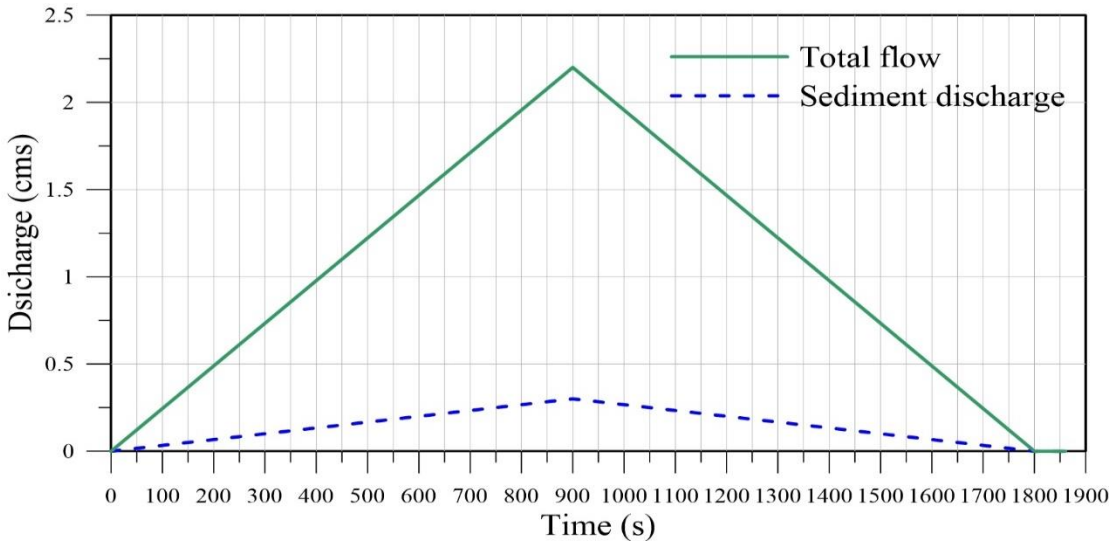


圖 4-10 上游流量邊界條件

表 4-2 土石流模擬情境參數表

Case	Overflow Point	Topographic
Run 1	Location 1	DEM (1m*1m)
Run 2	Location 2	DEM (1m*1m)
Run 3	Location 3	DEM (1m*1m)
Run4	Location 3	DEM+DSM (1m*1m)

Model parameters			
mass density of fluid, ρ	1000	coefficient of erosion rate, δ_e	0.0007
mass density of bed material, ρ_s	2650	coefficient of deposition rate, δ_d	0.05
concentration of movable bed, C_*	0.65	Manning's coefficient, n	0.03
acceleration of gravity, g	9.81	Diameter of material, d	0.001
Concentration, C	0.3		

三、成果與討論

藉由 HyperKanako2D 對於不同土石流溢流點進行模擬，配合現場調查資料及災害事件重現等資料，探討土石流發生之流動區堆積變動情況，由於土石流受到地形之影響，可能造成其流動及淤積發生不同之情況，因此在土石流溢流點之設置上，利用災前 DEM 及災後 DSM 地形資料，並考量 2019 年及 2020 年劃定之土石流影響範圍和潛勢溪流上之隘口地形，對應設置之溢流點 1 至 3 如圖 4-11 所示，其模擬結果如圖 4-12 至圖 4-15 所示。

在案例 1 之模擬結果，大部份土砂於隘口上游淤積，其堆積高度大於 5 米以上，而在下游扇狀淤積區部份則是堆積高程小於 3 米以下，且集中於潛勢溪流之深槽中，顯示潛勢溪流在流動過程受到地形影響，造成土石流流動之動能不足，因此大部份土石堆積於隘口上游。

在案例 2 之模擬結果，堆積高度大於 5 米之區域仍位於隘口上游，但下游扇狀淤積區域高度最大約為 3 米左右，與案例 1 之模擬結果相似，但由於溢口流位置較接近地形上之隘口，因此雖有受到隘口地形影響，土砂通過之動量較案例 1 為大，因此在下游區域淤積較多土砂，但其結果仍與現調查淤積形狀及堆積高度不符。

在案例 3 之模擬結果，土石流沿著溢流點往下游建物淤積，在溢流口下游堆積高度大於 5 米，往下游堆積高度逐漸減小，其影響區域及堆積高程雖較符合現場調查結果，但由於未考量建物高程，因此，靠近扇狀地部份建物區其土砂堆積高度約 50 公分至 1 公尺，未超過建物原本之高度，此部份低估土石流受建物高程影響而增加淤積高度現象。

在案例 4 之模擬結果，則是利用災後 DSM 將建物高程加模擬地形資料中，土石流於下游扇狀地部份受建物高度影響，土砂沿建物周圍淤積高度增加，最大堆積高度約為 3 米左右與現場調查資料符合。

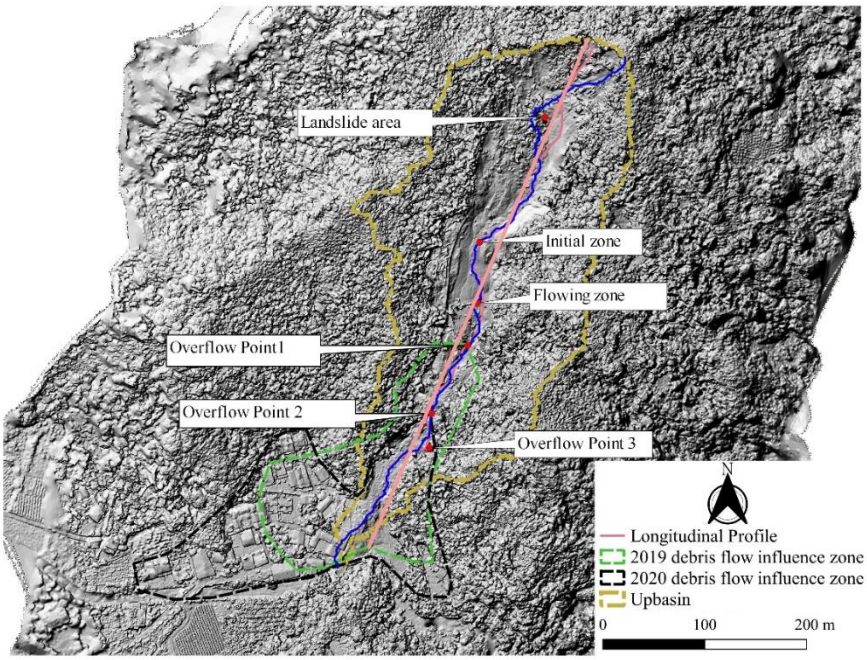


圖 4-11 設定土石流溢流點模擬位置

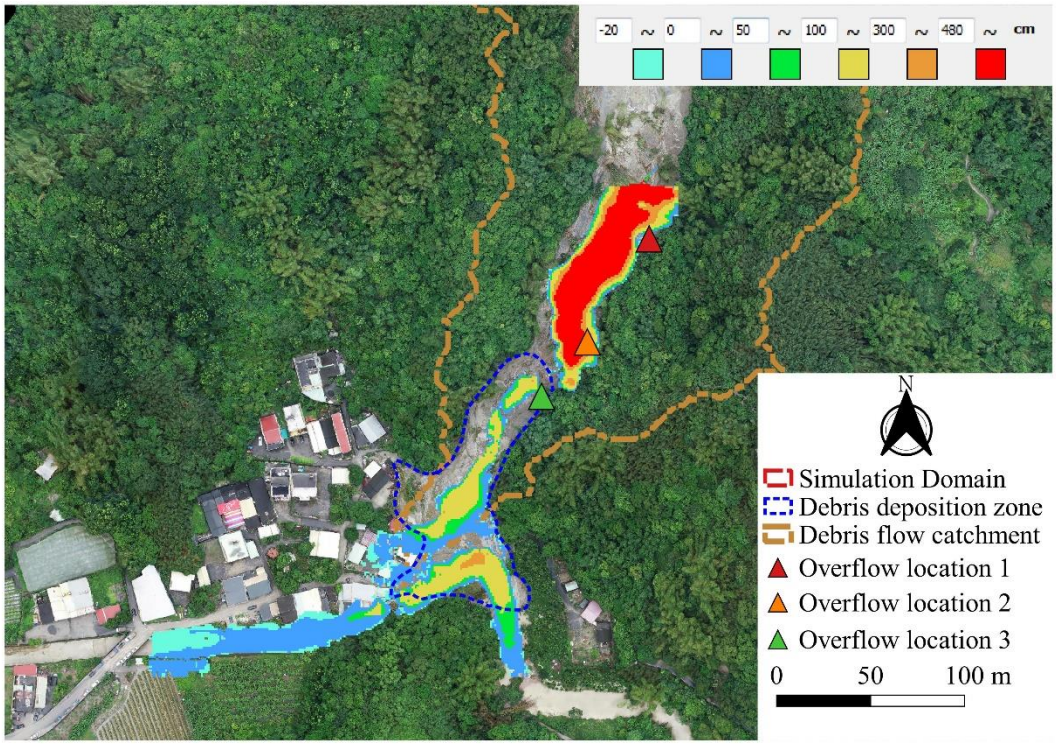


圖 4-12 Run1 溢流點 1 之模擬結果

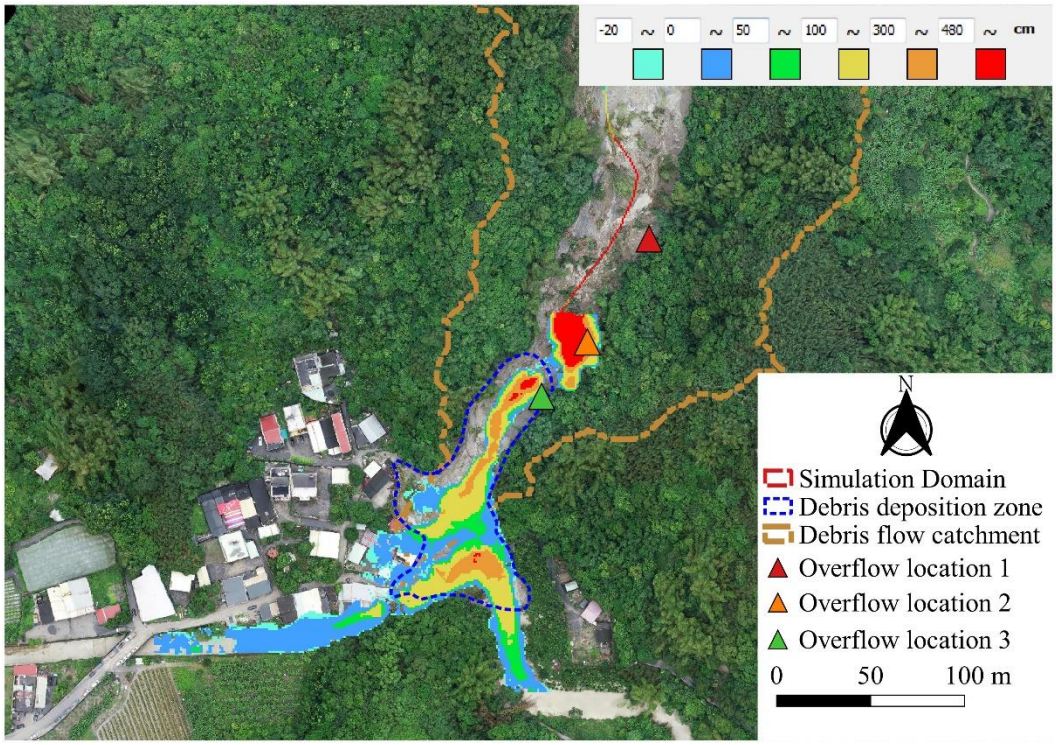


圖 4-13 Run2 溢流點 2 之模擬結果

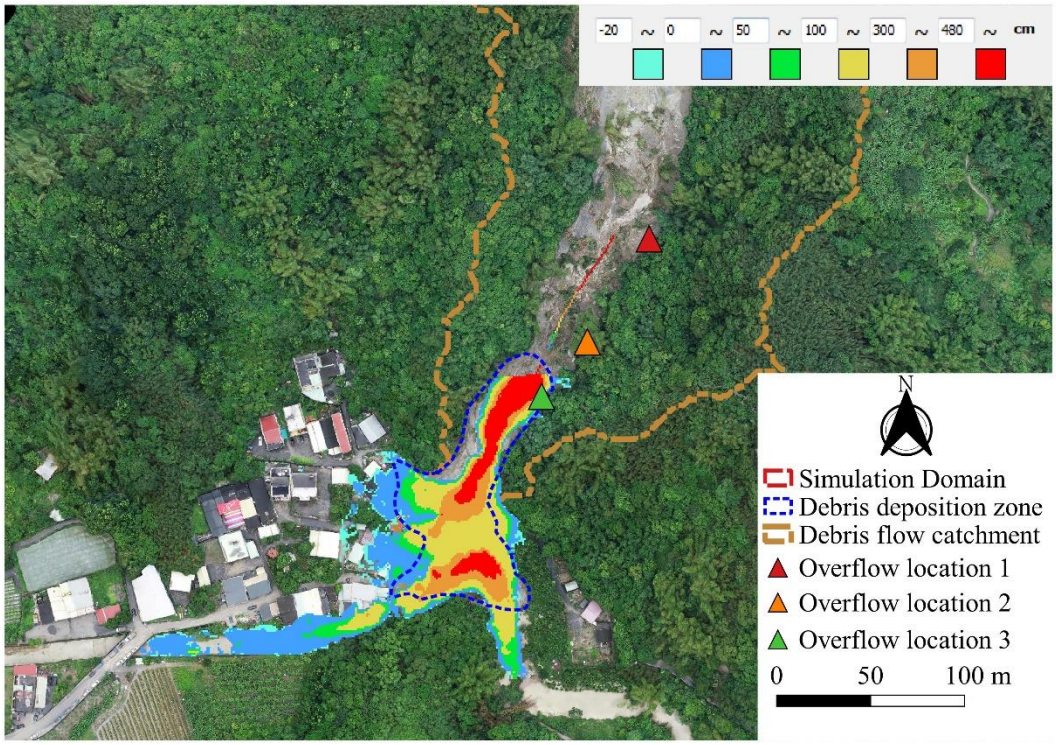


圖 4-14 Run3 溢流點 3 之模擬結果

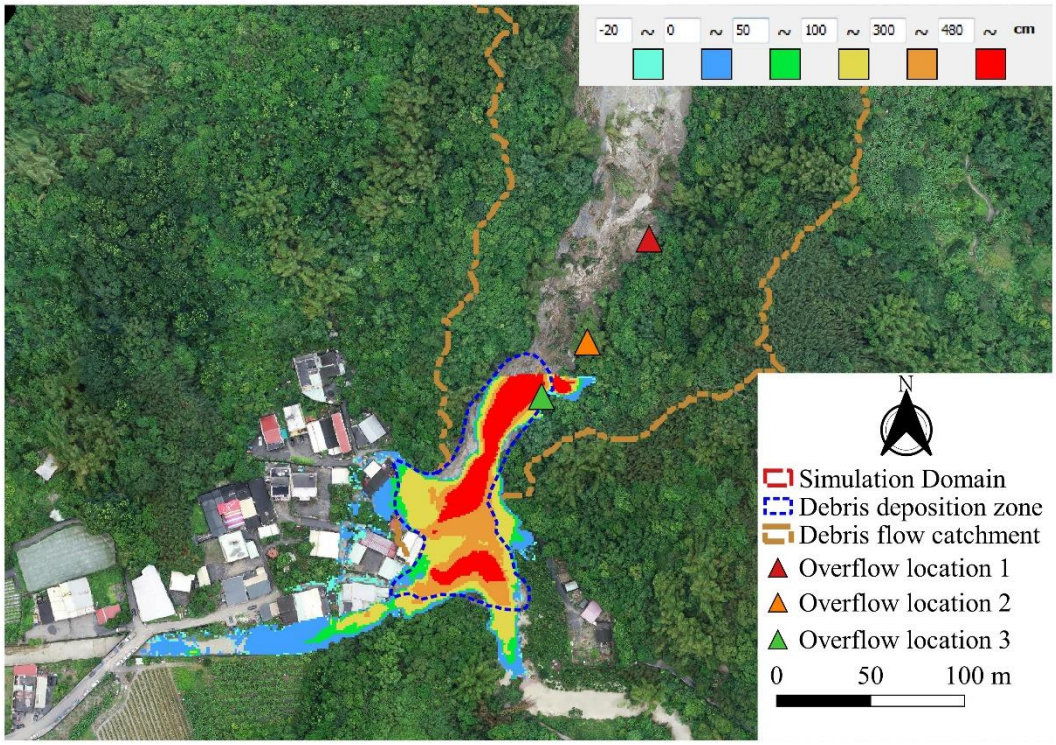


圖 4-15 Run4 考量建物高度模擬結果

四、結論

土石流災害由於受到雨量、地形地貌、地質之影響，使得不易預測其發生與堆積之情形，本次使用 Hyper Kanako2D 土石流二維動床模擬程式，並考量上游土石流溢流點位置與谷口扇狀地建物阻擋效應，依據模擬結果，提出以下幾點結論：

1. 利用 Hyper Kanako2D 模擬土石流事件，能夠模擬土石流之流動情形，結果顯示，對於溢流點位置之變化，將造成土石流流動區域之變化，且受到潛勢溪流隘口地形之影響，造成土石流大部分淤積於隘口上方。
2. 透過不同溢流點位置模擬結果，未來於土石流潛勢影響區模擬，其使用之數值高程資料，應進一步搭配現場勘查資料，並考量潛勢溪流之地形是否有隘口、彎曲等特徵地形，以精進溢流點位置之設置，避免錯估土石流之流動及淤積範圍。
3. 透過增加建物高度於模擬地形之建置，顯示土石流淤積區受到建物高度影響，其會沿著建物周圍而淤高，但由於未考量建物材料強度，因此無法估算土石流沖擊力對建物之影響。

本研究藉由 Hyper Kanako2D 進行仁和村土石流災害事件之模擬，其模擬結果符合現場調查資料，但由於缺乏影響區域內各建物材料之強度，因此尚無法評估土石流沖擊是否造成建物毀損，其次本研究並未考慮多次發生土石流事件，因些對於是否為多次性事件造成之災害尚無法評估，建議後續研究對建物材料強度及多次性土石流事件加入模擬條件，以精進土石流影響區之模擬。

第二節　GEE 雲端分析平台應用於堰塞湖潰決評估之可行性研究

一、前言

堰塞湖由於壩體材料鬆散,經統計約 50%於形成 10 日內即潰決,造成下游地區生命財產損失,故如何在限時間內評估潰決可能性係防災工作上經常面臨的難題。由於堰塞湖形成位置難以預測，且通常位於山區上游集水區，現地測量常不可行，故其蓄水規模不易探測。為在災害發生時快速評估壩體穩定性，本研究嘗試運用 Google earth engine (GEE) 雲端平台提供多時期 Sentinel-1 雷達影像和現有的 DEM 資料，推估堰塞湖蓄水深度、面積與體積關係 (Elevation-Area-Volume Curve, EAV Curve)。並利用 EAV 曲線與雷達影像多時期資料估計上游入流量，搭配無因次阻塞指標 (Dimensionless Blockage Index,DBI) 作為初步危險性分析和決策依據。本研究先以寶山水庫作為研究案例，利用水利署實測資料驗證此方法之可行性，其成果將可作為後續堰塞湖潰決評估和災情研判與決策之重要參據。

二、材料與方法

天然壩堰塞湖從發生至形成，其發生位置難以事前預測，且由於天然壩體材料組成鬆散且為非均質材料,因此大部分堰塞湖往往於形成後短時間內即潰決。如何在有限時間內取得堰塞湖相關水位高程、蓄水面積與體積等相關參數,有助於評估天然壩穩定性與潰決之可能性，本研究對於在短時間內快速評估堰塞湖蓄水危險程度進行研究，以推估其迴水長度對上游保全對象之影響、上游入流量對於臨界溢流水位上升速度之評估、及蓄水體積對天然壩體穩定性之評估。本研究

以寶山第二水庫作為研究區域，使用 GEE 雲端平台與開放衛星資料及不同解析度 DEM 資料進行可行性之評估，其研究流如圖 4-16。

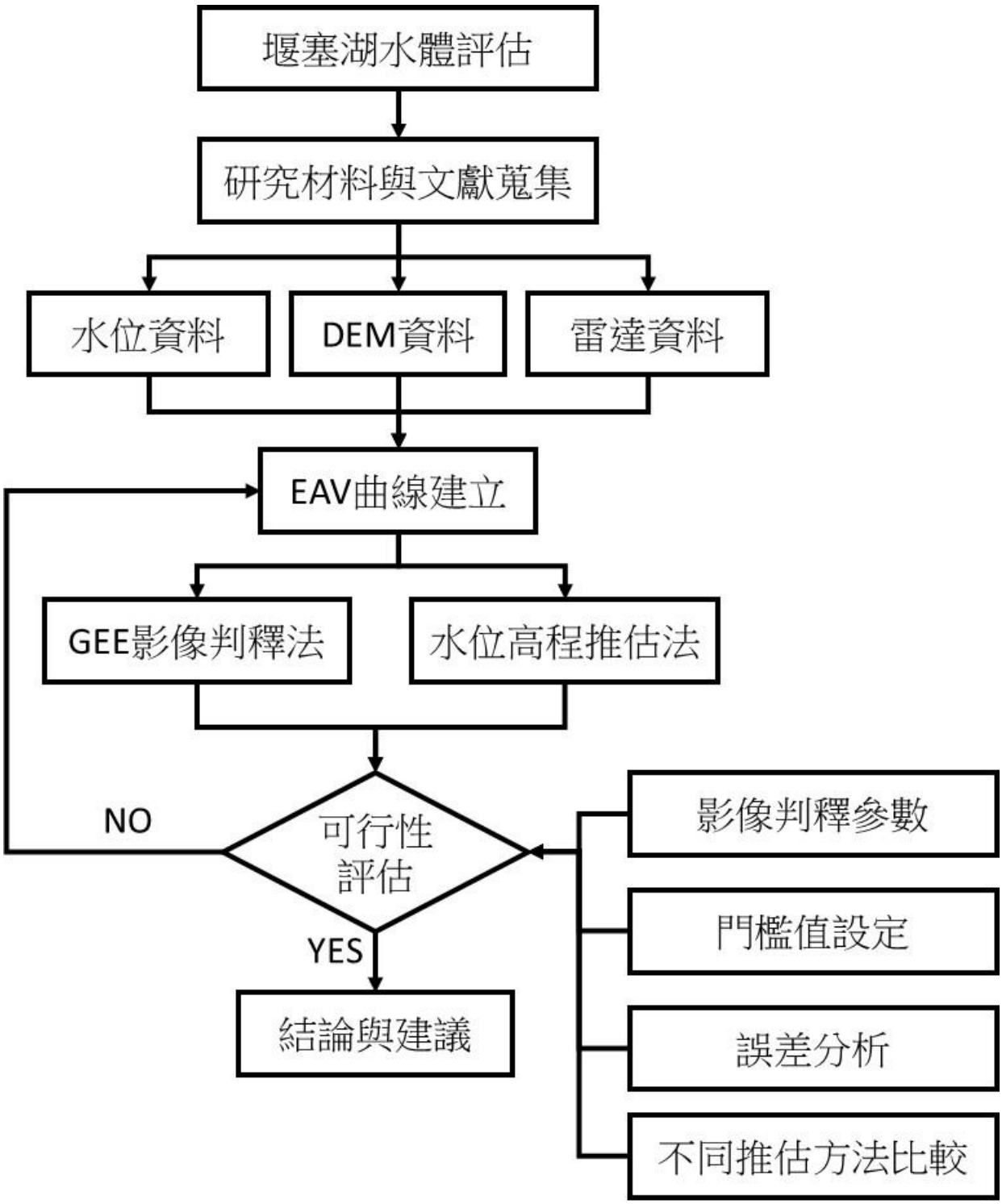


圖 4-16 雷達影像判釋堰塞湖水體評估研究流程圖

(一) 研究區域

寶山第二水庫位於新竹縣寶山鄉山湖村的，水源為上游頭前溪支流的上坪溪與石井溪，集水面積約 288 公頃。該水庫屬於典型的離槽式水庫，其水壩型式為中央不透水心層分區滾壓式土壩，壩高為 61 公尺，正常水位標高為 150 公尺，並設有齒墩陡槽溢洪道及半圓型式的溢流堰。寶山第二水庫於民國 95 年啟用，總有效蓄水量為 3,218 萬噸，與寶山水庫聯合運用，每日約可增加 28.2 萬噸的供水量，年增加供水量為 10,200 萬噸，提供新竹地區民生用水及新竹科學園區之工業用水，為新竹地區水資源調蓄之重要水庫 (圖 4-17，經濟部水利署北區水資源局，https://www.wranb.gov.tw/3452/3475/26113/%E5%AF%B6%E5%B1%B1%E7%AC%AC%E4%BA%8C%E6%B0%B4%E5%BA%AB/)。



圖 4-17 寶山第二水庫

(二) 研究材料

1. 雷達影像資料

本研究應用 GEE 雲端平台提供多時期開放衛星影像資料之特性，透過 Sentinel-1 雷達衛星影像判釋堰塞湖之水體範圍目標，因雷達衛星影像具有反射水體的特性，其適合作為水體判釋使用。此外，雷達影像不受雲霧影響特性，相較於光學衛星影像有雲霧遮蔽問題而無法提供災害場域資料，在颱風豪雨等天氣不佳情況，亦能提供完整的圖像資訊。Sentinel-1 為歐洲太空總署 (European Space Agency, ESA）所發射之 Sentinel-1A (2014 年發射) 與 Sentinel-1B (2015 年發射) 兩顆衛星組合而成，其載有 C 波段合成孔徑雷達，兩顆衛星於台灣地區的重返周期約為 6 至 7 日，可提供多時期雷達影像資料，觀測模式分為 Strip Map Model (像幅寬 80 km，空間解析度 5 x 5 m)、Interferometric Wide-Swath Mode (像幅寬 250 km，空間解析度 5 x 20 m)、Extra-Wide-Swath Mode (像幅寬 400 km，空間解析度 20 x 40 m)、Wave Mode (空間解析度 5 x 5m)，其為免費開放衛星資料，有助於雷達影像處理與應用研究 (ESA'S RADAR OBSERVATORY MISSION FOR COPERNICUS OPERATIONAL SERVICES，htttp://esamultimedia.esa.int/docs/S1-Data_Sheet.pdf)。

2. 數值高程模型(Digital Terrain Model, DTM)

在水體體積估算所用之基礎資料包括 DTM 資料，利用內政部地政司提供的數值高程模型進行蓄水體積、面積及高程等 EAV 曲線相關計算，並作為後續誤差比較與分析使用。本次使用 DTM 圖資產製時間為西元 2013 之 5 米解析度及 2018 年 20 米解析度之 DTM (新版臺灣本島 20 公尺網格 DTM 資料: 內政資料開放平臺，

https://data.moi.gov.tw/MoiOD/Data/DataDetail.aspx?oid=8600CF99-A6EF-4335-947D-D26C9992EDD1)。

3. 實測水位資料

利用經濟部水利署提供之開放資料，取得水庫歷時之監測水位與蓄水量資料，其歷時資料比對於雷達衛星拍攝時間，方便後續可行性分析實測值與推估值之誤差範圍。

(三) 研究方法

本研究以水位高程推估法及 GEE 影像判釋法此兩種方法，用以估算堰塞湖之水位高程、蓄水面積與蓄水體積，並以推估之水位高程與蓄水面積搭配 DTM 資料計算該雷達影像時間點之蓄水體積，以獲取三者 EAV 曲線資料，繪製高程-面積-蓄水體積曲線 (Elevation-Area-Volume Curve, EAV Curve)。

水位高程推估法，其為當山區發生天然壩形成堰塞湖，且後續壩體存續未潰決情況下，其災害位置屬人員可及、道路無中斷且可架設監(觀)測設備以獲取水位資料時，則可以利用實測水位資料與災前 DTM 資料推估該蓄水水體面積與體積資料，適用於可獲取監測資料情況之方法。

GEE 影像判釋法，其為當山區發生天然壩形成堰塞湖，且後續壩體存續未潰決情況下，但其災害位置屬人員不可及、道路中斷，且無電力可供架設監(觀)測儀器情況下，則透過遙測衛星影像和災前 DTM 資料推估該蓄水水體之水位、面積與體積資料，適用於無法獲得監(觀) 測資料之狀況。由於堰塞湖形成位置大部份位於上游山區或是峽谷中，常無設置維生管線 (交通道路及電力管線)，再者天然壩體穩定性不佳問題，增加現勘人員或施工人員傷亡風險。因此於山區不易

架設監測設備，導致難以獲取監測資料，故考量此種情況下，以影像判釋法可降低衍生人員傷亡風險，並減少儀器架設損毀之維護成果，其應用性較水位高程推估法廣泛。因此，本研究先以寶山第二水庫為研究區，其可取得長期監測水位資料，有助區進行初步可行性研究，在水體相關參數推估方法上，同時使用兩種推估法並比對評估結果誤差程度，藉由實測水位與蓄水量資料評估 GEE 影像判釋法之可行性。

1. 水位高程推估法

透過經濟部水利署水資源物聯網入口網的水庫情資取得水位與蓄水量 (https://iot.wra.gov.tw/ReservoirInfo.jsp)，其提供壩堰高度 61 公尺，水庫滿水位 150 公尺、水庫之設計最高水位 151.7 公尺、滿水位面積 153 公頃、總容量 3227.7 萬立方公米等資訊，並可獲得水庫水位的歷時高程。藉由設定水庫滿水位蓄水範圍，並以水庫滿水位值作為最大蓄水面積門檻值，將符合此門檻值的範圍圈繪出來，即為最大蓄水面積。不同時序之實測水位資料亦之蓄水面積計算方式，亦是設定水庫蓄水範圍，將該水位設為蓄水面積門檻值，以符合該門檻值範圍圈繪出來，即得不同時間點之蓄水面積，評估流程如圖 4-18。後續配合內政部 5 米之數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM)，此方法考量為有監(觀)測設備情況下，故將蓄水面積範圍的水位高程值設定為水利署實測水位資料，利用 GEE 所提供之體積計算功能與 DTM 資料計算，用以推估水庫之蓄水體積。

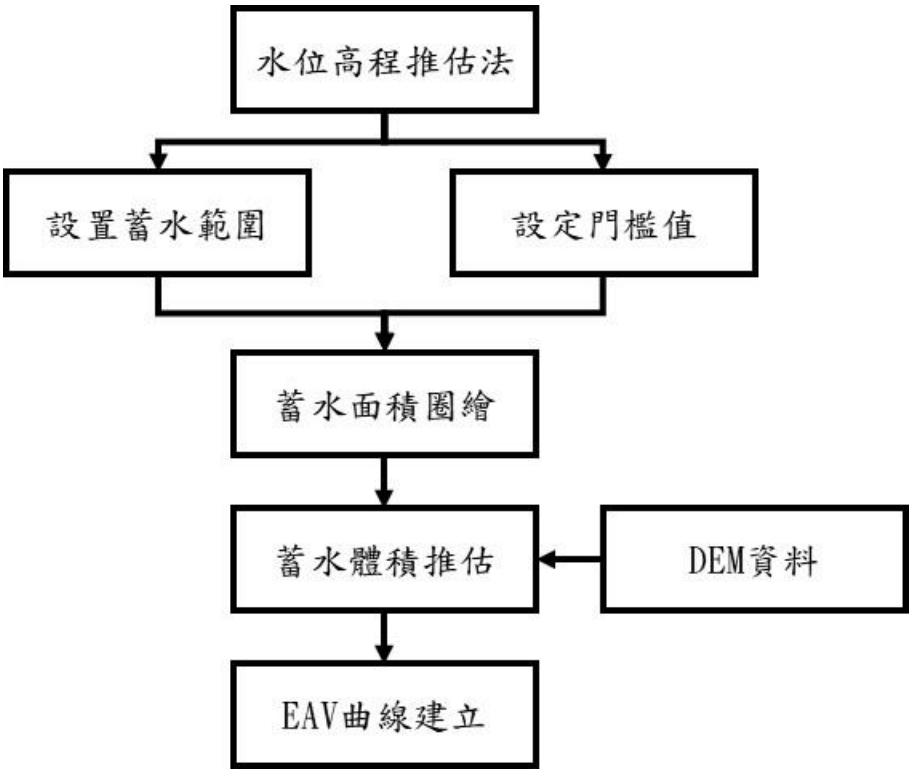


圖 4-18 水位高程推估法流程

2. GEE 影像判釋法

利用雷達影像反射水體之特性，以 GEE 提供多時期雷達影像自動判釋水庫之水體範圍、估算水體面積，並由圈繪水體範圍邊界以轉換為 SHP 檔案，利用此 SHP 資料裁切 DTM 取得平均水位，用以估算邊界範圍對應之蓄水體積。假設水體在無風或波浪擾動情況下，其蓄水邊界對應之高程皆為相同的水位值，故將 DTM 取出之高程值進行平均，計算水體概估之水位值。透過將水體範圍轉換為向量圖檔，將向量值設定為先前概估之水位值,藉由 GEE 雲端平台進行 DTM 資料裁切與該範圍蓄水體積計算，即可推估水庫之蓄水量體，自動判釋流程如圖 4-19。

本研究使用 Google Earth Engine (GEE) 雲端分析平台進行相關計算，GEE 平台為 Google 建置的線上免費地球科學資料分析平台，

結合豐富且多元的遙測衛星圖資，可供使用者自行撰寫程式，藉由雲端平台所提供各項數據資料，進行線上計算與分析，其使用者介面如圖 4-20 所示。本研究利用 GEE 雲端平台可快速運算且免除大量金錢與時間蒐集圖資之優勢，可作為建置快速分析堰塞湖潰決評估模式，以利在災害發生時能盡早提出相關水位警戒資訊，提供有關單位初步預警資訊，以利疏散避難工作規劃，降低人命傷亡憾事的發生。為檢驗 GEE 影像判釋方法的計算精度，本研究使用 Matlab 數學軟體以相同程序進行運算 (如圖 4-21)，驗證兩者判釋結果的一致性。



圖 4-19 GEE 雲端平台自動化判釋流程示意圖

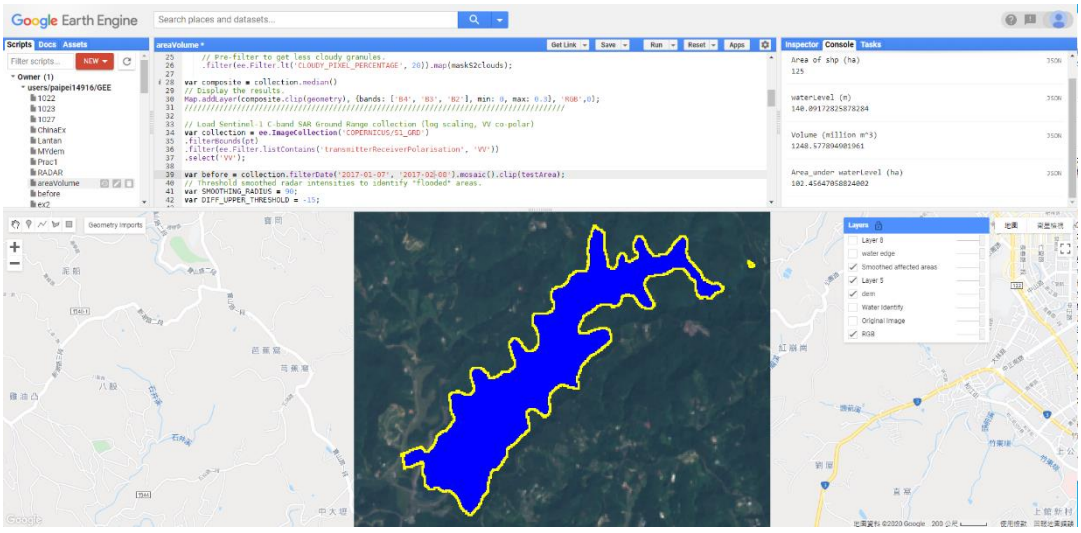


圖 4-20 GEE 雲端平台操作介面

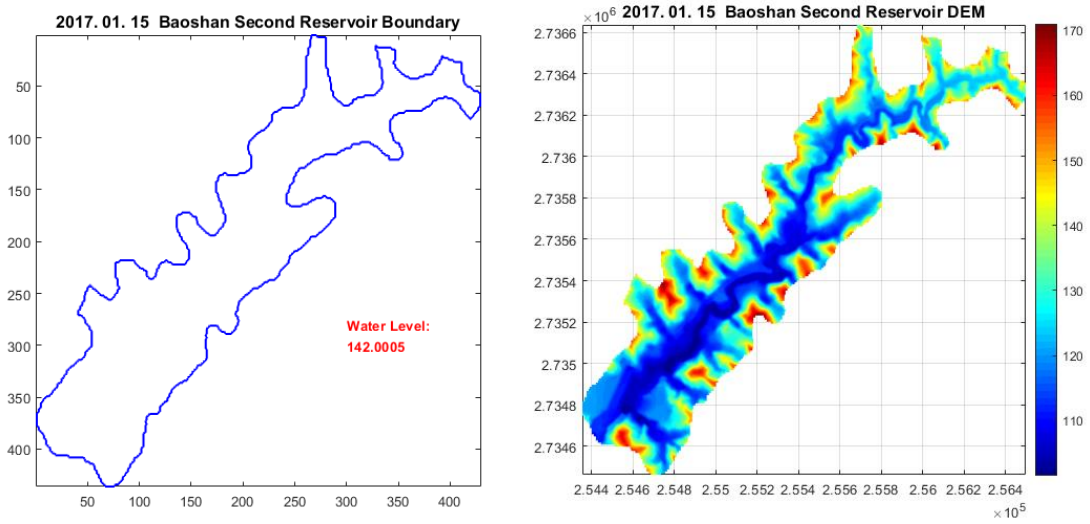


圖 4-21 影像判釋法計算結果 (圖左：蓄水面積; 圖右：蓄水體積)

三、成果與討論

(一) 影像判釋時間

考量 Sentinel 雷達影像取得之拍攝時間 (2016 年) 與 DTM 產製 (2013 年 5 米 DTM，2018 年 20 米 DTM) 日期之時間差，並為降低颱風豪雨引致水庫入庫砂量所形成水庫淤砂堆積現象，其造成蓄水體積估算誤差增加因素，本研究選擇兩者時間差距最小的 2017 年為樣本，每個月選取一次雷達衛星資料進行水體影像判釋 (如圖 4-22)。本案研究區域之寶山第二水庫為長期穩定的蓄水狀態，由判釋結果中可發現不同時間點水體範圍變動幅度並不顯著，且變化區域主要分布在水庫上游區域，詳細判釋資料如表 4-3 及表 4-4 所示。

(二) 水位高程推估法與 GEE 影像判釋法比較

水位高程推估法與 GEE 影像判釋法的 EAV 曲線結果如圖 4-23 所示，前者所得之 EAV 曲線資料分布上較為一致，其離散程度較小，但推估之蓄水體積皆小於實測資料，有低估之情形出現。影像判釋法的 EAV 曲線資料分布上較為分散，顯示離散程度較大，雖然無離群

值出現，但由於其離散的程度較明顯，其誤差偏誤較水位高程推估法偏大，因此在低水位有低估情形，高水位則是高估情形出現。

由此結果可得知水位高程推估法，係利用水利署已知實測水位值進行蓄水面積圈繪與蓄水體積估算，然影像判釋法則是以雷達影像所設定門檻值自動判釋水體範圍，再依序推估水體範圍邊界水位高程值，後再結合 DTM 資料計算該範圍蓄水體積，其水體之水位、面積與體積三者皆為未知參數，故前者方法估算之結果誤差累加狀況較小，而後者方法為三未知參數估算，其誤差累加結果相對較無一定的規律，因此可能造成誤差累加的效應放大。然而，在後續的誤差分析中，其誤差仍在合理範圍，故影像判釋法獲得之 EAV 曲線仍可作為在未知情況下的參照。

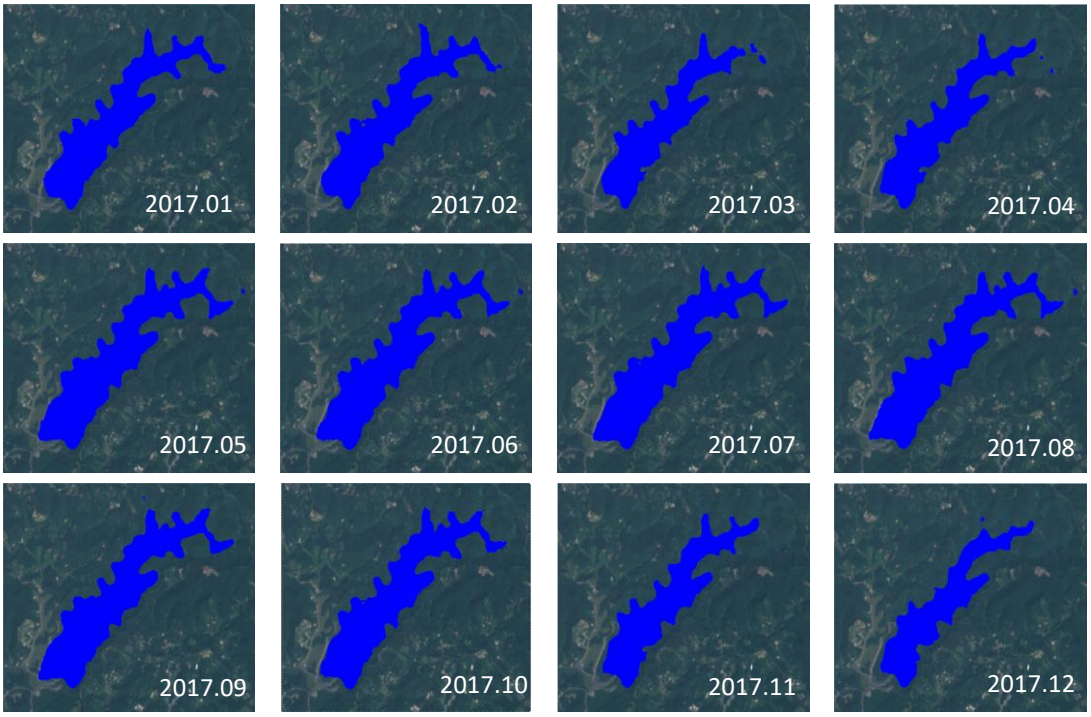
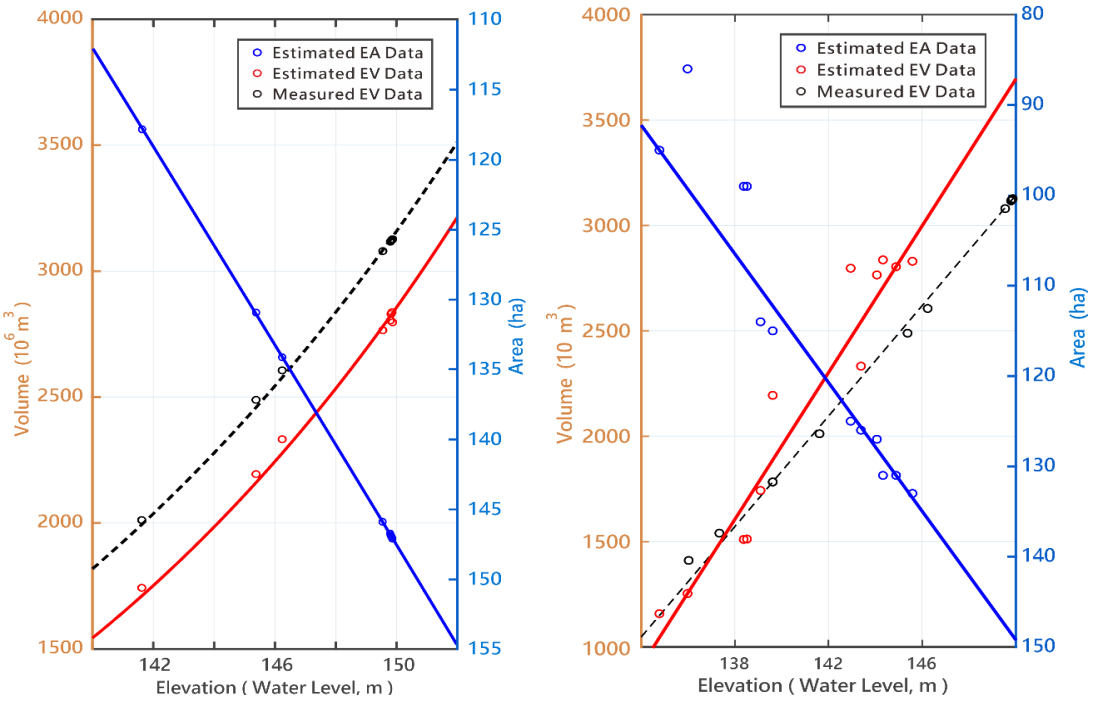


圖 4-22 不同時間寶山水庫水體範圍判釋結果



水位高程推估法　　GEE 影像判釋法

圖 4-23 水位-面積-體積曲線圖

(三) 誤差分析

透過寶山第二水庫實測水位資料與影像判釋法推估之水位與體積參數進行比對分析，由圖 4-24 (a) GEE 影像判釋水位誤差分析圖中，水位推估值分布在 5%誤差範圍內 (以 5 米 DTM 資料誤差範圍為 - 0.79 % 至 - 4.62 %; 以 20 米 DTM 資料誤差範圍為 - 1.21 % 至 – 6.65 %)；而圖 4-24 (b) 則為蓄水體積誤差分析結果圖，蓄水體積誤差落在 20%誤差範圍內 (以 5 米 DTM 資料誤差範圍為 – 9.22 % 至 – 18.61 %; 以 20 米 DTM 資料誤差範圍為 – 7.6 % 至 – 18.94 %)，且推估值皆小於實測值。

由於影像判釋法之精確度仰賴於雷達影像之像元解析度 (Image resolution) 與使用 DTM 資料之網格解析度 (Mesh resolution) 與時間間隔差有著非常密切的關係，若 DTM 資料網格解析度太低，則後續的參數計算時，由於網格尺度太粗糙，代表將較多範圍高程資料簡化

於同一網格顯示，則判釋結果誤差必定有所增大，此由表 4-3 及表 4-4 不同網格大小判釋結果可以得知。另外從誤差結果可以發現推估蓄水體積誤差範圍約為水位誤差範圍的四倍，由於雷達影像解析度為 10 米網格，其計算面積為 100 公平公尺，DTM 5 米網格計算面積為 25 平方公尺，其為影像網格計算面積之 0.25 倍，因此推估水位誤差來源主要為影像像元與 DTM 網格對位誤差反應於水位高程值，並影響後續參數計算之誤差累積 (Error propagation)。

推估體積誤差則為影像像元與網格面積之倍數差異而來，在 DTM5 米網格與 DTM 20 米網格，其計算面積與影像網格計算面積皆為 4 倍，因此推估體積誤差則為等於使用網格單位體積減去影像像元單位體積之後，再將兩者差值除以影像像元單位體積，計算結果之誤差約略為 7 倍，再者因為影像像元與 DTM 網格可能存在對位偏移等現象，因此推估體積使用 DTM5 米與 20 米網格，其體積誤差約略大於或小於 7 倍，由表 4-3 及表 4-4 中 GEE 影像判釋法推估 5 米網格水位值之平均誤差為-2.45%，而 GEE 影像判釋法推估 5 米網格水體體積值之平均誤差為-12.67%，其結果約略小於 7 倍範圍內，其誤差倍數符合網格大小與取像像元大小所產生計算誤差。

再者，水庫長期因上游入庫泥砂造成庫區地形變動，泥砂淤積的問題為其中之一因素，再者水庫清淤亦是影響水庫庫區地形變動原因之一，因此 DTM 產製時間與影像拍攝間隔差，主要是造成 GEE 影像判釋法推估值高估與低估的結果。本案例推測水位與水體體積皆是低估可能原因為使用之 DTM 受到庫區淤積之影響，因此在兩種推估方法結果皆為低估情形。

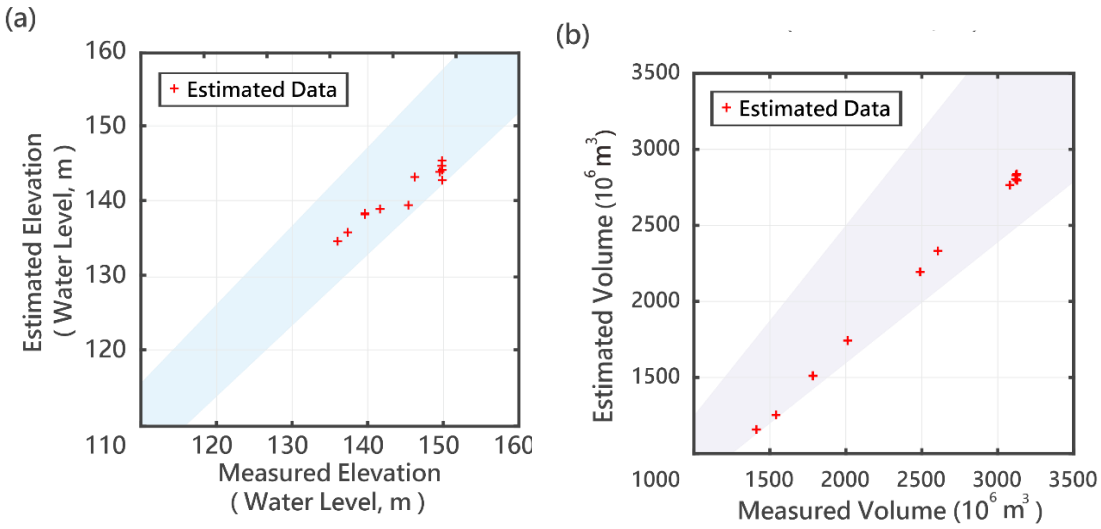


圖 4-24 誤差分析 (圖(a): 水位誤差; 圖(b): 體積誤差)

1. 不同解析度 DEM 推估差異

本研究分別利用 5 米及 20 米解析度之 DTM，分析在不同解析度狀況下之誤差趨勢(表 4-3、表 4-4、圖 4-25)。水位推估結果與預期大致相同，使用粗糙解析度之 DTM 誤差越大；而蓄水體積使用高解析度之 DTM 並無明顯較好的結果，其一之因素在於影像拍攝日期與 DTM 產製之時間間隔差所造成影響，其二為影像像元與 DTM 網格對位誤差所造成。因此除了提升 DTM 解析度，其 DTM 產製時間、影像像元與網格對位精準度更為重要，有助於提升判釋結果精準度。

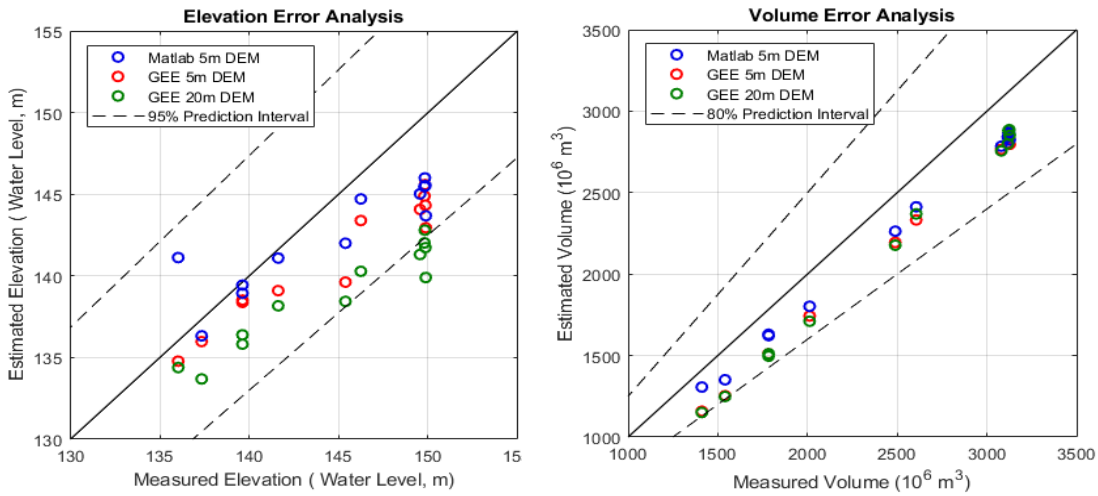


圖 4-25 誤差分析圖 (圖左: 推估水位誤差; 圖右: 推估體積誤差)

2. GEE 雲端平台誤差分析

藉由 GEE 雲端平台與 Matlab 兩者以相同方法進行運算，在誤差分析圖中可以發現利用 Matlab 計算結果與實測值較接近，水位平均誤差為-1.4%，蓄水量體平均誤差為-9.06%；而 GEE 雲端平台之水位平均誤差為-2.45%，蓄水量體平均誤差為-12.67%。由結果得知 Matlab 計算結果較良好，雖然運算方法皆相同，由於 GEE 雲端平台影像圖資與網格座標對位計算偏差所造成，後續將持續探討 GEE 雲端平台相關研究。

四、結論

由於堰塞湖形成位置難以預測，為在災害發生時快速評估壩體穩定性，藉由 GEE 與多時期雷達影像推估堰塞湖蓄水規模，本研究提出以下幾點結論：

1. 本研究利用 GEE 雲端平台自動化計算模式初步估算水庫水位與蓄水體積，成果相當良好，其水位高程值誤差範圍最小可達 1%以下，最大約為 6%，蓄水體積誤差範圍最小可達 8%，最大誤在 20%以下。

2. 誤差主要可能來自於雷達影像拍攝時間與 DTM 產製時間間隔差、水庫淤砂導致庫區地形變動，如接近雷達影像時間點之水下地形資料，應能產生更準確的推估值。

3. 天然壩在短時間內形成與而後潰決，相較於水庫不易有長期土砂淤積的問題，其存在期間地形前後差異不大。故將此方法用於堰塞湖水體評估，其結果應更符合真實狀況。

4. 應用 GEE 平台與雷達影像，可有效分析蓄水體積，透過建立 EAV 曲線，未來可利用 GEE 平台與雷達影像多時期資料

估算集水區上游入流量，搭配無因次阻塞指標(Dimensionless Blockage Index, DBI) 即可作為天然壩初步危險性評估和決策依據。

5. 考量現地勘查之危險性，避免在天然壩穩定性未明情況下，進行現場調查作業之危險，降低衍生之現勘人員傷亡風險，在颱風豪雨期間，有助於災害應變中心對災情研判與決策分析上。

期望未來透過不斷精進基礎研究與資料建置，將能在第一時間取得災害潛勢區域之基本重要資料，透過不同判釋方法並配合數值模式，藉由設定不同情境假設，提供災害潛勢影響範圍，以提升緊急應變與疏散避難效率，目前隨著氣候變遷影響災害規模與複合性災害衝擊，建議應及早對具保全對象之高潛勢區域，透過不同情境假設及數值模擬結果規劃相關防災、治理、應變對策。

表 4-3 GEE 影像判釋法水位推估結果

時間		水位資料 (Elevation)						
sentinel-1雷達影像拍攝時間		水利署實測水位（公尺）	GEE推估5米DEM邊界平均水位（公尺）	誤差值 (%)	GEE推估20米DEM邊界平均水位（公尺）	誤差值 (%)	Matlab檢算平均水位（公尺）	誤差值 (%)
2017/1/15	10:00:25	145.38	139.62	-3.96	138.44	-4.77	142.00	-2.32
2017/2/8	10:00:25	141.62	139.10	-1.78	138.17	-2.44	141.09	-0.37
2017/3/4	10:00:24	136.03	134.78	-0.92	134.39	-1.21	141.12	3.74
2017/4/11	21:52:25	139.62	138.38	-0.89	135.82	-2.72	138.94	-0.49
2017/5/5	21:52:26	149.82	145.59	-2.82	142.80	-4.69	146.00	-2.55
2017/6/10	21:52:28	149.55	144.07	-3.66	141.31	-5.51	145.02	-3.03
2017/7/16	21:52:30	149.8	144.89	-3.28	142.02	-5.20	145.47	-2.89
2017/8/9	21:52:31	149.87	142.95	-4.62	139.90	-6.65	143.68	-4.13
2017/9/14	21:52:33	149.85	144.33	-3.68	141.73	-5.42	145.53	-2.88
2017/10/8	21:52:33	146.24	143.39	-1.95	140.28	-4.07	144.71	-1.05
2017/11/13	21:52:33	139.62	138.52	-0.79	136.39	-2.31	139.44	-0.13
2017/12/7	21:52:32	137.34	135.98	-0.99	133.69	-2.66	136.33	-0.73
平均值		144.56	140.97	-2.45	138.74	-3.97	142.45	-1.40

表 4-4 GEE 影像判釋法蓄水體積推估結果

時間		水庫量體資料 (Volume)						
sentinel-1雷達影像拍攝時間		水利署有效蓄水量（萬立方公尺）	GEE推估5米水庫蓄水量體(萬立方公尺)	誤差值 (%)	GEE推估20米水庫蓄水量體(萬立方公尺)	誤差值 (%)	Matlab檢算蓄水體積(萬立方公尺)	誤差值 (%)
2017/1/15	10:00:25	2488.90	2194.13	-11.84	2177.13	-12.53	2263.16	-9.07
2017/2/8	10:00:25	2011.84	1742.70	-13.38	1710.66	-14.97	1802.27	-10.42
2017/3/4	10:00:24	1410.86	1158.23	-17.91	1150.46	-18.46	1306.84	-7.37
2017/4/11	21:52:25	1783.37	1510.48	-15.30	1511.09	-15.27	1622.09	-9.04
2017/5/5	21:52:26	3120.23	2830.05	-9.30	2883.16	-7.60	2868.08	-8.08
2017/6/10	21:52:28	3079.83	2765.31	-10.21	2756.08	-10.51	2784.97	-9.57
2017/7/16	21:52:30	3116.79	2804.38	-10.02	2799.33	-10.19	2840.78	-8.86
2017/8/9	21:52:31	3126.96	2796.90	-10.56	2851.66	-8.80	2822.62	-9.73
2017/9/14	21:52:33	3124.87	2836.86	-9.22	2887.05	-7.61	2862.34	-8.40
2017/10/8	21:52:33	2605.96	2332.49	-10.49	2369.44	-9.08	2412.80	-7.41
2017/11/13	21:52:33	1782.81	1512.15	-15.18	1496.26	-16.07	1630.52	-8.54
2017/12/7	21:52:32	1540.30	1253.68	-18.61	1248.53	-18.94	1351.34	-12.27
平均值		2432.73	2144.78	-12.67	2153.40	-12.50	2213.99	-9.06

第三節　頭社水庫及集集攔河堰調查與無人機建模研究

一、前言

頭社水庫，匯集大舌滿溪溪水及日月潭水庫滲流水而成，集水面積 54 公頃，有效蓄水量約 21.3 萬立方公尺，隸屬於南投農田水利會，其於 1979 年 12 月興建完成，為農田灌溉單一目標的水庫 (圖 4-26; 經濟部，2018，加強水庫集水區保育治理計畫 108-109 年執行計畫書，前瞻基礎建設計畫-水環境建設)。

此次調查藉由 DeeperPro 聲波探測器與 UAV 進行掛載測試水深量測作業，選擇頭社水庫由於其非飛航管制區，且由於目前水庫蓄水量較小，於現地進行測量時儀器丟失風險較小，故在此處進行測試。



圖 4-26 頭社水庫位置圖 (資料來源：Goggle Map)

二、材料及方法

為掌握 DeeperPro 聲波水深量測儀與無人載具空拍兩者能否搭配使用，以獲得得到水下地形資訊及空間座標位置，及後續作室內分析構造物模型建置等三項作業。以目前頭社水庫低水位狀況較適合於現地量測作業，此次現地調查時間為 109 年 11 月 7 日，進行 DeeperPro 聲波水深量測儀、無人載具空拍及構造物模型建置等三項。以下就外調儀器、UAV 拍攝任務、構造物模型建置方法說明如下。

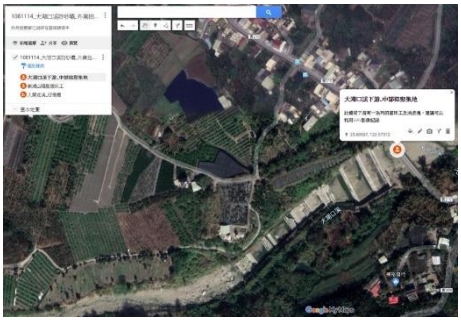
(一) 外業調查儀器

調查儀器包括：P4P Pro2、Marvic Pro、DeeperPro、手持式 GPS、e-GNSS、腳架、數位相機、望遠鏡、調查地點禁航區地圖、外業拍攝地點任務規劃、箱尺、皮捲尺等外業調查設備 (表 4-5)。各測量儀器規格之性能諸元如表 4-6 ~ 表 4-10 所示。

表 4-5 外業調查儀器

儀器名稱	功能	照片
P4P Pro2	執行自動/半自動光學遙測與現勘巡檢、測繪	
Marvic Pro	執行自動/半自動光學遙測與現勘巡檢、測繪	

儀器名稱	功能	照片
DeeperPro	水深測量 GPS 定位	
手持式 GPS	於現勘測繪時進行座標與高程校準	
EGNSS	於現勘測繪時進行座標與高程校準	
腳架	輔助 EGNSS 相關儀器進行現場定位固定用	

儀器名稱	功能	照片
數位相機	輔助現場進行現勘紀錄，結合GPS系統輔助地面測繪與建模	
望遠鏡	現地觀測	
調查地點 禁航區地圖	現勘內業規劃與任務擬定、簡報用	
外業拍攝地點 任務規劃	現勘內業規劃與任務擬定、簡報用	

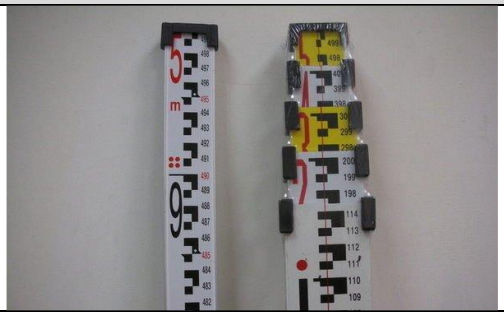
儀器名稱	功能	照片
箱尺	現場勘查，輔助標的物測繪用	
皮捲尺	現場勘查，輔助標的物測繪用	

表 4-6 P4P Pro2 規格性能諸元

飛行器		
重量（含電池及槳）	1388 g	
軸距	350 mm	
最大上升速度	運動模式：6 m/s	
	定位模式：5 m/s	
最大下降速度	運動模式：4 m/s	
	定位模式：3 m/s	
最大水平飛行速度	運動模式：72 km/h	
	姿態模式：58 km/h	
	定位模式：50 km/h	
最大可傾斜角度	運動模式：42°	
	姿態模式：35°	
	定位模式：25°	
最大旋轉角速度	運動模式：250°/s	
	姿態模式：150°/s	
最大起飛海拔高度	6000 m	
最大可承受風速	10 m/s	
最大飛行時間	約 30 分鐘	
工作環境溫度	0℃至 40℃	
衛星定位模組	GPS/GLONASS 雙模	
GPS 懸停精度	垂直	±0.1 m（視覺定位正常工作時）
		±0.5 m（GPS 定位正常工作時）
	水平	±0.3 m（視覺定位正常工作時）
		±1.5 m（GPS 定位正常工作時）
相機		
影像感測器	1 英寸 CMOS	
	有效像素 2000 萬	
鏡頭	FOV 84° 8.8 mm/24 mm（35 mm 格式等效）	
	f/2.8 - f/11 帶自動對焦（對焦距離 1 m - 無窮遠）	
ISO 範圍	影片：100 - 3200（自動）；100 - 6400（手動）	
	照片：100 - 3200（自動）；100 - 12800（手動）	
機械快門速度	8 - 1/2000 s	
電子快門速度	8 - 1/8000 s	
雲台		
穩定系統	3-軸（俯仰，橫滾，偏航）	
可控轉動範圍	俯仰：-90°至 +30°	
最大控制轉速	俯仰：90°/s	
角度控制精度	±0.02°	
紅外感知系統		
障礙物感知範圍	0.2 - 7 m	
FOV	水平 70°，垂直±10°	
測量頻率	10 Hz	

表 4-7 MAVIC Pro 規格性能諸元

飛行器	
尺寸	H83mm x W83mm x L198mm
軸距	335 mm
重量（含電池及槳）	734 g（不包含雲台保護罩）、743 g（包含雲台保護罩）
最大上升速度	運動模式：5 m/s
最大下降速度	3 m/s
最大水平飛行速度	65 km/h（運動模式，海平面附近無風環境）
最大飛行海拔高度	5000 m
最大飛行時間	30 分鐘（無風環境 25 km/h 勻速飛行）
最長懸停時間	27 分鐘（無風環境）
電調方案	FOC
最遠續航里程	15 km（無風環境）
工作環境溫度	0°C 至 40°C
衛星定位模組	GPS/GLONASS 雙模
雲台	
可控轉動範圍	俯仰：-90°至+30°
	橫滾：0°或 90°（橫拍及豎拍模式）
穩定系統	3-軸（俯仰，橫滾，偏航）
相機	
影像傳感器	1/2.3 英寸 CMOS；有效像素 1235 萬（總像素 1271 萬）
鏡頭	FOV 78.8° 26 mm（35 mm 格式等效） f/2.2
	對焦點：0.5 m 至無窮遠；畸變<1.5%
ISO 範圍	影片：100 - 3200
	照片：100 - 1600
電子快門速度	8s -1/8000 秒
照片尺寸	4000×3000

表 4-8 手持式 GPS 規格性能諸元

操作介面	正體中文/英文操作及顯示功能
接收頻道	高感度接收晶片
衛星系統	GPS+GLONASS
定位準確度	<10 公尺，95%、RMS、Typical、無 S/A 干擾下、單機定位
接收天線	四螺旋天線，支援外接天線
顯示器	2.6 吋彩色 TFT 液晶螢幕；160x240 像素
支援記憶卡格式	micro SD 記憶卡
防水功能	IPX7(水下一公尺，30 分鐘內防水)
操作溫度	-20°C ~70°C
接收機重量	230g（含電池）
接收機大小	6.1 x 16.0 x 3.6cm
電力供應	約 16 小時（背光 50%恆亮，開啟 GPS)2 顆 3 號電池
內鍵儲存空間	8 GB
傳輸介面	miniUSB
無線傳輸	2.4Ghz ANT+ / 藍牙 4.0
大地座標系統	虎子山系統(TWD67)、WGS84(TWD97)、WGS72、使用者自行定義系統等
座標格式	經緯度、台灣二度分帶座標、UTM / UPS、MGRS 以及使用者自行定義系統等
電子地圖	預載台灣地區等高線電子地圖
航點/航線/航跡記錄	5,000 點航點 / 200 條航線 / 10,000 航跡點
	200 條航跡記錄

表 4-9 e-GNSS R6 移動站規格性能諸元

Code 編碼差分 GPS 定位	
水平	±0.25 m + 1 ppm RMS
垂直	±0.50 m + 1 ppm RMS
WAAS 差分定位精度	一般 < 5 m 3DRMS
靜態和快速靜態 GPS 測量	
水平	±5 mm + 0.5 ppm RMS
垂直	±5 m + 1 ppm RMS
動態測量	
水準	±10 mm + 1 ppm RMS
垂直	±20 m + 1 ppm RMS
初始化時間	一般 < 25 - 30 秒
初始化可靠性	一般 > 99.9%
硬體	
尺寸（W×H）	19cm x 11.5cm 包括連接器
重量	1.35 kg
耐候	IPX7 防水等級，可侵入水下 1m

表 4-10 Deeper Smart Sonar PRO 移動站規格性能諸元

Material	ABS
Compatibility	From iOS 12 and Android 5 to the latest iOS and Android devices
Sonar Type	Dual beam Frequency (Beam cone) 290 kHz (15°)/90 kHz (55°)
Depth Range	Max 260ft (80m) / Min 2ft (0.5m)
Sonar Scan rate	Up to 15 scans per second
Temperature sensor	Water surface temperature sensor
Temperature Units	Celsius / Fahrenheit
Operating Temperature	-20℃ to 40 ℃ / -4℉ to 104℉
GPS positioning	L1 48 channel GPS receiver, high 3m@50% accuracy
Internal Battery	Lithium Polymer, 3.7V Rechargeable, 850mAh
Connection Type	Wireless Wi-Fi connection
Connection Range	Up to 330ft (100m). Depends on the OS and smartphone model

(二) UAV 拍攝任務

為瞭解 Deeper Pro 聲納水深探測器於現地訊號接收距離與功能測試，選擇頭社水庫作為測試地點 (圖 4-27)，並且搭配 UAV 進行掛載作業，以作為未來堰塞湖發生時使用 UAV 進行水深量測之前期研究測試。本次頭社水庫之周圍有二處禁航區分別為集集分局頭社派出所 (距離約 210 公尺) 及武登 100T 配水池 (距離約 570 公尺) (圖 4-28)，並不影響此次飛航任務作業。

本次 UAV 拍攝任務之設定為進行頭社水庫正射影像空拍作業，進行庫區水體範圍檢視作業，後續正射影像成果判釋，可作為未來堰塞湖上游迴水長度及蓄水範圍判定之前期研究測試。另外搭配 Deeper Pro 儀器所提供之 GPS 軌跡，有助於現場圖傳資訊確認飛行任務是否正確執行。掛載 Deeper Pro 進行水深測量作業，除提供設定飛航航線之水深外，在蓄水範圍量測作業可即時套疊於 Goole Map 上，提供現場檢視湖區範圍 (圖 4-29、圖 4-30)。

在 UAV 任務規劃上，利用 BigGIS 平台所提供之影像及地圖輔助工具，可先行於室內規劃飛行任務之航線及範圍 (圖 4-31)。之後再藉由無人載具專用之航線規劃軟體進行細部設計，調整影像拍攝焦距、重疊率、飛行高度與速度、起降點設定、自動返航點設定等詳細設定。在執行前亦需注意天氣狀況、設備電力狀況，到現場之後需對周遭環境進行檢視，選定合適之起降點以進行飛航任務。

目前在飛行前需先交通部民航局遙控無人機管理資訊系統 (https://drone.caa.gov.tw/) 進行飛行活動申請 (圖 4-32)、空域查詢(圖 4-33)、基本資料填寫(作業名稱、申請單位、承辦人、現場負責人、協調人及作業概述等事項，圖 4-34)、證明文件上傳 (同意書、切結書、

保險證明等，圖 4-35)、空域範圍劃設 (圖 4-36)等，待申請審查完成後，則可進行飛行活動 (圖 4-37)，並於活動後需至民航局無人機管理系統進行活動後登載報離事項 (圖 4-38)。

無人機航拍規劃流程如圖 4-39 所示，參考水保局「遙控無人機河床表層粒徑分析作業手冊(草案)」之資料 (水保局，2020，無人載具高解析影像及光達點雲於山區河川表層粒徑分析之精進研究)，其主要考量以下四點以確保操作人員安全及飛行任務執行順利完成。

1. 作業範圍與飛行空域：確認作業範圍後，瞭解作業區域之周遭環境、地形地貌狀用以評估空域之相關作業。
2. 飛行航線規劃：使用無人機性能、酬載、飛行時間、抗風強度、飛行高度、掛載儀器重量等需一併考量，以決定行飛任務之規劃。
3. 作業目標區天氣狀態變化與交通：天氣狀態的初步觀察跟出勤時間預估，也需初步掌握，以利於任務的時程安排。
4. UAV 任務執行：執行 UAV 飛行任務包含任務前準備、現場佈署、任務執行，撤收階段等四項作業，以落實完成飛行任務。



圖 4-27 頭社水庫與禁航區位置

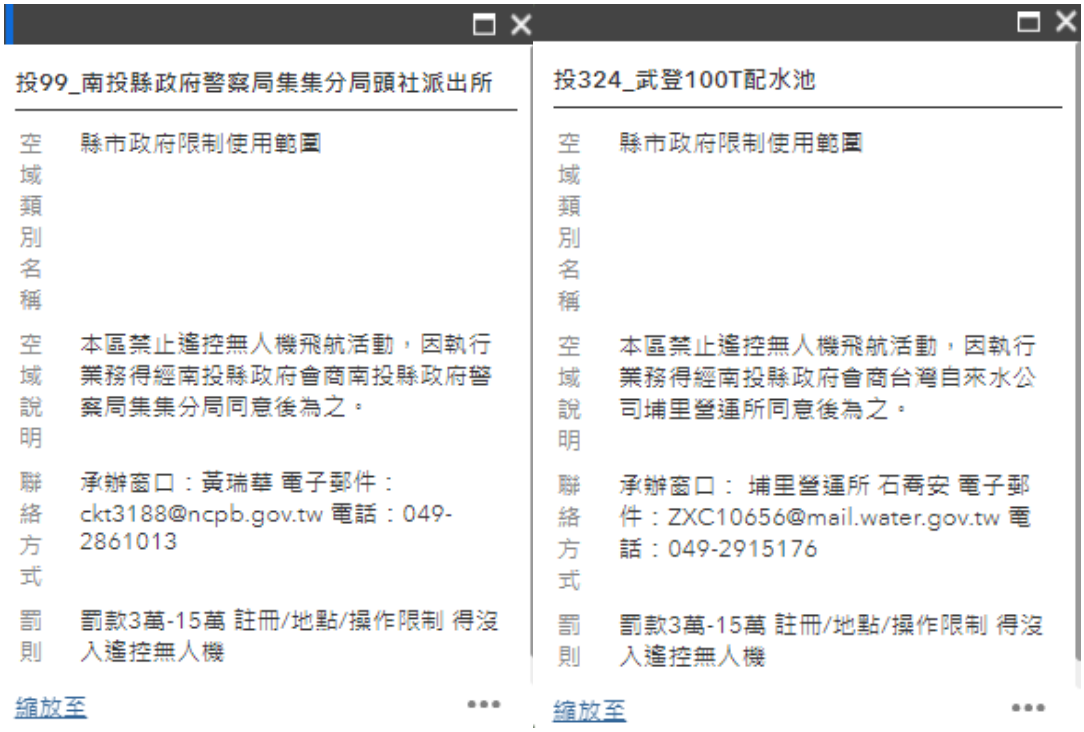


圖 4-28 頭社水庫周範禁航區



圖 4-29 Deeper Pro 量測展示介面

(https://deepersonar.com/us/en_us/explore/deeper-app)

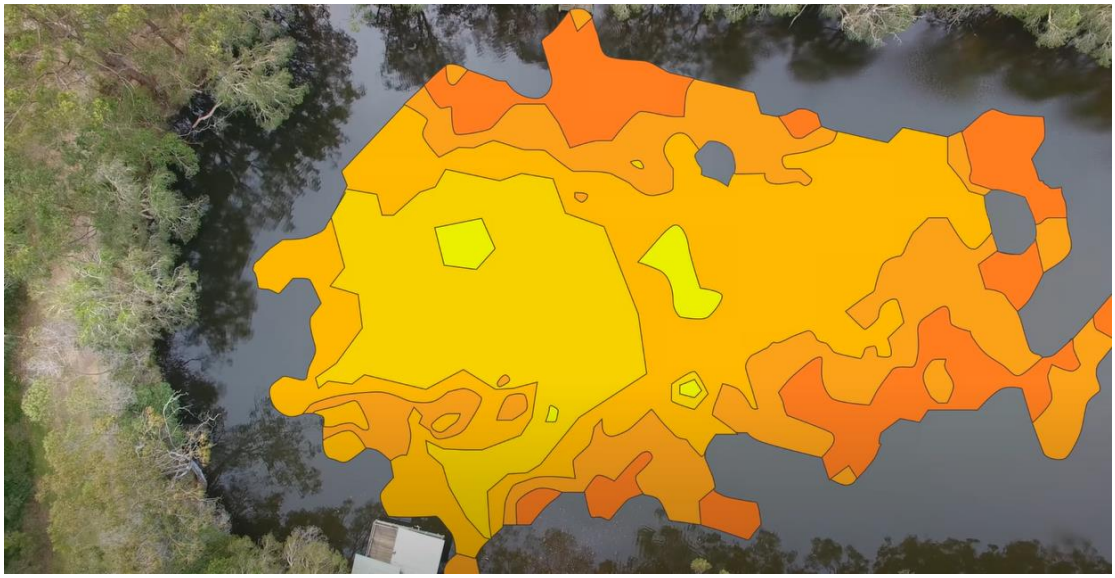


圖 4-30 Deeper Pro 提供即時量測範圍

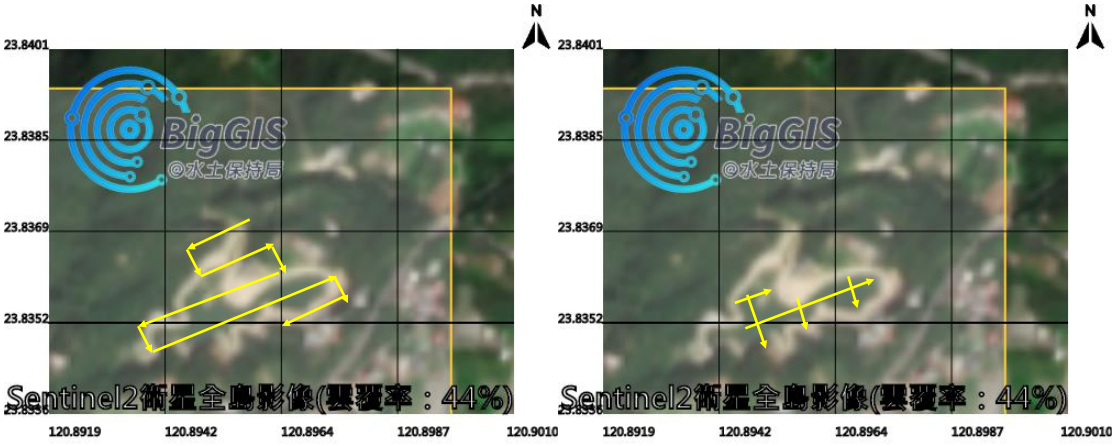


圖 4-31 使用 BigGIS 平台初步圖層套疊及任務規劃

(https://gis.swcb.gov.tw/)



圖 4-32 民航局遙控無人機管理資訊系統

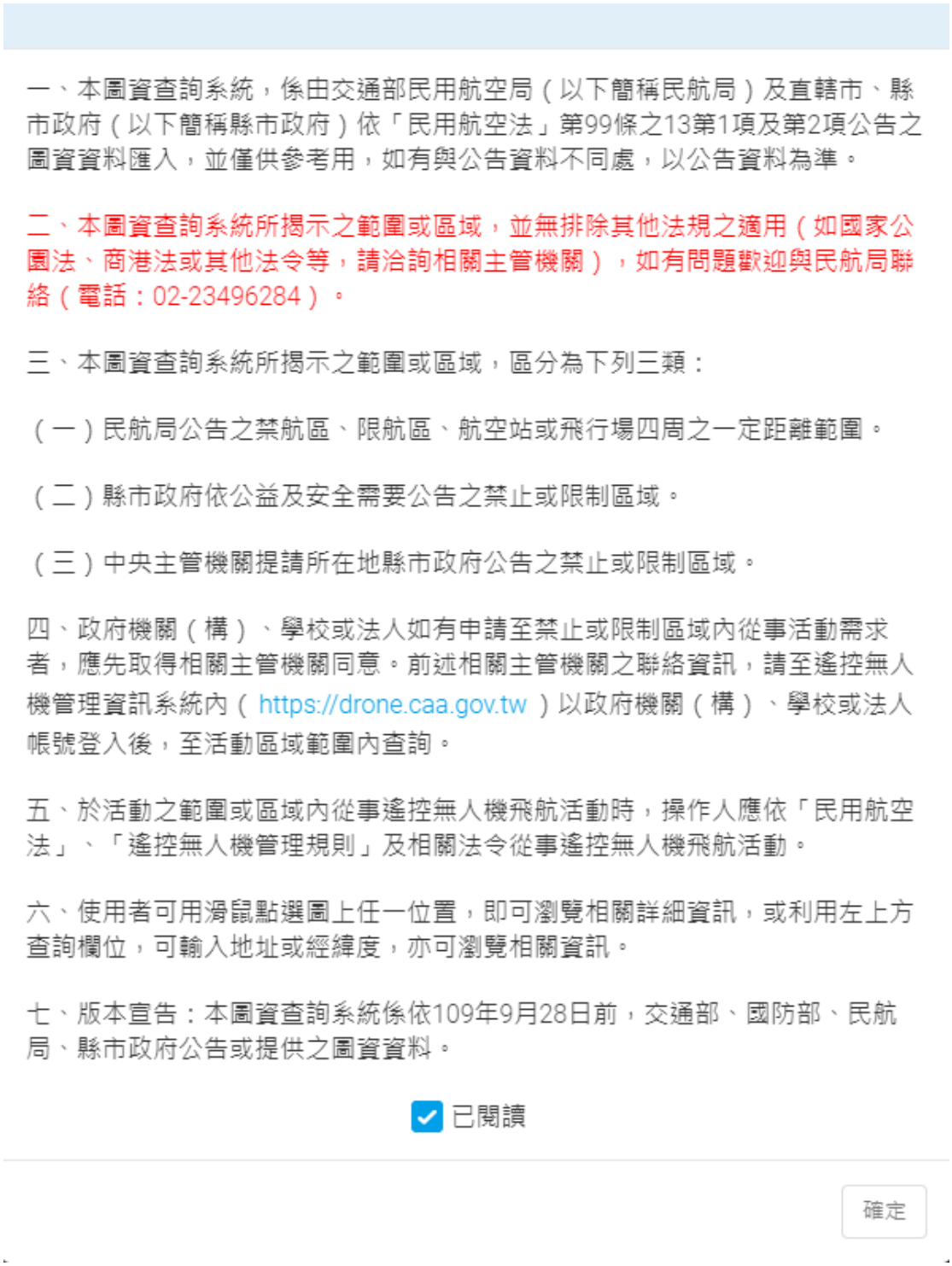


圖 4-33 空域查詢註意事項



圖 4-34 活動申請明細及基本資料



圖 4-35 證明文件上傳、飛行空域、操作排除項目

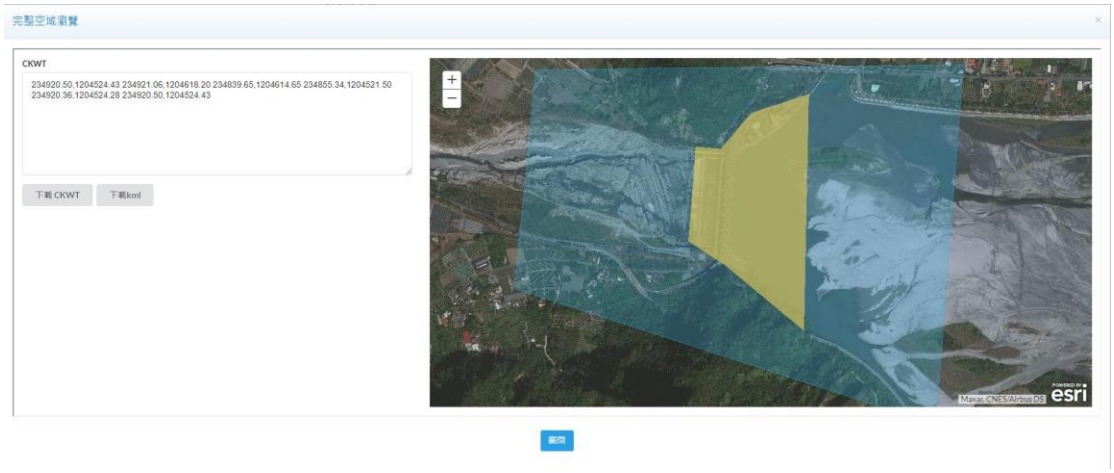


圖 4-36 申請空域範圍劃設



圖 4-37 飛行活動申請審核通過



圖 4-38 活動後登載-飛行任務報離

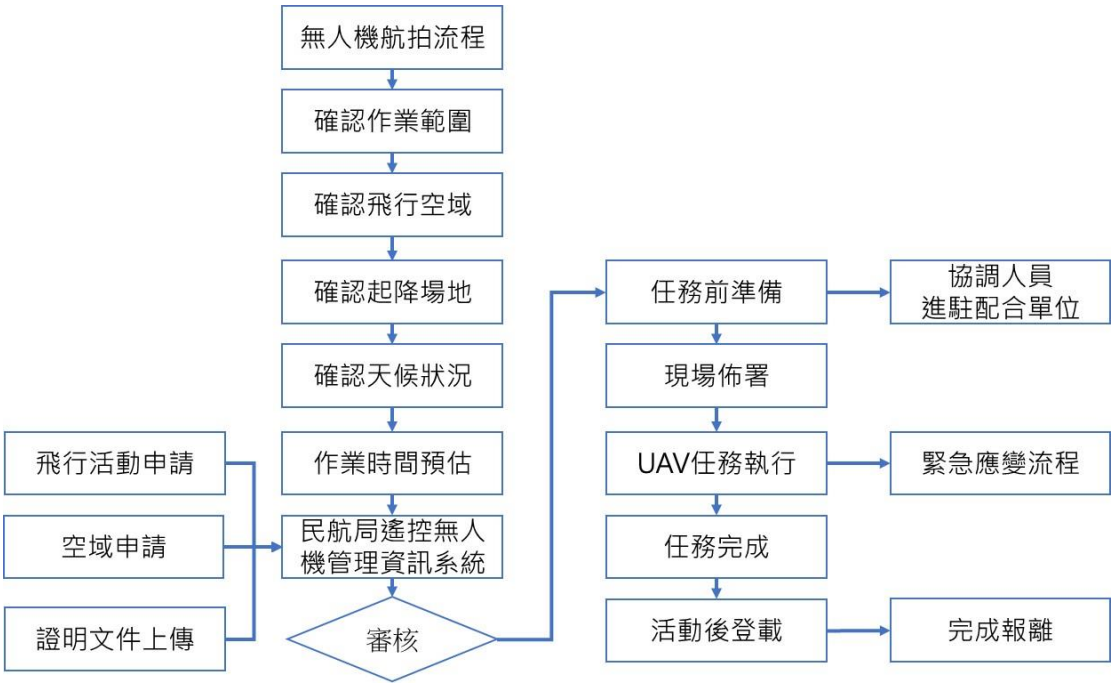


圖 4-39 無人載具飛航申請程序流程圖

(三) 正射影像及構造物模型建置

航空攝影測量係利用飛行載具裝載高精度攝影器具，在規劃航帶以特定飛行高度，對目標區域進行拍攝航空照片，藉由處理航空像片來取得現地資料。現在無人載具普及，利用 UAV 像片重疊度增加提升像片解析度，其正射影像是航空像片經過幾何校正與拼接的真實地表資訊，含有地理座標資訊，能套用於各類型地理資訊系統平台，進行套圖、量測與分析之用 (水保局，2020)。

無人載具在拍攝影像同時也紀錄每張像片拍攝瞬間之位置與飛機姿態，省去傳統航空像片在建置模型時必須先設置相機參數、外方位參數、匹配相片控制點等工作，藉以計算出每張像片之位置與姿態。像片與記錄之位置及姿態資訊經整理，確保每張像片與其對應參數之一致性且符合軟體所需格式，再行設置軟體所需之輸出坐標、地面控制點等資訊，即可計算匹配並建置出數值地表模型與正射影像。

由於正射影像是以像片為基礎拼接再修正，像片解析度影響正射影像的細緻度，因此，在執行任務時需選用合適之相機，設定飛行高度，以獲取任務目標之解析度，其正射影像產製流程如圖 4-40 所示。

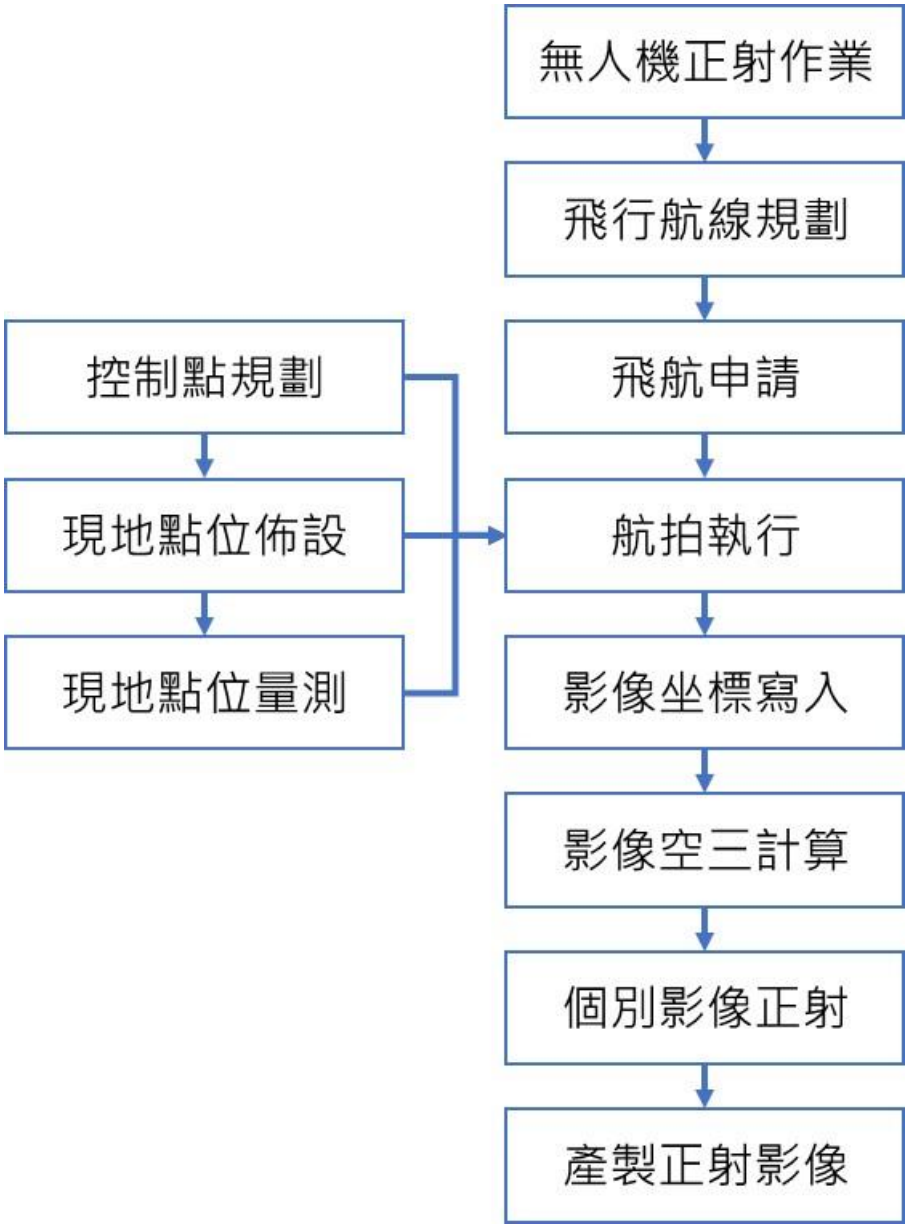


圖 4-40 正射影像產製流程

三、調查結果

頭社水庫構造物模型建置，其現場任務規劃航線如圖 4-42 所示，係利用 Marvic Pro 及 Phantom 4 Pro V2 進行照片拍攝，配合後續室內作業以 Bently Context Capture 進行正射影像及 3D 模型產製。

對於水深量測，利用 UAV 掛載 Deeper Pro 進行庫區水深量測作業，其可提供簡易快速庫區水深資訊，配合後續室內作業產製水下數值地型資訊。本次拍攝照片總共 331 張 (圖 4-43)，濾除光線不良、失焦及過度曝光之影像計 98 張 (圖 4-44)，共計使用 233 張照片進行正射影像產製及 3D 模型建製，其建置過程及成果說明如頭社水庫 3D 建模成果及頭社水庫 Deeper Pro 水深調查成果。



圖 4-41 頭社水庫現場作業照片(109 年 11 月 7 日)

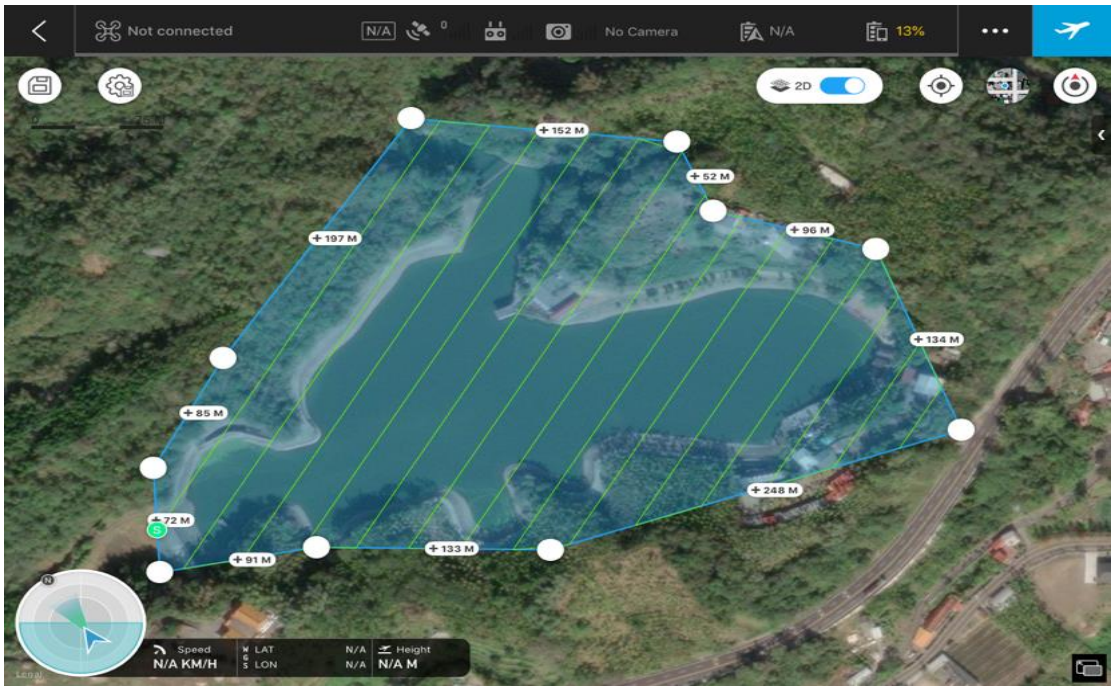


圖 4-42 頭社水庫現場飛行任務規劃航線設定

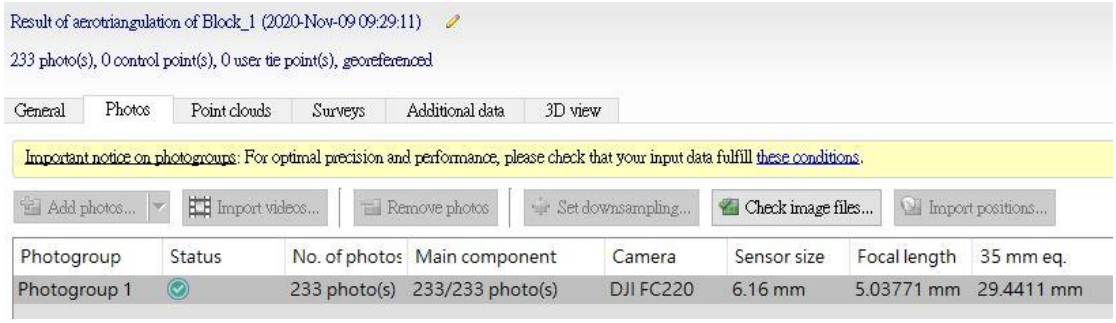


圖 4-43 頭社水庫 3D 建置使用照片數

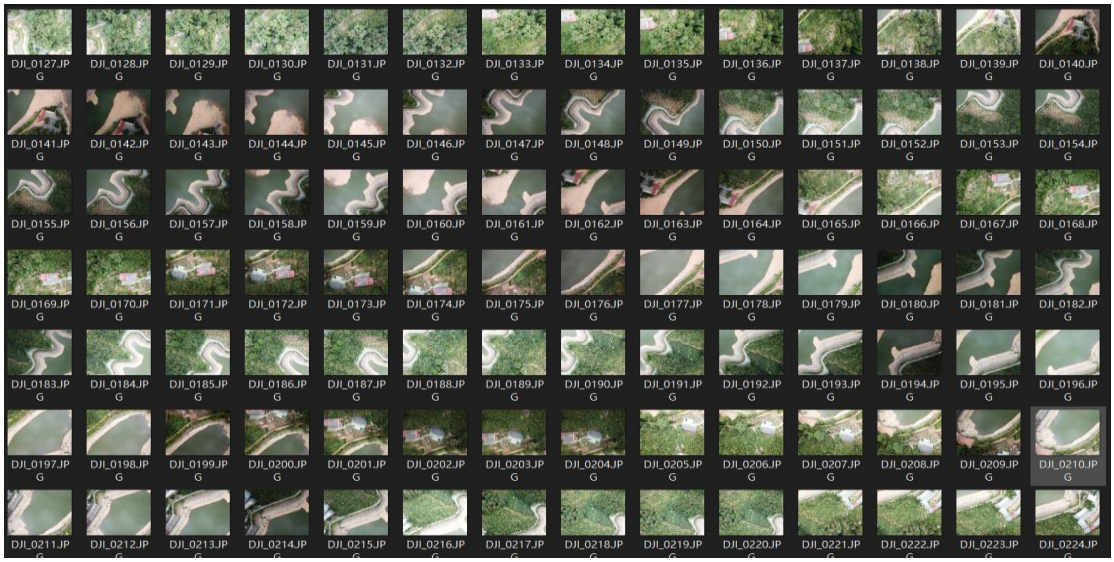


圖 4-44 光線不良、失焦及過度曝光之影像

(一) 頭社水庫 3D 建模成果

ContextCapture 是一個自動化軟體解決方案，以高解析度航空影像、計算機視覺與幾何計算演算法等基礎之下，可由高解析度影像進行三維資訊重建。將從不同角度所拍攝的連續照片及相機參數匯入 Bentley ContextCapture 軟體中，並可自動獲得高分辨率的彩色三角網格資訊，而三角網資訊並可以輸出各種 3D 格式 (迅聯光電)。

本次外業調查利用 DJI 無人機規劃頭社水庫拍攝作業，規劃飛航作業範圍約 10 公頃，設定飛行航線約 15 條，藉由起迄點位置、重疊率 (設定 60%)、飛航間距、飛行速度、GPS 時間、飛行位置、相機焦距、姿態、拍攝俯仰角等參數資料，利用 Bentley Context Capture 製作 3D 模型，頭社水庫各空中取像位置如圖 4-45 所示，其控制點位置如圖 4-46 所示。

在資料匯入 Bentley Context Capture 軟體後，其照片具有空間 (X, Y, Z) 座標資訊，軟體會自動導入相機參數，設定空三平差所需名稱及定位模式後，經由計算即可檢視匹配點資料，再進行 3D 建模作作業。設定欲呈現 3D 數位模型之空間座標系統、興趣範圍(Region of Interest)及分幅(Tiling)等資訊 (圖 4-47)、輸入控制點資訊、檢視匹配點 (圖 4-48)、三角網格數、網格材質拼貼、背面剔除等設定 (圖 4-49)，初步由軟體之預設值進行模型建置 (圖 4-50)。在第一次建置 3D 模型時，由於水庫水體會造成相機拍攝時反光、散射及無參考點等情況發生，其在初步模型建置時即呈現庫區水體高程異常之現象 (圖 4-51)，因此對於水面之高程異常，利用現場量測地型資料進行地面高程修正(圖 4-52)，其修正之成果如圖 4-53 所示。

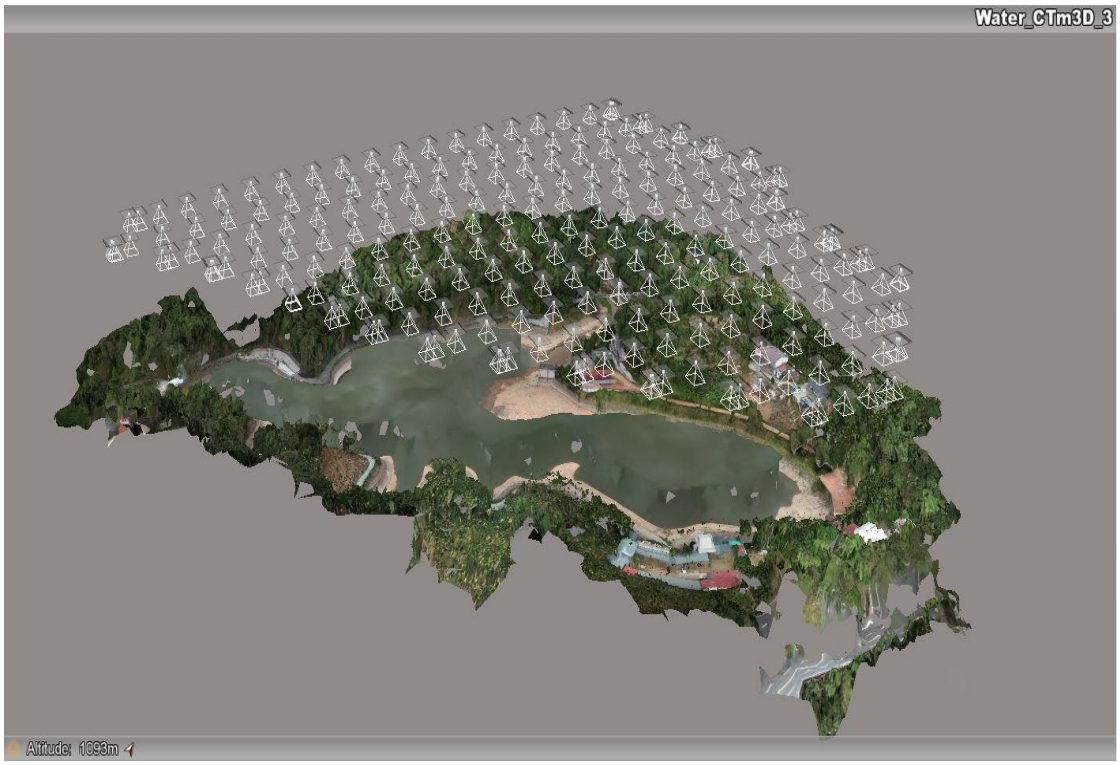


圖 4-45 頭社水庫取像位置

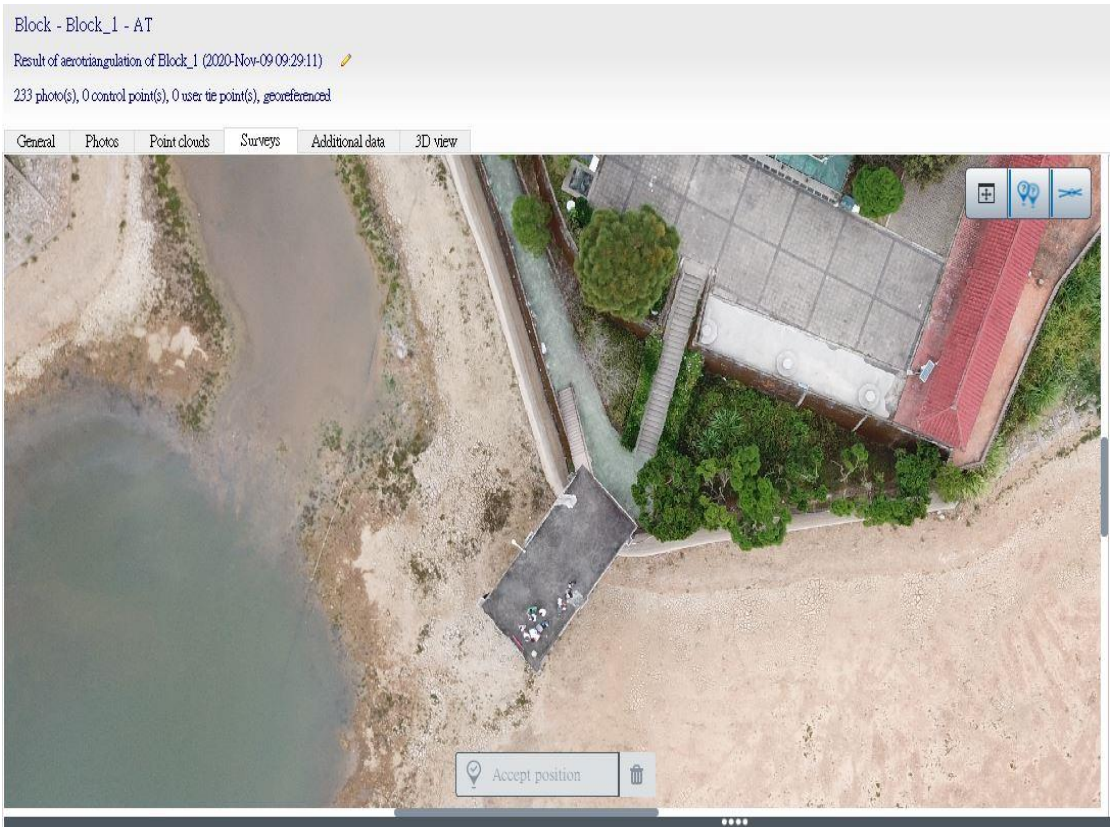


圖 4-46 頭社水庫控制點位置

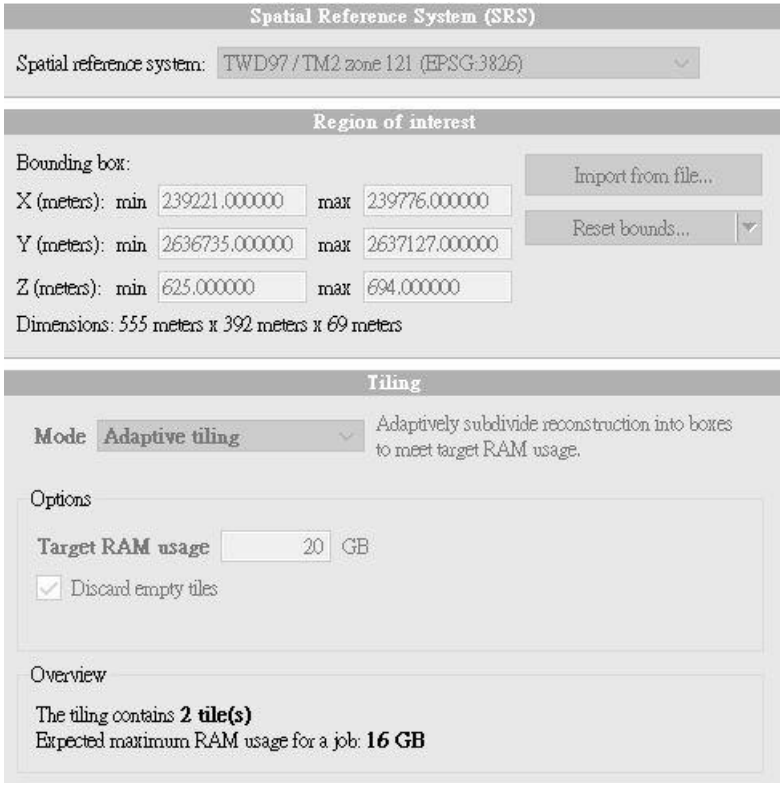


圖 4-47 空間座標系統

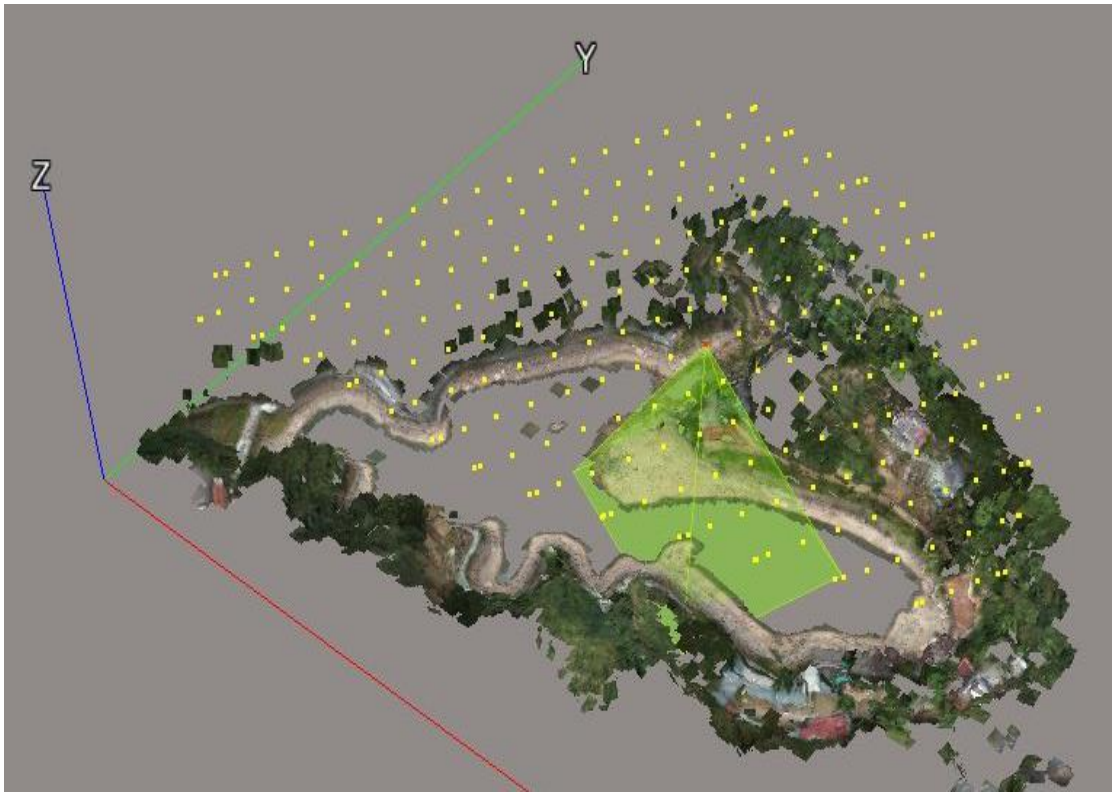


圖 4-48 檢視匹配點

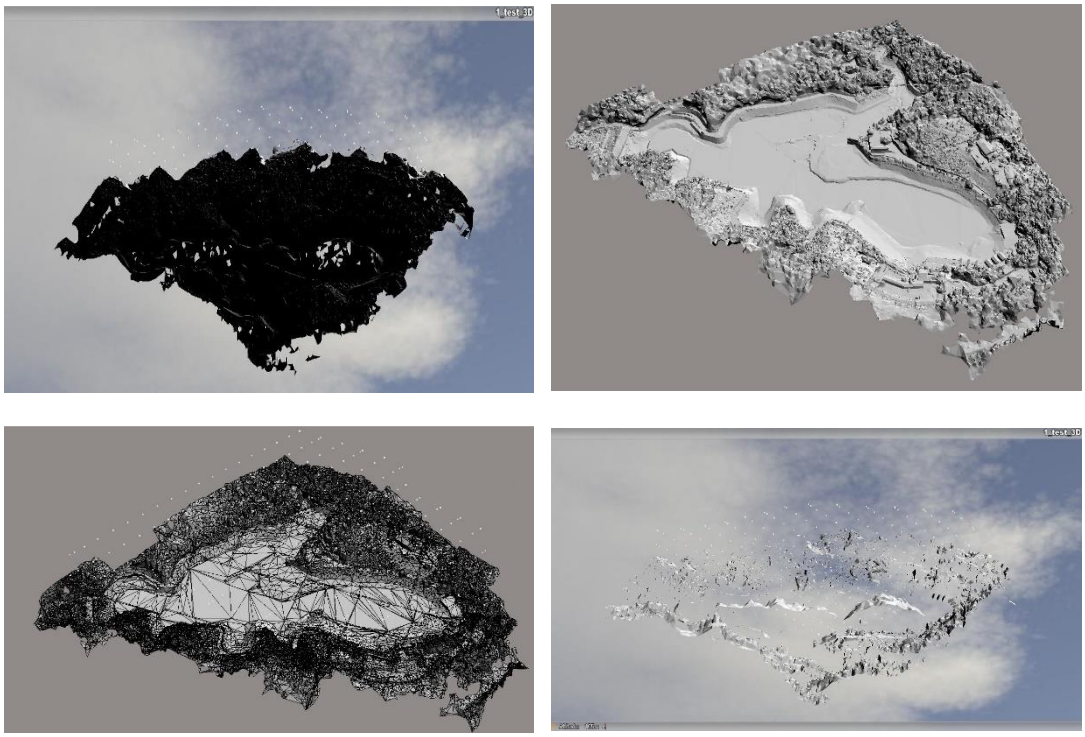
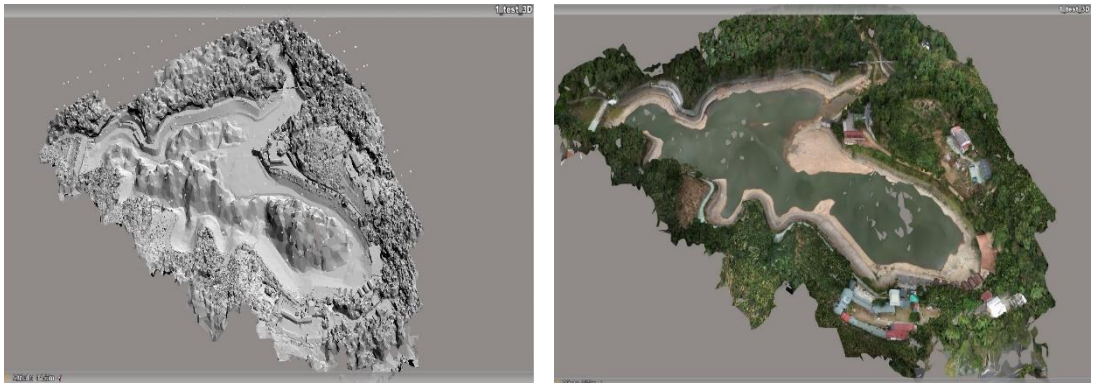


圖 4-49 數位模型之三角網格、背面剔除、材質拼貼



圖 4-50 3D 軟體預設建置流程



未拼貼材質　　已拼貼材質 (blockwise color)

圖 4-51 未修正水庫水體高程之 3D 模型

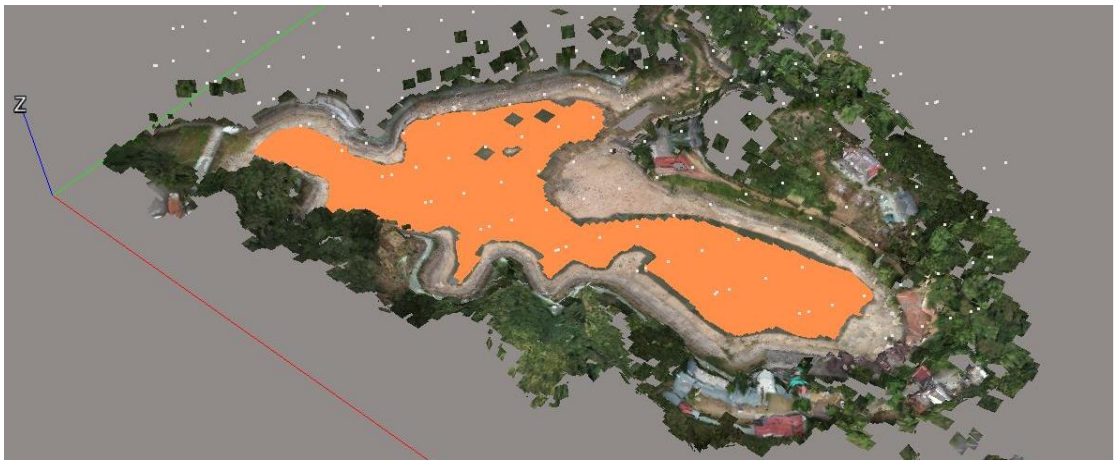


圖 4-52 庫區水面高程修正



圖 4-53 頭社水庫 3D 模型建置成果

(二) 頭社水庫 Deeper Pro 水深調查成果

使用 Deeper Pro 量測頭社水庫水深及水下地型作業，本次量測作業範圍為水庫右側區域約 4 公頃，利用 UAV 掛載水深聲納測量球並規劃飛行航線，在配合 UAV 進行水深量測時需平穩飛行，且 UAV 距水面太近會擾動水面波動影響儀器測量精度，因此在量測時，規劃由左至右三條航線、由上至下 8 條航線 (圖 4-54)，並重複量測至少三次以減少水面波動所造成量測誤差及 GPS 位置失準等誤差。另外由於水深聲納測量球與智慧手機之連接距離太遠時，會導致儀器訊號丟失情形，因此量測時亦需先測量最大量測距離以減少無訊號回傳誤差。

本次聲納量測點位共計 10,375 筆，其資料包含 WGS84 格式之座標及量測點位高程資料，剔除 GPS 失訊、儀器連線異常及 GPS 偏移過大之點位，有效點位共計 1,778 筆點位資料 (圖 4-54)，後續作為水下地型建置使用。另外由於 Deeper Pro 所使用之聲網掃描角度為 40°至 60° (Wide beam scanning)及 10°至 20° (Narrow beam scanning)兩種模式，因此，其回傳地形範圍會有所不同，以水下 15 米測量深度為例，聲納掃描以 40°計算，則可以得到掃描範圍為直徑 10.8 米，若以 60°計算，則可以得到掃描範圍為直徑 15.8 米，因此若欲取得較精確水下地形資料而言，建議使用 Narrow beam scanning 模式。

利用所量測水深資料於室內作業配合 Matlab 繪製點位、等高線及水下地形等圖。先以 contour (x,y,z) 功能繪製水深測量點位及等高線圖 (圖 4-55)，以 convhull (x,y) 功能則是將三維空間中所有散佈點位以最小面積連線將其包覆在內，而後繪製二維水深平面圖所圖 4-56，水下地型則是以 Mesh (x,y,z) 功能則是依據座標點位及高程資訊繪製立體網狀圖，其繪製今果如圖 4-57、圖 4-58 所示。



圖 4-54 航線規劃及聲納測量範圍

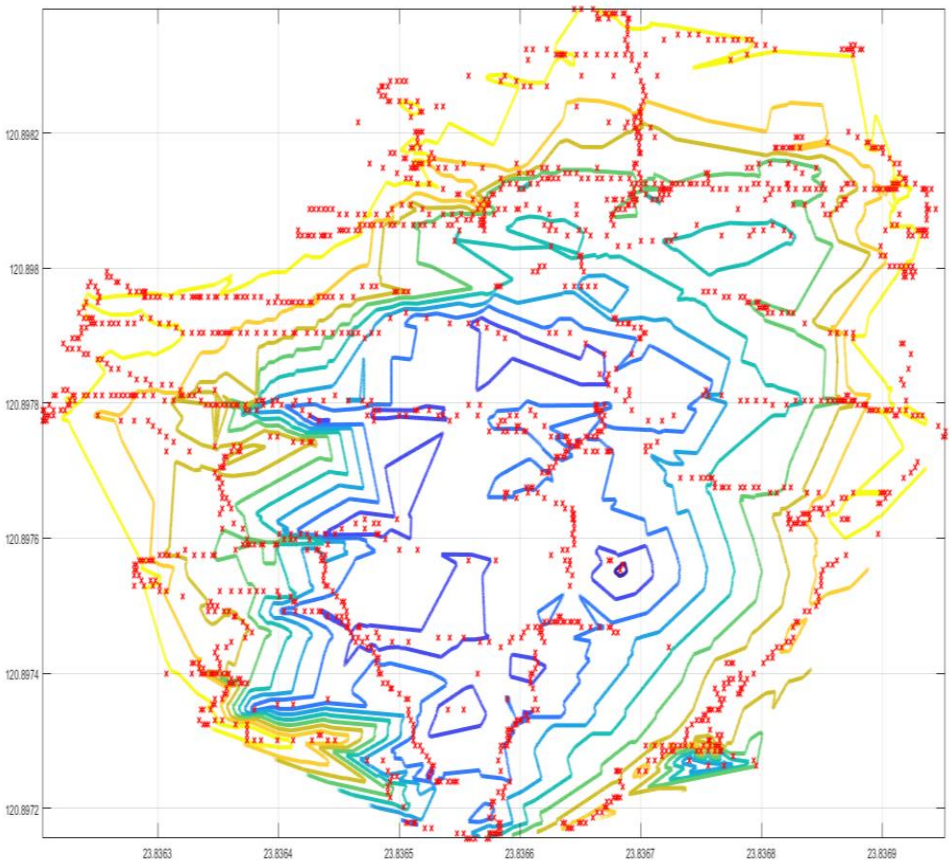


圖 4-55 水深量測點位置圖

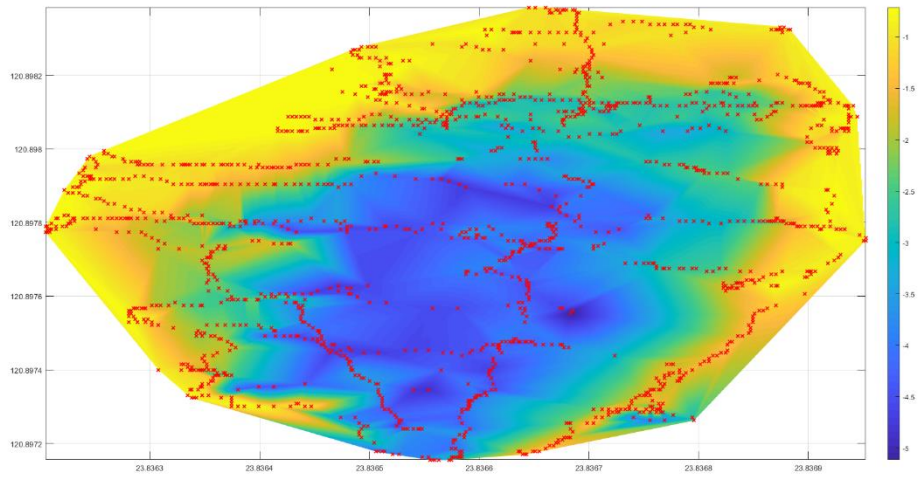


圖 4-56 頭社水庫二維水深平面圖

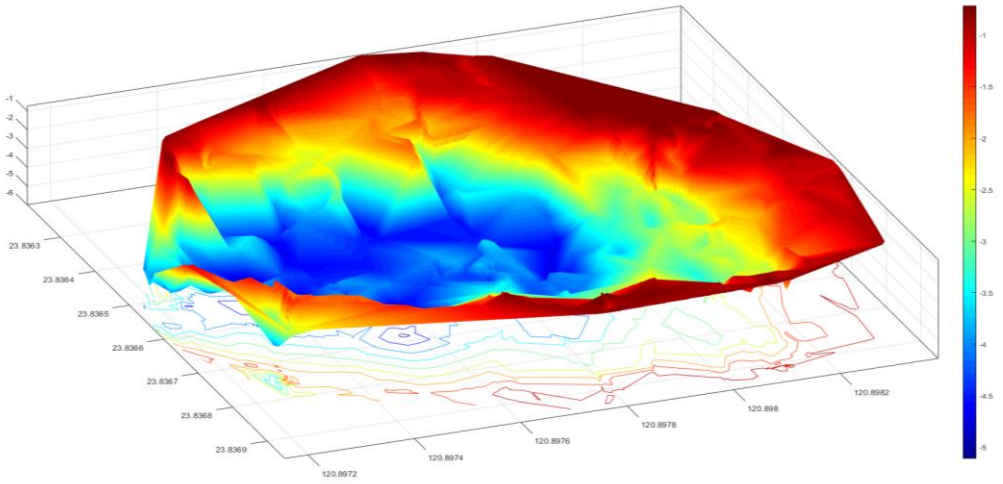


圖 4-57 頭社水庫三維水下地型俯視圖

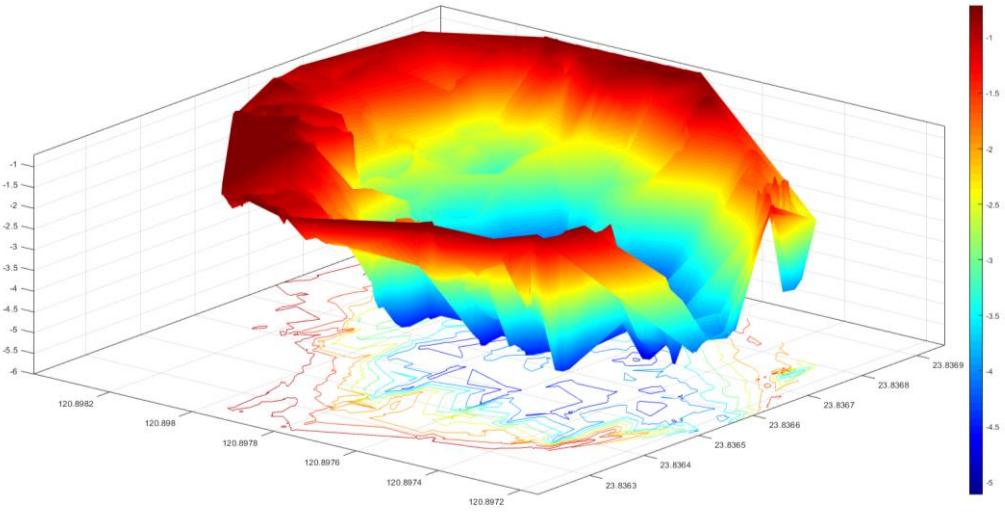


圖 4-58 頭社水庫三維水下地型側視圖

四、評估與建議

本次頭社水庫構造物 3D 模型建置及 DeeperPro 聲納探測器與 UAV 掛載水深量測作業，目前由於民生公共設施部分有專責管理機關，除了 UAV 飛航活動需事前於民航局遙控無人機管理資訊系統專區申請活動等相關事項外，對於民生公共設施部分之調查作業，建議事項行文相關管理單位說明調查作業之目的，以不防礙民生公共設施運作為主。

在水深聲納探測方面，由此次調查成果可知，Deeper Pro 於現調可快速提供水深及水下地型資訊，但由於其原始資料呈現方面為剖面帶狀地型構造方式，對於後續分析作業較為不便，因此仍需室內作業處理後，可以得到精度較高之數值水下地型。

本次外業調查提出建議事項如下：

(一) 使用無人機進行現場調查，可大幅減少人力，但於事前作業需依民航局相關規定辦理，對於「活動區域範圍」以紅、黃、綠三色標示禁飛、限飛及合法活動的區域，在調查區域需特別留意紅黃區之禁飛及限飛事項。

(二) 利用 Bentley Context Capture 建置 3D 數值模型時，以往調查區域大都為坡面土砂災害事件，並無水面拍攝異常資訊如反光、散射及無參考點等影響，建議後續如有水面拍攝作業時，需特別記錄水面高程資訊，以作為模型建置修正使用。

(三) 利用 Deeper Pro 聲納測量球建置水下地型時，由於本次調查配合 UAV 掛載使用，UAV 與水面距離不宜過近，以減小水面波動影響儀器量測誤差，且飛行速度不宜過快，以免儀器訊號丟失及 GPS 位置失準等情形出現。

(四) 使用 Deeper Pro 水深聲納量測資料產製 DEM 時，需注意由於聲納預設為 wide beam scanning 模式，因此需獲取較精確之水下地形資料，建議使用 narrow beam scanning 模式。

(五) 頭社水庫 3D 模型建置成果，請詳參 https://tech.swcb.gov.tw/3D/20201107_TS_Reservoir/APP/#%2F

第五章 氣候變遷下日本河川及土砂防災對策

第一節 前言

全球受到溫室效應導致氣候變遷，極端事件發生頻率與災害強度增加，其中降雨延時與強降雨之降雨型態變化，形成複合型土砂災害事件，包含淺層崩塌、土石流、深層崩塌、堰塞湖、洪水等多種災害型態，在時間、空間及其因果關連的交互作用下，不同於過往單一災害事件型態，其影響範圍及規模不斷放大；再加上海平面上升、颱風強度增加、豪雨與乾旱發生頻率增加、融雪增加等情況，造成暴潮及海岸侵蝕、大範圍洪水災害、土砂災害劇烈化與缺水危險性增大等現象，使得國土保育及人民生命安全遭受巨大威脅，造成國內河川及土砂防災治理上必須面對更加嚴峻之考驗 (圖 5-1)。

由於氣候變遷為長期環境交互循環影響，因此，瞭解目前氣候變動趨勢及國外防減災調適對策制定方向，有利於建立國內減緩及調適策略作為。本研究蒐集日本近期氣候變遷相關研究與報告，研析其因應作為、災害風險評估、調適策略制定、防減災對策等整合及應用方式，同時重點摘錄氣候變遷情境預測、土砂災害特徵、調適策略制定方向及措施等，俾作為國內推動防災對策之參據，期能降低氣候變遷所導致之災害風險，強化整體防救災調適能力，精進河川及土砂防災對策，並建立坡地智慧防災。

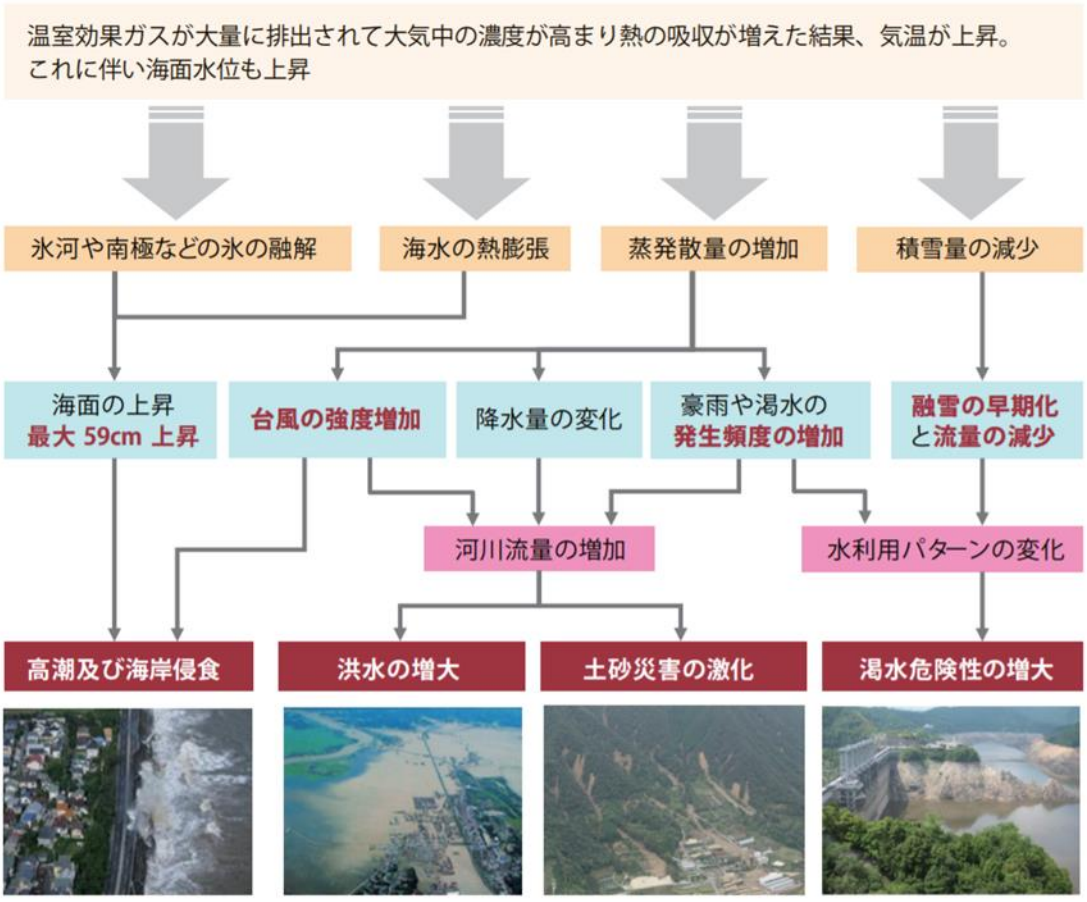


圖 5-1 溫室效應影響下各類型災害之威脅 (國土交通省河川局，2010)

第二節　氣候變遷情勢推估

國內外已有許多研究針對氣候變情勢進行相關研究，本節蒐集目前日本相關文獻資料，整理各領域災害所面臨之課題，而後在氣候變遷情勢推估中，藉由歷史觀測資料、分析趨勢、模擬情境資料、氣候變遷對降雨量變化率、未來氣候變遷趨勢、近年土砂災害課題等研究，以了解氣候變遷的變化，如全球氣候變遷所引發升溫情境、極端高溫、降雨型態變化、水資源匱乏、海平面上升、極端氣候事件等衝擊，探討氣候變遷情勢。

一、國內外氣候變遷相關研究報告蒐集與彙整

本節將所蒐集文獻內容，針對有關氣候變遷對河川及土砂影響等進行彙整，以瞭解目前氣候變遷下相關各領域所面臨之衝擊課題，並綜整如表 5-1 所示。

表 5-1 氣候變遷各領域面臨課題

文獻名稱	年份	領域	氣候變遷之衝擊課題
水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申) (日本國土交通省社會資本整備審議)	2008	**洪水災害**	受到降雨量變化及豪大雨發生頻率增加影響，使防汛安全存在潛在損失。
		土砂災害	隨雨量變化及豪大雨發生頻率增加，使得崩塌、地滑災害等風險增加，致使土砂災害更嚴重。
		暴潮、海岸侵蝕	受海面上昇及颱風強度增加，引發暴潮水位增加及海岸侵蝕問題。
		水資源匱乏	受到枯水期越枯、豐水期越豐之影響，用水標的需求程度變化，使乾旱危險性增加。
		河海**環境變化**	河川流量減少、泥砂量變化、海水位增加、水溫增加所引起的環

			境改變課題。
気候変動下における水・土砂災害適応策の深化に向けて (日本學術會議 土木工學・建築學委員會)	2011	災害外力增大時之**調適策略演進**	1. 因應災害現象變化，建立新防災技術系統 2. 地域調適策略的檢討與實踐的提升 3. 巨大災害對世界經濟影響之研究 4. 國家、社會、經濟結構等綜合檢討及研究系統之建立
		水、土砂災害調適策略的精進	1. 製作調適對策年報 2. 基礎技術研究的精進 3. 組織間問題意識整合及研究精進 4. 國際合作與國內對策的融合，及因應育成相對人材培育
国土交通省気候変動適応計画-気候変動がもたらす我が国の危機に総力で備える (國土交通省)	2015	水災	1. 超過設施承受度的水災發生頻率增加 2. 發生頻率較低，但外力(如豪雨、暴潮等)明顯超出設施承受度
		土砂災害	1. 短時間強降雨增加，土砂災害發生頻率增加 2. 突發性的局部強降雨造成土砂災害增加，並縮短警戒避難的時間 3. 颱風等造成深層崩塌等災害會因颱風降雨量破紀錄而增加土砂災害
水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～(答	2015	水災	1.災害外力導致相對發生次數較高水災之防止問題 2.檢視及改善現有治水防洪工程，如壩體加高、排洪道增加等來強化防洪功能 3. 確實進行設施維護和更新，確保功能正常 4. 確保水閘門正常運作及操作人員安全，並著重於自動化及遠

申) (日本國土交通省社會資本整備審議)			端控制功能發展 5. 為促進綜合土砂管理，應建立一個有效的組織架構，使流域內的相關單位能有系統地持續合作。
		土砂災害	1. 豪雨及短時間強降雨發生頻率增加將增加土砂災害發生頻率 2. 快速發展的積雨雲等突發性、局部性強降雨增加，預警疏散的時間縮短，土砂災害發生增加 3. 颱風強度增加，致使總降雨量超過 1000 mm 強降雨記錄頻率增加，將引發生深層崩塌等超過計畫規模的土砂移動事件 4. 降雨頻率的增加，使土石流於流域邊界發生溢流且發生在河谷地貌不明顯地區頻率增加 5. 由由於颱風造成風倒和土砂移動現象頻率增加、規模擴大，導致漂流木伴隨土砂流出之災害發生頻率將增加
大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～(答申) (日本國土交通省社會資本整備審議)	2018	水災	1. 超出既有設施防災能力之災害事件，如大量降雨造成廣域淹水及土石流事件發生 2. 眾多因素造成水災災害發生，例如迴水現象、土砂和洪水造成河川氾濫及區域淹水等 3. 氣候變遷引起的強降雨增加趨勢明顯化
		避難撤離	1. 逃生不及導致大量人員傷亡，由於周遭地區已處於危險之中，或是撤離時災難已發生，因而無法順利避難或逃生
		防洪設施的運	1.在一定規模下的豪雨時，堤壩、下水道、抽水機、水閘門等設施

		作資訊	能確保區域之安全，但居民沒有充分認知到，當超過防洪設施承載能力時，會造成危害及損失。 2.在此種情況下，居民並不知道該處區域的風險狀況與防洪設施的運作狀況，因此沒有引起居民防災避難的緊迫感。
		廣域的災害	1. 派出人員到多個地方整備局協助災害緊急應對，但由於情報有限，無法適切對人員及資源等進行分配規劃 2. 受限廣域災害區域，災害初期很難具體掌握整體情況，並即時採取行動，例如進入私人土地清理淤砂、漂流木等
近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について(答申)(日本國土交通省社會資本整備審議)	2020	土砂災害預警區域	1. 在土砂災害警戒區必須建立/維護預警避難系統 2. 某些發生土砂災害地區未達到被指定為土砂災害警戒區 3. 目前土砂災害警戒區的指定標準需再研議 4. 居住於土砂災害警戒區之民眾，尚無意識到土砂災害潛在危險與損失之防災意識
		防災地圖	1. 在完成土砂災害警戒區之指定後，但尚未完成防災地圖，致使民眾無法意識到居住區域危害風險，同時缺乏對防災地圖之認知。
		土砂災害預警情報	1. 土砂災害預警發佈市村町與實際發生災害市村町其誤報率過大，正確性仍有待改善 2. 發布預警後，仍未到達危險降雨量 3. 雖已達到危險降雨量，但並未發生土砂災害，且距實際發生土

			砂災害仍有很長時間 4. 災難已發生，且經過很長時間，但不知道期間之危險度變化情形
		警戒避難系統	1. 夜間發出警戒避難情報，市町村難以做出避難勸告的建議。 2. 居民不瞭解土砂災害的危險性，可能不採取避難疏散行動，顯現防災教育上仍有許多不足。 3. 地方政府間對於推展防災活動並不一致。 4. 由於水災和土砂災害是同時發生的，因此很難掌握土砂災害的發生資訊，提升土砂災害發生預測的技術，包含災害發生時間等重要資訊。
大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について～社会意識の変革による「水防災意識社会」の再構築に向けて～(答申) (日本國土交通省社會資本整備審議)	2015	水災	1. 河川管理者所提供的防災情報不易理解且說明不足，市町村、居民等對於水災風險認知和準備不足，在緊急情況下無法做出適切的判斷及行動。 2. 在河川整備開發中，除了考慮上下游平衡外還要考慮財政負擔，因此，在堤防整備不完整的地方將很難快速解除其高氾濫的危險性。 3. 在氣候變遷影響下，過往在河川內設置確保洪水順利排洪措施，能減輕多少損失是有限的。
		防災與避難疏散工作	1. 在大範圍的避難疏散工作如果沒有事前充分準備，一旦發生大規模氾濫導致大量人員需疏散，可能無法即時撤離。 2.防救災人員負責各種不同的防災任務，但防災人員不一定有足夠的專業知識，近年來防救災工

			作其數量和品質上不斷增加，將造成防災人員無法適當地執行防救災工作。
中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について(答申) (日本國土交通省社會資本整備審議)	2017	機關間合作的基礎軟體對策	1. 在中央管轄河川中，由減災對策委員會研討所採用的措施已實施並有成效者，建議在地方政府管理河川中進行同樣的防減災措施。
		提供及分享情報以進行避難	1. 在緊急情況時，河川管理者的情報可能無法即時傳達給市町村長，因此發生是否確實發佈避難警報的問題 2. 對於未指定河川警戒水位的河川，無法提供發布避難疏散等的支援決策情報
		確保河川管理設施的功能	1. 由於少子化、高齡化等人口減少及當地社區變化等因素，未來恐造成河川管理設施之操作人員斷層或缺少人力操作
		相應災害風險的土地適切利用	1. 以確保安全的觀點，對於發生洪水氾濫之地區，其沿岸設施、建築年齡、被害情況等因子，由於災害風險地區之土地並不一定能有最大適切使用，應考量災害風險，作相應之土地使用。
		中小河川的治水對策	1. 考慮上下游整治及財政資源限制，其维護水準並不高，再者，由於局部地區暴雨增多情況，導致很多地區的洪水災害超過現有設施的防護能力。 2. 對道路、鐵路與農田等造成極大破壞，不僅延誤復原時間和重建規劃外，甚至影響受災地區以外地方。
		對地方政府的	1. 都道府縣所管理的河川數量眾多，且治理長度較長，由於地

		支援	方政府職員數量減少及經驗不足情況下，如發生廣域性災害，則可能對災害應對造成障礙，如情報收集與提供等。另外根據災情的不同，地方政府可能難以快速展開復原工作。 2. 由於防災人員數量減少及人口老化，弱化市町村等防災組織的防災系統，造成地方防災應對能力下降。
地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引 (國發會)	2018	土砂	1. 降雨強度增加，導致坡地災害風險提高，直接衝擊山區道路、聚落安全、山區觀光與產業，以及高齡化人口與醫療資源缺乏之防災弱勢族群。 2. 降雨不均將影響土壤保水能力，進一步危及水土環境永續與安全
臺灣氣候變遷科學報告 2017 — 衝擊與調適面向 (國家災害防救科技中心，童慶斌主編)	2017	坡地災害	1. 極端降雨頻率與強度可能增加的趨勢，臺灣的坡地災害風有逐漸提高的趨勢。 2. 氣候變遷影響下，對於坡地災害之風險，其土砂量衝擊、土石流潛勢溪流數量等皆有影響
		淹水災害	氣候變遷衝擊下，部份河段有河道溢堤或出水高不足之情況，並影響部份地區淹水與洪水氾濫風險，有明顯增加趨勢。
		乾旱災害	降雨量減少與不降雨延時長，發生旱災的機率增加，因此呈現豐水期降雨增加，枯水期降雨減少的情況，將不利農業、工業及民生用水供應。
106 年度氣候變遷下大規模崩塌防減災計	2017	坡地災害	1. 大規模崩塌危險區域判釋及評估 2. 大規模土砂災害區治理與資

畫綜合管理(水保局，2017)			源運用 3. 實效性大規模崩塌防減災調適策略制定 4. 建立防災物聯網機制，以提供即時防災資訊傳遞 5. 提升民眾防災意識及自主防救訓練 6. 建立相關單位之橫向連結及跨域合作
國家氣候變遷調適政策綱領(行政院經濟建設委員會，2012)	2012	災害	1. 降雨強度增加，提高淹水風險及導致嚴重之水土複合型災害。 2. 侵台颱風頻率與強度增加，衝擊防災體系之應變與復原能力等。
		維生基礎設施	重要維生基礎建設(橋樑、道路、水利、輸配電及供水設施)因區位不同，受到豪雨、水位上升等災害類型及損失亦不相同。
		水資源	1. 降雨型態及水文特性改變，提高河川豐枯差異及複合型災害風險。 2. 氣溫及雨量改變，影響灌溉需水量、生活及產業用水量，使得水資源調度困難。 3. 河川流量極端化，河川水質亦受影響。
		土地使用	極端氣候影響，使環境脆弱與敏感程度相對提高，突顯土地資源運用的安全性與重要性等議題。
		海岸	海平面上升，原有海岸防護工程、景觀及資源遭受破壞，並造成國土流失等。
		能源供給及產業	1. 能源需求發生變化，可能無法滿足尖峰負載需求。 2. 各產業之能源成本與供應受衝擊。

			3. 企業之基礎設施受氣候變遷衝擊，引發投資損失或裝置成本增加等。
		農業生產及生物多樣性	1. 溫度升高，降雨量不足等，打亂作物生長期，農產品產量及品質面臨不確定性，危及糧食安全；漁業生產力亦受影響等。 2. 環境變化影響生態系原有棲地，造成生物多樣性流失等。
		健康	溫度上升，升高傳染性疾病流行的風險，亦增加心血管及呼吸道疾病死亡率，加重公共衛生與醫療體系負擔。

二、氣候變遷所面臨課題

由上述文獻所探討各領域所面臨的問題，如考慮氣候變遷對於河川及土砂災害之影響，由於降雨型態之轉變，短延時強降雨、廣範圍雲雨帶、滯流鋒面型降雨等為誘發坡地災害之原因，導致原先所設計防減災工程標準不足以因應不同降雨型態，所帶來之災害規模與衝擊，傳統防減災機制及治理工程無法有效因應，因此河川及土砂防災對策之制定需隨時更新與精進。有關氣候變遷對於河川及土砂防災相關課題，大致上歸納其重點如下：

(一) 極端降雨發生頻率提高：

降雨型態改變，大雨以上等級之降雨量增加，再加上短延時強降雨、滯流鋒面型降雨等型態變化，增加自然災害影響面積及災後復原時間。颱風規模與強度改變，導致總降雨量、最大風速與颱風半徑等影響範圍增加，使得硬體工程設施防護能力不足以因應。

(二) 災害規模及範圍廣大

受降雨型態改變影響，突發性土砂災害導致預警及疏散反應時間

不足，如大規模土砂災害或複合型土砂災害等，相關單位難以制定警戒值，其預警發布時間難以掌控，且受災範圍廣大及影響範圍廣大，致使相關單位制定的疏散避難計畫難以實行。

(三)　災害外力超越硬體工程設施防護能力

災害外力強度及發生頻率不斷增加，當發生現行硬體工程設施不足以因應災害外力時，其減災策略思考方向，除硬體工程設施之更新與改善外，更需搭配向居民提供警戒訊息、演練及避難等各項軟體措施，藉由防災訓練和防災教育等來普及民眾防災意識，並徹底通知民眾災害潛勢區及避難路線等資訊，以確保民眾能盡早遠離高風險地區。

三、氣候變遷情勢推估

根據 IPCC 第五次評估報告，目前全球溫化嚴重，全球平均氣溫在 2003 ~ 2012 年間比 1850 ~ 1900 年上升 0.78℃ (圖 5-2)，在未來預測情境下至 21 世紀末時世界平均氣溫將上升 0.3~4.8℃ (圖 5-3)，將使海平面水位上升 0.26 ~ 0.82 公尺，致使二氧化碳濃度增加、海水位上升、颱風劇烈化、乾旱與無降雨日數增加等氣候現象發生，在此情況下短延時強降雨發生次數將增加，則預估更劇烈降雨型態將提高災害風險，導致更多水、砂災害、暴潮災害、旱災等災害規模及強度增加情形。

日本氣象廳指出，目前日本時雨量超過 50 毫米的短延時強降雨發生機率為 30 年前的 1.4 倍 (平均 174 回上升至 238 回)，時雨量超過 80 毫米 (平均 10.7 回上升至 18.1 回) 及 100 毫米 (平均 1.9 回上升至 3.2 回) 都約為 1.7 倍 (圖 5-4)，顯示大雨日數增加，但與此同時，無降雨日數亦增加，而以北海道與東北地區等較少降雨地區，其發生豪雨事件機率增加，因此，依據未來受氣候變遷影響條件下，將

導致各類型災害發生次數及強度都將增加。

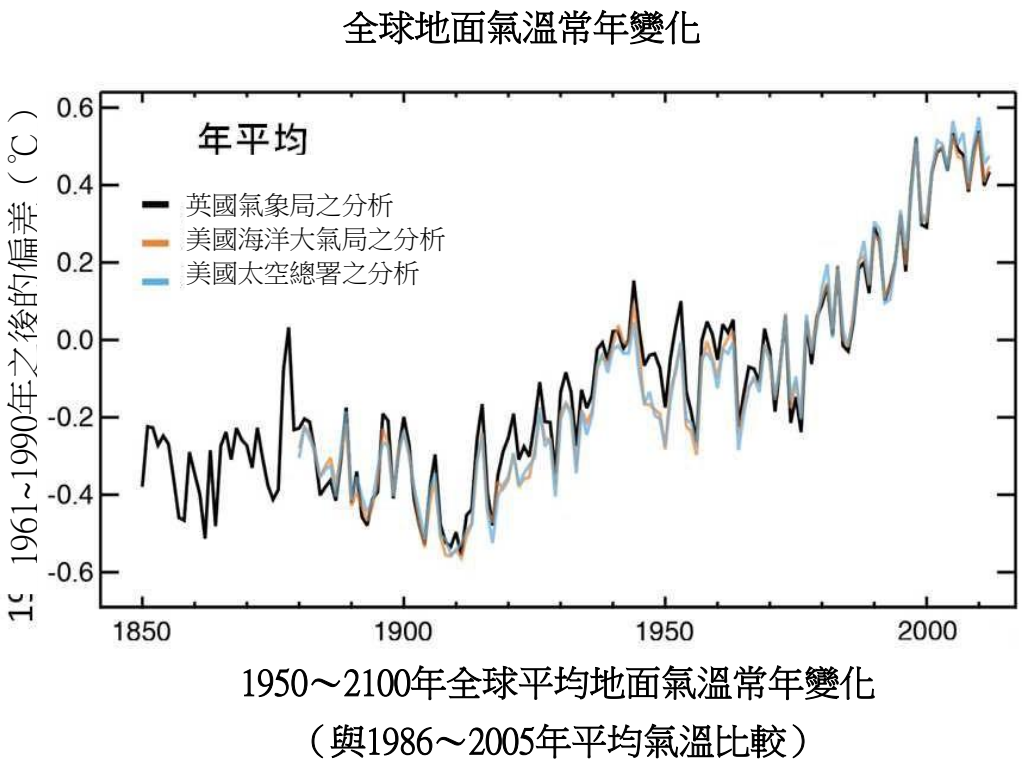


圖 5-2 未來氣候變遷趨勢-觀測溫度年平均值 (國土交通省，2019，気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)

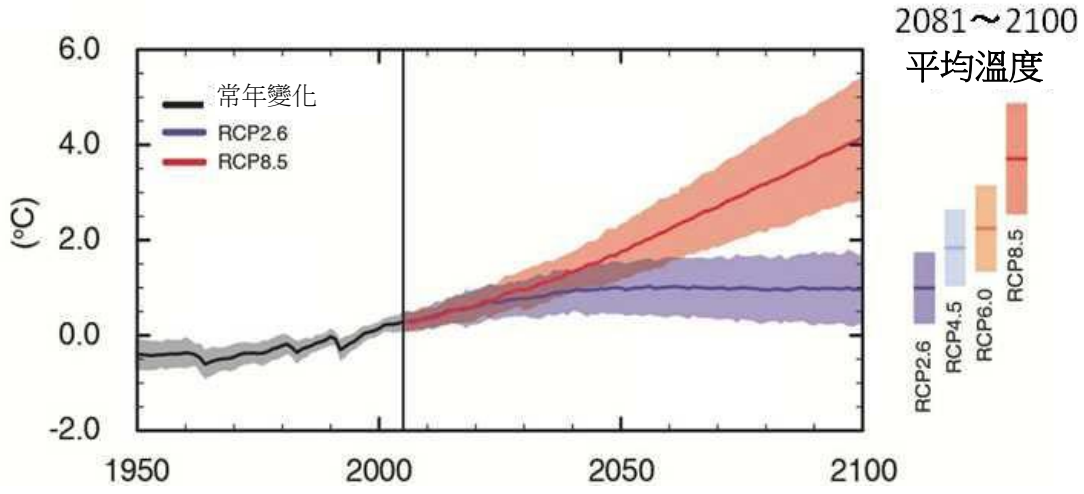


圖 5-3 IPCC-AR5 預測世紀末溫度變化趨勢 (國土交通省，2019，気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会)

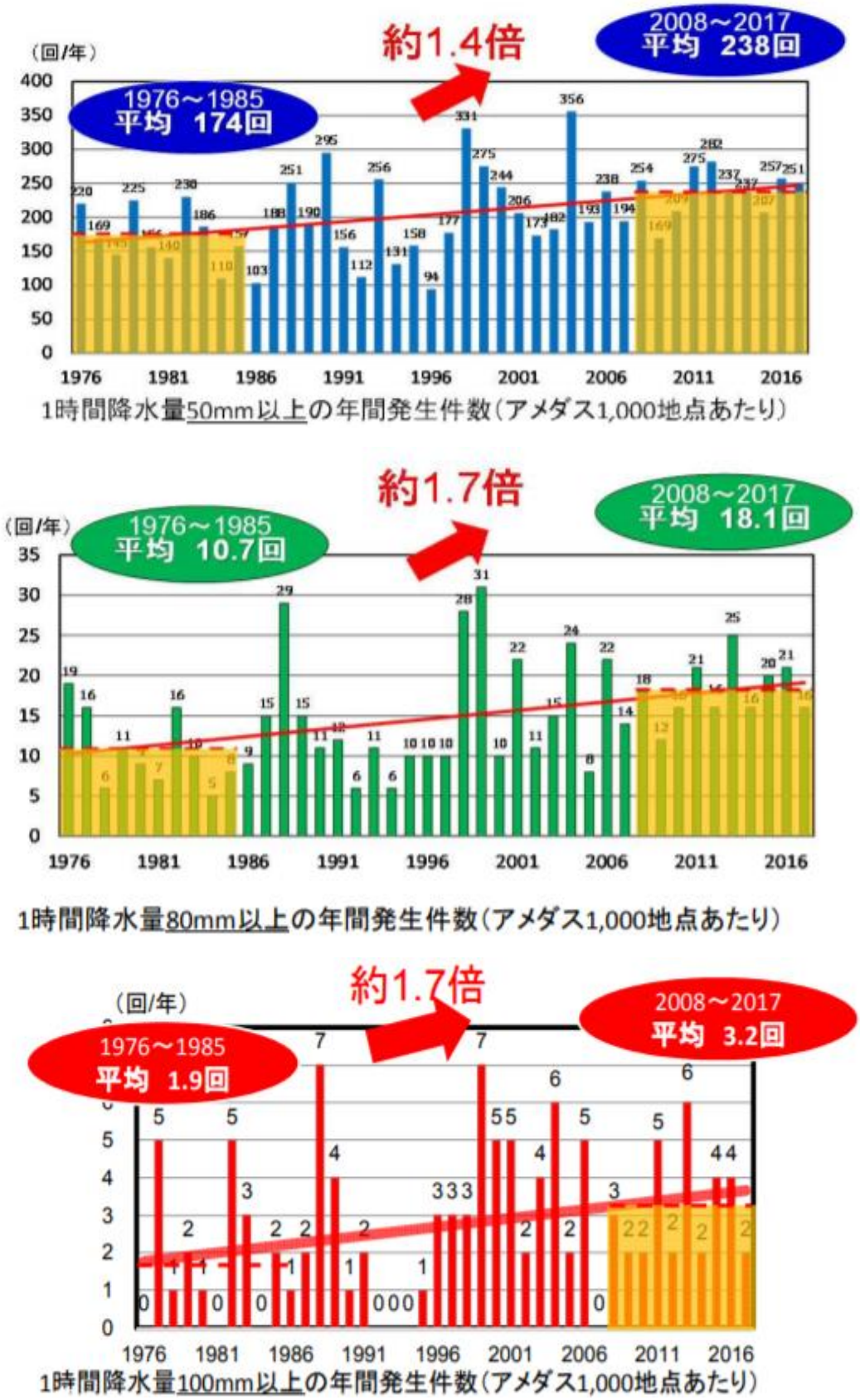


圖 5-4 歷史降雨量觀測值變化趨勢 (國土交通省，2018)

依據 RCP2.6 及 RCP8.5 情境下，未來受到氣候變遷影響，其降雨量可能增加 1.1 倍至 1.3 倍，而洪水發生機率可能上升 2 到 4 倍，意即在現在情況下 200 年一次洪水事件規模，在未來變成 100 年一次洪水事件規模，且發生次數將增加情況，而現行治水設施防護能力將不足以因應未來氣候變遷的治水安全度 (圖 5-5)。

＜気候変動による将来の降雨量、洪水発生確率の変化倍率＞

前提となる気候シナリオ	降雨量変化倍率 （全国一級水系の平均値）	洪水発生確率の変化倍率 （全国一級水系の平均値）
RCP8.5（4℃上昇に相当）	約1．3倍	**約4倍**
RCP2.6（2℃上昇に相当）	約1．1倍	**約2倍**

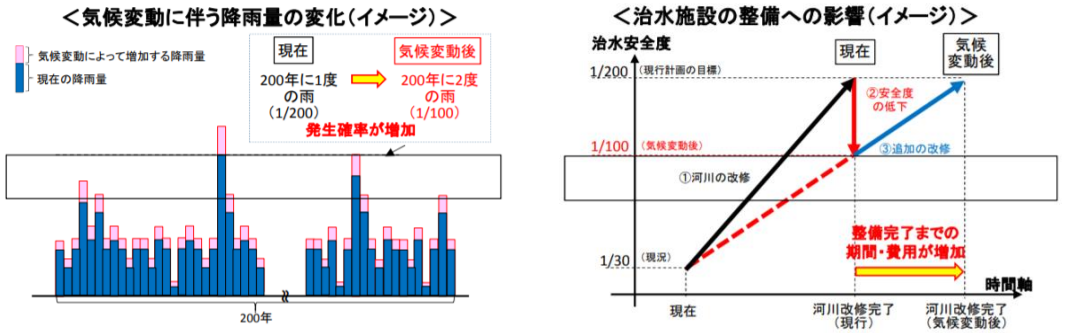


圖 5-5 未來氣候變遷下強降雨及洪水發生頻率增加趨勢 (國土交通省，2018，異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会)

在氣候變遷影響下，豪雨次數增加，相對使得河川氾濫發生情形增加降低防洪構造物安全性，雖然藉由水庫、河道行水區及河道疏浚等降低河川水位對策，但統計結果發現中央管理河川超過氾濫危險水位數目從 2014 年到 2018 年由 429 條增至 448 條，在都道府縣管理河川從 2014 年到 2018 年由 1559 條增至 1629 條，顯示受氣候變遷影響下超過河川氾濫危險水位之河川有逐年增加趨勢 (圖 5-6)。

對於海岸地區之影響，於 IPCC 預測海平面上升情況，以 RCP2.6 情境下為 0.29～0.59m，RCP8.5 則為 0.61～1.1m (圖 5-7)。因此在平常情況下受到氣溫上升陸地融雪增加、海水溫度上升海水產生熱膨脹等、黑潮路徑變動等影響下使得海水位上升。在海平面上升、沿岸漂砂收支變動、河川土砂供給量變動影響下等影響使得海岸線退縮。

在異常時 (颱風來襲及低氣壓時等天候狀況)，受到颱風中心氣壓降低及最大風速增加情形下，伴隨著氣壓降低使得海水面被往上吸、風勢捲動海水向中心靠攏等現象，將造成暴潮偏差增大。而受到颱風中心最大風速增大影響下，吹起更大波浪，使得波浪強度增大等影響 (圖 5-8)，對於海岸線沙灘地維護、防波堤設施設計等需考量未來氣候變遷外力之影響程度外，還需提升暴潮預測技術、劃定淹水潛勢地區及管制土地使用等方法，以適時調整因應措施。

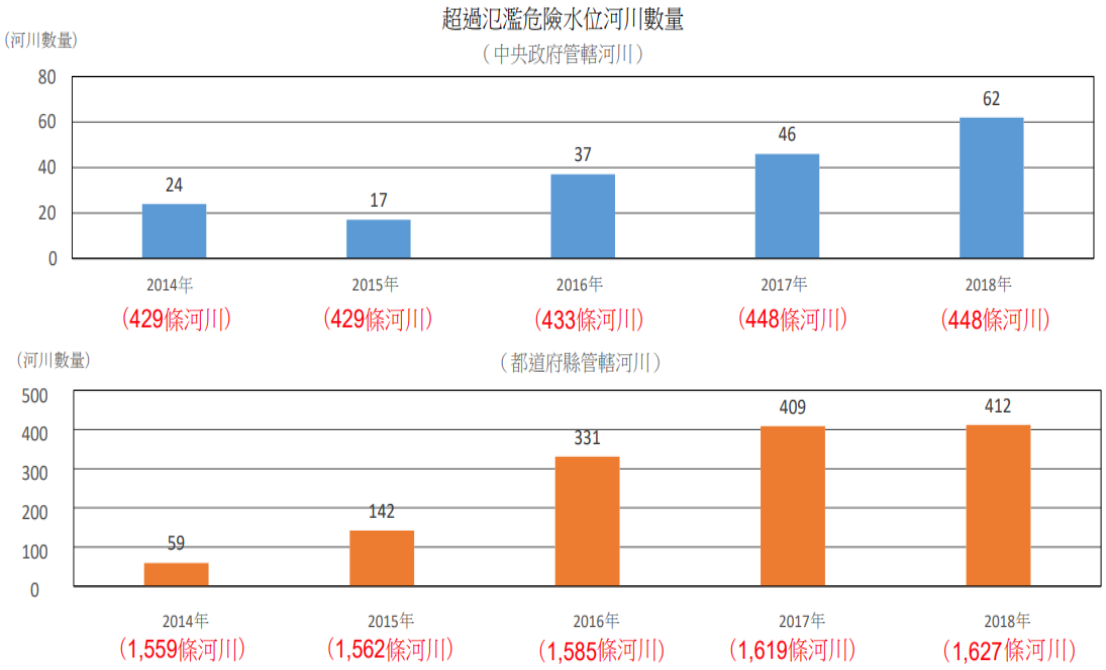
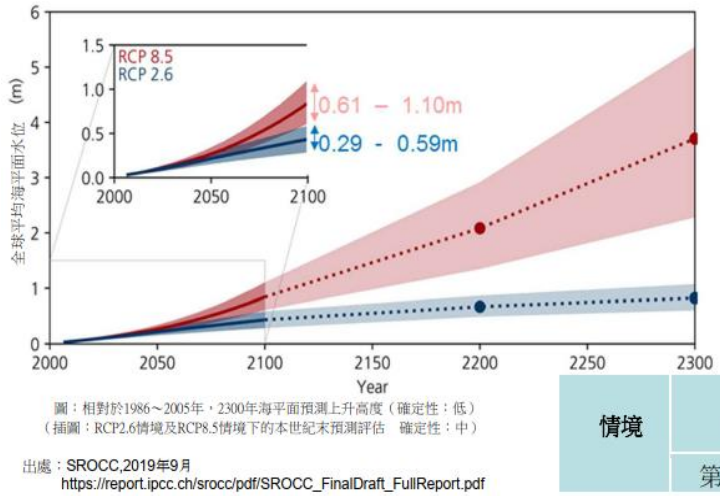


圖 5-6 超過河川氾濫危險水位之發生狀況 (國土交通省，2019，気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会)



圖：相對於1986～2005年，2300年海平面預測上升高度（確定性：低）
（插圖：RCP2.6情境及RCP8.5情境下的本世紀末預測評估 確定性：中）

出處：SROCC,2019年9月
https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf

情境	和1986～2005年相比，2100年海平面平均水位預測上升量 (m)	
	第五次評估報告	SROCC
RCP2.6	0.26-0.55	0.29-0.59
RCP8.5	0.45-0.82	0.61-1.10

圖 5-7 氣候變遷下海平面上升增加趨勢 (國土交通省，2020)

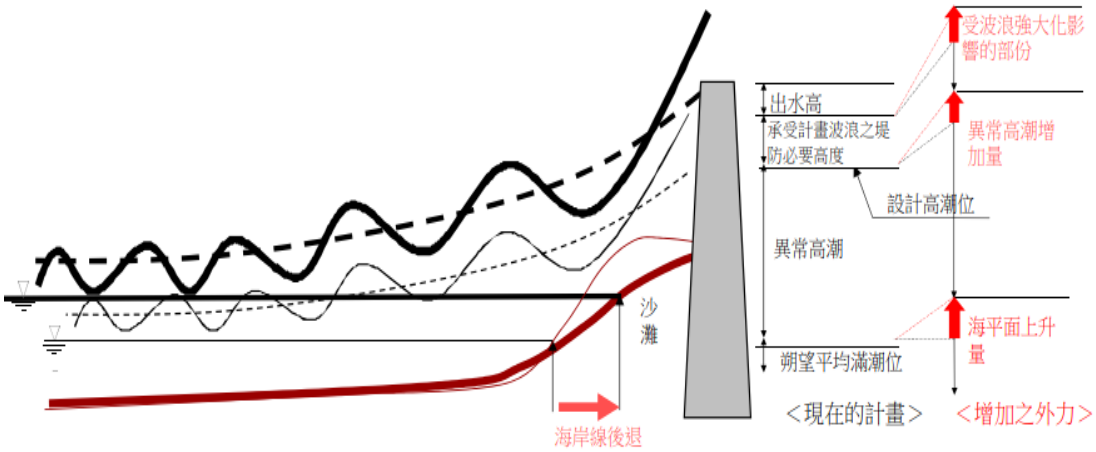


圖 5-8 未來海岸沿岸地區影響情況 (國土交通省，2020)

在氣候變遷影響下將造成土砂運動現象嚴重化並增加土砂量變化，由於降雨量增加形成多處山區崩塌發生，且河川流量增加更容易使上游產生土砂運移至下游，發生土砂與洪水氾濫。再者降雨量增加亦改變地下水位，使得深層崩塌、崩塌性地滑等災害潛勢升高。因此，氣候變遷影響導致崩塌所產生土砂往下游流出、深層崩塌、地滑、河道土砂堆積、土砂與洪水氾濫等災害發生 (圖 5-9)，有必要適時修正砂防事業計畫，並定期檢討未來氣候變遷影響下流量、土砂量等定量演算方法 (圖 5-10)。

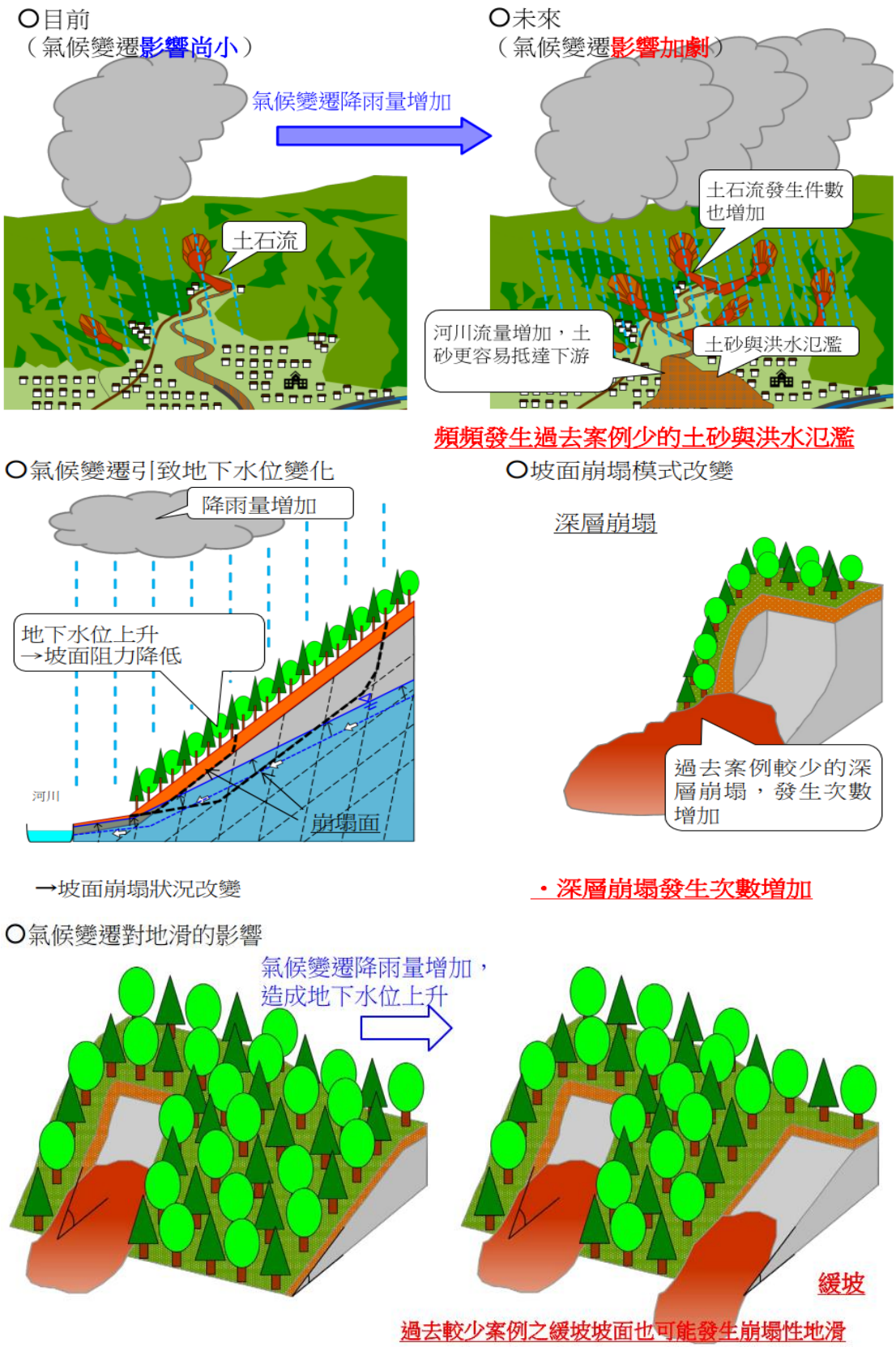


圖 5-9 氣候變遷引致土砂移動現象嚴重化 (國土交通省，2020)

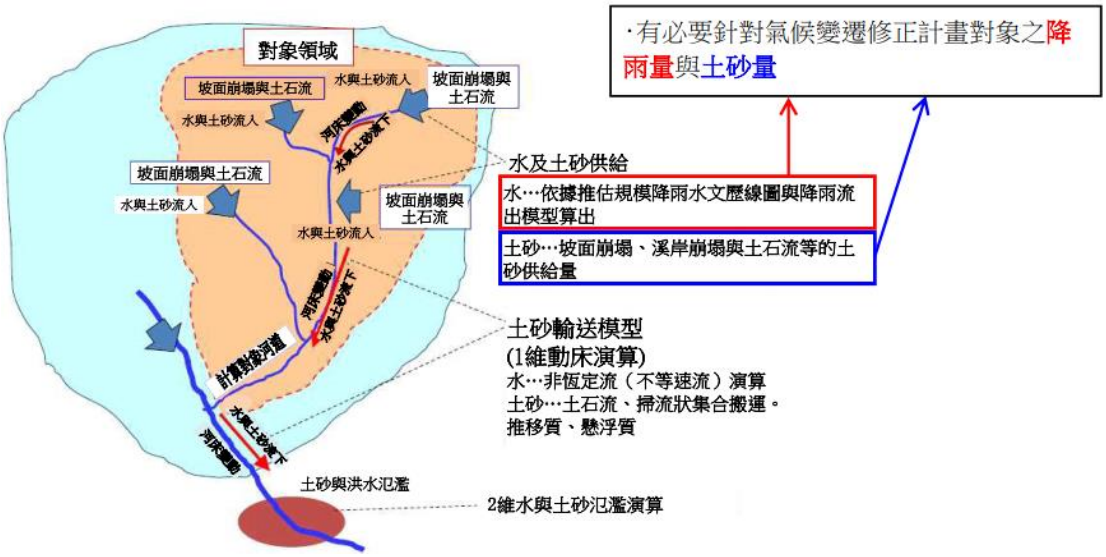


圖 5-10 氣候變遷影響下土砂量增加 (國土交通省，2020)

第三節　近年土砂災害特徵

根據日本土砂災害防止法(砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令，平成十三年政令第八十四号)，土砂災害的定義係包含陡坡崩塌 (坡度 30 度以上之坡面崩塌的現象)、土石流 (山腹崩塌所產生土石或溪流內之土石等與雨水混合後流動之現象)、地滑 (土地局部因地下水等原因，導致滑動的自然現象或伴隨產生移動現象)，或河道阻塞形成堰塞湖導致迴水 (土石等阻塞河道、造成上游水位昇高現象) 等自然現象；其中土砂災害防止法中亦規定，日本政府需針對陡坡崩塌、土石流及地滑等三種土砂災害潛勢地區，依現地基礎調查結果，分別劃設土砂災害警戒區(黃區)及土石災害特別警戒區(紅區)(圖 5-11)。而上述土石流、陡坡崩塌、地滑及河道阻塞淹水等造成之土砂災害，因其發生時間難以預測，且其土砂移動現象快速，因而造成嚴重人命傷亡及財物損失 (日本內閣府，2015)。

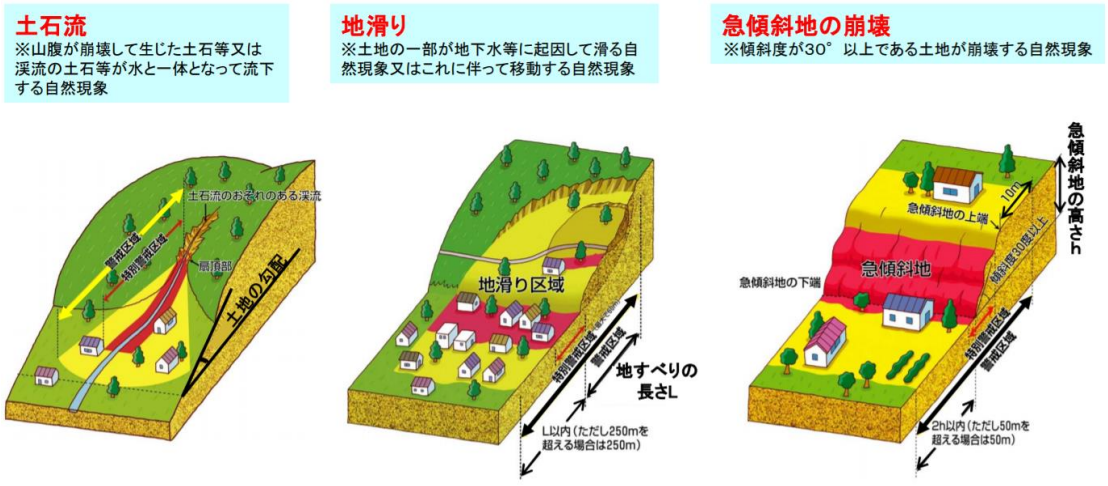


圖 5-11 土砂災害警戒區示意圖 (國土交通省)

日本因地文 (地質脆弱、地形陡峭) 因素，具備高土砂災害風險特性；氣象因素方面，在梅雨季鋒面雨、颱風、豪雨季節，長期間降雨及短延時強降雨等不同降雨型態，造成日本全國各地經常出現土砂災害，以平成 30 年 (2018 年) 發生 3,459 件土砂災害事件為歷年最多，年平均土砂災害事件約為 1,100 件 (圖 5-12)，而近年由於降雨強度轉變，以颱風事件所伴隨發生之土砂災害事件，在平成 16 年 (2004 年) 計 8 場颱風造成 1,682 件土砂災害事件為歷年為最多，其年平均土砂災害事件約 300 件 (圖 5-13)，其中令和元年 (2019 年) 東日本颱風事件 (哈吉貝颱風)，創下 952 件土砂災害事件之歷史紀錄，計 20 都縣受到影響，超過平成 16 年 (2004 年) 颱風 23 號 (納坦颱風) 所造成 800 件土砂災害事件，為單場颱風事件紀錄之最。

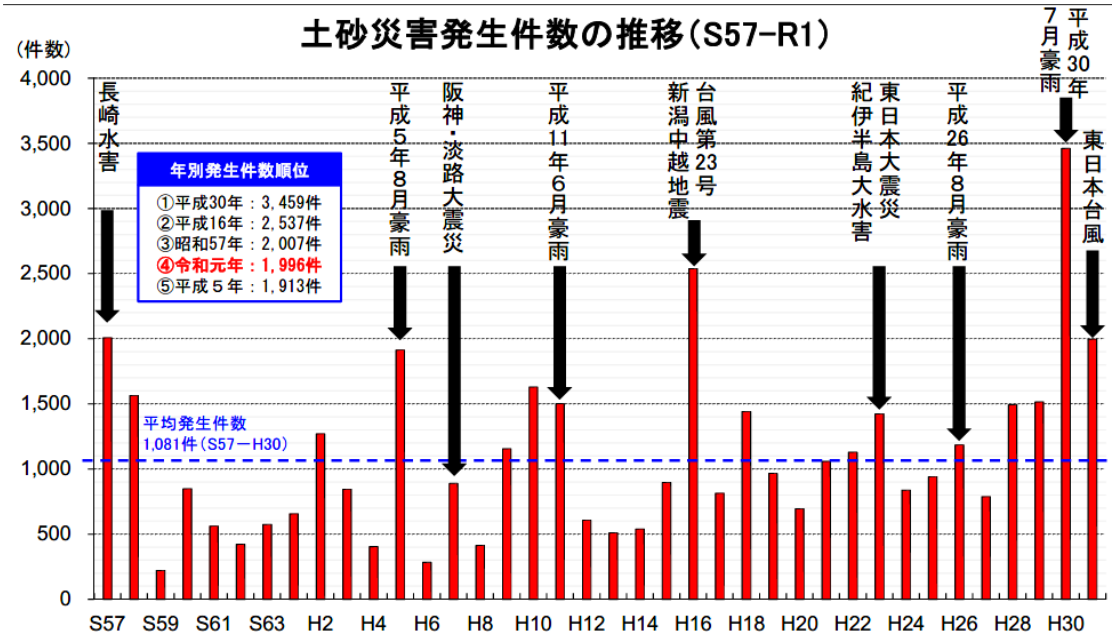


圖 5-12 土砂災害發生件數統計圖 (統計期間昭和 57 年 (1982 年)至令和 1 年 (2019 年)，國土交通省砂防部，2019)

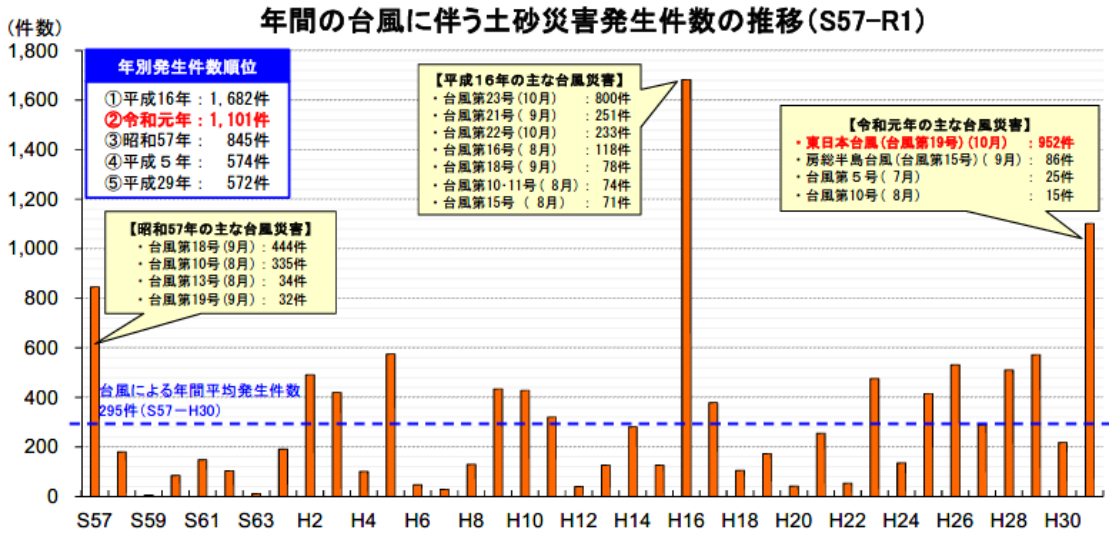


圖 5-13 颱風事件伴隨發生土砂災害統計圖 (統計期間昭和 57 年 (1982 年) 至令和元 1 年 (2019 年)，國土交通省砂防部，2019)

一、致災類型

本報告蒐集並綜整歷年日本災害案例，土砂運動所造成之致災類型，包含淺層崩塌、深層崩塌、土石流、跨越山脊之土砂災害、天然壩、漂流木、洪水氾濫等，以令和元年 (2019 年) 東日本颱風事件為例，近年土砂災害事件顯現出群發性 (同時多處發生) 及廣域性、颱風強度劇烈化等特性，形成災害比過往事件大、頻繁發生的土砂與洪水氾濫災害事件，其造成 20 個都縣受影響，共計造成 952 件土砂災害事件 (土石流 407 件、地滑 44 件、崩塌 501 件)。對比過往 10 年間所發生土砂災害事件資料，以整體發生件數超過 100 件為基準進行統計，由颱風所造成之土砂災害其平均值為 210 件土砂事件，但此次卻高達 952 件。又如平成 29 年 (2017 年) 九州北部豪雨、平成 30 年 (2018 年) 西日本豪雨、令和元年 (2019 年) 東日本颱風等造成嚴重土砂及洪水氾濫等災害 (圖 5-14)，似乎顯示日本全國各地在氣候變遷影響下，頻繁發生水災、土砂災害等事件。下節綜整蒐集近年日本

土砂災害事件，簡要摘錄各事件災害影響概況，彙整目前所遭遇到之問題，並探討後續防災重點方向，作為未來防災對策修正與制定之用。



発生年	災害名	土砂災害発生件数	土砂災害が発生した都道府県数	
			全数	40件以上発生
平成21年	中国・九州北部豪雨	492	25	2
平成21年	台風第9号	145	15	1
平成23年	台風第12号	208	20	1
平成23年	台風第15号	198	29	1
平成24年	九州北部豪雨	268	17	2
平成26年	8月豪雨	637	29	5
平成27年	台風第18号	177	18	1
平成28年	台風第16号	233	24	2
平成29年	九州北部豪雨	316	17	2
平成29年	台風第21号	373	33	2
平成30年	西日本豪雨	2,581	32	8
平成30年	台風第24号	175	25	1
令和元年	6月下旬からの大雨	221	16	1
令和元年	8月の前線に伴う大雨	171	15	2
令和元年	東日本台風(台風第19号)	952	20	8

圖 5-14 令和元年東日本颱風土砂災害特徵 (國土交通省，2019)

二、受災案例

(一) 2018 年 7 月豪雨事件 (平成 30 年 7 月豪雨事件)

本平成 30 年 7 月豪雨事件，受到颱風巴比侖 (Prapiroon Typhoon) 登陸日本，並引進西南氣流再加上 6 月 28 日梅雨鋒面滯留，造成西日本多個縣市降下超大豪雨，以西日本為中心造成廣域性河川氾濫、區域淹水、土石流等災害事件 (圖 5-15、圖 5-16)，造成 224 名人員死亡、行蹤不明者 8 人、住宅毀壞 21,460 棟 (全毀與半毀合計)、住宅淹水 30, 430 棟、263, 593 家戶斷水等傷亡毀壞事件。此事件日本政府發佈疏散指示 (緊急情況) 計 915, 849 家戶，共 2, 007, 849 人，發佈預警疏散計 985, 555 家戶，共 2, 304, 296 人。此次事件中合計對 1 道 2 府 31 縣計 505 市町村發佈土砂災害警戒情報，廣島縣、愛媛

縣發生廣域性土砂災害，約為近 10 年土砂災害發生平均事件數的 2.3 倍，總計 2,512 件 (國土交通省，2018)。



圖 5-15 岡山縣創敷市真備町淹水狀況 (國土交通省，2019)

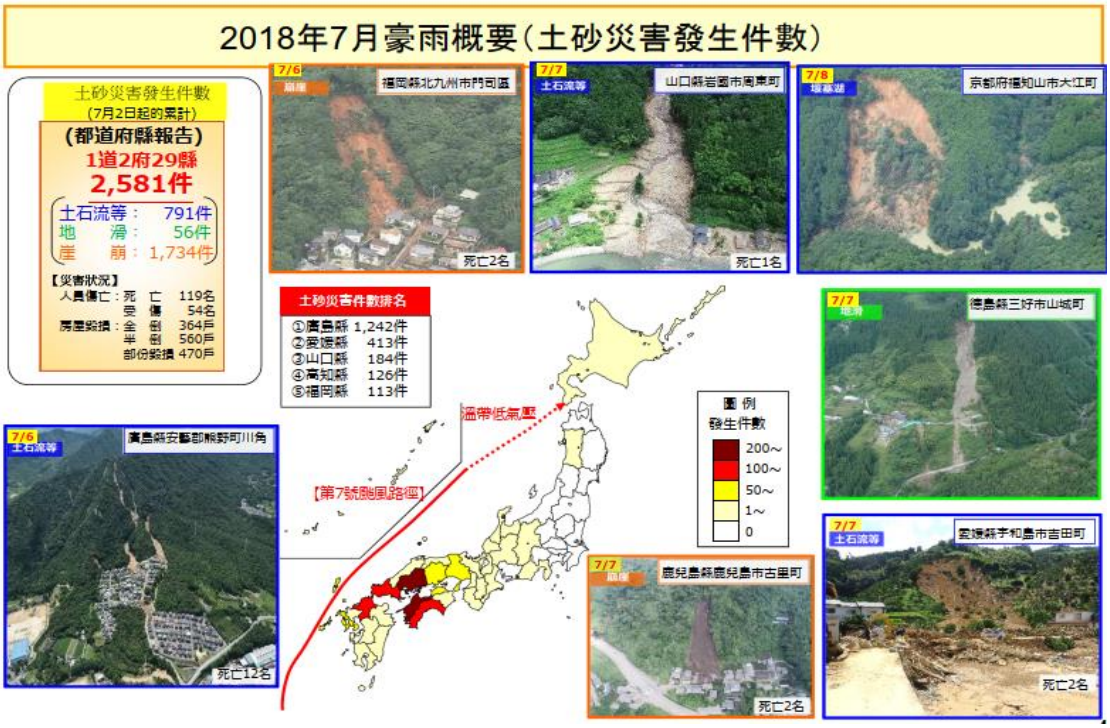


圖 5-16 各地區土砂災害狀況 (國土交通省，2019)

(二) 2019 年東日本颱風豪雨事件(令和元年東日本颱風豪雨事件)

以下簡要摘錄國土交通省 2020 年「近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について」災害資料。

2019 年 10 月 6 日哈吉貝颱風 (Hagibis Typhoon) 於日本南部向北部移動，在 12 日 19 日登陸伊豆半島，之後於 13 日 12 時通過關東地區，總降雨量在神奈川縣箱根觀測站達到 1,000 毫米，東日本各地計 17 地區降雨量皆超過 500 毫米。特別是在靜岡縣、新潟縣、關東甲信、東北地區等多個地點，其 3、6、12 及 24 小時觀察降雨量超過歷史記錄值。在 1 都 12 縣 (依次為靜岡縣、神奈川縣、東京都、琦玉縣、群馬縣、山梨縣、長野縣、茨城縣、栃木縣、新潟縣、福島縣、宮城縣、岩手縣) 發布大雨特別警報，其危險度為極端危險。

受到降雨影響，發生廣範圍的河川氾濫及土砂災害，造成人員及房屋損害傷亡、電力、自來水、道路、鐵路等維生管線及交通路網毀損，再者飛機和鐵路等交通停運與中斷的發生 (圖 5-17)。

受低氣壓影響，千葉縣、福島縣等降雨量記錄超過 300 毫米，其中宮城縣、福島縣、千葉縣、埼玉縣等縣管理河川 20 水系 34 河川發生溢堤、排水不良情況，約 2,400 公頃發生淹水災害。依據日本消防廳 12 月 12 日資料顯示，共計 99 人死亡、3 人失蹤、3,081 棟房屋全毀、24,998 棟房屋半毀，床上浸水 12,817 棟、床下浸水 24,472 棟。

依據國土交通省資料，東日本颱風豪雨事件，造成日本全國發生 952 件土砂災害 (包括 407 件土石流災害、44 件地滑災害、501 件坡面崩塌)，非常接近全國年平均災害事件數量 (約為 1,100 件/年)。在東北、關東地區等多個地方發生土砂災害皆超過一百件 (超越過去 10 年颱風引起土砂災害件事平均值)，其中宮城縣為 254 件、岩手縣為

144 件、福島縣為 98 件、神奈川縣 94 件等 (圖 5-18)。

此次事件颱風伴隨著豪雨，形成降雨區域移動，造成以東日本為中心的廣範圍土砂災害發生，其中一部分土砂災害並不在指定之土砂災害警戒區域內，且多數中小型河川上游發生土砂災害，大量土砂進入河道，導致下游發生「土砂・洪水氾濫」災害。



圖 5-17 那珂川堤防潰決淹水災害 (國土交通省 關東地方整備局，2020)



圖 5-18 令和元年 (2019 年) 東日本颱風豪雨事件災害情況 (國土交通省，2019，令和元年の土砂災害)

在氣候變遷溫度上升 2℃情境下，降雨量為 1.1 倍，流量變為 1.2 倍，降雨量增加將引致多發性且更大規模土砂災害 (淺層崩塌、深層崩塌、土石流、跨越山脊之土砂災害、天然壩、漂流木、土砂與洪水氾濫等)，近年歷史災害事件資料亦顯示，受災程度及災害影響規模有增加之趨勢 (圖 5-12、圖 5-13)，因此如何擬訂有實效性之調適對策時，需建立發生何種土砂移動現象、發生程度及頻率、超過設計規劃土砂生產量之災害外力增加程度等評估方法(圖 5-19)，並且對於瞭解土砂移動現象受到那些因素與誘因之影響，其所造成土砂生產量增加比例變化，進一步研究這些變化會造成那些災害現象發生，其潛在發生地點等都是需要檢討事項，且在設計和規劃中考慮土砂流出與尖峰流量增加程度，反映在技術基準中，以作為未來規定外力條件之概念(圖 5-20)。



圖 5-19 因應氣候變遷土砂災害對策檢討課題 (國土交通省，2020)

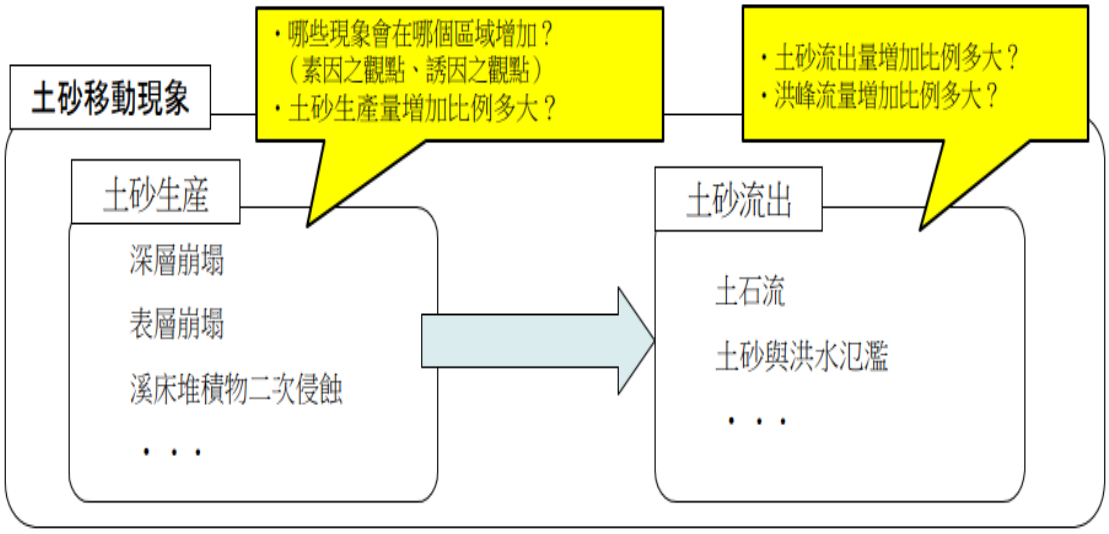


圖 5-20 因應氣候變遷土砂移動現象課題 (國土交通省，2020)

三、防災重點

近年來全球暖化的情況加劇氣候變遷影響所帶來衝擊，導致大雨發生機率增加、短延時強降雨、無降雨日增加、海平面上升、旱災與熱浪等情形。在此情況下，日本全國各地相繼發生多起災害事件，其中受突發性局部大雨、大規模與複合型土砂災害等多重因素，形成群發性、廣範圍的「土砂・洪水氾濫」災害 (圖 5-21)，且由於預警疏散反應時間極短，導致人們避難不及而發生傷亡。

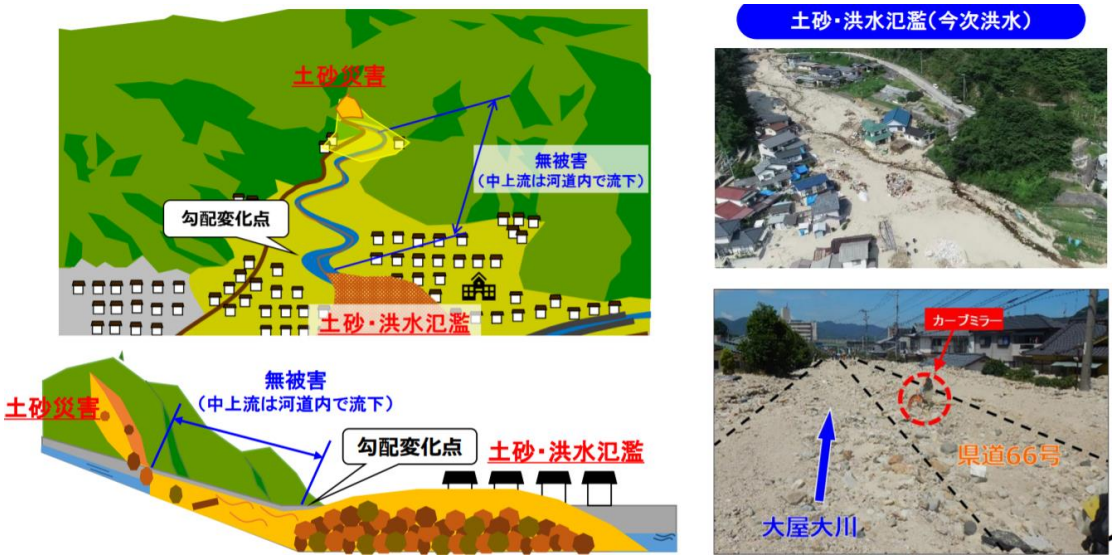


圖 5-21 複合型因素形成之土砂洪水氾濫災害 (國土交通省，2019)

日本內閣府於推動綜合土砂災害防止對策報告中指出 (內閣府，2015，総合的な土砂災害対策の推進について)，由 2014 年廣島土砂災害事件討論豪雨造成之土砂災害問題，目前既有防災制度與防災情報並非完善，且市町村等單位多無法充分運用現有防災制度，並與洪水等其他水災害相比，由於土砂災害之突發性、預測不確定性等特性，歸納出以下四個問題點：

1. 居民無法充分掌握突發性高且難以預測之土砂災害及地區土砂災害風險；

2. 無法徹底活用氣象預報與土砂災害警戒情報而提早發布避難準備情報、避難勸告等命令；

3. 在豪雨事件期間無法避難撤離之際，政府尚無法充分通知民眾，往鄰近堅固房屋移動，或往自家較高樓層，離山坡遠一點的房間移動，也是有效的避難行動；

4. 社區營造與都市規劃顯然未充分考慮土砂災害風險。

針對上述問題點，內閣府綜合土砂災害防止對策檢討工作小組，擬定今後土砂災害對策之建議，可分為下列事項 (內閣府，2015，総合的な土砂災害対策の推進について)：

1. 掌握並分享土砂災害特徵與災害危險地區資訊；

2. 將防災情報傳達給民眾；

3. 強化居民的避難行動；

4. 推動社區營造方法與國土保全對策；

5. 災害發生時的迅速救災行動；

以上建議事項為日本中央政府記取 2014 年廣島土砂災害事件，全面調查近年全日本各地豪雨發生狀況之後，藉由推動國土強韌化、

創造地方工作機會的角度進行探討，了解各區域土砂災害承受度，並提出綜合性對策。

雖然多年來國土交通省積極推動各項防減災對策，且於 2014 年廣島土砂災害後修訂完成土砂災害防治法，但 2018 年 7 月豪雨仍造成日本平成年代最大土砂災害事件，為避免類似災害再度發生，國土交通省水管理・國土保全局成立「確保實效性避難之土砂災害對策檢討委員會」，進行災害實況及相關防減災對策之有效性驗證，並檢討在確保實效性之避難目標下，提出因應未來土砂災害實施之對策如下(圖 5-22，國土交通省，2019，実効性のある避難を確保するための土砂災害対策のあり方について)：

1. 提升土砂災害警戒資訊之精度；
2. 提升土砂災害警戒區之識別度；
3. 建構提升市町村防災力之支援體系；
4. 依據地區防災計畫而建構之警戒避難體系；
5. 整合地區防災計畫共同整備的砂防設施；
6. 其他掌握 2018 年 7 月豪雨土砂災害特徵之對策。

在此次事件中，某些災情嚴重地區，因當地居民自主防災及合作關係，未有人罹難。因此若能讓居民為主導之「地區防災計畫」與政府部們主導之「區域防災計畫」互相配合，可發揮居民蒐集資訊自主行動力 (自助)，將有助於強化地區自主防災活動 (共助) 與公部門實施防災活動結合 (公助)，對提升地區防災力，提高避難實效性，以達成減少土砂災害傷亡損失之目的。

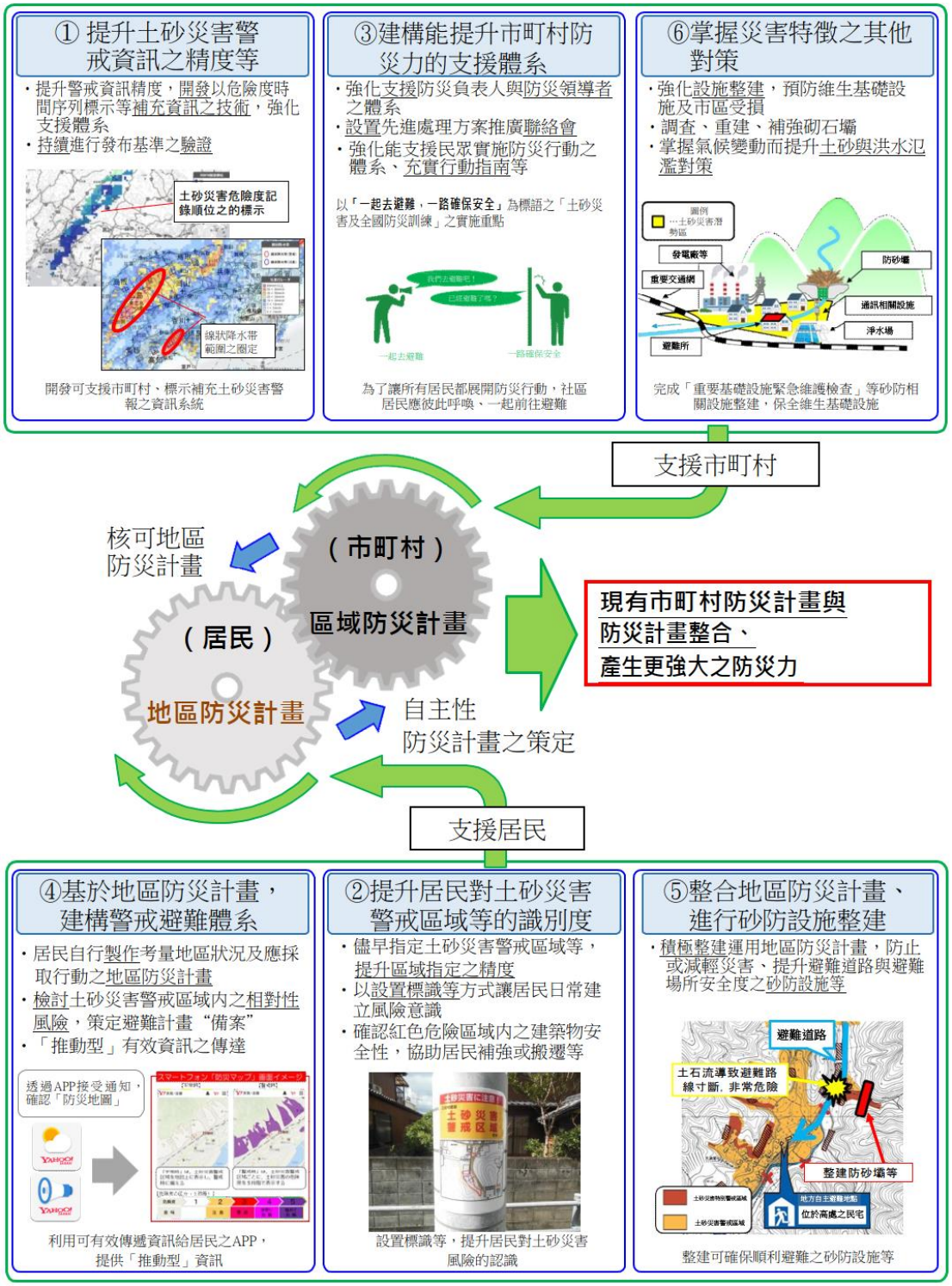


圖 5-22 實效性避難之土砂災害因應對策 (國土交通省，2019)

第四節　氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊

藉由歷史降雨、颱風、氣象溫度、災害事件等資料分析顯示，日本時雨量超過50毫米的短延時強降雨發生機率約為30年前的1.4倍，日本氣象廳指出，若溫室效應提升全球氣溫，則短延時強降雨發生次數將再增加。利用 A1B 情境模擬下，以日本一級河川為對象，預測最大流域年平均雨量約為目前的 1.1 及 1.3 倍 (圖 5-23)，且 2016 年 8 月日本首次出現一個月內 3 個颱風登陸事件，氣候變遷影響下形成颱風頻率提高，另在鋒面方面，由於梅雨鋒面停滯 (梅雨前線 が停滞し)提高水蒸氣流入引致降雨量提高，造成許多觀測站降雨量破歷史紀錄。因此氣候變化異常現象，如降雨量增加、颱風強度、路徑與風速改變、鋒面與局部豪雨狀況改變、海平面上升等，引致複合災害劇烈化，包含洪水、內水氾濫、土砂災害、暴潮與波浪等劇烈化現象，造成日本近年來「洪水與土砂氾濫」災害頻繁出現 (圖 5-24)。

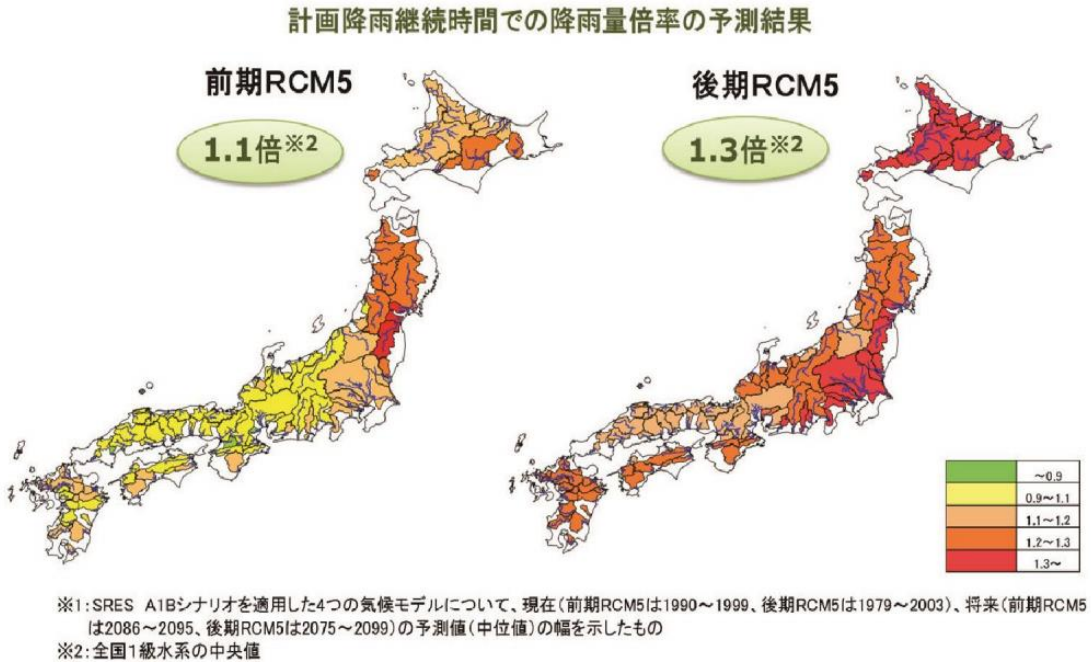


圖 5-23 A1B 情境預測下最大流域年平均降雨量 (國土交通省，2020)

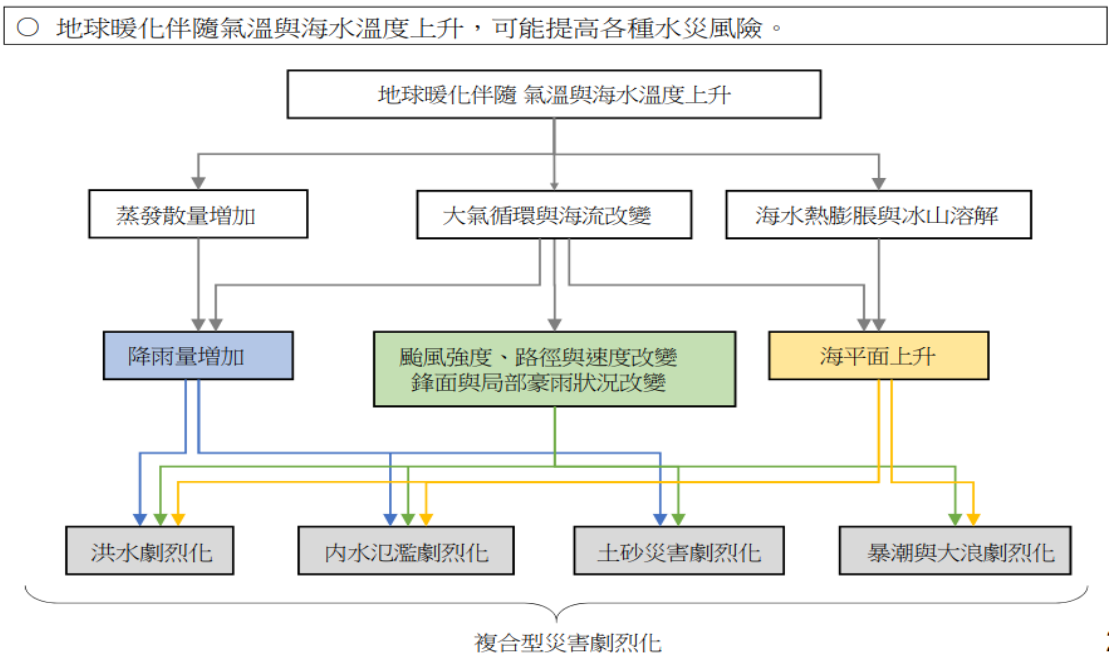


圖 5-24 氣候變遷下複合災害嚴重化現象 (國土交通省，2019)

本節藉由國土交通省相關因應氣候變遷在砂防技術、治水災對策、土砂災害防止對策、調適對策等進行蒐集並綜整，以探討水災害及土砂災害之影響，以作為後續對策研擬之參考。

一、土砂災害影響

氣候現象變化形態如突發性局部大雨 (主要為單獨積雨雲局部地區劇烈化，通常發生時間在數小時以內，影響範圍在 1 公里至數 10 公里之間，其預測非常困難)、短延時強降雨 (主要由於峰面、低氣壓所影響之降雨型態，通常發生時間在數小時至 1 到 2 日內現象，影響範圍在 10 公里至 100 公里程度，可以在發生前 1 日至數日前預測)、颱風強度增強 (颱風降雨量超過 1000 毫米以上歷史記錄大雨、颱風最大風速超過 45m/s，約為 14 級風) 等此三項，其對土砂災害的影響分別如表 5-2 所示：

表 5-2 氣象變遷對土砂災害影響

氣象變化	土砂災害變化	基本措施
突發性局部大雨	1. 降雨開始至土砂災害發生時間縮短	1 土砂災害發生頻率增加之對策 2 土砂災害造成警戒避難反應時間短之對策 3 計劃規模上限之土砂移動現象對策 4 深層崩壞等災害對策 5 谷地地形不明顯場所之土砂災害對策 6 土石流越過流域邊界之對策 7 漂流木災害對策 8 上游集水區管理對策
短延時強降雨	1. 土砂災害發生頻率增加 2. 超越計劃規模土砂災害增加 3.0 次谷、深層崩壞、越過山脊現象之土砂災害等災害類型發生 4. 漂流木災害增加	
颱風雨量、風速增強	1. 超越計劃規模土砂災害增加 2. 深層崩壞等災害增加 3. 漂流木災害增加	

資料來源：國土交通省，2020，気候変動を踏まえた砂防技術検討会

針對突發性大雨、短延時強降雨、颱風強度增加所造成土砂災害變化，同時對此三者影響引致土砂災害變化現象擬定基本措施，主要反應在發生頻度 (次數) 增加、反應時間短、土砂量增加、深層崩塌、漂流木等災害現象，因此其基礎調查工作成果，反應於土砂災害警戒區劃設、避難準備-勸告-指示發布時機點、防災設施之防護標準設定是否完善，藉由降低預測錯誤及誤報資訊傳遞，以迅速執行避難行動。但在避難行動之判斷上，仍仰賴民眾之防災意識，因此加強警戒區域及危險地區資訊傳遞、防減災科普教育，實屬必要，以提升民眾防災意識與知識。

除了氣候變遷影響造成未來降雨強度更頻繁與激烈化，社會結構改變如人口減少、高齡化及少子化等問題，都使得防災對策需加以因

應調整如表 5-3 所列，國交土通省在此次令和元年東日本颱風事件災害所顯現出之問題，針對氣候變遷影響、社會結構變化與災害影響評估等未來可能面臨問題，深入研究並建立對策，藉由政府部門整合企業與民眾檢討制定未來水災對策之方向。

表 5-3 氣候變遷對水災災害影響及對策方向

氣象變化 (hazard)	社會結構變化 (exposure & vulnerability)	2019 年第 19 號颱風災後影響評估 (Risk)	對策方向
➢颱風勢能超過防護設施能力 ➢未來可能出現超過計劃規模之颱風事件 ➢未來難確保如規劃設定以提高各地區安全度	➢因應人口減少、高齡化與少子化，採取最適當之國土與土地利用 ➢國際化趨勢 ➢產業結構改變	1 過去所推動防患未然硬體對策發揮效果 2，在全國各地安全度較低場所，發生堤防潰決、溢堤、淹水與土砂災害 3 部分水庫進行異常洪水防災操作，提升洪水調節容量 4 事前發布各種災害情報，避難行動人數增加，部分避難場所擁擠 5 危機時未收到防災情報，未列入淹水或土砂災害危險區域場所發生災害 6 高齡者避難延遲或行車途中發生人員傷害 7 鐵道停開及高速公路封閉，社會有因應方案 8 市政府、區公所與	➢調控洪水及內水，防範氾濫、淹水對策 ●推動治水對策 (推動河川整備計劃) ●抑制河川入流量 (維護疏洪功能、整備雨水儲留設施) ●降低洪水時水位 (運用水壩調節洪水、設置沉砂池、漂流木攔阻工) ●活用既有設施 (流出抑制、洪水調節) ●內水災害防止及減輕 (強化排水設施) ➢減少洪水及內水受災對象 ●管制或輔導土地利用 (管制危險地區新宅地開發、緊密城市 compact city 防災規劃、輔導河川沿岸聚落遷

		需特別照顧者利用設施等受淹水、交通機關及物流中斷，造成恢復及重建活動障礙 9 災情嚴重者，地方政府難以順利進行恢復與重建工作	村) ●調控氾濫洪水 (副堤、月堤等施作) ➢防範減輕洪水與內水災害，並提升回復力 ●整備避難架構 (活用 my timeline 等個人避難規劃、確保民間大樓與高台等緊急避難場所) ●確保住宅耐災強靭度 (提高住宅基礎，高於淹水深度的居住空間設置) ●推動地方政府與企業 BCP (事前防範淹水對策與淹水時緊急對策) ●排除氾濫水 (運用氾濫水排水設施與抽水機) ●鼓勵民眾買水災保險 ●災害時 TEC-FORCE 支援災區地方政府

資料來源：國土交通省，2019，気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会

在氣候變遷所引起水災害相關對策，考量防護設施設計標準、災害外力規模(以颱風為主)、各地區治水安全度標準此三項，由調洪、滯洪、防洪等措施調控或減輕洪氾災害，並由土地使用管制措施，以減少受災對象並提升災害強韌度，藉由整合企業與民間資源，以減緩災害影響，提升災後復原能力。

二、土砂災害衝擊

氣候變遷情況對土砂災害之衝擊，隨著災害外力增強可能引致更顯著及巨大量體之土砂移動現象，綜整過去歷史災害資料如表 5-4 所示，伴隨破紀錄雨量發生大量表層崩塌，造成土石流及土砂與洪水氾濫等災害增加，且過去較少發生案例之深層崩塌與緩坡崩壞性地滑潛勢恐提高。近年這些土砂災害事件發生狀況，主要類型為多處同時發生(群發型)表層崩塌、土石流、土砂與洪水氾濫等現象 (圖 5-25、圖 5-26)。因此，受到氣候變遷導致災害外力增強情況下，使得土砂運動現象劇烈化並增加土砂量侵蝕與淤積作用，加之短延時強降雨更激化上游山區土砂生產量及河川流量增加，形成巨量土砂被大規模洪水沖刷搬運至下游流出，發生土砂與洪水氾濫災害事件。再者地下水位受累積降雨量增加影響，誘發深層崩塌、崩壞性地滑等災害潛勢升高，並衍生河道閉塞、溪床堆積體二次移動等二次災害情況。

表 5-4 氣候變遷下之土砂移動現象

編號	災害名稱 (代表性發生地點)	災害誘因	土砂生產過程	流出過程	雨量	地質岩性
1	2019 年第 19 號颱風 (宮城縣伊具郡丸森町)	第 19 號颱風	表層崩塌	土石流、土砂與洪水氾濫	累積雨量 607.5mm	花崗閃綠岩、花崗岩
2	2019 年第 19 號颱風 (群馬縣富岡市內匠)	第 19 號颱風	崩塌性地滑	崩塌性地滑	連續雨量 494.5mm 時雨量 48.5mm	階地淤積物
3	2018 年 7 月豪雨 (廣島縣安藝群坂町小屋浦、吳市天應西條)	第 7 號颱風及梅雨峰面	表層崩塌	土石流、土砂與洪水氾濫	累積雨量 676mm	花崗岩類
4	2017 年 7 月九州北部豪雨	第 3 號颱風及梅雨	表層崩塌	土石流、土砂與洪	累積雨量 829mm	花崗岩類、泥質

		峰面		水氾濫	時雨量 124mm	片岩、新第三紀火成岩等
5	2016 年第 10 號颱風 (北海道清水町)	第 10 號颱風	表層崩塌、溪床淤積物侵蝕	土石流、土砂與洪水氾濫	連續雨量超過 500mm	花崗岩、花崗閃綠岩等
6	2016 年第 10 號颱風 (岩手縣岩泉町)	第 10 號颱風	表層崩塌、溪床淤積物侵蝕	土石流、土砂與洪水氾濫	最大日雨量 194.5mm 時雨量 62.5mm	燧石、粘板岩、頁岩、砂岩、花崗岩、石灰岩
7	2014 年 8 月豪雨災害 (廣島縣廣島市安佐南區、安佐北區)	第 11、12 號颱風及梅雨鋒面	表層崩塌	土石流	累積雨量 247mm 時雨量 87mm	花崗岩類、沉積岩類
8	2013 年第 26 號颱風 (東京都大島町元町)	第 26 號颱風	表層崩塌	泥流	累積雨量 824mm 時雨量 118.5mm	火山灰降下堆積物
9	2012 年 7 月九州北部豪雨 (熊本縣阿蘇市)	梅雨鋒面	表層崩塌	土石流	累積雨量 816.5mm 時雨量 108mm	火山岩類、火山碎屑流堆積物
10	2011 年第 12 號颱風 (奈良縣五條市等)	第 12 號颱風	深層崩塌	土石流、河道阻塞、土砂與洪水氾濫	累積雨量 1812.5mm 時雨量 46mm	增積岩體 (增生柱)
11	2009 年 7 月中國、九州北部豪雨 (山口縣防府市)	梅雨鋒面	表層崩塌	土石流、土砂與洪水氾濫	累積雨量 264mm 時雨量 51mm	花崗岩類、變質岩類

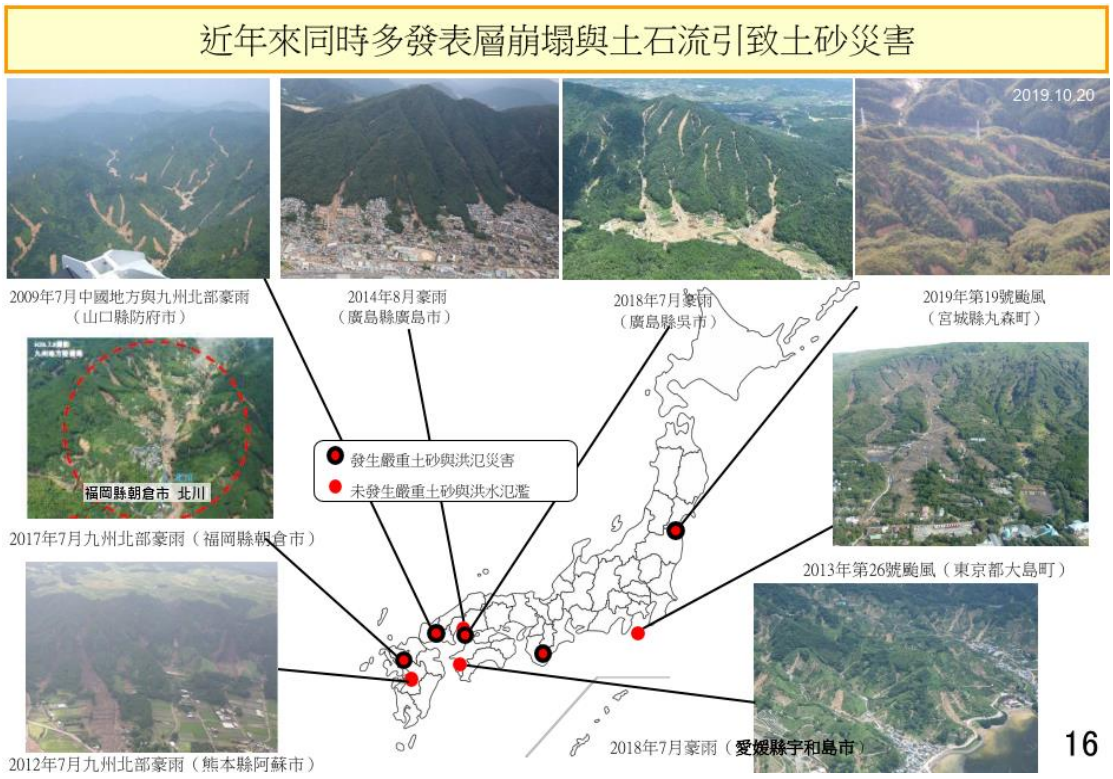


圖 5-25 近年多處同時發生土砂災害狀況 (國土交通省，2020)



圖 5-26 洪水氾濫災害狀況 (國土交通省，2020，気候変動を踏まえた砂防技術検討会)

此外，由國土交通省土砂災害對策方法專門調查 (土砂災害対策のあり方の専門的調査) 資料顯示，以 2018 年 7 月豪雨土砂災害致死案例共 49 個地點，有 32 場所約 65%為指定之土砂災害警戒區，有 10 場所約 21%為公告之土砂災害危險地點，有 7 場所約 14%為未納入土砂災害警戒區之指定區域，以令和元年 (2009 年) 台風 19 號土砂災害共 259 地點 (含人員死亡、失蹤、受傷、房舍受損事件) 資料顯示，有 147 場所約 57%為指定之土砂災害警戒區，有 112 場所為未指定之土砂災害警戒區，其中可以分為以下三個類別(圖 5-27)：

1. 已在進行現地基礎調查，惟尚未指定為土砂災害警戒區 (9 場所約 3%，另有 28 場所約 11%已完成調查公告，但未指定完成)

2. 以目前基礎調查地形圖判讀資料，尚難以掌握之地點，需要更詳細地形資料以判定危險程度 (51 場所約 20%)

3. 不符合目前土砂災害警戒區域之指定基準(亦即不具明顯陡坡、地滑地形場所、明顯谷地地形場所) (24 場所約 9%)



圖 5-27 土砂災害警戒區域指定狀況 (國土交通省，2020)

對於土砂災害警戒區域的認知狀況，以平成 30 年 7 月豪雨事件 (2018 年 7 月) 發生災害地點進行對於自宅是否在土砂災害警戒區域內問卷調查，約 24% 受訪者有正確認知，約 10% 錯誤認知，約 66% 受訪者完全不知道自宅在土砂災害警戒區域內 (圖 5-28)。

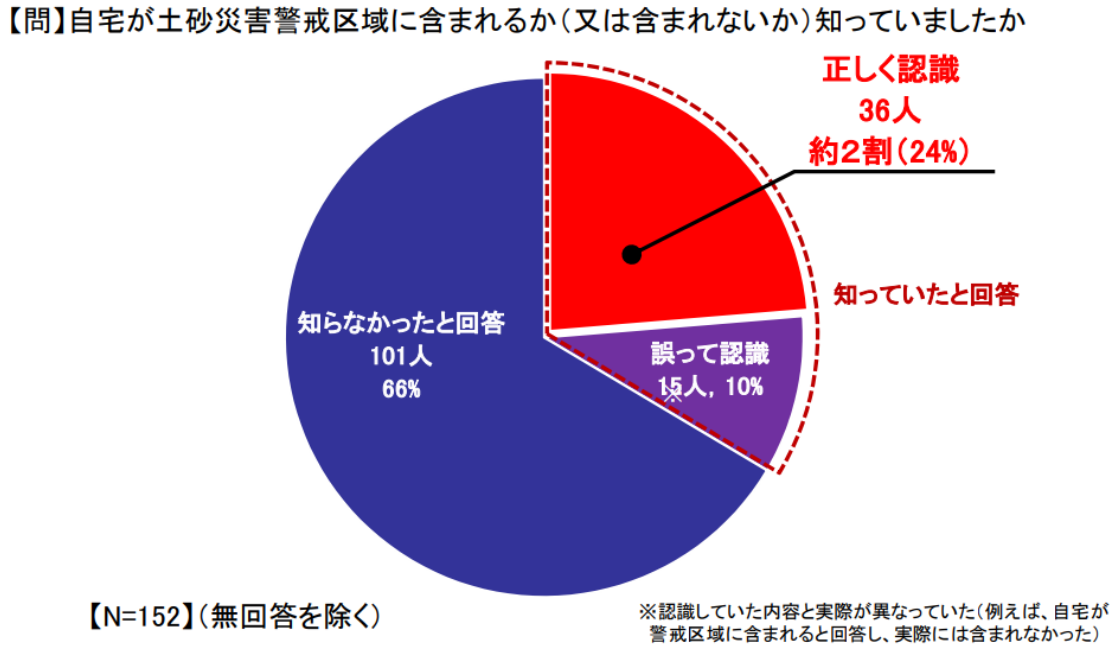


圖 5-28 土砂災害警戒區域認知狀況 (國土交通省，2020)

在土砂災害防災地圖 (hazard map)公告狀況方面，根據土砂災害防止法第八條第 3 項規定，已經指定或預定指定為土砂災害警戒區域的市町村中，約有 84%以網頁公布防災地圖或以印刷物方式發送資訊於民眾 (圖 5-29)。

在土砂災害警戒情報發布狀況方面，在 2018 年 7 月豪雨事件，共計發布 505 市町村，其中有 208 市町村發生土砂災害約 41%，無災害發生 297 市町村約 59%，在 2019 年颱風 19 號事件，共計發布 437 市町村，其中 141 市町村發生土砂災害約 35%，無災害發生 286 市町村約 59%，此二次事件之統計資料顯示出，土砂災害警戒情報準確率仍有待提升 (圖 5-30)。

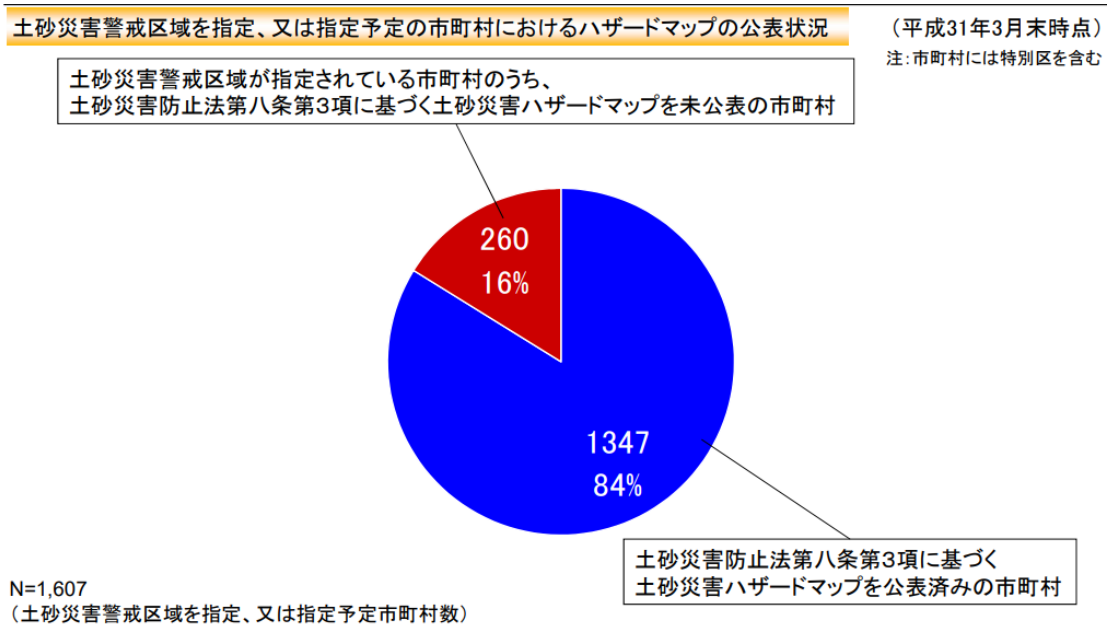


圖 5-29 土砂災害防災地圖公告狀況 (國土交通省，2020)

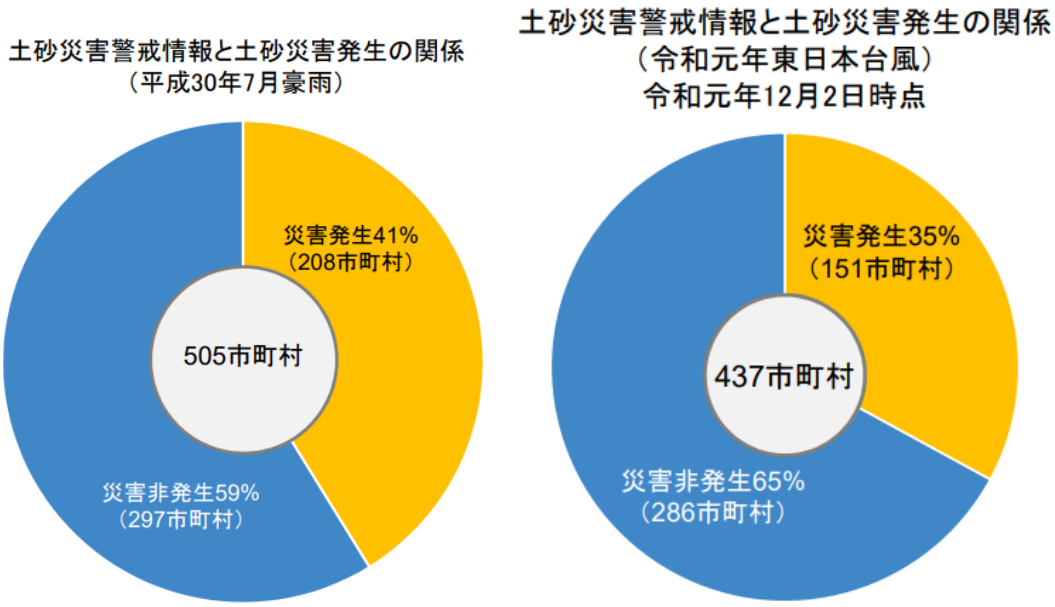


圖 5-30 土砂災害警戒情報發布狀況 (國土交通省，2020)

雖然自 2014 年 8 月豪雨事件造成廣島縣發生嚴重土砂災害，因此日本政府修訂「土砂災害警戒區域之土砂災害防止對策推動相關法(土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律)」，依法實施公開基礎調查之義務、公告通知土砂災害可能發生場

所、推動指定土砂災害警戒區域等。但由歷史災害事件如 2017 年 7 月九州北部豪雨、2018 年 7 月豪雨、2019 年東日本颱風等發生嚴重土砂災害，其待解決之課題如下：

1. 民眾預警避難反應時間極短，使得民眾來不及逃離土砂災害；

2. 眾多未完成調查之土砂災害警戒區仍待指定；

3. 雖指定為土砂災害警戒區，但尚未完成防災地圖製作，民眾不瞭解當地土砂災害危險潛勢；

4. 土砂災害警報正確率仍待提升；

5. 預報發布時間與災害發生時間相隔過久，使得民眾誤以為無災害發生而返家發生災害；

6. 發布警報時未達危險雨量，過一段時間後達到危險雨量；

7. 已達危險雨量，但經過相當長的時間才發生土砂災害；

8. 災害經過很長時間才發生，期間不知道危險度變化情形；

9. 夜間避難是否發布避難疏散之兩難困境；

10. 當地政府及民眾對於防災演練之參與度不足；

11. 防災教育與防災意識等普及度不足；

12. 雖然自令和元年導入大雨警戒分級，政府部門工作重點，在掌握土砂災害發生資訊與發布警報，但東日本颱風事件，同時發生多處水災與土砂災害，目前仍難以全面掌握土砂災害發生情報，仍然有待提升未來土砂災害發生時刻之預測技術。

第五節　日本河川及土砂災害因應氣候變遷對策研析

一、防災對策目標設定

參考國土交通省2010年洪水相關之氣候變遷調適策略指引(洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン)，其治水對策之目標設定，係根據風險發生頻率與破壞影響等的大小程度，結合以往發生的災害狀況、流域自然及社會特性、國家未來願景 (發展目標)、投資能力限制等，考量如何避免、減少、轉移及自留風險，並明確化設定目標，且必要時依需求設定多個目標以達成減緩及調適之目的。當目標設定時，對於發生地點及造成人命損失、經濟損失、社會影響程度，應確保公平性及考量重點影響因子。因此，考慮到流域與氾濫區域的土地利用狀況、都市化過程 (都市區域擴張、都市更新及高樓化) 等情況，必要時應從長期角度檢討人口及產業聚集場所之促進或抑制規則。根據這些條件，概略目標設定如下：

1. 受災死亡人數最小化
2. 避免首都機能癱瘓
3. 避免毀滅性的損害
4. 避免都市地區發生30年一次洪水氾濫損害
5. 控制洪水氾濫發生頻率在X年一次程度

當目標設定後，利用時間軸及設立成果來具體化規劃目標，並以簡單易理解方式展示。國土交通省在2010年洪水相關之氣候變遷調適策略指引「洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン」手冊中，依上列所設定目標，研擬其防洪調適對策，包含六大項對策分別對應到河川對策、流域對策、被害減輕對策，並組合成一綜合流域治水對策(圖 5-31)，六大對策概述如下：

1. 氾濫危險性減輕對策 (河道疏濬、築堤、排水及截水渠道、水閘門、水壩、滯洪池、內水排水系統等)

2. 氾濫流量控制對策 (副堤、開口堤防、輪中堤等)

3. 氾濫洪水平原災害減輕對策 (土地使用管制、建築物基準升高、安裝電力與機械設備於高處等)

4. 避難・疏散等對策 (避難・疏散、預測及警戒情報、避難設施等)

5. 緊急對策 (洪水防治、圍堰、排水對策、防災訓練、防災教育等)

6. 迅速恢復及重建對策 (防災基地、運輸網路、防災業務計畫、企業連續計畫 BCP、水災害廢棄物處理等)

當特定複數對策分年分期執行時，必須評估對策組合下所帶來的衝擊和效果，例如已有執行中計畫或既有設施已發展到一定程度時，則考量最有效果方法來削減或增加即有措施，重要的是以最有效方式來利用這些設施。因此，在防洪調適與防減災對策效益時，需考量以下四點進行綜合檢討評估。

(1)災害減輕效果 (人命、經濟(資產)、社會機能等)；(2)維持管理的成本；(3)對社會及環境的衝擊；(4)實現可能性及達成安全度。在以上決策過程中，最重要的是採取必要措施以反映當地居民意見。



圖 5-31 綜合流域治水對策 (國土交通省，2020)

IPCC 於 2013 年 9 月至 2014 年 11 月期間公布第五次氣候變遷評估報告，利用危害度、暴露度、脆弱度來評估氣候 (自然變異、人類對氣候影響)、社會經濟過程 (社會經濟路徑、調適和減緩行動、治理) 及排放和土地使用改變三者交互影響，並將三者之交互作用集合定義為風險，以表示氣候變遷之衝擊程度 (圖 2 1)。針對 IPCC 日本受氣候變遷影響部分之報告，日本中央環境審議會為制定政府全體之「調適計畫」，於 2015 年 3 月提出「日本受氣候變遷影響評估報告和未來課題 (日本における気候変動に よる影響の評価に関する報告と今後の課題について)」。國土交通省根據這些影響研討未來氣候變遷課題，為達成災害最小化，針對現在及未來受氣候變遷影響，配合各單位適當分工，依據科學調查、研究等有效果、有效率地適時採取措施，藉由下列 4 點基本理念來促進調適策略：(1)保護人民生命與財產，(2)確保基礎設施和系統的功能運作，以支持社會與經濟活動，(3)規劃維持人民生活品質，(4)適時反應發生變化的狀況，以促進調適策略的推動。

然在 2018 年 7 月豪雨事件，造成嚴重傷亡及廣範圍受災情形，再加以考量溫度上升、大雨頻率增加、農作物品質低下、動植物分布區域變更、熱中暑風險增加等情況，日本加速氣候變動適應法推動，日本環境省根據氣候變動適應法 (平成 30 年 (2018 年) 6 月立法，12 月 1 日施行) 制定氣候變遷適應計畫 (気候変動適応法（平成 30 年法律第 50 號）第 7 條第 1 項)，藉由減緩及調適對策、政府相關單位、推進地球溫暖化對策相關法律 (平成 10 年 (1998 年) 法律第 117 號)，以地球暖化對策計劃、氣候變動適應法及氣候變動適應計劃為基礎，推動實際氣候變動對策。因此，有鑑於生活、社會、經濟及自然環境等長期受氣候變遷影響擴大，氣候變動適應對策之推動，考量現在及未來國民健康、確保文化生活之目的，綜合推動氣候變動適應相關措施計畫，其基本目標如下：

1. 氣候變動影響受災之防止及減輕、
2. 安定國民生活、
3. 社會及經濟之健全發展、
4. 保全自然環境及規劃國土強韌化、
5. 建構安全及安心永續社會

因此在規劃推動綜合氣候變遷調適相關措施計畫時，由上述目標設定之下，其推動氣候變遷適應施策之基本戰略如下 (圖 5-32)：

1. 將氣候變遷調適納入所有相關措施。
2. 依據科學知識促進氣候變遷調適。
3. 整合國內研究機構之智慧，完善資訊基礎設施。
4. 根據地域實際情況促進地方政府推動氣候變遷調適。
5. 促進有助於企業氣候變遷調適及資助商業活動 (加深國民理

解、促進因應氣候變遷商業活動)

6. 促進及確保氣候變遷相關等國際合作 (有助於提升發展中國家調適能力)

7. 確保行政機關相互合作以促進氣候變遷相關調適措施推動(確保相關行政機關間緊密合作體制)

藉由以上 7 項基本戰略來促進調適之基本施策，其重點在於基礎資料收集、整理、分析及確保情報提供系統、促進國際互助協力、促進企業氣候變化調適、有助於氣候變化調適之商業活動、促進地方公共團體之氣候變化調適相關施策、活用及充實氣候變動相關科學知識等戰略，且定期持續進行氣候變動影響評估及調適計劃進度管理，並根據調查結果適時修正計畫實行順序，以促進氣候變動調適效果。



圖 5-32 氣候變動適應相關的基本施策 (環境省，2018)

二、調適策略制定方向

綜整氣候變遷情勢推估、近年土砂災害特徵、氣候變遷對土砂災害的影響等各章節資料，顯示氣候變遷所產生狀況對於日本民眾生命安全與健康、社會經濟活動、基礎維生設施等造成嚴重影響，加上預

測未來情勢如短延時強降雨頻率增加、災害外力增強、土砂災害規模增強、土砂移動頻率提高等狀況，顯示日本正目前處於氣候變遷緊急狀態，實施調適對策之重要性與急迫性，遠高於其他國家。

藉由國土交通省於 2015 年所制定「国土交通省気候変動適応計画」及 2018 年日本環境省所制定「気候変動適応計画」等資料顯示，日本政府各權責單位與利害關係人遂適當地分工合作 (包含日本氣象廳、國土地理院、國土技術政策總合研究所、相關省廳、地方公共團體、國民、NPO、企業參與等)，並計畫將目前已產生之災害或未來氣候變遷影響下可能引致災害潛在損失降到最低 (圖 5-33)。



圖 5-33 相關單位權責分工明確化 (環境省，2018)

為促進調適策略的推動，國土交通省已設定 4 點調適對策理念：(1)保護人民生命與財產；(2)確保基礎設施和系統的功能運作，以支持社會與經濟活動；(3)規劃維持人民生活品質；(4)適時反應發生變化的狀況等 4 點為基本理念。同時，日本環境省亦設定 5 點調適策略施策目標：(1)氣候變動影響受災之防止及減輕；(2)安定國民生活；(3)社會及經濟之健全發展；(4)保全自然環境及規劃國土強韌化；(5)建構安全及安心永續社會。並利用 PDCA Cycle (Plan, Do, Check, Action Cycle)

檢視持續循環過程，適時掌握調適策略進度與評估成效，隨時改善施策及計劃，以因應氣候變遷之變化情況 (圖 5 4、圖 5 5)。

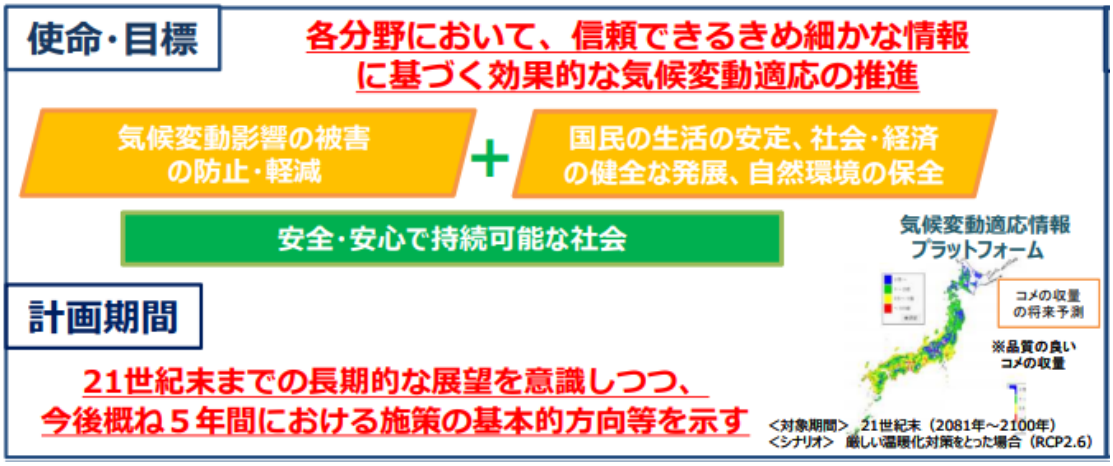


圖 5-34 氣候變遷相關施實策略目標 (環境省，2018)

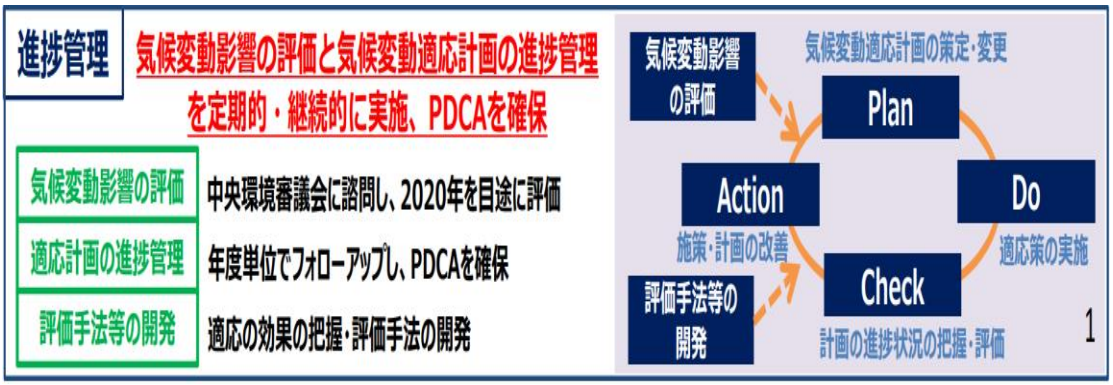


圖 5-35 氣候變動調適計劃進度管理示意圖 (環境省，2018)

考量氣候變遷影響規模與層面逐年增加，現有防減災對策恐將無法有效因應，且調適有效性亦需逐年檢視修正，因此，應將現有實施減緩措施及未來調適策略互相結合，以制定全球暖化對策，並積極促進有助於減緩及調適的措施，其調適策略之基本概念 (制定) 方針如下(國土交通省，2015：国土交通省気候変動適応計画)：

(一) 因應不確定性之適應性管理 (順応的なマネジメント)

一般而言，在預測人口、經濟趨勢、技術水準、生活方式等褚會經濟狀況的未來變化是相當困難的。因此，在預測未來氣候變化時，

必須要對未來全球的溫室氣體排放量、當地社會經濟狀況作出某些假設，用以評估氣候變遷的後果和風險。此外，根據所使用的氣候變遷模型，其預測結果也有所不同，因此，在預測氣候變動的未來影響 (如發生時間、場所、程度等)，其伴隨著一定程度的不確定性。

因此，在推動調適策略時，應採用適應性管理，根據氣候變動的進展，包括持續監測氣候變化狀況、最新的氣候預測數據、當地社會經濟條件的變化以及考慮到現有和新措施對降低風險方面之效果，以便確保在適當地時機裡選擇正確的調適策略措施 (圖 5 6)。

適應性管理，也稱為適應性資源管理或適應性環境評估和管理，是一種結構化、疊代的過程，可以在面對不確定性時做出穩健的決策，旨在通過系統監控來減少隨著時間的推移的不確定性。這樣，決策過程就可以同時滿足一個或多個資源管理目標，並且可以被動地或主動地獲得改進未來管理所需的資訊 (維基百科，https://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_management)。

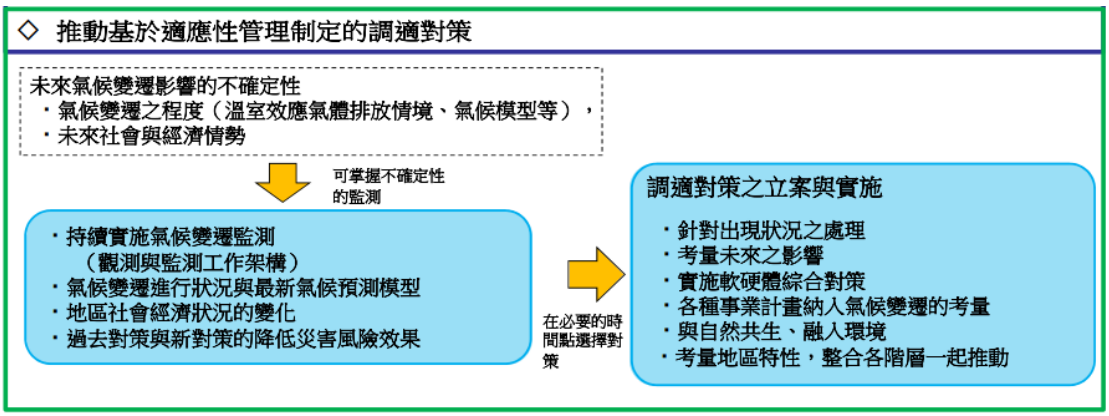


圖 5-36 採用適應性管理的調適策略 (國土交通省，2015)

(二) 處理目前已發生事件

目前日本觀察到氣候變遷常伴隨者短時間強降雨及豪大雨發生頻率增加、乾旱日數增加等現象。然而，針對這些現象及事件，包含

已實施之防災措施，基本上可將其定調為調適措施進一步來推廣 (圖 5-37)，且因應未來氣候變遷之調適，首先應減緩面對氣候變動影響的脆弱性與曝露度程度，以降低災害規模與影響範圍。

(三) 將未來影響納入考量

儘管未來氣候變遷的影響程度和發現時間點存在很大的不確定性，但隨著氣候變遷的發展，大規模災害事件對社會將產生重大影響。因此，在考慮氣候變遷影響的對策時，需注意事件的發生頻率將因氣候變遷而產生變化，包含發生頻率低但產生大規模影響的事件，盡可能考慮各種事件並思考對應處理方法 (圖 5-38)，包含推估最大災害外力等各種規模降雨為對象，進行洪氾、淹水等潛勢地圖，作為避難檢討、社區營造與投資等判斷之參考。

(四) 考量軟、硬體之綜合措施

考慮氣候變遷所造成風險程度以及地域特性之影響，調適策略應同時考量設施整備等硬體措施，以及相關軟體防災措施，例如向居民提供情報、情報發布演練、避難、緊急活動、業務連續性等準備，以及為儘早復原災損而進行的事前檢討研究等各種軟體措施。關於資訊及通訊技術 (ICT)，除積極使用來傳達、發布預警或避難疏散情報於居民，並活用大數據資料，提升傳遞資訊給民眾之效率。

從降低民眾與社區脆弱度與危害度觀點來看，推動對策之時機點應考量人口、區位、經濟等條件，如在都市與淺山地區持續實施因應人口減少等狀況的社區與地區重劃，且除已推估之災害風險外，應注意因應氣候變遷之災害，推動社區營造、地區營造與土地利用 (包含引導居民遷居區域之設定、設施整備、考量災害風險之土地利用方式) (圖 5-39)。

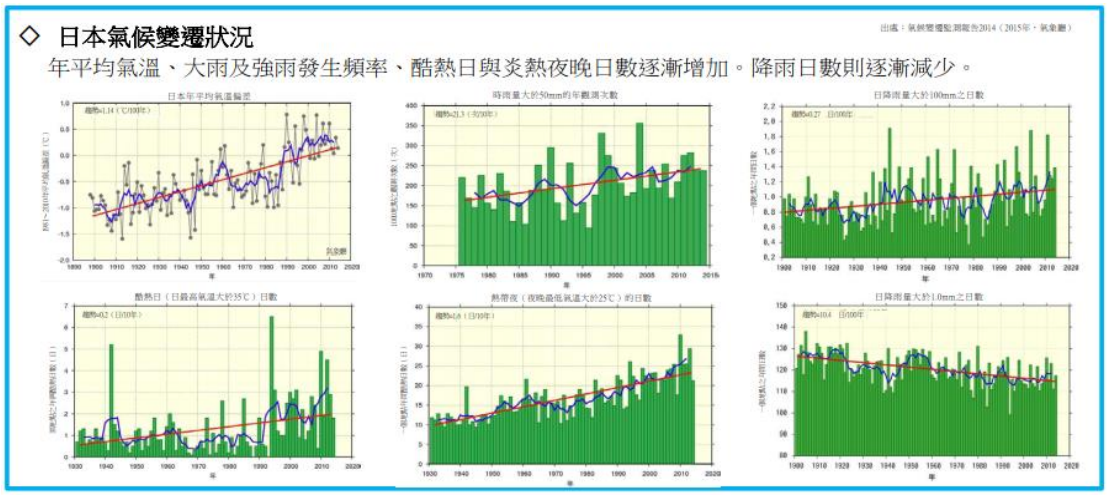


圖 5-37 現在發生氣候變動現象處理對策 (國土交通省，2015)

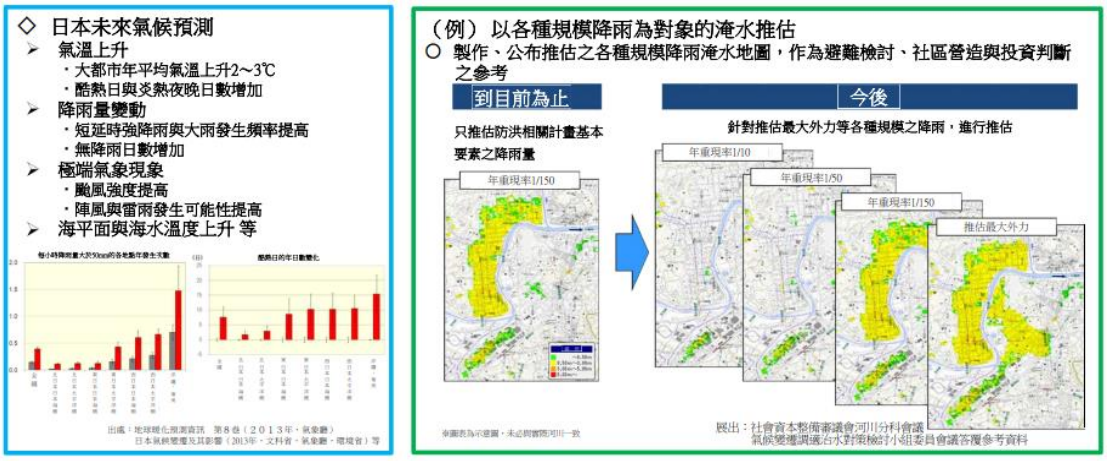


圖 5-38 將未來之影響納入考量 (國土交通省，2015)



圖 5-39 考量軟、硬體之綜合措施 (國土交通省，2015)

(五) 各種事業計畫中納入氣候變遷之影響

為了有效實施調適策略，應將調適氣候變遷的影響納入各種事業計畫中。此外，在基礎設施和系統的維護、管理及更新的同時，必需要考慮未來氣候變遷的影響，對這些設施未來的設計進行檢討，避免落入反覆施作的困境中(圖 5-40)。

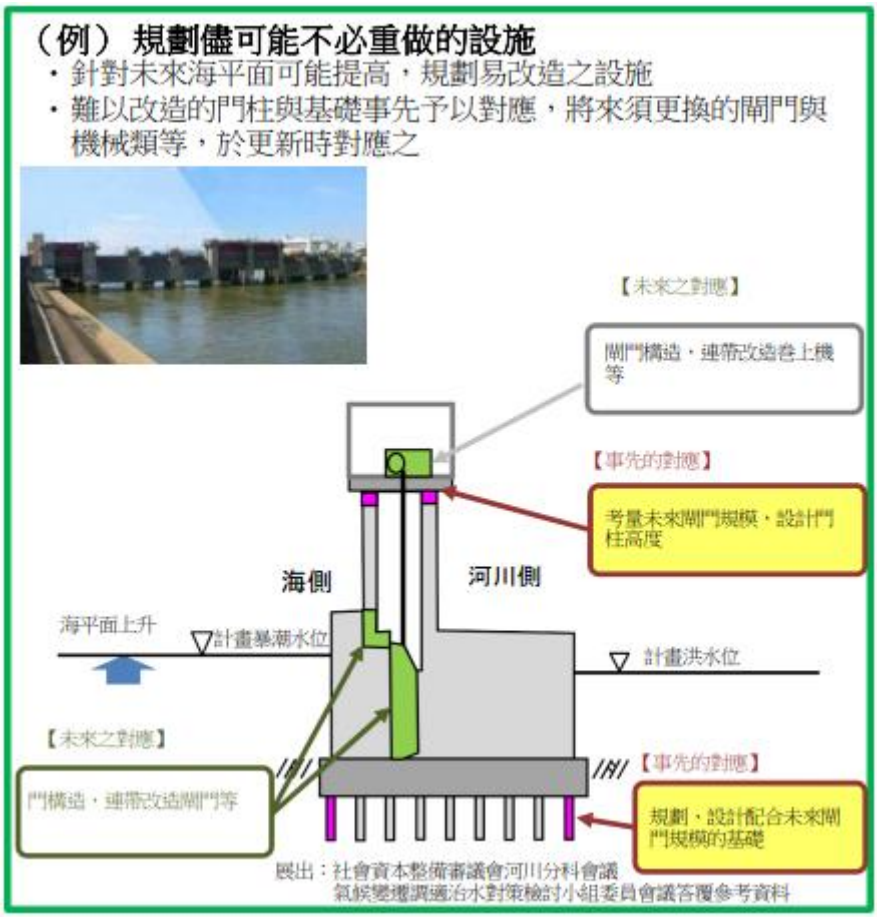


圖 5-40 減少反覆施作的工程設計 (國土交通省，2015)

(六) 與自然環境和諧共生

利用各地特性來發揮自然機能的同時，考量與自然和諧共生，以保全自然多樣性及可持續利用的角度出發，對於自然環境的保護、再生和創造採取措施。同樣地，在規劃和實施調適策略時，應考慮自然環境之保全、再生及創造。再者，根據目的地的地域特徵，利用自然

環境的多樣性功能 (如綠色基礎設施)，為生物提供棲息及生育場所、形成良好的景觀、抑制溫度上升，以達成與自然共生、友善環境、和諧相處之目的 (圖 5-41)。



圖 5-41 與自然環境和諧共生 (國土交通省，2015)

(七) 考慮地域特性並推動各界 (地方政府、企業、居民等) 合作

脆弱度及曝露度受氣候變遷的影響因地域不同而異，在推動調適策略時，應考慮地域特性不同並適時靈活調整對策。從促進地方政府、企業、居民等不同參與者之間合作的觀點來看，提前準備將來所採用之措施項目及其實施之時機點，有助於因應氣候變遷影響的嚴重性，且同時考慮各種措施及應對方法之有效性。再者，政府單位可以提供相關支援，例如以防災和環境等議題為例，可向居民布達有關氣候變遷及調適策略的資訊 (圖 5-42)。



圖 5-42 慮地域特性並推動各級 (地方政府、企業、居民等) 合作(國土交通省，2015)

持續監測氣候變遷的影響對於促進適應策略的調整管理是不可欠缺的。但目前在某些知識領域內，對於未來氣候變遷的影響和調適策略還沒有充足的瞭解。因此，以採取合理、適當的氣候變遷調適策略為基礎，需積極的充實和強化相關知識包括「觀測和監測系統」、「氣候變遷預測和風險評估」、「調查研究及技術開發」等項目，並利用其研究成果來獲得適切的調適策略以因應氣候變化。

對此，以持續監測等各種方式所獲得的知識，根據氣候變動的情況，應利用過去實施調適策略所獲得的經驗，盡可能利用氣候變動預測和風險評估、調查研究和技術開發等方面最新知識，同時考慮政府對於調適計畫的實施進度，根據需求適時地進行評估，定期檢討調適對策。

三、調適策略的措施

在自然災害領域方面本文以水災災害及土砂災害為例，對其受氣候變遷影響及相關調適策略分述如下。個別調適策略所考慮事項和執行，可利用上節「調適策略制定方向」所述進行制定 (國土交通省，2015，国土交通省気候変動適応計画)。

(一) 水災災害

在制定水災災害方面的調適策略，應考慮「影響程度/影響性」、「調適策略的基本/制定方針/方向」、「災害風險評估」等三個主要方向作為制定調適策略相關措施。

在「影響性」方面，主要是由於短延時強降雨發生頻率增加 (時雨量超過 50mm 以上)、豪大雨之總降雨量 (總雨量大於數百毫米或數千毫米) 增大，此兩種情況造成嚴重的洪水、淹水、暴潮等災害。

在水災的「調適策略制定方向」上，對於發生頻率相對高的災害事件 (比較的発生頻度の高い外力に対しては) 條件下，應持續改善堤防、洪水調節、下水道等硬體設施並進行維護，且適時進行更新設備或機具組件，以確保設施之功能及防災能力。藉由這些措施，旨在預防水災災害的發生。此外，參照其他國家的調適策略，考慮到未來氣候變動可能導致災害事件的規模及影響性擴大，應盡量減少重覆施作之設計，並採取適應性管理維護和保養等對策。

在災害事件超過設施之防災能力 (施設の能力を上回る外力に対しては) 方面，藉由防災設施的運作、構造、維護程序等措施來減少災害程度，同時為促進社區發展和城市規劃等應考慮其災害風險，以強化避難、緊急活動、業務持續性等方面預為準備工作。藉由這些準備工作盡可能達成減少生命、財產、社會經濟的損害。在促進城市

發展和疏散避難等對策中，根據各種假設條件下所發生的水災災害事件，地方政府、企業、居民等要做好準備應對可能發生的損害，根據實際情況來採取應變措施 (圖 5-43、圖 5-44)。

特別是針對災害事件大幅度超出防災設施能力時，在最壞情況下，中央政府、地方政府、公益團體、私人企業等彼此積極協調合作，著重在採用軟體對策的設置及實施，盡可能地減少人命傷亡的損失，並避免對社會經濟造成毀滅性損失。

在「災害風險評估」方面，地方政府、企業、居民等對於災害發生可能性、發生頻率及程度等需有一定程度的瞭解。因此，對各單位而言，應提供詳細災害風險資訊，使其易於理解並採取相對應之調適及防減災對策。除了提供單一規模的災害設定外，亦應提供各種規模之淹水災害模擬情況、淹水 (床上淹水高度) 發生頻率、人命損失風險、設施能力及維護狀況等資訊。再者，更重要的是各單位政府、非政府及民間團體等(如中央政府、地方政府、公益團體、企業、居民等)應參與各種會議來分享、共享災害風險情報，並積極促進調適策略、措施的推廣。



圖 5-43 水災害調適策略的基本方向 1 (國土交通省，2015)

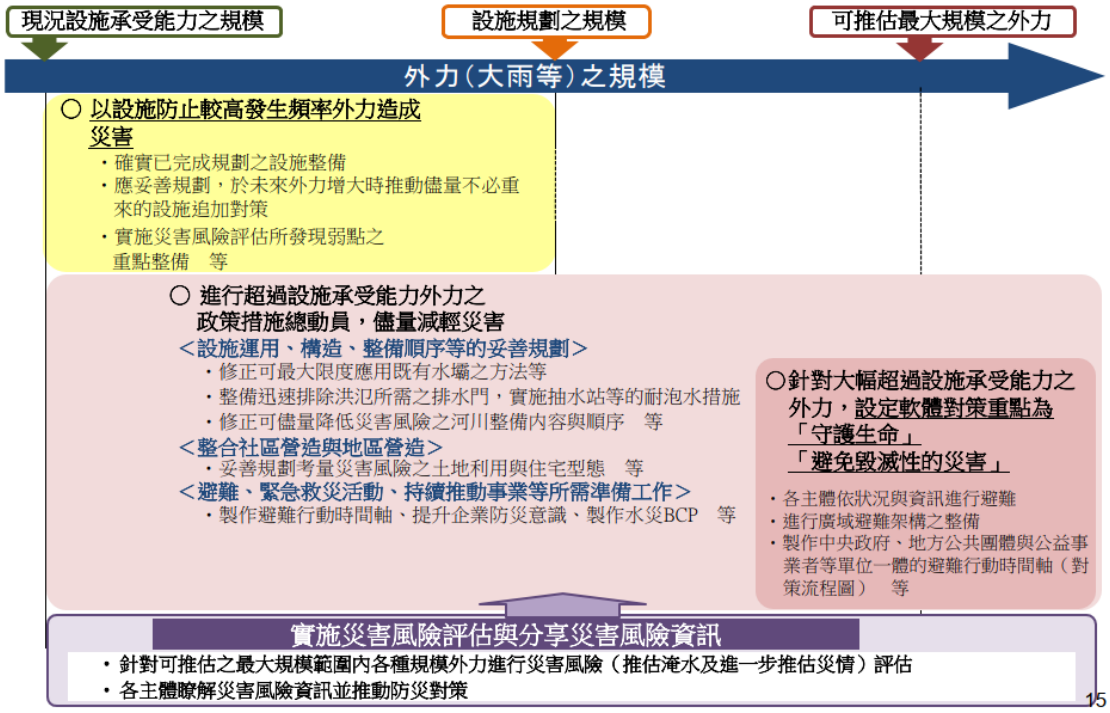


圖 5-44 水災害調適策略的基本方向 2 (國土交通省，2015)

各單位在實施對應策略時，應根據當地實際情況進行，並考慮淹水地區的人口和資產的集中程度、基礎設施和維生管道及醫院等醫療救護設施的位置、當地產業結構和地理位置、老年人口狀況等進行災害損失情況之評估。因此當考慮以最壞情況為前提進行準備時，假設淹水區域所受之災害外力 (如洪水、河川溢堤、都市淹水、暴潮等) 規模為最大，在此種情況下，提供淹水深度及淹水持續時間等相關情報，以協助地方政府、企業、自治組織、居民、救災團體等必要時採取疏散避難等措施。

以下針對「發生頻率較高外力」及「超過設施防護能力上限外力」等兩項，考量外力規模之防災及減災對策進行說明如下：

1. 發生頻率較高外力之防災對策

對於發生頻率較高的災害事件，將採取適當維護及更新措施，並持續穩定對現存防災設施進行維護及升級，以預防水災災害 (洪水、

淹水等) 發生，其使用之措施可以分為兩大類，其一是持續推動之工作，包括防災設施之確實維護、既有設施機能之提升、確實維護管理及更新、水閘門等設施操作之遠端化(自動化)、綜合土砂管理措施；其二是未來持續調整檢討之工作，包括設計減少重復施工之設施、提升氣候變動預測技術用於設施規劃和設計等、海平面上升及漂流木影響檢討、河川及下水道設施之綜合運用 (圖 5 15、圖 5 16)。

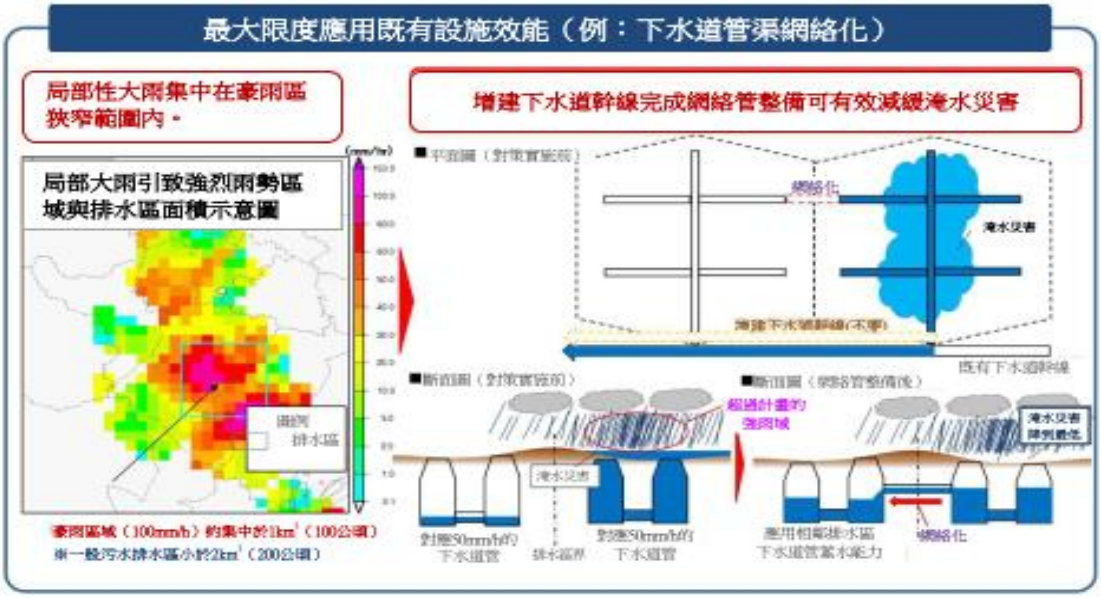


圖 5-45 河川及下水道設施之綜合運用 (國土交通省，2015)

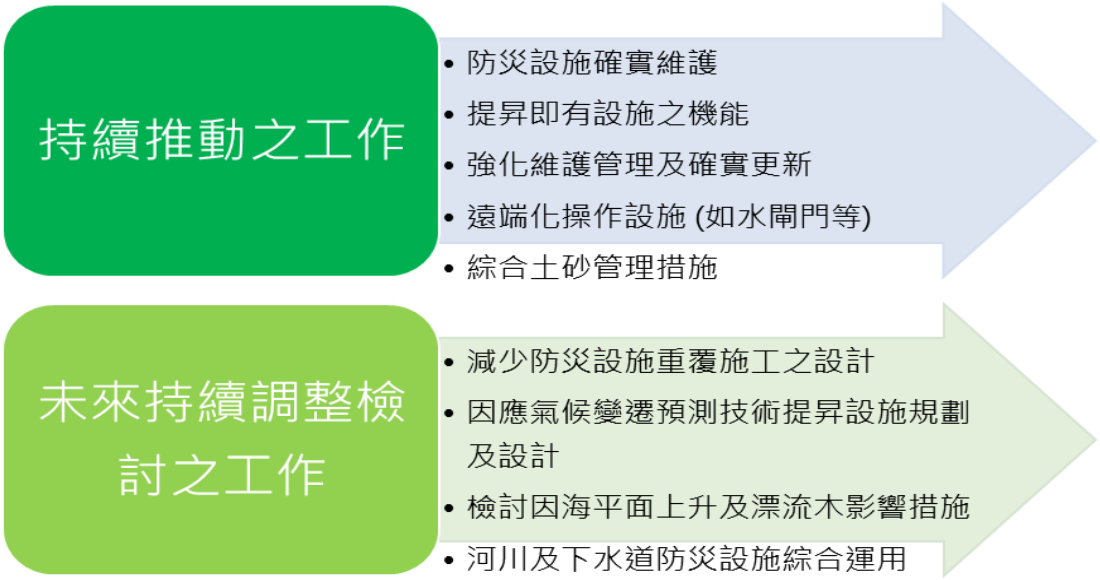


圖 5-46 發生頻率較高災害事件的防災對策-維護及更新措施

2. 超過設施防災能力之減災對策

對於災害事件超過設施之防災能力，需透過規劃和設計防災設施之運作、構造、維護順序等來減少災害。此外，考慮到社區發展和城市規劃之災害風險，以最大限度地減少災害損失為前提，並確實準備疏散、緊急活動、業務持續性等預備工作及措施。因此，對於超過設施防災能力之減災對策 (施設の運用、構造、整備手順等の工夫)，其採用之措施分為兩大類，其一是持續推動之工作，包含強化觀測系統、強化水災災害防治系統、活用河川管理設施確保避難地點安全；其二是未來持續調整檢討之工作，包含根據外力所造成之災害風險對河川維護計畫等進行盤點及審查、延長潰壞時間之堤防結構、最大化運用現有設施之防災功能、進行大規模構造物的檢查 (圖 5-47、圖 5-48)。

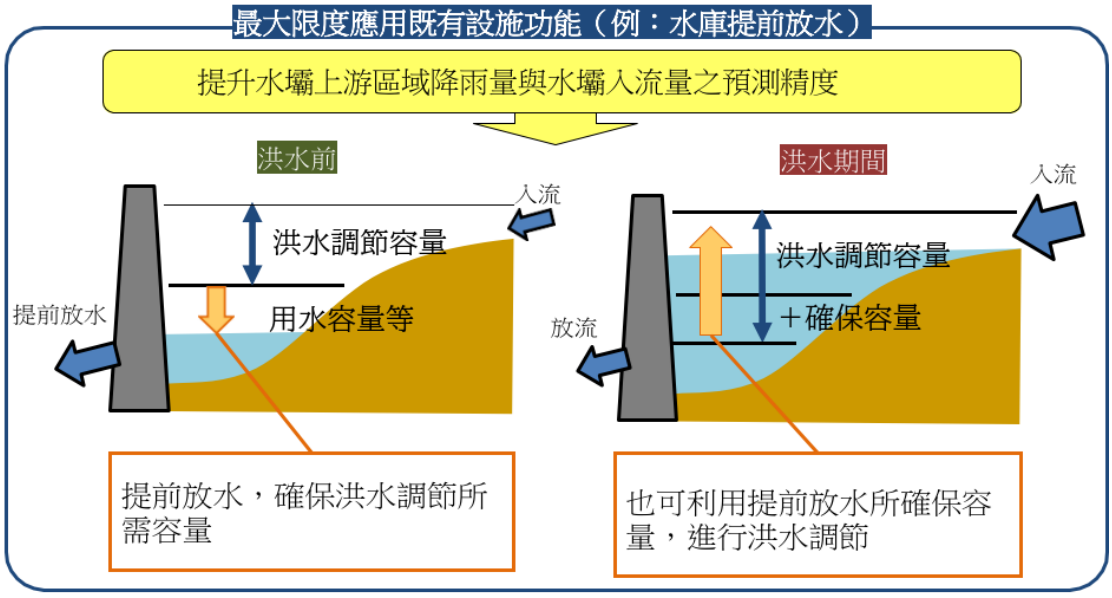


圖 5-47 最大化現有設施功能的運用-水壩災前放流作業 (國土交通省，2015)



圖 5-48 災害外力超過設施之防災能力 -(施設運用、構造、維護順序等)

於城市規劃和社區發展之合作 (まちづくり・地域づくりとの連携)項，其採用之措施分為兩大類，其一是持續推動的工作，包含綜合淹水對策、考慮土地利用狀況的治水對策、地下空間的淹水對策；其二是未來持續調整檢討之工作，包括詳細介紹和共享災害風險情報、提供城市規劃及居住相關災害風險情報、城市規劃及區域發展合作的淹水減災對策、城市規劃及區域發展合作的洪水氾濫抑制工作 (圖 5-49、圖 5-50)。

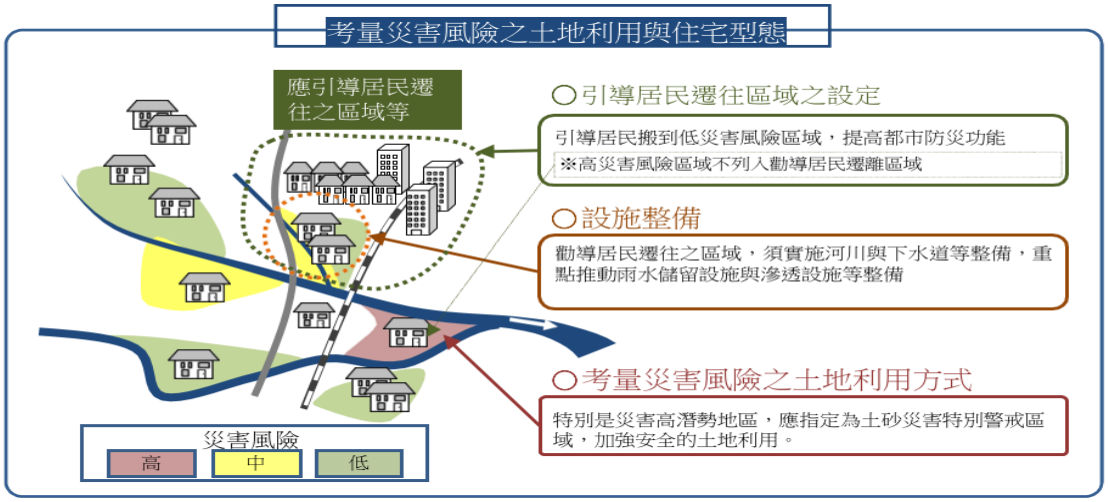


圖 5-49 考慮災害風險之土地利用對策 (國土交通省，2015)

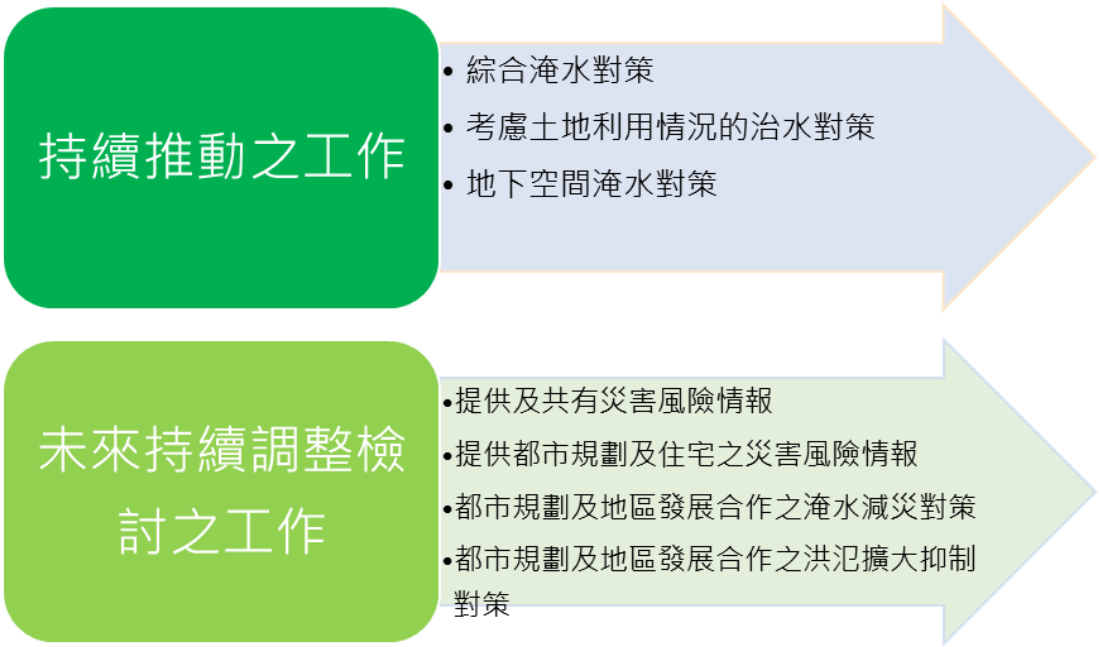


圖 5-50 災害外力超過設施之防災能力 - (城市規劃和社區發展合作)

於疏散避難、緊急活動、事業連續性計畫等準備工作 (避難、応急活動、事業継続等のための備え)，在疏散避難方面，其持續推動工作項目為支援市町村長發布準確疏散避難建議，在未來持續調整檢討工作項目，則有提供易於理解的情報以促進疏散避難、加強事前準備為迅速及順利進行疏散避難、改善疏散避難和救援等準備工作等三項。在緊急活動及事業連續性方面其持續推動工作項目則是強化災害發生時市町村之支援系統，在未來重新檢討工作項目則有制定防災相關機關和公益團體等業務連續性計畫、抑制洪水氾濫擴大和消除洪水、提高企業防災意識及建立水災害業務連續性計畫、各單位協調整合之災害應變系統 (圖 5-51、圖 5-52)。

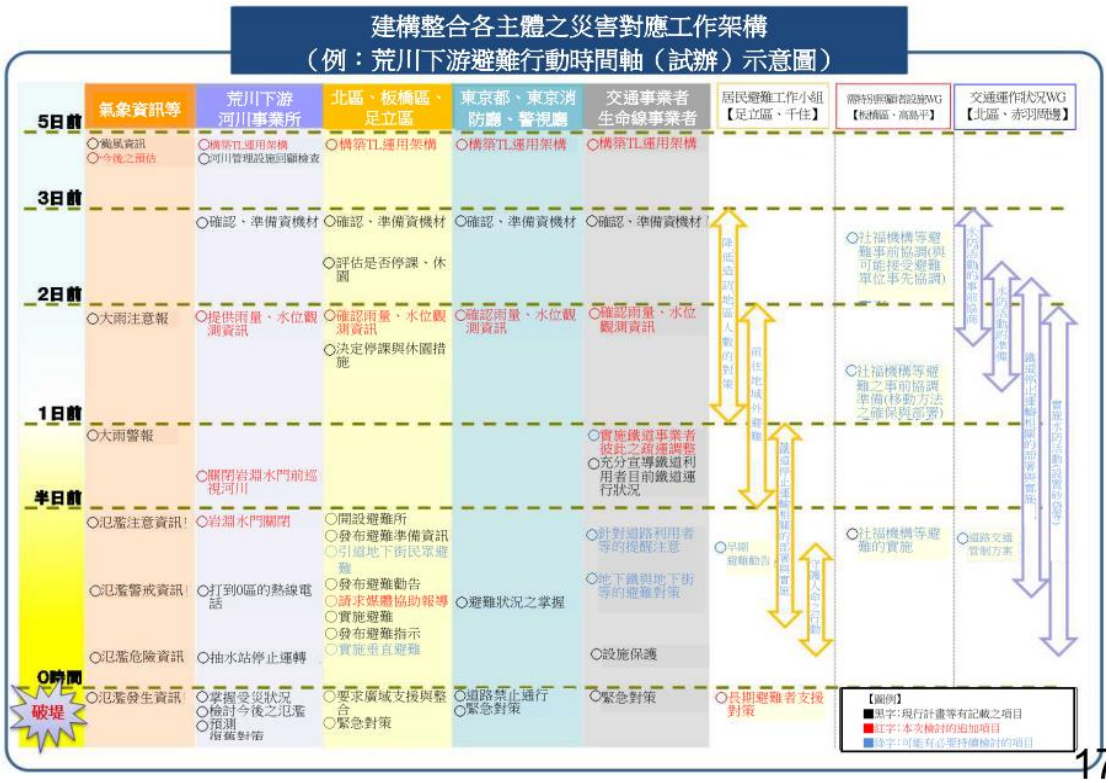


圖 5-51 各單位協力整合之災害應變系統 (國土交通省，2015)

持續推動之工作

- 支援市町村長發布準確疏散避難勸告
- 強化災害發生時市町村之支援系統

未來持續調整檢討之工作

- 提供易於理解情報以促進疏散避難
- 加強事前規劃以迅速進行疏散避難
- 改善疏散避難和救援等準備
- 制定防災相關單位和公益團體等業務連續性計畫
- 抑制及排除洪水擴大及氾濫
- 提高企業防災意識及建立水災害業務連續性計畫
- 各單位協調整合之災害應變系統

圖 5-52 災害事件超過設施之防災能力 -(疏散避難、緊急活動、事業連續性計畫等準備工作)

(二) 土砂災害

近年來在日本全國各地土砂災害發生頻率增加且災害情況慘重(詳第三章)，由於氣候型態轉變，短延時強降雨的增加，更增加了土砂災害發生頻度，且突發性、局部性豪大雨使得預警避難反應時間短之土砂災害事件增加。颱風降雨量增強因素影響方面，其所形成破歷史記錄之降雨量伴隨著深層崩塌發生，更是讓人們擔心不已。因此對於土砂災害的調適策略，針對其類別可以分為九個項目 (圖 5-53)，細項說明如下：

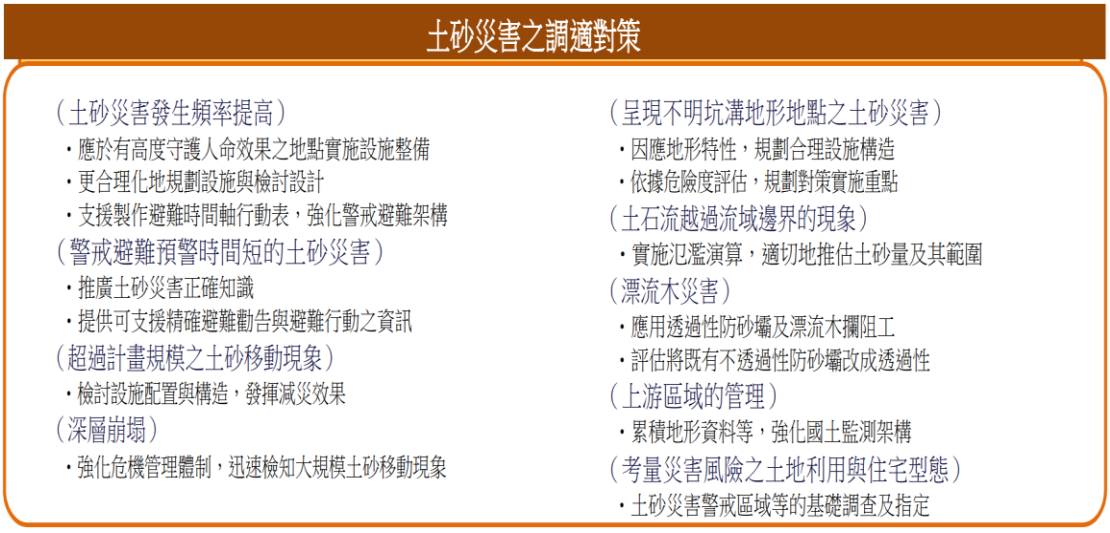


圖 5-53 土砂災害調適策略 (國土交通省，2015)

1. 對於土砂災害發生頻率增加之調適措施

防災以保護人命安全為主要考量，藉由改善防災設施、疏散場所和路線及公共設備，以保護民眾安全並保障社會經濟活動。此外，為更有效地使用現有設施，適時地清除防砂壩淤積土石，檢討更合理的規劃設計方法和材料使用方式，以提升設施之防護力並提高對人命安全守護之效果 (圖 5 24)。

由於土砂災害是由複雜誘因、相互關聯的因子所造成，是以相當難以準確預測其發生 (時間、規模、位置等)，因此，整合軟、硬體對

策是相當重要的。日本根據土砂災害防止法，需針對土砂災害潛勢地區進行現地基礎調查並據以指定為土砂災害警戒區(黃區)及土砂災害特別警戒區(紅區)；惟因在指定土砂災害警戒區前，尚需辦理居民說明會及相關行政程序等，往往所需時間甚長，為避免資訊落差，日本砂防部建議地方政府在指定土砂災害警戒區前即先公布基礎調查結果，以儘早告知居民當地土砂災害之風險。此外，藉由規劃制定災害潛勢圖和各階段行動計畫來強化預警避難系統，並對地方政府公務人員和居民進行防災教育，以培育瞭解土砂災害知識之人才。

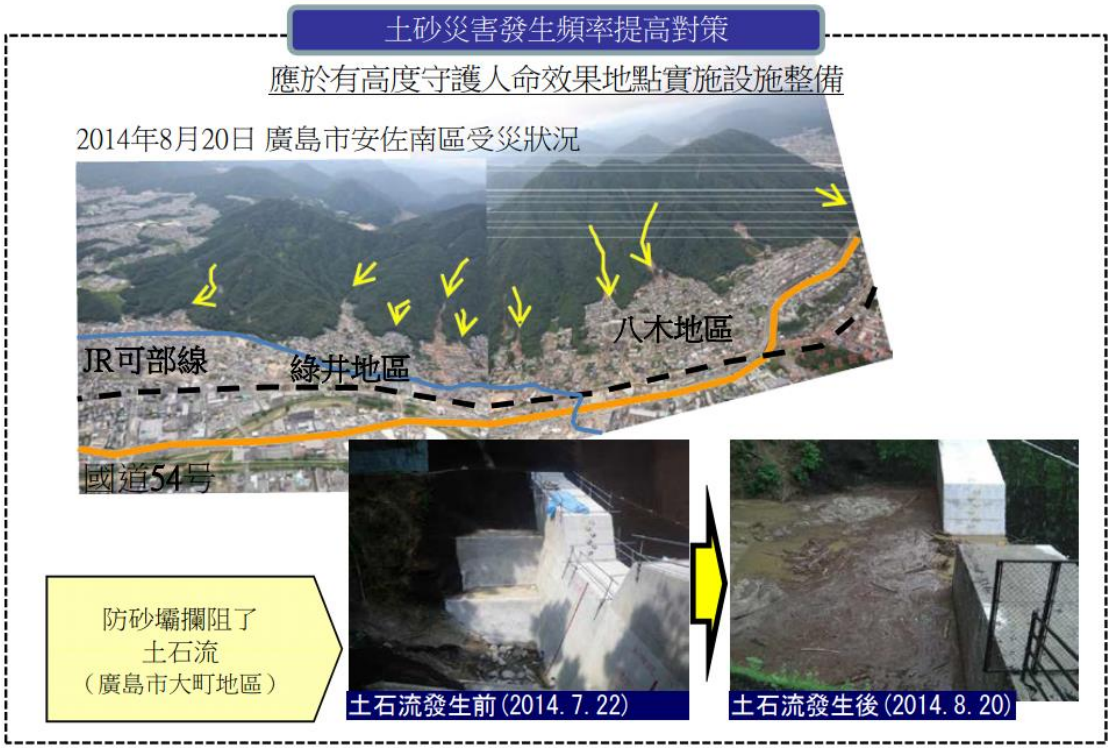


圖 5-54 土砂災害發生頻率增加之措施

2 預警避難反應時間短之土砂災害事件對策

通過實際防災訓練和防災教育等來普及如何應對土砂災害的正確知識，並徹底通知民眾有關危險處所、逃生路線和方向等資訊，以確保民眾能盡早遠離危險處所。對此，除了改善土砂災害警戒情報，並活用社群媒體等資訊收集和共享方式，以有效改善預警時間相對變

短之災害事件。

3 土砂運動現象超過計劃規模的對策

對於砂防設施如防砂壩、堤防、堰堤等配置及構造進行檢查，以確保能長時間發揮減災機能，此外，藉由軟、硬體共同運用等方式來確保居民的避難時間及場所，維護保全避難路線安全。

4 深層崩塌的對策

利用衛星影像強化國土監測，可及早把握深層崩塌所發生之河道阻塞、天然壩等之形成現象，促進危機管理系統的維護。此外，亦可使用新技術如空中電磁探查等以提升探查準確度。另外在假設因河道阻塞等造成嚴重災害的情況下，由緊急調查之結果，向市町村提供情報，並與相關單位連合進行實際演練、導入無人機調查等方法，以快速勘查災害並提升災害事件應對措施。

5 在山谷地形不清楚地區的土砂災害防災對策

先瞭解需要提出重點對策的場所，將探討危險度評估的方法，以考慮更合理的設施構造。

6 土石流越過流域邊界的對策

適當的推估越過流域邊界的土砂量及範圍，並就評估結果考慮使用軟、硬體對策。

7 漂流木災害對策

使用高透過型防砂壩來提高捕捉漂流木效果，設置漂流木防止設施，並改良既有不透過型為透過型防砂壩。

8 上游集水區管理

由持續累積的衛星及航空測量獲得詳細的地形資料，用以強化國土監測系統。從國土管理觀點來看，為防止上游流域荒廢化，推動里

山水土保持治理工程、綠化帶維護等項目，藉由軟、硬體綜合方法等各種支援措施來控制、防止土砂災害，以提高區域防災能力並振興(活化)當地社會 (圖 5-55 及圖 5-56)。

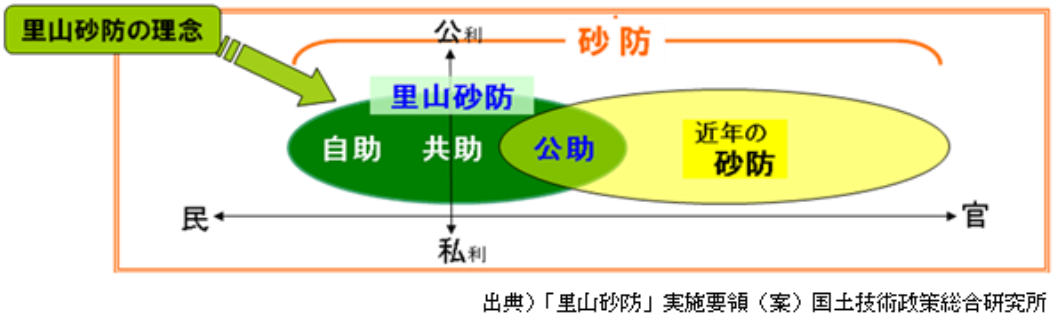


圖 5-55 里山砂防理念 (資料來源：https://www.sff.or.jp/biz/3-2/)



圖 5-56 促進綠化帶、里山砂防事業例

9 考慮災害風險的土地利用及住宅使用方式

藉由指定土砂災害警戒區及公布基礎調查結果來促進更安全的土地利用方式,最主要是確保有特別需求者 (如高齡者、行動不便者、殘障者、嬰幼兒等) 使用之社福設施和防災基地的安全。

針對災害風險特別高的地區，將指定為土砂災害警戒區，對其建築物之建築技術規則及住宅開發等進行限制措施，並促進危險地域之住宅移轉到安全地域，例如靠近懸崖之房屋進行搬遷，或位於洪氾與淹水區域房屋搬遷至高台整備地上或河階台地上 (圖 5-57)。

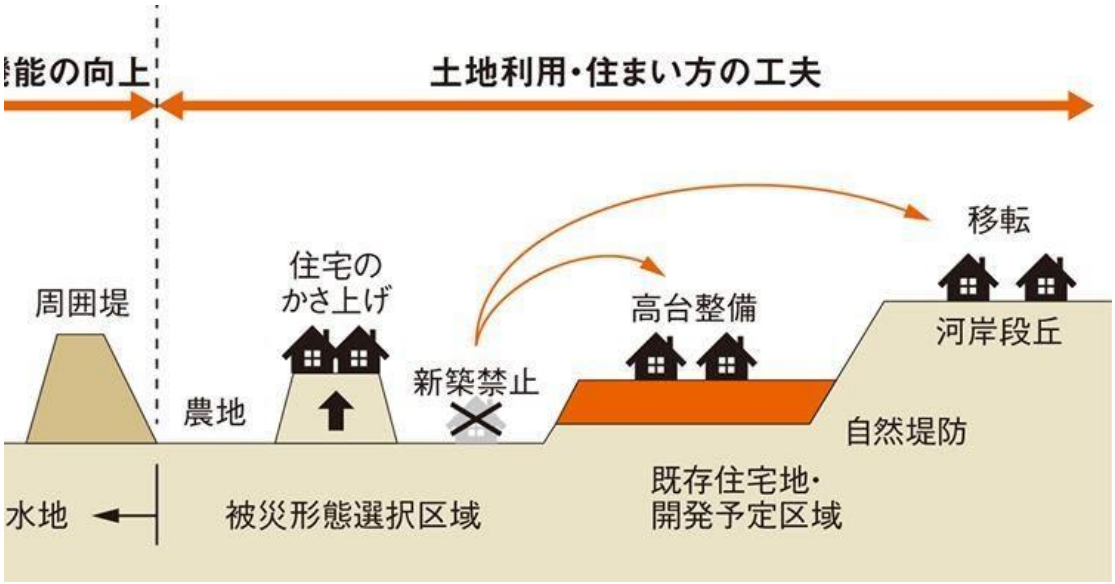


圖 5-57 土地利用及住宅使用之風險管理 (日経クロステック，https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/ncr/18/00092/051800001/)

四、防災對策檢討

對於土砂災害對策檢討，本文以土砂災害防止法歷年修正過程為例，日本政府根據從大規模災難中汲取教訓，依據《災害對策基本法》不斷修正相關災害對策立法，反映歷次災害事件所衍生問題，藉由災害對策、新技術應用、指南製作、防災演練等方式，確實掌握土砂災害情報，使災害規模損失及人員傷亡最小化，其修正契機及制度過程如下表 5-5 所示。

表 5-5 土砂災害對策、技術應用等歷年修正過程

年代	引發修正災害事件	災害對策、新技術應用等制定或修正	法律制度、對策行動等說明
1983	1982 年 7 月長崎土砂災害	制定土砂災害防止月(土砂災害防止月間の制定)	推動全國性土砂災害防範統一防災訓練與集會等
1988	-	氣象廳回應國民要求提供高精度、詳細短期降雨預報	5m 網格降雨解析度、預測未來 3 小時之時雨量
2000	1999 年廣島土砂災害	土砂災害防止法制定 (土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律) (平成 12 年 法律第 57 號)	1 明確定義土砂災害警戒區域、土砂災害特別警戒區域 2 在土砂災害潛勢區通知民眾注意危險。 3 警戒避難體制整備 4 抑制住宅等新建築數量管制 5 促進既有住宅搬遷
2001	-	1 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法施行令公布 (平成 13 年 政令第 84 號) 2 建築基準法施行令部分修正政令公布 (平成 13 年 政令第 85 號) 3 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法施行規則制定 (平成 13 年 國土交通省令第 71 號)	

		4 土砂災害防止對策基本指針制定 (平成 13 年國土交通省告示第 1119 號)	
2003	-	廣島縣-全國首次實施土砂災害警戒區域指定 (13 區域)	
2005	2004 新潟・福島豪雨 2004 新潟縣中越地震	避難勸告等判斷及傳達手冊製作指南(避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドラインの策定)	1 協助民眾瞭解避難勸告與避難指示等區別 2 協助民眾判斷避難行動 3 豪雨時等情報傳達及高齡者避難支援 4 市町村發布避難勸告等判斷基準
2005		開始發布土砂災害警戒情報	1 都道府縣及氣象廳共同發布「土砂災害警戒情報」 2 短延時強降雨及長時間降雨之土砂災害危險度評估 3 短延時降雨指標(60 分鐘累積雨量) 4 長時間降雨指標(土壤雨量指數)
2005		1 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法部分修正(平成 17 年 法律第 37 號) 2 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法施行規則部分修正 (平成 17 年 國土交通省令第 62 號)	
2007	-	土砂災害警戒避難指南策定	1 支援市町村建立土砂災害警戒避難體制整備 2 土砂災害注意事項 (情報蒐集及傳達、發布避難勸告等、開設及運作避難場所、支援災害時需支援者、防止二次災害、提升防災意識 3 擬定「土砂災害警戒避難指南」
2010		開始在大雨警報中註明土砂災害	1 大雨警報區分對象為淹水災害與土砂災害 2 市町村發布「避難準備情報」時，可利用大雨警報(土砂災害)作為判斷材料

2010		土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法部分修正 (平成 22 年 法律第 52 號)	
2011	2011 年第 12 號颱風 (紀伊半島災害) 2011 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	1 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法施行令部分修正 (平成 23 年 政令第 10 號) 2 土砂災害防止對策基本指針變更 (平成 23 年國土交通省告示第 439 號) 3 國土交通省實施全國首次火山噴引致土石流相關緊急調查 (宮崎縣霧島山、鹿兒縣櫻島) 4 國土交通省實施全國首次河道塞迴水引致土石流相關緊急調查 (奈良縣、和歌山縣)	
2013	2011 年第 12 號颱風 (紀伊半島災害) 2011 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) 2012 年九州北部豪雨	2012 年及 2013 年兩次災害對策基本法修正	1 廣域大規模災害應對 2 經驗傳承、強化防災教育及通過各單位參與，提升地區防災能力 3 確實支援被害者 4 確保民眾順暢安全地避難 5 強化廣域大規模災害即時應對能力 6 強化平時防災對策
2013		公告土砂災害警戒判斷網格情報 (土砂災害警戒判定メッシュ情報の公表)	1 補充土砂災害警戒情報 2 土砂災害發生危險度分成 5 等級 (5km 網格資料)，判定土砂災害警戒情報及大雨警報到達基準 3 透過土砂災害警戒區、危險場所及高包險度網格疊合，有助縮小避難勸告發布區域 4 確保避難所需時間，以未來 2 小時預測雨量判定危險度
2013		導入特別警報	1 針對超過警報發布基準之自然災害 2 要求民眾留意市町村發布避難指示、避難勸告等資訊 3 立即採取行動保護自己

2014	2013 年第 18 號颱風豪雨 2013 年 10 月第 26 號颱風伊豆大島土砂災害	避難勸告等指南修正	1 不必擔心避難勸告發錯空振，基本上宜盡早發布 2 留在住家內確保安全也是「避難行動」之一
2014		開始提供高解析度即時降雨預報 (高解像度降水ナウキャストの提供開始)	1 氣象廳更新全國 20 處氣象都卜勒雷達設備 2 觀測降雨強度-強化 250m 網格資料處理能力(由 1km 提升至 250m) 3 提供高解析度降水預報 (每 5 分鐘預測 30 分鐘後降雨資料)
2015	2014 年廣島土砂災害	1 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法部分修正 (平成 27 年政令第 6 號) 2 土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法部份修正 (平成 27 年 國土交通省告示第 35 號)	
2017	2015 年關東暨東北豪雨事件	1 土砂災害警戒區 487,899 區域指定 2 土砂災害特別警戒區域 331,466 區域指定 3 水防法部分修正 (平成 29 年法律第 31 號) 4 土砂災害防止對策基本指針變更 (平成 29 年國土交通省告示第 752 號)	

資料來源: 內閣府，2015，総合的な土砂災害対策の推進について

在 2014 年 8 月廣島土砂災害發生後，為瞭解避難勸告等發布狀況實際情況，內閣府與消防廳以災害發生後發布避難勸告、避難指示等自治體為對象進行問卷調查，總計 392 市町村，調查期間為 2014 年 12 月 15 日到 2015 年 2 月 27 日，市町村回收率為 94.5% (370/392)、案例回收率為 88.2% (784/889)，用以探討防災制度、防災情報、避難情報等相關問題 (引自，2015 內閣府-総合的な土砂災害対策の推進について)。

1. 2014 年 8 月廣島土砂災害檢討

(1) 於避難勸告與災害發生調查中，以土砂災害為對象發布避難勸告及指示 440 個案例部分，有 192 市町村發生土砂災害佔約 43%，雖然誤判案例並不多，但仍有待提升準確率。

(2) 避難勸告等發布時機調查中，顯示有必要加以分析實際災害時間的關係，避難勸告發布約 385 個案例，在夜間發布者 102 個 (晚間 18 時至早上 6 時，約 2 成 5)，在早上發布者 81 案例 (早上 6 時至 9 時，約 2 成)。實際發生土砂災害 159 個案例中，災害發生前發布避難勸告的有 63 例約佔 4 成，而災害發生前來不及發布仍佔多數。

(3) 發布避難勸告等與對象區域

發布避難勸告或指示的 440 個案例中，統計各個類別發布情況，以土砂災害警戒區域與危險場所等為對象有 191 個案例，以網格情報 (メッシュ情報) 危險度升高地域為對象有 80 個案例，同時考慮兩者的對象區域有 43 個案例，因此鎖定危險度高區域為對象範圍而發布的案例相當少。另一方面，市町村全域為對象區域有 95 個案例 (圖 5-58)。

(4)發布避難準備情報與對象區域

發布避難勸告與避難指示的 440 個案例中，有 181 個案例發布避難準備情報約佔全體 40%。在 181 個案例中，以土砂災害警戒區域、危險場所為對象範圍的有 50 個案例，以網格情報危險度升高地區為對象範圍有 24 個案例，其中有 14 個案例(少於 10%)同時考慮此兩方面為對象區域，將鎖定危險度高區域 (含土砂災害警戒區域、土砂災害危險區域與網格情報危險度升高地區) 為對象範圍而發布的案例較避難勸告少，以市町村全區為對象發布有 91 個案例 (圖 5-59)。

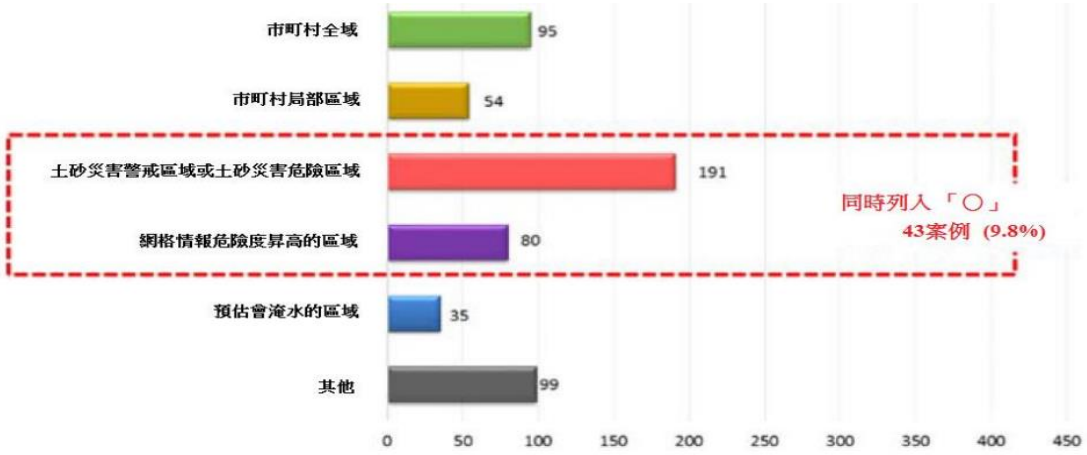


圖 5-58 避難勸告與指示之發布範圍 (內閣府，2015)

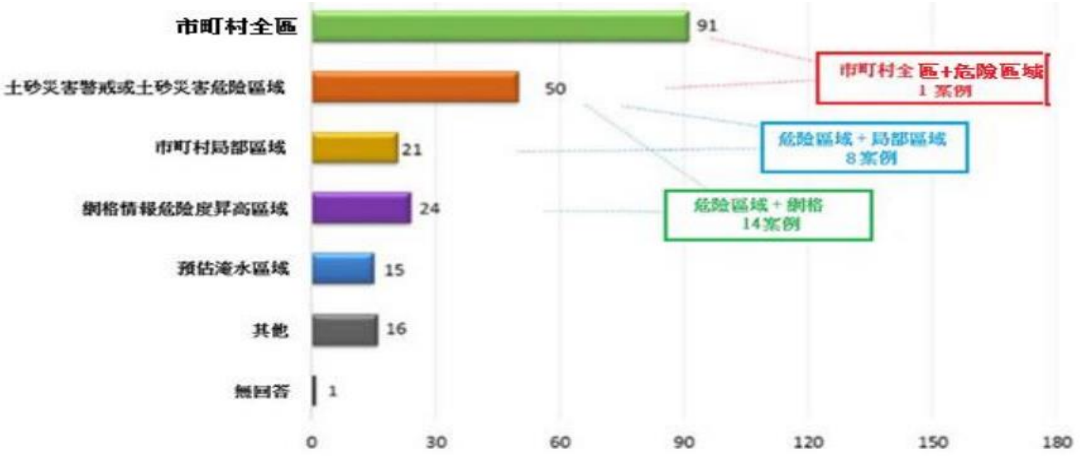


圖 5-59 避難準備情報之對象範圍 (內閣府，2015)

(5)開設避難場所

發布避難準備情報的 181 個案例中，有 29 個案例未開設避難場所，也有發出避難準備情報，但沒有開設避難場所。避難勸告或避難指示發布的 440 個案例中，幾乎全部的 426 個案例在發布命令前已開設部分避難場所，即大多數是在避難場所開設之後才發布命令。在以土砂災害為對象發布避難勸告等命令的 230 個市町村中，當地社區與地區自治會、自主防災組織合作開設避難場所只有 97 個市町村。

在避難場所開設情形中，顯示出市町村等單位無法有效利用土砂災害警戒資訊判斷危險程度，導致避難場所開設，大多在避難勸告後才開設或沒有開設情況發生。

經由 2014 年廣島土砂災害事件，日本相關單位積極推動各項防減災對策,但 2018 年 7 月豪雨卻造成近年死亡人數最多之災害事件，國土交通省以 2018 年 7 月豪雨事件進行驗證、檢討土砂災害防減災作法之有效性，由現場調查、委員會、工作坊及問卷調查等方式，綜整出目前推動之防災方向與作法是否正確,其需再改善及再檢討項目如下 (引自，2019-実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会)：

2.2018 年 7 月豪雨事件檢討

(1) 於土砂災害警戒區災害事件調查中，土石流沖毀民宅案例中，有 96%出現於土砂災害警戒區域內,顯示未來需加以考慮災害風險，從而限制區域開發或都市計畫開發之土地使用，以避免住宅、商業、工業之土地使用位於高致災區域中。

(2) 在土砂災害警戒區外受災喪生案例中，因為基本資料不全、資料品質及精度不佳,使得研判土砂災害之河谷地形或陡坡地形錯誤，造成高潛勢區域未劃入土砂災害警戒區,以致土砂災害罹難者受害事件發生在此區域 (圖 5-60)。

(3) 在土砂災害警戒資訊調查中,34 都道府縣針對 505 個市町村發土砂災害警戒資訊,其中約 208 個市町村發生土砂災害 (此顯示出土砂災害警戒資訊誤判情形過高),另外在出現罹難者的 53 個地點之市町村都是在災前公告土砂災害警戒資訊區域，在其中 37 處地區是於災前發布避難勸告,但由於從發布完成到實際發生災害為止經過相當長時間,使得事件期間並未能讓居民瞭解危險度高低,且有些人員喪生案例是在未劃定為土砂災害潛勢地點,顯示土砂災害警戒資訊之發布流程與作法仍有待精進。

(4) 在土砂災害警戒資訊調查中，調查過去 2015 至 2017 年間約有 70%資料顯示，當發布大雨警報到發布土砂災害警戒資訊之間少於 1 小時，造成居民疏散避難反應時間不足約有 30%，但在 2018 年 7 月豪雨事件，發布大雨警報後到發布土砂災害警戒資訊為止，有超過 1 小時之案例為 94%，但仍有許多人喪生，調查結果顯示，許多反應時間長之地方，市町村卻未發布疏散避難之地點，由於其時間為深夜或黎明，為避免夜間避難時罹難風險之問題，而不敢發布疏散避難警告，僅呼籲居民自主避難，造成居民受困於自宅或於避難期間傷亡。

(5) 在前往避難行動之理由中，依多寡排列分別是，收到「發布避難勸告與指示 (含土砂災害警戒資訊)」、「周圍環境產生變化」、「左鄰右舍招喚前往避難」此三項。而在未前往避難理由中，則是「判斷待在家中安全」、「判斷前往避難很危險」、「居民皆無避難行動」此三項為最常見。顯示居民自身災害意識不足，導其在接受到避難勸告，但由於鄰居街坊無行動，或是自身感覺家中安全之理由而無避難行動形成後續傷亡事件。

(6) 在 2018 年 7 月豪雨罹難人數最多的廣島縣吳市西條 3 丁目地區，其中往避難所的路線上都位於土砂災害警戒區內，且前往避難所需跨越土砂與洪水氾濫之大屋大川，雖然已收到行政部門發布避難勸告相關防災資訊，推測由於從住宅前往避難所路徑處於危險狀態，因而無法進行撤離。

(7) 部份地方自治協會，其自主製作防災手冊與防災地圖，經常舉辦防災演練、分配支援給需特別照顧者 (老年者、行動不便者、小孩、孕婦等)，因此該地區無人員傷亡。除了經常教導民眾瞭解居住區域之災害危險程度，讓其具有防災意識，並藉由防災演練熟悉避難流

程與避難地點路線，以提升疏散避難成效。

由以上兩場事件之探討可以歸納出，土砂災害事件突發性高，使用網格(メッシュ)預測模式之解析度及準確率有待提升，民眾防災意識不足，建議應提早發布避難準備-勸告-指示等命令，避免預警避難資訊難以充分判斷是否進行避難行動，因此在通知民眾避難時，除了前往避難場所外，待在屋內或往高地安全處避難亦是安全選項。希望藉由提高民眾災害風險意識，達到確實避難，減少人員傷亡。

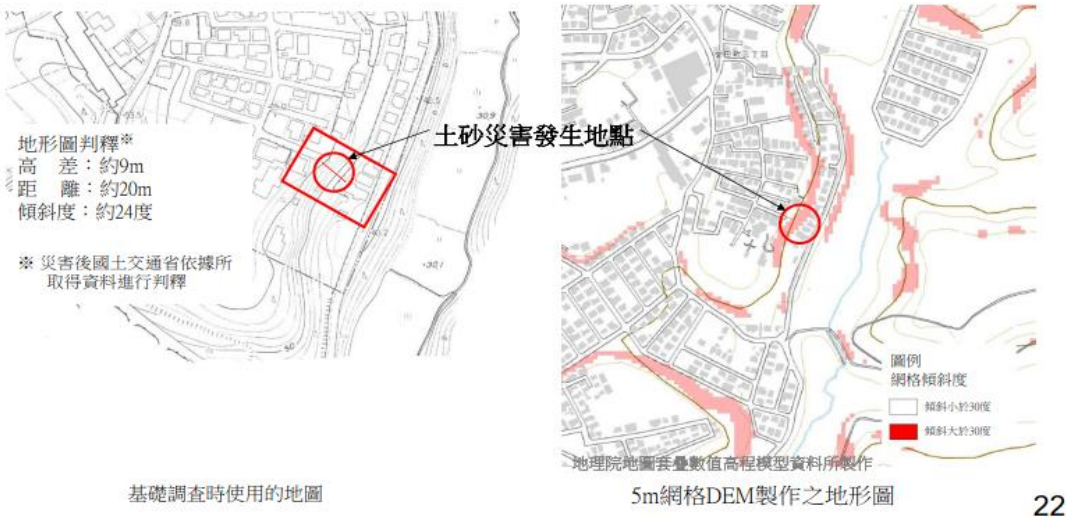


圖 5-60 使用高精度地形圖以提升土砂災害警戒區判釋(國土交通省，2020，近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について)

第六節　結論與建議

一、結論

由於氣候變遷情勢之推估是由長期資料所推衍，在制定調適策略時，必須要從長期角度進行規劃，參考氣候變遷的預測趨勢及變動年份等資料，並加以考量對於實施標地的長期影響，但由於各國所發展氣候變遷預測數值模式皆不相同，各氣候模式情境預測值之結果與空間解析度亦差異甚大，因此對預測模式之解析度與不確定性等需特別注意。建議後續在使用模式預測資料作後續研究時，需注意其使用氣象資料時期、設定情境、參數、空間解析度、不同動力降尺度(Dynamical downscaling)技術等資料，盡可能減少影響結果之不確定性，以獲得較適合該研究區域之模擬預測資料。

氣候變遷下極端事件強度增加，如降雨量增加、災害外力超過防護設施，為避免及減緩民眾及社會經濟之影響，其治理計畫與對策方法該如何制定，以往作法主要以硬體工程手段為主，但由日本近年之災害事例來看，頻繁發生超過防護能力之降雨、土砂與洪水氾濫等複合災害，因此強化災害外力調節與控制對策、改善受災對象減災對策、受災恢復與重建對策等，是目前急需各相關單位依據基礎調查與科學研究等資料依影響程度大小，規劃各階段調適對策，如訂定防災設施設計標準與維護計畫、研擬防災與減災整備項目、建立跨機關協同合作之制度與支援對策制定等。

因應氣候變遷下土砂移動現象及制定相應砂防整備計畫，需精進目前對於土砂量體之評估技術，因此如何推估氣候變遷導致豪雨增加情況下，土砂生產量、土砂運動影響範圍、何種土砂災害將更頻繁等議題更顯重要。目前國外經驗多藉由歷史災害事件，綜整降雨特性變

化造成何種土砂移動現象及頻率改變，並考量地質、地形、氣候水文條件等各方面影響，設定不同土砂生產情境，以推估土砂移動現象可能影響範圍，以持續精進調查與評估土砂量法準確性。

為使民眾瞭解土砂災害特徵與危險地區情報，藉由土砂災害警戒區劃設與建立預警疏散系統，強化土砂防範的重要性，並提升民眾防災意識與自主防災能力，以落實地區防災整備，進行迅速確實的避難行動。因此，具體應對方法為提升土砂災害警戒區劃設之精確度，並針對已完成土砂災害現場與基礎調查地區，研討該地區現行土砂災害對策具體實施方法是否合宜。對於建立民眾防災意識方面，則需進一步推動民眾瞭解土砂災害警戒區及危險區域之認識，除利用宣導說明會、公聽會等方法，配合地區自治會、自主防災組織等民眾力量，促進形成自助與共助之地區避難疏散體制，並設置如防災工具間方式，以支援民眾自助救災環境，另外製作簡單易理解之危險標誌，使民眾瞭解周遭居民環境危險程度。對於提升地區防災整備方面，除和相關單位合作，培育防災人材、防災地圖之製作與修訂以支援防救災行動外，應實施防災訓練和防災教育，以強化民眾防災能力，並考慮推行區域聯防應變，藉由設定情境腳本、兵棋推演及災害事件通報等，整合運用區域聯防能量，支援受災地區所需之防救災人員、醫療場所、避難場所等資源。

由於氣候變遷影響引致災害外力 (暴潮及海岸侵蝕、洪水增強、土砂災害劇烈化、旱災危險性增大等) 劇烈化情形下，未來災害外力必將超過現況防災設施之防護能力，傳統防災機制與思維無法有效因應，要讓土砂災害傷亡最小化，除了各級政府 (中央政府、地方都道府縣、市町村) 進行技術及財力支援外，尚需加入企業、民間組織 (自

治會、自主防災組織、社福協會、志工等) 及民眾本身等彼此合作，因此有必要進一步運用各種硬體工程、軟體防災措施、管理 (法律、規範、管制等)、自主防災等此四個面向來推動土砂災害調適策略，通過各相關利害關係人的共同努力以提高對策有效性，並持續檢討修正實施對策之效果，以發展精進有效率、有效果之技術與對策措施。

以災害協力治理觀點而言，目前日本積極推動「水防災意識社會」，中央政府及都道府縣管轄河川，持續推動政府與民眾合作，從自助、共助和公助之觀點，強化更多關係者參與，促進提供風險情報和加強合作協助，以提升避難時效性，減少土砂災害損壞傷亡。其目的主是要藉由強化由下而上的關係，建立政府、地方單位與民間協力網路關係。在水平方向建立災害支援網路方面，則是由各地方政府單位互相支援，提升災害援助能量；在民間協力部分，則是積極建立企業、NPO、民間組織等基層協力關係，得以在災時分工互相支援。因此，在建立中央政府、地方政府、民間組織等垂直及水平防災網絡時，必須特別注意各方之協調機制，避免中央垂直系統過於龐大雜亂、中央與地方間整合不明確，形成各權責單位分工不清，喪失各部門資源共享及聯合運用之防災能量。

由於水土保持局管轄山坡地範圍幅原廣大，其土砂災害發生源頭、運動行為地區、受災地區涉及多個相關單位，因此如何建立中央-地方-民間之縱橫向連結及跨域合作，使得各項監 (觀)測資料連結與傳遞、防災構造物設置、避難所配置、跨機關防災聯合演練等資源運用與共享最大化，以提升各項策略之實效性，係為重要議題。

以日本為例，日本國土交通省多藉由專家會議針對各項議題研擬因應對策，國內或可效仿。國內相關單位如欲引用日本對於氣候變遷

對於河川及土砂防災對策，應先藉由詳細歷史資料蒐集及基礎研究，依據科學調查及研究成果，建立適合我國之相關預測及評估模式，積極培育人才，以掌握新技術與防災知識推廣，並整合地方及民間團隊，因應未來氣候情勢變動。再者，建議未來應持續研究探討評估氣候變遷之外力、考慮氣候變遷影響下河道變化與風險評估方法、考慮氣候變遷外力增加情況下防減災對策，此三項議題未來需加強產官學協力，持續進行研究並將對策措施具體化。

二、建議

綜觀日本目前因應氣候變遷防減災對策，係綜合考量軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向。藉由研究分析日本河川對策、流域對策、被害減輕對策組合成綜合流域治水對策，本研究提出以下建議：

1. **精進基礎調查方式與新技術使用**：日本目前在進行土砂災害潛勢地點之基礎調查時，係使用二千五百分之一比例尺之地形圖，其精度對於提供土砂災害警戒區判斷資訊不足，因此建議在後續國內在相關土砂災害潛勢地點調查時應優先使用 1 米 DTM 配合紅色地圖、CS 地圖等新技術圖資做為細部調查使用，以強化調查精度。

2. **整合跨機關資源強化即時資訊連結與傳遞**：當災害發生時，由於中央主管機關需要即時得到地方政府、村里長、防災志工提供正確資訊與需求，以因應災害所需之救援能量 (包含人力、器具、物資輸送、避難收容等)，此皆仰賴第一線人員所發出資訊。但如受災嚴重致使基礎設施損毀或人員傷亡而無法傳遞正確資訊，將使中央收不到訊息，無法即時做出正確因應對策。因此，建議我國未來應針對如何強化中央與地方政府之間資訊傳遞與資源運用，以提升救災指揮、災後恢復與復建等有效率之救災作為。

3. **整合地區資源與民眾參與提升自主防災能量**：日本在阪神地震前是以「由上到下」的垂直型防災社會，之後逐漸變為以地方自治體的「水平協力網絡」方向發展，但在東日本大地震後，則積極提升基層防救災能力，提升「由下而上」的防救能力，以建構水平減災協力社會 (林淑馨，2017)。但卻出現過於相信法制化所帶來的成效，而忽略建構協力社會的主體並非都能納入正式體制，以致無法有效整合協力防災關係。因此，建議我國未來應建立各民間單位與組織 (NPO、NGO、個人、企業等)之整合機制，強化各組織資訊傳遞功能，並藉由以有效分工、責任分區等方式動員人力，以提升災時自助、共助防災能量。

4.**考量氣候變遷影響因子修正設計基準**：目前在進行防災硬體設施等規劃設計時，多依據過往發生之現象與紀錄，作為防災設施設計及淹水範圍等推估災害潛勢區域之基準，並據以推估最大外力。未來應考量該設施之使用年限，將氣候變遷造成之影響一併納入評估，或修正各種相關設計基準。在掌握設施使用年限期間之外力變化情況下，避免未來因氣候變遷導致外力變化，需針對設施進行補強或重複施作，以降低施工面與經濟面之負擔。

5. **公私協力強化預警操作機制**：因應局部地區強降雨致災情況下，日本氣象廳以提升預報網格解析度 (由 1 km 逐步提升為 250 m)、延長預報時間範圍 (未來 1 小時、未來 2 小時、未來 6 小時) 及增加預報發布頻率 (每 30 分鐘、每 10 分鐘、每 5 分鐘)等方式，強化即時高精度降雨預報。囿於山區雨量站建置及維護成本較高，國內目前坡地範圍內之雨量站分布密度較為不足，雖已發展降水雷達 QPESUMS 系統以提供 1.3km 解析度之網格降雨推估值，惟因地形遮蔽等問題，

歷年研究指出其於山區常有低估之情事。因此，建議未來除優先採用國內新建立之降水雷達資料 (空間解析度 250 m) 外，亦可採公私協力合作方式，藉由各村里公所、防災志工或民間協力機構所提供空間架設微氣象站設備，以彌補雨量站空間密度不足之情況，並藉由掌握當地雨量預警門檻值，提升村里長、防災志工等相關人員預警避難操作時間。

6. **強化山坡地災害容受力/韌性 (resilience)**：一般而言，降低災害風險的途逕有三個方向：藉由調控災害外力以降低危害度、減少受災對象以降低暴露度、提升韌性 (減少災害衝擊、提高回復力) 以降低脆弱度。就目前氣候變遷及人口集中化的情境下，危害度及暴露度似有增加趨勢。因此，如何提升韌性，以確保山坡地之保全對象、經濟活動、防災設施、基礎維生管線等，不因受災害衝擊而喪失功能，並具有高回復力以提供災後復原能力，為未來的重要課題。因此，建議應盤點並評估坡地災害潛勢區之災害容受力與災害風險程度，再藉由臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台所提供調適構面方法，擬定調適策略步驟，依「問題界定及目標建立、檢視現況、未來風險分析、綜整調適對策、推動及監測、評估及修正」等六項步驟，啟動調適對策執行時間點，訂定檢核評估及修正以達成有效調適作為。

7. **推廣防災教育及提升民眾災害風險認知**：藉由過去水土保持局多年執行計畫成果，編撰成防災教育推廣教材，提供各地方單位、村里長、防災志工等，以辦理防災教育活動，並藉由網路平台、書籍、雜誌等方式傳遞防災知識宣導，提升民眾對於災害潛勢地區之危險認知。

8. **持續基礎研究並加強產官學研合作**：藉由蒐集詳細歷史資料

以分析監測氣候變動情勢，除可提供產官學研等作為基礎研究資料，對於建立風險分析模式、災害衝擊評估模式及參數資料庫，亦是重要基礎資料來源。建議後續可持續盤點歷年執行計畫成果，彙整水文、地文等相關資料，並掌握新技術與新興科技，以利產官學研各界後續加值與未來風險分析、災害衝擊評估、災害減緩及調適策略制定使用，並適時反映於現行調適行動。

第六章 結論與建議

第一節　結論

依據本年度工作計畫項目執行成果綜整如下：

一、水土保持技術研究課題

國內外土砂防災研究及技術文獻分析，以氣候變遷下日本河川及土砂防災對策研析蒐集相關文獻，並於 109 年 12 月出版「109 年國內外水土保持技術與研究發展趨勢-氣候變遷下日本河川及土砂防災對策研析」報告 1 冊。

由於氣候變遷情勢之推估是由長期資料所推衍，在制定調適策略時，必須要從長期之角度進行規劃，氣候變動預測的年份等資料、氣候變遷預測趨勢，並加以考量對於實施標地的長期影響，且各國氣候模式情境預測值之結果與空間解析度亦差異甚大，因此對預測模式之解析度與不確定性等需特別注意。建議後續在使用模式預測資料作後續研究時，需注意其使用氣象資料時期、設定情境、參數、空間解析度、不同動力降尺度 (Dynamical downscaling)技術等資料，盡可能減少影響結果之不確定性，以獲得較適合該研究區域之模擬預測資料。

氣候變遷下極端事件強度增加，如降雨量增加、災害外力超過防護設施，為避免及減緩民眾及社會經濟之影響，其治理計畫與對策方法該如何制定，以往作法主要以硬體工程手段為主。但由日本近年之災害事例來看，發生超過防護能力之複合災害事件日益增加，因此強化災害外力調節與控制對策、改善受災對象減災對策、受災恢復與重建對策等，是目前急需各相關單位依據基礎調查與科學研究等依影響程度大小，規劃各階段調適對策，如訂定防災設施設計標準與維護計

畫、研擬防災與減災整備項目、建立跨機關協同合作之制度與支援對策制定等。

在因應氣候變遷下土砂移動現象及制定相應砂防整備計畫，需精進目前對於土砂量體之評估技術，目前國外經驗多藉由歷史災害事件，綜整降雨特性變化造成何種土砂移動現象及頻率改變，並考量地質、地形、氣候水文條件等各方面影響，設定不同土砂生產情境以推估土砂移動現象可能影響範圍，以持續精進調查與評估土砂量法準確性。

為使民眾瞭解土砂災害特徵與危險地區情報，藉由土砂災害警戒區劃設與建立預警疏散系統，強化土砂防範的重要性，並提升民眾防災意識與自主防災能力，以落實地區防災整備，進行迅速確實的避難行動。對於建立民眾防災意識方面，除利用宣導說明會、公聽會等方法，配合地區自治會、自主防災組織等民眾力量，促進形成自助與共助之地區避難疏散體制，並設置如防災工具間方式，以支援民眾自助救災環境，另外製作簡單易理解之危險標誌，使民眾瞭解周遭居民環境危險程度。

對於提升地區防災整備方面，除和相關單位合作，培育防災人材、防災地圖之製作與修訂以支援防救災行動外，應實施防災訓練和防災教育，以強化民眾防災能力，並考慮推行區域聯防應變，藉由設定情境腳本、兵棋推演及災害事件通報等，整合運用區域聯防能量，支援受災地區所需之防救災人員、醫療場所、避難場所等資源。

由於氣候變遷影響引致災害外力 (暴潮及海岸侵蝕、洪水增強、土砂災害劇烈化、旱災危險性增大等) 劇烈化情形下，未來災害外力必將超過現況防災設施之防護能力，傳統防災機制與思維無法有效因應，要讓土砂災害傷亡最小化，除了各級政府 (中央政府、地方都道

府縣、市町村) 進行技術及財力支援外，尚需加入企業、民間組織 (自治會、自主防災組織、社福協會、志工等) 及民眾本身等彼此合作，因此有必要進一步運用各種硬體工程、軟體防災措施、管理 (法律、規範、管制等)、自主防災等此四個面向來推動土砂災害調適策略，通過各相關利害關係人的共同努力以提高對策有效性，並持續檢討修正實施對策之效果，以發展精進有效率、有效果之技術與對策措施。

以災害協力治理觀點而言，持續推動政府與民眾合作，並從自助、共助和公助之觀點，強化更多關係者參與，促進提供風險情報和加強合作協助，以提升避難時效性，減少土砂災害損壞傷亡。其目的主是要藉由強化由下而上的關係，建立政府、地方單位與民間協力網路關係。在水平方向建立災害支援網路方面，則是由各地方政府單位互相支援，提升災害援助能量；在民間協力部分，則是積極建立企業、NPO、民間組織等基層協力關係，得以在災時分工互相支援。

由於水土保持局管轄山坡地範圍幅原廣大，其土砂災害發生源頭、運動形為地區、受災地區涉及多個相關單位，因此如何建立中央-地方-民間之縱橫向連結及跨域合作，使得各項監 (觀)測資料連結與傳遞、防災構造物設置、避難所配置、跨機關防災聯合演練等資源運用與共享最大化，以提升各項策略之實效性，係為重要議題。

建議國內先藉由詳細歷史資料蒐集及基礎研究，依據科學調查及研究成果，建立適合我國之相關預測及評估模式，並積極培育人才，以掌握新技術與防災知識推廣，並整合地方及民間團隊，因應未來氣候情勢變動。再者，建議未來應持續研究探討評估氣候變遷之外力、考慮氣候變遷影響下河道變化與風險評估方法、考慮氣候變遷外力增加情況下防減災對策，此三項議題未來需加強產官學協力，持續進行

研究並將對策措施具體化。

二、防災技術與研究成果盤點

歷年已完成之土砂防災技術研究成果則以彙整 97 年度至 108 年度水土保持局之委辦與研究計畫成果報告計 2620 冊，依據各業務單位常使用之參考資料，分為 30 項細部關鍵項目進行成果盤點。

1. 今年度盤點資料由 97 年度至 108 年度共 1861 件委辦及研究計畫成果，目前基礎資料成果數位化包含集水區水文資料、河川水理、相關雨量站、地質鑽探、表土試驗、地電阻等資料，河床質、斷面資料等總數為 2603 筆。

2. 技術研究發展小組在今年度盤點成果對河川斷面及河床質資料進行數位化並彙整於水土保持局資料管理平台。目前在資料平台上，於綜合查詢底下，基礎資料總計有 2603 筆資料，分別為集水區水文資料 717 筆、河川水理 477 筆、相關雨量站 201 筆、地質鑽探 176 筆、表土試驗 12 筆、地電阻 32 筆、斷面樁 971 筆 (待上傳數量 575 筆)、河床質 16 筆 (待上傳數量 804 筆)、橫斷面 1 筆 (待上傳數量 1117 筆)。

3. 根據歷年盤點統計結果，1861 冊報告書中有 1324 冊符合規定格式，電子圖書則為 1250 冊符合，其餘不符合規定之主要的樣態包含：未上傳單一完整檔案、報告書內容格式有誤、電子書不完整，皆列為不符合項目。

4. 應用已有 DEM 及 DSM 將其加值，技研小組利用「H.O.S.T 地圖視窗化程式」將全臺 1 米網格 DEM、全臺 20 米網格 DEM 數化建置成 H.O.S.T 地圖，其是利用 DEM 資料之

高程、坡度及開闊度三項資訊配合立體調色盤及平面調色盤產製，另外使用 QGIS 所提供之「CS Map Maker」模組套件將全臺 1 米網格 DEM、全臺 20 米網格 DEM 數化建置成 CS 地圖 (Curvature-Slope Map)，其是利用 DEM 之高程、坡度及曲率三者資訊疊合製作成 CS 地圖，其製圖成果皆上傳至 BigGIS 系統供同仁及大眾使用。

5. 今年度技術研究發展小組則是整理相關資料及程式操作過程，於 9 月出版「立體地形圖 HOST MAP 及 CS MAP 判釋參考指引」及「H.O.S.T 地圖製作簡易操作指引」兩本參考手冊。

6. 現場監(觀)測站(如土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站)進行盤點，其設置之儀器如水位觀測井、定置型孔內傾斜儀、雨量計、地表傾斜計、孔內伸縮計、時域反射儀、封層水壓觀測井、GPS 地表變位、陣列式位移計等資料。藉由上述儀器之監(觀)測成果，提供地表地物特徵及地形變化、地下水位變化、邊坡穩定變化、地下變化等等資訊，以因應不同形態之災害階段。

因此，由盤點結果，建議未來資料管理平台對於基礎資料之收錄，需先檢視是否符合「共通性資料欄位編碼規範」與「數值資料及地理圖資管理作業要點」，方便後續資料庫整合與管理，並提供本局、各單位與一般民眾進行資料檢索查詢、交換流通、加值應用等服務，期能成為水土保持相關資訊與資料之資料中心，提供各界研究所需基礎資料使用。

三、土砂災害模擬相關模式測試與分析

土砂災害變遷趨勢與分析，本年度完成「土石流溢流點劃設對流動堆積區影響研究」及「GEE 雲端分析平台應用於堰塞湖潰決評估之可行性研究」此兩個研究案例，其一為運用 HOST 地圖協助判釋土石流溢流點，並探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異；其二為運用 GEE 與雷達影像輔助堰塞湖潰決評估，藉由 EAV 曲線變化初步判斷堰塞湖危險水位及預警發布之用。

(一) 土石流溢流點劃設對流動堆積區影響研究

由於溢流點位置選定會決定上游集水面積及下游影響範圍劃設，因此溢流點之判定非常重要，藉由 H.O.S.T 地圖與土石流數值模式，探討不同溢流點位置對於土石流影響範圍之差異。

1. 利用 Hyper Kanako2D 模擬土石流事件，能夠模擬土石流之流動情形，結果顯示，對於溢流點位置之變化，將造成土石流流動區域之變化，且受到潛勢溪流隘口地形之影響，造成土石流大部分淤積於隘口上方。

2. 透過不同溢流點位置模擬結果，未來於土石流潛勢影響區模擬，其使用之數值高程資料，應進一步搭配現場勘查資料，並考量潛勢溪流之地形是否有隘口、彎曲等特徵地形，以精進溢流點位置之設置，避免錯估土石流之流動及淤積範圍。

3. 透過增加建物高度於模擬地形之建置，顯示土石流淤積區受到建物高度影響，其會沿著建物周圍而淤高，但由於未考量建物材料強度，因此無法估算土石流沖擊力對建物之影響。

本研究藉由 Hyper Kanako2D 進行仁和村土石流災害事件之模擬，其模擬結果符合現場調查資料，但由於缺乏影響區域內各建物材料之強度，因此尚無法評估土石流沖擊是否造成建物毀損，其次本研

究並未考慮多次發生土石流事件，因些對於是否為多次性事件造成之災害尚無法評估，建議後續研究對建物材料強度及多次性土石流事件加入模擬條件，以精進土石流影響區之模擬。

(二) GEE 雲端分析平台應用於堰塞湖潰決評估之可行性研究

由於堰塞湖形成位置難以預測，為在災害發生時快速評估壩體穩定性，藉由 GEE 與多時期雷達影像推估堰塞湖蓄水規模，作為初步危險性分析和決策參據。

1. 本研究利用 GEE 雲端平台自動化計算模式初步估算水庫水位與蓄水體積，成果相當良好，其水位高程值誤差範圍最小可達 1%以下，最大約為 6%，蓄水體積誤差範圍最小可達 8%，最大誤在 20%以下。

2. 推估蓄水體積誤差主要可能來自於雷達影像拍攝時間與 DTM 產製時間間隔差、水庫淤砂導致庫區地形變動，如接近雷達影像時間點之水下地形資料，應能產生更準確的推估值。

3. 天然壩堰塞湖在短時間內形成與而後潰決，相較於水庫不易有長期土砂淤積的問題，其存在期間地形前後差異不大。故將此方法用於堰塞湖水體評估，其結果應更符合真實狀況。

4. 避免當天然壩穩定性未明情況下，進行現場調查作業之危險，降低衍生之現勘人員傷亡的風險，在颱風豪雨期間，災害應變中心於災情研判與決策分析上有直接助益。

應用 GEE 平台與多時期雷達影像，可有效分析水庫庫區之蓄水水體，透過建立 EAV 曲線，未來可利用 GEE 平台雷達影像多時期資料估算集水區上游入流量，搭配無因次阻塞指標 (Dimensionless

Blockage Index, DBI) 即可作為天然壩初步危險性評估和決策依據。

第二節　建議

一、水土保持技術研究發展規劃

綜觀日本目前因應氣候變遷防減災對策,係綜合考量軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向。藉由研究分析日本河川對策、流域對策、被害減輕對策組合成綜合流域治水對策，本研究提出以下建議：：

1. 精進基礎調查方式與新技術使用：日本目前在進行土砂災害潛勢地點之基礎調查時,係使用二千五百分之一比例尺之地形圖，其精度對於提供土砂災害警戒區判斷資訊不足，因此建議在後續國內在相關土砂災害潛勢地點調查時應優先使用 1 米 DTM 配合 H.O.S.T 地圖、CS 地圖等新技術圖資做為細部調查使用，以強化調查精度。

2. 整合跨機關資源強化即時資訊連結與傳遞：當災害發生時，由於中央主管機關需要即時得到地方政府、村里長、防災志工提供正確資訊與需求，以因應災害所需之救援能量 (包含人力、器具、物資輸送、避難收容等),此皆仰賴第一線人員所發出資訊。但如受災嚴重致使基礎設施損毀或人員傷亡而無法傳遞正確資訊，將使中央收不到訊息，無法即時做出正確因應對策。因此，建議我國未來應針對如何強化中央與地方政府之間資訊傳遞與資源運用，以提升救災指揮、災後恢復與復建等有效率之救災作為。

3. 整合地區資源與民眾參與提升自主防災能量：日本在阪神地震前是以「由上到下」的垂直型防災社會，之後逐漸變為以地方自治體的「水平協力網絡」方向發展，但在東日本大地

震後，則積極提升基層防救災能力，提升「由下而上」的防救能力，以建構水平減災協力社會 (林淑馨，2017)。但卻出現過於相信法制化所帶來的成效，而忽略建構協力社會的主體並非都能納入正式體制，以致無法有效整合協力防災關係。因此，建議我國未來應針對建立各民間單位與組織 (NPO、NGO、個人、企業等)之整合機制，強化各組織資訊傳遞功能，以有效分工、責任分區等方式動員人力，以提升災時自助、共助防災能量。

4. 考量氣候變遷影響因子修正設計基準：目前在進行防災硬體設施等規劃設計時，多依據過往發生之現象與紀錄，作為防災設施設計及淹水範圍等推估災害潛勢區域之基準，並據以推估最大外力。未來可考量該設施之使用年限，將氣候變遷造成之影響一併納入評估，或修正各種相關設計基準。在掌握設施使用年限期間之外力變化情況下，避免未來因氣候變遷導致外力變化，需針對設施進行補強或重複施作，以降低施工面與經濟面之負擔。

5. 公私協力強化預警操作機制：在因應局部地區強降雨致災情況下，日本氣象廳是以提升預報網格解析度 (由 1 km 逐步提升為 250 m)、延長預報時間範圍 (未來 1 小時、未來 2 小時、未來 6 小時) 及增加預報發布頻率 (每 30 分鐘、每 10 分鐘、每 5 分鐘)等方式，強化即時高精度降雨預報。囿於山區雨量站建置及維護成本較高，國內目前坡地範圍內之雨量站分布密度較為不足，雖已發展降水雷達 QPESUMS 系統以提供 1.3km 解析度之網格降雨推估值，惟因地形遮蔽等問題，歷年研究指出其於山區常有低估之情事。因此，建議未來除

優先採用國內新建立之降水雷達資料 (空間解析度 250 m) 外，亦可採公私協力合作方式，藉由各村里公所、防災志工或民間協力機構所提供空間架設微氣象站設備，以彌補雨量站空間密度不足之情況，並藉由掌握當地雨量預警門檻值，提升村里長、防災志工等相關人員預警避難操作時間。

6. 強化山坡地災害容受力/韌性 (resilience)：一般而言，降低災害風險的途逕有三個方向：藉由調控災害外力以降低危害度、減少受災對象以降低暴露度、提升韌性 (減少災害衝擊、提高回復力)以降低脆弱度。就目前氣候變遷及人口集中化的情境下，危害度及暴露度似有增加趨勢。因此，如何提升韌性，以確保山坡地之保全對象、經濟活動、防災設施、基礎維生管線等，不因受災害衝擊而喪失功能，並具有高回復力以提供災後復原能力，為未來的重要課題。因此，建議應盤點並評估坡地災害潛勢區之災害容受力與災害風險程度，再藉由臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台所提供調適構面方法，擬定調適策略步驟，依「問題界定及目標建立、檢視現況、未來風險分析、綜整調適對策、推動及監測、評估及修正」等六項步驟，啟動調適對策執行時間點，訂定檢核評估及修正以達成有效調適作為。

7. 推廣防災教育及提升民眾災害風險認知：藉由過去水土保持局多年執行計畫成果，編撰成防災教育推廣教材，提供各地方單位、村里長、防災志工等，以辦理防災教育活動，並藉由網路平台、書籍、雜誌等方式傳遞防災知識宣導，提升民眾對於災害潛勢地區之危險認知。

8. 持續基礎研究並加強產官學研合作：藉由蒐集詳細歷史資料以分析監測氣候變動情勢，除可提供產官學研等作為基礎研究資料，對於建立風險分析模式、災害衝擊評估模式及參數資料庫，亦是重要基礎資料來源。建議後續可持續盤點歷年執行計畫成果，彙整水文、地文等相關資料，並掌握新技術與新興科技，以利產官學研各界後續加值與未來風險分析、災害衝擊評估、災害減緩及調適策略制定使用，並適時反映於現行調適行動。

二、歷年委辦案件成果可延續性建議

彙整 97 年度至 108 年度水土保持局之委辦與研究計畫成果報告計 2620 冊，並以此為依據執行成效分析，並評估各項技術或研究案持續發展之可延續性。目前歷年盤點資料顯示出水土保持局在資料管理與維護上所遭遇之問題如下：

1. 其一為目前盤點計畫成果產出相當豐碩，各計畫中專有名詞所代表意義未達一致性，因為前瞻策略與管理、基礎試驗研究、工程技術發展、軟體防災對策、新興科技應用與農村再生等六大領域隨時代進步，其專有名詞亦隨新技術、新領域發展等推陳出新，因此，造成多數新興專有名詞未收錄於水保局於 2007 年編著之「水土保持名詞詞彙」書籍中。

2. 其二為各不同領域計畫成果產出資料格式 (欄位命名、類型、代碼、數值型態等)均不相同，且多數以紙本報告之圖或表呈現並未數位化 (如水文與地文資料、監(觀)測資料、地理資訊資料、工程圖說等)，各項類型資料格式等皆不相同，增加資料之整合、管理、查詢、儲存之難度。

3. 其三為各委辦計畫於計畫執行期間，委辦廠商架設監(觀)測設備，蒐集汛期前後或是監測地表、地中、地下變位等各種監(觀)資料，然各委辦廠商所使用之監測設備不同，如未事前律定統一規範，可能造成相同資料呈現之數值格式、命名規則、記錄周期、量測精度均不同，增加資料管理與維護上的難度。

4. 其四為向量資料、部份現地調查資料等成果上傳後，尚未建立自動化驗證機制或第三方驗證機制，目前水保局對於 UAV 空拍成果、航遙測資料上傳已建置第三方驗證機制，並針對檔案格式及精度進行檢核，確保資料無毀損且具有一定之精度，目前盤點資料顯示，向量資料與現地調查資料尚未有一定檔案格式及檔案精度制定，因此尚需人工負責檢視資料是否毀損可用、內容是否完整、資料格式是否正確等問題。

5. 其五為現今 AIoT 物聯網結合人工智慧技術升級與應用普及，並藉由 5G 數據傳輸速度提升，有助於達成智慧化坡地災害管理，且導入自動化監(觀)設備減少人力巡查作業成本及資源，然當所有資料上傳至雲端統一管理時，應強化資安管理問題。

本年度累積歷年盤點成果，根據上述五項資料管理與維護，提出以下建議：

1. 隨新技術、新領域發展等推陳出新，因此，造成多數新興專有名詞未收錄，建議每三至五年藉由召開專家會議，詳細解釋與說明新專有名詞之中、英文名稱及定義，可作為推廣水

土保持教育使用，有助於釐清名詞混淆，並供各界從業人員參考。

2. 今年度水保局技術研究發展小組藉由盤點成果報告書，找出相關基礎資料 (河床質樣孔與表面粒徑及斷面資料) 並對其數值格式及欄位命名等提出建議，並與各相關組室召開「資料治理工作會議」，共同討論基礎資料建置規劃，以利後續資料庫建立與加值應用。建議後續應持續依此機制運作，定期檢視盤查委辦案件產出資料，藉由各組室業務專業角度檢視該項資料是否值得收錄為開放資料、基礎資料或核心資料等，並於「資料管理工作圈」提報討論。

3. 目前各項委辦案執行廠商與設置監(觀)測儀器皆不相同，建議對於各項水文、地文、地表、地中、地下等環境資料所需儀器，檢視目前業界所使用或建議之穩定可靠設備，定期更新設備型錄提供承辦人員與委辦廠商檢示選用監(觀)設備之可用範圍，並建立符合局內資安規範、共通性資料欄位編碼規範、數值資料及地理圖資管理要點之成果資料回傳機制。

4. 建議於各項委辦計畫上傳成果之基礎資料項目，藉由學研專家、業界技師、資安人員等召開基礎資料會議，討論檔案格式、驗證機制、符合資安之回傳機制，建置各類資料檔案格式 (系統自動檢視資料格式與完整性)，以符合資訊安全規範與建立自動化第三方驗證機制以節省人力與維護管理資源。

5. 目前新興應用科技結合大數據分析監(觀)測資料，透過大數據分析環境觀測資料，利用雲端即時監控危險區域狀況，以找出關鍵災害發生因子或門檻值，進而提升坡地災害的管理

效率，透過預防性防災管理、強化韌性減災整備及災後精準治理措施，可為山坡地治理帶來極大助益。對於資料管理人員而言，資料不落地能隨時隨地對資料與資安進行控管，對承辦人員而言，可獲得即時資訊，但對於機關而言，雲端管理無可避免資安問題，卻是造成資料外流風險原因，且私有雲及公有雲之建置與管理成本皆不相同，因此需訂定各類資料資安等級及存取規範，以因應未來雲端辦公作業方法。

鑑於委辦計畫廠商眾多且各計畫產出成果型態眾多，建議於計畫執行期間如期中驗收前後，針對廠商進行資料成果上傳教育訓練，使廠商瞭解各項產出成果所需繳交標準及格式，並至少符合開放資料格式，以避免未來盤點時，出現如報告格式錯誤、缺漏，甚至產出資料成果無法數位化等問題。

第三節　研究成果發表

本研究今年度執行期間研究成果論文發表共計 9 篇，期刊論文為 1 篇，國際研討會論文 1 篇，國內研討會論文 7 篇; 雜誌書籍 1 篇。如表 6-1 所示並摘錄於附錄三。

審查中期刊論文為：「林詠喬、陳振宇、陳均維、詹婉妤 (2020)，臺灣近年(2006-2019)降雨誘發之土砂災害變遷趨勢分析，中華水木保持學報」。

國際研討會論文為：「Case Study of the Debris Flow Disaster and Influence Zone Simulation in Renhe Village, Taiwan」，並刊登於 2020 年 7 月 15 日日本砂防學會愛知大會。

國內研討會論文 7 篇，其中 5 篇發表於 2020 年 12 月 5 日 2020 水土保持學術研討會暨論文宣讀會議，分別為：「GEE 雲端分析平台應用於輔助堰塞湖潰決評估之可行性研究」、「水土保持技術知識於新媒體擴散效益分析」、「運用 H.O.S.T 地圖協助判釋土石流溢流點位置」、「臺灣與日本對於魚道規劃設計施工等差異探討」、「水土保持領域研究趨勢探討與視覺化分析」等；另外 2 篇發表於 2020 年 10 月 14 日林試所森林集水區及環境監測研討會，分別為：「以 GEE 雲端分析平台快速估算淹水範圍初探－以 2018 年 0823 熱帶低氣壓水災為例」、「氣候變遷下日本土砂防災策略演進」等。

雜誌書籍 1 篇撰文於財團法人臺灣營建研究院-營建知訊，為「UAV 應用於水土保持之現況與趨勢」，刊登於 2020 年 5 月營建知訊 448 期。

表 6-1 研究成果-2020 論文發表

年度	類型	篇名	作者	期刊/會議名稱
2020	期刊	臺灣近年(2006-2019)降雨誘發之土砂災害變遷趨勢分析	林詠喬、陳振宇、陳均維、詹婉妤	中華水土保持學報 (審查中)
2020	書籍	UAV 應用於水土保持之現況與趨勢	林宥伯、吳振佑、陳均維、林詠喬、陳國威、林家興、陳振宇	財團法人臺灣營建研究院 營建知訊
2020	研討會	Case Study of the Debris Flow Disaster and Influence Zone Simulation in Renhe Village, Taiwan	Chia-Hsing Lin, Jyun-Wei Chen, Kuo-Wei Chen, Chen-Yu Chen	2020 日本砂防學會研究發表會
2020	研討會	氣候變遷下日本土砂防災策略演進	詹婉妤、林家興、陳振宇	2020 森林集水區及環境監測研討會
2020	研討會	以 GEE 雲端分析平台快速估算淹水範圍初探-以 2018 年 0823 熱帶低氣壓水災為例	林恩如、陳振宇	2020 森林集水區及環境監測研討會

2020	研討會	運用 H.O.S.T 地圖協助判釋土石流溢流點位置	林家興、陳振宇、詹婉妤	2020 中華水土保持學會研討會
2020	研討會	水土保持技術知識於新媒體擴散效益分析	林詠喬、陳振宇、高百毅	2020 中華水土保持學會研討會
2020	研討會	GEE 雲端分析平台應用於輔助堰塞湖潰決評估之可行性研究	白佩鑫、林家興、陳振宇	2020 中華水土保持學會研討會
2020	研討會	臺灣與日本對於魚道規劃設計施工等差異探討	高百毅、陳振宇、林家興	2020 中華水土保持學會研討會
2020	研討會	水土保持領域研究趨勢探討與視覺化分析	林宥伯、林家興、詹婉妤	2020 中華水土保持學會研討會

參考文獻

1. 經濟部，2018，加強水庫集水區保育治理計畫 108-109 年執行計畫書，前瞻基礎建設計畫-水環境建設。
2. Brunner G.W. (2016) HEC-RAS River Analysis System Reference Manual. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
3. Brunner G.W. (2016) HEC-RAS River Analysis System User’s Manual Versions 5.0. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
4. Brunner G.W. (2016) HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User’s Manual Versions 5.0. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
5. Butt, M.J., Umar, M. and R. Qamar (2013). Landslide dam and subsequent dam-break flood estimation using HEC-RAS model in Northern Pakistan. Natural Hazards. Volume 65, Issue 1, pp 241–254.
6. Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1986). “A perspective on landslide dams.” In Schucter, R. L. (Edited), Landslide dam: Processes Risk and Mitigation, Vol. 3, pp. 1-20.
7. Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1988). "The Formation and Failure of Natural Dams." Geol Soc Am Bull, 100(7), 1054-1068.
8. Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., & Arnold,

M. (2005). "*Natural disaster hotspots: a global risk analysis.*" The World Bank.

9. Ermini, L. and Casagli, N. (2003), "Prediction of the Behaviour of Landslide Dams Using a Geomorphological Dimensionless Index," Earth Surface Processes and Landforms, vol. 28, pp. 31-47.
10. Geospatial Information Authority of Japan Website: http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html #3, accessed Jan. 13, 2019.
11. Hokkaido Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Website: https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/release/splaat00000194ji-att/splaat000001esm3.pdf , accessed March 13, 2019.
12. Rivadeneira, A.W., Daniel M. Gruen, Michael J. Muller, David R. Millen, (2007). "Getting Our Head in the Clouds: Toward Evaluation Studies of Tagclouds." CHI2007 Prodeedings, Tags Tagging & Notetaking.
13. Shieh, C. L., Wang, C. M., Lai, W. C., Tsang, Y. C. and Lee, S. P. (2009). "The composite hazard resulted from Typhoon Morkot in Taiwan," Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering, 62, 4, 61-65.
14. Wallemacq, P. (2018). "*Economic Losses, Poverty & Disasters 1998-2017*." Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED.
15. Yamagishi, H. and Yamazaki, F. (2018): Landslide by the 2018

Hokkaido Iburi-Tobu Earthquake on September 6, Landslides, Vol. 15, No. 2, pp. 2521-2524. https://doi.org/10.1007/s10346-018-1092-z.

16. 林松駿、梁偉立 (2018)，衛星影像判釋與現地探查天然林集水區新生崩塌地分布之比較：以 2015 年蘇迪勒颱風誘發崩塌為例，中華水土保持學報，49(1)，1-11。(Lin, S.J. and Liang, W.L. (2018). "Landslide distributions identified by satellite images and field investigations in a natural forested catchment: the case of landslides induced by typhoon Soudelor in 2015." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 49(1), 1-11 (2018). (in Chinese))
17. 洪致文 (2012)，臺灣降雨指數(TRI)的建立與其分析應用，地理學報(67)73-96。(Hung, C.W. (2012). "The construction of TCCIP Taiwan Rainfall Index (TRI) and its applications." *Journal of Geographical Science*, (67)73-96. (in Chinese))
18. 范銚燻、趙家民、葛晉澤 (2008)，秋颱侵襲台灣之路徑與降雨特性研究，台南科技大學通識教育學刊，(7)233-258。(Fan, Y.S., Chao, C.M., and Ger, J.Z. (2008). "A Study on the tracks and rainfall of the autumn typhoons invading Taiwan." *Journal of General Education*, Tainan University of Technology, (7)233-258. (in Chinese))
19. 唐玉霜、黃葳芃、張保亮、陳嘉榮 (2016)，劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之防災應用，中央氣象局氣象衛星中心。(Tang, Y.S., Huang, W.P., Chang, P.L., and Chen, J.R. (2008). "Disaster prevention and application of Quantitative Precipitation Estimation

and Segregation Using Multiple Sensors (QPESUMS).” Central Weather Bureau. (in Chinese))

20. 涂建翊、陳俐盈、高端鞠、黃靖甯、朱嬿儒、吳敏暐、林紋伊、張家華 (2011)，從時雨量看臺灣降雨強度的頻率變化，2011 年地球科學系統學術論壇論文集，113-117，中國文化大學理學院，台北，台灣。(Tu, J.Y., Chen, L.Y., Gao, D.J., Huang, C.N., Zhu, Y.R., Wu, M.W., Lin, W.Y., and Chang, J.H. (2011). “Evaluating the frequency change of Taiwan's rainfall intensity from the hourly rainfall.” *Proceedings of the Earth Science System Academic Forum*, 113-117, College of Science, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
21. 財團法人中興工程顧問社 (2010)，*八八水災災害調查成果與復健工程建議*，財團法人中興工程顧問社/中興工程顧問股份有限公司編印，台北，台灣。(Sinotech Engineering Consultants, INC. (2010). “*Investigation results and rehabilitation project suggestions of Typhoon-Morakot-caused flood*.” Sinotech Engineering Consultants, INC, and Sinotech Engineering Consultants, LTD, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
22. 國家災害防救科技中心 (2019)，*2018 天然災害紀實*，國家災害防救科技中心編印，台北，台灣。(National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) (2019). “*Natural Disaster Yearbook, 2018*.” National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), Taipei, Taiwan. (in Chinese))
23. 國家災害防救科技中心(2015)，*台灣極端降雨事件－1992-2013 年*

重要事件彙整，台北，台灣。(National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) (2013). "*The Rank of Extreme Rainfall Events over Taiwan, 2018*." National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), Taipei, Taiwan. (in Chinese))

24. 張志新、王俞婷、傅鏸漩、林又青、張駿暉、 劉哲欣、呂喬茵、吳啟瑞、蘇元風 (2015)，「2015 年蘇迪勒颱風災害調查彙整報告」，國家災害防救科技中心。(Chang, C.S., Wang, Y.T., Fu, H.S., Lin, Y.C., Chang, J.H., Liu, C.S., Lu, C.Y., Wu, C.R., and Su, Y.F. (2015). "*The aggregate report of the disaster caused by typhoon SOUDELOR in 2015.*" National science and technology center for disaster reduction. (in Chinese))
25. 張保亮 (2011)，「QPESUMS 產品應用介紹」，氣象防災應用資訊研討會。(Chang, P.L. (2011). "Introduction of QPESUMS." Central Weather Bureau (CWB). (in Chinese))
26. 陳怡良 (2009)，民國 98 年颱風調查報告－第 8 號莫拉克(Morakot)颱風(0908)，中央氣象局，台北，台灣。(Chen, Y.L. (2009). "Typhoon Investigation Report of the Republic of China in 2009 - No. 8 Morakot Typhoon (0908)." Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
27. 陳昆廷、臧運忠、郭玉樹、呂明鴻、謝正倫 (2010)，莫拉克颱風引致堰塞湖之案例分析，中華防災學刊，2(1)，43-50。(Chen, K.T., Tsang, Y.C., Kuo, Y.S, Lu, M.H., and Shieh, C.L. (2010). "Case Analysis of Landslide Dam Formation by Typhoon Morakot."

Journal of the Taiwan Disaster Prevention Society, 2(1), 43-50.(in Chinese))

28. 陳俞旭 (2008)，地震對崩塌與土石流發生影響之研究，國立成功大學水利及海洋工程學系博士論文。(Chen, Y.S. (2008). “An Influence of Earthquake on the Occurrence of Landslide and Debris Flow.” Department of Hydraulic and Ocean Engineering, doctoral dissertation. (in Chinese))
29. 陳振宇 (2013)，以雨量為基礎之土砂災害警戒系統成效評估—以台灣及日本為例，水土保持學報，44(1)，50-64。(Chen, C.Y. (2013). ”Evaluation of rainfall-based sediment disaster warning systems: case studies in Taiwan and Japan.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(1), 50-64. (in Chinese))
30. 陳振宇、陳均維、陳國威、林詠喬(2019)，「坡地降雨致災熱區警戒模式」，中華水土保持學報，50(1)，pp.1-10。(Chen, C.Y., Chen, J.W., Chen, K.W., Lin, Y.C. (2019). “Warning Model for Predicting the Risk Zones of Rainfall-Induced Slopeland Disasters.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 50(1), 1-10. (in Chinese))
31. 陳振宇、劉維則、許家祥 (2017)，使用 QPESUMS 雨量資料建立崩塌災害預警模式，中華水土保持學報，48(1)，44-55。(Chen, C.Y., Liou, W.Z., and Hsu, C.H. (2017). “A rainfall-based warning model for predicting landslides using qpesums rainfall data.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 48(1), 44-55. (in Chinese))

32. 陳樹群、許中立(2009)，莫拉克颱風形成之堰塞湖及危險度評估，地工技術，第 122 期，pp. 79-88。(Chen, S.C., and Hsu, C.L (2009). “Landslide dams induced by typhoon morakot and its risk assessment” Sino-geotechnics, 122, pp. 79-88. (in Chinese))
33. 黃碧慧 (2017)，QPE 於颱風事件的估計差異與空間之關聯性分析，期末報告，行政院農業委員會水土保持局編印。(Huang, P.H. (2017). “An analysis of the correlation between the estimated difference of QPE and space in the typhoon events.” inal report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
34. 楊明德、徐瑞宏 (2013)，應用雷達雨量於陳有蘭溪流域之疏散避難預警，環境工程會刊。(Yang, M.T., and Hsu, R.H. (2013). “Application of QPESUMS to warning and evacuation in Chen-yu-lan Creek Basin.” *Environmental Engineering Journal*. (in Chinese))
35. 詹錢登、王志賢 (2016)，105 年土石流警戒基準值檢討與更新，期末報告，行政院農業委員會水土保持局編印。(Jan, C.D., and Wang, C.H. (2016). “The modification and review of the debris-flow warning criteria.” final report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
36. 詹錢登、王志賢 (2017)，降雨誘發土砂災害警戒機制之研究，成果報告，水土保持局編印。(Jan, C.D., and Wang, C.H. (2017). “Study on warning system of rainfall-induced sediment disaster.” results report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
37. 劉格非、魏士超、酈寶成 (2013)，累積雨量對土石流影響範圍評

估之影響，中華水土保持學報，44(3)，225-233。(Liu, K.F., Wei, S.C., and Li, P.C. (2013). “The influence of accumulated precipitation on debris flow hazard.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(3), 225-233. (in Chinese))

38. 蔡甫甸 (2015)，*民國 101 年颱風調查報告*，中央氣象局，32-59，台北，台灣。(Tsai, F.D. (2015). “Report Typhoons in 2012”, Central Weather Bureau, 32-59, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
39. 盧孟明、陳佳正、林昀靜 (2007)，1951-2005 年台灣極端降雨事件發生頻率之變化，大氣科學，35(2), 87-103。(Lu, M.M., Chen, C.J., and Lin, Y.C. (2007). “Long-term variations of the occurrence frequency of extreme rainfall events during the period of 1951-2005.” *Atmospheric Sciences*, 35(2), 87-103. (in Chinese))
40. 賴桂文 (2016)，HEC-RAS 水理模式 2D 模組介紹及應用，臺灣省水利技師公會會訊，第 19 期，1-17。(Lai, K.W. (2016). “Introduction and application of HEC-RAS water mode 2D module.” Taiwan Association of Hydraulic Engineer, 19, 1-17.(in Chinese))
41. 戴義欽、詹錢登 (2016)，集水區大規模土砂災害風險辨識與耐受力盤查（成果報告書，計劃編號：SWCB-105-085）。南投，行政院農委會水土保持局。(Tai, Y.C., and Jan, C.D. (2016). “Risk identification and tolerability investigation of large-scale sediment-related disasters in watershed.” results report, no.: SWCB-105-085, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
42. 謝正倫 (2009) 莫拉克颱風引致之堰塞湖，經濟部中央地質調查所，第 28 卷，第四期，66-67 頁。(Shieh, C.L. (2009). “The landslide

dam caused by Typhoon Morakot.” 28, 4, 66-67.(in Chinese))

43. 謝邦昌、宋龍華、李紹綸 (2017)，「大數據分析 SQL Server 2016 與 R 全方位應用」，碁峰資訊股份有限公司。
44. 羅雅尹 (2016)，民國 104 年颱風調查報告－第 13 號蘇迪勒(Soudelor)颱風(1513)，氣象學報，53(1)，61-84。(Luo, Y.Y. (2016). “Report on Typhoon 1513 (Soudelor) of 2015.” Meteorological Bulletin, 53(1), 61-84. (in Chinese))
45. 龔楚嫕、顏葆琳、李宗融、吳宜昭、于宜強 (2015)，「*《台灣極端降雨事件：1992-2013 年重要事件彙整》專書導讀*」，國家災害防救科技中心氣象組，第 120 期。(Kung, C.Y., Yen, P.L., Lee, T.J., Wu, Y.C., and Yu, Y.C. (2015). “Guild book of "Taiwan's Extreme Rainfall: A Summary of Important Events in 1992-2013".” National Science & Technology Center for .Disaster Reduction (NCDR). (in Chinese))
46. 行政院農業委員會水土保持局，2014，103 年氣候變遷衝擊下坡地災害風險評估及調適能力之研究。
47. 行政院農業委員會水土保持局，2014，氣候變遷對水土保持衝擊與調適策略評估(1/2)。
48. 行政院農業委員會水土保持局，2015，氣候變遷對水土保持衝擊與調適策略評估(2/2)。
49. 行政院農業委員會水土保持局，2017，106 年度氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫綜合管理。
50. 行政院農業委員會水土保持局，2019，氣候變遷下集水區土砂管理之風險評估與動態調適策略研究。

51. 李志昕、洪景山，(2014)，區域系集預報系統研究：系集成員產生方式之評估，大氣科學，第四十二期，第二號，頁 153-179。
52. 林淑馨，2017，「從協力治理檢視日本的災害防救-以東日本大地望為例」，行政暨政策學報，65 期，頁 1-37。
53. 國土交通省，2015，気候変動に適応した治水対策検討小委員会，http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s204_kikouhendou01.html。
54. 國土交通省，2015，国土交通省の気候変動への適応策，http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_mn_000013.html。
55. 國土交通省，2015，新たなステージに対応した防災・減災のあり方，https://www.mlit.go.jp/saigai/newstage.html。
56. 國土交通省，2018，大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策検討小委員会，http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s304_daikibokouikigouu01.html。
57. 國土交通省，2018，大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会，http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouiinkai/daikibohanran/index.html。
58. 國土交通省，2019，令和元年の土砂災害，https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r1dosha/r1doshasagainogaiyou.pdf。
59. 國土交通省，2019，気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会，

http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouiinkai/kikouhendou_suigai/index.html。

60. 國土交通省，2019，気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会，https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/index.html。
61. 國土交通省，2019，実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会，https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_jikkousei.html。
62. 國土交通省，2020，土砂災害防止対策小委員会，http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s204_doshasaigai01.html。
63. 國土交通省，2020，気候変動を踏まえた砂防技術検討会，https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_kikohendo.html。
64. 國土交通省河川局，2010，洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン。http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/english/climate.html
65. 國家災害防救科技中心，2017，臺灣氣候變遷科學報告 2017-物理現象與機制。
66. 國家災害防救科技中心，2017，臺灣氣候變遷科學報告 2017-衝擊與調適面向。
67. 國家災害防救科技中心，2018，「臺灣氣候的過去與未來-臺灣氣候變遷科學報告 2017-物理現象與機制-重點摘錄」。
68. 國家災害防救科技中心，2019，「臺灣氣候變遷乾旱風險評估與調適」，中研院永續科學研究計畫 (2016-2018):「台灣乾旱研究：

變遷、水資源衝擊、風險認知與溝通計畫」。

69. 國家發展委員會，2012，國家氣候變遷調適政策綱領。
70. 國家發展委員會，2018，地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引。
71. 陳韻如、林欣靜、黃嬿蓁、陳永明，2015，「氣候變遷之災害衝擊與調適-面對未來的災害風險」，土木水利，42 卷 5 期，頁 25-32。
72. 童慶斌、劉子明、林嘉佑、曹榮軒、李明旭，民國 105 年，「氣候變遷水資源風險評估與調適決策之探討」，土木水利，42 卷 4 期，頁 30-45。
73. 蕭逸華、李欣輯，2019，「暖化情境下農業淹水災害之調適效益分析-以大甲溪流域為例」，農業工程學報，65 卷 1 期，頁 83-95。
74. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
75. IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K.

Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)]. In press.

76. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2009, “2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction”, UN Office for Disaster Risk Reduction.
77. 日本內閣府，2015，総合的な土砂災害対策の推進について，総合的な土砂災害対策検討ワーキンググループ。
78. 日本內閣府，土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令（平成十三年政令第八十四号), https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=413CO0000000084。
79. 謝正倫(1999)，土石流潛感溪流危險度評估與分級之研究(一)，國科會計畫編號: NSC88-2625-Z-006-018。
80. 謝正倫、江志浩、陳禮仁 (1992)，花東兩縣土石流現場調查與分析，中華水土保持學報，第 23 卷，2 號，頁 109-122。
81. 游繁結、陳重光，(1987)，豐丘土石流發生之探討，中華水土保持學報，第 18 卷，1 號，頁 76-92。
82. 陳天健、王振宇、陳柏龍 (2015)，坡面型土石流之地形特徵與判別方法，中華水土保持學報，第 46 卷，3 號，頁 133-141。
83. 池谷 浩 (1982)，土石流危険区域設定に関する実験的研究，砂防学会誌，第 34 卷，3 號，頁 1-10。(In Japanese)
84. 水保局 (2019)，土石流潛勢溪流劃設作業手冊，行政院業農業委

員會水土保持局。

85. 詹錢登 (2000)，土石流概論，科技圖書，台北。
86. Nakatani K., Okuyama Y., Hasegawa Y., Satofuka Y., Mizuyama T., (2013), “Influence of housing and urban development on debris flow flooding and deposition”, JMS, Vol.10, No.2, pp.273-280.
87. Nakatani K., Iwanami E., Horiuchi S., Satofuka Y., Mizuyama T., (2012), “Development of “Hyper Kanako”, a debris flow simulation system based on laser profiler data”, 12th congress INTERPRAEVENT 2012, Grenoble, France.
88. Liu J. F., Nakatani K., Mizuyama T., (2013), “Effect assessment of debris flow mitigation works based on numerical simulation by using Kanako 2D”, Landslides, Vol.10, pp.161-173.
89. Heald A., Parsons J., (2005), “Debris Flow Types and Mechanisms”, Scottish Road Network Landslides Study, Winter, M., Macgregor, F., & Shackman, L. edits, The Scottish Executive.
90. Iverson R.M., (2014), “Debris Flow: Behavior and hazard assessment”, Geology Today, Vol.30, No.1, pp.15-20.
91. Armanini A., Fraccarollo L., Larcher M., (2005), “Debris Flow. 142”, Encyclopedia of Hydrological Sciences, p.2173-2185.
92. Takahashi T., (2007), “Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures”, Taylor & Francis, Balkema, The Netherlands.
93. Takahashi T., Yoshida H., (1979), “Study on the Deposition of Debris Flow (1): Deposition due to Abrupt Change of Bed Slope”, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University,

Kyoto, Japan No. 22, B-2, pp. 315-328. (In Japanese)

94. Takahashi T., Yoshida H., (1977), “A Mechanism of Occurrence of Mud-Debris Flows and Their Characteristics in Motion”, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan No. 20, B-2, pp. 405-435. (In Japanese)
95. Nakatani K., Wada T., Satofuka Y., Mizuyama T., (2008), “Development of Kanako 2D (Ver. 2.00), a user-friendly one-and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface”, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 1, No. 2, pp.62-72.
96. Takahashi T., Kuang S., (1986), “Formation of debris flow on varied slope bed. Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan No. 29, B-2, pp. 343-359. (In Japanese)
97. Takahashi T., Nakagawa H., (1991), “Prediction of stony debris flow induced by severe rainfall”, Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering, Vol.44, No.3, pp. 12-19. (In Japanese)
98. Takahashi T., Nakagawa H., Satofuka Y., (2001), “Flood and Sediment Disasters Triggered by 1999 Rainfall in Venezuela: A River Restoration plan for an Alluvial Fan”, Journal of Natural Disaster Science, Vol.23, pp. 65-82.

附錄一 行政院農業委員會水土保持局共通性資料欄位編碼規範

中華民國109年6月11日水保技字第1091858642號函訂定

一、目的

行政院農業委員會水土保持局(以下簡稱本局)為達成資料有效整合、加值、共享之目標，以及提升資料交換使用之效率及便利性，透過開放資料之盤點、清查，並參考政府既有領域資料或相關標準，以利資料流通交換與介接，特訂定本規範。

二、適用範圍

(一)本局產製之開放資料及業務執行過程產製之資料。

(二)本局新建置之資料庫及既有資料庫介接交換時共同遵循之標準。

三、名詞定義

(一)開放資料：指本局因應政府資訊公開、資料開放及流通共享等目的，並兼顧資料介接之便利性，提供各單位及民眾快速取得進行加值應用，而上架至行政院農業委員會資料開放平台之資料。

(二)共通性欄位：指本局開放資料、業務執行過程產製之資料及各系統資料庫相同定義之欄位。

四、規範原則

(一)資料流通時，其欄位名稱、值域、型別與代碼應優先依循政府資料標準平臺(https://schema.gov.tw/)所列舉之共通資料為原則，其次為依循本局共通性資料欄位編碼標準表(表一)。

(二)各欄位名稱應優先以英文為之。欄位內容以標準代碼記錄者(如 countycode 縣市代碼)，可增其對應值或中文註釋欄位(如 county 縣市名稱)，以利資料普及使用。

(三)各欄位內容如以中文編碼時，中文字編碼格式應以 UTF-8 為原則。

(四)坐標系統欄位命名應依據 EPSG 編碼為原則且需將縱、橫坐標分欄儲存，如 EPSG3828_X、EPSG3828_Y、EPSG3827_X、EPSG3827_Y、EPSG3826_X、EPSG3826_Y、EPSG3825_X、EPSG3825_Y、EPSG4326_E、EPSG4326_N。

表一 水土保持局共通性資料欄位標準編碼表

英文名稱	中文名稱	說明	資料庫型別	資料長度(bytes)	值域	附註
Year	西元年度	以西元年為之，如2008、2020等	Integer	4	1-9999	
Twyear	民國年	以民國年為之,如97、108等	Integer	4	1-9999	
Month	月份	以數字之1~12為之	Integer	2	1-12	
Day	日	以數字之1~31為之	Integer	2	1-31	
Date	日期	描述特定日子,含年、月、日者	Date	-	YYYYMMDD [0000-9999][01-12][01-31]	引用標準名稱：CNS 7648「資料元件及交換格式－資訊交換－日期及時間表示法」。 例如20200416。 若資料有月或日不詳，可以填入0101方式，如20200101。

英文名稱	中文名稱	說明	資料庫型別	資料長度(bytes)	值域	附註
DateTime	日期時間	描述特定日子及時刻	DateTime	-	YYYYMMDDhhmmss [0000-9999][01-12][01-31][00-24][00-59][00-59]	引用標準名稱：CNS 7648「資料元件及交換格式－資訊交換－日期及時間表示法」。 例如 20200416210716。
Time	時間	描述特定時刻	Time	-	hhmmss [00-24][00-59][00-59]	引用標準名稱：CNS 7648「資料元件及交換格式－資訊交換－日期及時間表示法」。 例如 210716。
County	縣市名稱	省、直轄市、縣、市名稱	String	8		詳「戶役政資訊代碼」。 例如臺北市。
CountyCode	縣市代碼	省、直轄市、縣、市之代碼	String	5	[00000-99999]	詳「戶役政資訊代碼」。 例如 63000。

Town	鄉鎮市區	省、直轄市、縣、市之所屬鄉鎮市區名稱	String	10		詳「戶役政資訊代碼」。 例如松山區。
TownCode	鄉鎮市區代碼	省、直轄市、縣、市之所屬鄉鎮市區代碼	String	8	[00000000-99999999]	詳「戶役政資訊代碼」。 例如 63000010。
Village	村里	省、直轄市、縣、市之所屬鄉鎮市區之村里名稱。鄉以內之編組為村；鎮、縣轄市及區以內之編組為里	String	10		詳「戶役政資料代碼內容」。 例如莊敬里。
VillCode	村里代碼	省、直轄市、縣、市之所屬鄉鎮市區之村里代碼。	String	11	[00000000000-99999999999]	詳「戶役政資料代碼內容」。 例如 63000010002。
Basin	流域名稱	記錄該流域名稱，但不加入「流域」兩字，例如蘭陽溪、烏溪。	String	20		詳經濟部水利署之「河川流域範圍圖」。

Basinno	流域編號	記錄該流域編號，流域代碼須依循本局自訂之 4 碼流域編號。例如八掌溪之流域編號為 1580。	String	4		以經濟部水利署之「河川流域範圍圖」代碼前 4 碼輸出。
Subbasin	子集水區名稱	記錄該子集水區名稱，例如北港溪流域內的子集水區，包含黃德坑溪、嵌頂溪、葉子寮溪、中林溪、虎尾溪。	String	20		參照本局訂定之子集水區範圍圖之名稱。
Subbasinno	子集水區編號	記錄子集水區編號，須依循本局自訂之 7 碼子集水區編號。例如黃德坑溪子集水區代碼為 1540001。	String	8		參照本局訂定之子集水區範圍圖之編號。

Debrisno	土石流潛勢溪流編號	依水土保持局定義之編號為之，如中市 DF001、投縣 DF224	String	16		
EPSG3828_X	TWD67_X_121	記錄 TWD67 空間位置橫坐標值，中央經線是 121 分帶。	Float	12	146690 - 350860	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。
EPSG3828_Y	TWD67_X_121	記錄 TWD67 空間位置縱坐標值，中央經線是 121 分帶。	Float	12	2422210-2813370	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。
EPSG3827_X	TWD67_X_119	記錄 TWD67 空間位置橫坐標值，中央經線是 119 分帶。	Float	12	161720 - 357580	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。
EPSG3827_Y	TWD67_X_119	記錄 TWD67 空間位置縱坐標值，中央經線是 119 分帶。	Float	12	2565200- 2919880	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。

EPSG3826_X	TWD97_X_121	記錄 TWD97 空間位置橫坐標值，中央經線是 121 分帶。	Float	12	147520 - 351700	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。
EPSG3826_Y	TWD97_Y_121	記錄 TWD97 空間位置縱坐標值，中央經線是 121 分帶。	Float	12	2422000- 2813170	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。
EPSG3825_X	TWD97_X_119	記錄 TWD97 空間位置橫坐標值，中央經線是 119 分帶。	Float	12	162540 - 358410	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。
EPSG3825_Y	TWD97_Y_119	記錄 TWD97 空間位置縱坐標值，中央經線是 119 分帶。	Float	12	2565000-2919690	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。
EPSG4326_E	EPSG4326_LON	記錄 WGS84 空間位置經度值。	Float	8	118.13790-122.10920	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。
EPSG4326_N	EPSG4326_LAT	記錄 WGS84 空間位置緯度值。	Float	7	21.89560-26.38530	須注意小數位數的合理性，以符合有效數字定義。

附錄二 政院農業委員會水土保持局數值資料及地理圖資管理作業要點

中華民國 109 年 6 月 11 日水保技字第 1091858640 號函

一、 行政院農業委員會水土保持局(以下簡稱本局)為規範與推動本局數值資料及地理圖資之建置、取得、更新、管理及流通供應作業，以達有效管理資料及共享之目的，特訂定本要點。

二、 本要點適用對象包含本局暨所屬分局、廠商，以及使用本局資料之一般民眾與外單位。

三、 本要點之用詞定義如下：

（一）數值資料：係指本局因執行業務需要而建置、購買或取得之數值資料且具後續加值應用者，如業務統計資料、現地調查及觀測資料等數位化資料。

（二）地理圖資：係指本局因執行各類業務需要建置、購買或取得具有空間資訊與相關屬性之數值圖形資料包括向量資料、影像資料、數值地形模型、三維模型等。

（三）廠商：係指本局執行中之委辦計畫得標廠商或補助計畫之受補助單位。

（四）委辦計畫：係指本局依政府採購法辦理或機關間委託辦理之計畫。

（五）補助計畫：係指經本局補助執行之計畫。

（六）業管單位：係指辦理本局委辦或補助計畫主辦單位。

（七）外單位：係指其他政府機關、公營機構或受其他政府機關委託執行專案中之民間機構、團體或學術單位。

（八）一般民眾：泛指自然人及未符合外單位定義之法人或團體。

（九）資料管理主辦單位：係指負責本局數值資料與地理圖資管理，以及主政資料管理工作圈之單位，由本局技術研究發展小組為之。

（十）資料管理工作圈：依本局水土保持基礎資料管理精進方案決議所組成之工作圈，由資料管理主辦單位召集各業管單位成立，並由各業管單位指派資料管理工作圈成員。

(十一)向量資料：泛指各類點、線、面圖形及屬性之空間資訊。

(十二)影像資料：係指航空或 UAV 正射影像、衛星影像、經建版地形圖、像片基本圖、坡度圖、陰影圖、三維立體地形地圖(如紅色地圖)等，不包含一般照片

(十三)數值地形模型：係指數值地形模型(DTM)，其型態包含數值高程模型(DEM)、數值地表模型(DSM)等。

(十四)三維模型：係指以向量式或影像建模方式產製之三維地理圖資，如建築資訊模型(BIM)、三維管線等具有立體維度之圖資及 UAV 空拍建模成果等。

(十五)核心資料：係指經本局資料管理工作圈確認與本局業務相關且必要之數值資料及地理圖資。

(一)API 服務：係指本局各資訊系統所提供之應用程式介面(Application Programming Interface)服務

(二)本局資料平台：係指本局為達成水土保持資料有效整合、加值、共享之目標，並作為對內及對外資料流通供應、管理之單一平台。

四、 業管單位應辦事項：

(一)辦理數值資料及地理圖資之建置、維護、檢核及驗收事宜，研訂資料使用權限及更新頻率；地理圖資上架至本局資料平台時，需同時檢附詮釋資料及資料欄位說明。

(二)辦理 API 服務之維護及每日提供各系統對外服務 API 使用次數與引用量。

(三)配合本局資訊推動小組進行資料開放盤點、推廣及資料品質檢查等開放資料事項。

五、 廠商應辦事項：

(一)廠商將各項資料交付本局時，除契約另有規定外，應以符合三星等(符合開放資料格式，非特定商用軟體即可讀取)以上為原則，如 CSV、XML、JSON 等格式儲存；地理圖資交付時，需同時檢附詮釋資料及資料欄位說明。

(二)有關數值資料與地理圖資之命名，應符合本局數值資料與地理圖資命名原則(附件一)相關規定。

六、 資料管理主辦單位應辦事項：

（一）於本局資料平台上審核業管單位及廠商提交之數值資料、地理圖資及 API 格式與檔案完整性及正確性，進行詮釋資料及資料版本管控，並得就數值資料、地理圖資及 API 服務使用目的、項目、範圍等進行審查。

（二）依據本要點管理本局數值資料、地理圖資及 API 服務，並辦理資料對內、對外之申請、流通供應、發布服務、製作圖磚及本局資料平台維運等事項。

七、 資料管理工作圈應辦事項：

（一）定期盤點資料，識別資料價值，並檢視資料完整性、確認核心資料、更新頻率、業管單位及決定資料使用權限等事項。

（二）協助本局資訊推動小組推動本局資料開放盤點、推廣及資料品質檢查等開放資料事項。

八、 數值資料及地理圖資成果提交之檔案要求如下：

（一）資料之地理空間位置，平面坐標基準應使用內政部一九九七臺灣大地基準（TWD97 TM2, EPSG 3826），若計畫需求非以內政部一九九七臺灣大地基準者，提交前應進行轉換。

（二）資料若含共通性欄位者，需依照本局共通性資料欄位編碼規範辦理。

（三）向量資料類型除三星等以上開放資料格式外，另提供 Shapefile 檔案；若為點位清單表格資料，則應轉為點位圖後上傳提交，並依本局共通性資料欄位

編碼規範辦理。若非屬共通性資料欄位且屬性內容為英文或代碼者，應先置換為中文(UTF-8)，以利後續地理圖資流通及應用識別。

(四)數值地形模型以 Lan、GeoTiff 或具有坐標資訊之 ASCII、Grid 檔案格式為主。

(五)影像資料類型以 GeoTiff 檔案格式為主，或具有相對應坐標檔之影像檔案格式。

(六)三維模型原則以 obj 檔案格式為主。

(七)數值資料之儲存格式應依據本局電子圖書管理中心提供之範本為之，無範本者依契約規定。

(八)提送之資料若非本局產製者，應檢附資料產製單位之授權文件。

九、本局數值資料、地理圖資及API服務依其提供方式區分為：

(一)開放資料：以開放格式提供，採無償與不限制使用目的、地區及期間，且不可撤回之方式授權利用。

(二)依申請提供資料：採有償、保留撤回權或其他限制條件之方式授權利用。

十、資料申請程序依申請人區分為：

(一)一般民眾

1. 開放資料：逕於政府資料開放平台下載。

2. 依申請提供資料：於本局資料平台登入並填寫使用目的等基本資訊後下載，流程如附件二之一。

（二）本局暨所屬分局及廠商

1. 以本局 EIP 帳號登入本局資料平台，申請及審核程序如附件二之二及附件二之三。
2. 自由下載資料：為本局自產且無限制及無管制之資料，毋須審核即可自行下載。
3. 限制下載資料：係指本局自產具一定敏感程度，或外單位提供限本局內部使用之資料，需提出申請經核定後始得下載。
4. 管制下載資料：係指本局自產具機敏或涉及國安等議題受到使用管制，或外單位提供限本局內部使用的資料，需提出申請並填報資料管制同意書(如附件三)，經核可後始得下載。

（三）外單位

1. 外單位欲申請本局資料時，應以書面為之，並敘明申請單位、資料名稱、資料使用目的、範圍等。
2. 外單位之書面申請文件統由資料管理主辦單位收文，並會請該項資料之業管單位審核後，由資料管理主辦單位回復。相關申請及審核程序如附件二之四。

十一、 其他管理原則：

（一）數值資料及地理圖資對內、對外之流通供應原則均應透過本局資料平台為之，並依附件二之申請與審核程序辦理；非屬本要點所定義之外單位擬申請資

料時，得參照外單位之申請與審核程序辦理。

（二）依資料使用權限之規範，本局得就數值資料及地理圖資使用目的、項目、範圍進行審查，並得依其使用目的及申請單位之業務性質，限制提供資料之項目及範圍。

（三）申請資料使用權限為「管制下載」之資料者，需依所填列資料管制同意書之銷毀期限截止前，回報管制資料是否依約銷毀，並提出資料銷毀紀錄(如附件四)，未依規定辦理者，中止申請者資料平台之使用權限並究其責任。

（四）外單位提供限本局內部使用之資料，非取得原政府機關授權之同意函或證明文件，不得對外流通。

附件一 數值資料與地理圖資命名原則

為利於本局數值資料與地理圖資的識別，歸納及統一本局圖資命名原則及注意事項，俾作為業管單位及廠商依規定上傳成果時，查核驗收作業之依循。

一、 向量資料命名原則

(一) 由本局產製者

1. 以「年度+數量(或期次)+地區+主題名稱」作為圖名命名順序原則。
   (1)若需保留各版次者，不論是否定期更新，於主題名稱前需加上其建置或整合完成年度(民國年)且以 3 位數阿拉伯數字記錄表示。
   (2)不保留版次者(僅保留最新版次)，僅以主題名稱為主，其餘資訊視需求加入。
   (3)若該圖資以特定區域或行政轄區為主者，或需要特別區隔全臺灣或是特定區域者，則建議將地區名稱納入，並將「台」字統一以「臺」字表示。
   (4)若該地理圖資檔案量過大者，建議以縣市為單位拆分及命名，以利地理圖資之流通。
   (5)若欲突顯地理圖資之數量資訊者，則可以阿拉伯數字加上數量單位命名。
   (6)若地理圖資具有同一年度多期次或是有特定版本者，需加入年度或期次資訊。
2. 主題名稱為必備資訊，年度、數量(或期次) 或地區等為附加資訊，但仍應盡量詳實記錄。
3. 範例：
   (1)108 年度 1725 條土石流潛勢溪流影響範圍圖
   (2)105 年度彰化縣山坡地地籍圖
   (3)105 年度第 6 期全臺疑似違規變異點

(4)水土保持戶外教室及教學園區分布圖

(二)非本局產製者

1. 外單位之開放資料(Open data)不予更名。
2. 外單位之非開放資料，同樣以「年度+數量(或期次)+地區+主題名稱」作為圖名命名原則，若不具有相關資訊時，同樣以原有名稱為主。
3. 範例：
   (1)村里界圖(TWD97_121 分帶)(本項為開放資料，不予更名)
   (2)國有林事業區林班圖(本項為開放資料，不予更名)
   (3)098 年度國有林土地利用型圖

二、 向量資料命名注意事項

(一)資源或環境調查應依資料形態(點、線、面)加以建檔，如土石流潛勢溪流圖、土石流潛勢溪流影響範圍圖、災害點位圖等。

(二)命名時需排除動詞或形容詞，動詞如購置、拍攝、建置、判釋、數化等；形容詞如多尺度等，若有相關辭彙則應予更名，例如「以衛星影像產製 104 年全國變異點」應更名為「104 年全國衛星影像變異點」。

(三)命名時不納入產製單位或業管單位，其資訊由詮釋資料加以記錄，例如「地質圖五萬分之一中央地調所」應更名為「五萬分之一地質圖」。

(四)圖名避免疊字或重複文字，如「****圖索引圖」建議更名為「****索引圖」。

(五)不以計畫名稱進行圖資命名，計畫名稱配合本局資料平台之「詮釋資料」填報即可。

三、 影像資料、數值地形模型資料及三維模型命名原則

（一）以影像拍攝日期西元年月日八碼_種類_項目為檔案命名順序原則。

（二）種類包含衛星影像(Satellite)、無人飛行載具影像(UAV)、數值地型模型(DTM)、三維模型(3Dmodel)…等,並以英文命名之。

（三）項目則為該種類底下之產品，如衛星影像種類(Satellite)可包含如 WorldView2、SPOT..項目；無人飛行載具影像(UAV)種類可包含正射影像(Ortho)一般照片(photo)；數值地型模型(DTM)包含數值地表模型(DSM)、數值高程模型(DEM)。

（四）由農航所產製分幅之彩色正射影像、DMC 或 ADS 航空照片,則保留原始檔案名稱。

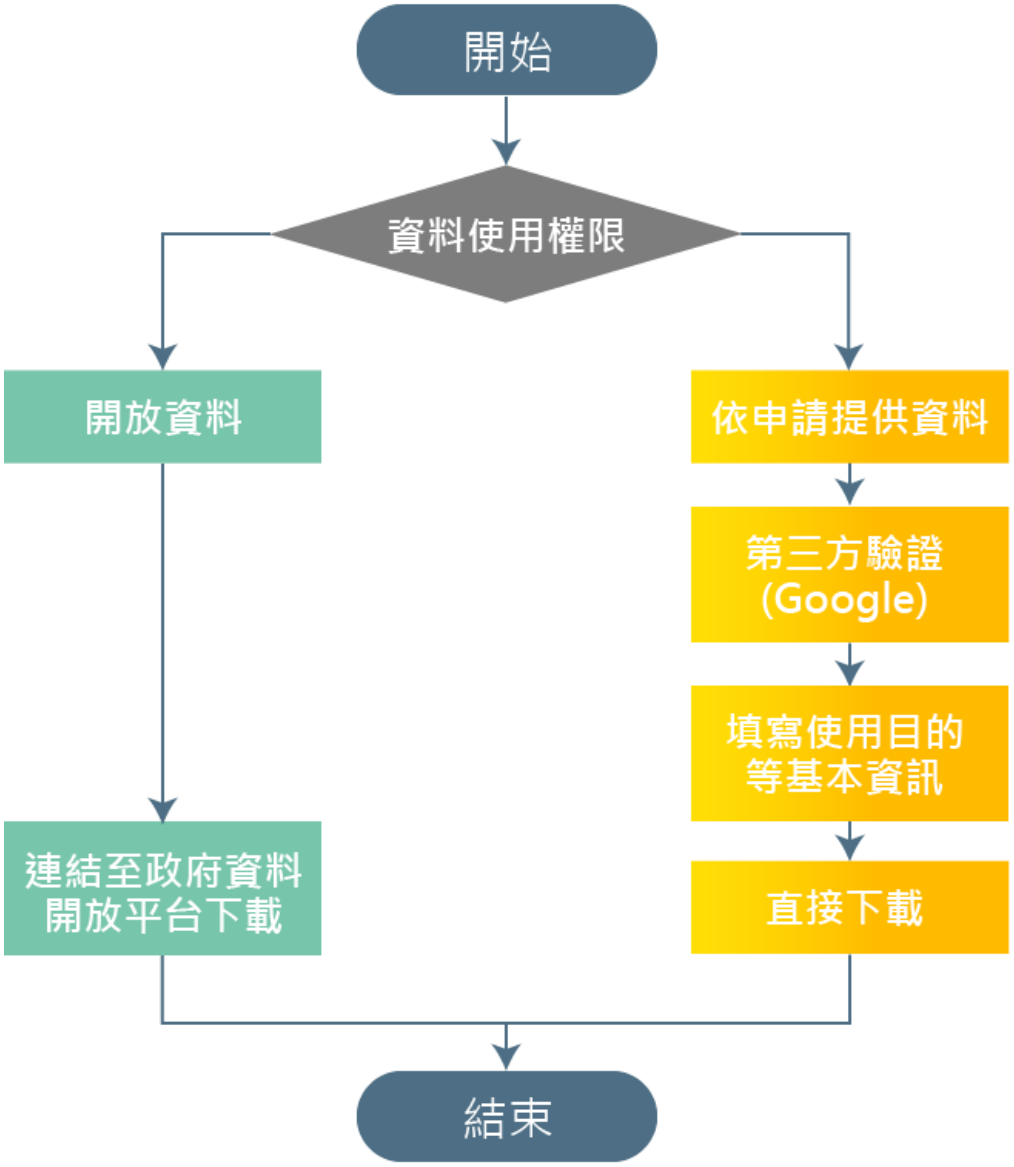
（五）範例：

1. 20190804_Satellite_WorldView2
2. 20080710_UAV_Ortho
3. 20181122_DTM_DSM
4. 96204014_100619f_44~0028_hr4

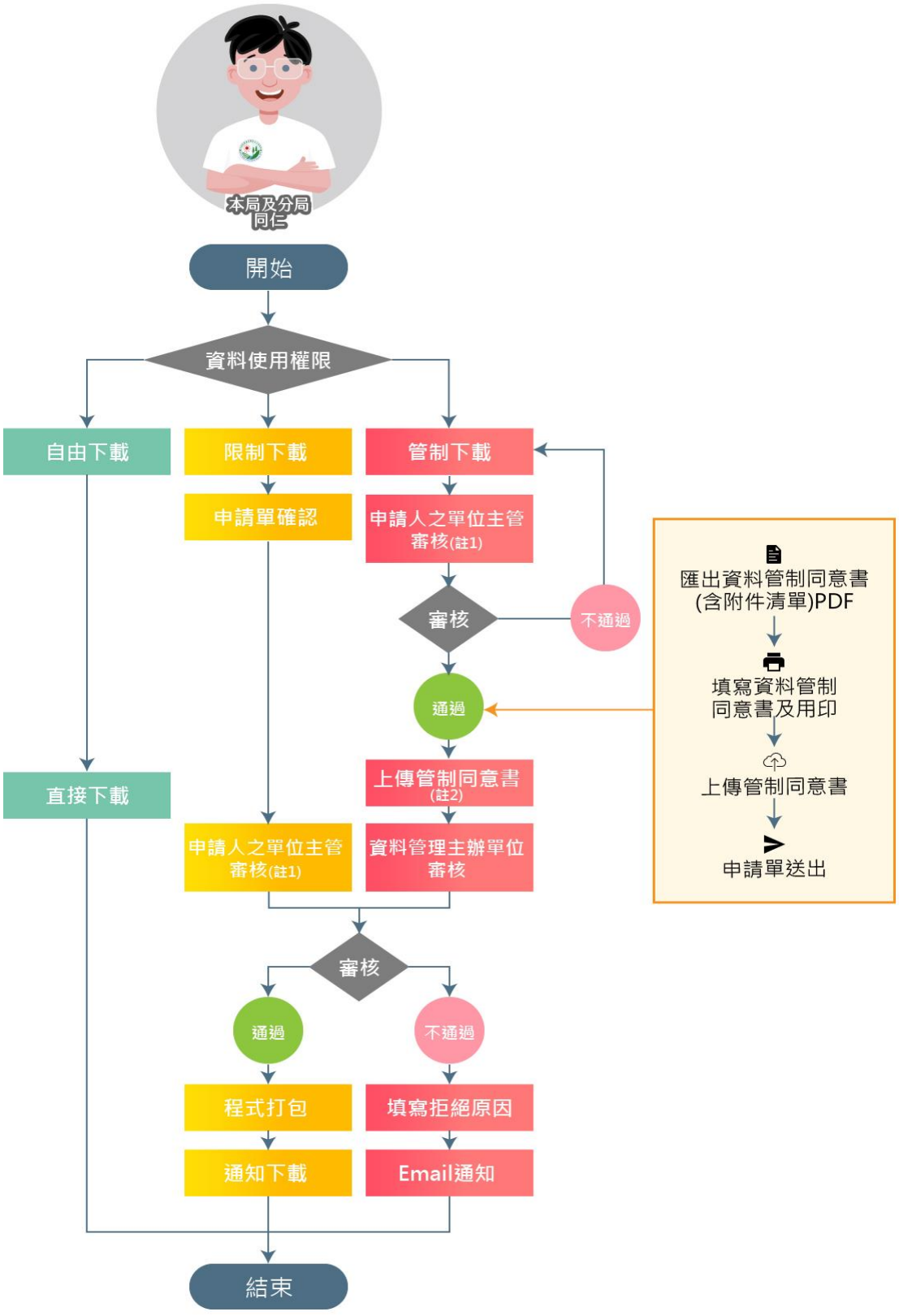
四、 數值資料命名原則：考量數值資料類別之多樣性，授權於本局電子圖書管理中心規範各類數值資料之詳細命名原則。

附件二之一資料申請及審核程序－一般民眾



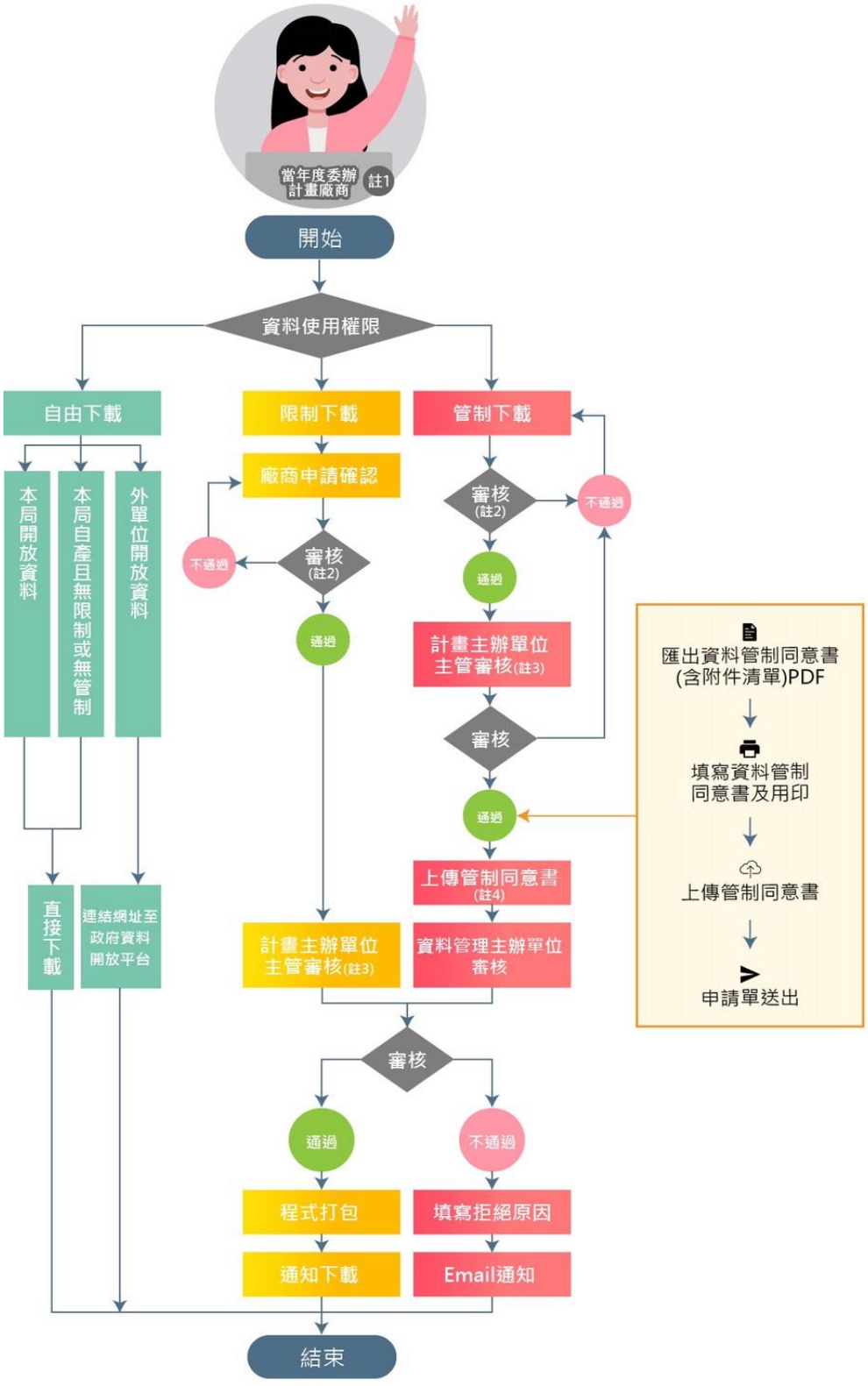


附件二之二 資料申請及審核程序－本局及分局同仁



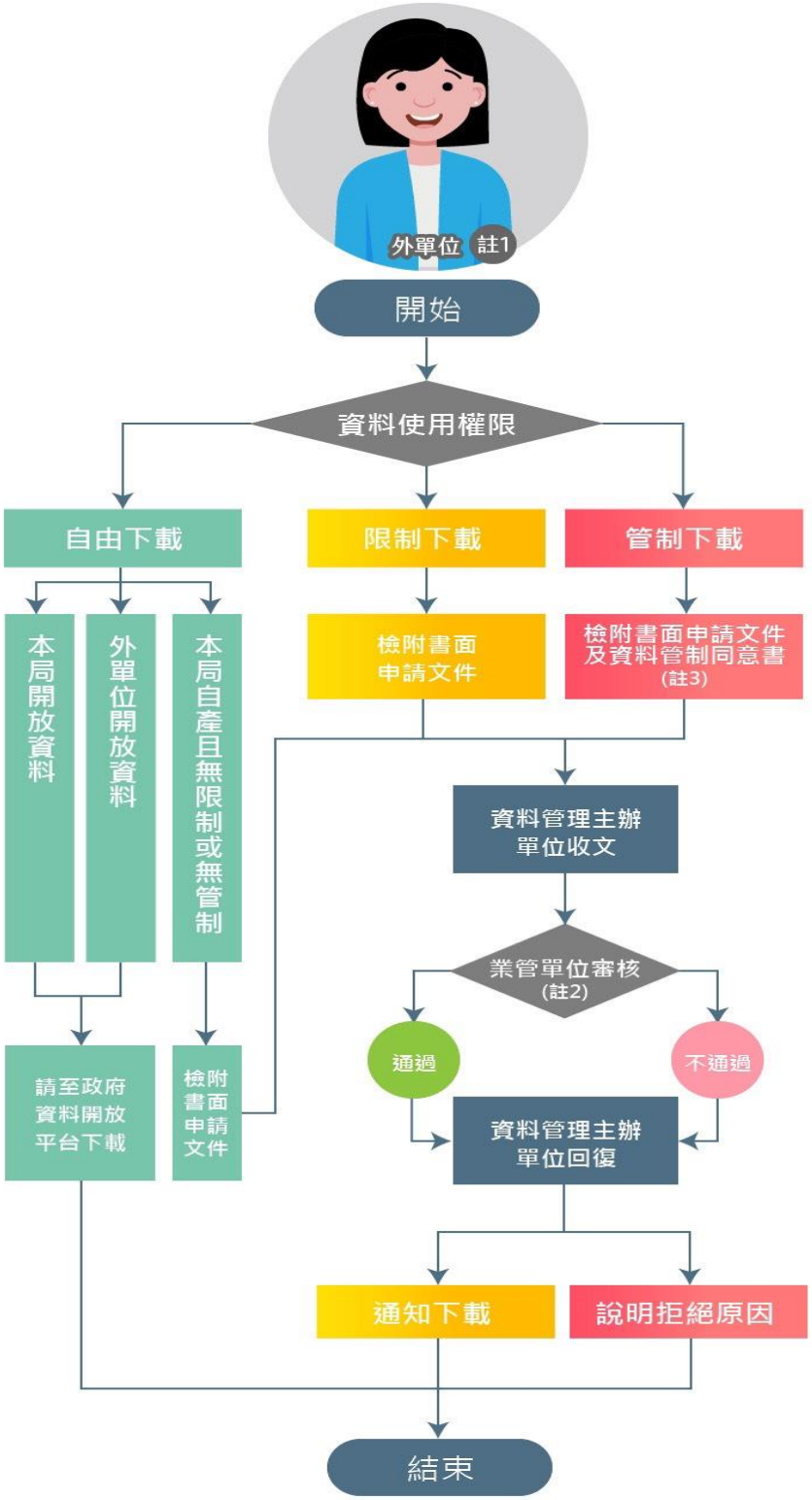
註1：申請人之單位主管為科(課)長層級
註2：申請人需依銷毀期限截止前，回報依約銷毀並提出資料銷毀紀錄

附件二之三 資料申請及審核程序－廠商



註1：廠商係指本局執行中之委辦計畫得標廠商或補助計畫之受補助單位
註2：由該廠商所執行之委辦或補助案之本局主辦人員審核
註3：由該廠商所執行之委辦或補助案之本局主辦科(課)長層級審核
註4：申請人需依銷毀期限截止前，回報依約銷毀並提出資料銷毀紀錄

附件二之四 資料申請及審核程序－外單位



註1：外單位係指其他政府機關、公營機構或受其他政府機關委託執行專案中之民間機構、團體或學術單位。
註2：業管單位係指產製或提供該資料的本局組室(中心)或分局。
註3：申請人需依銷毀期限截止前，回報依約銷毀並提出資料銷毀紀錄。

附件三 資料管制同意書

行政院農業委員會水土保持局資料管制同意書

為_____**(申請目的)**_____需要，

茲收到(詳如清冊)

☐ 內政部國土測繪中心**地籍資料**

☐ 內政部國土測繪中心**國土利用調查成果圖**

☐ 交通部**交通路網數值圖**

☐ 衛星影像資料

☐ 航照影像資料

☐ 其他:_____

同意遵守以下條款：

一、 申請人應依申請目的使用前開資料，不得移作申請目的以外之使用，且應由專人保管，並依相關保密規定妥善使用，列入移交。

二、 非經提供機關書面許可，申請人不得自行複製或交付他人使用，亦不得以附加或改良資料為由，自行複製或交付他人使用，並同意於涉及上述申請使用管制資料之業務執行完成(畢)後，於中華民國____年___月___日前自行銷毀所申請之資料原始檔案。

三、 遵照國家機密保護法、著作權法及其他相關法令規定使用前開資料，若涉及著作權、國家安全等相關觸法情事，概由申請人自負所有民事及刑事責任。

領取單位：　　(廠商及外單位請加蓋印信)

申請人(簽章)：

聯絡地址：

聯絡電話：

中　華　民　國　　年　　月　　日

附件四 資料銷毀紀錄

資料銷毀紀錄

執行單位			
執行人員		監銷人員	
執行地點		執行銷毀日期	_____年____月____日
執行銷毀案由			
內容項目說明			
儲存媒體型態	□紙本 □光碟 □硬碟 □其他：_____		
銷毀方式	□化為碎紙或溶為紙漿 □焚化 □擊碎至檔案內容無法辨識 □消除電子檔或重新格式化 □其他：_____		
銷毀前照片（儲存媒體照片或資料畫面截圖）			

資料銷毀紀錄

執行銷毀照片（儲存媒體銷毀照片、電子檔刪除過程及結果截圖）
備註或其他需說明事項

資料申請人(保管人)簽章：　　主管簽章：

附錄三 研究成果發表

社團法人中華水土保持學會 109 年度年會議程

社團法人中華水土保持學會 109 年度年會議程

時間： 109 年 12 月 5 日(星期六)

地點： 國立中興大學水土保持學系一館階梯教室

主辦單位： 社團法人中華水土保持學會

協辦單位： 行政院農業委員會水土保持局、臺北市政府工務局大地工程處、經濟部中央地質調查所、國立中興大學水土保持學系、國立屏東科技大學水土保持系、逢甲大學地理資訊系統研究中心、逢甲大學營建及防災研究中心、臺灣省水土保持技師公會、臺北市水土保持技師公會、中華民國水土保持技師公會全國聯合會、新北市水土保持技師公會、臺中市水土保持技師公會、高雄市水土保持技師公會、中興工程顧問社

<table>
<tr><th>時間</th><th colspan="2">議題</th><th>主講人</th><th colspan="2">主持人</th></tr>
<tr><td>09：00-09：30</td><td colspan="5">報到及分發資料</td></tr>
<tr><td>09：30-09：40</td><td colspan="2">開幕</td><td colspan="3">社團法人中華水土保持學會周天穎理事長</td></tr>
<tr><td>09：40-10：10</td><td colspan="3">109 年度獎勵活動頒獎</td><td colspan="2">周天穎理事長</td></tr>
<tr><td>10：10-10：20</td><td colspan="3">會務報告與討論</td><td colspan="2">許中立常務監事</td></tr>
<tr><td>10：20-10：40</td><td colspan="5">茶敘/交流</td></tr>
<tr><td>10：40-11：10</td><td colspan="3">邀請演講：水土保持局李鎮洋局長
演講題目：山坡地智慧防災策略</td><td colspan="2">周天穎理事長</td></tr>
<tr><td>11：10-11：30</td><td colspan="5">水保座談：公路總局許鉦潭局長、水保系友會李國正會長、水保退休協會黃明耀理事長、水保技師公會代表陳智誠理事長</td></tr>
<tr><td>11：30-11：50</td><td colspan="3">學術獎得獎人演講：屏科大水保系陳天健教授
演講題目： 漫談大規模崩塌與衍生災害</td><td colspan="2">中興水土保持學系 林德貴系主任</td></tr>
<tr><td>11：50-13：00</td><td colspan="5">午餐</td></tr>
<tr><td rowspan="2">13：00-14：50</td><td colspan="5">水土保持研討會(含 109 年度論文獎宣讀)</td></tr>
<tr><td>論文宣讀(一)
水土保持學系
一館一樓
階梯教室</td><td>論文宣讀(二)
水土保持學系
二館一樓
大二教室</td><td>論文宣讀(三)
水土保持學系
二館一樓
大三教室</td><td>論文宣讀(四)
水土保持學系
土石流防災中心</td><td>學生論文競賽
水土保持學系
二館一樓
大四教室</td></tr>
<tr><td></td><td>屏東科技大學
水土保持系
江介倫 主任</td><td>逢甲大學
水利工程學系
葉昭憲 主任</td><td>中興大學
水土保持學系
邱雅筑
助理教授</td><td>中華民國水土保持技師公會全國聯合會
郭玉麟理事長</td><td>王咏潔 副教授
唐 琦 副教授
周良勳 副教授
林秉賢 助理教授</td></tr>
<tr><td>14：50-15：10</td><td colspan="5">茶敘/交流</td></tr>
<tr><td rowspan="2">15：10-17：00</td><td>論文宣讀(五)
水土保持學系
一館一樓
階梯教室</td><td>論文宣讀(六)
水土保持學系
二館一樓
大二教室</td><td>論文宣讀(七)
水土保持學系
二館一樓
大三教室</td><td>論文宣讀(八)
水土保持學系
土石流防災中心</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>台灣省水土保持技師公會
陳智誠理事長</td><td>台北市水土保持技師公會
鄧鳳儀理事長</td><td>新北市水土保持技師公會
梁宥松理事長</td><td>高雄市水土保持技師公會
張萬方理事長</td></tr>
<tr><td>17：00-17：05</td><td colspan="3">頒獎</td><td colspan="2">許常務監事中立</td></tr>
<tr><td>17：05-17：20</td><td colspan="3">撰彩</td><td colspan="2">王監事德鏞、黃技師志彰</td></tr>
<tr><td>17：20-17：30</td><td colspan="3">閉幕式</td><td colspan="2">許常務監事中立</td></tr>
</table>

GEE 雲端分析平台

應用於輔助堰塞湖潰決評估之可行性研究

白佩鑫[1] [2]* 林家興[1] [2]* 陳振宇[1]

摘　　要　堰塞湖由於壩體材料鬆散，經統計約 50%於形成 10 日內即潰決，造成下游地區生命財產損失，故如何在限時間內評估潰決可能性係防災工作上經常面臨的難題。由於堰塞湖形成位置難以預測，且通常位於山區上游集水區，現地測量常不可行，故其蓄水規模不易探測。為在災害發生時快速評估壩體穩定性，本研究嘗試運用 Google earth engine (GEE) 平台提供多時期 sentinel-1 雷達影像和現有的 DEM 資料，推估堰塞湖蓄水深度、面積與體積關係 (Eleva-tion-Area-Volume Curve, EAV Curve)。並利用 EAV 曲線值與雷達影像多時期資料估計上游入流量，搭配壩體穩定性指標 (DBI) 作為初步危險性分析和決策依據。本研究先以水庫蓄水量作為研究案例，利用水利署之實測資料驗證此方法之可行性，其成果將可作為後續堰塞湖潰決評估和災情研判與決策之重要參據。

關鍵詞：開放資源、水體判釋、GEE 應用、多時期影像、防減災對策。

Feasibility Study of the Application of Google Earth Engine to Assist the Assessment of Landslide Dam-break

Pei-Hsin Pai [1][2]* Chia-Hsing Lin [1][2] Chen-Yu Chen [1]

ABSTRACT Past studies present about 50% of the landslide dams broke within ten days because of the unstable materials of the dam composition. The landslide dam-break cause deaths and property loss in downstream areas. Therefore, how to assess the possibility of dam-break within the limited time is an issue for disaster prevention works. Due to the location of the dam-break lake on upstream watershed is difficult to predict and survey, the water storage is hard to detect. In order to conduct an efficient dam stability assessment when a disaster occurs, this study attempts to apply the Google Earth Engine (GEE) platform to provide multi-period radar images of sentinel-1 for use with existing DEM to estimate the relationship between the storage depth, area and volume of the dam-break lake (Elevation-Area-Volume Curve, EAV Curve). By the EAV curve and the multi-period data of radar images, this study calculate the upstream in-flow. With the dam stability index (DBI), the following results provide preliminary risk analysis and decision-making. This study initially evaluate the storage capacity of reservoir water. In addition, the estimated results are compared the actual measurement data provided by the Water Resources Agency and further verify the feasibility of this method. The feasibility study is a reference as the basis for initial hazard analysis and decision-making to achieve the purpose of disaster reduction.

Key Words: Open satellite data, water body interpretation, GEE application, multi-temporal imagery, disaster prevention and mitigation strategies

---

〔1〕行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組
Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan
〔2〕財團法人農業科技研究院農業政策研究中心
Research Assistant, Agricultural Policy Research Center, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan
* Corresponding Author. E-mail: paipei@mail.swcb.gov.tw

GEE雲端分析平台應用於輔助堰塞湖潰決評估之可行性研究

白佩蠢[1] [2]　林家興[1] [2]　陳振宇[1]
（1）水土保持局技術研究發展小組
（2）財團法人農業科技研究院農業政策研究中心

1. 前言

- 經統計50%堰塞湖於形成10日內即潰決並危及下游，故如何快速評估天然壩潰決可能性係防災上重要的議題。
- 本研究運用Google earth engine (GEE)提供的多時期Sentinel-1雷達影像結合內政部DEM資料，推估堰塞湖蓄水深度、面積與體積關係 (Elevation-Area-Volume, EAV Curve)，據以評估集水區入流量及潰壩可能時間。
- 本研究先以水庫蓄水量作為研究案例，利用水利署之實測資料驗證此方法之可行性，其成果將可作為後續堰塞湖天然壩潰決評估及防災決策之重要參據。

4. 結論與建議

- 本研究利用GEE平台自動化計算模式初步估算水庫水位與蓄水體積，成果大致良好。誤差主要可能來自水庫淤砂導致DEM資料與現地不符，如有良好的水下地形資料，應能產生更準確的推估值。
- 天然壩在短時間內形成與而後潰決，相較於水庫不易有長期土砂淤積的問題，其存在期間地形前後差異不大。故將此方法用於堰塞湖水體評估，其結果應更符合真實狀況。
- 透過建立EAV曲線，未來可利用GEE平台雷達影像多時期資料估算集水區上游入流量，搭配無因次阻塞指標(Dimensionless Blockage Index, DBI)即可作為天然壩初步危險性評估和決策依據。

2. 材料與方法

2.1 研究流程

蒐集基本資料 → 建立GEE自動化計算模式 → 比較估算值與實測值 → 評估本研究方法之可行性 → 應用於堰塞湖潰決評估

GEE自動化模式流程

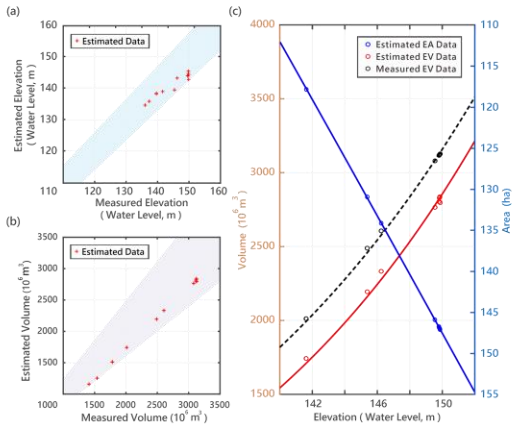


2.2 基本資料

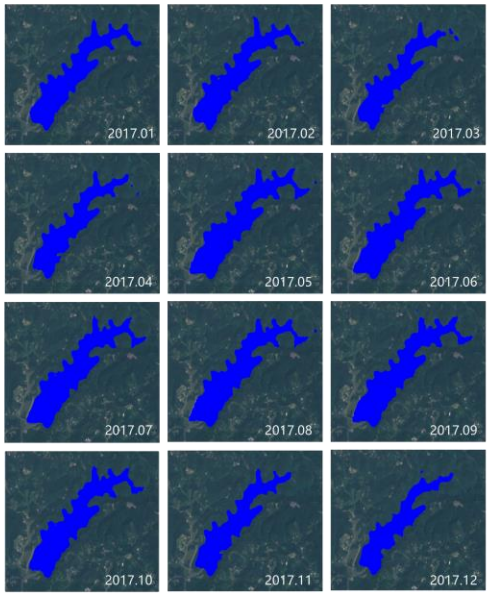
- 研究區域：寶山第二水庫
- 研究區面積：150 公頃
- 案例年份：2017年
- 實測資料：水庫水位、蓄水體積
- 實測資料來源：經濟部水利署
- DEM解析度：5 m
- DEM來源：內政部地政司
- 衛星圖資：Sentinel-1雷達影像

3. 結果與討論

- 經由實測值與GEE推估值比對後，水位誤差落在5%誤差範圍內，蓄水體積誤差落在20%誤差範圍內，且推估值皆小於實測值。
- 在EAV曲線的結果中，目前推估曲線與實測曲線兩者間有相同趨勢，可透過水下地型資料校正方式使推估值更準確。
- 本案例利用水庫長期穩定的蓄水，以Sentinel-1判釋水體範圍，在圖d顯示水體變化位置主要位於水庫上游區域。



(a) 水位誤差分析圖 (b)蓄水體積誤差分析圖
(c) GEE推估之EAV曲線



(d) 利用GEE雲端平台判釋不同時期寶山第二水庫之水體範圍

水土保持技術知識於新媒體擴散效益分析

林詠喬[1]* 陳振宇[2] 高百毅[2]

摘　要　在新媒體的蓬勃發展下，具影響力的人事物已從傳統報章雜誌及電視台轉移至各串流平台。而具有相當知識背景門檻之學術研究，在公民教育及政府資料公開的世代中，亦開始以新媒體為流通、展示學術成果以及減少知識落差之媒介。然而，對於水土保持研究在新媒體之擴散效果，迄今仍缺乏完整效益分析。本研究以水土保持局技術研究發展小組每週二線上 seminar 經營之 Youtube 頻道為案例，進行流量與觀看次數之分析，並使用 t-test 與報告書電子檔之點閱率進行比較分析。結果顯示，同一主題之影片較報告書電子檔點閱率高，且因觸及運算機制影響，Youtube 會重複推薦相似主題之影片，進一步使學術影片曝光度增加，相關分析結果可供未來學術研究成果擬透由串流平台擴散時之效益推估參考。

關鍵詞：技術研究發展小組、創新研究計畫、Youtube。

Evaluating the diffusion of benefits between electronic file and videos in soil and water conservation related researches.

Yung-Chiau Lin[1][4]*　Chen-Yu Chen[2]　Bai-Yi Kao[3]

ABSTRACT. With the vigorous development of new media, influential people and knowledge have shifted from newspapers, magazines and TV stations to various streaming services. As academic research with a considerable knowledge background threshold, new media is a convenient platform to circulate, display academic achievements and reduce knowledge gaps in the generation of civic education and government information disclosure. However, there is still a lack of research on the diffusion effects of soil and water conservation research in new media. This study analyzes the traffic and the number of views of the YouTube channel operated by the Research and Development Technology Team, Soil and Water Soil Conservation Bureau. This research compares the click-through rate of the electronic study file with t-test. The results show that the video has a higher click-through rate than the electronic file. Due to the influence of the computing mechanism, YouTube will repeatedly recommend videos with similar themes to increase the exposure of academic videos. Although this study did not consider the interactive effects of videos and electronic files, the results presents some trends of academic diffusion benefits which could be provided for academic publications in the future.

Key Words: Research and Development Technology Team, Innovative research project, YouTube.

---

〔1〕財團法人農業科技研究院農業政策中心
Assistant Researcher, Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan.
（* 通訊作者 E-mail: yungchiau@mail.swcb.gov.tw）
〔2〕行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組
Deputy Chief Engineer, Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan.

水土保持技術知識於新媒體擴散效益分析

林詠喬[1][2]* 陳振宇[1] 高百毅[1]
[1] 行政院農委會水土保持局技術研究發展小組
[2] 財團法人農業科技研究院農業政策研究中心

前言

新媒體已是目前最具影響力之管道，在公民教育及政府資料公開的世代中，亦開始以新媒體為流通、展示學術成果及減少知識落差之媒介。本研究欲比較線上電子全文與影片點擊次數之差異，評估知識影片之效益。

結論

本研究顯示，同一主題之影片較報告書電子檔點閱率高，且因觸及運算機制影響，YouTube會重複推薦相似主題之影片，進一步使學術影片曝光度增加，相關分析結果可供未來學術研究成果擬透由串流平台擴散時之效益推估參考。

材料與方法

1. 技術研究發展小組官網公開文件

- 使用2016年6月至2020年11月公開之線上電子文件全文，共392件。

線上公開文件類型	數量 (件)
研究報告	11
論文發表	42
水土保持技術文件	72
國外技術文獻翻譯	104
創新研究計畫	163
總計	392

2. 技術研究發展小組YouTube頻道影片

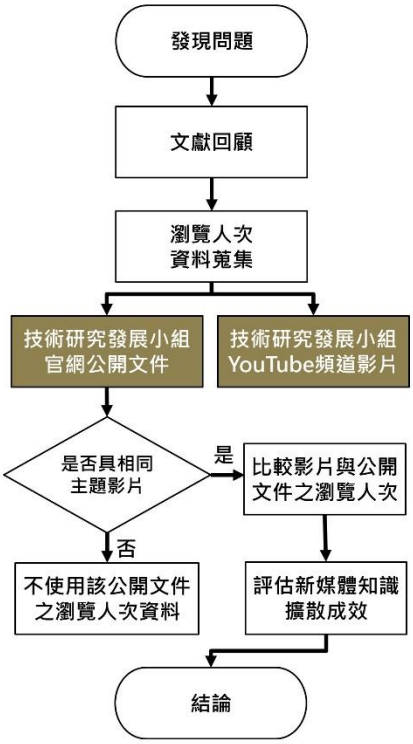
- 使用2016年11月至2020年11月發布於技術研究發展小組YouTube頻道之知識短講影片，共216部。

知識短講影片類型	數量 (件)
研究報告	1
論文發表	2
水土保持技術文件	7
水土保持經驗分享	39
創新研究計畫	49
其他	79
總計	216

3. 使用Wilcoxon sign rank評估公開文件及影片之成效差異

- 篩選同時具有線上影片及全文公開之文件，使用Wilcoxon sign rank評估兩者點閱率之差異。

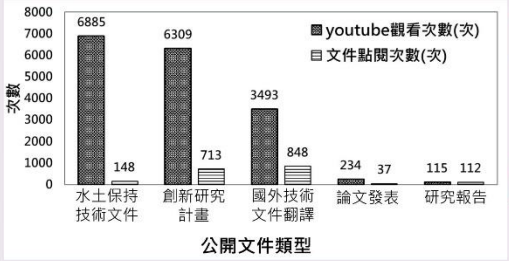
- 技術研究發展小組官方網站
- 技術研究發展小組YouTube頻道歡迎訂閱！



成果與討論

1. 點閱與觀看次數概況

- 整體而言，水土保持技術文件、創新研究計畫及國外技術文件翻譯之影片觀看次數遠大於文件點閱次數。而論文發表及研究報告則無明顯差異(圖a)。



(a) 同時具影片及公開電子資源之文件點閱與觀看次數比較

2. Wilcoxon sign rank分析結果

敘述統計

成對樣本名稱	平均數	個數	中位數	標準差
文件點閱次數	21.1	88	18.5	20.5
影片觀看次數	193.6	88	94	726.2

成對樣本檢定

成對樣本名稱	Z檢定	顯著性
文件點閱次數 影片觀看次數	8.141	P≦0.001

- 敘述統計顯示，影片觀看次數之樣本分布分散，即有單一影片大量觀看的情況。
- 同一主題中，影片觀看次數顯著的多於文件點閱次數。

3. 討論

- 同一主題下，影片之擴散效益較文件高，建議未來可針對較少影片發布之類型進行影片主題分享
- 本研究未考慮文件及影片公開時間所造成之點閱差異，進一步使用時間序列分析可了解水土保持知識之客群及擴散模式。

運用 H.O.S.T 地圖協助判釋土石流溢流點位置

林家興[1] [2]* 陳振宇[1] 詹婉妤[1]

摘　　要　國內現行土石流影響範圍劃設步驟依序為：選定土石流溢流點位置、估算土砂流出量、以池谷浩公式計算淤積長度、根據土石流最大擴展角(105 度)劃設扇型區域，再以坡度 2 度為土石流停止點及最大堆積深度(10~12m)等條件，依現場地形進行影響範圍之修正。但由於溢流點位置多取決於調查人員之經驗及主觀判定，其結果常因人而異。本研究以 2018 年南投縣名間鄉仁和村土石流事件為例，運用 H.O.S.T 地圖具有極佳立體感及可呈現微地形特徵之優點進行溢流點選定，再藉由土石流二維動床模擬，探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異。結果顯示，不同溢流點位置，對於下游土砂堆積形狀及淤積高度影響甚大，而以 H.O.S.T 地圖輔助選定之溢流點，較能符合該土石流事件土砂堆積之現象。

關鍵詞：土石流溢流點、土石流影響範圍、HOST 地圖、數值模擬。

Apply the H.O.S.T Map to Assist the Location of Debris Flow Overflow Point Delineation

Chia-Hsing Lin [1][2]* Chen-Yu Chen [1] Wan-Yu Chan [1]

ABSTRACT The delineation process of debris flows influence zone is done by estimating the location of overflow point, runout volume of debris flow, runout distance of debris flow, debris flow fan area at an angle of 105 degrees, and cooperate with transportation end edge zone of riverbed slope of 2 degree and maximum deposition depth and field data to modify the influence zone. The location of the overflow point is determined by the experience and subjective consciousness of the investigator and the result is quite different by person. This study takes 2018 Renhe Village debris flow event as an example applied the H.O.S.T. Map and two-dimensional numerical model to choose the overflow point location and discuss the variations that cause different changes in the influence zone. The result showed that varying the overflow point will affect the deposition area and depth. The H.O.S.T. Map can support the appropriated location of the overflow point chosen and the simulated result compared well with debris flow event.

Key Words: Debris Flow Overflow Point, Debris Flow Influence Zone, HOST Map, Numerical Simulation

---

〔1〕行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組
Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan
〔2〕財團法人農業科技研究院農業政策研究中心
Research Assistant, Agricultural Policy Research Center, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan
* Corresponding Author. E-mail: lin0710@mail.swcb.gov.tw

運用H.O.S.T地圖協助判釋土石流溢流點位置

RIDT 技術研究發展小組 Research and Technology Development Team
優質、效率、團隊
林家興[1][2] 白佩鑫[1][2] 林宥伯[1][2] 陳振宇[1]
[1] 水土保持局技術研究發展小組
[2] 財團法人農業科技研究院農業政策研究中心

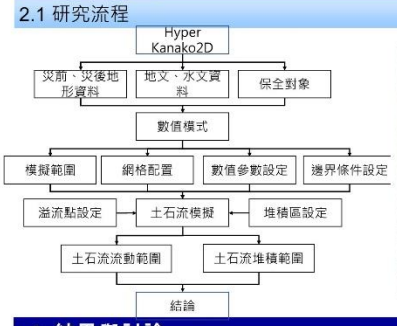
1. 前言

國內現行土石流影響範圍劃設步驟依序為：選定土石流溢流點位置、估算土砂流出量、計算淤積長度、土石流最大擴展角(105度)劃設扇型區域，再以坡度2度為土石流停止點及最大堆積深度(10~12m)等條件，依現場地形修正影響範圍。但由於溢流點位置多取決於調查人員之經驗及主觀判定，其結果常因人而異。本研究以2018年南投縣名間鄉仁和村土石流事件為例，運用 H.O.S.T地圖具有極佳立體感及可呈現微地形特徵之優點進行溢流點選定，再藉由土石流二維動床模擬，探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異，而以H.O.S.T地圖輔助選定之溢流點，較能符合該土石流事件土砂堆積之現象。

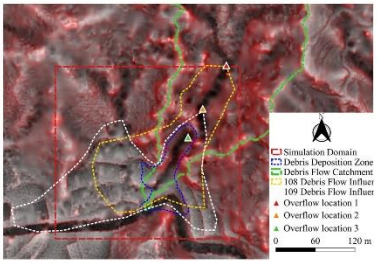


2. 材料與方法

2.1 研究流程



2.2 基本資料





3. 結果與討論

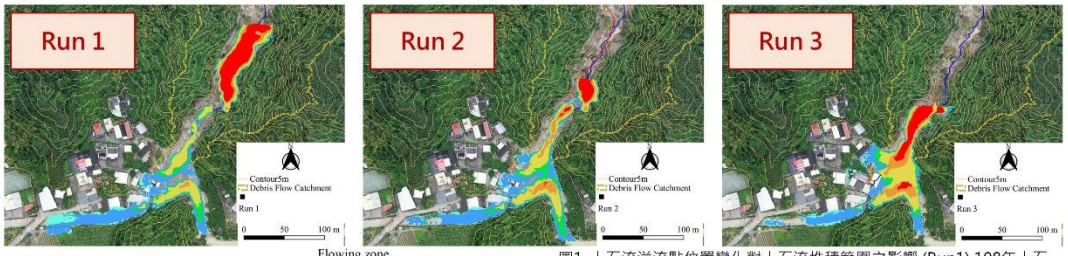


圖1. 土石流溢流點位置變化對土石流堆積範圍之影響 (Run1) 108年土石流溢流點, (Run2) 109年土石流溢流點, (Run3) HOST地圖判釋溢流點

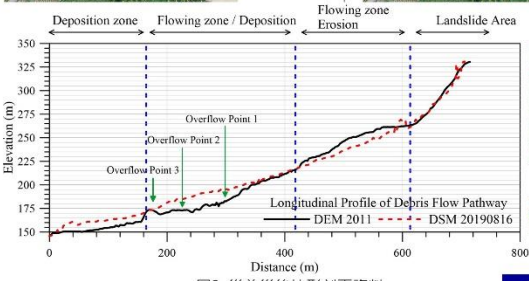


圖3. 災前災後地形剖面資料

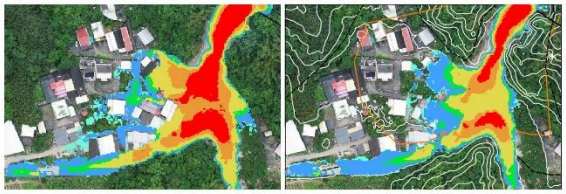


圖2. 土石流影響範圍變化 (a) 修正建物高程及分布, (b) 無修正建物高程及分布

- 本案例探討土石流溢流點位置對影響範圍之結果，以HyperKanako2D模擬，在圖1中土石流流動及堆積範圍明顯受溢流點變化影響。
- 本案例探討土石流影響範圍受建物分布之結果，以DEM修正建物分布及高程，在圖2中土石流堆積範圍明顯受建物分布影響。

4. 結論與建議

- H.O.S.T地圖具有極佳立體感及可呈現微地形特徵之優點，可提供土石流溢流點及土石流影響範圍劃設之參考。
- 不同溢流點位置，對於下游土砂堆積形狀及淤積高度影響甚大，而以H.O.S.T地圖輔助選定之溢流點，較能符合該土石流堆積現象。
- 藉由現地調查及不同溢流點情境設定，並考量住宅影響下，可有效模擬實際溢流位置、流動範圍、土體運動狀況。

臺灣與日本對於魚道規劃設計施工等差異探討

高百毅[1]* 陳振宇[1] 林家興[1] [2]

摘　　要 臺灣受地形、地質、氣候等因素影響，坡地自然災害頻繁，常以固床工、防砂壩等工程構造物進行治理。然此類橫向工程構造物常導致河道落差過大形成縱向阻隔，魚類難以上溯或洄游而影響其生存，故需要特別的工法設計或設置魚道等設施加以改善。本研究以行政院農業委員會水土保持局「水土保持設施常見生物通道」及日本國土交通省「魚類容易上溯之河川營造指引」為例，針對臺日雙方對於魚道規劃、設計施工等差異進行探討。結果顯示，臺灣在魚道設計上主要係著眼於魚類之跳躍及游泳能耐，而日本則是以讓河川中的魚類可以完成其完整生活史來考量，相關比較結果未來可供國內納入後續魚道規劃設計時參考，藉以提昇河川棲地保育與生物多樣性。

關鍵詞：魚道、魚類上溯、水土保持。

The Variations between Taiwan and Japan in Planning and Designing of Artificial Fishway

Bai-Yi Kao[1]* Chen-Yu Chen[1] Chia-Hsing Ling[1] [2]

Abstract Under the condition of steep topographic, fragile geology and climate change effects resulted in slopeland disasters frequently occurred in Taiwan. The administration often used the treatments such as ground sill and check dam for the control engineering work. However, such transverse (inline) structures result in large height discrepancy and blockage of longitudinal pass way, which is difficult for fish spawning migration. Therefore, the special construction method, facilities, and design for fishway engineering work are needed. This study takes the “Common Biological Passages for Soil and Water Conservation Structures” of the Soil and Water Conservation Bureau (SWCB Taiwan) and the "Guidelines for River Work for Fish to Easy Migration" by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan (MLIT Japan) as an example to discuss the variance between Taiwan and Japan. The result indicated that the fishway’s function focus on the jumping and swimming ability of fish in Taiwan, while in Japan the River Work considers the environment of fish in his life history. The comparative result is providing related authorization for planning and designing of fishway engineering work, improve the river habitats conservation, and promote the biodiversity.

Keyword: Fishway, Migration behaviors, Soil and Water Conservation.

[1]行政院農業委員會水土保持局，*通訊作者 E-mail:baiyi96@mail.swcb.gov.tw
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan
[2]財團法人農業科技研究院
Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute

行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, COA
RTDI 技術研究發展小組
Research and Technology Development Team

臺灣與日本對於魚道規劃設計施工等差異探討

高百毅[1] 陳振宇[1] 林家興[1][2] 林詠喬[1][2]
[1] 行政院農業委員會水土保持局
[2] 中國土木水利工程學會

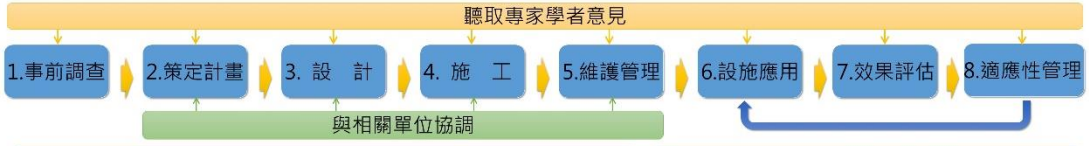
1. 前言

- 臺灣坡地自然災害頻生，政府常以固床工、防砂壩等工程構造物進行治理。然此導致河道落差過大形成縱向阻隔，魚類難以上溯或洄游而影響其生存，為減輕對魚類移動之阻礙，常藉由設置魚道等設施來改善。
- 本研究以行政院農業委員會水土保持局「水土保持設施常見生物通道」(2020)及日本國土交通省「魚類容易上溯之河川營造指引」(2005)為例，針對臺日雙方對於魚道規劃、設計施工等差異進行探討。

2. 日本魚道推動背景概況

- 日本過去為讓洪水快速安全入海，著重治水效率之河道直線化與混凝土化對策。
- 近年日本河川生物棲息與生長環境惡化，因此日本開始省思，並於1990年度開始推動「多自然型河川營造」及魚道示範工程，1997年河川法修訂時，將「河川環境整備與保全」列為制定法規之目的，並規定河川管理者應積極採取相關措施與對策等。在2004年完成魚道示範工程及營造指引後，開始推廣至日本各地。

3. 日本魚道規劃設計流程



事前調查



魚類棲息與分布範圍經年與縱向變化

規劃與設計之注意要點

設計基本方針　魚道設計作業流程

設計所需資訊

河道狀況、設施中魚類的使用狀況、水文參數、設施各單元

魚道設計注意要點

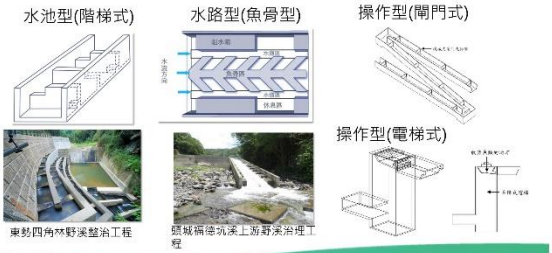
魚道設置地點、魚道型式、魚道各單元、注意降河魚及魚類以外之生物狀況、附屬設施、其他注意要點

4. 臺灣與日本之魚道比較(僅列出差異處)

國別	基本資料蒐集與調查				魚道設計			
	調查範圍	調查時間	河川環境調查資料	魚類調查資料	坡度	水深	流速	休息區
臺灣	工程治理影響範圍	建議應達1-2年，惟考量水保工程工期甚短(3-12個月)視實務需要調整	．生態關注區域製作，包含生態資源豐富或生態議題之區域。 ．構造物上下游之地文、水文及河床變動趨勢資料蒐集。 ．水文(流量)計算、水理(構造物退洪口、出水高)計算	．目標魚種依是否為保育類、河海間溯河洄游魚類優先，河溪內洄游魚類次之。	．一般原則：1/8~1/10 ．階梯式：1/10 ．水池型：1/10~1/20 ．丹尼爾型、改良型赤通式(魚骨型)：1/8~1/10	．體型較大者：1.5~2.5m ．體型較小者：0.3~0.6m	．最大流速：小於突進泳速，若無突進泳速則採10倍之尾叉長。 ．最小流速：魚道內流速過慢則流低上溯意願，但不可小於0.4 m/s	．水流型：每10堰隔板設置一休息區，魚道彎道處亦需要。 丹尼爾型：高程1.5m或平面距離5m~10m之距離設置一區。
日本	流域範圍	歷年累積調查資料，觀察環境與魚類之長期變化	．水溫與水質 ．地形、流況(河川形狀、淺灘與深潭分布、深槽線與水深分布、河床材料、淹水區域與覺岸堆積區分布) ．河川橫向設施及既有魚道狀況評估	．魚類之生活型態(層洄游魚、純淡水魚、汽水區域(淡海水交界區)或海洋魚等) ．上溯、產卵場與成育場等及其分布範圍(移動範圍)之現況與變化 ．上溯與降河期(移動時期及地域差異) ．移動方向、上溯與降河期魚體大小	．階梯式：1/10~1/20 ．卵石塊斜坡式(不設隔板)：小於1/20 ．丹尼爾式魚道：可設計較陡坡度大於1/10	．最淺部分：提供魚類能游泳之水深(大於體高2倍) ．水路型式魚道需有其種程度水深，避免被鷺科鳥類等捕食者獵殺 ．水池型魚道水池太深可能產生鉛直方向渦流，太淺會降低消能效果	．最大流速：應低於游泳力最弱魚種之突進速度。 ．流速太慢可能讓魚類失去上溯意願，因此需有強當之流速。	．魚道中途設置的魚類休息池坡度應小於其他水池容積則需大一些 ．休息池間距：階梯式魚道約為20~30m。

5.結論

- ✓ 臺灣因治理需求而施作橫向構造物，為改善對生態負面影響，透過魚道設施減輕對生物縱向移動之阻礙，規劃上較著重在工程設計方面。
- ✓ 日本則以營造魚類容易上溯之河川，從整體流域角度規劃，調查規劃資料極為詳細，相對需付出極高的成本，而效果也相對優良。
- ✓ 藉由參考日本文獻，台灣之魚道設計有許多可借鑑之處，並依國土民情與生態特性，設計個別河川與施工場所，期能研發更好的河川營造治理工程做法。



東勢四角林野溪整治工程　　頭城福德坑溪上游野溪治理工程

優質・效率・團隊

水土保持領域研究趨勢探討與視覺化分析

林宥伯[1] [2]* 林家興[1] [2] 詹婉妤[1]

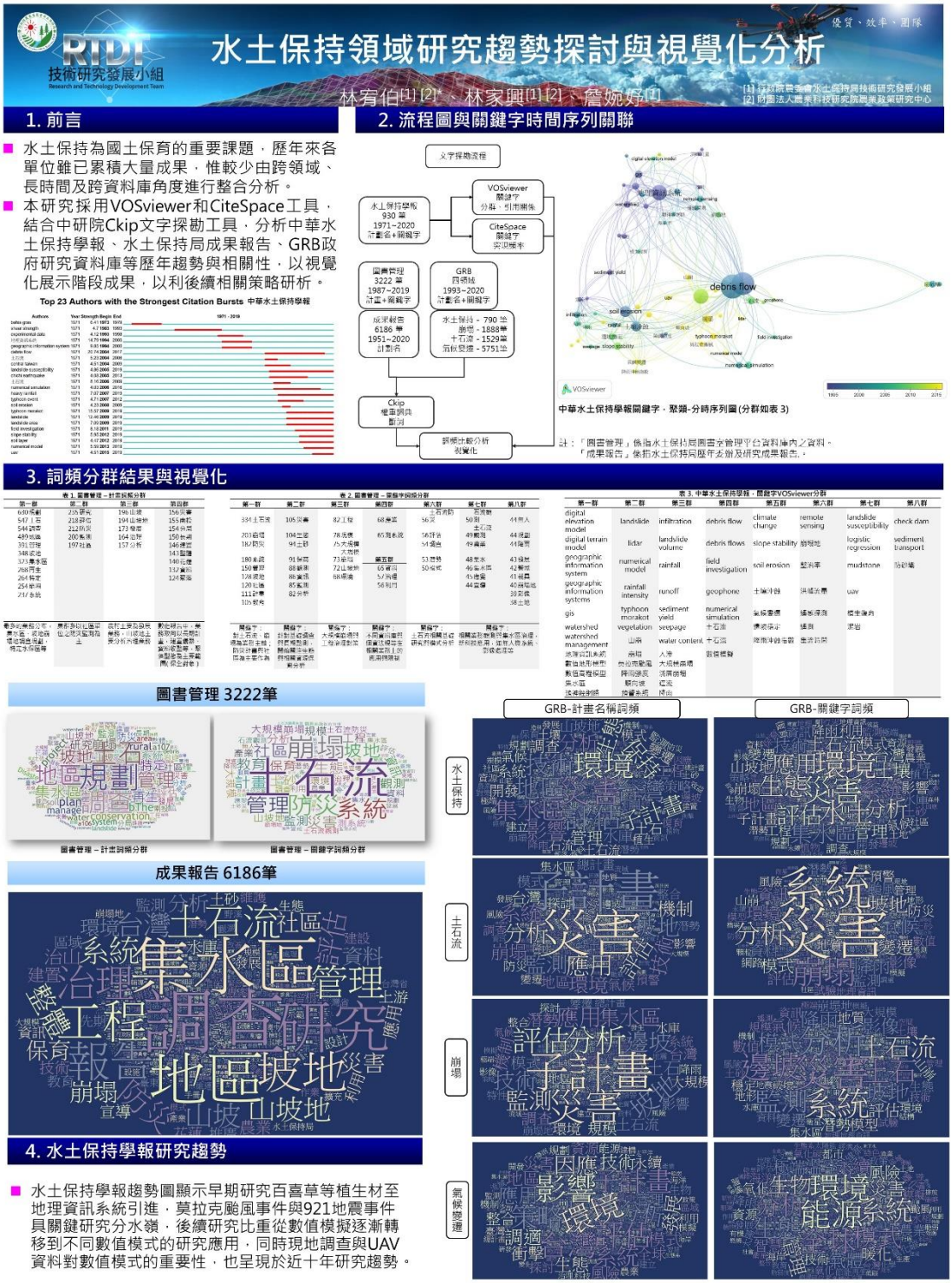
摘 要 水土保持為國土保育的重要課題，歷年來各單位皆持續投入資源，累積大量研究與應用資料。然而由於近年來極端氣候變化加劇，使得複合災害常態化，相關災害情境不易推估，單一主題研究難以從跨領域、長時間與跨資料庫角度進行整合分析與策略調適。本研究採用 VOSviewer 和 CiteSpace 工具，以中華水土保持學報 1971 年 12 月~2020 年 6 月之文獻資料、水土保持局歷年委辦計畫成果資料、政府研究資訊系統(GRB)進行文獻計量分析，交叉分析各時期趨勢，並以視覺化方式呈現。其結果可提供水土保持策略規劃參考，亦可用於水土保持領域知識圖譜建構、決策與預測系統等應用依據。

關鍵詞：文字探勘、水土保持、VOSviewer、CiteSpace

Discussion and Visual Analysis of Research Trends in the Field of Soil and Water Conservation

Yu-Po Lin [1] [2] * Chia-Hsing Lin[1] [2] Wan-Yu Chan [1]

ABSTRACT Soil and water conservation is an important subject of land conservation. Over the years, all units have continuously invested resources and accumulated a large amount of research and application data. However, due to the intensification of extreme climate changes in recent years, compound disasters have become normal, and the relevant disaster scenarios are not easy to estimate. It is difficult to conduct integrated analysis and strategic adjustment from the perspective of cross-domain, long-term and cross-database research on a single subject. This study uses the tools of VOSviewer and CiteSpace to conduct bibliometric analysis based on the literature data of the Chinese Journal of Soil and Water Conservation from December 1971 to June 2020, the results of projects commissioned by the Bureau of Soil and Water Conservation over the years, and the Government Research Bulletin (GRB). Analyze trends in various periods and present them visually. The results can provide a reference for water and soil conservation strategy planning, and can also be used as a basis for application of knowledge map construction, decision-making and prediction systems in the field of water and soil conservation.


RTDI
技術研究發展小組
Research and Technology Development Team
優質、效率、團隊
水土保持領域研究趨勢探討與視覺化分析
林宥伯[1] [2]*、林家興[1] [2]、詹婉妤[1]
[1] 行政院農委會水土保持局技術研究發展小組
[2] 財團法人農業科技研究院農業政策研究中心
1. 前言
水土保持為國土保育的重要課題，歷年來各單位雖已累積大量成果，惟較少由跨領域、長時間及跨資料庫角度進行整合分析。
本研究採用VOSviewer和CiteSpace工具，結合中研院Ckip文字探勘工具，分析中華水土保持學報、水土保持局成果報告、GRB政府研究資料庫等歷年趨勢與相關性，以視覺化展示階段成果，以利後續相關策略研析。
Top 23 Authors with the Strongest Citation Bursts 中華水土保持學報
2. 流程圖與關鍵字時間序列關聯
文字探勘流程
水土保持學報 930 筆 1971~2020 計畫名+關鍵字
VOSviewer 關鍵字 分群、引用關係
CiteSpace 關鍵字 突現關係
圖書管理 3222 筆 1987~2019 計畫+關鍵字
GRB 四領域 1993~2020 計畫名+關鍵字
成果報告 6186 筆 1951~2020 計畫名
水土保持 - 790 筆 前坡 - 1888筆 十石流 - 1529筆 落枝堰塞 - 5751筆
Ckip 權重詞典 斷詞
頻次比較分析 視覺化
debris flow
soil erosion
中華水土保持學報關鍵字．聚類-分時序列圖(分群如表 3)
註：「圖書管理」係指水土保持局圖書全管理平台資料庫內之資料。
「成果報告」係指水土保持局歷年委辦及研究成果報告。
3. 詞頻分群結果與視覺化
表 1. 圖書管理－計畫詞頻分群
表 2. 圖書管理－圖書字詞頻分群
表 3. 中華水土保持學報．關鍵字VOSviewer分群
圖書管理 3222筆
圖書管理－計畫詞頻分群
圖書管理－圖書字詞頻分群
成果報告 6186筆
GRB-計畫名稱詞頻
GRB-關鍵字詞頻
水土保持
土石流
崩塌
氣候變遷
4. 水土保持學報研究趨勢
水土保持學報趨勢圖顯示早期研究百喜草等植生材至地理資訊系統引進，莫拉克颱風事件與921地震事件具關鍵研究分水嶺，後續研究比重從數值模擬逐漸轉移到不同數值模式的研究應用，同時現地調查與UAV資料對數值模式的重要性，也呈現於近十年研究趨勢。

「2020 森林集水區及環境監測研討會」議程表

日期：109 年 10 月 14 日（星期三） 地點：台北市南海路 53 號（林業試驗所行政大樓 4 樓會議廳）

時　間	講　題	
08:30-09:00	報　到	
09:00-09:10	開 幕 致 詞（林業試驗所 張彬所長）	
時　間	**講　題**	**主持人**
09:10-09:30	宜蘭雙連埤地區水體中可溶性無機氮與土地利用之關係 （江曜宇、王秋嫻、施郁庭、呂克勤、王相華）	臺灣師範大學 地理系 廖學誠副院長
09:30-09:50	以氣候資料為基礎的臺灣山地森林植群分布模型（林奐宇）	
09:50-10:10	都市林在夏季期間的降溫效應初探—以中和公園及台北植物園為例 （劉宇軒、施郁庭、江曜宇、王相華）	
10:10-10:30	數位物候學 (e-phenology) 的監測與應用（張勵婉、陳建文、鄭美如、余尚鈺）	
10:30-10:50	休 息 / 交 流	
10:50-11:10	A Study of Land Cover Change Trajectory in the Taimali Stream Watershed （Chun-Kuo Yeh, Shyue-Cherng Liaw）	農委會林務局 集水區治理組 王昭堡組長
11:10-11:30	Enhanced physico-chemical erosion under sodium-water conditions in the mudstone catchment（Ci-Jian Yang, Jr-Chuang Huang, Jiun-Chuan Lin, Pei-Hao Chen）	
11:30-11:50	應用 open data cube 遙測資料與植生指標於海岸林變遷分析（曾俊偉、鍾智昕）	
11:50-12:10	以數值模擬探討集水區不同土砂情境下防砂壩之減災成效 （曹鼎志、黃全諒、鐘啟榮、黃效禹、鄭耕秉）	
12:10-13:30	午　餐	
13:30-13:50	以 GEE 雲端分析平台快速估算淹水範圍初探－以 2018 年 0823 熱帶低氣壓水災為例 （林恩如、陳振宇）	國立中興大學 水土保持學系 林昭遠教授
13:50-14:10	氣候變遷下日本土砂防災策略演進（詹婉妤、林家興、陳振宇）	
14:10-14:30	知本溪調節式防砂壩構築效益之探討（許中立、邱欣蔚、王昭堡、許信智）	
14:30-14:50	野火熱點空間區位萃取之研究（莊智瑋、曾俊偉）	
14:50-15:10	不同植生覆蓋對水文環境之影響（蘇子豪、曾俊偉、龔聖皓、廖晨喬、劉瓊霈）	
15:10-15:30	休 息 / 交 流	
15:30-15:50	濱水區植生緩衝帶寬度配置及應用之研究（吳炤緯、林昭遠）	屏東科技大學 水土保持系 許中立教授
15:50-16:10	以複合指標結合崩塌率峰線優選集水區清疏點位之研究 （林敬堯、郭振農、黃錫泉、簡志凱、林昭遠）	
16:10-16:30	崩塌地特定水土保持區的調查與檢討 - 梅山鄉瑞里村變異檢討分析 （陳建元、楊佩璋）	
16:30-16:50	水漾森林前生今世及致災潛勢評估（許鋸安、陳俞旭、陳新發、黃洸駿、林健洋）	
16:50-17:10	以環境指標推估濁水溪流域碳存量分布之研究（毛玉森、林昭遠）	
17:10-17:40	綜合座談及討論	林昭遠、許中立 王相華、陸象豫

以 GEE 雲端分析平台快速估算淹水範圍初探－以 2018 年 0823 熱帶低氣壓水災為例

林恩如[1,2*]□陳振宇[2]□

[1)]財團法人農業科技研究院。300-110 新竹市香山區大湖路 51 巷 1 號。
[2)]行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組，54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號。
*通訊作者。電子郵件：xuppbjj@gmail.com。

摘要

颱風豪雨期間，如何快速評估淹水範圍，係防災應變、災後復建與救助金發放等工作的重要依據，因此許多單位已嘗試使用 UAV、航照及光學衛星等工具進行相關判釋。儘管 UAV 及航遙測等工具確實具有諸多優點，但前者拍攝範圍有限，後者易受雲霧等天氣影響，往往在緊急時刻未必能順利達成任務。為有效解決天候問題及快速大範圍取像與評估，本研究運用 Google earth engine(GEE)進行運算，以 GEE 資料庫中的 ready-to-use 的雷達影像 Sentinel-1 資料，針對 2018 年 0823 熱帶低壓造成台灣南部淹水災情進行淹水範圍偵測作業。結果顯示，以 2018/08/20 及 2018/08/26 之 Sentinel-1 資料為前後期影像進行比對，雲嘉南地區淹水面積約為 1,510ha，且淹水區域主要集中於部分近海鄉鎮。整體而言，GEE 平台具長時序資料庫、高效能運算力以及免費使用之特性，可提供快速、低成本方式進行初步評估分析，俾作為相關單位後續決策依據。

緒言

自 1957 年第一顆人造衛星-史普尼克 1 號發射以來，全球已累積了大量且多元的衛星觀測資料，但衛星資料量往往過於龐大且前處理技術門檻高，傳統單機版遙測軟體之運算量往往難以處理長時序之遙測資料量。近年來受益於雲端運算發展成熟、網格及向量資料庫建置技術提升，得以克服上述問題，如 Google 推出的 Google Earth Engine(GEE)即典型範例，該平台將資料格式、型態等進行標準化，使開放衛星資料以 ready-to-use 的方式儲存於線上平台中，使用者可於線上進行巨量資料的查詢、檢視、分析，並可將結果免費下載(Haifa T. et al, 2020)；而近年來在氣候變遷的趨勢下導致極端氣候事件數量上升，短時間強降雨的結果使旱澇現象加劇，為快速評估淹水範圍，以作為防災應變、災後復建與救助金發放等工作的重要依據，許多單位已嘗試使用 UAV、航照及光學衛星等工具進行相關判釋。儘管 UAV 及航遙測等工具確實具有諸多優點，但前者拍攝範圍有限，後者易受雲霧等天氣影響，往往在緊急時刻未必能順利達成任務。為能在氣候不佳狀況下進行大範圍的災害區域判釋、救災策略擬定以及後續補償等規劃，本研究以不易受天候情況影響之 Sentinal-1 雷達影像為判釋依據、選取近年來短時距強降雨之豪雨事件-823 熱帶氣旋為例，進行雲林、嘉義及台南地區的淹水面積判釋。

方法

GEE 是由 Google 建置的雲端 GIS 分析及遙測資訊視覺化平台，目前可免費(非營利用途)提供遙測資料、地形資料等，讓學術、商業以及政府單位等使用。該平台亦提供了許多 API 跟遙測資料處理工具讓使用者可彈性呼叫(如 Developer's Guides 與 Code Editor)，並建置客製化平台。其主要提供之遙測資料包括 Landsat 1-8(1972 - present)、MODIS(2000 - present)、Sentinel 1/2/3/5(2014 - present)截至 2018/9 止已有近 600 組 dataset，約莫 20 petabyte 的資料量(引用文獻 4)。

由於合成孔徑雷達(synthetic aperture radar, SAR)雷達衛星訊號較光學衛星不受水氣影響，故於天候不佳時進行取像作業仍可取得地表資訊。而雷達影像資料包含反射強度、相位差異以及極化特性等資訊，故各資訊之選擇與分析方法需視研究標的物之反射特性、地表粗糙度、介質特性、地形起伏等因素進行考量。本研究以 2018 年 823 熱帶低壓造成南台灣縣市淹水災情為例，使用歐盟開源衛星 Sentinal-1 雷達衛星影像，針對水災範圍進行偵測。依前人研究可知由於淹水水體具有鏡面特性，如以雷達衛星影像之 VV 極化資料可凸顯淹水與非淹水範圍間之訊號差異(邱俊穎 等人，2019)，故本研究將以 Sentinal-1 雷達衛星影像為判釋材料，並以 GEE 雲端分析平台提供之功能進行相關分析，研究流程如圖 1。

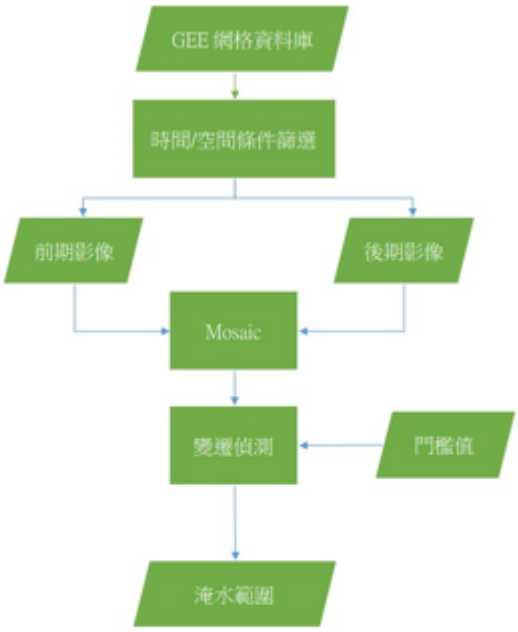
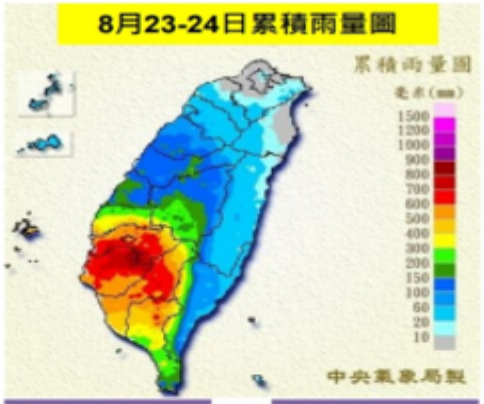


圖 1 以 GEE 結合 SAR 影像進行淹水偵測研究之流程



縣市	最大總雨量
雲林縣	637
嘉義縣	908
臺南市	944
高雄市	788
屏東縣	780

縣市	最大時雨量
雲林縣	121
嘉義縣	106
臺南市	92
高雄市	111
屏東縣	105

圖 2-823熱帶低壓降雨累積圖
(資料來源:中央氣象局研析低氣壓強引發豪雨情形及氣象歷史資料)

2018 年的 0823 熱帶低壓主要降雨發生於 8 月 23-24 日間，自 GEE 雲端資料庫中搜尋雲嘉南地區 2018 年 ready-to-use 的 Sentinal-1 資料共計 87 張影像，其中事件前後時間基線最短的影像為 2018/08/20、2018/08/26，分別有 1、2張影像，其中前者拍攝範圍集中於雲嘉南、後者拍攝範圍幾乎涵蓋全台，兩期影像交集範圍如圖 3。

儘管 GEE 中的 Sentinel-1 資料皆已於 Sentinel-1 Toolbox(引用文獻 5)進行前處理，但雷達衛星屬側視取像機制，地貌起伏在雷達視角方向本就會產生無可避免之雜訊。為以統一標準進行雜訊濾除之作業，本研究基於短時間基線(6 日)之前提，假設前後期影像取像之衛星軌道面與地表物體之相對夾角與地貌不變下，兩期影像間之紋理與強度理應相差不大，而淹水區域具鏡面反射特性，故強度值會遠低於非淹水區域，若以直方圖進行像元數值之統計可發現水體與非水體之影像數值分布具明顯差異性。基於上述原理，本研究利用 GEE 的 Code Editor 功能進行雷達影像雲端分析作業，以典型變遷偵測之作法，將前後期影像相減理應可凸顯地貌不變之區域及地形導致之雜訊的相近度，接著再前人研究中所建議之門檻值(邱俊穎 等人，2019)，大於該門檻值之區域即所判釋之主要淹水範圍(如圖 3)。



圖 3. Code Editor 功能頁面及前後期影像 Mosaic 後之影像範圍(左)；
水體變遷偵測門檻分析(右，取自邱俊穎等人，2019)

結果與討論

分析結果顯示 2018 年 0823 熱帶低壓強降雨造成之淹水範圍集中在雲林縣、嘉義縣/市及台南市，於 2018/08/26 分別仍有 466.9ha、748.1ha 及 295.1ha 的淹水面積，分布範圍多位於西部沿岸區域(如圖 4)，其中布袋鎮、水林鄉、東石鄉、口湖鄉及朴子市為雲嘉南所有鄉鎮中淹水面積最多的前五個鄉鎮(如表 1)。如以台南市為例，淹水較多的鄉鎮為鹽水、北門以及七股，其中七股區沿岸區域部分無 Sentinel-1 影像，故實際淹水面積可能高於本研究分析結果。整體而言，本研究使用 GEE 分析之結果與前人研究大致相符(邱俊穎等人，2019)，淹水總面積相差約 0.3%，其淹水熱區分布亦相符。

由於雷達影像應用於區域淹水之判釋結果，仍有兩因素易導致範圍誤判，其一為淹水範圍位於都市區域時，人工建物容易引起之角反射現象，其二為含水量高之土壤反射特徵介於水體與乾燥土壤之間，而此類型地表亦容易誤判為淹水水體。欲解決上述問題，未來可針對面積門檻的篩選以及局部區域設定門檻值，以區分出含水土壤與水體之差異。此外，針對本研究現階段使用之判釋方法，若應用於水庫或堰塞湖等大面積蓄水區域進行水體判釋，並結合 DEM 資料，可進一步探討水面表面積與蓄水深度、體積間的關係式，未來即可減少人工方式量測或架設儀器之數量，以雷達影像為主要水體監測依據，並輔以少量監測數據進行校正與驗證，以達到大範圍、近即時之監測目的。

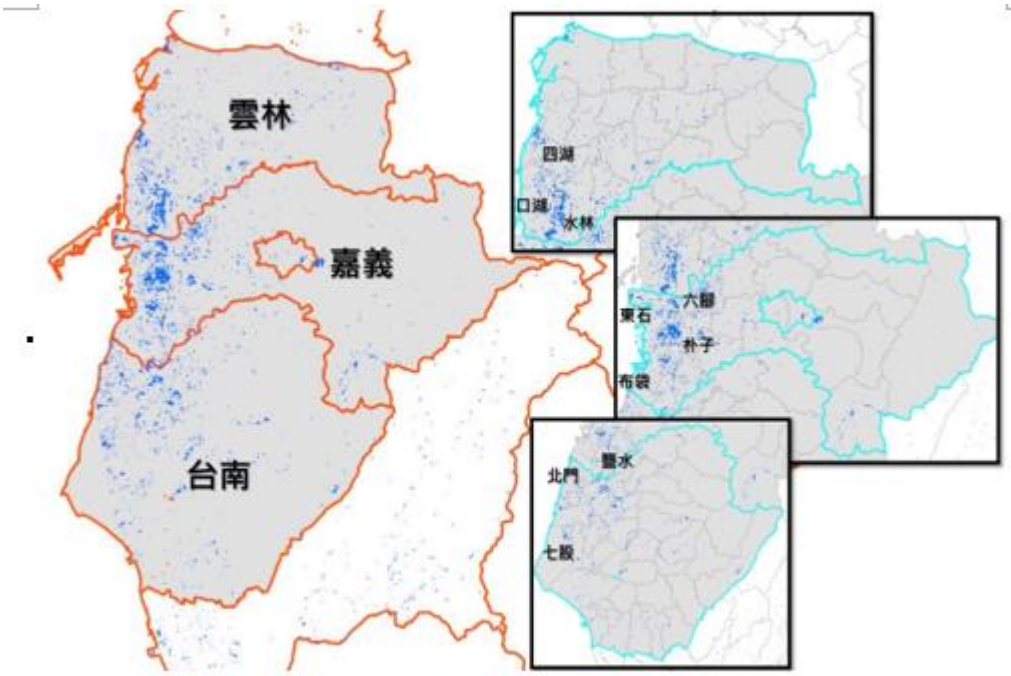


圖 4 淹水範圍分布圖，其中左圖橘色線條為縣市分界線，左圖深藍色色塊為淹水範圍，右圖亮藍色為縣市分界線，右圖淺灰色線條為鄉鎮分界線。

表 1 雲嘉南部分鄉鎮水面積

鄉鎮名稱	淹水面積(ha)	鄉鎮名稱	淹水面積(ha)
布袋鎮	222	朴子市	103
水林鄉	180	鹽水區	53
東石鄉	175	北門區	42
口湖鄉	142	七股區	28

GEE 平台中的資料庫目前已標準化許多開放資源衛星資料，其雲端分析之效能藉由本研究之經驗可推測一二，以雲嘉南地區共計 5,445 平方公里為例，雷達資料的搜尋、裁切、讀取、計算及成果展示，其運算時間約莫 10 秒內可完成，唯實體圖資之上傳/下載時需明顯的等待時間；整體來說，GEE 平台圖形化介面友善度與內建演算法之優化程度較傳統遙測處理軟體相比仍有落差，但其長時序資料量、高效運算力與自主發展的彈性，供各單位以快速、低成本方式評估多元遙測資料於評估災害熱點區域且分析成果可進一步供各單位進行決策之依據。

分頁符號

引用文獻

邱俊穎、謝嘉聲、黃宗仁、葉堃生、管立豪、胡植慶 (2019) 合成孔徑雷達影像於颱風豪雨後淹水之偵測。航測及遙測學刊 24(4)：211-222。

中央氣象局 (2018) 中央氣象局研析低氣壓強引發豪雨情形及氣象歷史資料，檢自 https://www.cwb.gov.tw/V8/C/ (2018.8.30)

Google Earth Engine - Guides, 檢自 https://developers.google.com/earth-engine (2020.8.20)

GEE 應用分享, 檢自 https://tech.swcb.gov.tw/Results/GEE(2020.8.20)

The Sentinel-1 Toolbox, 檢自 https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes/sentinel-1 (2020.8.20)

Haifa, T., Bahram, S., Masoud, M., Lindi, Q., Sarina, A., and Brian, B. (2020) Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 164：152-170.

氣候變遷下日本土砂防災策略演進

詹婉妤[1*] □林家興[1,2]□陳振宇[1]□

[1]行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組，南投市中興新村省府路 2 號。
*通訊作者。E-mail:：abu026@mail.swcb.gov.tw
[2]財團法人農業科技研究院。300-110 新竹市香山區大湖路 51 巷 1 號。

摘要

台灣及日本，每年均面臨地震、颱風、豪雨及其衍生之土砂災害，造成嚴重災情。儘管歷年來台日二國均已建立土砂防災相關機制，惟面臨氣候變遷等衝擊，極端降雨事件發生規模與頻率均有逐年增加之趨勢，傳統防災機制與思維似已無法有效因應。日本近年來連續發生多起重大水災及土砂災情後，相關單位已針對近期土砂災害特徵及氣候變遷下土砂防災對策密集研商，並提出相關調適策略與作法。本研究係蒐集及分析日本近期相關重要文獻，歸納整理其核心策略，結果發現，其土砂災害調適策略可概分為 10 個項目，涵括軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向，相關結果可作為國內未來推動氣候變遷調適相關計畫及研擬土砂災害對策時參考。

緒言

日本國土約 70%是山地，因地形陡峭、地質脆弱，具備土砂災害高風險之特性，再加上全球暖化所形成氣候變化異常，短延時強降雨之降雨型態轉變，局部性、突發性暴雨造成的「洪水與土砂氾濫」災害也隨之增加，造成慘重災情。依據國土交通省(2018)統計，近年來日本時雨量超過 100 毫米的短延時強降雨發生機率為 30 年前的 1.7 倍(圖 1)，同時依據推估在 RCP2.6 及 RCP8.5 情境下，未來降雨量可能增加 1.1 倍至 1.3 倍，而洪水發生機率可能上升 2 到 4 倍，意即在現在情況下 200 年一次洪水事件，在未來變成 100 年一次洪水事件，而現行治水設施防護能力將不足以因應未來氣候變遷治水安全度 (表 1，國土交通省，2018)。

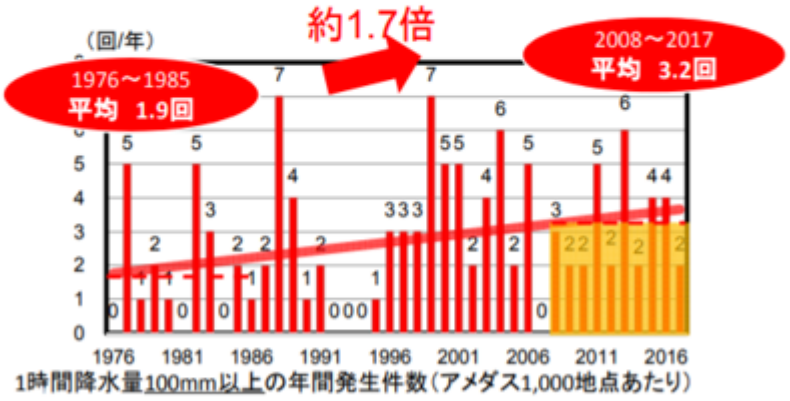


圖 1 歷史降雨量觀測值變化趨勢 (國土交通省，2018)

表 1 氣候變遷下未來降雨量及洪水發生機率之變化

＜気候変動による将来の降雨量、洪水発生確率の変化倍率＞

前提となる気候シナリオ	降雨量変化倍率 （全国一級水系の平均値）	洪水発生確率の変化倍率 （全国一級水系の平均値）
RCP8.5（4℃上昇に相当）	約1．3倍	**約4倍**
RCP2.6（2℃上昇に相当）	約1．1倍	**約2倍**

方法

一、日本氣候變遷調適策略基本方針

針對氣候變遷可能帶來的衝擊，日本國土交通省(2015)已設定調適策略基本方針摘要如下：

(一)基於不確定性的適應性管理。根據氣候變動的進展，包括持續監測氣候變化狀況、最新氣候預測數據、當地社會經濟條件變化以及考慮到現有和新措施對降低風險方面之效果，以確保在適當時機選擇正確的調適策略措施。

(二)處理目前所出現的事件。目前日本觀察到氣候變遷伴隨短時間強降雨發生頻率增加、乾旱日數增加等現象，針對這些現象及事件，包含已實施之防災措施，基本上將其定調為調適措施並進一步推廣。

(三)考量納入未來之影響。儘管未來氣候變遷的影響程度和發現時間點存在很大的不確定性，但隨著氣候變遷的發展，大規模災害事件對社會將產生重大影響。因此，在考慮氣候變遷影響的對策時，需注意事件的發生頻率將因氣候變遷而產生變化，包含發生頻率低但產生大規模影響的事件，盡可能考慮各種事件並思考對應處理方法。

(四)考量軟、硬體之綜合措施。考慮氣候變遷影響所造成之風險程度及地域特性，綜合考量設施整備等硬體措施，以及向居民提供警戒訊息、演練、避難等各項軟體措施，並採資通訊技術(ICT)積極傳達、發布預警或避難疏散情報給居民，同時考慮使用大數據資料。

(五)於各種事業計畫考慮氣候變遷之影響。為有效實施調適策略，應將調適氣候變遷的影響納入各種事業計畫中，在基礎設施和系統的維護、管理及更新的同時，必需要考慮未來氣候變遷影響，對這些設施未來設計進行檢討。

(六)與自然環境和諧共生。根據目的地之地域特徵，利用自然環境的多樣性功能(如綠色基礎設施)，為生物提供棲息及生育場所、形成良好的景觀、抑制溫度上升，以達成與自然共生、環境和諧相處。

(七)考慮地域特性並推動各級地方政府、企業與居民合作。由於脆弱度及曝露度受氣候變遷的影響因地域不同而異，在推動調適策略時，應考慮地域特性不同並適時靈活調整對策，並促進地方政府、企業、居民等不同參與者之合作。

……分頁符號……

二、氣候變遷下土砂防災領域面臨課題

日本近年來連續發生多起重大水災及土砂災情後，相關單位已針對近期土砂災害特徵及氣候變遷下土砂防災對策密集研商，並提出相關調適策略與作法，圖 2 為近年來日本土砂災害特徵，包括：受災範圍廣且多處同時發生、颱風衍生的災害比過往事件大、土砂及洪水氾濫災害更加頻繁。本研究以文獻分析法針對所蒐集文獻內容有關氣候變遷對土砂影響等進行彙整，以瞭解目前氣候變遷下土砂防災領域所面臨之衝擊課題，綜整如表 2。



圖 2 日本近年土砂災害特徵(國土交通省，2019)

分頁符號

表 2 氣候變遷下土砂防災領域面臨之課題

文獻名稱	年份	氣候變遷之衝擊課題
水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)(日本國土交通省社會資本整備審議)	2008	隨雨量變化及豪大雨發生頻率增加，使得崩塌、地滑災害風險增加，土砂災害更嚴重。
国土交通省気候変動適応計画-気候変動がもたらす我が国の危機に総力で備える-(國土交通省)	2015	1.短時間強降雨增加，土砂災害發生頻率增加。 2.突發性的局部強降雨造成土災害增加，並縮短警戒避難的時間。 3.颱風等造成深層崩塌等災害會因颱風降雨量破紀錄而增加土砂災害。
大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～(答申)(日本國土交通省社會資本整備審議)	2018	1.逃生不及導致大量人員傷亡，由於周遭地區已處於危險之中，撤離時災難已發生因此無法順利避難。 2.派出人員到多個地方整備局協助災害緊急應對，但由於情報有限，要對人員及資源等進行分配。 3.災害初期很難具體掌握整體情況，並即時採取行動，例如進入私人土地清理淤砂、漂流木等。
近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について(答申)(日本國土交通省社會資本整備審議)	2020	1.在土砂災害警戒區必須建立維護預警避難系統。 2.某些發生土砂災害地區未達到被指定為土砂災害警戒區。 3.土砂災害警戒區的指定標準需再研議。 4.在土砂災害警戒區，但沒有意識到土砂災害的危險。 5.在指定完成土砂災害警戒區之後，防災地圖尚未完成，使得居民無意識到危機感，同時對於防災地圖沒有認知度。 6.土砂災害預警發佈市村町與實際發生災害市村町之誤報率過大，正確性仍有待改善。 7.發布預警後，仍未到達危險降雨量。 8.達到危險降雨量時，距實際發生土砂災害仍有很長時間。 9.災難發生經過很長時間，但期間不知道危險度的變化情形。 10.夜間發出警戒避難情報，市町村難以做出避難勸告的建議。 11.居民不瞭解土砂災害的危險性，可能不採取避難疏散行動，在防災教育上仍不足。 12.地方政府間對於推展防災活動並不一致。 13.由於水災和土砂災害是同時發生的，因此很難掌握土砂災害的發生資訊，提升土砂災害發生預測的技術，包含災害發生時間等重要資訊。

結果與討論

面對近期日本土砂災害特徵及所面臨之課題，國土交通省等單位已分別成立相關委員會議研提土砂防災工作之調適策略，涵括軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向，茲綜整重點如下：

一、防災以保護人命為優先考量，除改善硬體工程、避難處所等公共設施外，並保障社會經濟活動。此外，為更有效地使用現有設施，應適時清除防砂壩淤積土石，檢討更合理的規劃設計和材料使用，以提升設施防護力。

二、由於土砂災害是由複雜誘因、相互關聯的因子所致，難以準確預測其發生，故軟體防災與硬體減災對策之整合非常重要。日本依據土砂災害防止法，已推動土砂

災害警戒區之指定，惟在完成指定之法定程序前，仍應將其基礎調查結果盡早告知居民該處之土砂災害潛勢，同時藉由規劃災害潛勢圖和各階段行動計畫來強化預警避難系統，並對地方政府公務人員和居民進行防災教育，以培育土砂防災人才。

三、為因應近年來多處發生預警避難反應時間極短之土砂災害事件，應通過防災訓練和防災教育等來普及如何應對土砂災害的正確知識，並徹底通知民眾災害潛勢區及避難路線等資訊，以確保民眾能盡早遠離高風險地區。此外，除改善土砂災害警戒情報之精度外，應活用社群媒體等資訊收集和共享方式，以有效改善預警時間相對變短之災害事件。

四、為因應土砂流動超過原計畫規模的情境，對於砂防設施如防砂壩等配置及構造應定期檢查，以確保能長時間發揮減災機能，並藉由軟、硬體共同運用等方式來確保居民的避難時間及場所，維護避難路線安全。

五、深層崩塌的對策。利用衛星影像強化國土監測，可及早掌握深層崩塌所衍生的河道阻塞、天然壩等現象，強化危機管理的能量，此外，亦可使用新技術如空中電磁探查等以提升探查準確度。若因河道阻塞等造成嚴重災害時，應進行緊急調查並向市町村提供情報，平時須與相關單位聯合進行實際演練，並導入無人機等，以快速提升災害事件應對措施。

六、在溝谷地形不明顯地區的土砂災害防災對策，應先瞭解需要提出重點對策的場所，並探討危險度評估的方法，以考慮更合理的設施構造與配置。

七、土石流越過流域邊界的對策。適當的推估與模擬可能越過流域邊界的土砂量及範圍，並就模擬結果規劃相關軟、硬體對策。

八、漂流木災害對策。使用高透過型防砂壩來提高捕捉漂流木效果，同時設置漂流木防止設施，並改良既有非透過型為透過型防砂壩。

九、上游集水區管理。由持續累積的衛星及航空測量獲得詳細的地形資料，用以強化國土監測系統。此外，從國土管理觀點來看，為防止上游流域荒廢化，推動里山水土保持治理工程、綠化帶維護等項目，藉由軟、硬體綜合方法等各種支援措施來控制、防止土砂災害，以提高區域防災能力並振興(活化)當地社會。

十、考慮災害風險的土地利用及住宅使用方式。藉由指定土砂災害警戒區域及公布基礎調查結果來促進更安全的土地利用方式。其中最重要的是確保有特別需求者(如高齡者、行動不便者、殘障者、嬰幼兒等)使用之社福設施和防災基地的安全。此外，針對災害風險特別高的地區，將指定為土砂災害特別警戒區，對其建築物之構造規則及住宅開發等進行限制措施，並促進危險地域之住宅移轉到安全地域，例如靠近懸崖之房屋進行搬遷或位於洪泛區域房屋搬遷至高台整備地上或河階台地上。

藉由日本氣候變遷情勢推估、近年土砂災害的特徵、氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊、相關對策研析等資料，除可瞭解目前日本於氣候變遷對於河川及土砂防災對策等考量及制定過程，相關結果亦可作為國內未來推動氣候變遷調適相關計畫及研擬土砂災害對策時參考。……分頁符號……

引用文獻

國土交通省 (2018) 異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能と情報の充実に向けて。異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会:1-24。

國土交通省 (2019) 確保具實效性避難之土砂災害對策(2019)。確保具時效性避難之土砂災害對策檢討委員會:1-12。

國土交通省 (2020) 近年の土砂災害における課題等を踏まえた土砂災害対策のあり方について。社会資本整備審議会:1-17。

國土交通省 (2015) 国土交通省気候変動適応計画-気候変動がもたらす我が国の危機に総力で備える。國土交通省:1-24。

國土交通省 (2019) 因應氣候變遷防砂技術檢討會議。水管理暨國土保全局砂防部:1-4。

國土交通省 (2020) 因應近年來土砂災害課題之土砂災害對策作法答覆(概要)。國土交通省水管理暨國土保全局:1-12。

日本內閣府 (2015) 日本の災害對策 (Disaster Management in Japan)。DIRECTOR GENERAL FOR DISASTER MANAGEMENT CABINET OFFICE, GOVERNMENT OF JAPAN:1-49。

國土交通省 (2019) 令和元年の土砂災害。国土交通省砂防部:1-50。

Case Study of the Debris Flow Disaster and Influence Zone Simulation in Renhe Village, Taiwan

Chia-Hsing Lin (林家興), Jyun-Wei Chen(陳均維), Kuo-Wei Chen(陳國威), Chen-Yu Chen(陳振宇)

Soil and Water Conservation Bureau, Taiwan (台湾水土保持局)

1. INTRODUCTION

On 16 Aug, 2019, a debris flow occurred at 5:40 AM and rush into downstream village in Nantou County and caused 5 residential house and 2 bridges were destroyed. The in-situ survey showed that the amount of deposited sediment was estimated 45,000 m3. A two-dimensional debris flow model based on the constitutive equation derived from energy conservation and is suitable for debris flow and sediment laden flow was applied. To analyze the debris flow disaster and influence zone, this study uses the digital elevation model (DEM, Fig. 1) prior to the event was set as initial topographic data and field investigation data and the posterior DSM (Fig. 1) was produced by UAV aerial-photo to verified the simulation result. The numerical model can estimate the characteristics of debris flow hazard zone, flow velocity, and deposition depth. The simulated result can provide public agencies with necessary information for disaster prevention and mitigation plan

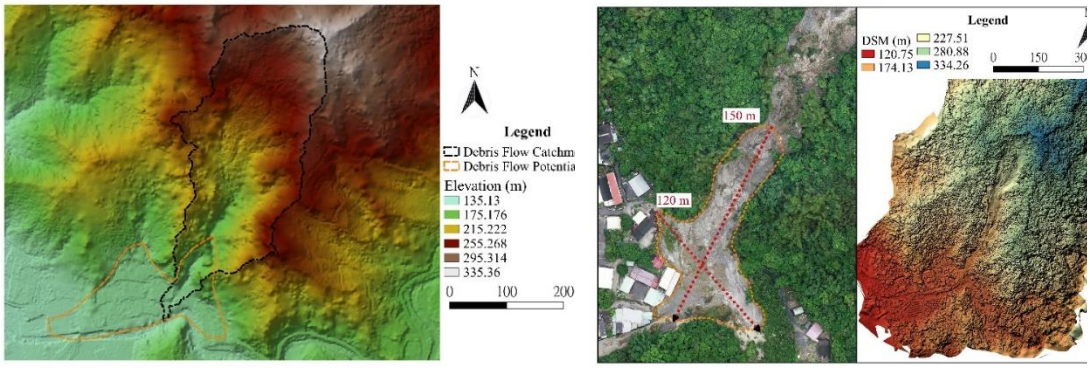


Fig. 1 Location of the study area: (left) Digital Elevation Model, (right) Aerial-photo and Digital Surface Model.

2. MATERIALS AND METHOD

(1) Site condition

The debris flow occurred in the early morning at 5:40 AM (August 16, 2019) and the precipitation was accumulated up to 274 mm (ZhongLiao Rain Gauge, C0H950) and 261 mm (MingJian Rain Gauge, C0I410) over two days. The landslide area was 1.44 ha with 240 m in length, 60 m width, and about 5 m depth in averaged. The amount of landslide volume was estimated 72,000 m^3. The debris flow formed a deposition zone of 150 m long, 120 m width, and averaged deposition depth 4 m in downstream village. To analyze the debris flow influence zone, this study uses the digital elevation model (DEM, resolution 1 m x 1 m) and high-resolution digital surface model (resolution 0.1 m x 0.1 m) data derived by UAV-photo.

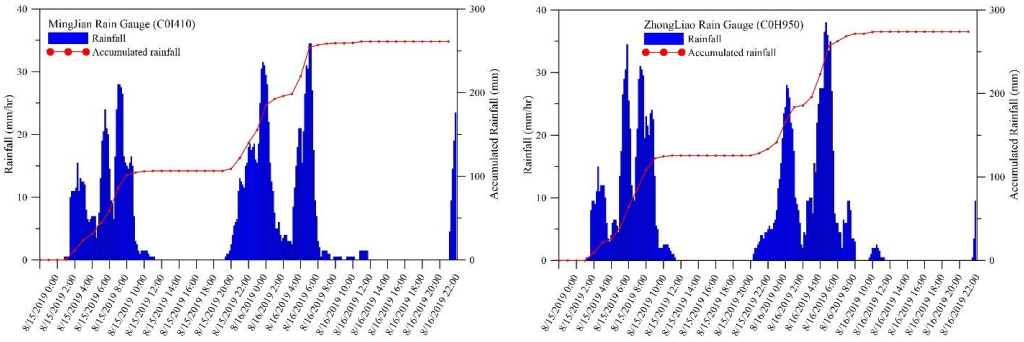


Fig. 2 Rainfall hydrograph: (left) MingJian Rain Gauge, (right) ZhongLiao Rain Gauge.

(1) Scenario of debris flow simulation

This study applied the Hyper KANAKO 2D system for debris flow disaster simulation with consider the narrow notch effect. The Hyper KANAKO model can be divided into three steps to setup debris flow numerical simulations. The geometry data was obtained from digital elevation model and convert into a gridded mesh format with considering altitude, river width, movable bed, and Sabo dam condition. The boundary condition is supplied hydrograph and sediment concentration at upstream. Once the simulation was complete, the model estimated result including flow depth, riverbed variation, and discharge of flow and sediment. The results can be viewed within QGIS for debris flow deposition thickness, flow depth, maximum value, and fluid force.

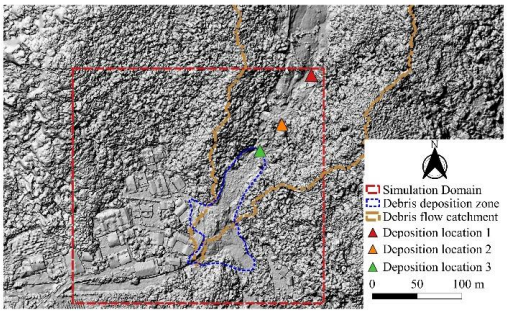


Fig. 3 Study map of the simulation domain

Table 1 Parameters of the simulation

Case Number	Deposition location	Water supply discharge	Model parameter		
		Q_p (m^3/s)	n	d	C
Run 1	Location 1	10	0.03	0.001	0.2
Run 2	Location 2	10	0.03	0.001	0.2
Run 3	Location 3	10	0.03	0.001	0.2
Note	Q_p: Peak discharge; d: Diameter of material(m); C: Concentration (-); n: Manning's roughness coefficient ($s/m^{1/3}$)				

The simulation has been made consider the different particle size and debris flow started to deposit location. Based on the field survey data, the simulation domain could be identified as **Fig. 3**. The parameters used in the model were listed in **Table 1**, the mesh size is 1 m x 1 m and the number of grid point is 39204. The hydrograph of the discharge could be estimated by the rational formula and imposed as the upstream boundary condition for debris flow influence analysis.

1. RESULTS AND DISCUSSIONS

The result of the simulation indicates that deposition fan is observed in the outlet of debris flow potential creek. The maximum deposition thickness is near the narrow notch of the creek is about 9 m and in the village is 5 m. The result showed that the different deposition location affects the debris flow transport and deposition formation. The debris flow started to deposit upstream and near the narrow notch didn't fit the field survey results and just near the downstream narrow notch fits well. In case Run 1, the deposition occurred above the narrow notch, the sediment trap mostly upstream of the notch. In case Run 2, the deposition occurred just about the narrow notch, the sediment trap evenly upstream and downstream of the notch. In case Run 3, the deposition occurred just downstream the narrow notch, the sediment transport along the creek and into the village (Fig. 4).

2. CONCLUSIONS

Hyper KANAKO 2D has a graphic-user-interface combined with QGIS for debris flow disaster analysis and it can easily setup the model to estimate impact of a potential debris flow creek. In this preliminary study, the simulating of deposited area, depth, flow velocity, and outflow were calculated. The result indicates that the narrow notch affects the debris flow deposition zone. Through this case study, the debris flow impact simulation depends on the detail field survey and also need to consider the effect of narrow notch and house. The simulation results can support necessary information for officials to planning evacuation plan.

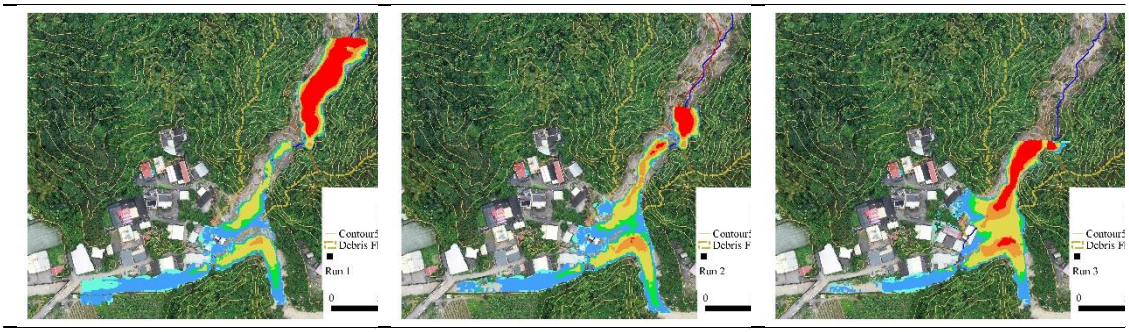


Fig. 4 The Hyper KANAKO simulation results: (up-left) Run 1, (up-right) Run 2, (down-left) Run 3, (down-right) Run 4

References

1) Horiuchi, S., Iwanami, E., Nakatani, K., Satofuka, Y., & Mizuyama, T. (2012). Development of "Hyper KANAKO", a debris flow simulation system using with laser profiler data. Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering, 64(6), 25–31. https://doi.org/10.11475/sabo.64.6_25

2) Nakatani, K., Kosugi, M., Satofuka, Y., and Mizuyama, T. (2016). Debris Flow Flooding and Debris Deposition Considering the Effect of Houses: Disaster Verification and Numerical Simulation, IJECE, Vol. 9, No. 4, pp.145-154. https://doi.org/10.13101/ijece.9.145

3) YANAGISAKI, G., AONO, M., TAKENAKA, H., TAMAMURA, M., Nakatani, K., IWANAMI, E., HORIUCHI, S., Satofuka, Y., & Mizuyama, T. (2016). Debris Flow Simulation by Applying the Hyper KANAKO System for Water and Sediment Runoff from Overtopping Erosion of a Landslide Dam. International Journal of Erosion Control Engineering, 9, 43–57. https://doi.org/10.13101/ijece.9.43

4) Nakatani, K., KOSUGI, M., HASEGAWA, Y., Satofuka, Y., & Mizuyama, T. (2015). Experimental study on debris flow behavior in debris fan area: Considering influence of houses. Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering, 22 – 32. https://doi.org/10.11475/sabo.67.6_22

Keywords: Debris flow, Field survey, Effect of notch, Two-dimensional simulation.