SWCB-106-028

國內外水土保持技術與研究發展趨勢



行政院農業委員會水土保持局　編印
中華民國106年7月

國內外水土保持技術與研究發展趨勢

106年度

行政院農業委員會水土保持局

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
http://www.swcb.gov.tw

計畫編號：SWCB-106-028

國內外水土保持技術與研究發展趨勢

Trends for Research and Technology Development of Soil and Water Conservation

執 行 單 位：水土保持局技術研究發展小組

研究主持人 ：陳振宇 副總工程司

研 究 人 員：黃奉琦、李苡宣、劉維則、陳國威、莊志展、嚴曉嘉

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 106 年 7 月

國內外水土保持技術與研究發展趨勢

摘要

氣候變遷導致極端降雨事件頻仍，以及特殊的地形、地質條件，使臺灣成為土砂災害好發地區。面對難以預測之複合型土砂災害以及大規模崩塌可能帶來的衝擊，水土保持局作為國內水土保持中央業務主管機關，預計未來四年將投注大量人力及預算進行大規模崩塌相關防減災工作與研究，期以過去於土石流防災的成功經驗為基礎，降低大規模崩塌可能造成的傷害，並利用組織內部的審視、檢核業務執行步驟，以保持各部門間之協調性與競爭力為原則，逐步盤點自身所擁有的資源和長短處，建立專屬的「轉型策略」和「水土保持技術發展藍圖」。因此，藉由收集、參考國內外相關技術、法規、政策等文獻進行研析，同時參酌鄰近國家因應氣候變遷、智慧科技等全球趨勢所擬定之對策，循此脈絡研擬提升國家土砂防災能力之策略，係水土保持局於 105 年新成立技術研究發展小組的重要目標之一。

本趨勢報告共收集美、日、港、台、中及歐洲等，10 個相關研究單位之研究成果與國土防災策略報告共計 145 冊，其中，法規政策類 55 冊、研究趨勢及成果 47 冊、科技技術應用類 19 冊、基礎調查報告 6 冊、其他及網路訊息類計 18 冊，以上述之文獻為研析依據，並重點摘錄撰寫相關領域之發展趨勢及其配套法規制度，以作為水土保持領域未來可能引入的技術與可參酌法規之索引。報告內容計規劃為工程技術發展 軟體防災對策、管理與法規研析、基礎調查、基礎研究及新興科技應用等六大類。其中，跨領域與虛實場景的整合，以及利用數據串聯產業間的關鍵環節，並以跨域、跨國合作與共享的方式作業，已為未來技術發展與產業推動的趨勢；而水土保持產業與技術亦應順應科技趨勢，並整備相應之法規制度、人才培育以及資訊整合平台等，期能為新時代的水土保持工作奠定發展的基礎。

關鍵詞：水土保持技術發展藍圖、跨領域應用技術、新型態技術應用、防減災對策與制度

Trends for Research and Technology Development of Soil and Water Conservation

Abstract

Extreme climate change, specific terrain and geological conditions induce the unexpected compound sediment disasters and large-scale landslides in Taiwan. Soil and Water Conservation Bureau (SWCB) is responsible for debris flow disaster prevention and is going to invest a quite amount labors and budgets to conduct the disaster prevention work and research for large-scale landslides within four years, expecting to use the successful experience of debris flow disaster prevention as a basis to decrease the harm of compound sediment disasters and large-scale landslide. Also, by reviewing the organization's interval and checking the business conducting steps that maintaining different departments' coordination and competitiveness as the principle, inventory of our own resources and the advantage or disadvantage can gradually be done, establishing the exclusive "transformation strategy" and "soil and water conservation technology development blueprint." Therefore, by collecting and referring the domestic and foreign relevant technologies, regulations, policies, other literature researches, and taking neighboring countries' strategy of climate change, intellectual technology and other global trends, the national strategy of sediment disaster prevent ability is developed..

This report contains a total of 145 research reports and national disaster prevention strategies for 10 relevant research units in countries such as the U. S., Japan, Hong Kong, Taiwan, China and Europe, etc. Study the literature contains 55 of laws and regulations, 47 of research trends and results, 19 applications of science and technology, investigation report 6 articles , other and network information class 18. The report focuses on the development of relevant fields and its supporting laws and regulations, as the probable future soil and water conservation technology and reference of the index. The content of the report concludes the engineering, basic research, disaster prevention, regulation laws and the new type, interdisciplinary application technology, including the virtual and real scene integration, and the use of data linking the industry. Cross-field, cross-country cooperation and sharing

mode are the future trend of industrial production. Then the soil and water conservation industry and technology should follow the trend of science and technology, and prepare the corresponding laws and regulations, personnel training and information integration platform, etc. It is hoped that the contents of the report will provide reference for relevant policy-making and lay the foundation for soil and water conservation.

Keywords: Soil and water conservation technology development blueprint, Interdisciplinary application technology, Application of new type technology, Strategy and system of disaster reduction and prevention.

目次

摘要 ..... **I**
Abstract ..... **II**
目次 ..... **V**
表次 ..... **VIII**
圖次 ..... **X**
第一章　前言 **1**
第一節　研究背景 1
第二節　研究報告架構 1
第二章　國內外相關研究單位簡介 **5**
第一節　美國地質調查所 5
第二節　日本土砂災害研究單位 7
一、 國土技術政策綜合研究所 7
二、 國立研究開發法人土木研究所 8
第三節　香港土木工程拓展署 9
一、 減低新建斜坡的山泥傾瀉風險 10
二、 改善現有斜坡以減低山泥傾瀉風險 11
三、 降低山泥傾瀉造成的傷害及風險 12
第四節　義大利地質水文保護研究所 13
第五節　奧地利聯邦野溪及雪崩防治局 17
第六節　中國大陸水利部成都山地災害與環境研究所 19
第七節　經濟部中央地質調查所 21
第八節　經濟部水利署 25
一、 監測技術應用 26
二、 水文地質及水理分析研究 26
三、 民眾參與領域 26
第九節　國家災害防救科技中心 28
第三章　研究與技術發展趨勢 **31**
第一節　工程技術發展 31
一、 建築資訊模型 31
二、 營建管理自動化 33
三、 工程本質安全 36

四、 工程維護管理及延壽 39
五、 日本營造現場的生產力革命 i-construction 41
六、 小結 42
第二節 軟體防災對策 42
一、 防災策略與體系 42
二、 災害潛勢調查與評估 60
三、 土砂災害預警模式 82
四、 小結 92
第三節 管理與法規研析 92
一、 臺灣環境敏感地區之管理 92
二、 台灣國土利用監測 112
三、 日本危險區劃定與管理 117
四、 奧地利危險區劃定與管理 132
五、 小結 139
第四節 基礎調查 140
一、 調查與資料收集項目 141
二、 治理與評估項目分析 142
三、 調查階段應用技術 149
四、 小結 176
第五節 基礎研究 176
一、 坡地植生生長效益改良 176
二、 通用土壤流失公式(USLE)檢討與修正 179
三、 集水區土砂收支模式 182
四、 崩塌深度及體積推估公式 183
五、 淤積土砂資源活化再利用 186
六、 使用衛星遙測評估土壤含水量 187
七、 小結 189
第六節 新興科技應用 190
一、 Cesium WebGL 190
二、 新形態地形圖 192
三、 VR、AR、MR 194
四、 情境模擬互動遊戲 199
五、 工具雲端化- FEWS 平台 201
六、 物聯網與 LoRa 技術 203

七、 小結 207
第四章 應用案例 209
第一節 日本 i-construction 之推動情形 209
一、 推動 i-Construction 觀點 210
二、 推動先行者的策略措施 213
三、 日本推動 i-Construction 之工作重點 218
四、 i-Construction 願景目標 222
第二節 日本綜合性土砂災害對策報告 223
第三節 以廣島土砂災害探討日本土砂災害防止法制定背景與影響 228
一、 廣島市概況 228
二、 廣島縣災害歷史事件 229
三、 土砂災害防止法的推動 231
第四節 日本深層崩塌對策基本技術事項 237
一、 大規模崩塌引起之之土砂災害類型 237
二、 大規模崩塌之成因 237
三、 大規模崩塌可能發生之區域 237
四、 硬體對策 240
第五節 衛星遙測土壤含水量 242
第六節 荷蘭治水桌遊 246
一、 以模擬遊戲方式探索理解評估開發政策 246
二、 遊戲機制 247
三、 遊戲腳本在地化 251
第五章 結語 253
參考文獻 255
附錄、審查意見回覆與辦理情形 267

表次

表 2.4.1 義大利地質水文保護研究所研究領域彙整表 13
表 2.7.1(a) 104 年度中央地質調查所計畫執行預定目標彙整表 23
表 2.7.1(b) 104 年度中央地質調查所計畫執行預定目標彙整表 24
表 3.1.1 勞動部推動職業安全衛生優良公共工程選拔之評審表 38
表 3.2.1 氣候變遷下土砂災害關鍵議題與研究 53
表 3.2.2 民眾對於預警服務以及各項撤離援助的願付價格 60
表 3.2.3 各斜坡單元危險度判定之 AHP 法各項評估因子及其權重 72
表 3.2.4 大規模崩塌災害發生度因子分級/分類之評分表 75
表 3.2.5 大規模崩塌重要保全對象因子評分表 76
表 3.2.6 大規模崩塌危險等級評估表 76
表 3.2.7 大規模崩塌影響範圍劃設方法(草案) 78
表 3.2.8 日本歷年短期及長期雨量指標的發展演變 83
表 3.2.9 美國代表性的土砂災害警戒系統比較表 87
表 3.2.10 美國西雅圖淺層崩塌預警系統之警戒等級及其相應作為 . 88
表 3.2.11 台灣歷年土石流警戒基準值(Rc)使用範圍 90
表 3.2.12 世界各國所發展的土石流警戒之雨量指標模式 91
表 3.3.1 2015 年非都市土地使用分區面積表 95
表 3.3.2 全台公告水庫 101
表 3.3.3 家用或公共給水水庫 103
表 3.3.4 全台土石流潛勢溪流統計 107
表 3.3.5 山坡地保育利用條例及水土保持法劃設之山坡地統計表 . 107
表 3.3.6 山崩之類別 111
表 3.3.7 山坡地衛星影像變異點回報成果 116
表 3.3.8 歷年山坡地違規使用總面積統計表 117
表 3.3.9 日本土砂災害基礎調查統計表 130
表 3.4.1 一維水理演算模式彙整表 146
表 3.4.2 二維水理演算模式彙整表 147
表 3.4.3 三維水理演算模式彙整表 147
表 3.4.4 地球物理探測技術特性彙整表 168
表 3.4.5 孔內探測技術運用於工程領域調查項目彙整表 169
表 3.5.1 坡面崩塌深度與崩塌體積相關推估公式 185

表 3.6.1 數值地形模型以傳統或新型態表現方式比較 195
表 3.6.2 VR、AR、MR 三者的差異比較 196
表 3.6.3 物聯網架構層次 204
表 3.6.4 LoRa 關鍵特性和優勢 206
表 4.3.1 廣島縣土砂災害災情統計 230
表 4.3.2 截至 2017 年 3 月鹿島縣累計完成基礎調查統計 234
表 4.3.3 廣島市安佐南區 1960 至 2010 年每十年人口變化 235
表 4.6.1 荷蘭治水桌遊之水利政策措施選項 250
表 4.6.2 遊戲案例比較 251

圖次

圖 2.1.1 美國內政部所屬機構組織圖 6
圖 2.1.2 美國潛在地滑災害示意圖 7
圖 2.2.1 日本國土技術政策綜合研究所業務執行示意圖 8
圖 2.2.2 國立研究開發法人土木研究所研究策略示意圖 9
圖 2.3.1 香港地區降低山泥傾瀉風險策略規劃項目示意圖 10
圖 2.4.1 遙測 DInSAR 進行地面變形量之分析示意圖 15
圖 2.4.2 遙測衛星估算土壤含水量並建立降雨量估算系統 16
圖 2.4.3 LSPIV 大尺度粒子圖像土石流測速 16
圖 2.4.4 微地震偵測器應用於土石流預警監測 16
圖 2.4.5 歷史區域崩塌和和洪水研究 17
圖 2.5.1 奧地利農林環境及水資源經營部組織架構圖 18
圖 2.5.2 邊坡數值模擬示意圖 18
圖 2.5.3 危險區地圖劃設示意圖 19
圖 2.5.4 工程保護落石金屬防護網示意圖 19
圖 2.6.1 中國科學院水利部成都山地災害與環境研究所組織架構圖 20
圖 2.7.1 中央地質調查所組織架構及專業領域示意圖 22
圖 2.8.1 水利署組織圖 25
圖 2.8.2 TDR 含砂濃度感測器與量測典型波形 26
圖 2.8.3 多元化監測系統 27
圖 2.8.4 一維河道、二維地表、三維地下模型 27
圖 2.8.5 智慧水尺佈設示意圖 27
圖 2.9.1 國家災害防救科技中心組織示意圖 29
圖 3.1.1 地形、設計縱坡及組合斷面產生 3D 廊道及溝渠橫斷面示意 32
圖 3.1.2 設計前後成果展繪在 Google Earth 影像示意圖 32
圖 3.1.3 視覺化填土工程模擬示意圖 33
圖 3.1.4 系統使用權限分層管理機制示意圖 34
圖 3.1.5 工地施工影像管理系統示意圖 35
圖 3.1.6 系統設定緊急事件應變管理機制 35
圖 3.1.7 營造工程三要素 37
圖 3.1.8 設計階段之施工安全風險評估作業流程 37

圖 3.1.9 高速公路橋梁延壽評估及案例分析研究計畫示意圖 40
圖 3.1.10 i-construction 現場工程導入新技術示意圖 41
圖 3.2.1 日本土砂災害防止法修正重點 45
圖 3.2.2 日本推動綜合性土砂災害對策報告重點 46
圖 3.2.3 日本內閣府「避難勸告等相關指南」重點 47
圖 3.2.4 氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫調適策略與績效指標關聯圖 50
圖 3.2.5 日本國土交通省氣候變遷調適計畫概要 52
圖 3.2.6 日本國土交通省大規模水害防災行動計畫之タイムライン 57
圖 3.2.7 日本社區自主防災的行動計畫タイムライン 58
圖 3.2.8 水土保持局歷史災害照片募集平台 59
圖 3.2.9 土砂災害防止法概要 61
圖 3.2.10 岩手縣土砂災害防止相關基礎調查手冊之架構 62
圖 3.2.11 土砂災害警戒區域及特別警戒區域之劃定方式示意圖 63
圖 3.2.12 坡面型土石流邊坡單元判釋結果 64
圖 3.2.13 平廣溪集水區內歷史崩塌目錄與水系密度之累積機率 70% －崩塌目錄與水系密度關係圖 65
圖 3.2.14 平廣溪集水區古土石流與山崩微地形判釋成果 66
圖 3.2.15 流域主流長度(L)與流域險峻值(MR)之關係 67
圖 3.2.16 平廣溪流域長度與土石流潛勢溪流示意圖 67
圖 3.2.17 大規模崩塌潛勢調查及風險評估手冊架構 69
圖 3.2.18 大規模崩塌導致之災害類型 70
圖 3.2.19 全國及都道府縣尺度的大規模崩塌災害潛勢評估方式 71
圖 3.2.20 日本国土技術政策総合研究所大規模崩塌對策之基本技術事項內容架構 73
圖 3.2.21 堰塞湖類型之硬體對策示意圖 74
圖 3.2.22 土石流類型之硬體對策示意圖 74
圖 3.2.23 大規模崩塌運動及堆積區致災類型判別流程圖 77
圖 3.2.24 日本土砂災害警戒模式示意圖 83
圖 3.2.25 徑向基底函數網路劃設臨界線 84
圖 3.2.26 日本土砂災害警戒情報範例 85
圖 3.2.27 日本土砂災害警戒發布及呈現方式、不同顏色之警戒等級及其建議之應變作為 86

圖 3.2.28 美國現行運作中的土砂災害警戒系統分布圖 87
圖 3.2.29 2002 年 Seattle 市、NWS、USGS 合作建立的土砂災害警戒系統 88
圖 3.3.1 臺灣目前國土空間體系圖 94
圖 3.3.2 臺灣未來國土管理之體系(1) 96
圖 3.3.3 臺灣未來國土管理之體系(2) 96
圖 3.3.4 國土功能分區及其分類圖 97
圖 3.3.5 公告水庫分類圖 99
圖 3.3.6 臺灣本島 66 座水庫面積統計 100
圖 3.3.7 石門、曾文、南化水庫清淤成效彙整 100
圖 3.3.8 臺灣水庫淤積情形 102
圖 3.3.9 土石流潛勢溪劃設作業流程圖(1) 105
圖 3.3.10 土石流潛勢溪劃設作業流程圖(2) 106
圖 3.3.11 地質敏感區分佈圖 110
圖 3.3.12 前後期衛星影像變異點偵測 113
圖 3.3.13 國土利用監測整合架構 114
圖 3.3.14 衛星影像差異點查證作業流程 115
圖 3.3.15 水保局衛星影像差異點通報圖資範例 115
圖 3.3.16 過去 30 年日本土砂災害發生件數及死亡失蹤人數 118
圖 3.3.17 過去 30 年日本土砂災害死亡及失蹤統計 119
圖 3.3.18 日本林野廳組織圖 120
圖 3.3.19 日本水管理國土保全局組織圖 121
圖 3.3.20 日本土砂防災三大對策 122
圖 3.3.21 日本土砂災害防止法與砂防三法之區別 122
圖 3.3.22 基礎調查實施情形及內容 124
圖 3.3.23 陡坡崩塌土砂災害警戒區域指(劃)定示意圖 126
圖 3.3.24 土石流土砂災害警戒區域指(劃)定示意圖 126
圖 3.3.25 地滑土砂災害警戒區域指(劃)定示意圖 127
圖 3.3.26 陡坡崩塌警戒區域指定成果圖示意 128
圖 3.3.27 土石流警戒區域指定成果圖示意 129
圖 3.3.28 地滑警戒區域指定成果圖示意 130
圖 3.3.29 基礎調查（土砂災害警戒區域）預定完成年度 131
圖 3.3.30 奧地利天然災害風險管理概念圖 134

圖 3.3.31 奧地利整合性天然災害防治策略圖 135
圖 3.3.32 奧地利公告危險區分區劃定示意圖 136
圖 3.3.33 奧地利危險區整體治理計畫目標示意圖 138
圖 3.4.1 集水區整體規劃調查示意圖 141
圖 3.4.2 國道公路應用 UAV 執行特別巡查示意圖 150
圖 3.4.3 台 8 線 181.4 K 邊坡大規模崩坍示意圖 151
圖 3.4.4 台 8 線 181.4 K 邊坡大規模崩 UAV 空中偵查示意圖 152
圖 3.4.5 UAV 執行週期性邊坡巡查示意圖 154
圖 3.4.6 UAV 巡查邊坡周圍構造物施工影響範圍 154
圖 3.4.7 地滑研究區監測空拍俯視圖 155
圖 3.4.8 地滑位移軌跡圖 156
圖 3.4.9 空中磁力探測載具及感測器示意圖 159
圖 3.4.10 電阻率影像剖面圖 161
圖 3.4.11 自然電位影像平面圖 162
圖 3.4.12 感應極化法影像剖面圖 163
圖 3.4.13 透地雷達 3D 影像 163
圖 3.4.14 電磁探測法平面影像圖 164
圖 3.4.15 重力探測法平面影像圖 165
圖 3.4.16 壓縮波波速影像剖面圖 166
圖 3.4.17 剪力波波速影像剖面 166
圖 3.4.18 反射震測法影像剖面 167
圖 3.4.19 孔內攝影圖像與岩芯取樣差異對比圖示意 171
圖 3.4.20 鑽孔內不連續面位態隨深度變化情形示意圖 172
圖 3.4.21 電井測及波速調查成果示意圖 173
圖 3.4.22 地下水流場調查示意圖 174
表 3.4.6 孔內探測設備之調查原理及目的彙整表 175
圖 3.4.23 孔內探測調查結果示意圖 175
圖 3.5.1 生物炭示意圖 177
圖 3.5.2 不同 PH 值下植物生長狀態 178
圖 3.5.3 降雨沖蝕指數(Rm 值)隨氣候變遷變化概略圖 180
圖 3.5.4 土壤可蝕性因子(Km 值)隨氣候變遷變化概略圖 181
圖 3.5.5 屏東地區老埤台地上(紅壤)之舊 Km 值與新 Km 值之比對 181
圖 3.5.6 集水區土砂管理模式示意圖 183

圖 3.5.7 計算小集水區及河系串接示意圖 184
圖 3.5.8 現地拌合工法示意圖 186
圖 3.5.9 濾除雲層及水體之影像示意圖 188
圖 3 .5.10 大鳥測站 CWSI 與土壤含水量散布圖 189
圖 3.6.1 3D 地貌起伏模型(珠穆朗瑪峰)..... 191
圖 3.6.2 3D 模型(紐約)..... 191
圖 3.6.3 苗栗火炎山紅色地圖 193
圖 3.6.4 苗栗火炎山 H.O.S.T 地圖及圖例 194
圖 3.6.5 遠傳智慧工廠 VR 體驗..... 197
圖 3.6.6 維冠大樓倒塌現場 VR 體驗 198
圖 3.6.7 土石流逃生體驗 VR..... 198
圖 3.6.8 等高線地形模型 AR..... 198
圖 3.6.9 治水桌遊遊戲體驗 200
圖 3.6.10 避難所營運遊戲 201
圖 3.6.11 DELFT-FEWS 應用介面 202
圖 3.6.12 物連網架構 205
圖 3.6.13 動態導引號誌 205
圖 4.1.1 營造工程量委縮導致勞動力過剩統計情形 209
圖 4.1.2 勞力過剩變成勞動力不足之推估 211
圖 4.1.3 推動 i-Construction 觀點示意圖 211
圖 4.1.4 將營造工程變成最先進工廠流程圖 212
圖 4.1.5「供應鏈管理」導入營造工程現場示意圖 212
圖 4.1.6 同步工程技術（Concurrent engineering）進度前移模式示意圖..... 213
圖 4.1.7 全面活用 ICT 流程 214
圖 4.1.8 導入整體最佳工法示意圖 214
圖 4.1.9 容許跨年度施工策略圖 215
圖 4.1.10 引進新基準(標準)(1/3)..... 216
圖 4.1.11 引進新基準(標準)(2/3)..... 216
圖 4.1.12 引進新基準(標準)(3/3)..... 217
圖 4.1.13 土木工程應用 ICT 所需之企業設備投資與相關支援..... 217
圖 4.1.14 增加能運用 ICT 之土木工程技術人員・技能勞工人數.. 218
圖 4.1.15 推動 i-Construction 工作架構(1/2)..... 219

圖 4.1.16 推動 i-Construction 工作架構(2/2)..... 219
圖 4.1.17 成立推動 i-Construction 聯盟 220
圖 4.1.18 活用 i-Construction 相關大數據 220
圖 4.1.19 強化和其他屋外生產或作業行業的合作關係 221
圖 4.1.20 日本 i-Construction 海外佈局策略 221
圖 4.2.1 推動綜合性土砂災害對策措施之報告」之概要 223
圖 4.2.2 掌握並分享土砂災害特徵與災害危險地區資訊 224
圖 4.2.3 活用積極避難準備情報 224
圖 4.2.4 有關發佈避難勸告等命令 225
圖 4.2.5 發布避難勸告等的方法(活用網格情報) 225
圖 4.2.6 發布避難準備情報、避難勸告、避難指示的流程 226
圖 4.2.7 「指定緊急避難場所」與「指定避難所」之差異 226
圖 4.2.8 外出危險時的避難處所 227
圖 4.2.9 能有效抗災的社區營造 227
圖 4.2.10 迅速的救災與重建活動 228
圖 4.3.1 廣島縣位置與廣島市行政區域圖 229
圖 4.3.2 廣島市降雨統計圖 229
圖 4.3.4 土砂災害防止法與砂防三法之區別 232
圖 4.3.5 日本土砂防災三大對策與相關法令 232
圖 4.3.6 2014 年廣島土砂災害概況 233
圖 4.3.7 縣政府未完成警戒區劃定之理由 235
圖 4.3.8 安佐南區八木地區山坡地開發情況 236
圖 4.3.9 安佐南區山坡地開發情況資料 236
圖 4.4.1 大規模崩塌推測頻率地圖 238
圖 4.4.2 大規模崩塌遺跡密度地圖 239
圖 4.4.3 堰塞湖類型硬體對策示意圖 241
圖 4.4.4 土石流類型硬體對策示意圖 241
圖 4.5.1 2008 年各月蒸發散量成果 242
圖 4.5.2 月對照蒸發散量成果 243
圖 4.5.3 土壤含水量計算結果 243
圖 4.5.4 月對照土壤含水量結果 244
圖 4.5.5 蒸發散量示意圖 245
圖 4.6.1 工程與環境模擬之數值模式及實體桌遊卡片 247

圖 4.6.2 線上永續水資源管理模擬遊戲 248
圖 4.6.3 永續水資源管理桌遊進行程序 249

第一章　前言

氣候變遷導致極端降雨事件頻仍，以及特殊的地形、地質條件，使臺灣成為土砂災害好發地區。面對難以預測之複合型土砂災害以及大規模崩塌可能帶來的衝擊，水土保持局作為國內水土保持中央業務主管機關，預計未來四年將投注大量人力及預算進行大規模崩塌相關防減災工作與研究，期以過去於土石流防災的成功經驗為基礎，降低大規模崩塌可能造成的傷害，並利用組織內部的審視、檢核業務執行步驟，以保持各部門間之協調性與競爭力為原則，逐步盤點自身所擁有的資源和長短處，建立專屬的「轉型策略」和「水土保持技術發展藍圖」。因此，藉由收集、參考國內外相關技術、法規、政策等文獻進行研析，同時參酌鄰近國家因應氣候變遷、智慧科技等全球趨勢所擬定之對策，循此脈絡研擬提升國家土砂防災能力之策略，係水土保持局於 105 年新成立技術研究發展小組的重要目標之一。

第一節　研究背景

水土保持局於 106 年起推動大規模崩塌防減災工作為未來四年之重大政策，期望透過盤點以及問題分析，預先規劃大規模土砂災害各項調適工作，以強化氣候變遷影響之因應能力，利用分年分期之各項調適策略，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　研究報告架構

以下說明本報告各章節之架構與內容。

第一章前言，說明計畫背景、目標及研究架構。

第二章國內外相關研究單位簡介，於本研究期間收集歐、美、日、中、港、臺等地區，相關研究單位之組織及歷年研究成果，並從各單位之研究成果擷取創新研究計畫、跨領域應用之技術研究以及水土保育相關策略等，其中，歐洲以義大利地質水文保護研究所(Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, IRPI)以及奧地利聯邦野溪及雪崩防治局(Service of Torrent and Avalanche Control.)為對象，美國則以地質調查所(United States Geological Survey,USGS)為主，日本則以國土技術政策綜合研究所(National Institute for Land and Infrastructure

Management,NILIM)及國立研究開發法人土木研究所(Public Works Research Institute, PWRI)為研究目標，中國以中國科學院水力部成都山地災害與環境研究所為蒐集單位，而香港則以土木工程拓展署(Civil Engineering and Development Department, GEDD)為目標進行了解，在臺灣部份，則以經濟部中央地質調查所、經濟部水利署、國家災害防救科技中心為本計畫參考之研究單位。

第三章研究與技術發展趨勢，本章節參酌國內外相關單位已具實際執行成果，或國內尚未引進之國外相關研究、技術、防災軟硬體與管理制度等進行摘要式的介紹。其中，第一節介紹近年來國內外工程技術發展趨勢，並以營建自動化技術為主要探討內容。本章節由建築資訊模型(BIM)導入大地工程之案例談起，並以營建管理自動化技術、工程安全管理程序與工程維護管理及延壽技術等營建工程領域之技術，評估導入水土保持領域之可行性，並扼要介紹日本為因應人口老化導致未來勞動人力嚴重不足，所發展之「i-construction」工程技術整合概念。第二節則針對國內外之軟體防災對策趨勢與發展進行文獻蒐集與探討。本節由聯合國減災綱領宣言及國內外因應氣候變遷調適對策談起，針對防災體系與知能的強化方式、專業訓練與認證機制的建立，以及落實全民防災教育等，國內外軟體防災機制的發展現況，進行扼要說明。再以災害潛勢調查與評估方式、預警模式與疏散避難機制、災害情資整合平台等說明國內外發展之現況。第三節主要在探討國內外管理與法規制度層面上之異同，特別對於山坡地範圍敏感地區的監測管理與劃定執行方式及規範準則，進行國內外相關單位執行之法規、制度研析。第四節將針對基礎調查技術的空間場域，約略劃分為空中大面積偵測之遙測影像技術、地表下調查技術及室內試驗三大類進行說明。對於規劃調查方面，則參考既有之集水區調查規劃程序，除考慮調查與治理之執行項目，並依相關可應用之調查技術進行闡述，例如遙測影像技術以及地表下調查技術的應用，於本章節將有簡明的介紹。在第五節的部份，將針對近年水土保持相關之重要基礎研究進行回顧，包括植生生長效益相關研究、通用土壤沖蝕公式(USLE)之改進、土砂收支模式之發展、崩塌深度及體積推估公式、土砂資源再利用，以及衛星遙測應用於土壤含水量監測技術等。第六節則聚焦於新興科技或跨領域應用方面，包括虛擬實境的應用、赤色地圖、工具雲端化以及物聯網等技術，現階段所應用之領域及使用狀

況。

第四章應用案例，在第三章時，以簡明的敘述方式，說明了各項技術及研究之發展近況，於本章節則將以第三章第一至六節之內容，各擇一具體應用案例為撰寫主軸，其中包含：「日本 i-construction 之推動情形」、「日本綜合性土砂災害對策報告」、「探討日本土砂災害防止法制定背景與影響-以廣島土砂災害為例」、「日本深層崩塌對策基本技術事項」、「衛星遙測土壤含水量之可行性研究」以及「荷蘭治水桌遊發展背景及影響」等六個案例小節。

第五章結語，綜整已完成之相關文獻歸納分析未來可能之技術發展勢，並比較各國家於自然環境保護政策、法規之沿革，從中探求其訂定策略之經驗，同時，審視現階段國內因應自然災害的內、外部挑戰與機會，藉此提出未來土砂防災研究發展議題與策略之參考。

第二章　國內外相關研究單位簡介

為瞭解國內外近期水土保持相關技術之研究發展趨勢，本章針對國內外有關水土保持、土砂防災、地質調查等相關技術研究單位之組織架構，及其近期研究成果與引用技術進行概略敘述，俾作為後續研擬相關研究發展方向與對策之參據。本章介紹對象包含美國地質調查所(USGS)、日本國土技術政策綜合研究所(NILIM)、日本國立研究開發法人土木研究所(PWRI)、香港土木工程拓展署(GEDD) 、義大利地質水文保護研究所、奧地利聯邦野溪及雪崩防治局、中國大陸水利部成都山地災害與環境研究所、經濟部中央地質調查所、經濟部水利署，以及國家災害防救科技中心等 10 個單位。

第一節　美國地質調查所

美國地質調查所（United States Geological Survey, USGS），如圖 2.1.1 所示，為美國政府組織中之科學研究機構。此機構的科學家主要研究主題為美國地形、自然資源、自然災害及災害應對之方法，該單位負責統籌生物學、地理學、地質學和水文學四大科學領域之研究成果。

依據 2012 年出版之自然災害科學策略(Natural Hazards Science Strategy)報告書中所述，針對自然災害之因應對策，地質調查所擬訂七項研究領域包含：氣候及土地使用的改變(Climate and Land Use Change)、基礎科學系統的研究(Core Science Systems)、生態系統(Ecosystems)、能源和礦產(Energy and Minerals)、環境衛生(Environmental Health)、自然災害(Natural Hazards)以及水資源(Water)等。透過深入的觀察以及對災害的認知與其可能影響層面進行評估，進而改善災害策略及評估新技術產品應用之成果與產品服務品質等。同時，利用有效的情境分析印證策略與新技術之適用性，而達成地質調查所的核心價值－利用災害科學之六個關聯步驟：觀察、基本認知、評估、預測、警告、危機和災害的應變等，促使國土保育與國家安全。

其中，自然災害研究項目又細分為沿海和海岸地質(Coastal and Marine Geology)、地震災害(Earthquake Hazards)、地磁(Geomagnetism)、佈設全球地震網路平臺 (Global Seismographic

Network)、崩塌災害(Landslide Hazards)、火山災害(Volcano Hazards)等六個面向進行持續觀測與研究。

上述自然災害之六個研究項目中，又以崩塌災害(Landslids Hazards)與國土保育息息相關。為了降低崩塌災害的衝擊與影響，在防災上應考慮之問題為：何處及何時會發生山體滑動？可能發生多大的崩塌土砂量？山體滑動的速度、滑動影響範圍以及損害評估、潛在滑動邊坡的預估、特定區域發生崩塌之週期性等。然為了回應上述問題，地質調查所長期追蹤、調查國土境內之崩塌事件，並利用研究結果製作準確的崩塌危險地圖，並應用於預測崩塌事件之發生，如圖2.1.2。其中，潛在滑動區的危險程度依序為紅色、黃色、綠色，而黑色區域產生崩塌的災害可能性很小，政府部門可以此為依據做為後續國土政策之參考。

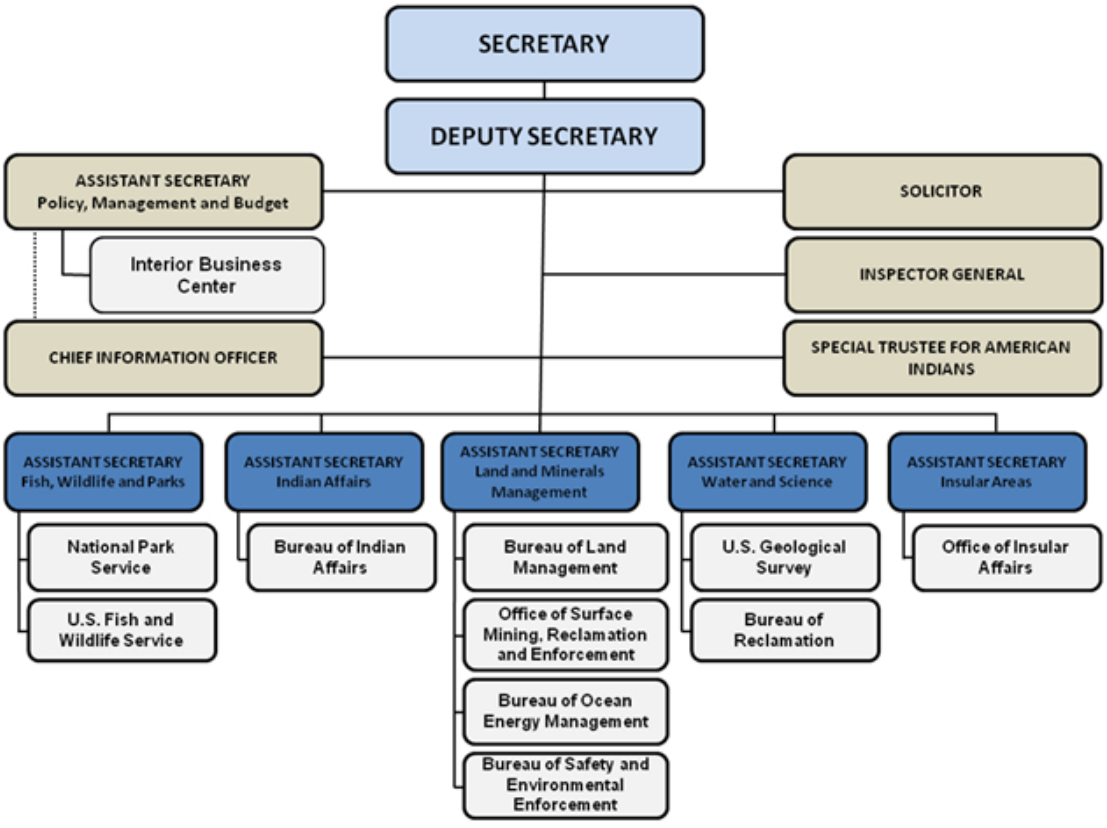


圖 2.1.1 美國內政部所屬機構組織圖(From Wikimedia Commons)

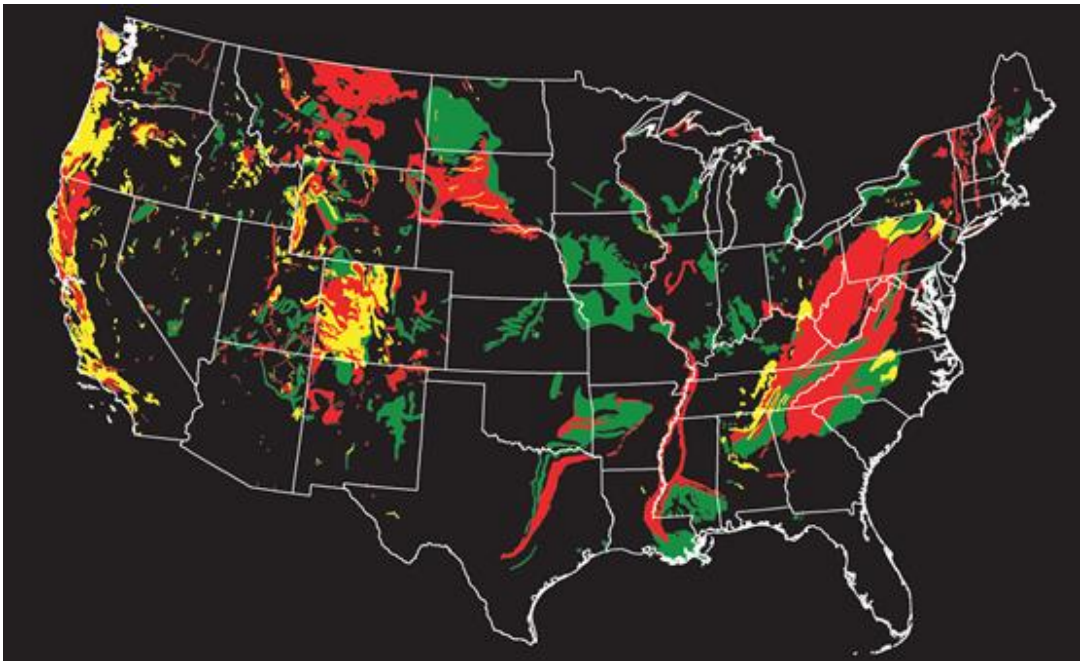


圖 2.1.2 美國潛在地滑災害示意圖(USGS)

第二節 日本土砂災害研究單位

一、國土技術政策綜合研究所

國土技術政策綜合研究所 (National Institute for Land and Infrastructure Management,NILIM ，以下簡稱國總研)是日本國土交通省成立的國家研究機構，其致力於協助政府創造一個安全、安心且有活力的社會，透過基礎設施的研究和傳播開發研究成果，提早因應現在和未來社會的演變以及全球氣候變遷下所產生的國土保育問題。此外，藉由訂定防止和減輕災害發生或擴大之策略，提供政府執行單位改善道路、橋梁和機場設施的維護管理之措施，以及減災、防災的整備計畫。

國總研設置之四大功能分別為：「訂定研究和技術的基準」、「災害發生時的應對支援」、「新技術的研發與技術移轉」以及「研究成果的推廣」，舉凡極端氣候下所造成之土砂、淹水災害或是基礎設施維修、補強等相關技術研發與執行標準等，均為其業務項目，如圖 2.2.1 所示。同時，國總研於每年均設立當年度重點研究項目與產出結果，以平成 26 年(2014 年)、平成 27 年(2015 年)為例，國總研以防災、減災的危機管理機制、基礎設施維護與管理機制，以及改善提升基礎建設設置流程與方式等，作為其三大研究方向。



圖 2.2.1 日本國土技術政策綜合研究所業務執行示意圖(國總研)

二、國立研究開發法人土木研究所

獨立行政法人土木研究所(Public Works Research Institute, PWRI)的前身為建設省土木研究所，創建於大正年間，主要作為國土交通省的研究諮詢單位。2001 年日本政府把既有的「筑波土木研究所」與「北海道開發土木研究所」併入國土交通省轄下的獨立法人。2015 年配合獨立行政法人法修正，修改為「國立研究開發法人土木研究所」，是日本國內公共工程技術整合與研發的平台，其下設有中央研究所與寒地土木研究所，2006 年接受聯合國科教文組織（UNESCO）委託成立「水災災害風險管理研究中心， ICHARM」，2008 年成立「構造物維修管理研究中心，CAESAR（主要以橋梁為主）」合計有四個不同主題的研究中心，又於 2015 年 4 月 1 日新成立「先端材料資源研究中心,，iMaRRC」。

此單位之研究方向集中於自然災害的抑制、改善生活環境的策略、降低社會公共的成本、節能設施的研發等，有關於公共工程與公共政策之課題。依據 2016 年 4 月 1 日發佈之研究目標白皮書中所述，為即早因應未來社會高度密集之需求，該所已擬訂為期 6 年的中長期計畫，自平成 28 年起至 34 年(2016-2022)，將以「實現安全、安心的

社會」、「研擬基礎設施維護管理」，以及「更新策略及維持活力社會之方案」為三大研究目標，依據各執行面向規劃研究開發子題，並於本年度規劃研提 17 個執行子題，如圖 2.2.2 所示。



圖 2.2.2 國立研究開發法人土木研究所研究策略示意圖(土木研)

第三節 香港土木工程拓展署

土木工程拓展署(Civil Engineering and Development Department, GEDD)係於 2004 年 7 月由「土木工程署」和「拓展署」合併成立。土木工程署由當時的工務司署歷經多個階段部門重組逐步發展而成，其中，拓展署繼承了前新界拓展署之任務，負責推展新市鎮發展及市區發展。現今其組織中設立總部及 2 個功能分處(即「土木工程處」和「土力工程處」)，另有 4 個分區拓展處，包括港島及離島拓

展處、九龍拓展處、新界東拓展處以及新界西拓展處等。

由 70 年代的香港歷經多起大型山泥傾瀉(坡地災害)，導致嚴重的人命及財物損失，因此於 1977 年成立專責處理斜坡問題的土力工程部門，即為土力工程處 (Geotechnical Engineering Office)。在此之前，香港缺乏岩土工程指引或斜坡安全標準，因此加劇山泥傾瀉的潛在風險。土力工程處自成立以來，即開始制訂地區整體斜坡安全策略，以減低人造斜坡的山泥傾瀉風險，對於邊坡管理政策採「斜坡安全系統」以盡可能將山泥傾瀉風險減至最低為原則，目標策略為導向串連相關措施執行相關工作，並訂定「減低山泥傾洩風險策略」。如圖 2.3.1 所示，擬訂包含「減低新建斜坡的山泥傾瀉風險」、「改善現有斜坡以減低山泥傾瀉風險」、「降低山泥傾瀉造成的傷害及風險」等以三大執行目的並配合相關執行措施，以下針對相關執行要點進行說明。

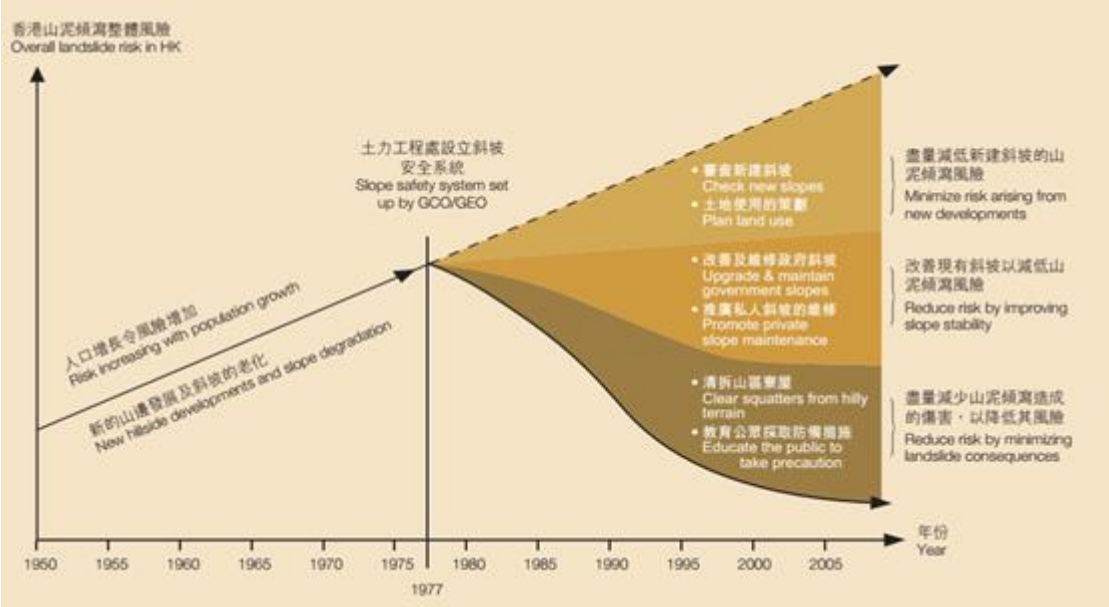


圖 2.3.1 香港地區降低山泥傾瀉風險策略規劃項目示意圖(GEO)

一、減低新建斜坡的山泥傾瀉風險

於土地開發初期即進行全面的審視，包含地層狀況及岩土工程的適切性等。並於審查新建斜坡時，確保斜坡各項措施、構造符合現行的安全設計標準，以控制區域新建斜坡的山泥傾瀉風險，進而降低整體山泥傾瀉發生的風險，利用下列三項配套措施執行之。

(一) 審核新建私人斜坡

賦予「屋宇署」執行的權力，對私人發展項目的岩土工程加以監管。在每個建築項目執行之前，發展商或其代理商須向「屋宇署」呈交各工程項目的設計、規劃圖說，如場址勘察圖、整體建築圖以及地盤平整圖(開挖擋土設施)等，以供審批，而土力工程處則在審批過程中提供岩土工程方面的相關建議。

(二) 審核新建政府斜坡

土力工程處根據政府行政規範，監管公共工程項目的岩土工程項目，同時為工程項目相關部門提供自開發計劃階段至詳細設計等，各工程進度階段之專業意見。

(三) 土地規劃

土地規劃為降低山泥傾瀉風險之最佳方法，在策劃新的開發項目時，應考慮天然災害的潛在影響，作為坡地整體風險管理策略的一環，土力工程處為「規劃署」及「地政總署」提供岩土工程方面的專業建議，於土地開發階段初期，指出各種岩土工程的限制及可能遭遇之問題。

二、改善現有斜坡以減低山泥傾瀉風險

香港政府擬訂持續的計劃，有系統地篩選及檢測政府單位所保固之斜坡，對於不合標準的斜坡進行維修及補強工程，至於私有斜坡，政府則積極地鼓勵業主定期維修斜坡及針對不合標準的斜坡進行改善工程。

(一) 維修及補強公共建設之斜坡

近年來，香港政府持續處理大量不合規格的既有人造斜坡及擋土牆，其中在 39,000 處公共建設之斜坡中，約有 10,500 處鄰近建築物或主要道路。土力工程處自 1976 年起實行連續性的防止山泥傾瀉計劃，主要目的在於鞏固這些既有的公共建設人造斜坡及擋土牆。針對區域內邊坡進行量化風險評估，依據所得的結果，發展以崩塌風險為基礎的分級系統，並編訂「斜坡紀錄冊」，記錄相關斜坡資料，以有系統地處理區域內認定風險較高的斜坡。

此外，人造斜坡與其他工程結構一樣具有生命週期，須要定期檢視與維修補強。依據事件調查，過去發生的山泥傾瀉事件，多以斜坡缺乏監測與維修所致，然而「斜坡紀錄冊」登錄約 57,000

處人造斜坡，透過有關的工程部門，如「路政署」及「建築署」等擬訂斜坡維修計劃，利用跨部門合作並進行計畫審核與協助改善工程計畫。

(二) 推廣私有斜坡的維修與補強

透過防止山泥傾瀉計劃，為私有斜坡進行安全檢測，若發現斜坡有即時或潛在危險，「工程處」會建議「屋宇署」監督發出「危險斜坡修葺令」，規範業主必須對其斜坡進行勘查，並制訂補強工程計劃。

同時，土力工程處於 1992 年起，執行一系列的斜坡安全教育計劃，鼓勵私有斜坡業主應為其安全負責，並成立「社區諮詢服務組」，專責協助私有斜坡之業主履行維修斜坡的責任，透過該組的社區諮詢服務，為斜坡業主提供所需的資訊與專業建議。

(三) 加速及延續性防止山泥傾瀉計劃

自 1994 年發生觀龍樓山泥傾瀉事件後，土力工程處提出為期 5 年的防止山泥傾瀉計劃，工程金額支出約 29 億港元，其後的 10 年延續性防止山泥傾瀉計劃，完成補強公共設施斜坡及擋土牆約 2,500 處，此計劃仍持續執行，直至 2007 年的統計，已完成維修補強之既有公共建設斜坡已超過 3,200 處。

三、降低山泥傾瀉造成的傷害及風險

將建於山坡地上的寮屋(違章建築)進行遷拆，以降低山泥傾瀉可能造成的傷害，並致力教育居民於暴雨期間應採取的防備措施，同時，設立山泥傾瀉警報系統，提醒山泥傾瀉的潛在風險並進行災害預警。此外，土力工程處會在發生山泥傾瀉後立即為各政府部門提供岩土工程方面的專業建議，保障市民大眾免受山泥傾瀉影響並將災損減至最低。

(一) 拆除山區寮屋(違章建築)

1950 年代至 1980 年代，寮屋群聚性地興建於陡峭山坡地區域。該類建築結構鬆散、區域排水與基礎設施等不符合規範規定，故特別容易受到山泥傾瀉的影響。政府透過拆除寮屋及安置合資格居民，以減低山泥傾瀉對寮屋居民構成的風險，且無須另外進行當地斜坡的補強工程。

(二) 山泥傾瀉警報系統

1.教育公眾採取預防措施

自 1985 年以來，多數造成人民損傷事故之山泥傾瀉事件，均發生在山泥傾瀉警報期間。土力工程處採用完善且積極的策略，教育市民在山泥傾瀉警報生效時應採取的防備措施，並推動社區合作，透過公眾教育、宣傳活動及資訊服務，提高市民對斜坡安全的認知。

2.土力工程處緊急事故系統

自 1980 年初，土力工程處即設立緊急應變系統，為其他政府部門提供相關資訊及應對山泥傾瀉威脅的專業建議，當工程處收到山泥傾瀉報告時，會指派專業岩土工程師至場域現場勘察，提出就地形、地質現況之緊急應變或緊急補強措施的建議。

第四節　義大利地質水文保護研究所

義大利地質水文保護研究所(Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, IRPI)，為義大利國家研究委員會(Consiglio Nazionale delle Ricerche, CNR)所屬之研究機構，其任務為推動義大利基礎與應用研究、發展並維持義大利學術競爭力、與及時有效地參與國家計畫定義之策略領域。地質水文保護研究所為多專題與學科之研究組織，依照不同研究領域共分為 8 組，包括氣候變遷下高山區域之地貌形態(Geoclimalp)、地理監測、地貌學、地下水、水文地貌學、水文、喀斯特(溶融)地形及地理風險小組，各組別研究內容如表 2.4.1。

表 2.4.1 義大利地質水文保護研究所研究領域彙整表(修改自 IRPI)

組別	研究內容
Geoclimalp	地質形態和氣候水文學，目標是進行氣候變遷下，高山環境地貌與動力間相互作用下之綜合研究。
地理監測	致力於發展和測試崩塌、邊坡、河流等監測工具、科技、方法之應用。該單位配備最先進的地形監測儀器，包括空載光達等。

組別	研究內容
地貌學	為了達到崩塌感測及災害評估，發展及測試崩塌判識和繪圖之工具。該小組負責經營義大利區域因降雨引起山崩地滑之預警系統。另外，也經營關於崩塌與洪水風險的網站，提供給義大利居民。
地下水	主要研究和研發活動，包括現地調查和實驗室試驗、數值模擬、地下水之地質分析，包括地下水排放工程；地下水水質和數量減少為害之防護；氣候變遷和鹽水入侵下之地下水管理；含水層脆弱性和地下水之汙染與補救；地下水與地下或淺層工程之相互作用，以及對土地穩定性的影響。
水文地貌學	研究山區水文影響地貌和地貌形成之過程，包括集水區之土石流監測、水文和土壤動力學特徵之數值地形模型的地貌測量分析、沉積物料源特徵判識、災後記錄、洪水地貌效應分析、GIS 的發展，與地形測量指標計算的開源應用。
水文	對所有地理尺度的氣候水文進行調查。小組研究洪水形成之過程，發展和測試水文氣象監測之工具和模型，並估算土壤含水量評估洪水災害和風險。
喀斯特地形 (karst topography)	為了減輕喀斯特地形相關之風險，小組開發和測試該地形自然或人為災害的判識、分析方法及監測工具。團隊評估沉陷敏感和危害區域、管理由沉陷事件導致之緊急情況、對不穩定的地下環境進行地質模擬、地表和地下岩溶景觀退化和岩溶含水層污染以及岩溶環境洪之水分析。
地理風險小組	對於邊坡及不穩定結構的監測，該小組應用衛星影像、數值地形、光纖創新感測器等多項科技應用。小組提供危險地質區域之監測服務，並以預警和警報的目的，亦以數值地形呈現短期和長期的區域演變，並設計減災對策。

義大利國科會地質水文研究所的任務，主要針對自然災害進行工程設計、相關科學研究和技術開發，其範疇包括：地質水文災害、環境保護和永續的地質資源。透過不同的地形、時間尺度、不同的氣候、地理和區域地質進行相關研究，以下分別以遙測影像、監測預警、公民參與及教育等領域，針對其相關技術發展研究成果做簡單的介紹：

(一) 在遙測領域，除一般所知之航照、衛星影像之判識，地質水文研究所已熟悉利用空間雷達干涉測量、干涉差分合成孔徑雷達(DInSAR)進行地面變形量之分析，如圖 2.4.1 所示，同時該所亦使用衛星遙測技術估算土壤含水量並建立降雨量估算系統（SM2RAIN），如圖 2.4.2。

(二) 地面監測方面，除導入測站物聯網之概念，另發展新形態之攝影監測，例如大尺度粒子圖像測速(LSPIV，可用來監測土石流之流速)，如圖 2.4.3，光纖傳感器監測、高分辨率光學監測系統(high-resolution optical-based system)等。

(三) 現有預警系統包括，洪水預警、崩塌預警系統(SANF)，並使用微地震偵測器(ALMOND-F) 作為土石流預警監測預警系統，如圖 2.4.4 所示。

(四) 為使公民對於災防知識之普及，地質水文所開發群眾製圖系統(crowd-sourced mappers)(E-TECH)，期許未來能增進公民參與；另外，架設管理 POLARIS 資訊網頁，加強公民資訊教育。

(五) 研究所蒐集歷史檔案包含古地圖、文獻等，瞭解研究區域崩塌或洪水災害歷史、災損狀態和當時地質水文災害的對策，圖 2.4.5 所示。

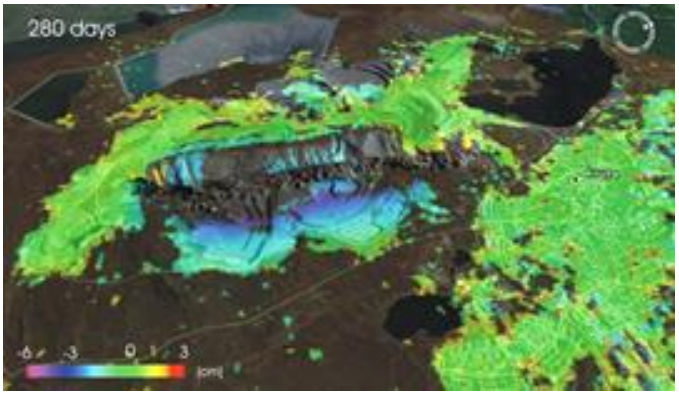


圖 2.4.1 遙測 DInSAR 進行地面變形量之分析示意圖(IRPI)

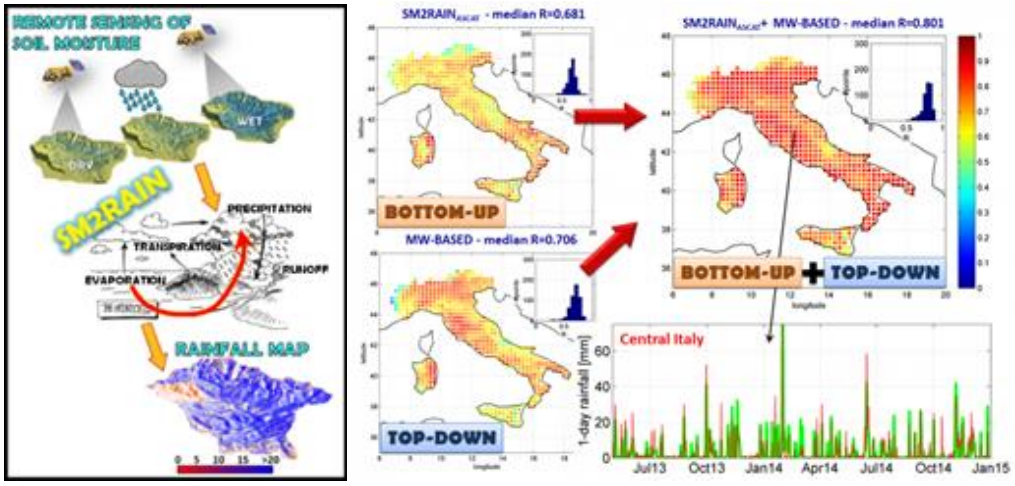


圖 2.4.2 遙測衛星估算土壤含水量並建立降雨量估算系統（SM2RAIN）(IRPI)

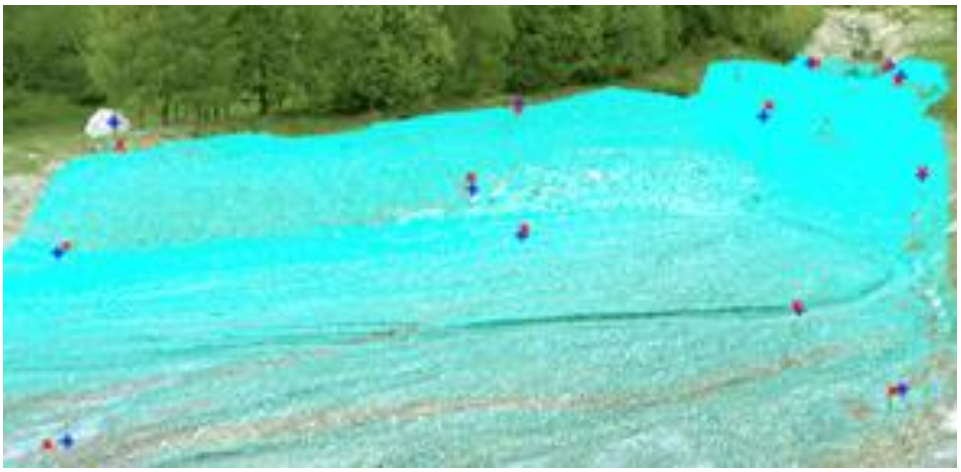


圖 2.4.3 LSPIV 大尺度粒子圖像土石流測速 (IRPI)



圖 2.4.4 微地震偵測器應用於土石流預警監測 (ALMOND-F) (IRPI)



圖 2.4.5 歷史區域崩塌和和洪水研究(IRPI)

第五節 奧地利聯邦野溪及雪崩防治局

奧地利聯邦野溪及雪崩防治局(Service of Torrent and Avalanche Control，以下簡稱防治局) ，隸屬於奧地利聯邦農林環境及水資源經營部(Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment, and Water Management)下之森林部(Forestry)。防治局負責執行危險區劃定、整體治理計畫及施工等工作，其下另有三個獨立的研究群，分別負責地理資訊系統及數值模擬、雪與雪崩觀測及地質研究等工作，圖 2.5.1 所示。

在科技發展趨於高成本和耗時的狀態下，單一機構往往無法獨力發展，因此，防治局相當重視民間與私人企業之交流合作，其重要的合作機構包括，再生資源與應用生命科學學院、維也納科技大學、聯邦辦事處和森林研究中心、聯邦地質機構、奧地利聯邦環境局、因斯布魯克大學等重要研究單位及學術機構。

奧地利野溪及雪崩防治局為達成有效保護及防治天然災害，需即時掌握該領域最新先進之科技與知識，其主要研究領域包含危險警戒區研究與劃定、永積雪之穩定工程、暴雨之河川土砂管理、雪崩模擬等。近期防治局在野溪、雪崩及侵蝕控制之技術科技發展主要擬訂幾個重要領域：

(一) 雪崩、泥流、洪水、落石、邊坡等數值模擬，圖 2.5.2。

(二) 危險區域之長期發展，圖 2.5.3。

(三) 為了觀測和提前預警之測量設備、河道集水區或量體位移之監測系統。

(四) 遙測技術發展與應用，包括雷射掃描、航空遙測、地球科學等。

(五) 生態兼容、永續發展之保護系統，圖 2.5.4。

(六) 發展並實施民眾參與之方法。

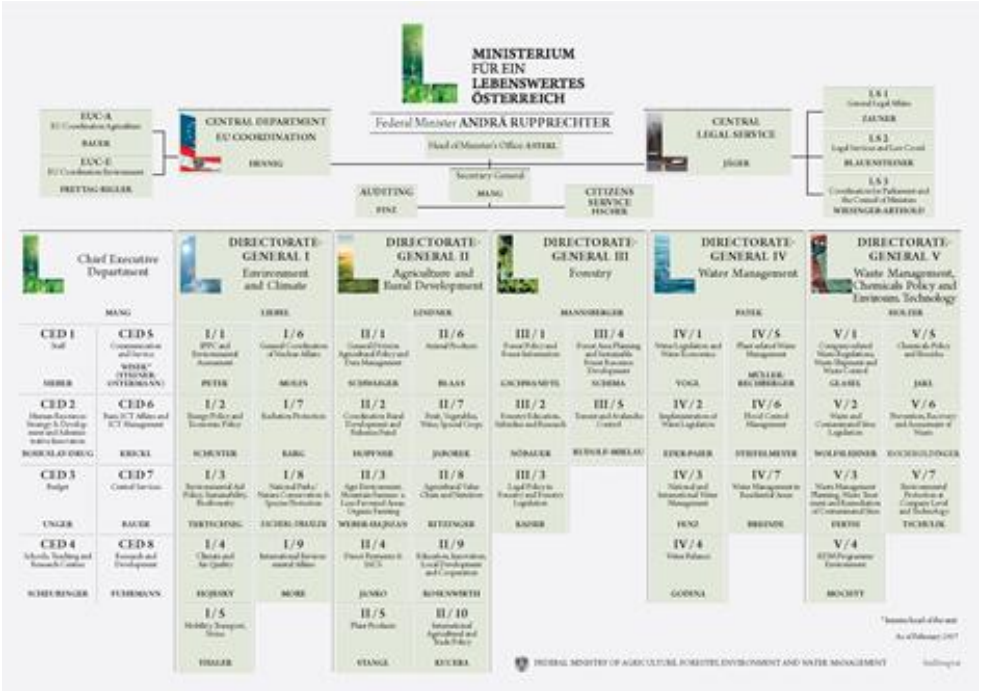


圖 2.5.1 奧地利農林環境及水資源經營部組織架構圖(防治局，2017)

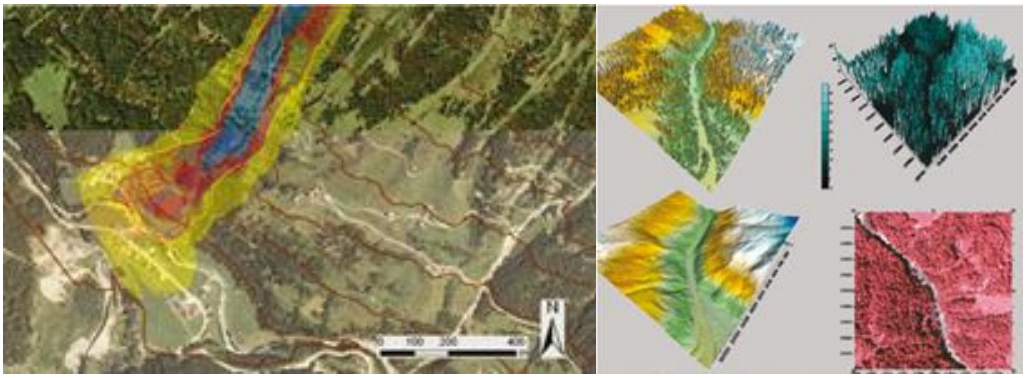


圖 2.5.2 邊坡數值模擬示意圖(防治局)



圖 2.5.3 危險區地圖劃設示意圖(防治局)



圖 2.5.4 工程保護落石金屬防護網示意圖(防治局)

第六節 中國大陸水利部成都山地災害與環境研究所

中國科學院-水利部成都山地災害與環境研究所(簡稱成都山地所)，係由 1965 年成立的中國科學院地理研究所西南地理研究室所發展而來，其組織架構圖如圖 2.6.1 所示，主要分為管理系統、研究系統及支撐與服務系統三大系統。此研究所於 1966 年 2 月改名為中國科學院地理研究所西南分所，1978 年更名為中國科學院成都地理研究所，1989 年改隸屬於中國科學院和水利部，並更名為目前的名稱，後於 2002 年 4 月更納入中國科學院知識創新工程。

成都山地所主要研究領域是以山地災害、山地環境和山區永續發展為基本定位，致力於「增強山地災害防禦能力、保障山區生態安全和促進社會經濟發展」等目標，為此提供科學上的依據及技術上的支持。

成都山地所致力於提高山地災害防災減災科技水準，並服務西部山區經濟建設和工程實踐，主要研究方向可分為「區域研究」、「山地災害危險性評估和風險分析」、「山地災害防治理論與技術」，以及「山地災害防治技術推廣服務」等四大主軸，簡述如下：

(一) 區域研究：進行山地災害危險度規劃及典型山地災害的調查和緊急調查。

(二) 山地災害危險性評估和風險分析：山地災害是山區基本建設面臨的重要問題，特別是災害危險性評估工作量大，市場前景廣闊。結合生產任務，逐步研究並完善符合國情的災害評估標準和技術方法，進行風險分析的理論研究工作。

(三) 山地災害防治理論與技術：預防和減輕災害是研究災害的根本目標，通過科學研究和工程實踐，初步建立山地災害的減災理論體系，解決一些關鍵的減災和防災技術，滿足國家經濟建設需求。

(四) 山地災害防治技術推廣服務：積極參與山地災害防治手冊、防治技術標準、以及規範等的編寫，並加強專利申請、推廣專利技術應用和產業化。

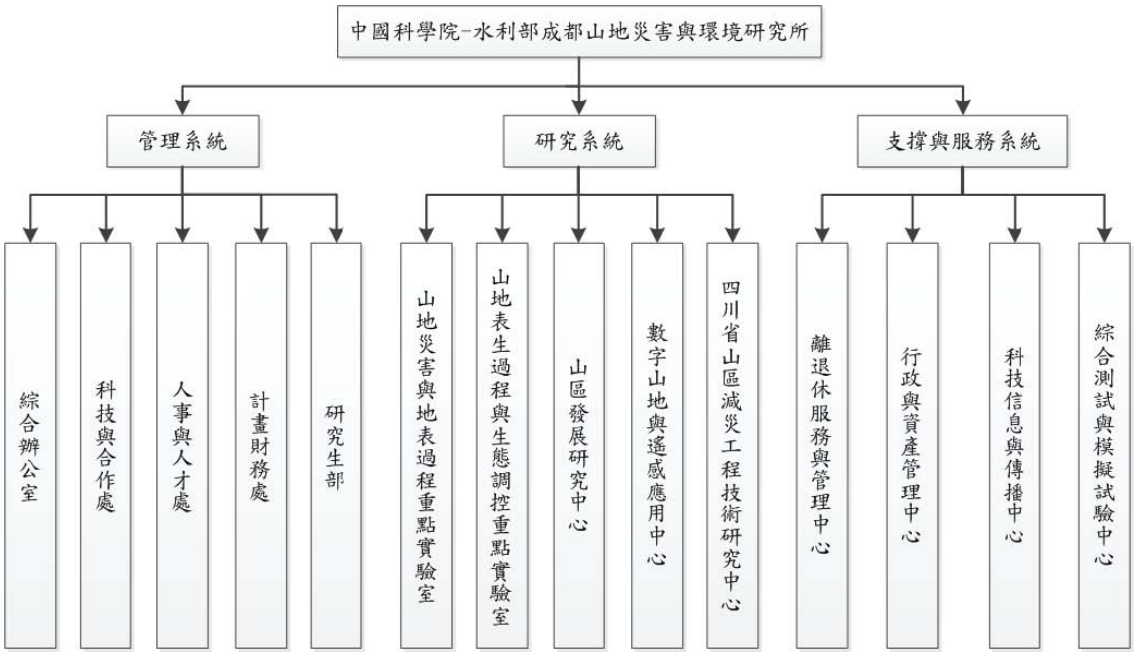


圖 2.6.1 中國科學院水利部成都山地災害與環境研究所組織架構圖

(成都山地所)

近年來，「山地所」提出「主河道輸移控制型」土石流防治原理，並開發從攔擋、排導到停淤的一系列土石流防治新型工程結構，以及演算參數確定的新方法，獲得國家發明專利 9 項授權。

同時，也針對汶川地震產生的堰塞湖出流量超過下游防護能力之問題，提出人工可控制堰塞湖排洩的應急處置方法，並研發堰塞湖控流的新結構型態，獲得國家發明專利 2 項授權。山地所亦執行了一系列山地災害工程防治示範案例，其中，重要關鍵示範案例為都汶路老虎嘴堰塞湖處置工程、金川縣卡撒溝土石流綜合治理工程、綿竹小崗劍土石流治理工程等，並依此相關研究及成果，編撰為「滑坡土石流預警技術規範」。

第七節　經濟部中央地質調查所

中央地質調查所為經濟部所屬之專門技術且兼具科技應用性的單位，國家經濟建設及礦產資源開發均與其業務具密切之關連。自民國成立以來，即設有全國性之中央地質調查所，隸屬經濟部；初期調查所位在南京，國民政府遷臺時，該所未能及時遷臺，而臺灣地區之地質工作，則由臺灣省地質調查所執行。鑑於國家資源開發與經建工作之需要，於民國 67 年 11 月 20 日成立本所，同時裁併臺灣省地質調查所，以集中人才有效發揮地質調查機構之應有功能，並陸續建立全國性各項基本地質資料，提供國家各項建設之依據。地質調查所之組織，除人事行政組別外，依專業技術屬性共分為綜合企劃組、區域地質組、構造與地震地質組、資源地質組、環境與工程地質組以及地質資料組等 6 個專業業務組別，如圖 2.7.1 所示。

該所每一年度執行之工作項目係以建全地質資訊，提供國土開發、保育及防災之應用為目標，進行整體規劃與微調，如表 2.7.1(a)、表 2.7.1(b)所示，依計畫類別區分為經濟發展、公共建設、社會發展、科技發展等四大類，其中包含具延續性之中長期計畫目標與階段性重要項目，共列 13 項重要計畫項目。

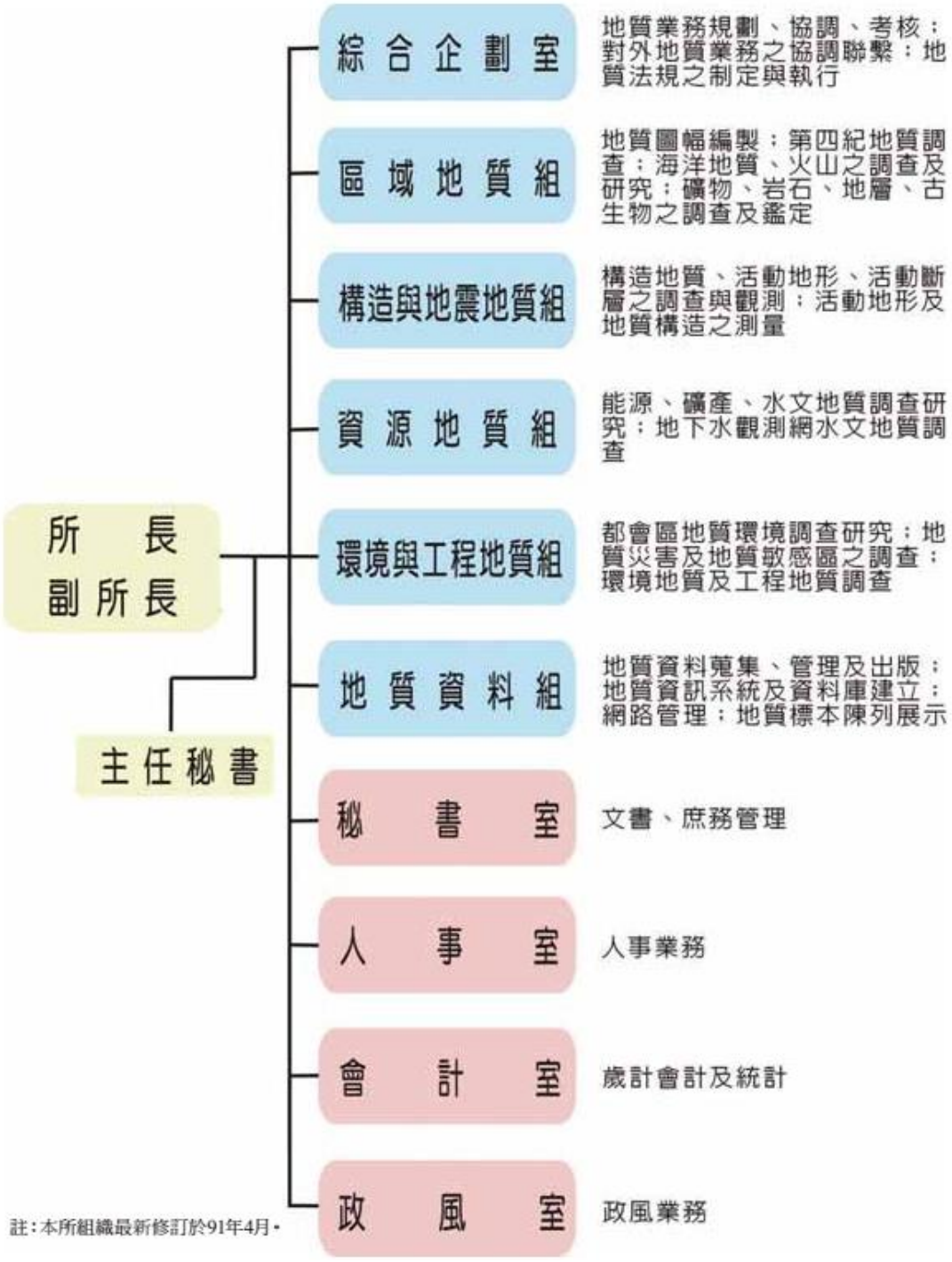


圖 2.7.1 中央地質調查所組織架構及專業領域示意圖(地質調查所)

表 2.7.1(a) 104 年度中央地質調查所計畫執行預定目標彙整表

項次	重要計畫項目	計畫類別	實施內容	
01	基本地質調查 5926901000-01	經濟發展	區域地質調查	1. 新版與再版地質圖幅調查測製。 2. 圖幅與說明書稿之審查與出版。 3. 離島地區地質調查。 4. 高山地區地質圖調查測製。
			地質資料建置與維護	進行地質資料建置與管理，成果出版、標本陳列及資訊環境建立與維護。
			業務發展規劃與管理	1. 辦理施政計畫彙編管理及考核。 2. 辦理地質法及法制作業及推廣。 3. 辦理國會聯絡及新聞輿情。 4. 辦理地質調查業務綜合規劃及推動。
			建構完善的地質知識服務網絡	以臺灣的地質知識為範圍，融合知識經濟及產業行銷概念，實施建構完善的地質知識網絡之策略，希望在政府強調國土保育、永續發展的願景下，透過多元的傳播方式，將地質知識傳達給團體及個人應用，提昇為民服務的效能，並提高國民地質認知，減低地質災害風險，逐步達到安適家園目標。
02	地質圖資建置及整合供應計畫 5926901000-02	公共建設	配合國家地理資訊系統推動發展，進行地質倉儲系統開發與擴建空間基礎資料，辦理及落實數值圖資流通與系統應用推廣，協助中央及地方政府應用地質倉儲提升施政績效與決策品質，提供國土規劃、國土復育、國土保安、國土監測及防救災應用之所需。	
03	地質敏感區劃定審議及查核 5926901000-03	經濟發展	1. 辦理地質敏感區計畫書審查及相關專業培訓與服務。 2. 辦理地質敏感區調查事宜。 3. 辦理地質資料及知識諮詢推廣服務。 4.執行地質資料蒐集管理及地質圖資公告查詢資料建檔相關業務。	
04	國土保育地質敏感區調查分析計畫 5926901000-04	公共建設	辦理非莫拉克災區之高解析度數值地形製作、地質敏感區劃設、地質特性與地形分析、地質災害潛勢分析與山區聚落之地質安全評估，建立國土保育的指標資料，達到國土永續利用的目標。	
05	都市防災地質圖測勘發展計畫二期 5926901000-05	社會發展	1. 都會區地下地質資訊建立，評估都會區地質災害潛勢。 2. 更新都會區周緣坡地環境地質基本資料。 3. 編製都會區及周緣坡地防災地質圖。 4. 開發防災地質圖網路查詢應用系統。	
06	臺灣北部火山活動觀測研究 5226904000-01	科技發展	1. 火山地區火山氣體溫泉地球化學及地溫監測。 2. 臺灣北部火山活動地區密集陣列觀測研究。 3. 臺灣北部陸海域地區空中磁力探測。	

表 2.7.1(b) 104 年度中央地質調查所計畫執行預定目標彙整表

項次	重要計畫項目	計畫類別	實施內容
07	天然氣水合物資源潛能調查 5226904000-02	科技發展	1. 西南海域與南部海域擇區實施多頻道反射震測等調查。 2. 西南海域擇區進行多音束聲納測深及底拖側掃聲納調查。 3. 南部海域擇區實施岩心採集與分析。 4. 天然氣水合物熱力學與動力學性質之試驗與模擬。 5. 資料庫建置與國際交流。
08	斷層活動性觀測研究第三階段 5226904000-03	科技發展	1. 斷層活動性之整合觀測研究。 2. 斷層活動潛勢分析。 3. 全球衛星定位系統(GPS)觀測點定期測量。 4. 全球衛星定位系統(GPS)等既有連續觀測站維護及新站設置。
09	地下水水文地質與補注模式研究 5226904000-04	科技發展	1. 進行水文地質鑽探及抽水試驗。 2. 地下水區地球物理補充調查。 3. 地下水區地球化學補充調查。 4. 地下水補注區評估。
10	地質雲網開發及應用 5226904000-0	科技發展	配合行政院研考會「第四階段電子化政府」計畫推動，研修並完成地質資訊雲網相關介接資料格式標準、利用先進網路通訊、空間資訊與管理資訊技術，橫向結合地質資訊雲網基礎環境，布建國家級地質資料處理中心架構、擴大推廣地質圖資整合訊息並口語化專業成果，提供最新地質資訊與教育訓練，協助各政府相關單位決策分析，並支援發展數位內容、雲端服務及行動生活等，以及政府防救災、國土規劃、國土復育等整合性業務發展，提升電子化業務行政效率。
11	臺灣南段山區地下水資源調查 5226904000-06	科技發展	1. 山區岩層水力特性調查與地下水位觀測。 2. 山區水文地質調查與圖幅繪編。 3. 山區地下水資源調查與評估。 4. 山區水文地質資料庫建置。
12	重要活動斷層構造特性調查二期 5226904000-07	科技發展	1. 調查活動斷層近地表構造特性。 2. 攝製與分析近斷層高精度影像。 3. 分析與評估斷層滑移特性。 4. 彙整與加值應用活動斷層資料。
13	山崩潛勢評估與觀測技術防災應用 5226904000-08	科技發展	1. 防災導向的區域性山崩潛勢分析模式精進。 2. 分年分區更新環境地質因子及建置山崩目錄。 3. 山崩災害調查、機制分析及潛勢評估。 4. 前瞻觀測技術於危險聚落的防災應用。 5. 研發動態即時雨量解析坡地災害警戒及展示技術。

第八節　經濟部水利署

經濟部水利署，主管台灣地區水利工程及水利行政業務，掌理台灣地區水政、防洪、灌溉、排水及水利勘測等業務。署內設置綜合企劃、水文技術、水源經營、河川海岸、保育事業、工程事務、水利行政、土地管理八組，以及水利防災中心、河川勘測隊，主掌其外務與內務工作。署之下設水利規劃試驗所、十個河川局、三個水資源局、臺北水源特定區管理局，並負責全國水利事業之水區保育、治理、管理、調查、試驗、研究及規劃事項。水利署除以上單位組織外，更與學界有密切的交流並共同設立合作研究中心，合作機構包含台北科技大學水環境研究中心、國立成功大學地層下陷防治服務團、淡江大學水資源管理與政策研究中心、國立交通大學防災工程研究中心、國立海洋大學近海防災科技研究中心、雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心、國立高雄第一科技大學水資源保育及發展中心等技術研究中心，圖 2.8.1 所示。

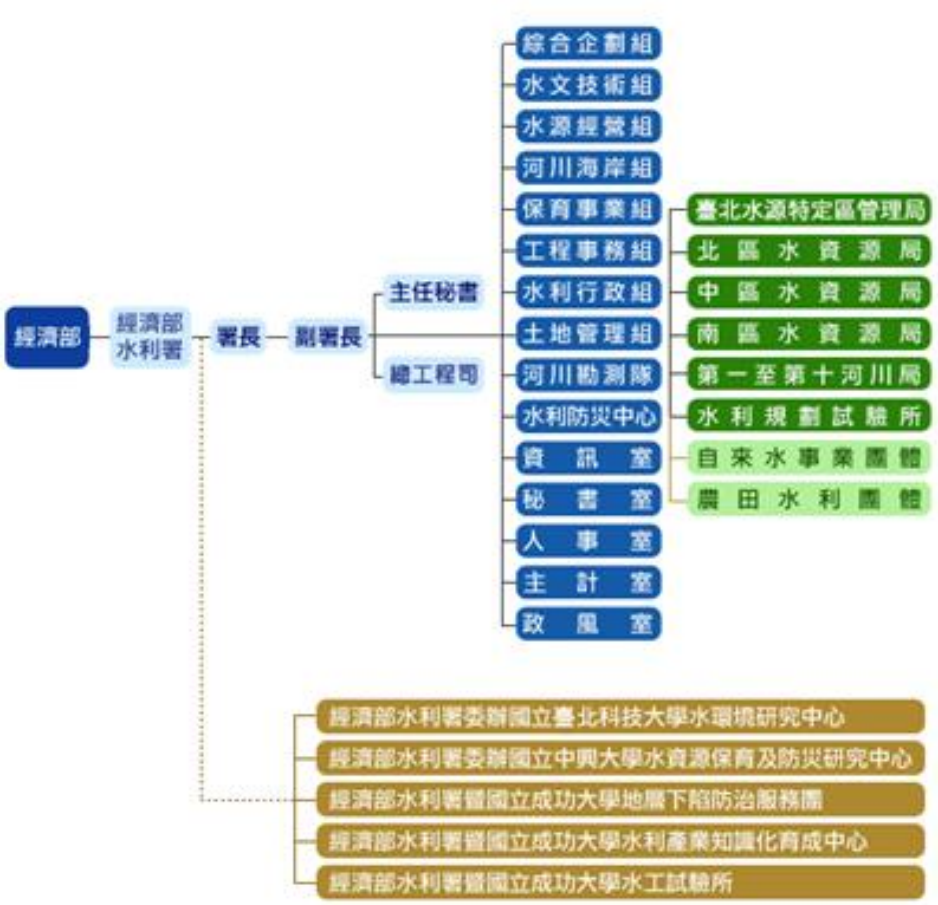


圖 2.8.1 水利署組織圖(水利署)

近年來，水利署每年均辦理計畫成果發表會，內容為當年度水資源科技發展與新技術研發之成果，包括流域綜合治理、水文觀測技術、地下水監測、防災警戒通訊、資訊開放、民眾參與等。以下介紹水利署近期(104 年度委辦計畫成果發表會論文集，2015)與水土保持相關之科學與技術發展成果，作一簡要介紹：

一、監測技術應用

(一) CCTV 即時全景監測技術與歷史災害影像之蒐集。

(二) TDR 時域反射法之自動化泥砂觀測研究，建置含砂濃度測量平台，圖 2.8.2。

(三) 多元監測系統包含 GPS、水準測量、地陷監測井，圖 2.8.3。

(四) 銅纜淹水感測器。

(五) 溫泉監測井網等。

二、水文地質及水理分析研究

水理分析方法從二維的水理分析推演至三維分析模式，除此之外，亦開始建立地表下之三維水文地質模型。

三、民眾參與領域

為推廣民眾參與和對自身環境之認同，水利署推廣跨域整合的構想，並評估跨域應用加值之可行性，利用智慧水尺搭配影像辨識系統，促使民眾參與預警防災機制之回饋與教育，圖 2.8.4。

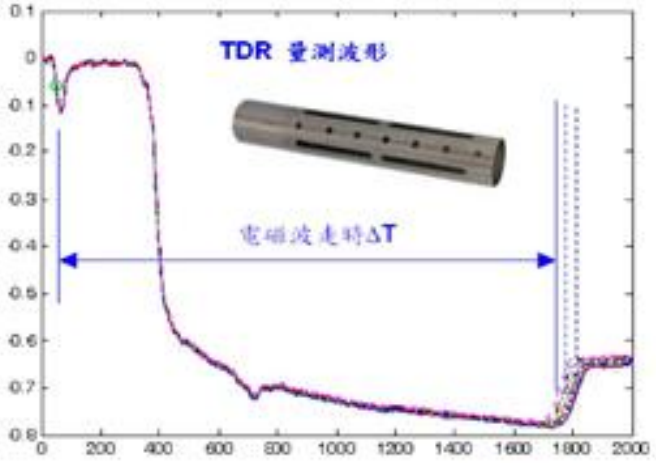


圖 2.8.2 TDR 含砂濃度感測器與量測典型波形(水利署，2015)

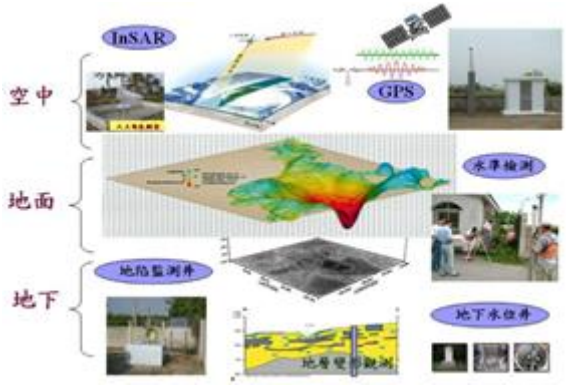


圖 2.8.3 多元化監測系統(水利署，2015)

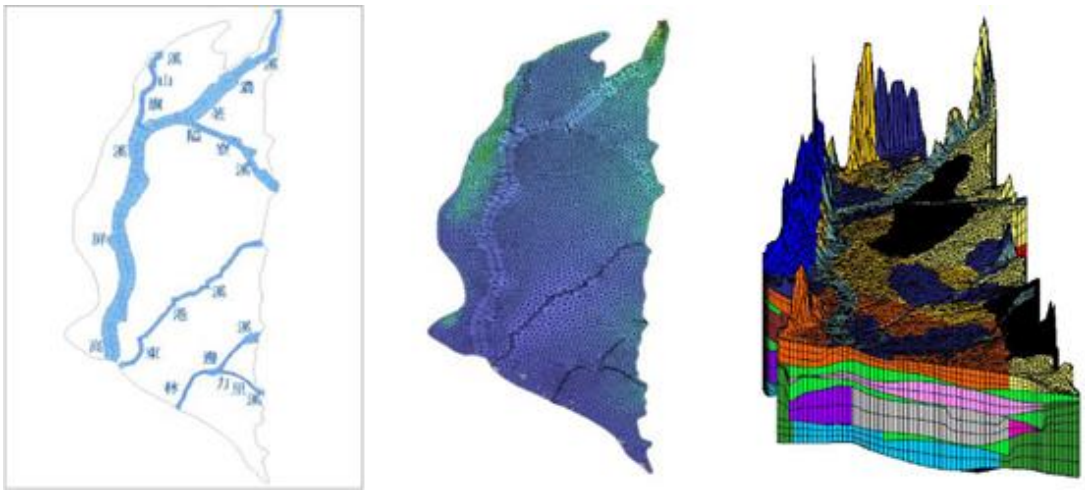


圖 2.8.4 一維河道、二維地表、三維地下模型(水利署，2015)



圖 2.8.5 智慧水尺佈設示意圖(水利署，2015)

第九節　國家災害防救科技中心

國家災害防救科技中心(National Science and Technology Center, NCDR)其任務為：提供中央災害防救會報及中央災害防救委員會，有關災害防救工作之相關諮詢；同時，配合國家災害防救之需求，推動相關科技研發之工作，並藉由科學方法與研發成果之移轉與應用的落實，提高國家災害防救之實務作業效率與能力。

此外，國家災害防救科技中心亦肩負針對防災與減災科技之新技術、新形態的應用模組進行研發規劃，並落實其研究成果，於災害發生後之應變期，參與應變作業支援並提供專業諮詢；同時，於災後復建期協助科學勘災與提出對策及建議。

此外，依據「國家災害防救科技中心設置條例」，該中心之業務範圍如下，

(一) 推動與執行防救災科技之研發、整合加值事宜

(二) 推動防救災科技研發成果之落實與應用

(三) 運用災害防救相關技術，協助、支援災害防救工

(四) 促進災害防救科技之國際合作及交流

(五) 協助大專院校、研究機構參與災害防救科技之研究發展及其應用

(六) 其他與防救災科技相關之業務

如上所述，國家災害防救科技中心因其屬性與組織特色，同時，衡量國內外單位對整體防災工作推動之需求，將朝向學術界與實務應用的重要平台努力， 其組織編制如圖 2.9.1 所示，依專業屬性與技術劃分為氣象組、坡地與洪旱組、體系與社經組、地震與人文災害組、災防資訊組以及行政類組別。

近年來國家災害防救科技中心也持續針對基礎資訊進行蒐集與建置，為了掌握災中應變之掌握程度，該中心也持續與各部會屬進行交流，在成果加值、落實與應用上都有更進一步的提升，並針對坡地與洪旱等氣候議題持續研發，如「坡地土砂災害衝擊評估」、「坡地災害預警物理模式建置」、「全流域整合溢淹模式之開發與建置」到「颱洪災害預警展示平台之建置」等。這些歷年重點成果也朝著坡地災害預警技術與情境分析、坡地土砂複合型災害評估技術、坡地災害

潛勢地圖、風險地圖評估與建置，以及坡地災害防治政策推動與落實等面向邁進。此外，近幾年推動的「災害防救應用服務平台」與「共通示警協議與災害示警公開資料平台」除了功能的開發、標準格式的訂定，同時也因應未來科技的日新月異，提升資訊與防災的整合效益，強化防災資料加值與共享，建立可伸縮性、彈性較大的系統以因應不同可能的災害發生時，使用者可以即時獲取所需的資訊，達到智慧防災的願景。

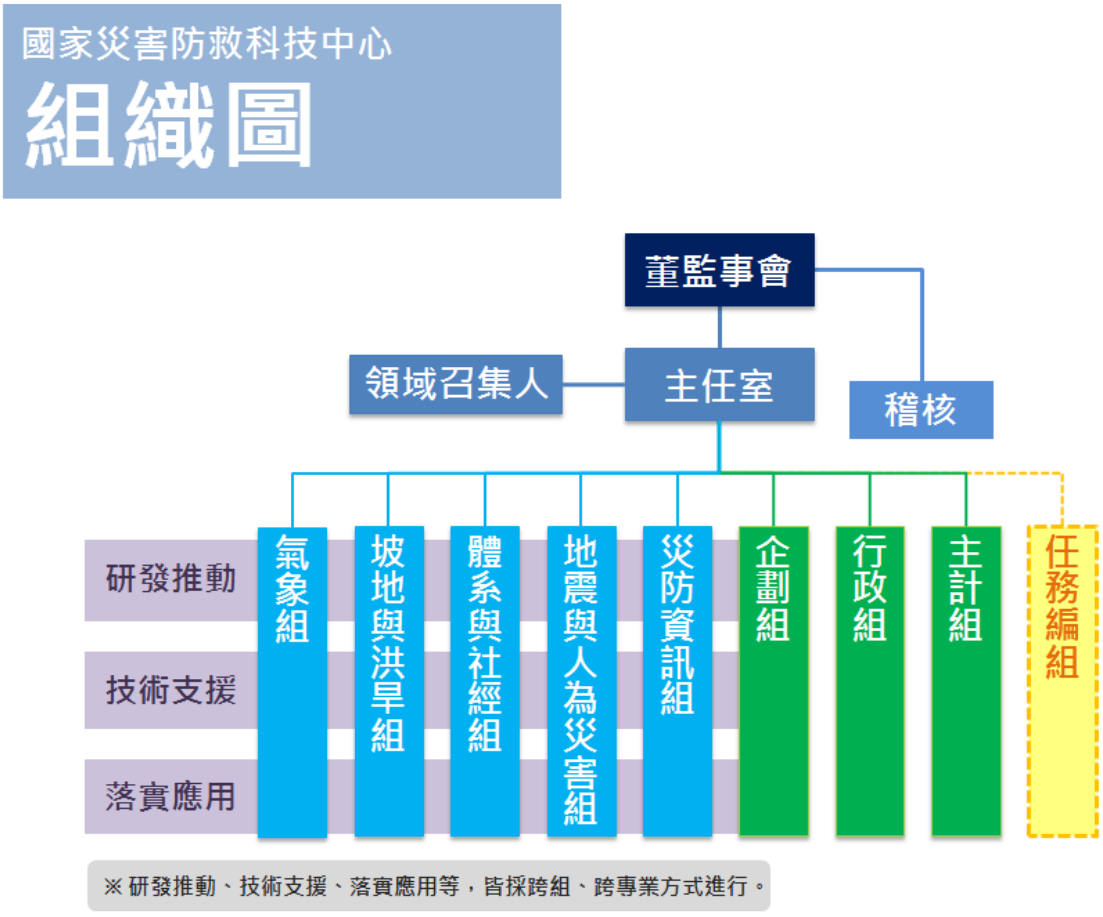


圖 2.9.1 國家災害防救科技中心組織示意圖(NCDR)

第三章　研究與技術發展趨勢

第一節　工程技術發展

隨著經濟發展、科技進步，民眾對環境的要求日益提昇，加上人口老化使得勞動力逐年下降等因素，如何提高施工效率及改善工程品質之設計、管理、工法、機具、材料等「營建自動化」技術，成為國內外共同的趨勢。其中「營建自動化」技術包括： 建築資訊模型(BIM)、虛擬與擴充實境模擬(AR&VR)、機具自動化、工程材料智慧化、自動化監控系統、大數據分析、資訊科技創新應用、制定設施維護管理之制度與規範等，以下針對上述相關技術進行說明。

一、建築資訊模型 (Building Information Modeling,BIM)

「建築資訊模型」發展初期僅著眼於數位化 3D 產品資訊模型為導向之營建管理技術，但是隨著相關技術的演替，BIM 已加入資訊及管理元素，因此現今的 BIM model 泛指「各種以數位化 3D 建築與土木產品資訊之建構、管理與應用為基礎之相關技術」，其內容包括產品資訊模型之建構與展現技術、數位物件化模型及其相關屬性資訊之全生命週期管理與應用等。透過這些技術，得以在數位虛擬空間中提前模擬營建生命週期中的各項活動，並以視覺化方式呈現給所有參與者，達到更好的溝通協調與資訊的一致性，以台灣世曦工程顧問股份有限公司施作之「3D 視覺化工程設計方法導入─應用 Civil 3D 於土木工程之同步實作」為說明案例。

(一) 導入水利工程之實作應用

以中部科學工業園區台中基地開發工程案為例，為符合農田水利會清淤工作之需求，考量既有灌溉溝渠多已損壞須進行改善，以對既有設施變動最小為原則，進行改善工程設計。期望藉由軟體操作快速產生地形、橫縱斷面設計、廊道模型、渠道與週邊地形之模擬等功能，如圖 3.1.1 與業主進行討論後快速調整及施作。

(二) 導入大地工程中之實作應用

以莫拉克風災 159 甲線、162 甲線及 169 線 6k+600~7k+100 等 24 處災害修復工程為例。由於縣道 162 甲線於里程 42k+800 處邊坡坍方，該路段山高谷深坡度甚陡，依地形條件無法施作路

堤，且縣道 162 甲線自 41k+480 到 44k 路段兩側為次生林之山坡，並無住戶或橫交道路連接，因此，規劃於 41k+480 至 44k+180 以隧道方案截彎取直。設計團隊期望藉由導入 BIM 專案實作達成下列目標：三維度地質空間模型之建立、主隧道與橫交隧道之立體模型建立、隧道洞口邊坡修整之設計、數量計算及立體模型呈現、隧道 3D 動畫製作、整地、土方計算，如圖 3.1.2、圖 3.1.3 所示。

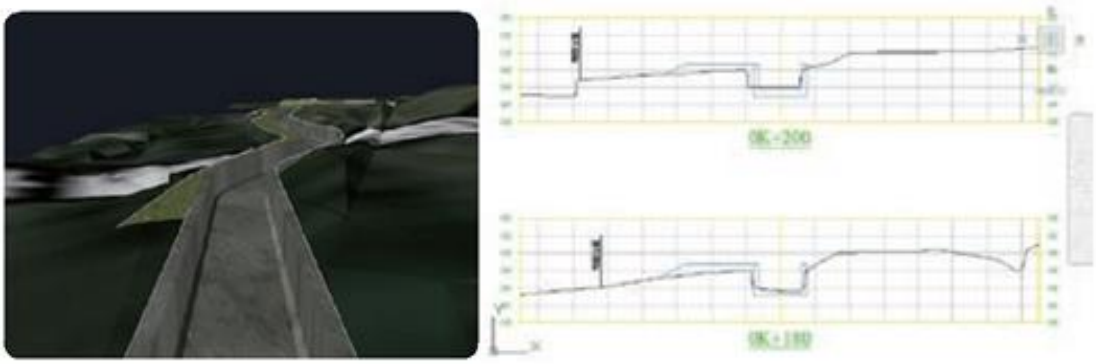


圖 3.1.1 地形、設計縱坡及組合斷面產生 3D 廊道及溝渠橫斷面示意

(周坤賢等人，2010)



圖 3.1.2 設計前後成果展繪在 Google Earth 影像示意圖

(周坤賢等人，2010)

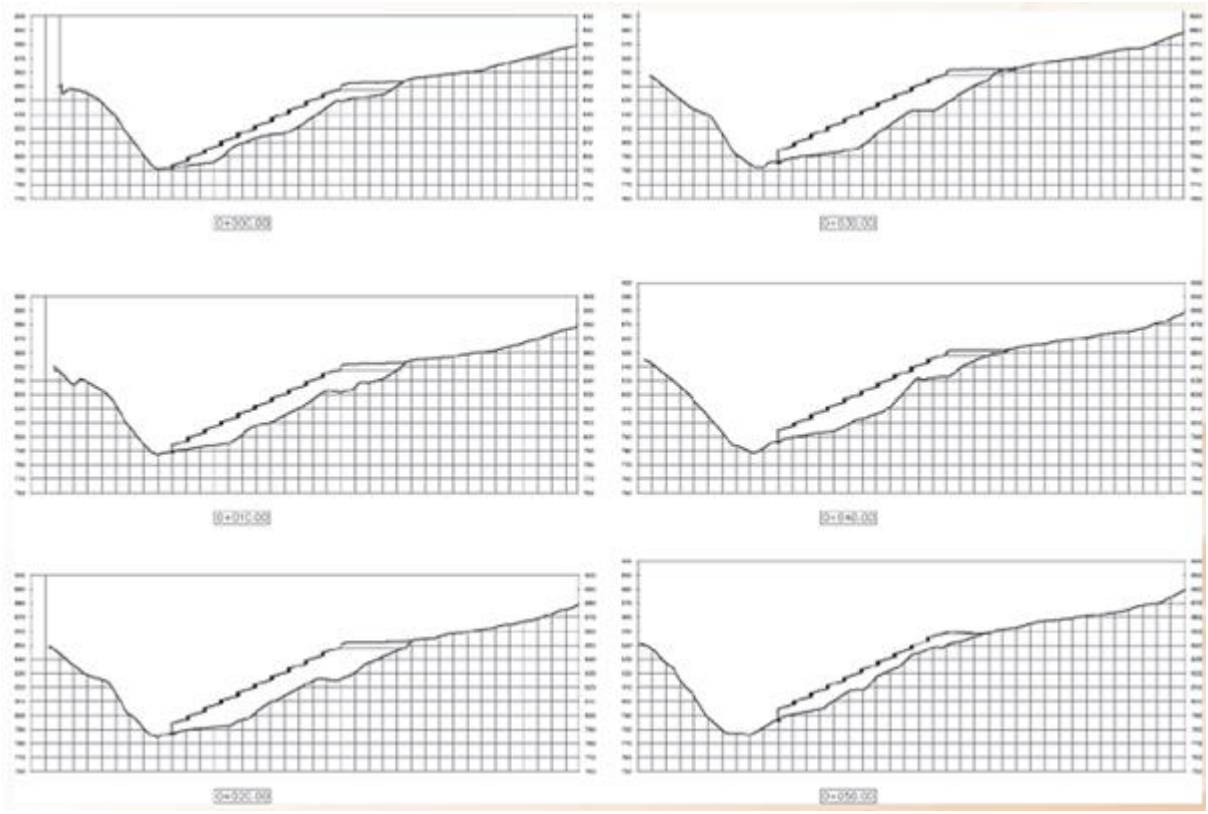


圖 3.1.3 視覺化填土工程模擬示意圖(周坤賢等人，2010)

如上所述，在本案水土保持工程中，挖填土石方可區分為道路修坡挖填方、排水工程挖填方以及整地挖填方等三大類。依據水土保持技術規範第 77 條規定，挖填土石方應避免大斷面開挖或填土，並力求挖填平衡，以減少餘土及借土數量，且依第 89 條，開挖整地應依基地原有地形及地貌，以減低開發度之原則進行規劃，利用 BIM 軟體進行事前規劃，有助於精準的劃定挖填方界限與型式。

二、營建管理自動化

營建管理係指透過科學方法，將營建工程專案生命週期中之參與人員有效的組織起來，以減少勞力之需求、縮短工期及降低成本，而營建管理自動化可定義為結合管理科學及資訊系統(Management Information System, MIS)、決策支援系統(Decision Support System, DSS)、人工智慧(Artificial Intelligence ,AI)、地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)、多媒體等相關技術，透過合理化、標準化的程序，檢討工作方法與工具間的互動關係，以提升營建生產之效能。

隨著資訊科技演進與網際網路普及，工程資訊應用思維已由過去偏重被動性的資料蒐集傳遞，轉化為增進溝通互動與提昇應變能力的

動態服務，以下利用「國道 1 號五股至楊梅段拓寬工程」之「工程執行管控追蹤系統」資訊平台為例，說明如何有效地運用資訊技術將工程資訊緊密連結與快速彙整，促使縮短工地資訊回傳時間，同時，管理階層可透過網路遠距瞭解施工進展，迅速掌握工程執行，以帶動工程品質及績效提昇。

系統控管之重點資訊包括「計畫書送審進度列管」、「待辦事項追蹤」、「掌握施工現況」及「施工紀錄留存」等四大主軸應用，並假設使用對象涵蓋工程機關督導長官、設計/監造單位及各標施工廠商等人員，不同身份各有不同之功能操作及資料瀏覽權限，如圖 3.1.4 所示。

其中，系統介面使用簡易之表單操作以及主動寄發電子郵件提醒權責單位回報處理情形等，對於掌握施工現況方面透過影像管理系統，列管施工照片以及工地 CCTV 即時影像連結，如圖 3.1.5 所示。針對工地緊急事件應變處理，系統建立主動訊息通知及資訊快速彙整機制，以提供現場人員能即時取得各權責單位連絡人資訊或緊急處理之應注意事項，並能快速通報事件之現況說明及相片影像情境假設，如圖 3.1.6 所示。

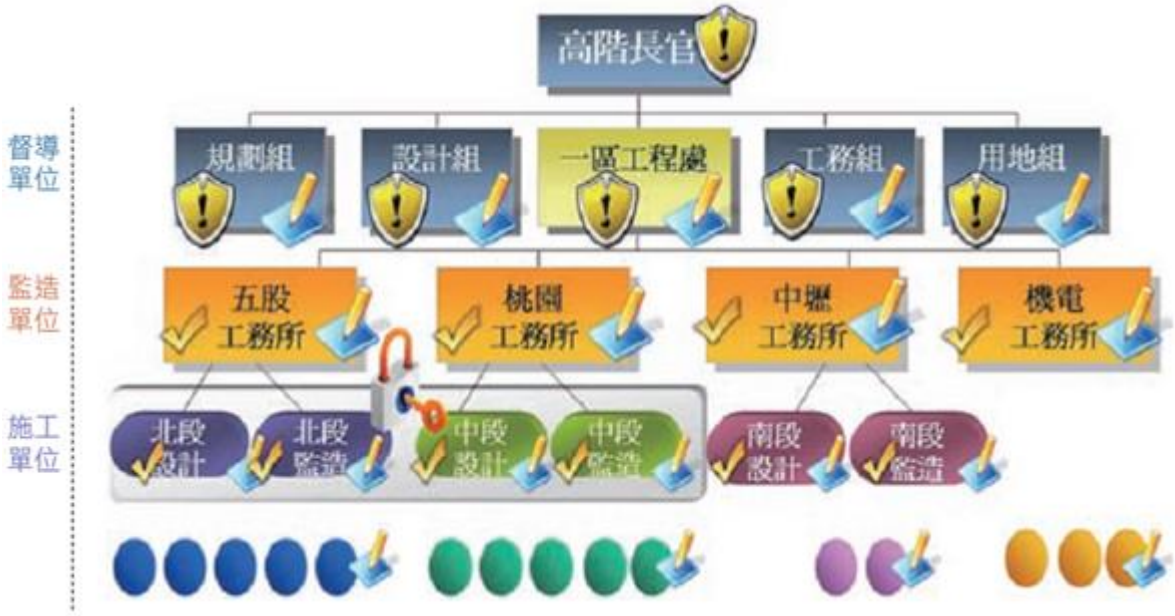


圖 3.1.4 系統使用權限分層管理機制示意圖(廖肇昌等人，2010)



圖 3.1.5 工地施工影像管理系統示意圖(廖肇昌等人，2010)

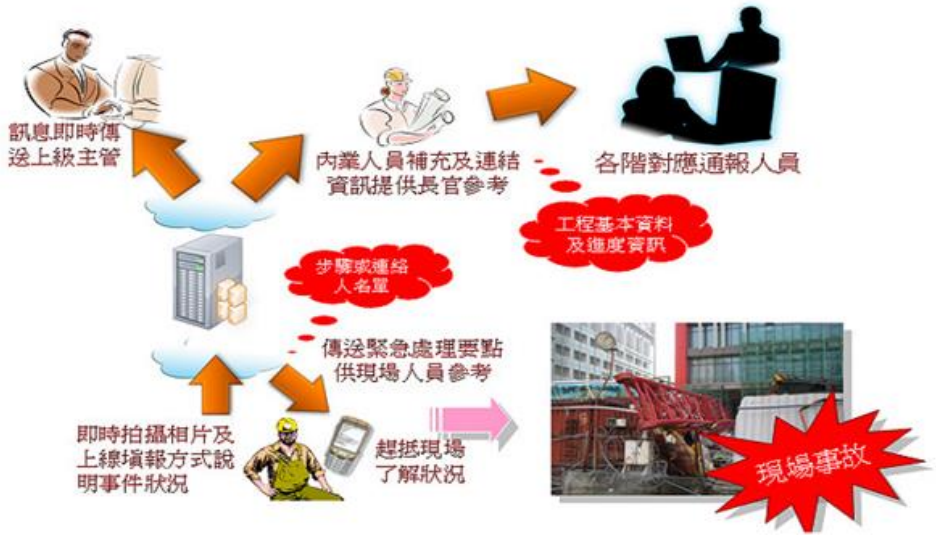


圖 3.1.6 系統設定緊急事件應變管理機制(廖肇昌等人，2010)

三、工程本質安全

降低職業安全風險已為公共工程品質重要的一環，本局所辦理的水土保持工程及農村再生工程數量頗多，為了營造安全的工作環境，善盡照顧勞工之職責，近年來持續推動局內工程人員職業安全衛生訓練、強化職安規範外，也積極參與勞動部所主辦的公共工程金安獎，期望藉由參賽之經驗，落實相關職業安全管理、提升工安管理文化及標準化作業程序，達到預防職業災害之目的。

工程安全衛生管理，可分為本質安全、過程安全、防護安全等三要素，如圖 3.1.7，分述如下：

(一) 工程設計之安全性—本質安全：辨識工程功能需求及基地施工環境危害，妥研設計方案，搭配適當施工安全規範、預算與工期。

(二) 施工安全衛生管理—過程安全：依據法規及相關規範訂定施工計畫、設置管理系統以控制、管理施工「過程」之安全。

(三) 安全衛生設施設置—防護安全：設置適當機械設備防護設施，要求作業人員佩戴必要之防護具，作業場所設置安全防護及警告設施，危險及有害物質做好存放、取用管理，並予適當標示，以將風險予以「隔離」。

此三者必須互相搭配以形成完整之安全防護效能，然許多人對於安全衛生風險管理的認知，大多著眼於施工安全衛生管理及安全衛生設施設置，對於工程本質安全的重視較為不足，建議可於規劃過程先就所研擬之可行工程方案進行比較評選，將「安全」納入評選要項，同時針對選出之方案初步分析可能之危害狀況，摘記其要點，供後續設計人員參照辦理，具體落實職業安全管理、提昇公共工程品質。表 3.1.1 為勞動部推動職業安全衛生優良公共工程選拔之評審表，其中工程主辦機關於施工安全風險管理部份，有關設計階段之施工安全風險評估即為首項重點。以水土保持局南投分局於 105 年該項選拔獲得優等獎之「中心崙崩塌地排水整治工程」為例，該項工程於設計階段即參考勞動職業安全衛生署所研訂的「風險評估技術指引」，辨識和瞭解工作環境及作業活動過程可能出現的危害，並確保這些危害對作業勞工的風險已受到評估及處理，並控制在可接受的程度。

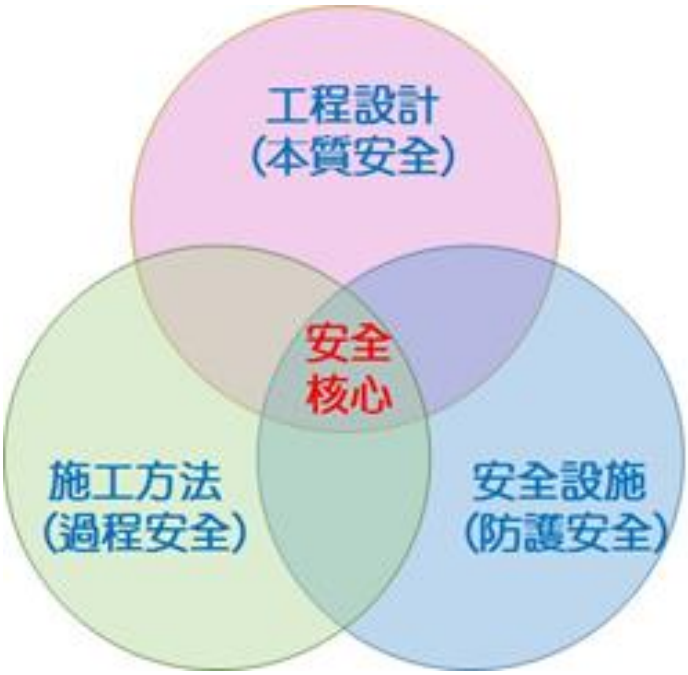


圖 3.1.7 營造工程三要素

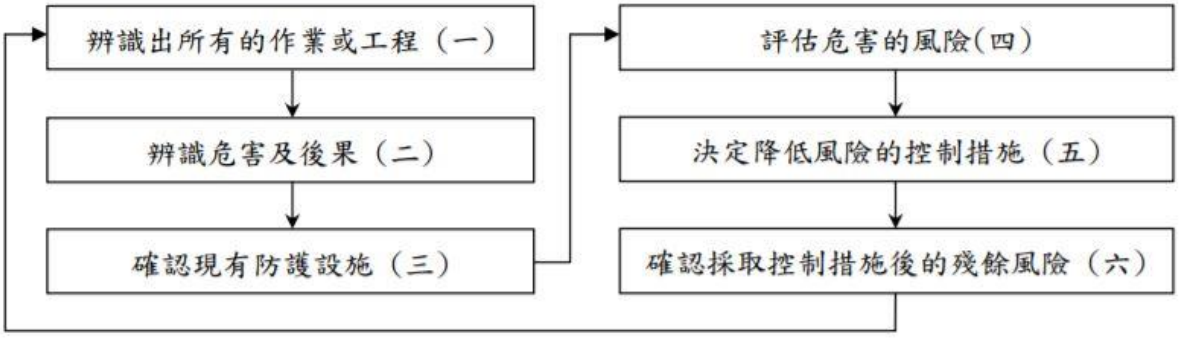


圖 3.1.8 設計階段之施工安全風險評估作業流程

(勞動部職業安全衛生署，2015)

表 3.1.1 勞動部推動職業安全衛生優良公共工程選拔之評審表

(勞動部，2016)

附表一：推動職業安全衛生優良公共工程評審表

評分對象	項　目	評 審 項 目	權重
工程主辦機關(或代辦機關)及專案管理廠商(如無可免)	施工安全風險管理	1.設計階段之施工安全風險評估 2.招標文件之安全圖說、規格、經費 3.施工階段之施工安全計畫 4.主辦機關(或代辦機關)及專案管理廠商安全衛生管理組織人力 5.施工階段之施工安全監督成效 6.工程主辦機關最高管理階層對於推動施工安全衛生管理之參與 7.安全衛生績效獎勵辦法之建立及落實	24%
監造單位	安全監造技術	1.監造單位對於安全衛生監造之政策 2.監造合約之職安衛事項 3.依工序訂定之監造職安衛查核計畫 4.監造單位之安全衛生稽核組織人力 5.監造職安衛查核計畫依加強公共工程職業安全衛生管理作業要點第12點規定之執行績效 6.安全衛生績效獎勵辦法之建立及落實	24%
施工廠商	安全衛生政策	1.由組織中最高管理階層制訂 2.經營理念融入安全 3.追求高水準的安全衛生績效 4.承諾提供適當資源以執行政策 5.訂定並發佈安全衛生目標 6.全部員工的參與及諮商	6%
	安全衛生組織人力及資源	1.施工廠商總公司安全衛生管理部門組織人力 2.施工廠商工程現場職業安全衛生組織人力 3.各級主管及管理、指揮、監督有關人員 4.安全衛生協議組織 5.安全評估小組 6.職業安全衛生經費	8%
	安全衛生制度計畫及實施與落實	1.協議會議之運作 2.工作許可制度(含門禁管制、個人防護具等) 3.安全值星及聯合稽查制 4.動態管理機制 5.危險作業作業標準 6.施工安全圖說(含擋土支撐、施工架及模板支撐等假設工程)之建立及按圖施作查核機制 7.安全衛生設備設施計畫 8.自動檢查機制 9.統一教育訓練 10.協議組織指揮權之行使機制 11.危險場所安全評估機制 12.安全衛生防災重點計畫 13.緊急應變及醫療救護計畫 14.承包商安全衛生評比制度 15.工地安全衛生考核獎懲制度 16.安全衛生稽核制度 17.施工規劃階段之施工安全風險評估	30%
	安全衛生績效稽核及系統評估改善	1.被動式監控:監控事故、疾病、傷害及死亡案件 2.主動式監控:監控安全衛生計畫成效及符合標準程度 3.評估安全衛生系統之缺失並決定採取補救措施 4.改善追蹤確認	8%
原始分數合計			100%
分數外加部分			
所有評分對象	其他特殊優良機制	1.5S、責任照顧制度、已通過OHSAS 18000驗證、已建置營造業職業安全衛生管理系統 2.安全伙伴、安全區域聯防 3.採用符合國家標準之施工架，並提出有效管理方法 4.其他創新作為	分數外加(上限5分)
分數外減部分			
施工廠商	廠商扣分機制	施工廠商其所屬工程於3年內（以選拔年度4月份往前推3年）曾發生職業安全衛生法第37條第2項第1、2款（該法施行前為勞工安全衛生法第28條第2項）所稱職業災害者（1人死亡或3人以上罹災），每件減1.5分；發生行政院災害緊急通報作業規定所稱甲級災害者（3人死亡或5人以上罹災），每件減5分。	分數外減

註：所提供之評選資料如使用他人著作者，應明示其出處。

四、工程維護管理及延壽

隨著國內重大公共建設陸續完成，以及 70 年代大量興建的公共工程如十大建設，十二項建設等建設進入「中年期」，維護管理問題將成為工程界未來的首要挑戰。以橋梁為例，歐、美、日等國每年投入鉅額費用進行維護，如日本橋梁維修費用在 1998 年佔其道路橋梁年度預算的 14%，在 2010 年以後日本花在橋梁維護的費用會超過其興建的費用。以國道高速公路局（以下簡稱高公局）於民國 88、89 年間用以辦理橋梁隧道項目之維修經費高達 4.1 億元，隨著老舊橋梁之數目逐漸增多，政府勢必逐年增加橋梁的養護費用，目前政府財政緊縮，對於公共工程興建投資經費已逐漸縮減，為有效預防橋梁災害發生所造成損失，確保國道交通暢通和增加橋梁壽命，如何檢討現行橋梁延壽對策，不單是技術上的提升，且是在延壽策略上，必須建構合理評估延壽需求方法，發展並健全延壽相關記錄。

依據行政院公共工程委員會「公共工程延壽評估作業準則，2002.11」所定義的「對公共工程結構物採取有助於其維持營運使用的各種行為」，其中「延壽」之主要目的就是採取各種手段與方法，以有效延長結構物 之使用年限。

有鑑於此，高公局已著手進行「高速公路橋梁延壽評估及案例分析研究計畫」，評估橋梁歷史紀錄與橋梁現況，在考量政府有限的資源與預算，並符合工程需求服務品質之條件下，確定橋梁進行維護、整治的時機，以確保橋梁在使用者制定之功能門檻值內的服務水準能達到服務功能需求，進而達成最佳經濟化的延壽策略。其目的在尋求最佳化的「經濟」、「效益」以及結構物使用「年限」之間的平衡，以及最後發展建全橋梁延壽紀錄之系統，如圖 3.1.9 所示。此外，在以生命週期為導向（規劃、設計、施工到維護）的橋梁維護管理之運作架構下，可在各個階段獲得許多前置階段所傳遞之資訊，進而建立有效之管理策略，加強特定範圍之管理，以減少 人力、物力、成本之花費。例如，在高工局前揭之研究計畫內，曾以四座橋梁為案例，利用橋梁的基本資料、劣化指標和曾經使用之維修補強對策，進行統計分析整理，並藉由回顧整理，針對台灣地區在橋梁延壽工作的成效及後續改善擬定方向。該研究計畫之具體成效如下：

(一) 檢討國內外高速公路橋梁延壽政策與技術之應用現況與評估分析。

(二) 掌握高速公路橋梁檢測維護現況與其使用年限與服務水準

(三) 研擬高速公路橋梁編碼系統。

(四) 建立高速公路橋梁延壽評估作業系統。

(五) 經濟最佳化決策模式。

(六) 案例分析。

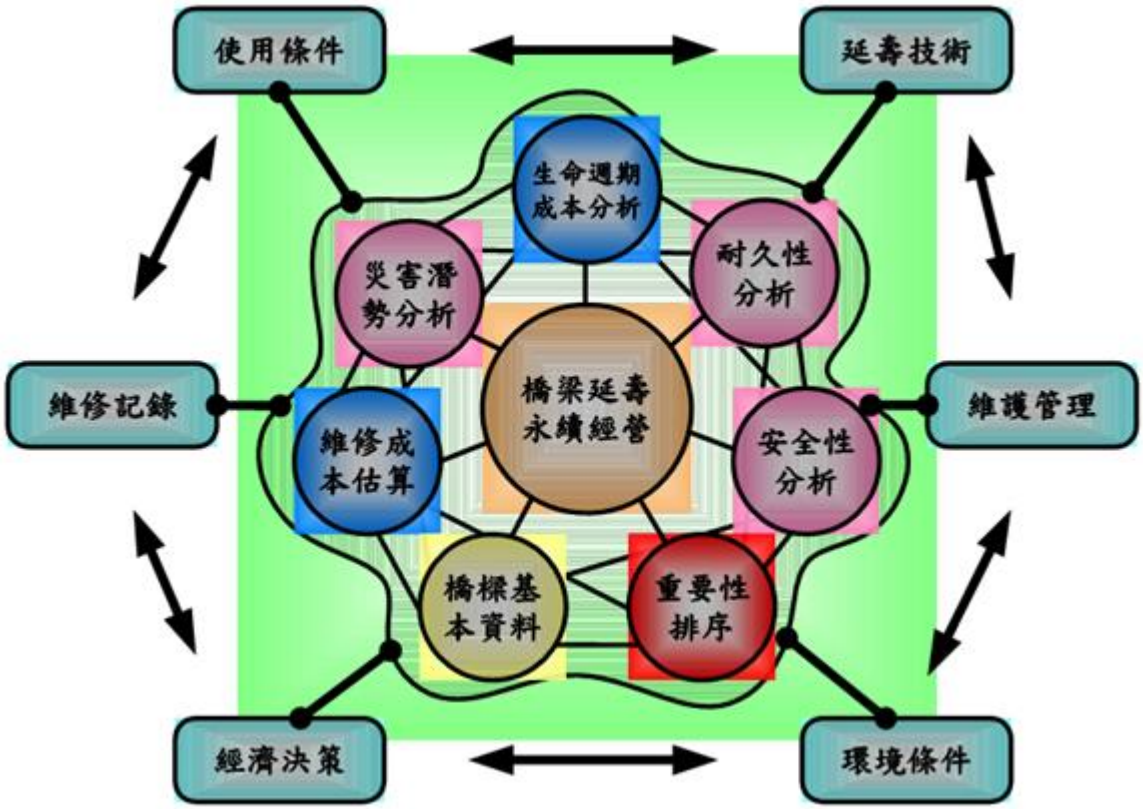


圖 3.1.9 高速公路橋梁延壽評估及案例分析研究計畫示意圖

(交通部，2004)

依行政院農業委員會治山防災工程養護管理要點規定，負責治山防災工程之養護管理機關，應於每年 5 月至 11 月防汛時期經常派員巡查。除落實相關規定外，建議亦可參考相關文獻訂定設施基本圖冊的編訂、管理、設施點檢(巡查)的種類、標準、頻率的訂定以及巡檢成果的分析及應用，以有效延長水土保持工程使用壽命。

五、日本營造現場的生產力革命i-construction

日本為因應技術勞工於未來 10 年將面臨勞動人力退職潮，再加上營造產業具有防減災、實施基礎建設維持管理與更新(延壽)等功能及需求，日本擬採用先進 ICT(Information Construction Technology) 技術，期推動營建生產力的技術革新。所謂 i-construction，係透過衛星遙測技術、ICT、IoT(Internet of Things)等技術，推動設計、放樣、施工、檢核等營造過程無縫化，並建置高效率的供應鏈管理技術，期將營造工程變成最先進的工廠，靈活地將快速進化的新技術導入工程現場工程技術，提昇營造現場工程安全性。如圖 3.1.10 所示，從調查、測量、設計、施工、檢查到維護管理，全面更新的所有營造生產流程，完整引進 3D 技術，活用 ICT、IOT 等新技術，並引進「同步工程技術」(concurrent engineering)，由設計、製造等技術人員邊討論各種相關問題，邊進行協調同時又實施作業的生產方式。



圖 3.1.10 i-construction 現場工程導入新技術示意圖

(國土交通省，2016)

i-construction 帶來的工程管理程序之改變、預期效益及可能遭遇的困難與挑戰為：

(一) 提昇生產效率，因全面使用 ICT 之後，生產效率可提昇約 2~3 倍。

(二) 增加工程多元化之需求及創造力。

(三) 提昇勞動人力薪資水準及穩定的工時與休假。

(四) 減少重機械周邊作業與高處作業，提供更安全的工作環境。

(五) 人才多樣性的活用效益。

(六) 可能遭遇的困難為，目前監督與檢查等參考基準尚未備齊、ICT 營造機械尚未普及。

(七) 未來的挑戰為：引進或制定新的基準、ICT 設備投資相關的支援及技術開發與人員培訓等相關配套尚未具備。

有關日本 i-construction 推動之相關案例與內容，詳如第四章第一節。

六、小結

本章節羅列國內外不同領域的工程技術發展趨勢，整體而言，目前的發展趨勢正朝向「提昇溝通協調效能、降低勞力、縮短工期與降低成本、重視職業安全與工程維護管理及延壽」等脈絡進行。在職業安全管理方面，本局透過工程人員執業安全衛生訓練、參與公共工程金安獎競賽等作為強化職業安全的觀念;在管理制度與營建自動化方面，本章研析國內外相關案例，如建築資訊模型於水利工程與大地工程之應用、營建管理自動化資訊平台、公共工程之生命週期管理與日本因應人力減少而推動的 i-construction 革命制度，以期整合不同領域的相關研究與管理制度，評估未來導入水土保持工程之可行性。

第二節　軟體防災對策

一、防災策略與體系

(一) 國內外防減災對策概述

1.聯合國減災綱領宣言

聯合國自 1994 年起在日本連續舉辦三屆世界減災會議(World conference on nature disaster reduction, WCNDR)，其中 2015 在仙台舉辦的第三屆世界減災會議之重要決議稱為「仙台減災綱領」（Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, SFDRR），係以第二屆兵庫行動綱領為基礎，希望在未來 15 年內達成以下成果：

實質減少個人、企業、社區至國家的災害風險及損失，特

別在於生命、生計和健康以及經濟、物質、社會、文化和環境資產等項目。

為協助評估全球達到此綱領的成果和目標之執行進度，已協議出七大全球目標 ，這些目標將在全球進行評估，並以下列指標做為執行輔助。

(1)至 2030 年前，實質地降低全球因災害的死亡率。

(2)至 2030 年前，實質地減少因災害影響的人數。

(3)至 2030 年前，於全球相對於各國生產毛額(gross domestic product, GDP)，減少災害造成的直接經濟損失。

(4)至 2030 年前，實質地減少災害對關鍵基礎設施的破壞，以及減少其造成基本服務的中斷（例如有關醫療健康與教育之設施），並發展其耐災能力。

(5)至 2020 年前，大幅增加具有國家和地方減災策略的國家數目。

(6)至 2030 年前，透過持續與充分的支援，大幅度強化針對開發中國家的國際合作，使其能改善並落實此防災綱領。

(7)至 2030 年前，實質地改善多重危害的早期預警系統，以及民眾對於災害風險資訊與評估資訊之可及性與管道。

優先推動 1：明瞭災害風險。

優先推動 2：強化災害風險治理(disaster risk governance)以管理災害風險(disaster risk management)。

優先推動 3：投資減災工作以改進耐災能力。

優先推動 4：增強防災整備以強化應變能力，並在重建過程中達成「更有耐災能力的重建(Build Back Better)」。

2.日本土砂災害對策之調整

儘管日本在土砂防災相關工作上已是世界級水準，但近年日本連續發生多起重大土石流災害，特別是發生在夜間的短延時、強降雨類型，傷亡特別慘重，這也突顯現行機制仍有不足之處。因此，陸續調整相關法令、對策及作業手冊等，分述如下：

(1)修訂土砂災害防止法

2015 年 1 月 18 日修訂之土砂災害防止法，針對土砂災害潛勢資料的公開與宣導，以及土砂災害警戒情報、避難勸告等的傳遞，連同進行避難勸告時之作為，均進行相關的調整與修正，如圖 3.2.1 所示。依據 2000 年頒布的土砂災害防止法，各地方政府應劃設的「土砂災害警戒區域(黃區)」及「土砂災害特別警戒區域(紅區)」因為歷年劃設進度緩慢，故這次修法亦特別強調在 2000 年土砂災害防止法以前所製作的「土砂災害危險箇所」及警戒雨量等資料，須作為重要之參考資料並應公告周知。



圖 3.2.1 日本土砂災害防止法修正重點(國土交通省砂防部，2015)

(2)推動綜合性土砂災害對策

2014 年廣島土石流災害後，日本內閣府即邀集專家學者召開「綜合土砂災害對策工作小組」，歷經 4 次正式會議討論後，於 2015 年 6 月 4 日發表「推動綜合性土砂災害對策報告」(総合的な土砂災害対策の推進について)，並據此作為後續土砂防災工作之改進方針，其具體對策分為五大方向，如圖 3.2.2，詳細內容將於第四章第二節介紹。



圖 3.2.2 日本推動綜合性土砂災害對策報告重點(內閣府，2015)

(3)修訂疏散避難指南及作業手冊

為強化地方政府執行警戒發布及疏散避難工作，日本內閣府於 2004 年訂定「避難勸告等相關指南」(避難勧告等に関するガイドライン)，並於 2015 年、2016 年及 2017 年三次修訂，俾作為地方政府進行風水災、土砂災害及海嘯災害等警戒發布及疏散避難工作之參據，其中 2017 年版之重點如圖 3.2.3 所示。此外，日本國土交通省砂防部針對土砂災害，亦訂有「土砂災害警戒及避難指南」(土砂災害警戒避難ガイドライン)，俾作為地方政府進行土砂災害警戒發布及疏散避難工作之參據，此指南亦於 2015 年 4 月修訂，其修正重點大致可分為下列四點：(日本國土交通省砂防部，2015)

- 土砂災害潛勢資料的持續公告周知。
- 防災訊息須確實傳遞給居民。

●中央及都道府縣對於市町村政府發布與解除避難勸告等支援。

●避難勸告發布後，民眾之避難作為。



圖 3.2.3 日本內閣府「避難勸告等相關指南」重點 (內閣府，2017)

3.台灣防減災政策

(1)災害防救基本計畫

依據災害防救法第 17 條第 1 項規定，中央災害防救委員會擬訂災害防救基本計畫，經中央災害防救會報核定後，由行政院函送各中央災害防救業務主管機關及直轄市、縣（市）政府據以辦理災害防救事項。 本基本計畫係屬指導性之綱要計畫，提綱挈領說明政府於 2013 年至 2017 年在災害防救的施政重點及目標，其以「人命保全為優先、建構耐災型社會」為核心價值，主要內容架構分為三編：(中央災害防救會報，2013)

第一編 總則：提出 5 大方針與 18 項策略目標之整體性規劃，其中 5 大基本方針包括：

- 方針 1：建構體系效率彈性：建構以效率為導向，專職、專業、具彈性的風險治理模式。
- 方針 2：提升科技精度速度：提升災害評估、監測與預警之精度、速度。
- 方針 3：加強資訊快捷傳遞：建構迅速、透明、正確的災害資訊傳播方式。
- 方針 4：完善防災服務流程：建構單一窗口與服務流程標準化。
- 方針 5。集結民間夥伴能量：傾聽基層自主防災需求，提出政策誘因導入企業與民間參與。

第二編 災害防救基本對策：根據前述基本方針及策略目標，以災害預防、災前整備、緊急應變及復原重建為架構，提出 5 年內應推動之優先施政對策。

第三編 災害防救業務計畫及地區災害防救計畫擬定重點：本計畫為各災害防救業務計畫及地區災害防救計畫之上位計畫，爰於本計畫律定各災害防救業務計畫及地區災害防救計畫之架構、內容重點、相關配套措施等，使計畫業管單位能據以辦理並強化計畫作業體系。

(2)水災災害防救策進計畫

近年來極端降雨事件帶來的水災不僅是淹水而已，如 2009 年莫拉克颱風造成的土砂災害、漂流木災害、供水中斷災害、維生管線失能災害、災民安置與村鎮機能恢復等複合型災害。為彰顯政府「厚植防救災力量」、「整合救災資訊」及「周詳防災規劃」的災防施政主軸，經濟部於 2010 年提出「水災災害防救策進計畫」，並擬訂下列目標：(經濟部，2010)

- 建構區域降雨雷達網及水災災情監控網，精進降雨及淹水預警能力。
- 各水情中心維護與擴充、落實移動式抽水機與防汛器材管理，俾強化地方防汛管理及應變指揮調度功能。
- 推動「全民防災」觀念，提昇社會大眾防災意識

與知識，建立正確的風險觀念，於災害來臨時能自救與救人。

- 更新水災災害緊急應變作業系統，深化跨部會防災資訊傳遞與防汛整備工作。
- 透過相關法令之增、修訂，加強土地使用管制、建築物防洪能力補強及集水區洪水出流管制等作為，使原工程設計保護標準得以提升並使人民遠離水患之威脅。

(3)氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫

近十年來全球極端天氣影響愈來愈顯著，臺灣地區降雨型態亦由「短延時低強度」轉變為「長延時高強度」，對於坡地災害高潛勢地區影響更為嚴重，其可能引發之效應，如大規模崩塌、水土複合型災害等，僅以現行治山防災工程手段來處理已不足以因應災害所帶來的影響，亦無法有效提昇坡地防減災的成效。

故農委會於 2015 年擬訂「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」，以農業委員會林務局及經濟部中央地質調查所，近年辦理「大規模崩塌潛勢區判釋」成果為基礎，透過區域盤查以及問題分析，預先規劃大規模崩塌災害處理調適工作，以強化對於氣候變遷影響因應能力，冀希透過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」之長遠目標邁進。本計畫之調適策略與績效指標關聯圖，如圖 3.2.4 所示。

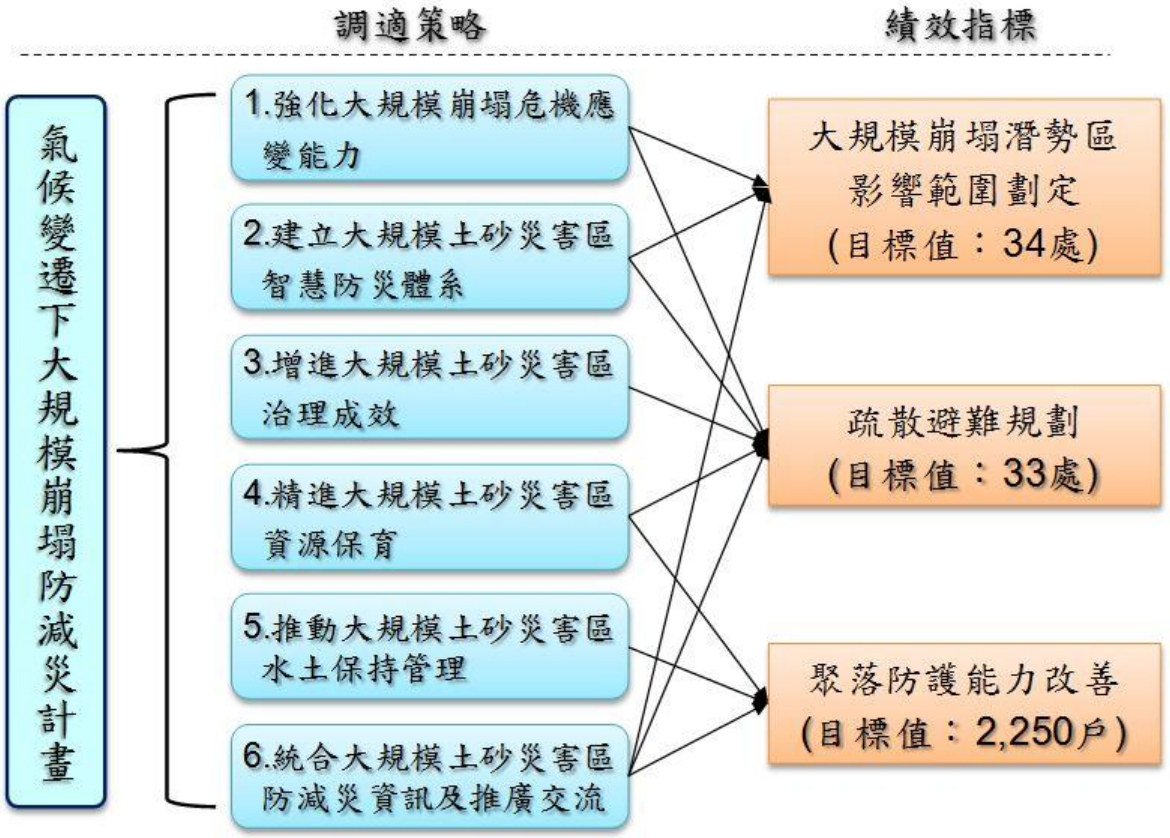


圖 3.2.4 氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫調適策略與績效指標關聯圖(農委會，2015)

(二) 國內外氣候變遷調適對策

1.聯合國跨政府間氣候變遷小組減災建議

1988 年成立的聯合國跨政府間氣候變遷小組（Intergovernmental Panel on Climate Change of the UN，IPCC）每 6 年發表一次「全球氣候 評估報告」，於 2013 年 9 月 30 日「第五次氣候評估報告」(Assessment Report 5，簡稱 AR5）正式出爐。根據最新氣候模式推估，預測本世紀末全球均溫恐上升 4.8°C，海平面最嚴重將可能上升 82 公分。報告中最顯著之處為：「科學家比過去更確信全球暖化是人類活動所造成」(王漢國 ，2014)。

此外，由於氣候變遷改變了某些區域的災害發生場域分布、強度和發生頻率，此災害威脅恐超越貧窮國家可消納損失和災後恢復的能力，因此風險管理非常重要，因此 IPPC 建議在地區、國家和國際間分層級討論風險管理機制 。同時，各個層級均應加強風險管理和氣候變化調適的聯繫，並

將其與地區、國家和國際的發展政策措施相結合。在短期內解決社會福利、生活質量、基礎設施和民生問題，並將災害應對納入規劃和行動，對於長期的適應極端氣候是有利的。在考慮災害管理、氣候變化適應和發展的關係時，時間因素很重要，但建議在節約時間上亦應納入當地人民決策過程，使其從中學習積累經驗的機會，並且增進重建與當地文化和經濟發展之契合度(謝龍生等，2016)。

2.日本國土交通省氣候變遷調適計畫

日本針對氣候變遷調適策略之擬訂，係由中央環境審議會邀集專家學者召開會議討論並經內閣會議通過後，由環境省發布「気候変動の影響への適応計画」，各單位依其權責分別擬訂相應之調適計畫。其中對於國土交通省而言，氣候變遷可能造成的影響包括：自然災害的衝擊(水災、土砂災害、海岸災害)、水資源及水環境的衝擊、交通設施及都市熱島效應的衝擊等；而其調適策略重點包括：防災與氣候變遷相關知識的普及與啟發以及資訊的提供、觀測及調查技術之開發、國際參與及相關技術 資訊等的貢獻，如圖 3.2.5 (國土交通省，2015)。

3.台灣氣候變遷調適計畫

(1)國家氣候變遷調適政策綱領

臺灣因地理與地質因素，地震及颱風發生頻繁，災害潛勢地區遍及全島，極端氣溫與降雨將加劇災害發生之頻率及規模。為健全國家調適能力，降低社會脆弱度，並建立整合性的運作機制，作為政策架構與計畫推動的實施基礎，經國發會邀請相關部會、專家學者、NGO 及產業界代表於 99 年 1 月 29 日共同成立「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組，陸續召開專案小組、審訂小組會議、區域座談會及全國氣候變遷會議，廣徵各界意見凝聚共識，研擬完成「國家氣候變遷調適政策綱領」，並由行政院於 101 年 6 月 25 日核定。

本政策綱領除分析臺灣氣候變遷情況及未來推

估，並據以訂定政策願景、原則與政策目標外，經參考世界各國調適作為，並考量臺灣環境的特殊性與歷史經驗，內容分就災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性與健康等 8 個調適領域，詳細陳述各領域所受氣候變遷的衝擊與挑戰，並且提出完整的因應調適策略，及落實執行的推動機制與配合措施。主要內容包括序言、臺灣氣候變遷的未來情境、衝擊與挑戰、願景與目標、調適策略、落實執行及結論與展望等。



圖 3.2.5 日本國土交通省氣候變遷調適計畫概要(國土交通省，2015)

(2)國家氣候變遷調適行動計畫(102-106 年)

本行動計畫年期為 102~106 年，內容簡要說明調適工作架構與辦理過程，並依據當前各界對於臺灣未來氣候變遷趨勢的相關研究成果，進行脆弱度與影響評估，進一步提出調適效益明顯大於成本的總體調適計畫，主要包括建構氣候變遷調適優質基礎、評估氣候變遷風險與調適規劃及推動高風險地區之調適計畫等跨領域重

點計畫。

(3)氣候變遷下土砂災害關鍵議題與研究

為探討氣候變遷下土砂防災相關調適措施，必須先定義影響對應之相關議題，根據科技部臺灣氣候調適科技服務平台彙整國內外於氣候變遷下土砂災害關鍵議題相關研究，如表 3.2.1(科技部，2015)。

表 3.2.1 氣候變遷下土砂災害關鍵議題與研究(科技部，2015)

編號	出處	關鍵議題
1	Dawen Yang et al.（2003）	探討氣候變遷與土地利用變化，推估現況的全球的土壤沖蝕量約為 0.38mm/year，且在東南亞地區的影響更為顯著的區域。隨著作物土地的發展，土壤沖蝕量約增加 17%。在全球暖化下，可能增加潛在的土壤的沖蝕量。未來對於降雨量與人口增加的區域，亦可能面臨嚴重的土壤沖蝕之問題。
2	Rebolledo Lemus et al.（2006）	評估智利的北部與中部地區的土石流衝擊，量化了觸發的土石流的影響因子，研究中評估 El Nino 現象對於觸發土石流發生的關係。
3	Hitoshi Saito, Daichi Nakayama, Hiroshi and Matsuyama(2009)	探討淺層崩塌與降雨之關係，降雨為坡地災害之主要因子，其他包含地形與區域地質條件等。探討不同降雨強度、延時與坡地災害之間的關聯，可幫助建立災害預警機制。
4	Hadmoko et al.(2010)	利用定性與定量的方法繪製崩塌地風險地圖，由專家評分的結果得到崩塌地危害潛勢圖，並以人口作為脆弱度套疊崩塌地危害潛勢圖，透過製作崩塌地潛勢風險圖做為未來決策依據。
5	水利署（2011，2013）	研究中評估集水區內可能產生的土砂量，分析淡水河、大漢溪、濁水溪、曾文溪與高屏溪等流域，在氣候變遷衝擊下流域內可能產生之土砂量，結果發現在未來氣候變遷的情境下，這些流域的崩塌災害

編號	出處	關鍵議題
		頻率、崩塌面積皆增加，流域土砂量較高風險的區位主要在中部地區的濁水溪流域內。氣候變遷衝擊下降雨強度的增加將造成大量土砂衝擊，巨量的土砂將衝擊河川原本型態，研究如何面對未來防洪系統與土砂處理是當務之急。
6	水土保持局（2011，2012，2013）	使用三種 GCMs 模式（GFCM21、INCM3、MPEH5）、三種未來情境（A2、A1B 及 B1），進行高屏溪、陳有蘭溪與大漢溪流域的土石流災害發生潛勢之分析，結果發現除了崩塌災害頻率增加之外，土石流發生頻率在 10 年以下的潛勢溪流數量亦增加（極高土石流潛勢溪流增加 2.5 倍）。顯示未來土石流衝擊為增加趨勢。
7	范正成(2008)	氣候變遷對土壤沖蝕將造成負面的影響，其中又以降雨沖蝕指數受其影響最為明顯。
8	Chiang and Chang（2011）	評估氣候變遷衝擊下在近未來推估期，集水區增加約 20%坡面的崩塌面積，崩塌產砂量亦增加，主要是因極端降雨事件造成的新崩塌地，而導致土砂量的增加，對於集水區的不穩定坡面亦可能增加 13%左右。
9	壽克堅(2011)	台灣地區特殊的地質條件，使得面臨暴雨時，山區容易發生坡地及土石流災害。由於坡地災害主要發生在風災及豪大雨時期，隨著氣候變遷全球氣候異常，極端事件發生機率增加且強度增強，相對災害發生風險也隨之增加。考慮地震及極端暴雨事件衝擊釐清尺度效應對坡地災害行為及分析方法之差異及適用性，建立山崩風險分佈。
10	吳亭燁及魏曉萍等人（2014）	針對曾文溪及評估坡地災害衝擊分析（包含崩塌和土石流，進入主河道之土砂量推估），以了解極端氣候下流域災害衝擊。以基期及世紀末最嚴重之前

編號	出處	關鍵議題
		十場極端降雨事件作為情境評估，結果顯示同時考量土石流和崩塌兩部分，推估曾文溪上游崩塌所產生的土方量為 74,326,000 m3，總土砂流入水庫量為 89,056,000 m3，和莫拉克颱風事件推估之量甚為相近（莫拉克颱風後推估進入曾文水庫土砂量為 91.080,000 m3）。
11	李欣輯等人（2015）	評估高屏溪流域可能的土砂災害，世紀末 TOP1 事件（崩塌率 0.9%）所造成的崩塌衝擊並非最嚴重，反而以世紀末 TOP6（崩塌率 3.4%）所造成的崩塌率最高。從各場事件之降雨特性來分析造成崩塌的原因，可以發現長延時且強降雨之極端事件，易造成大量崩塌的發生，進而推衍出相當大的土砂量。

(三) 建立專業訓練及認證機制

相較於土木工程等相關傳統學門，防災仍屬新興之學門，目前從事防災之技術人員多由土木、都計等相關領域專家跨域整合。未來加強推動地方自主防災後，許多地方性的防災工作，包含私人企業之防災皆需要有對應之人才及公務人員提供專業諮詢與服務，且後續如欲結合民間志工或社會企業等能量，相應之專業課程與訓練勢不可少，惟相關之專業訓練及認證機制仍待普及與深化。以日本為例，由民間防災組織與單位協助政府推廣防災專業訓練及認證之資格即有防災士、防災介助士、危機管理士等(鄭錦桐，2016)。

此外，日本國土交通省為加強公共工程品質之提昇，依據 2005 年發布的「公共工事の品質確保の促進に関する法律」，有關公共工程之調查、規劃、設計、檢驗等工作，其從業人員必須經過一定資格之認定，並於 2014 年發布「公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格登録規程」，由委由民間專業團體辦理相關資格測驗。例如，日本砂防學會自 2015 年即開辦「砂防・急傾斜管理技術者資格試験」(砂防學會，

2015)。

(四) 強化防災體系與知能

1.全災害管理架構

國內現行的災害管理架構為「災因管理」，亦即不同災害類型由不同機關主管，近年來在實務推動上，造成不少爭議與問題，因此許多專家學者積極推動「全災害管理架構」。馬士元及鄭錦桐(2014)指出：「全災害管理的定義有三個層次：第一是無論各種機關或者企業，必須為所有可能發生的災害類型，就自己的負責範圍內充分準備；第二是無論各種災害類型，現場指揮系統以及動員程序，都出自於類似的架構與協定；第三是政府機關必須有一個單位，要負責因應所有類型災害，設計出共通性的協調指揮規範，以及整合各部門共同運作的緊急程序。因此為甚麼需要國家層級的防災部會，其實道理就跟醫院需要急診室一樣，醫院每個分科都是專業，但是都是處理一般時期的案例，因此需要急診室來統籌整合各種不同的專業，以因應危機種況下的醫療需求。因此急診並不是把科別的醫生找來值班而已，急診本身就是一門專科，他的程序就和其他專科獨立執行業務時不同。」

對於現階段要如何推動全災害管理，陳振宇(2016)亦曾提出設立一個專業且位階夠高的機構來規劃運作人力、資訊、資源及政策的全面整合等之相關建議。此外，台中市政府近年來亦已開始規劃試辦將應變中心以功能來架構，而且設計出一套「全災型」的功能分組，方便邏輯化、系統化整合市府資源(呂佳穎，2016)。

2.時間軸式防災計畫(タイムライン (Time line))

タイムライン (Time line)，其實可以看作是圖形化或流程圖化的 SOP，重點在將原先冗長、不易閱讀、理解的作業流程文字，用簡單的圖形、色彩，以時間序列的方式，將分工、資料流及重要事項快速而清楚的呈現。近年來已變成日本國土交通省在防災業務人員訓練，以及民眾教育訓練上，力推的有效工具。

タイムライン源自於 2005 年卡崔娜颶風重創紐奧良和墨西哥灣沿岸社區，美國反省檢討後所發展的作法，並在 2012 年桑迪颶風襲擊美國東海岸時，發揮顯著功效。儘管 2012 年桑迪颶風造成東海岸逾 4000 棟房舍損毀，但由於事前疏散及應變得宜，無人傷亡。為此，2013 年日本國土交通省與防災関連学会前往調查與觀摩後，決定將タイムライン這套機制引進日本，並於 2014 年正式推動。圖 3.2.6 為日本國土交通省大規模水害防災行動計畫之タイムライン。時間軸式防災計畫亦可應用於社區防災，例如圖 3.2.7 為日本応用地質株式会社製作的社區自主防災的行動計畫タイムライン，其特色除了整合了時間軸、氣象與土砂災害警報、災害前兆、各單位分工外，包括資料傳遞的方式、方向，甚至各項作業所需要的時間都一目了然(陳振宇，2016)。

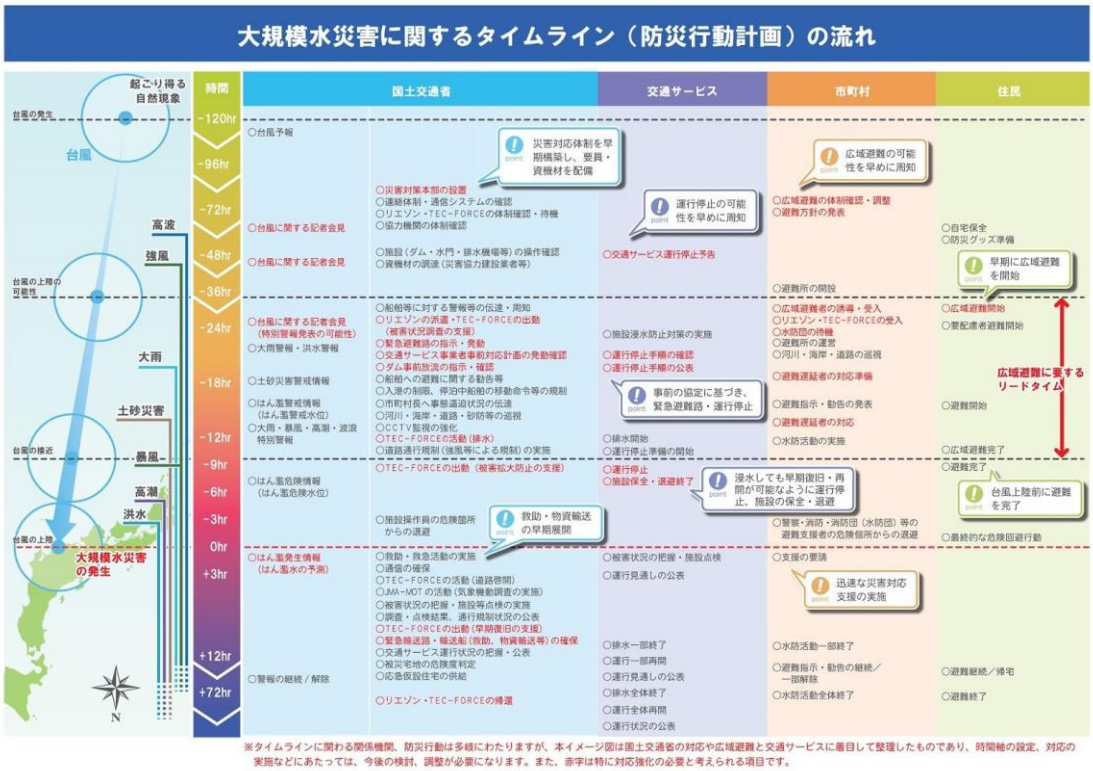


圖 3.2.6 日本國土交通省大規模水害防災行動計畫之タイムライン (國土交通省，2014)

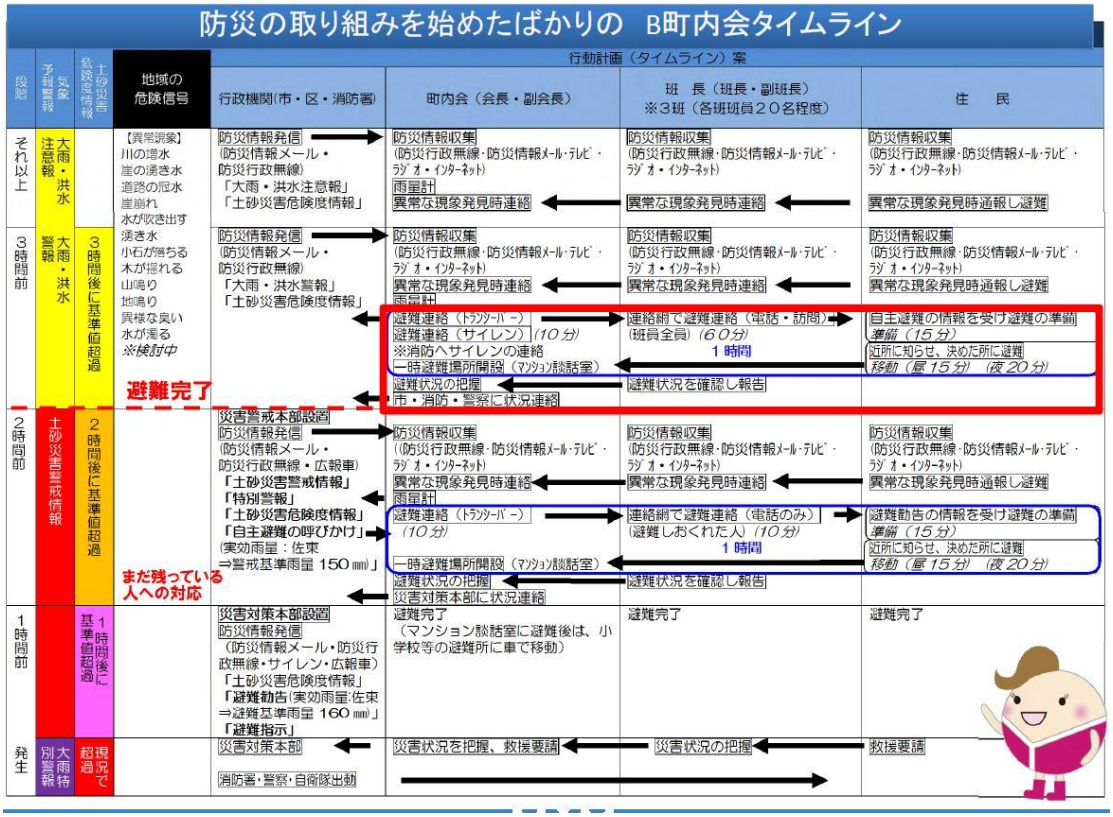


圖 3.2.7 日本社區自主防災的行動計畫タイムライン

(地質株式會社)

3.由歷史資料探索災害潛勢及防災智慧

由於天然災害多具有再現性，因此國內外許多研究開始嘗試由古地名、古諺語及古文獻等探索天然災害潛勢及尋求先人的防災智慧。例如日本有一些專家學者嘗試由古地名來探索災害潛勢，結果發現二者間關連性相當高(陳振宇，2016)。劉哲瑋(2016)亦曾以共筆文件方式蒐集彙整國內外歷史災害相關史料、地名學、地景、文化、歌謠等相關文獻。官大偉(2015)則以石門水庫集水區中的泰雅族部落經驗為例，運用文獻回顧、參與式製圖、以及民族誌研究方法，從「災害界定」到「災前預防」、「災時應變」與「災後復原」，形成原住民生態知識與當代災害管理概念之間的對話架構，藉以探知研究區域中泰雅族人與災害相關之生態知識，並對如何使原住民知識參與到公部門的災害管理之中提出建議。陳亮全等(2016)，則以新北市烏來區信賢部落作為研究對象，結合原住民生態知識與現代災害防救觀念，並以「韌性」一詞之學術概念、現行防災體

系、泰雅族原住民生態智慧、與信賢部落概況之文獻回顧作為論述基礎，提出部落韌性評估架構。此外，水土保持局亦於 2015 年建立歷史災害照片募集平台，利用網路社群方式募集各地之災害歷史照片資料庫，如圖 3.2.8。(http://246.swcb.gov.tw/event2015/)



圖 3.2.8 水土保持局歷史災害照片募集平台

4.疏散避難機制及效益評估

國內現行土石流防災疏散機制避難機制建立已逾十年，歷經莫拉克等巨災期間亦衍生許多國賠官司案例，單信瑜及王文祿(2016)經由與土石流災害中央主管機關人員及基層執行災害應變業務人員之訪談，釐清現行土石流災害緊急應變機制中關於強制撤離之執行情形與困難之處。並藉由美日兩國災害防救法制與我國現行土石流緊急應變機制之法律基礎，進行比較法學之分析研究，以及相關國家賠償責任之分析。同時根據上述三個面向分析結果，提出我國現行土石流緊急應變機制之強制撤離可改進的方式包括：土石流警戒與疏散撤離命令之連動性應朝向分割處理方向檢討、土石流保全對象劃定的方式應更具有彈性、強化地方政府與民眾的風險意識、提升基層公務人員對於災害防救責任與國家賠償法制的了解。

此外，廖宇慶等(2016)，則以中央政府的角度出發，利用問卷調查與選擇卡實驗，針對現行土石流預警發布、防災教育宣導、以及避難支援政策施行成效，進行成本效益評估。結果

發現因土石流預警服務所帶來的效用換算每人願意支付的價格可達 1,100 元，若考慮簡訊傳送預警服務，每人效益可高達 2,700 元，而社區防災自主能力較高的區域更高達 3,000 元，如表 3.2.2。對照目前水土保持局與地方政府投入之人事成本與防災教育訓練成本，效益成本值約為 1:1，而考慮簡訊傳送的效益將更顯著，對上成本的比率是 2.5:1。

表 3.2.2 民眾對於預警服務以及各項撤離援助的願付價格

	願付價格（目前全體樣本）	願付價格（大台北地區）	願付價格（社區防災自主較強）	願付價格（家計所得低於700,000)
預警服務範疇__僅發佈紅色警戒	0	0	0	0
預警服務範疇__發佈紅黃色警戒	1,137	895	1,572	135
預警發佈工具__電視網路	0	0	0	0
預警發佈工具__手機簡訊	1,568	1,210	1,520	--
撤離交通工具__自行前往	--	770	534	285
撤離交通工具__公車接送致避難場所（學校或活動中心）	0	0	0	650
避難交通工具__公車接送至旅館	0	0	0	0

二、災害潛勢調查與評估

(一) 坡地災害潛勢調查

1.日本土砂災害防止法基礎調查手冊

日本 2000 年訂定土砂災害防止法後，依法各都道府縣必須進行土砂災害潛勢之基礎調查，並據以劃定土砂災害警戒區域(黃區)及土砂災害特別警戒區域(紅區)，如圖 3.2.9。

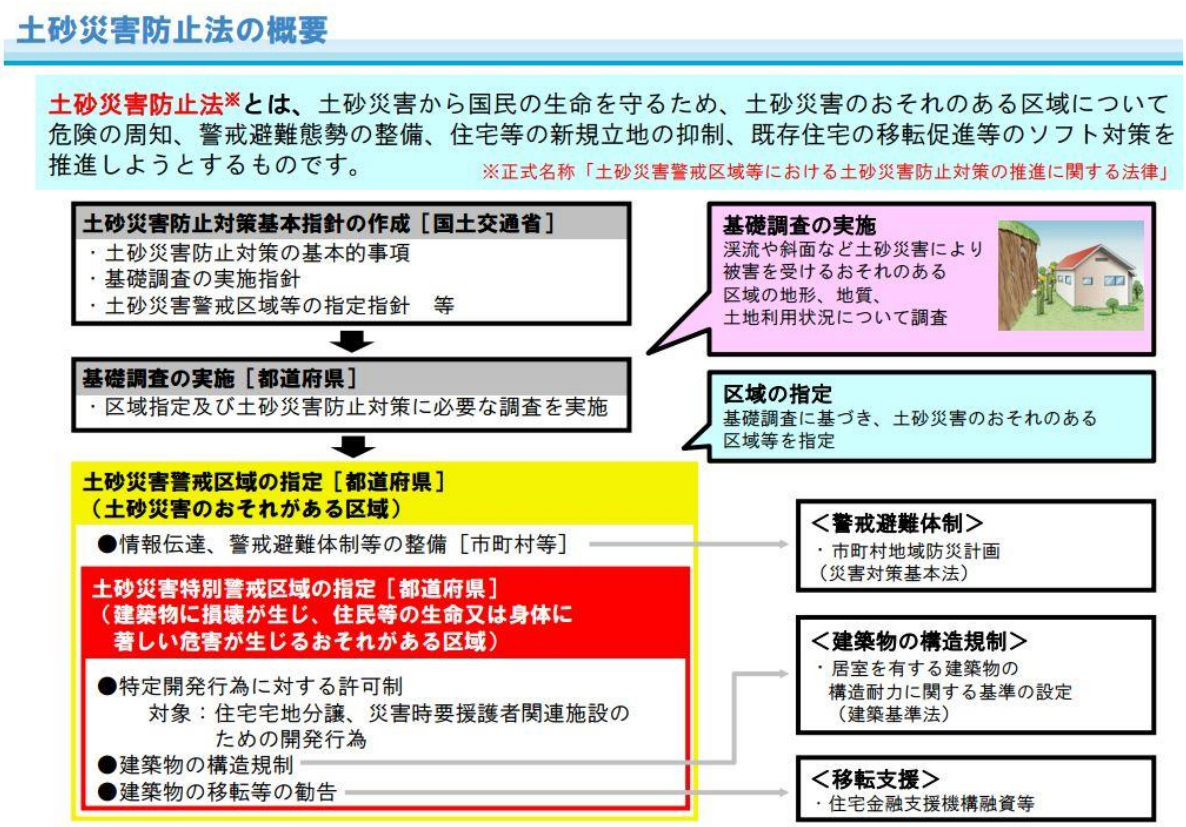


圖 3.2.9 土砂災害防止法概要(國土交通省)

其中基礎調查及劃定土砂災害警戒區域及特別警戒區域之土砂災害類型只包括急傾斜地崩塌(淺層)、地滑、土石流三類，各都道府縣依據國土交通省所頒布之土砂災害防止對策基本指針，訂定基礎調查手冊並進行相關基礎調查，如圖 3.2.10，即為岩手縣所訂定之「岩手県土砂災害防止に関する基礎調査マニュアル（案）」(岩手縣土砂災害防止相關基礎調查手冊)之架構。

在基礎調查手冊中，由調查區域之選定、考慮條件、以及各類型土砂災害警戒區域及特別警戒區域之劃定方式，均有詳細之圖說及解釋。例如，圖 3.2.11 為土砂災害警戒區域及特別警戒區域之劃定方式示意圖。詳如本章第三節之「三、日本危險區劃設與管理」。

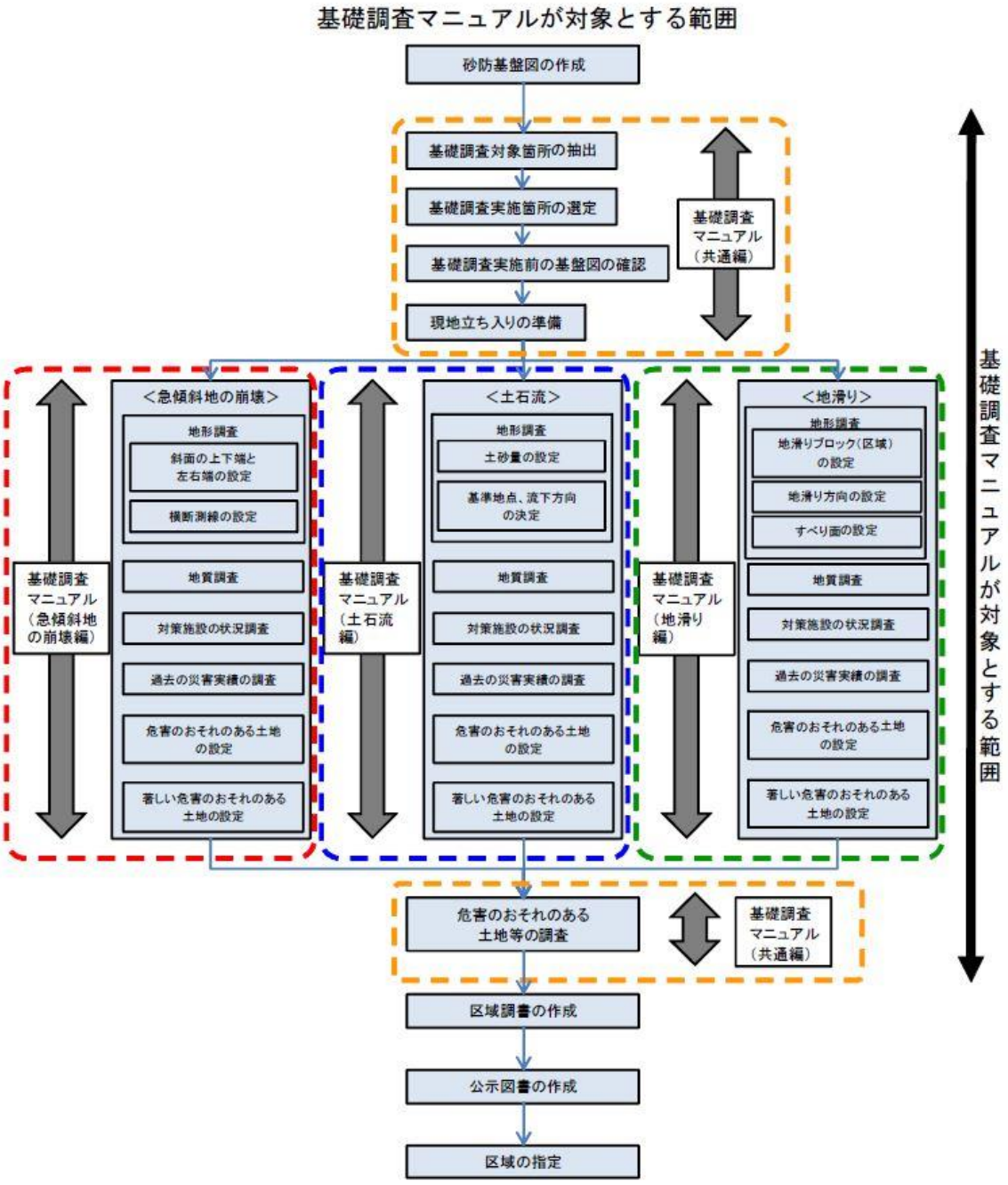


圖 3.2.10 岩手縣土砂災害防止相關基礎調查手冊之架構

(整備部砂防災害課，2015)



圖 3.2.11 土砂災害警戒區域及特別警戒區域之劃定方式示意圖

(岩手縣整備部砂防災害課，2015)

2.坡面型土石流易發生區位及潛勢評估方式

臺灣山坡地區域有數千聚落分佈其間，依原民會統計原住民聚落 即達 731 處，許多聚落周緣之山坡地可能演化產生坡面型土石流，更因其緊鄰聚落社區，極易形成小災害但高危害度及大災損的高風險災害型態，惟因其未被劃入土石流潛勢溪流或大規模崩塌影響範圍區，常產生安全無虞之假象。陳天健(2016)應用崩塌坡面單元概念，建立聚落周緣山坡地之坡面型土石流易發生地形判釋模式，完成以「形狀係數比、坡面平均坡度比、有效集水指標、發生區平均寬度、流動段平均坡度、流動段深寬比、崩塌潛感面積」等 7 項因子之坡面型土石流判釋模式，其正判率達 87.5%。判釋模式再應用於高屏溪流域內荖濃里 （晚期中新世沉積岩）及那瑪夏區達卡努瓦里（早期中新世沉積岩） 與高雄市六龜區新發里（亞變質岩）等三處聚落之評估，結果顯示適用性優良。其成果可供事先勘定坡面型土石流高風險區預防災害，同時評估坡面型土石流潛勢，

提供防災治理單位之防災預警參據應用。 圖 3.2.12 為坡面型土石流邊坡單元判釋結果。

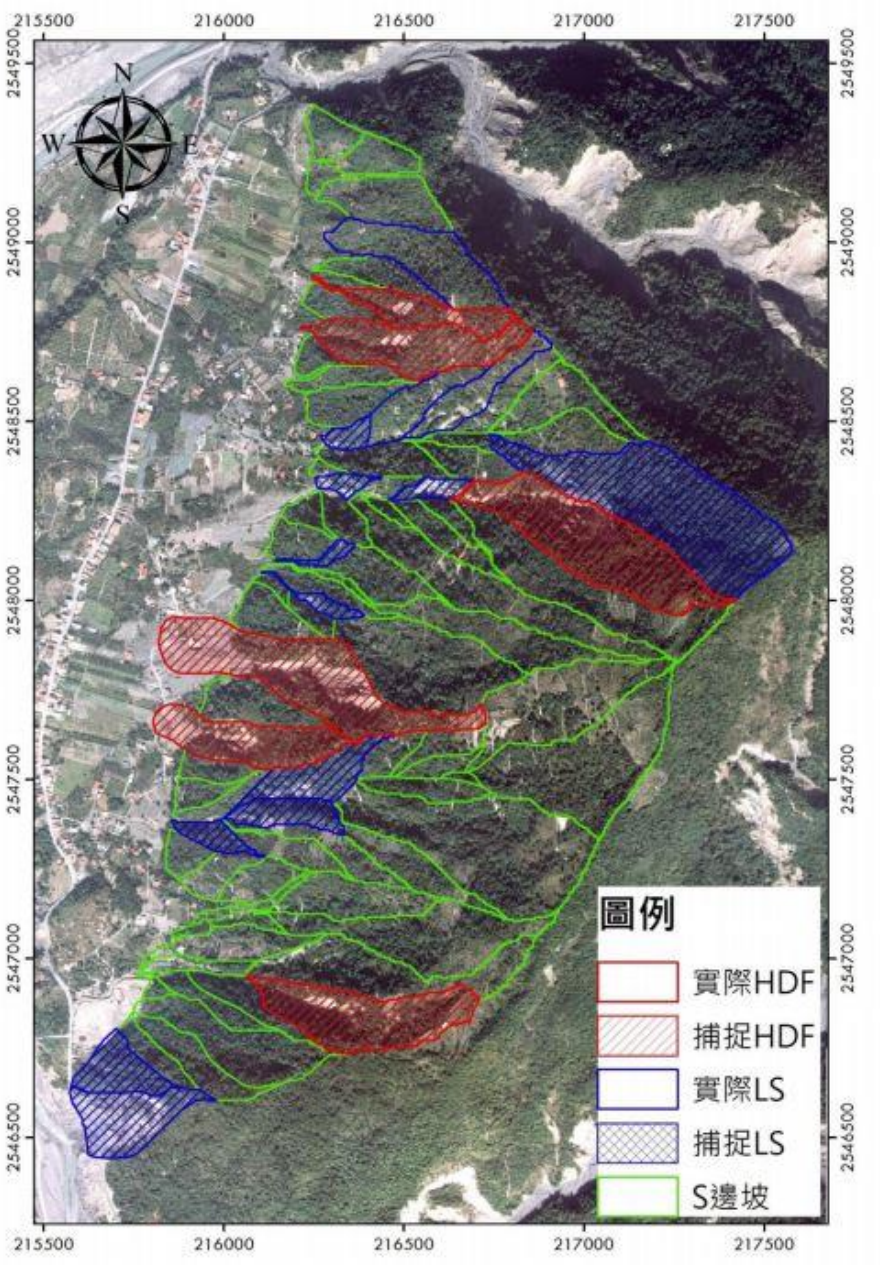


圖 3.2.12 坡面型土石流邊坡單元判釋結果 (陳天健，2016)

3.以地文因子綜合評估土石流發生潛勢

近年來隨著光達技術的普及，高精度數值地形可提供更多細微的地形資訊。周憲德(2016)以高精度數值地形為基礎(1 m 及 5 m 精度)，配合地調所山崩目錄蒐集、土石流潛勢溪流微地形判釋、微水系特徵、流域險峻值(Melton's ratio)等地文因子及區域地質特性，探討山區於高強度降雨下誘發崩塌及土石

流潛勢溪流之特性，了解山區集水區內過去土砂災害發生之料源、型態、溢流點、致災規模及影響範圍等關係。最後以蘇迪勒風災所引起之實際土砂災害調查資料進行驗證。圖 3.2.13 為平廣溪集水區內歷史崩塌目錄與水系密度之累積機率 70%－崩塌目錄與水系密度之關係圖。圖 3.2.14 為使用高精度數值地形製作之天空開闊度立體地圖，用以判識平廣溪集水區古土石流與山崩微地形之判釋成果。

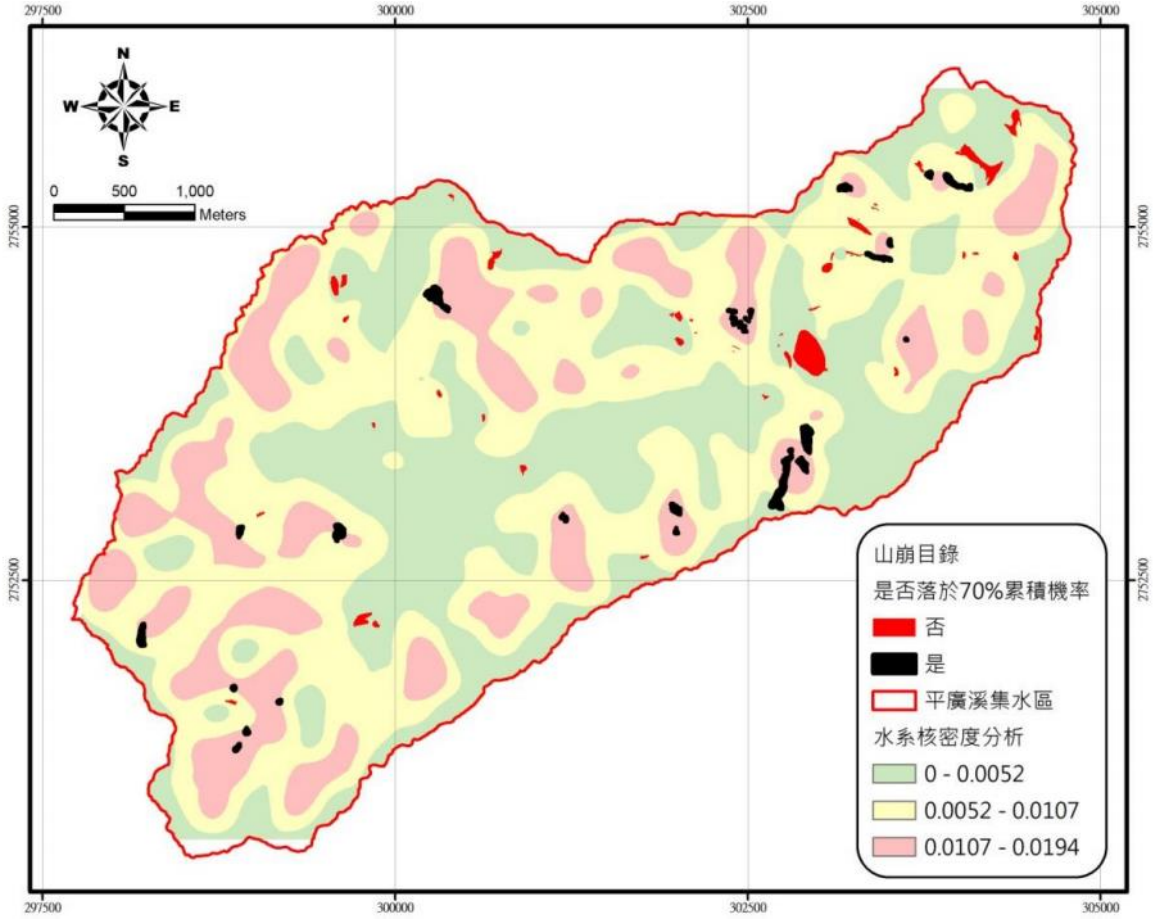


圖 3.2.13 平廣溪集水區內歷史崩塌目錄與水系密度之累積機率 70% －崩塌目錄與水系密度關係圖 (周憲德，2016)

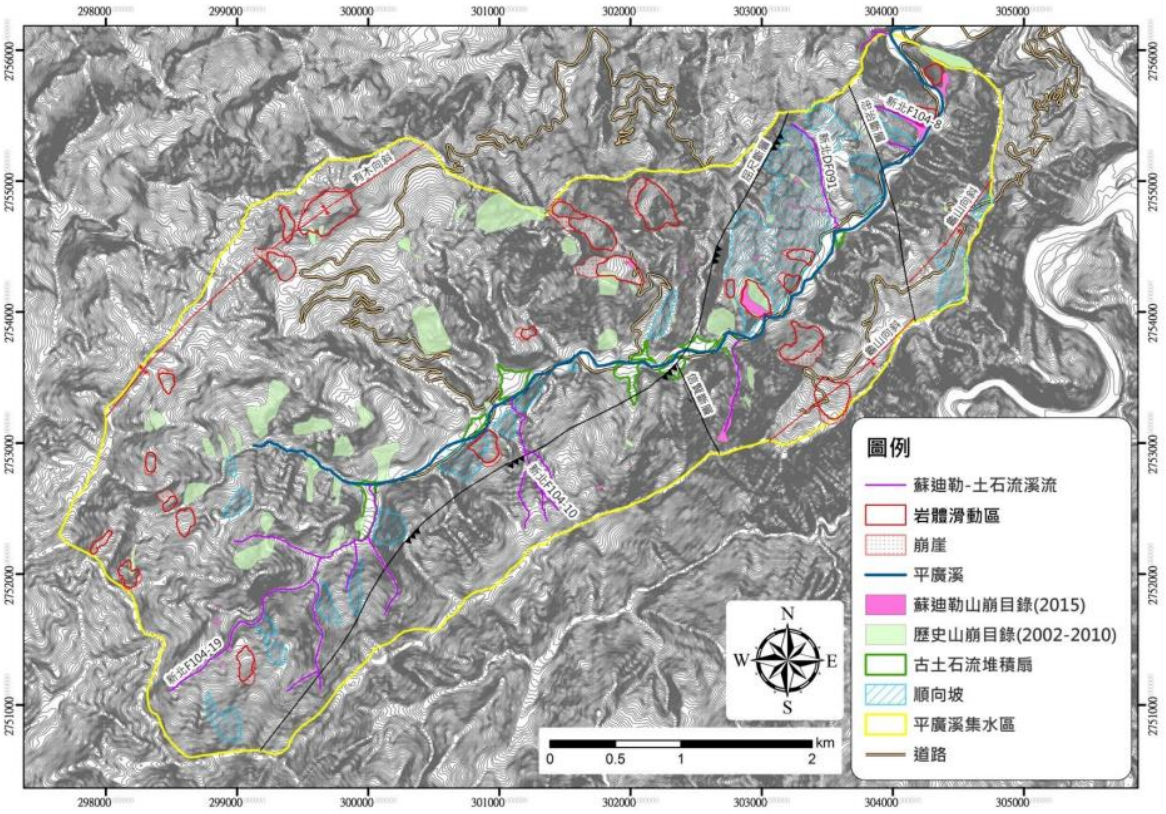


圖 3.2.14 平廣溪集水區古土石流與山崩微地形判釋成果

(周憲德，2016)

此外，此研究採用無因次地貌參數流域險峻值 Melton's ratio (MR=H/(A)0.5；H 為集水區溢流點以上高程差，A 為溢流點以上集水區面積；Melton, 1965)與蝕溝(溪流)長度等關係等參數，配合現地調查之結果，探討平廣溪集水區之潛在土砂災害類型。結果顯示，平廣溪所有子集水區的地貌參數以流域長(L<4.0km)與流域險峻值(MR>0.5) 來判定土石流潛勢溪流具有可行性。圖 3.2.15 為流域主流長度(L)與流域險峻值(MR)之關係。由圖可知平廣溪源頭子集水區(No. 24,25,26)為土石流潛勢溪流(如圖 3.2.16)，但在匯入較平緩的子集水區(No. 22, 23)後的土砂運移型態便由土石流，迅速於開源大道院(集水區 22 出口處)轉化為高含砂水流，再往下游則主流漸以洪水災害為主，容易發生較大範圍之溢淹或河堤沖毀災情。

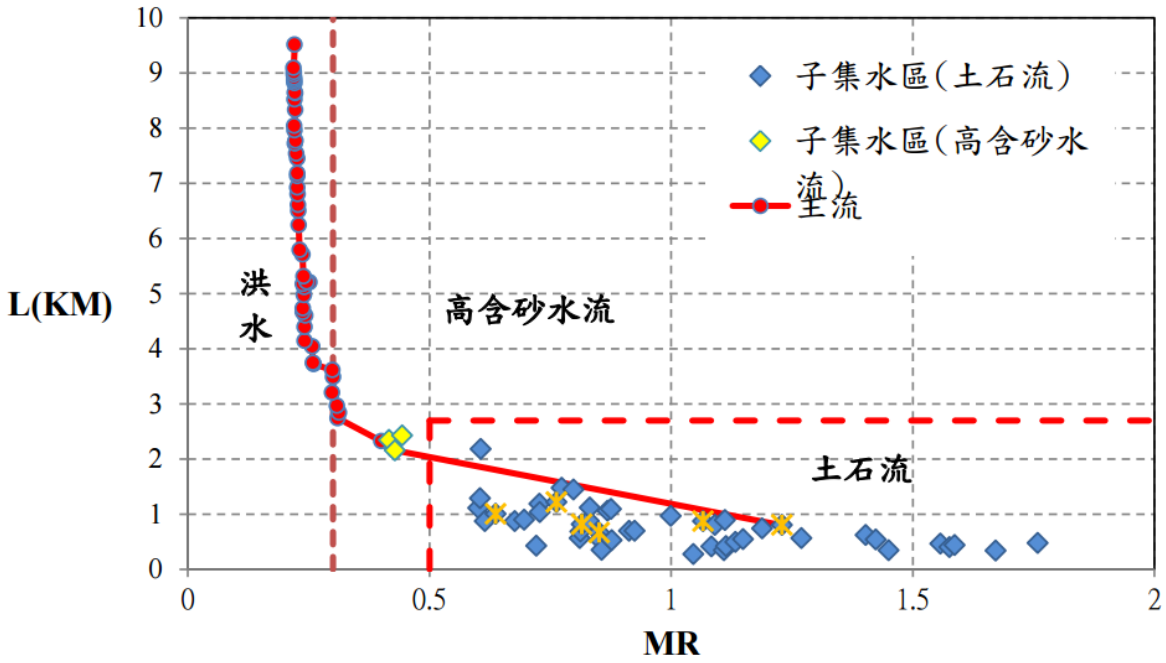


圖 3.2.15 流域主流長度(L)與流域險峻值(MR)之關係(周憲德，2016)

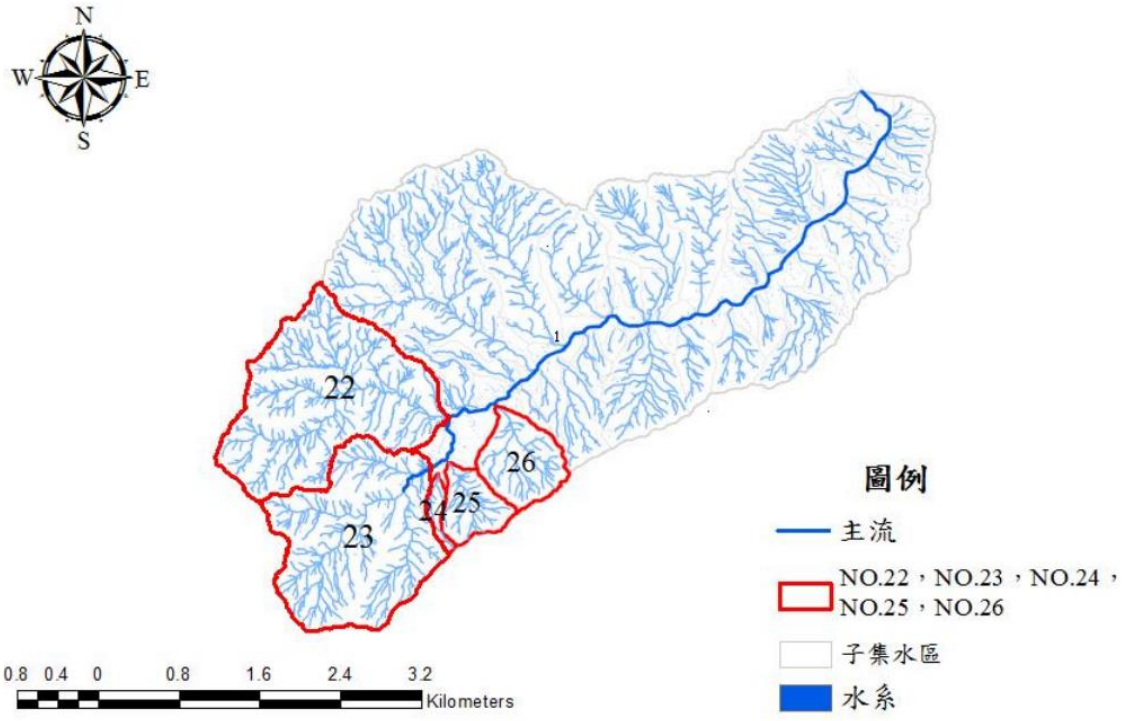


圖 3.2.16 平廣溪流域長度與土石流潛勢溪流示意圖 (周憲德，2016)

(二) 大規模崩塌災害潛勢評估

1.日本林野廳大規模崩塌災害潛勢調查作業手冊

日本近年來亦飽受大規模崩塌(深層崩塌)之威脅，為進行相關潛勢調查及風險評估，日本林野廳於 2014 年編訂有「大規模崩壞現場対応ハンドブック（案）」、「大規模崩壞潜在斜面危険度判定マニュアル（案）」及「大規模崩壞リスク評価マップ作成マニュアル （案）」三本作業手冊。其架構如圖 3.2.17。其中，大規模崩塌導致之災害類型，大致可分為三類，如圖 3.2.18。

日本林野廳所規劃之調查程序分為二個階段，第一階段為全國及都道府縣尺度的大規模崩塌災害潛勢圖之製作，第二階段為各斜坡單元之危險度判定。其中，第一階段之評估採用影響度分析法，如圖 3.2.19；第二階段之評估則採用 AHP 法，其各階層評估項目及權重如表 3.2.3。

2.日本国土技術政策総合研究所大規模崩塌對策之基本技術事項

儘管大規模崩塌就其發生頻率而言，雖較一般土砂災害來的少，但因其規模大，亦可能造成莫大之災害。另一方面，傳統的防砂設施未必能因應大規模崩塌或因大規模崩塌所形成的堰塞湖，同時依據土砂災害防止法所進行的土砂災害警戒區域等之基礎調查，並未包含大規模崩塌，因此日本国土技術政策総合研究所針對大規模崩塌之因應對策，於 2014 年初步整理成大規模崩塌對策之基本技術事項(手冊)。此手冊之內容與架構詳如圖 3.2.20。其中，對於堰塞湖類型之硬體對策示意圖如圖 3.2.21，土石流類型之硬體對策示意圖如圖 3.2.22。詳細內容詳第四章第四節。

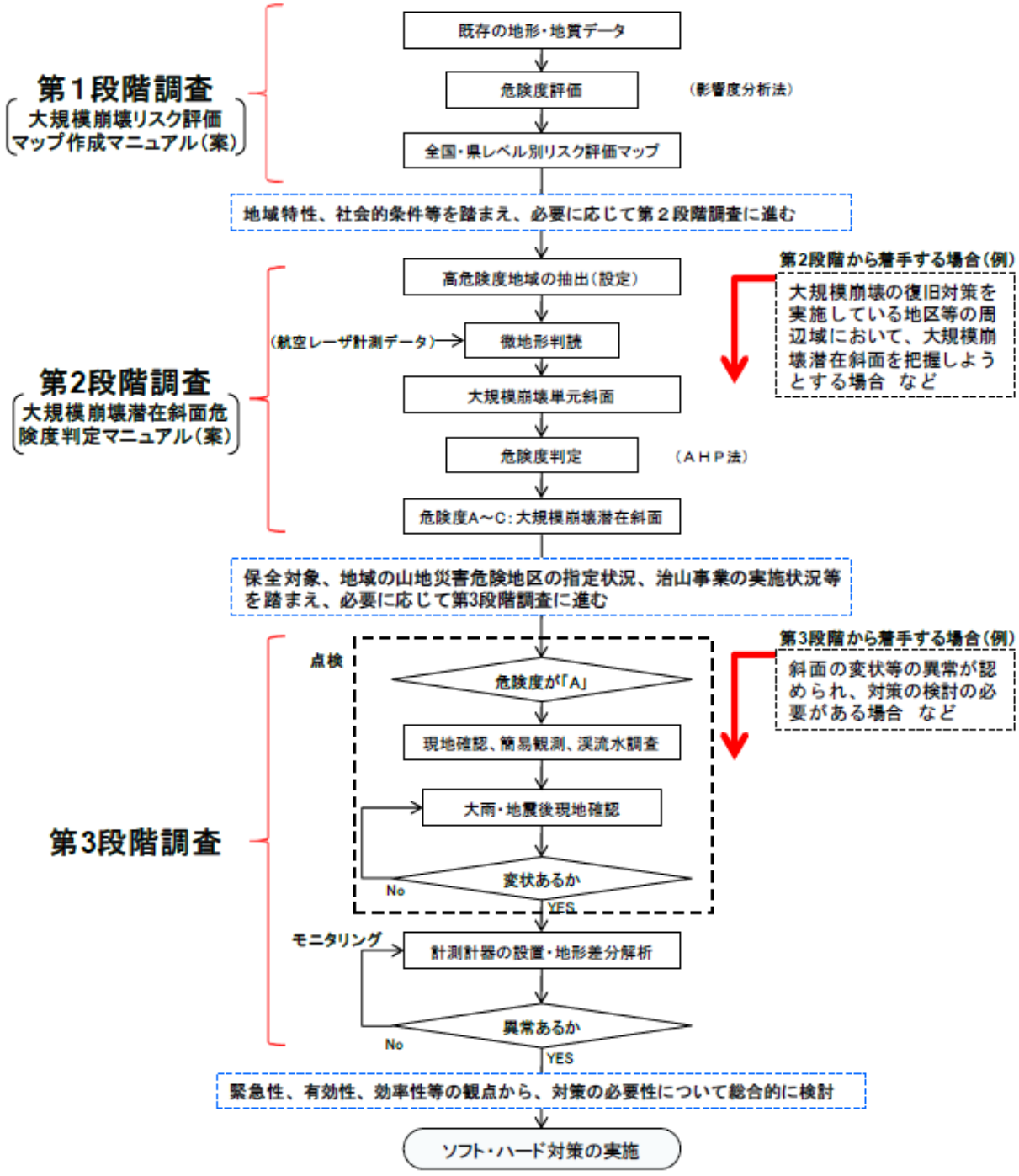
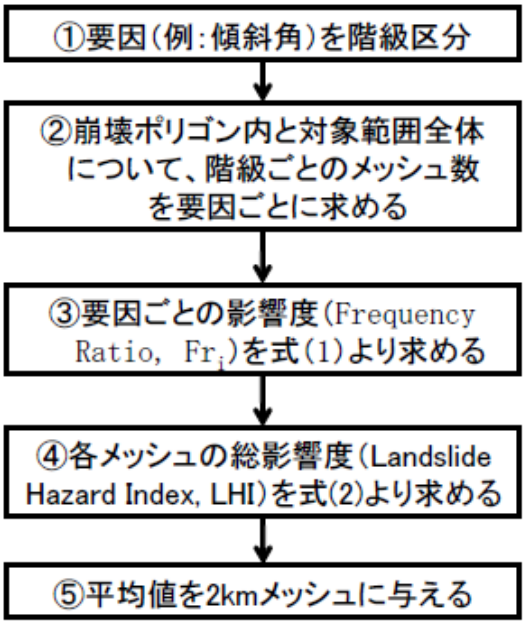


圖 3.2.17 大規模崩塌潛勢調查及風險評估手冊架構(林野廳，2014)

区分	落下型	流下型	決壊型
イメージ			
類似の事例			
説　明	崩壊土砂が山腹斜面の下方で停止するもので、土砂の到達距離が斜面長の 2 倍未満のもの	崩壊土砂が渓流を介して土石流となって流下するもので、土砂の到達距離が斜面長の 2 倍以上になるもの	崩壊土砂が渓流を塞き止めて天然ダムを形成し、湛水後、決壊して流下するおそれのあるもの

圖 3.2.18 大規模崩塌導致之災害類型(林野廳，2014)



$$Fr_i = \frac{N_{pix(S_i)} / N_{pix(N_i)}}{\sum N_{pix(S_i)} / \sum N_{pix(N_i)}} \qquad (1)$$

ここでは、

$N_{pix(S_i)}$：階級 i における崩壊メッシュ数

$N_{pix(N_i)}$：階級 i の全メッシュ数

$\sum N_{pix(S_i)}$：崩壊メッシュの総数

$\sum N_{pix(N_i)}$：調査範囲の全メッシュ数

$$LHI = Fr_1 + Fr_2 + Fr_3 + K + Fr_n \qquad (2)$$

圖 3.2.19 全國及都道府縣尺度的大規模崩塌災害潛勢評估方式(影響度分析法)

表 3.2.3 各斜坡單元危險度判定之 AHP 法各項評估因子及其權重

(林野廳)

番号	目的(レベル1)	評価項目 レベル2	レベル2のウエイト	評価項目 レベル3	レベル3のウエイト	評価項目 レベル4	レベル4のウエイト	総合ウエイト(レベル2ウエイト×レベル3×レベル4)
1	大規模崩壊危険度判定	斜面形状	0.024	凸型	0.633	—	—	0.015
				中間	0.261	—	—	0.006
				凹型	0.106	—	—	0.002
2		斜面傾斜	0.068	-15度	0.085	—	—	0.006
				15-25度	0.140	—	—	0.009
				25-35度	0.233	—	—	0.016
				35度-	0.542	—	—	0.037
3		起伏量	0.068	100m以下	0.067	—	—	0.005
				100-200m	0.148	—	—	0.010
				200-300m	0.291	—	—	0.020
				300m-	0.494	—	—	0.033
		斜面変状	0.253	亀裂・段差地形	0.292	上部	0.633	0.047
						中部	0.260	0.019
						下部	0.106	0.008
4				線状凹地・二重山稜	0.181	30m以上	0.724	0.033
						10-30m	0.193	0.009
						10m以下	0.083	0.004
				滑落崖	0.181	明瞭	0.633	0.029
						やや明瞭	0.260	0.012
						不明瞭	0.106	0.005
				小崩壊	0.186	上部	0.106	0.005
						中部	0.260	0.012
						下部	0.633	0.030
				クリープ斜面	0.113			0.029
				山頂緩斜面	0.026	—	—	0.007
				リニアメント	0.026	—	—	0.007
5		末端侵食状況	0.169	強い	0.566	—	—	0.095
				やや強い	0.274	—	—	0.046
				弱い	0.113	—	—	0.019
				なし	0.046	—	—	0.008
6		サイド侵食状況	0.113	両側に渓流あり	0.615	—	—	0.070
				片側に渓流あり	0.319	—	—	0.036
				渓流なし	0.066	—	—	0.007
7		末端形状	0.165	急・比高大	0.643	—	—	0.106
				急または比高大	0.283	—	—	0.047
				緩傾斜・比高小	0.070	—	—	0.012
8		地質	0.024	火山系	0.592	—	—	0.014
				堆積系Ⅱ	0.205	—	—	0.005
				堆積系Ⅰ	0.131	—	—	0.003
				深成系(変成岩を含む)	0.072	—	—	0.002
9		地質構造	0.117	流れ盤	0.738	—	—	0.086
				受け盤	0.094	—	—	0.011
				その他	0.168	—	—	0.020

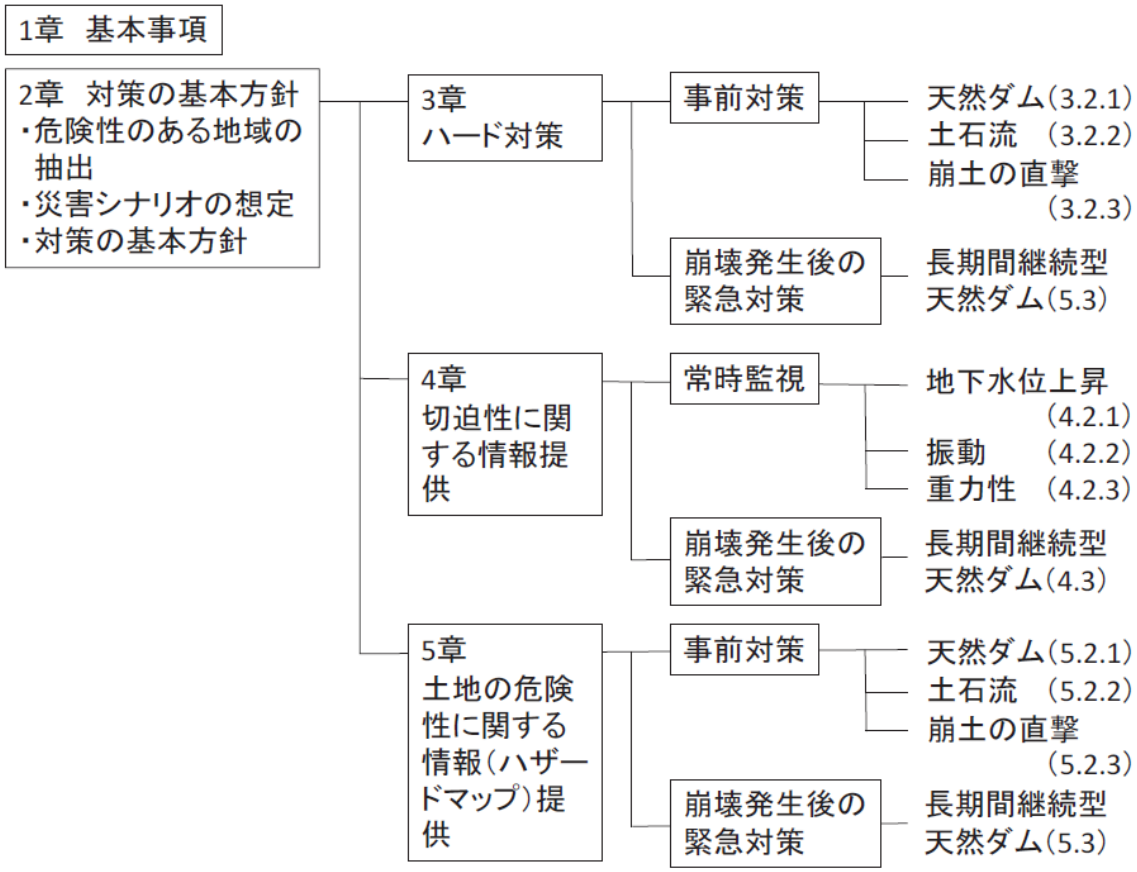


圖 3.2.20 日本国土技術政策総合研究所大規模崩塌對策之基本技術事項內容架構(國總研，2014)

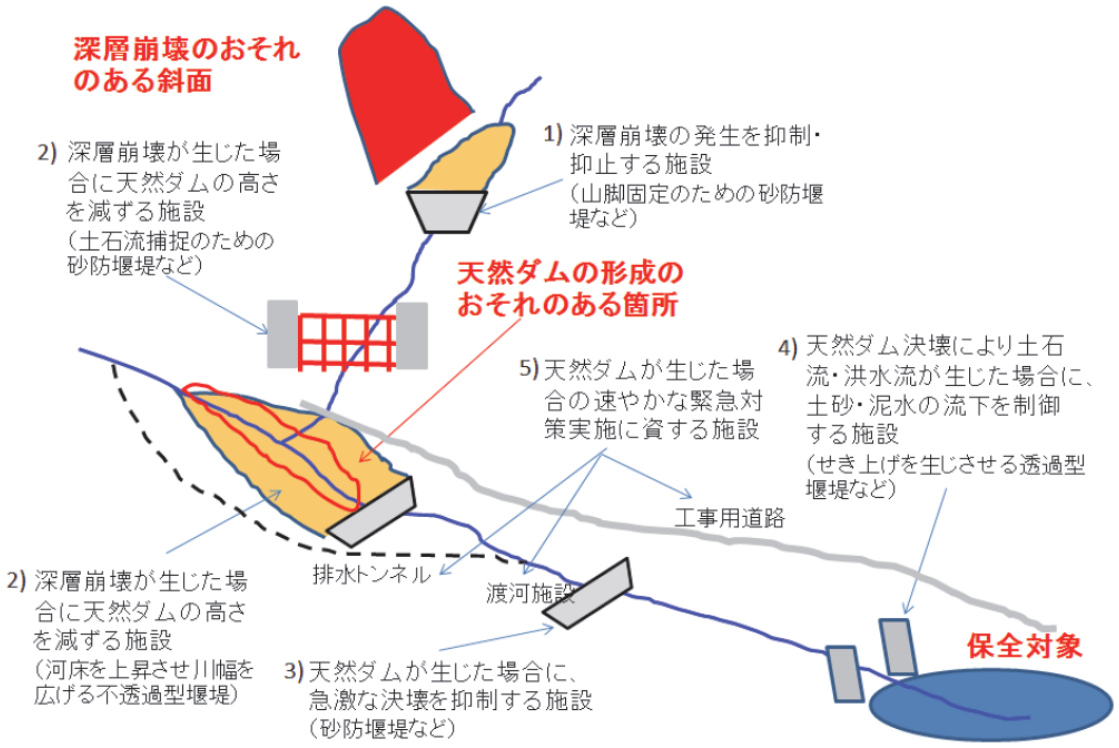


圖 3.2.21 堰塞湖類型之硬體對策示意圖(國總研，2014)

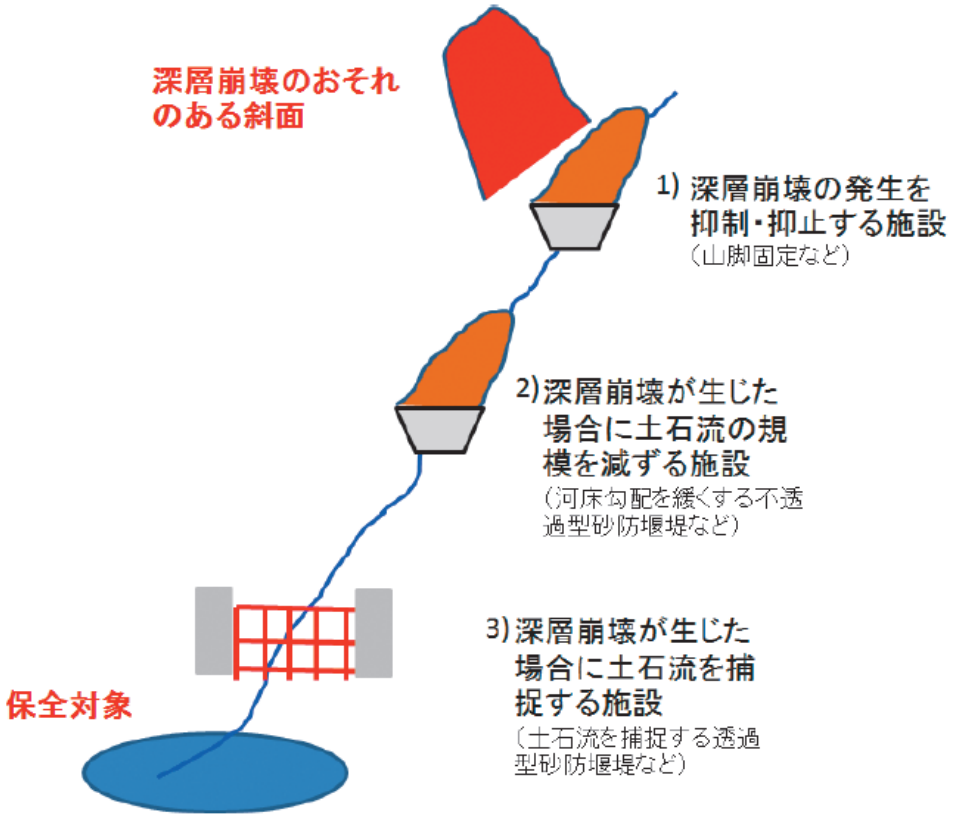


圖 3.2.22 土石流類型之硬體對策示意圖(國總研，2014)

3.國內大規模崩塌風險度評估方式

近年來經濟部中央地質調查所持續針對國內大規模崩塌潛在地區，以高精度數值地型判識等方式，進行規模崩塌發生潛勢區之劃設。由於數量龐大，為順利推動後續防減災相關措施，水土保持局(2015)乃參考國際減災策略組織(ISDR)公式：危險度＝災害發生度 X 重要保全對象(Risk＝Hazard X Vulnerability)，配合潛在大規模崩塌的災害發生度評分及可能影響區域內重要保全對象評分估算大規模崩塌潛勢區危險度，並給予 0～9 之危險等級評分，評估方式詳如表 3.2.4~表 3.2.6。此外，水土保持局針對有持續發展之較高危險且有重要保全對象區位，於 2015 年選出 5 處潛在大規模崩塌建置簡易觀測系統，並針對崩塌細部特徵進行影像判釋及現地查核，初步評估其影響範圍和可能的致災情形及破壞機制。此外利用 GPS 觀測資料量化潛在大規模崩塌坡面點位位移場，分析該坡面是否有位移現象產生。

表 3.2.4 大規模崩塌災害發生度因子分級/分類之評分表

因子	分級/分類	Wc	因子內部評分	正規化	分數
坡度	>45 度	2.52776	2.0	1	4
水系距離	河道通過或相切	0.62732	2.0	0.68817	3
岩性	板岩	0.53413	2.0	0.67288	3
順向坡	有	0.13551	2.0	0.60747	2
構造距離	構造線通過或相切	0.08426	2.0	0.59906	2
構造距離	無構造線通過或相切	-0.08426	1.0	0.57141	1
順向坡	無	-0.13551	1.0	0.56300	1
岩性	砂岩、砂頁岩互層變質砂岩、片岩	-0.46676	1.5	0.50865	2
水系距離	無河道通過或相切	-0.62732	1.0	0.48231	1
坡度	30~45 度	-1.23979	1.5	0.38181	1
岩性	頁岩	-2.02882	1.0	0.25234	1
坡度	<30 度	-3.56673	1.0	0	0
高危險度：14 分>H>10 分、中危險度：9 分>H>7 分、低危險度：6 分>H>4 分					
最高分為 14 分。					

表 3.2.5 大規模崩塌重要保全對象因子評分表

	保全對象	分數
住戶	住戶 50 戶以上	36
	住戶 20 到 49 戶	25
	住戶 11 到 19 戶	16
	住戶 10 戶以下	9
交通	主要連外道路、橋梁	4
	道路	1
重要設施	重要公共設施(如防災措施相關之公共場所、高壓電塔、攔河堰)	16
水庫蓄水區		16
高重要性：V>36 分、中重要性：35 分>V>12 分、重要性：V<11 分		
V 最高為 72 分		

表 3.2.6 大規模崩塌危險等級評估表

危險等級評分表		保全重要性(T_2)			
		高	中	低	無
發生度等級(T_1)	高	9	7	4	0
	中	8	5	2	0
	低	6	3	1	0

4.國內大規模崩塌影響範圍劃定方式

由於大規模崩塌影響範圍的調查及劃設為各項工作之基礎，其技術發展與應用最為迫切，水土保持局於 2015 年透過大規模崩塌影響範圍案例資料庫建置及劃設方法之蒐集，訂定具體可推動的大規模崩塌影響範圍劃設方法，並選擇示範區進行方法之驗證，以檢討修正劃定方法。其中，依據大規模崩塌堆積型態，其影響範圍劃設方法，分為重力堆積型、堰塞湖型、土石流型等三類；而大規模崩塌運動及堆積區致災類型判別流程如圖 3.2.23 所示。

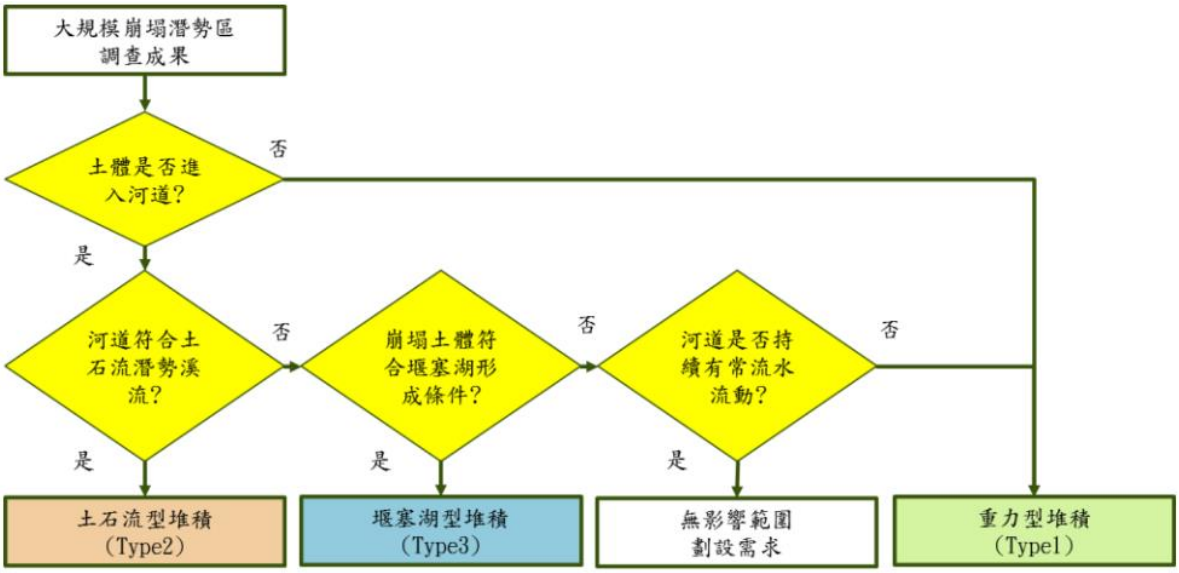
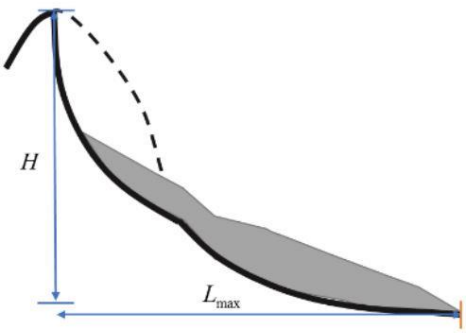
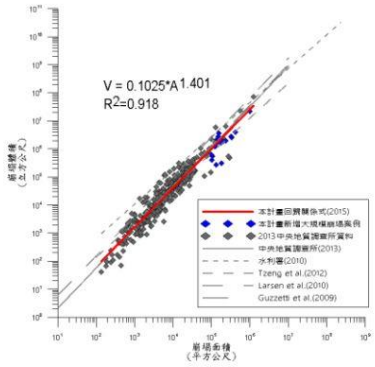
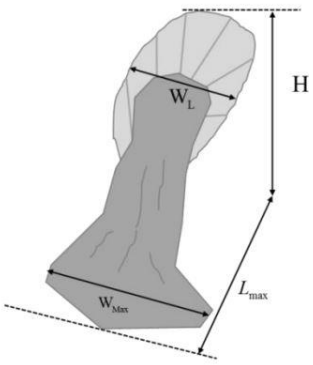
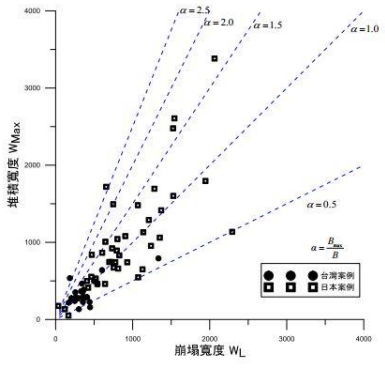


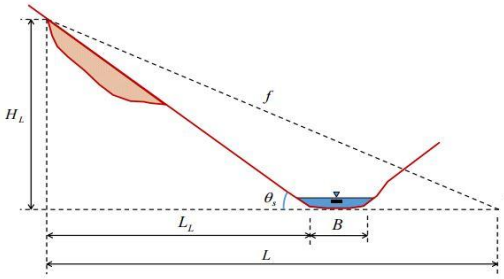
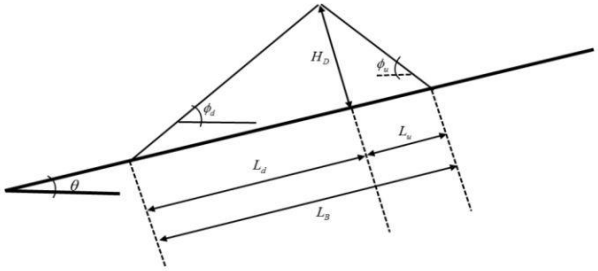
圖 3.2.23 大規模崩塌運動及堆積區致災類型判別流程圖

考量當前之潛在大規模崩塌區之判釋工作之成果，若以國土發展與管理之需求， 應針對所有潛勢區進行影響範圍之劃設工作，但此項工作則可能需要較長之時間方可進行，相對的，若是以防減災需求進行考慮，目標則以人為主，因此應先針對聚落、重要道路及設施等項目進行考量，如此一來需劃定數量則將大幅降低。但在劃設成果之精確度上來看，若為防減災之運作為目的，如需進行避難疏散之人口確認，在精度上之要求則可放寬，相對的，若是需要進行土地之管理，如特定水土保持區之劃定，或是要進行避難疏散路線之規劃等，則對於其劃設成果有相當高之精度要求。從上述兩種需求來看，針對全國性防減災需求之影響範圍劃設工作，由於目標數量極大，應透過操作門檻較低之方式執行，因此水土保持局建議採用經驗公式法進行初步影響範圍之劃設；相反的，若是初步影響範圍內遇到重要保全對象或是有後續防災工作推 動之需求，則應透過較高精確度之方法進行，則建議以數值計算法進行細部影響範圍之劃設，若能有更足夠之資源，細部影響範圍之劃設亦可採用模型試驗法進行。依據 2015 年水土保持局所擬訂之大規模崩塌影響範圍(含運動及堆積區)劃設方法(草案)，詳如表 3.2.7。

表 3.2.7 大規模崩塌影響範圍劃設方法(草案)(水土保持局，2015)

	劃設方法
重力堆積型	**(1) 重力堆積型劃設方法** 崩塌土體沿坡面進入緩坡或平坦地者，其劃設方法依：1.可能滑動距離與 2.可能堆積寬度劃設之。 i. 可能滑動距離 L_{Runout}：崩塌可能滑動距離可透過等價摩擦係數求之(Scheidegger，1973)，公式如下。 $$L_{Runout}=\frac{H}{10^{0.624-0.157\log V}} \quad (1)$$ 式中 H 為坡頂高程差(公尺)、V 為崩塌體積(立方公尺)，可由本計畫所建立之之公式進行計算。 $$V=0.1025\times A_L^{1.401} \quad (2)$$ 式中 A_L 為崩塌面積(平方公尺)。  圖 11 可能滑動距離計算示意圖  圖 12 崩塌面積-體積關係式 ii. 可能堆積寬度 W_{Max}：根據崩塌地寬度 W_L 與堆積寬度 W_{Max} 關係式(圖 14，本計畫整理)，可以看出大部分之堆積寬度多為崩塌寬度之 1.5 至 2 倍之間，因此建議可能堆積寬度可以下式進行計算。 $$W_{Max}=1.5\sim 2W_L \quad (3)$$ 式中 W_{Max} 為最大堆積寬度(公尺)，W_L 為崩塌地寬度(公尺)，目前依防災之需求，建議取 $W_{Max}=2W_L$。  圖 13 崩塌可能堆積寬度計算示意圖  圖 14 崩塌地寬度與堆積寬度關係式

	劃設方法
土石流型	**(2)土石流型劃設方法** 崩塌土體沿坡面滑落至溪谷，且該溪谷符合土石流潛勢溪流之條件者(溪床坡度大於 10°以上之集水面積大於 3ha)，依土石流影響範圍之劃設方法進行之。 i. 土石流堆積扇長度：目前水土保持局建議之土石流影響範圍之劃設方法係採用之池谷浩公式進行。 $$\log(L)=0.42\times\log(V\times\tan\theta_d)+0.935 \quad (4)$$ 式中 L 為土石流堆積扇長度(公尺)、V 為土砂流出體積(立方公尺)、θ_d 為堆積扇之坡度(度)，其中土砂流出體積可由下列方法取較大值進行計算。 ● 集水區最大土砂流出量(水土保持局，2013) $V=70992\times A_w^{0.61}$，其中 A_w 為集水區面積(平方公里)。 ● 崩塌土方量(本計畫提出) $V=0.1025\times A_L^{1.401}$，式中 A_L 為崩塌面積(平方公尺)。 ii. 堆積扇角度評估方法：目前水土保持局建議堆積角取105°。 iii. 現地修正影響範圍：於現地調查時，參照初步劃設之影響範圍底圖於現地編修。若於底圖上劃設之溢流點附近有保全對象存在，則以此黑白相片基本圖或航照圖為底圖，依現地地形地貌，修正前述之影響範圍，依據為： ■ 現地勘查可能之溢流點位置，如谷口處、障礙物處或地形突然變緩處，並於現地重新定位，求得其正確位置所在。 ■ 根據現地地形修正，將土石流不可能會經過之部分去除。 ■ 若兩岸地勢之高程值高出流道 10～12 公尺（約 3～4 層樓），大致已高出土石流之可能堆積高度，則可去除。 ■ 若以池谷浩所計算的扇狀地長度不足以涵蓋整個保全對象範圍，則經由現地勘查之狀況延長扇狀地之半徑長度。 若於現地調查時發現除了底圖上之溢流點外，還有其餘鄰近保全對象之溢流點存在，則依具上述現地劃設影響範圍之原則，增加該條溪流之影響範圍圖層。

	劃設方法
堰塞湖型	**(3) 堰塞湖型劃設方法** 崩塌土體沿坡面滑落至溪谷，若該溪谷不符合土石流潛勢溪流之條件，但符合堰塞湖形成條件者，則依堰塞湖影響範圍劃設方法劃定之。 i. 堰塞湖形成條件：當崩塌發生後土體堆積後形成堰塞湖之形成條件包含：崩塌土體可抵達溪谷對岸與土體最小堆積高度大於溪谷水深。 ● 崩塌土體可抵達溪谷對岸(圖 15，Chen et al.，2014) $$L_{Runout} = \frac{H}{10^{0.624-0.157\log V}} \geq L_L + B \quad (5)$$ 式中 L_{Runout} 為可能滑動距離(公尺)、H 為崩塌地最高點至河床底高度(公尺)、V 為崩塌體積 (立方公尺)、L_L 為坡面投影長度(公尺)、B 為河谷寬度(公尺)。 ● 土體最小堆積高度(圖 16，Chen et al.，2014) $$H_D = 18.933V^{0.969} \geq h_w \quad (6)$$ 式中 H_D 為堰塞湖天然壩最小堆積高度(公尺)、V 為崩塌體積(立方公尺)、h_w 為河谷水深(公尺)。  圖 15 崩塌土體抵達河谷對岸示意圖  圖 16 天然壩堆積形狀示意圖 ii. 當土體條件達到堰塞湖形成條件時，則可判定堰塞湖形成，其影響範圍分為天然壩堆積(Type 3.1)、上游迴水範圍(Type3.2)及潰壩(Type 3.3)後之影響範圍三種，分述如下。 ● 天然壩堆積範圍：天然壩之堆積範圍可由壩體堆積形狀進行評估，其計算公式如下(圖 12，Chen et al.，2014) $$L_B = L_d + L_u \quad (7)$$

	劃設方法

$$L_d = \frac{H_D}{\tan(\phi_d - \theta_r)} \quad (8)$$

$$L_u = \frac{H_D}{\tan(\phi_u + \theta_r)} \quad (9)$$

$$\phi_d = 2.677\theta_r^{0.486} \quad (10)$$

$$\phi_u = 1.075\phi_d\theta_r^{(-1.613)} \quad (11)$$

式中 L_B 為天然壩堆積長度(公尺)、L_d 為天然壩下游堆積面長度(公尺)、L_u 為天然壩上游堆積面長度(公尺)、H_D 為堰塞湖天然壩最小堆積高度(公尺)、ϕ_d 天然壩下游堆積面坡度(度)、ϕ_u 天然壩上游堆積面坡度(度)、θ_r 為河谷坡度(度)。

- 上游迴水範圍：當天然壩形成後，上游來水會因其阻斷而產生迴水，其影響範圍可由壩體之可能最大堆積高度進行評估，範圍之劃設方法如圖 17 所示。

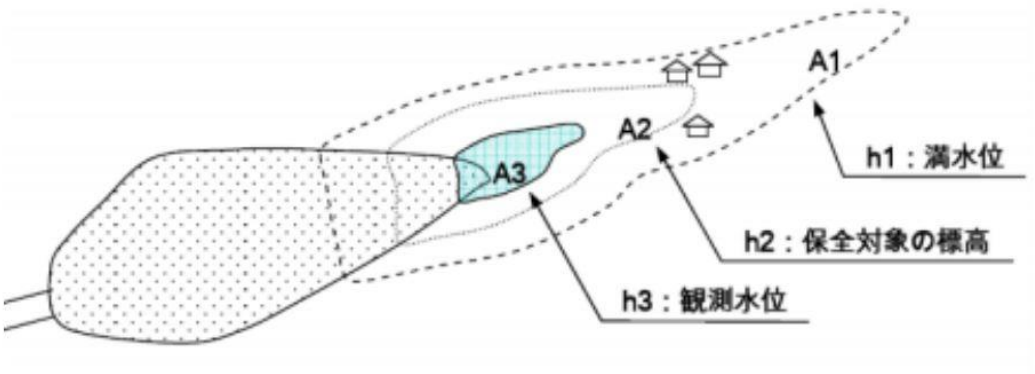


圖 17 天然壩上游迴水區之劃設概念圖

- 潰壩影響範圍：因應防災要求，需評估潰壩後之影響範圍時，一般以數值模擬方法對洪峰是否溢堤進行評，模擬主要項目如下：潰壩時之尖峰流量、洪峰傳遞過程中之河川水深)、洪峰傳遞過程中之河床高程及沖淤、水位是否溢堤。

三、土砂災害預警模式

(一) 日本現行土砂災害警戒系統

日本早自 1984 年即開始發展以雨量為指標的土砂災害警戒系統，並使用短期雨量指標(Short-term rainfall index)及長期雨量指標(Long-term rainfall index)劃設土砂災害警戒的臨界線(Critical Line, CL)，其中在臨界線左下方為安全區，右上方為危險區，如圖 3.2.24。颱風豪雨期間，土砂災害警戒系統定時將實測雨量資料轉換為短期及長期雨量指標，並點繪於圖上形成一連續之蛇曲線(Snake line)，如蛇曲線已超過或即將超過臨界線時，即發布土砂災害警戒(Osanai et al,2010)。日本歷年短期及長期雨量指標的發展及演變，如表 3.2.8 (Osanai et al,2010)。由於傳統劃設臨界線的方式必須仰賴大量已知發生時間的災例資料，再以人工方式決定臨界線的位置；但在實務上，大部分的地區很難蒐集到足夠的災例資料，且人工劃設臨界線的方式亦無客觀的標準，故日本政府自 2005 年起即開始於部份地區(例如鹿兒島縣等)試用以徑向基底函數網路(Radial Basis Function Network, RBFN)的方式，並將日本氣象廳自 1988 年起已建置完成的 5km 網格式雷達解析雨量資料(Radar Automated Meteorological Data Acquisition System analytical rainfall, RAMeDAS analytical rainfall)(目前精度已達 1km)轉為 1 小時一筆之 60 分鐘累積雨量及土壤雨量指數作為輸入值，以類神經網路模式直接劃設出臨界線，如圖 3.2.25。由於此種方式具有毋需明確災例資料，即可客觀的定出臨界線的優點。故自 2008 年起，日本全國各都道府縣即已全面使用此種方式劃設土砂災害警戒臨界線，並據以發布土砂災害警戒(Osanai et al,2010)。

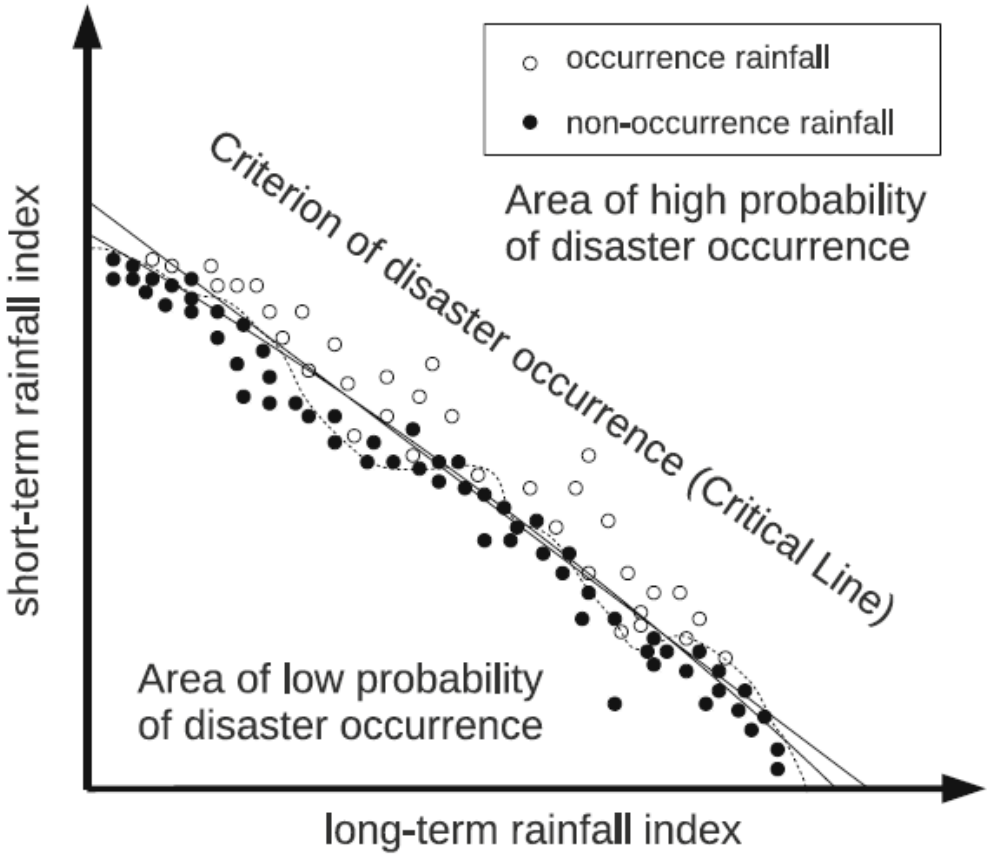


圖 3.2.24 日本土砂災害警戒模式示意圖(Osanai et al., 2010)

表 3.2.8 日本歷年短期及長期雨量指標的發展演變

(Osanai et al., 2010)

Year	Short-term rainfall index	Long-term rainfall index	Method of boundary fitting
1984	60-min cumulative rainfall	AP (half time: 24 h)	By eye
1984	Effective rainfall	AP (half time: 24 h)	By eye
1993	AP (half time: 1.5 h)	AP (half time: 72 h)	By eye
2005	60-min cumulative rainfall	Soil–water index	Radial Basis Function Network

After Terada and Nakaya 2001, with the addition of the method of 2005 by the authors. AP is defined as $P = \sum \alpha_i R_i$, where P is AP, $\alpha = 0.5^{i/T}$ is decay coefficient before ith hour, R_i is hourly reinfall before ith hour, and T is a relaxation time (time to halve) (h)

AP antecedent precipitation

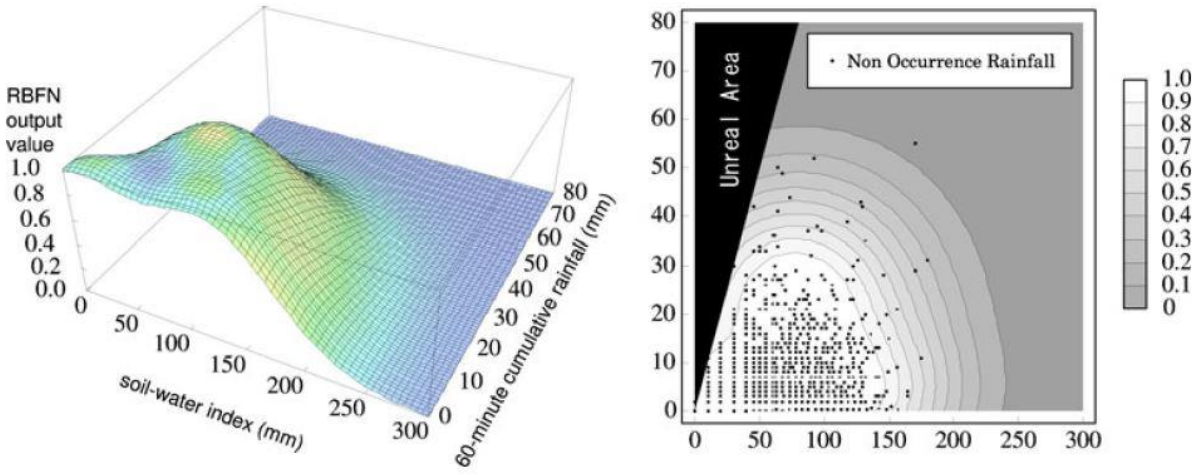


圖 3.2.25 徑向基底函數網路(Radial Basis Function Network, RBFN) 劃設臨界線

目前日本的土砂災害警戒係由都道府縣的砂防單位及地方氣象台共同發布，發布時間採不定時方式；亦即當預測未來 2 小時後，蛇曲線將超越臨界線時，即發布「土砂災害警戒情報」。發布樣式如圖 3.2.26(国土交通省河川局砂防部、氣象庁予報部，2005)，發布對象為該都道府縣所轄之市町村。其內容主要是以文字為主，說明警戒範圍包含那些市町村，同時提醒未來 1 至 3 小時最大可能降雨地區及強度等氣象資訊，並輔以簡單圖形說明。此外，各都道府縣的砂防單位亦以網站公開方式，將所轄地區以 5km 網格方式呈現各地區的土砂災害危險度等級，以提供市村町執行疏散避難決策人員及一般民眾參考，如圖 3.2.27 (Osanai et al,2010)。

(二) 美國現行土砂災害警戒系統

由於美國實際上的災害管理作為屬於各州州政府的職責，且美國的政治制度屬於聯邦制，各州有自己的憲法和參議院，各州的州政府所屬機關和權責分工都不相同，因此，美國至今仍欠缺國家級的坡地災害警戒系統。依據 Baum RL and Godt JW (2010) 彙整美國現行運作中的土砂災害警戒系統分布如圖 3.2.28，各代表性的警戒系統之比較詳如表 3.2.9。其中 2002 年 Seattle 市、NWS、USGS 合作建立的土砂災害警戒系統，計使用 17 座自動雨量站(平均距離 2-5km)及定量降雨預報(QPF)建立淺崩預警系統，並選一處斜坡進行孔隙水壓與促崩關聯試驗，如圖 3.2.29，

展示界面網址(https://landslides.usgs.gov/monitoring/seattle/)。本系統採用四重警戒模式作為發布門檻,包含Cumulative Precipitation Threshold(前 3 天及前 4-18 天累積雨量)、Rainfall Intensity/Duration Threshold、Antecedent Wetness Index(新增)、Forecast Relative to Threshold(新增)(整合 NWS 降水預報後的,前3天及前4-18天累積雨量)。目前警戒等級分為四級:Null, outlook, watch, warning,易理解,且發布及解除(調降)條件明確,亦有相應之明確的行動指示,如表 3.2.10。

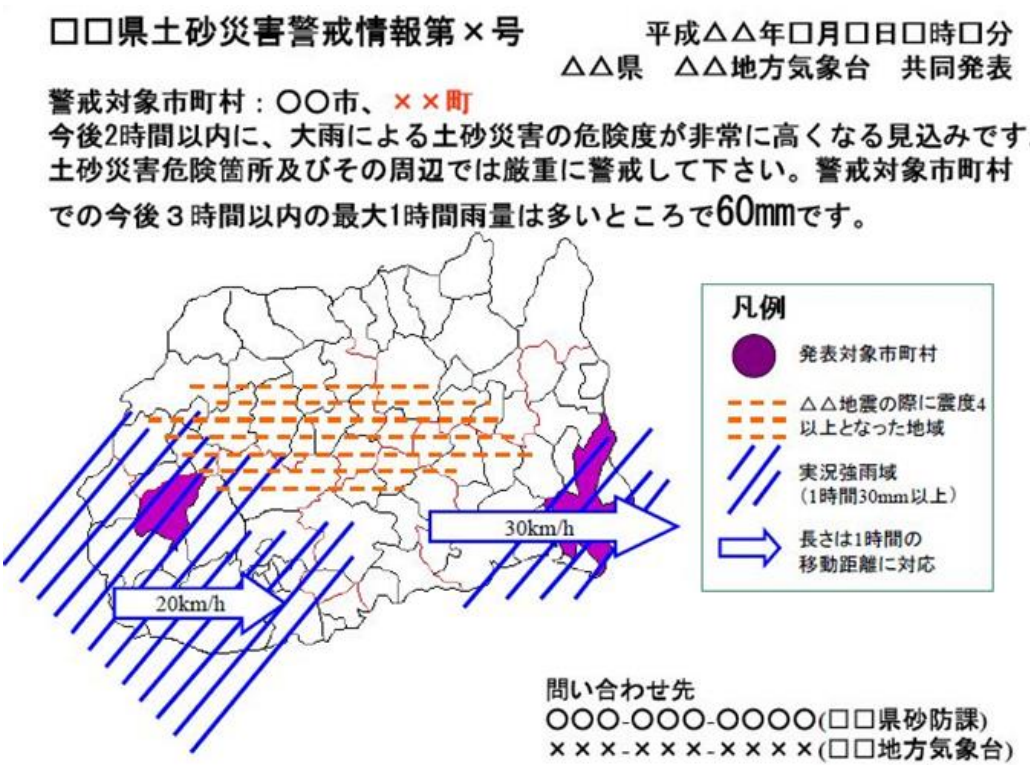


圖 3.2.26 日本土砂災害警戒情報範例(國土交通省等，2005)

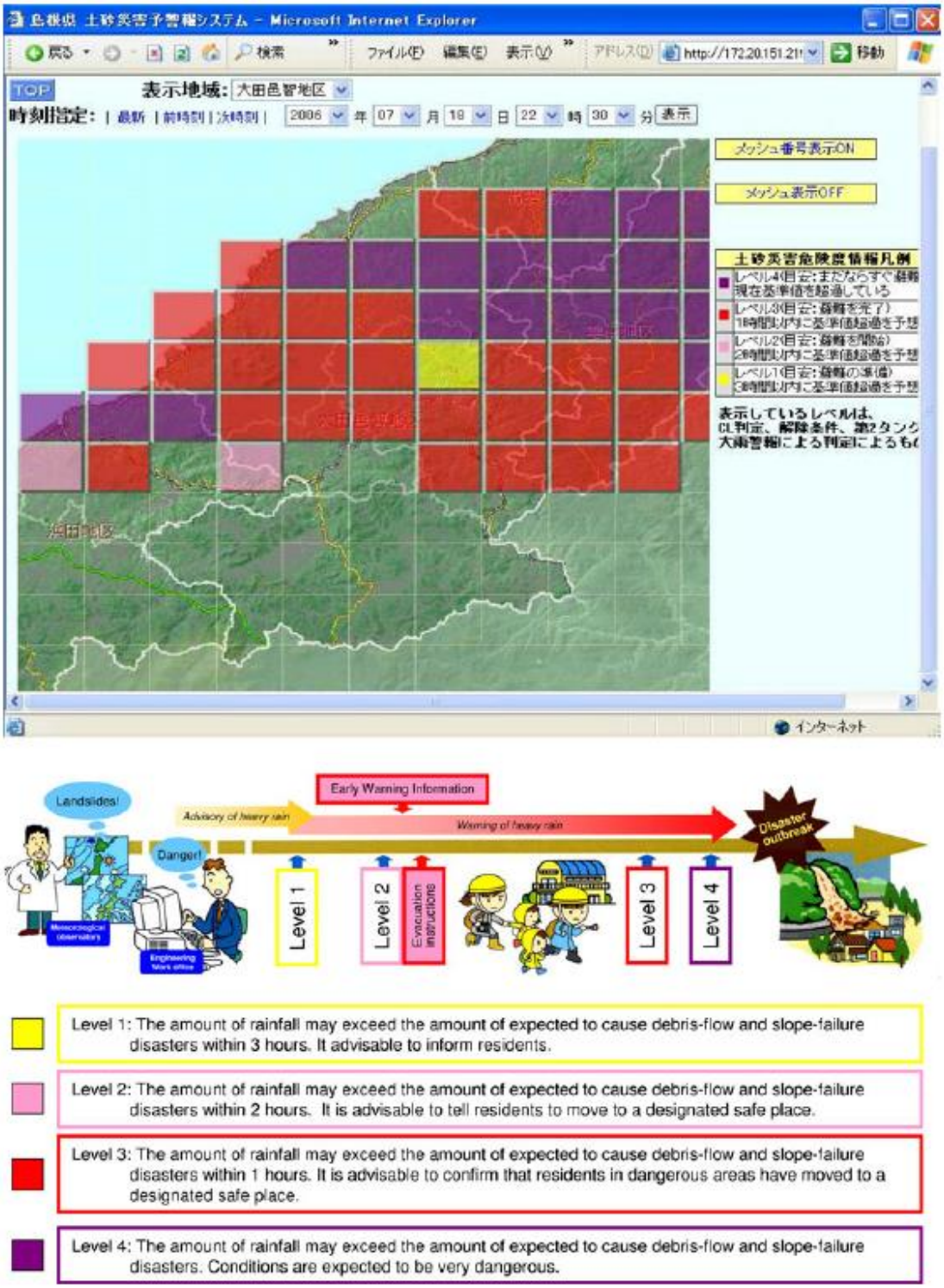


圖 3.2.27 日本土砂災害警戒發布及呈現方式、不同顏色之警戒等級及其建議之應變作為(Osanai et al, 2010)

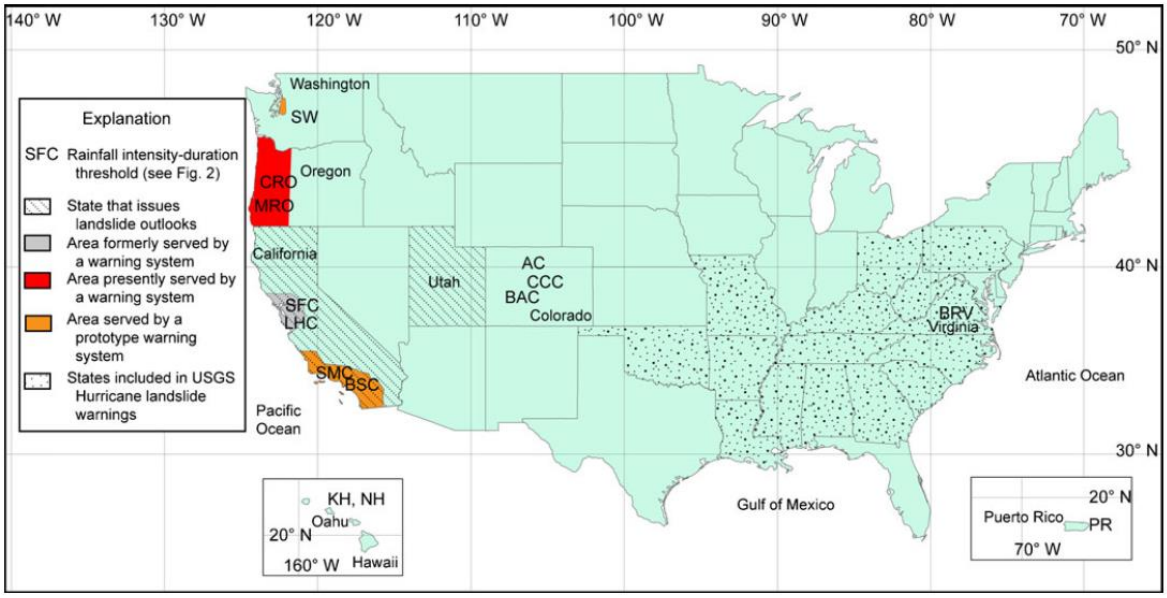


Fig. 1 Map showing where landslide–precipitation relationships exist and where some form of landslide alerting is provided in the USA and its territories. Abbreviations for areas with rainfall thresholds, *SW* Seattle, WA, *CRO* Coast Range, OR, *MRO* Mettman Ridge, OR, *SFC* San Francisco Bay Area, CA, *LHC* La Honda, San Mateo County, CA, *BSC* southern California burned areas, *SMC* Santa Monica Mountains, southern California, *KH* Kaluanui area, Oahu, HI, *NH* Nuuanu area, Oahu, HI, *AC* Rocky Mountain alpine areas, CO, *CCC* Chalk Cliffs, Chafee County, CO, *BAC* Colorado burned areas (Coal Seam Fire and Missionary Ridge Fire), *BRV* Blue Ridge Mountains, VA, *PR* Puerto Rico

圖 3.2.28 美國現行運作中的土砂災害警戒系統分布圖

(Baum RL and Godt JW ，2010)

表 3.2.9 美國代表性的土砂災害警戒系統比較表

Table 1 Warning systems for debris flows and (or) shallow landslides in the USA

Localities	San Francisco Bay Area	Southern California burned areas	Appalachians	Western Oregon	Seattle, WA
Operators	USGS, NOAA	NOAA, USGS	USGS	ODF (until 2007), ODOT, DOGAMI, NWS (since 2007)	USGS, NWS, City of Seattle
Status	Operated under formal agreements from 1985 through 1995	Prototype, operated under formal agreement since 2005	Activated when major hurricanes threaten the area, since 2004	Operates under an unfunded mandate since 1997	Prototype, operates under informal agreements since 2002
Warning methods	NWS special weather statements, flash flood warnings	NWS flash flood watches and warnings	USGS press release	DOGAMI press release, NWS flash flood watches	NWS special weather statements since 2006
Broadcast media	Radio, television	AWIPS, CAP, DMIS, Internet, NOAA weather radio, television	Internet, CAP, DMIS	Internet, radio, television	Internet, radio, television, CAP, DMIS
Rainfall thresholds (Fig. 2)	SBC	BSC	BRV	CRO	SW
Antecedent precipitation (Fig. 3)	Yes	No	No	Yes	Yes
Snowmelt	No	No	No	Occasionally	Occasionally
Wildfires	No	Yes	No	No	No
Map scale	None	1:100,000	1:7,500,000	1:24,000	1: 24,000
Map reference	None	Cannon et al. 2007	Radbruch-Hall et al. 1982	Hoffmeister et al. 2002	Harp et al. 2008
Geotechnical monitoring	Groundwater levels	None	None	None	Soil moisture, pore pressure
Verification	USGS	USGS, NWS volunteers	USGS	DOGAMI	City of Seattle, USGS
Primary references	Keefer et al. 1987; Wilson 1997	USGS 2005	Wieczorek et al. 2000; Baum 2007	DOGAMI 2005; Wiley 2000	Chleborad et al. 2008; Godt et al. 2006

CAP Common Alerting Protocol, *DMIS* Disaster Management Information System, *DOGAMI* Oregon Department of Geology and Mineral Industries, *NOAA* National Oceanic and Atmospheric Administration, *NWS* National Weather Service, *ODF* Oregon Department of Forestry, *ODOT* Oregon Department of Transportation, *USGS* US Geological Survey

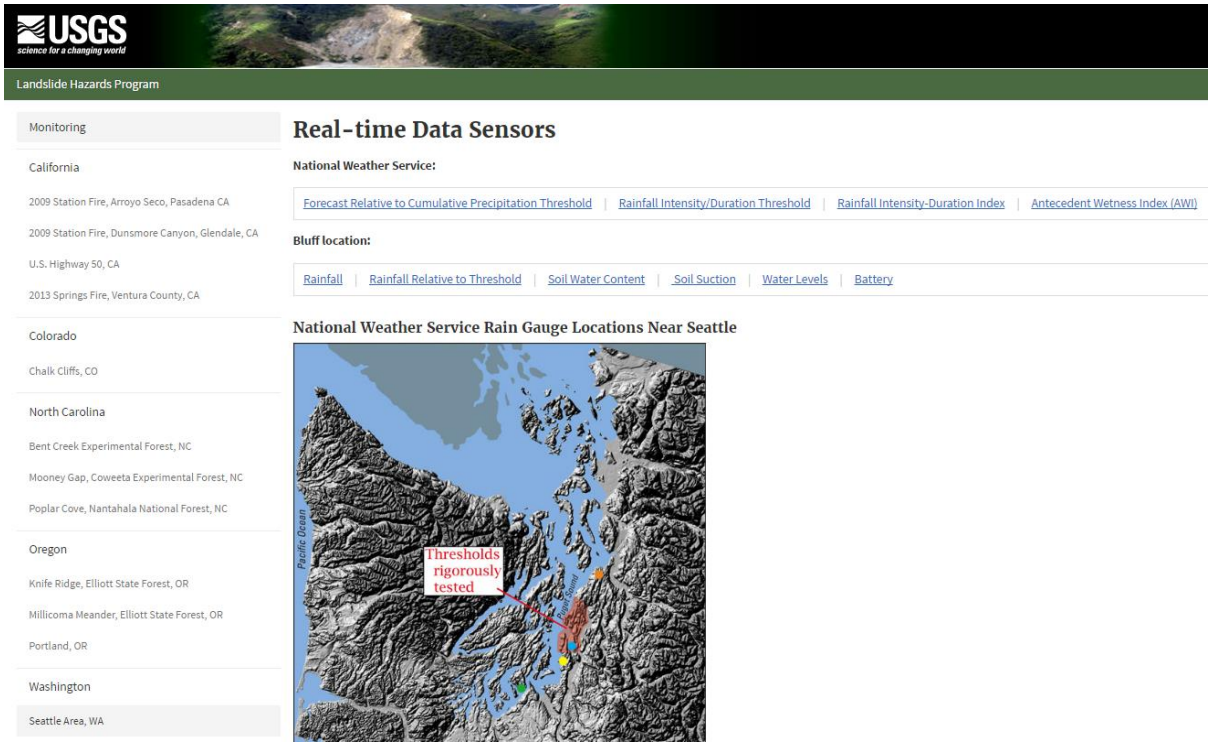


圖 3.2.29 2002 年 Seattle 市、NWS、USGS 合作建立的土砂災害警戒系統

表 3.2.10 美國西雅圖淺層崩塌預警系統之警戒等級及其相應作為

Table 3 Levels and criteria for early warning of landslides in Seattle, WA, USA (modified from Chleborad et al. 2008)

Hazard or warning level	Action	Interpretation	Lead time (h)	Cancellation	Tools
Null	None	Landslides very unlikely, isolated slides may occur even during dry weather	Not applicable	Not applicable	CT, QPF; daily or hourly rainfall data
Outlook	Monitor soil and weather conditions and forecasts, activate ID, notify local officials and general public	CT exceeded or forecast amounts of rainfall and estimated snowmelt expected to exceed thresholds; landslides might occur	24–48	When CT no longer exceeded, not raining and no forecast precipitation for 24 h	CT, QPF; daily or hourly rainfall data
Watch	Continue monitoring soil and weather conditions and forecasts relative to ID, notify local officials and general public	The probability of landslides has increased significantly because the CT has been exceeded and the ground is wet enough to produce landslides with additional (forecast or ongoing) heavy rainfall; isolated landslides may occur even without additional rainfall	1–12	After forecast for heavy rainfall cancelled or 24 h after end of heavy rainfall	CT, field instrumentation or AWI; daily or hourly rainfall data, ID
Warning	Continue monitoring soil and weather conditions and forecasts relative to ID, notify local officials and general public	ID and AWI (or observed soil wetness) exceeded; CT probably exceeded (see Fig. 6 for known exception), widespread, shallow landslides are occurring or have a very high probability of occurring	1–3	24 h after end of ID-exceeding rainfall	CT, field instrumentation or AWI, ID; hourly rainfall data

QPF quantitative precipitation forecast, *CT* cumulative rainfall threshold, *ID* rainfall intensity–duration threshold, *AWI* antecedent water index

(三) 我國現行土石流災害警戒系統

我國自 2005 年起正式改以 60 分鐘累積雨量及考慮前七天降雨效應之有效累積雨量組合而成的降雨驅動指標(Rainfall Triggering Index, RTI)模式，據以設定各鄉鎮之土石流警戒基準值，並建立土石流紅、黃警戒發布機制，歷經十多年來的實際應用，已有效降低土石流災害造成民眾之傷亡數目(陳振宇，2008；詹錢登、李明熹，2004)。其計算及警戒值設定方式簡述如下：

$$\mathrm{RTI} = \mathrm{I} \times R_t \quad (1)$$

$$R_t = \sum_{i=0}^{7} \alpha^i R_i \quad (2)$$

其中 I 為 60 分鐘累積雨量；Rt 稱為有效累積雨量，Ri 為前 i 日的 24 小時累積雨量(例如 R0 即為目前時間之前的 24 小時累積雨量)，αi 為前 i 日的折減係數；α 原先採用 0.8，經多年實務應用檢討後，於 2014 年起已調整為 0.7(水土保持局，2016)。而在訂定各鄉鎮警戒基準值時，須先蒐集該鄉鎮內參考雨量站之歷年降雨資料進行雨場分割，再將每一個雨場以一個雨量強度 I 及一個有效累積雨量值 Rt 代表之，並據以計算該雨場之 RTI 值。其中，如該雨場為已發生土石流災害之雨場事件，則其代表之雨量強度及有效累積雨量採用土石流發生時刻之值；反之，如該雨場期間未發生土石流災害或有發生但不知明確發生時間，則其代表之雨量強度及有效累積雨量採用該雨場最大雨量強度發生時刻之值。

早期 RTI 模式在設定警戒值時，需仰賴明確的災例資料，以設定合適之警戒值。惟因多數地區之災例蒐集不易，近年來 RTI 模式已改為「以雨場發生機率為主，災例資料為輔」之警戒值設定方式。其具體作法為：完成該鄉鎮參考雨量站歷年降雨資料之雨場分割、設定代表值並計算各雨場之 RTI 值後，再將歷年雨場之 RTI 值依照大小排列，並以韋伯法計算出歷年雨場 RTI 值較小的 10%，設為 RTI10 (記為下警戒值，表示僅有 10%的 RTI 值小於此值)，以及 RTI90 (記為上警戒值，表示有 90%的 RTI 值小於此值)。最後將上下警戒值(RTI10 與 RTI90)以式(3)進行線性內插，即可求出其它的 RTI 特定值，例如：RTI50 或 RTI70 等。

$$RTI_M = RTI_{10} + \left(\frac{M-10}{80}\right)(RTI_{90} - RTI_{10}) \quad (3)$$

此外，為便於一般民眾理解及實務操作之便利性，水土保持局以鄉鎮為單元，將各地區之 RTI 值轉換為以有效累積雨量為單一指標之土石流警戒基準值(Rc)，目前採用 RTI70 除以降雨強度 10mm/hr，並取 50mm 為一個級距，訂出各鄉鎮之土石流警戒基準值。現行台灣 159 個轄區內有土石流潛勢溪流的鄉鎮，其土石流警戒基準值之範圍為 200 至 600mm 共 9 個級距，例如南投縣信義鄉為 250mm、苗栗縣泰安鄉為 400mm，花蓮縣玉里鎮為 600mm(土石流防災資訊網，2016)。台灣歷年土石流警戒基準值使用範圍之沿革如表 3.2.11。

(四) 其他土砂災害預警模式相關研究

目前國內外已有許多研究嘗試建立以雨量為指標的土砂災害警戒模式，例如 Wieczorek and Glade(2005)曾彙整世界各國所發展的土石流警戒之雨量指標模式，如表 3.2.12。整體而言，日本及台灣主要使用 60 分鐘累積雨量(短期雨量指標)及土壤雨量指數或有效累積雨量(長期雨量指標)等二項雨量指標建立警戒模式；相對而言，歐美地區的警戒模式，則較常使用降雨強度及降雨延時作為雨量指標。

表 3.2.11 台灣歷年土石流警戒基準值(Rc)使用範圍

年度	2005	2006	2007~2008	2009	2010~2012	2013~2016
土石流警戒基準值(mm)	200~350	200~450	250~550	250~600	200~600	250~600

表 3.2.12 世界各國所發展的土石流警戒之雨量指標模式

(Wieczorek and Glade，2005)

Continent	Country, location	Type(s) of threshold criteria	Reference(s)
North America	Canada, North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia	Antecedent rainfall, rainfall intensity–duration, stream discharge	Jakob and Weatherly (2003)
	USA, San Francisco Bay region, California	Antecedent rainfall, rainfall intensity–duration	Cannon and Ellen (1985)
	USA, Santa Monica Mountains, southern California	Antecedent rainfall, rainfall intensity	Campbell (1975)
	USA, Blue Ridge Mountains, central Virginia	Rainfall intensity–duration	Wieczorek et al. (2000)
	USA, Puerto Rico	Rainfall intensity–duration	Jibson (1989), Larsen and Simon (1993)
	USA, Rocky Mountains, Colorado	Air temperature related to rate of snowmelt	Chleborad et al. (1997)
	USA, Seattle, Washington	Air temperature related to rate of snowmelt, antecedent rainfall, rainfall storm total	Chleborad (2000, 2003)
	USA, Honolulu District, Oahu, Hawaii	Rainfall intensity–duration	Wilson et al. (1992)
South America	Colombia, Manizales	Daily rainfall total	Terlien (1997, 1998)
	Brazil, Rio de Janeiro	Hourly rainfall	Ortigao et al. (2003)
Europe	Germany, Rheinhessen	Cumulative rainfall in specific time interval	Dikau and Jäger (1995), Glade et al. (2001)
	Germany, Bonn Area	Prolonged rainfall, groundwater, no thresholds have been derived	Hardenbicker and Grunert (2001)
	Iceland	Cumulative rainfall in specific time interval	Saemundsson et al. (2003)
	Italy, Piedmont region	Cumulative rainfall in specific time interval	Govi et al. (1985)
	Italy, Tiber River basin	Stream discharge	Reichenbach et al. (1998)
	Italy, Moscardo Torrent, Italian Alps	Total storm rainfall, maximum 1-hr rainfall intensity	Marchi et al. (2002)
	Italy, Cancia area, Dolomites	Rainfall intensity–duration	Bacchini and Zannoni (2003)
	Italy, Cordevola River basin, Dolomites	Antecedent rainfall, cumulative rainfall in specific time interval	Pasuto and Silvano (1998)
	Italy, Valtellina area, northern Italy	Rainfall intensity–duration	Polloni et al. (1992), Crosta (1998), Crosta and Frattini (2000)
	Italy, Calabria	Daily cumulative rainfall	Petrucci and Polemio (2000, 2002)
	Norway	Cumulative rainfall in specific time interval	Sandersen (1997)
	Portugal, north of Lisbon	Antecedent rainfall, rainfall intensity–duration	Zêzere et al. (1999), Zêzere and Rodrigues (2002)
	Poland, Carpathians	Rainfall intensity	Starkel (1996)
	Scotland	Antecedent rainfall, daily rainfall total	Ballantyne (2002)
	Spain, Llobregat River, Eastern Pyrenees	Daily rainfall total	Corominas and Moya (1999)
Asia	China, Hong Kong	Rainfall intensity	Brand et al. (1984), Brand (1989), Premchitt et al. (1994), Chan et al. (2003), Pun et al. (2003)
	India and Bhutan, Himalayas	Daily rainfall total, total storm rainfall	Starkel and Sarkar (2002)
	Japan, Higashi-Hiroshima	Antecedent rainfall, hourly rainfall	Kaibori et al. (2003)
	Japan, Ibi River, Gifu Prefecture	Stream discharge	Onda et al. (2003)
	Korea	Antecedent rainfall, rainfall intensity–duration	Kim et al. (1992)
	Malaysia, Kuala Lumpur, Karak	Rainfall intensity, antecedent preciptiation	Lloyd et al. (2003)
	Nepal	Rainfall intensity, hourly, daily, monthly, and annual rainfall totals	Gerrard and Gardner (2000)
	Taiwan, Nan-Tou County	Antecedent rainfall	Fan et al. (2003)
Australia	Australia, Illawarra area of New South Wales	Antecedent rainfall, daily rainfall total	Chowdhurry and Flentje (2002)
	New Zealand	Antecedent rainfall, rainfall intensity, rainfall storm total	Crozier and Eyles (1980), Crozier (1989, 1997), Glade (2000b)

四、小結

根據世界銀行 2005 年的報告，台灣同時暴露於三種以上天然災害的土地面積與人口高達 73%，而面臨二種以上天然災害者更高達 99%，屬於世界的災害高風險地區；因此，如何強化事前的防減災措施，係為政府及民眾必須共同面對與參與的重要工作。本章節針對國內外近期之防減災對策、災害潛勢之調查與評估方式，以及土砂災害之預警模式，分別進行精要的說明與介紹，期能作為後續提昇台灣坡地防災能量的重要參據。例如，在防減災對策方面，聯合國於日本仙台第三屆世界減災會議發表的仙台減災綱領，將可作為國內後續擬訂防減災政策之具體目標；而日本在近年連續遭逢短延時強降雨導致的重大災害後，所提出的土砂防災對策之調整，亦可作為本局未來在擬大規模崩及坡地防災對策的借鏡。此外，在災害潛勢之調查與評估方式，以及土砂災害之預警模式等重要的基礎工作上，國內外近期相關領域之研究進展與應用案例，亦值得持續蒐集與關注，俾作為改進現行機制不足處之討論與觀摩對象。

第三節　管理與法規研析

一、臺灣環境敏感地區之管理

(一) 臺灣非都市土地使用管制與國土保育之沿革

臺灣土地開發使用管制最早起源於土地法 ，依土地法第 3 篇第 81 條規定，直轄市或縣（市）地政機關得就管轄區內之土地，依國家經濟政策、地方需要情形及土地所能供使用之性質，分別商同有關機關，編為各種使用地。因此，各直轄市、縣（市）轄區內之土地應由其地政機關會同有關機關進行全面檢討及規劃，劃定使用分區及編定每一筆土地之使用類別，每一筆土地編定使用類別且公告後，土地所有權人依土地之使用類別作合理使用，當地地政機關則按編定之類別實行使用管制。

依據區域計畫法第 3 條規定，區域計畫係指基於地理、人口、資源、經濟活動等相互依賴及共同利益關係，而制定之區域發展計畫。該法第 15 規定區域計畫公告實施後，不屬第十一條之非都市土地，應由有關直轄市或縣 (市) 政府，按照非都市土地分區使用計畫，製定非都市土地使用分區圖，並編定各種使用

地，報經上級主管機關核備後，實施管制。臺灣非都市土地使用管制與國土保育之歷程，說明如下:

1.臺灣北、中、南、東部區域計畫於 1982 年至 1984 年間公告實施，本時期各項資源保護規定或措施散見於不同法令，並分屬不同目的事業主管機關進行管理，屬各項資源之保育發起階段。

2.區域計畫於 1995 年至 1997 年間分別完成第一次通盤檢討並公告實施（簡稱一通計畫），隨著經濟發展，面臨生態環境之破壞，國土空間規劃開始引進環境敏感地區之觀念，分別在臺灣北、中、南、東部等 4 個區域計畫一通中，透過限制發展地區之空間規劃，來兼顧開發與保育之平衡，同時配合永續發展之國際視野，國土資源各項保育議題及政策也逐漸被討論及研擬，可視為國土保育之發展期。

3.2009 年莫拉克颱風重創臺灣中、南部，各界紛紛要求政府應針對土地使用加強管制，行政院遂於 2010 年 6 月 15 日公告實施「變更臺灣北、中、南、東部區域計畫(第一次通盤檢討)—因應莫拉克颱風災害檢討土地使用管制」（簡稱變更一通計畫），該計畫考量相關目的事業主管法令對相關環境敏感地區並無禁止或限制土地開發利用或使用分區變更之規定，且未將環境敏感特性納入土地使用考量，乃依據土地資源之主、客觀因素劃歸為「限制發展地區」、「條件發展地區」及「一般發展地區」，並配合非都市土地使用分區進行重疊管制，以發揮上位指導功能。限制發展地區係指自然環境較敏感地區，除國防與國家重大建設外或因生活環境品質與安全之考量，不允許作非保育目的之發展及任何開發行為，並透過各項目的事業法令管制，以達資源保育與環境保護目的。「限制發展地區」與山坡地有關者包括土石流潛勢溪流、嚴重崩塌或其他高危險地區、山坡地查定為加強保育地、重要水庫集水區、特定水土保持區、國家公園內之特別景觀區、國有林地、保安林地等等。「條件發展地區」係為

兼顧保育與開發目的，提供有條件開發之彈性空間，以達國土有效利用，並有條件限制該類地區之土地使用種類及強度；其中山坡地範圍亦列為條件發展地區。

4.行政院於 2013 年 10 月為配合國土計畫法之空間計畫架構，將臺灣北、中、南、東部等 4 個區域計畫，整併為「全國區域計畫」。另考量氣候變遷趨勢，將「限制發展地區」及「條件發展地區」整併為「環境敏感地區」，除避免直接限縮人民權利義務關係外，並依災害、生態、資源及景觀之不同性質，按其環境敏感程度研擬土地使用管制原則，俾利未來轉化為「全國國土計畫」。

5.臺灣目前國土空間體系區分為區域計畫、都市計畫及國家公園計畫(如圖 3.3.1)，其中屬區域計畫之非都市土地劃定為特定農業區等 11 種使用分區，並編定為 19 種使用地。目前非都市土地 11 種使用分區中，陸域以森林區所佔面積最大，達 130 萬 8,930 公頃，其次則為山坡地保育區之 66 萬 4,554 公頃(如表 3.3.1)。

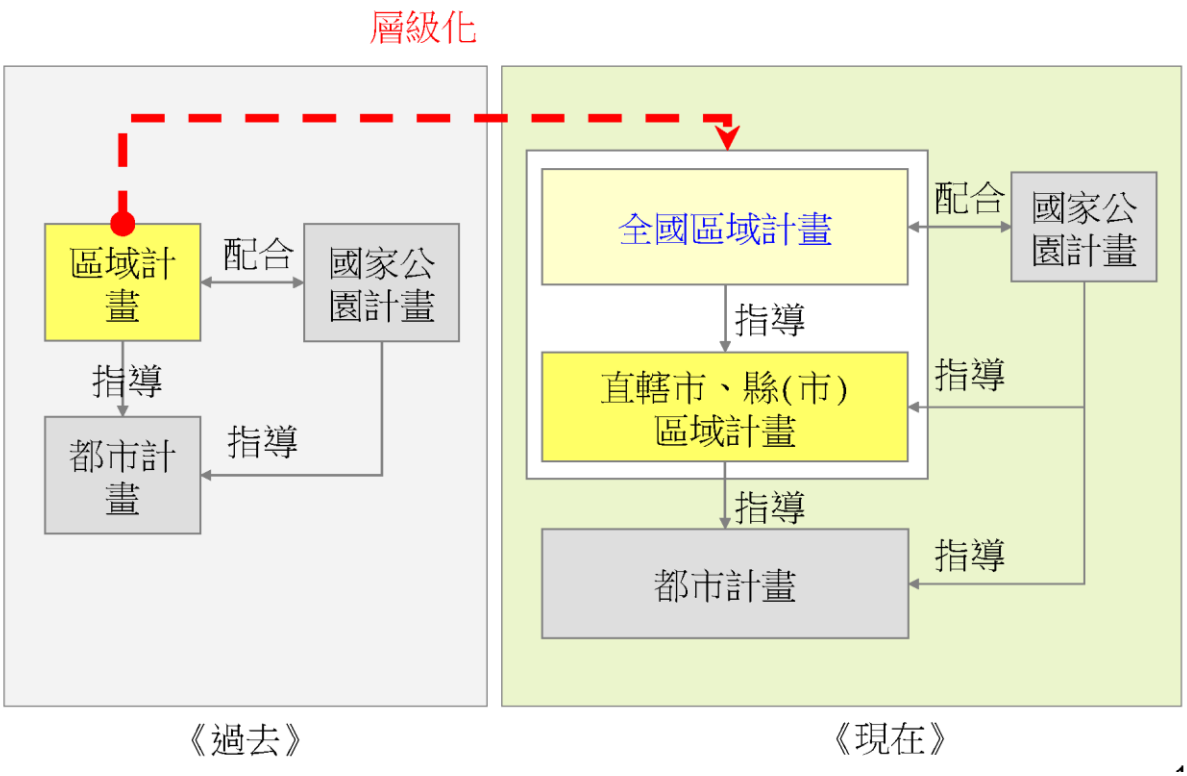


圖 3.3.1 臺灣目前國土空間體系圖(營建署)

表 3.3.1 2015 年非都市土地使用分區面積表

使用分區	面積(公頃)	使用分區	面積(公頃)
特定農業區	329,505	山坡地保育區	664,554
一般農業區	240,064	風景區	49,189
工業區	26,825	國家公園區	281,672
鄉村區	25,748	特定專用區	55,478
森林區	1,308,930	河川區	17,301
總計			2,999,270

「國土計畫法」1993 年開始草擬，經過 23 年推動，終於 2015 年 12 月 18 日完成三讀程序。國土計畫法立法後，我國未來國土管理之體系如圖 3.3.2、圖 3.3.3。「國土計畫法」基於保育利用及管理之需要，未來國土係依據環境資源特性，將目前非都市土地按現況劃設的 11 種使用分區及 19 種使用地，改為依據自然環境條件、糧食自給率目標及城鄉發展願景等，劃設「國土保育地區」、「海洋資源地區」、「農業發展地區」及「城鄉發展地區」等功能分區及其分類(圖 3.3.4)，以計畫引導土地使用，並明定國土應以保育及保安為最高指導原則，可視為邁入國土保育之整合期。

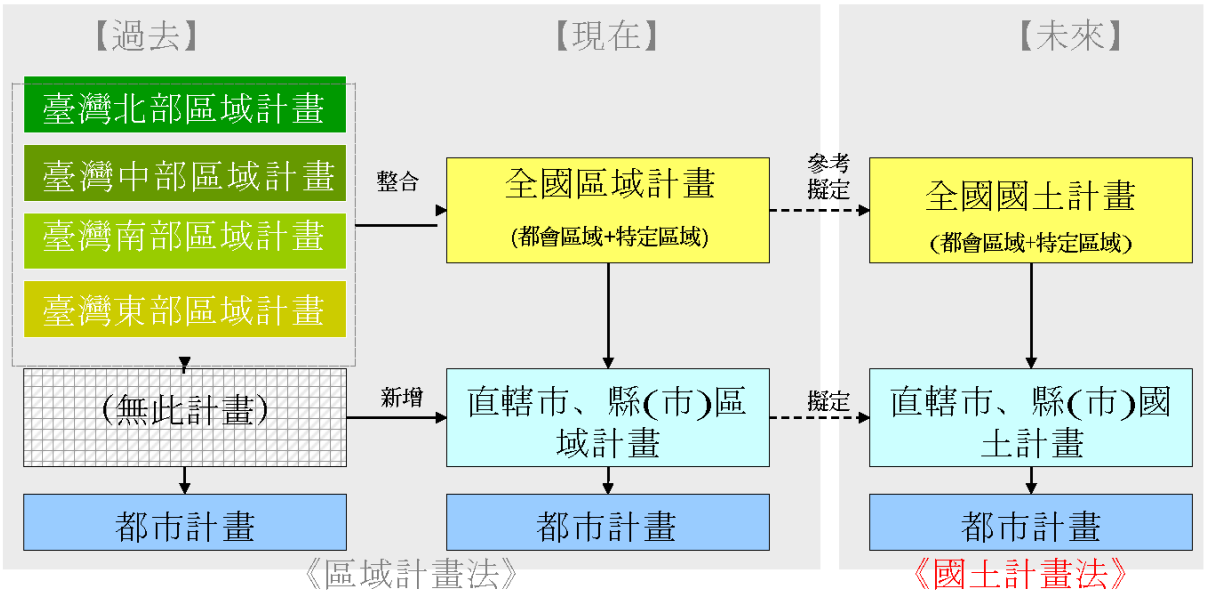


圖 3.3.2 臺灣未來國土管理之體系(1)(營建署，2015)

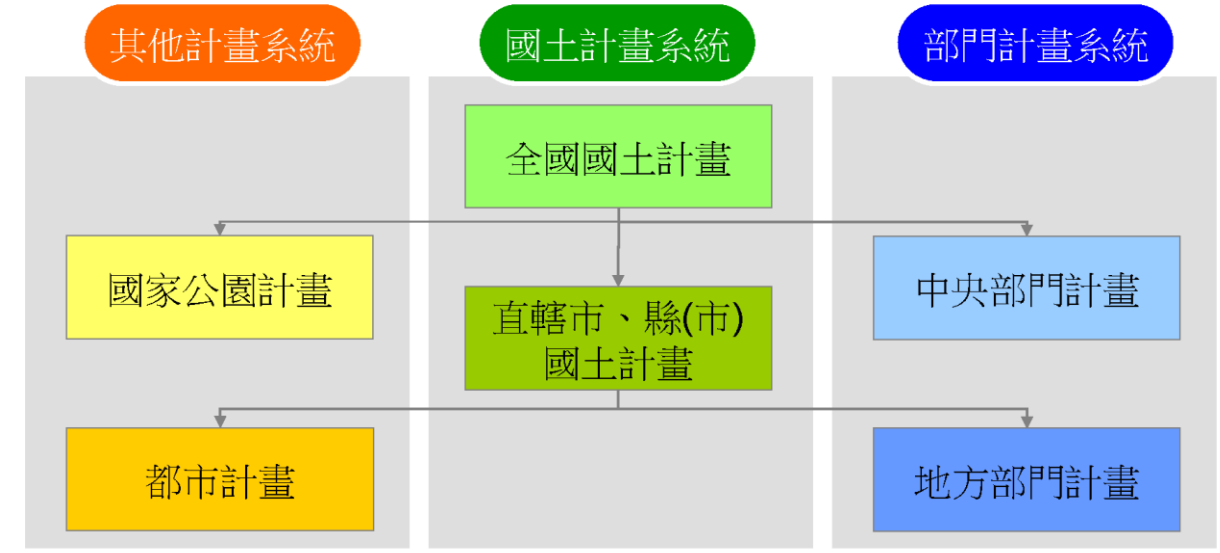


圖 3.3.3 臺灣未來國土管理之體系(2)(營建署，2015)



圖 3.3.4 國土功能分區及其分類圖(營建署，2015)

(二) 環境敏感地區之劃定

為因應氣候變遷、國土保育及經濟發展之需求，目前臺灣土地之空間計畫，全國區域計畫已納入環境敏感地區之觀念，進行開發利用行為管制。「環境敏感地區」係指對於人類具有特殊價值或具有潛在天然災害，極容易受到人為的不當開發活動之影響而產生環境負面效應的地區。「環境敏感地區」就其敏感程度區分為以下 2 級：

第 1 級環境敏感地區：以加強資源保育與環境保護及不破壞原生態環境與景觀資源為保育及發展原則。項目與山坡地水土保持有關者包括特定水土保持區、水庫集水區(供家用或供公共給水)。

第 2 級環境敏感地區：係考量某些環境敏感地區對於開發行為的容受力有限，為兼顧保育與開發，加強管制條件，規範該類土地開發。項目與山坡地水土保持有關者包括土石流潛勢溪流、山坡地範圍、地質敏感區(活動斷層、山崩與地滑)、水庫集水區(非供家用或非供公共給水)。

惟環境敏感地區係引用不同目的事業主管機關劃設之特定區域，其法規依據、劃設目的及劃設範圍均不符合土地開發使用

管制之需求，其中涉及山坡地水土保持之項目，其法規依據、限制措施及劃定方式逐項說明如下：

1.特定水土保持區

水土保持法於 83 年 5 月公布實施，依水土保持法第 3 條第 5 款規定，特定水土保持區係指經中央或直轄市主管機關劃定亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區，同時為加強特定水土保持區之治理與管理工作，中央或直轄市主管機關須設置或指定管理機關。

水土保持法第 3 章為特定水土保持區之專章，條文共計 6 條，其內容包括特定水土保持區之種類、中央與地方的分工、長期水土保持計畫之規劃重點、特定水土保持區之管制措施、保護帶之劃定依據及保護帶之補償措施等。

水土保持法自民國 83 年公告實施後，特定水土保持區於民國 89 年 5 月首先劃定白河、烏山頭水庫集水區特定水土保持區，截至目前已劃定 74 區，其中水庫集水區 2 區、土石流 49 區、崩塌地 23 區，因保育治理完成而廢止 5 區。已公告 74 區特定水土保持區總面積共 19,437.62 公頃，佔全臺面積 0.54%。

2.水庫集水區

台灣降雨豐枯差異甚大，全年分配不均，境內之河川由於地勢陡峻，河床比降極大，遇雨則山洪暴漲，氾濫成災，逢旱則乾涸見底，用水缺乏，故必須興建水庫，以達防洪、蓄水、灌溉、發電、工業及公共給水等標的用水，並兼具增加農工生產，發展觀光事業等功效。

水庫管理相關單位有經濟部水利署（北、中、南區水資源局）、臺灣自來水公司、臺灣電力公司、臺北市政府臺北翡翠水庫管理局、農田水利會等單位。水庫之主管機關為經濟部，惟水庫集水區卻無特定的主管機關，其土地開發使用管制係由各目的事業主管機關依其主管法規分別加以管制。至 2017 年經濟部公告全台水庫共計 95 座(表 3.3.2)，其中台灣本島 66 座，離島 29 座(圖 3.3.5)，以台灣本島之 66 座水庫集水區圖層面積統計（連惠邦，2016），總計面積達 124.11 萬公頃，佔

臺灣全島面積約 34.28%，水庫集水區範圍內之林班事業區面積為 81.82 萬公頃，所占比例為 65.92%，自來水水質水量保護區面積為 74.19 萬公頃，所占比例為 59.77%；而飲用水水源水質保護區為 34.13 萬公頃，所占比例為 27.49%(圖 3.3.6)。

臺灣因地形陡峻、地質脆弱，水庫集水區容易因颱洪或地震影響而土石崩塌，因此不利水庫庫容維持。93 年艾利颱風即造成石門水庫設計容量 9%淤積，98 年莫拉克颱風更造成曾文水庫設計容量 12%淤積，如圖 3.3.7。

依據經濟部水利署統計至 2016 年底(圖 3.3.8)，95 座水庫原設計總容量 29.0 億立方米，總容量 20.4 億立方米，總淤積 8.6 億立方米，淤積率達 30%，顯示水庫集水區保育治理工作刻不緩。

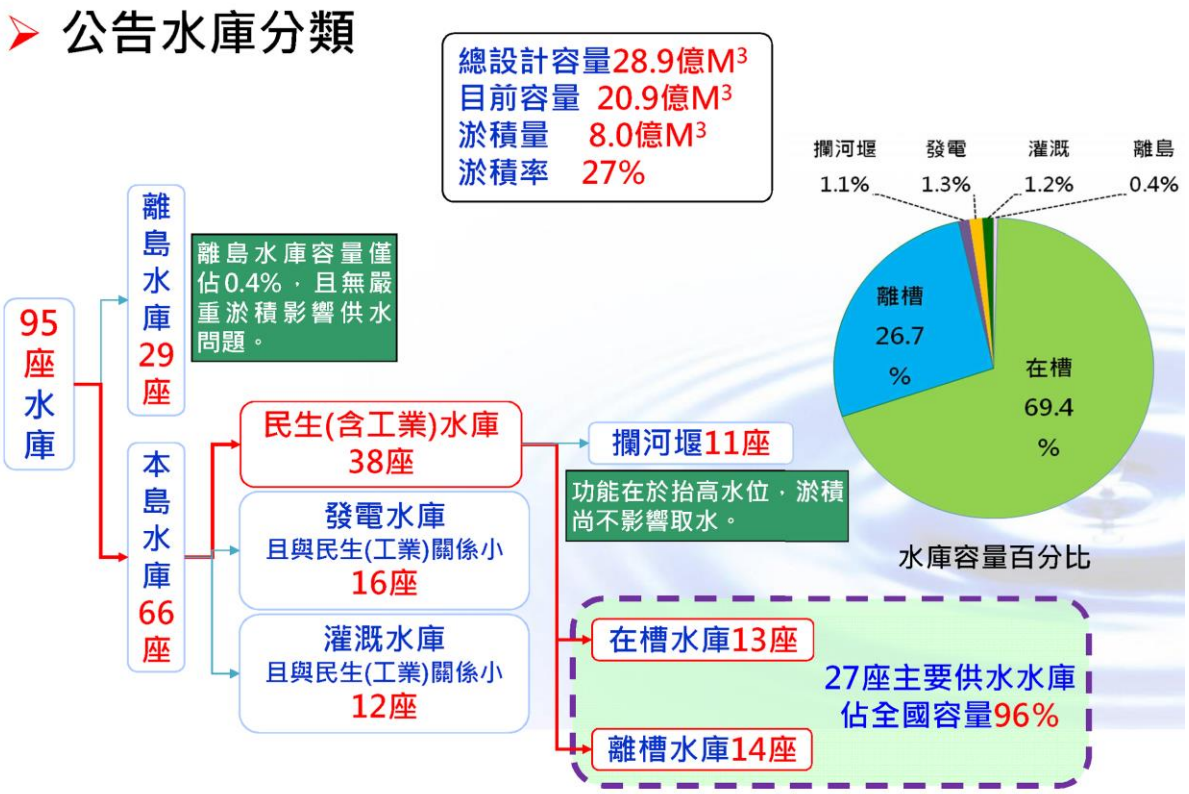
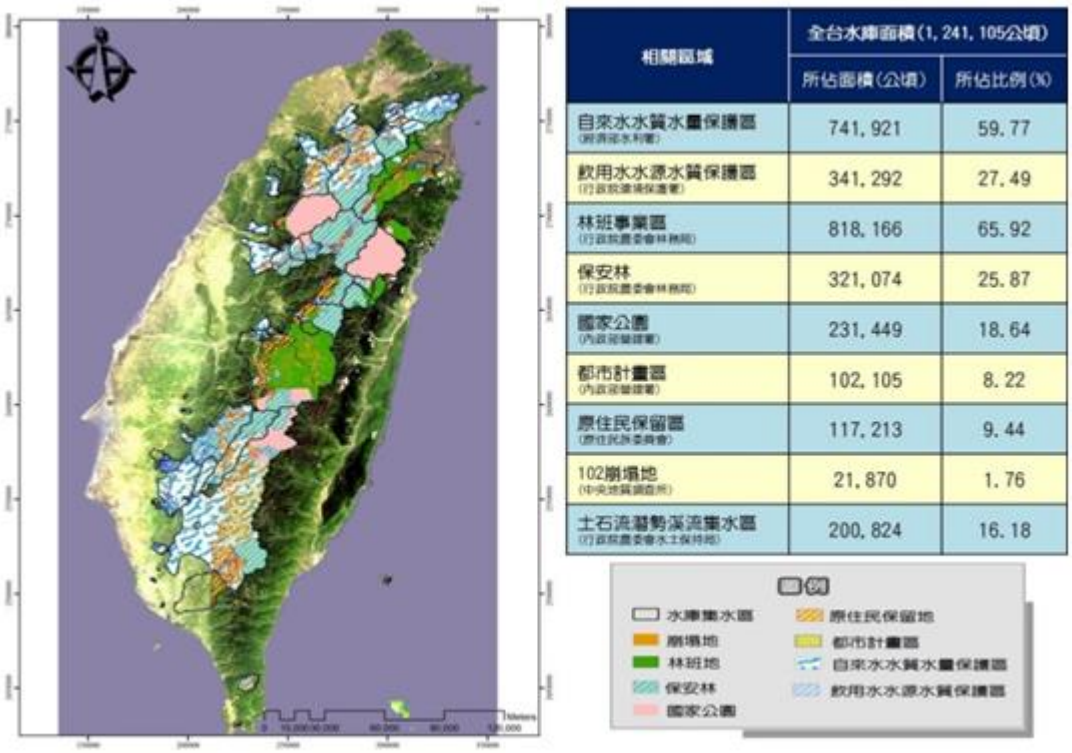


圖 3.3.5 公告水庫分類圖(水利署，2016)



相關區域	全台水庫面積(1,241,105公頃)	
	所佔面積(公頃)	所佔比例(%)
自來水水質水量保護區	741,921	59.77
飲用水水源水質保護區	341,292	27.49
林班事業區	818,166	65.92
保安林	321,074	25.87
國家公園	231,449	18.64
都市計畫區	102,105	8.22
原住民保留區	117,213	9.44
102崩塌地	21,870	1.76
土石流潛勢溪流集水區	200,824	16.18

圖 3.3.6 臺灣本島 66 座水庫面積統計（連惠邦，2016）

- **集水區條件，土石容易崩塌**
  - ●地形陡峻、地質脆弱
  - ●921地震後，土石鬆動
- **降雨強度高，冲蝕量大**
- **颱洪事件，大量土石淤積水庫**



水庫	原水庫設計容量(萬M^3)	至104年淤積量(萬M^3)	(年度)颱洪事件	淤積量(萬M^3)	佔設計容量百分比
石門	30,912	10,086	(93)艾利	2,788	9%
曾文	74,840	28,039	(98)莫拉克	9,108	12%
南化	15,805	5,752	(98)莫拉克	1,706	11%

圖 3.3.7 石門、曾文、南化水庫清淤成效彙整(水利署)

表 3.3.2 全台公告水庫

分類	劃分原則	數量	範圍
中大型蓄水庫	壩高＞15 公尺 庫容＞100 萬立方公尺	31	新山、西勢、翡翠、榮華壩、石門、寶山、寶山第二、大埔、永和山、明德、鯉魚潭、德基、谷關、霧社、日月潭、明湖下池、明潭下池、仁義潭、蘭潭、鹿寮溪、白河、尖山埤、烏山頭、曾文、南化、鏡面、虎頭埤、阿公店、鳳山、牡丹、湖山
攔河堰(壩)	橫斷水道之引水建造物 庫容＜100 萬立方公尺	25	阿玉壩、羅好壩、桂山壩、直潭壩、青潭堰、鳶山堰、粗坑壩、青山壩、天輪壩、馬鞍壩、銃櫃壩、溪畔壩、龍溪壩、木瓜壩、水簾壩、南溪壩、石岡壩、武界壩、羅東攔河堰、隆恩堰、士林攔河堰、集集攔河堰、甲仙攔河堰、玉峰堰、高屏溪攔河堰
人工湖或小型水庫	壩高＜15 公尺 或庫容＜100 萬立方公尺以下 或離島水庫	38	劍潭、頭社、內埔子、德元埤、鹽水埤、觀音湖、澄清湖、中正湖、龍鑾潭、酬勤、成功、興仁、東衛、小池、西安、烏溝蓄水塘、七美、金湖、山西、擎天、榮湖、金沙、陽明湖、田浦、太湖、瓊林、蘭湖、西湖、蓮湖、菱湖、東湧、坂里、秋桂山、儲水沃、津沙一號、津沙、勝利、后沃
地下水庫	以地下水為蓄水空間之蓄水建造物	1	赤崁地下水庫

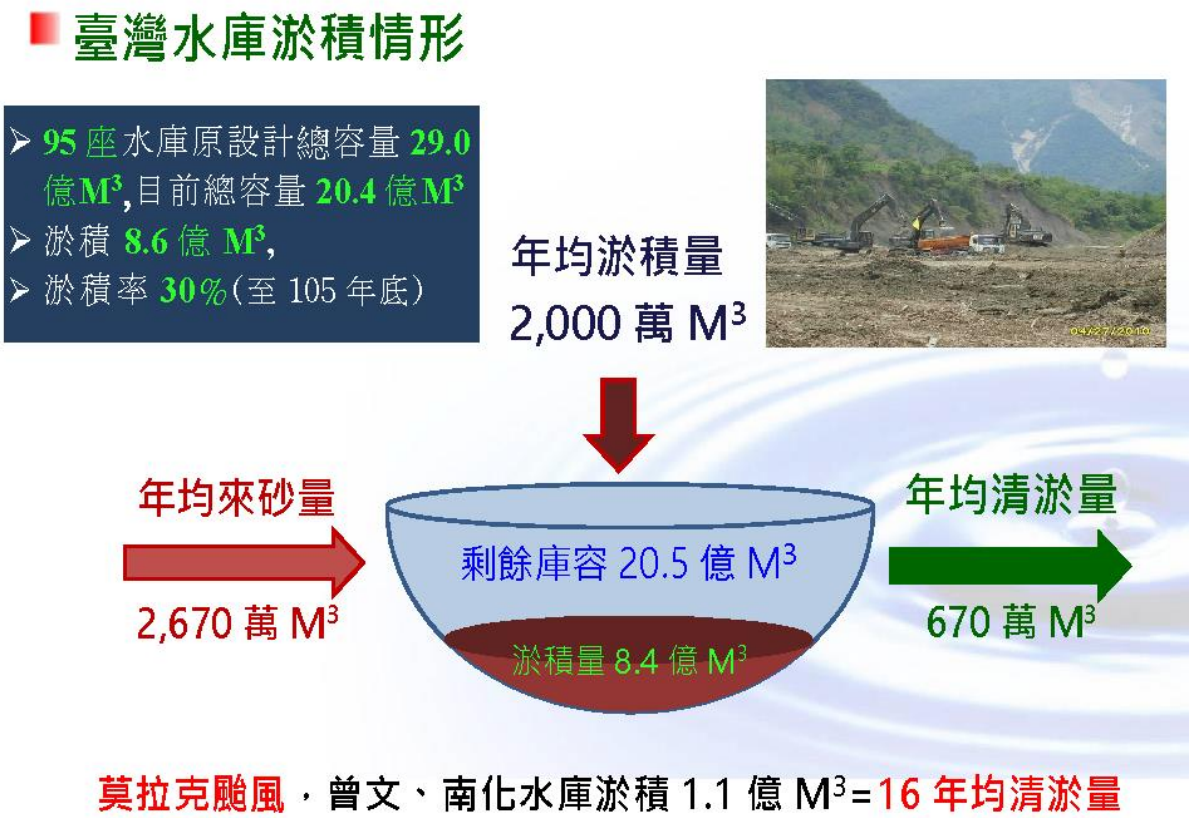


圖 3.3.8 臺灣水庫淤積情形(水利署，2016)

為達水資源的永續經營，確保供水品質與水庫蓄水容量，內政部在公告全國區域計畫時，將 63 座供家用或公共給水水庫集水區列為第一級環境敏感地區（詳表 3.3.3)，其他 31 座水庫集水區則作為第二級環境敏感地區。

表 3.3.3 家用或公共給水水庫

區域別	名稱
北部地區 10	新山水庫、西勢水庫、翡翠水庫、直潭壩、青潭堰、石門水庫、鳶山堰、寶山水庫、寶山第二水庫、隆恩堰
中部地區 8	永和山水庫、明德水庫、鯉魚潭水庫、德基水庫、石岡壩、日月潭水庫、集集攔河堰、湖山水庫
南部地區 14	仁義潭水庫、蘭潭水庫、白河水庫、烏山頭水庫、曾文水庫、南化水庫、鏡面水庫、玉峰堰、阿公店水庫、澄清湖水庫、鳳山水庫、高屏溪攔河堰、甲仙攔河堰、牡丹水庫
東部地區 2	羅東攔河堰、酬勤水庫
澎湖地區 8	成功水庫、興仁水庫、東衛水庫、小池水庫、西安水庫、烏溝蓄水塘、七美水庫、赤崁地下水庫
金門地區 13	山西水庫、擎天水庫、榮湖水庫、金沙水庫、田浦水庫、太湖水庫、瓊林水庫、蘭湖水庫、蓮湖水庫、菱湖水庫、陽明湖水庫、西湖水庫、金湖水庫
馬祖地區 8	東湧水庫、板里水庫、秋桂山水庫、儲水沃水庫、津沙水庫、勝利水庫、津沙一號水庫、后沃水庫

3.土石流潛勢溪流

依據水土保持技術規範第 69 條說明，土石流係指泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，以重力作用為主，水流作用為輔之流動體。有關土石流潛勢溪流及其影響範圍之定義，可參照水土保持局公布之「土石流潛勢溪流劃定作業要點」 第 2 點規定，土石流潛勢溪流係指依據現地土石流發生之自然條件，配合影響範圍內具有保全對象等因素，綜合評估後，判斷有可能發生土石流災害之溪流；影響範圍係指土石流災害發生時可能遭土石沖擊、淤埋之範圍，其劃定目的係供土石流警戒發布時進行疏散及避難之參據。

依據災害防救法第 3 條規定 ，土石流災害之中央災害防

救業務主管機關為行政院農業委員會，另同法第 22 條規定，為減少災害發生或防止災害擴大，行政院農業委員會應針對土石流災害潛勢、危險度、境況模擬與風險評估等進行調查分析，並適時公布其結果。爰此，為了解全台土石流潛勢溪流分布情形，行政院農業委員會於 1992-1996 年完成第一次土石流潛勢溪流之調查工作 ，當時調查結果全台共計 485 條土石流潛勢溪流。1999 年九二一震災後，水土保持局重新辦理九二一重建區（苗栗縣、台中縣、台中市、南投縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣）之土石流潛勢溪流調查，重建區土石流潛勢溪流由 133 條增加 237 條成為 370 條，全台共計 722 條土石流潛勢溪流，之後又因桃芝及納莉颱風極端降雨造成重大災害，水土保持局將全台分為北、南、東重新辦理調查，2002 年 3 月完成全國第 2 次調查，並配合災害防救法第 22 條規定，公布全國土石流潛勢溪流共計 1,420 條，其中最多為台北縣 214 條，其次為南投縣 199 條，至此有關土石流潛勢溪流之調查與劃定作業已成為持續性之業務。

歷年來有關土石流潛勢溪流之發生潛勢及保全危害度之評估方法持續改進，因此，不同時期之計算方式不同，可能導致結果略有差異；為此，行政院農業委員會水土保持局遂於 2013 年 10 月 8 日訂定「土石流潛勢溪流劃定作業要點」與「土石流潛勢溪流劃定作業手冊」，將土石流潛勢溪流之劃定作業法制化，針對土石流潛勢溪流新增及調整申請作業、現地調查作業、潛勢評估及資料審查作業之流程與方法等加以規範，並納入民眾參與機制，以供工作人員依循。

依據前揭作業手冊，土石流潛勢溪流劃定作業依流程劃分為三階段，第一階段為新增及調整申請作業，第二階段為現地調查作業，第三階段為潛勢評估及資料審查作業（圖 3.3.9、圖 3.3.10）。截至 2016 年底水土保持局公布之土石流潛勢溪流，全臺合計 1705 條，如表 3.3.4。

4.山坡地

為實施水土保持之處理與維護，以保育水土資源，涵養水源，減免災害，促進土地合理利用，增進國民福祉，水土保持法於 1994 年頒行。依據水土保持法第 3 條「山坡地」係指國

有林事業區、試驗用林地、保安林地，及經中央或直轄市主管機關參照自然形勢、行政區域或保育、利用之需要，就合於下列情形之一者劃定範圍，報請行政院核定公告之公、私有土地：

(1)標高在一百公尺以上者。

(2)標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。

山坡地保育利用條例所稱之山坡地，係指國有林事業區、試驗用林地及保安林地以外，經中央或直轄市主管機關參照自然形勢、行政區域或保育、利用之需要，就合於左列情形之一者劃定範圍，報請行政院核定公告之公、私有土地：

(3)標高在一百公尺以上者。

(4)標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。

依據水土保持局 2016 年 9 月統計，全臺水保法所稱山坡地面積共 2,637,239 公頃，佔全臺面積 73%，山保條例山坡地所稱山坡地面積共 981,345 公頃，佔全臺面積 27%(表 3.3.5)。

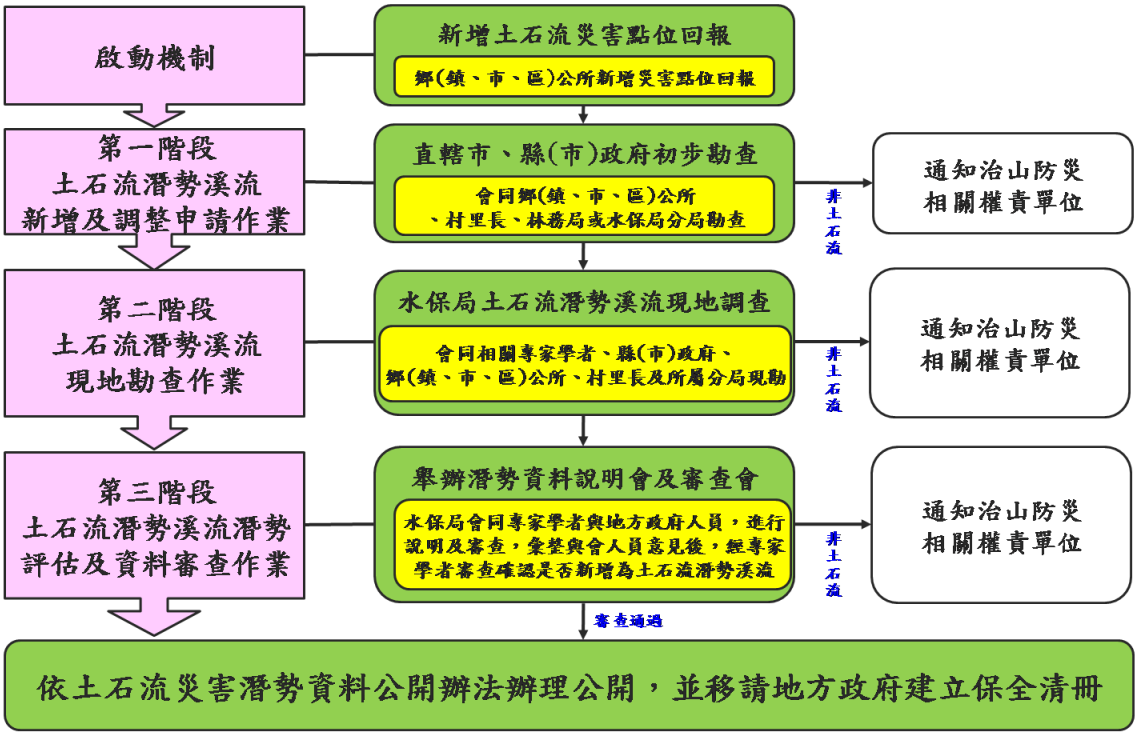


圖 3.3.9 土石流潛勢溪劃設作業流程圖(1)

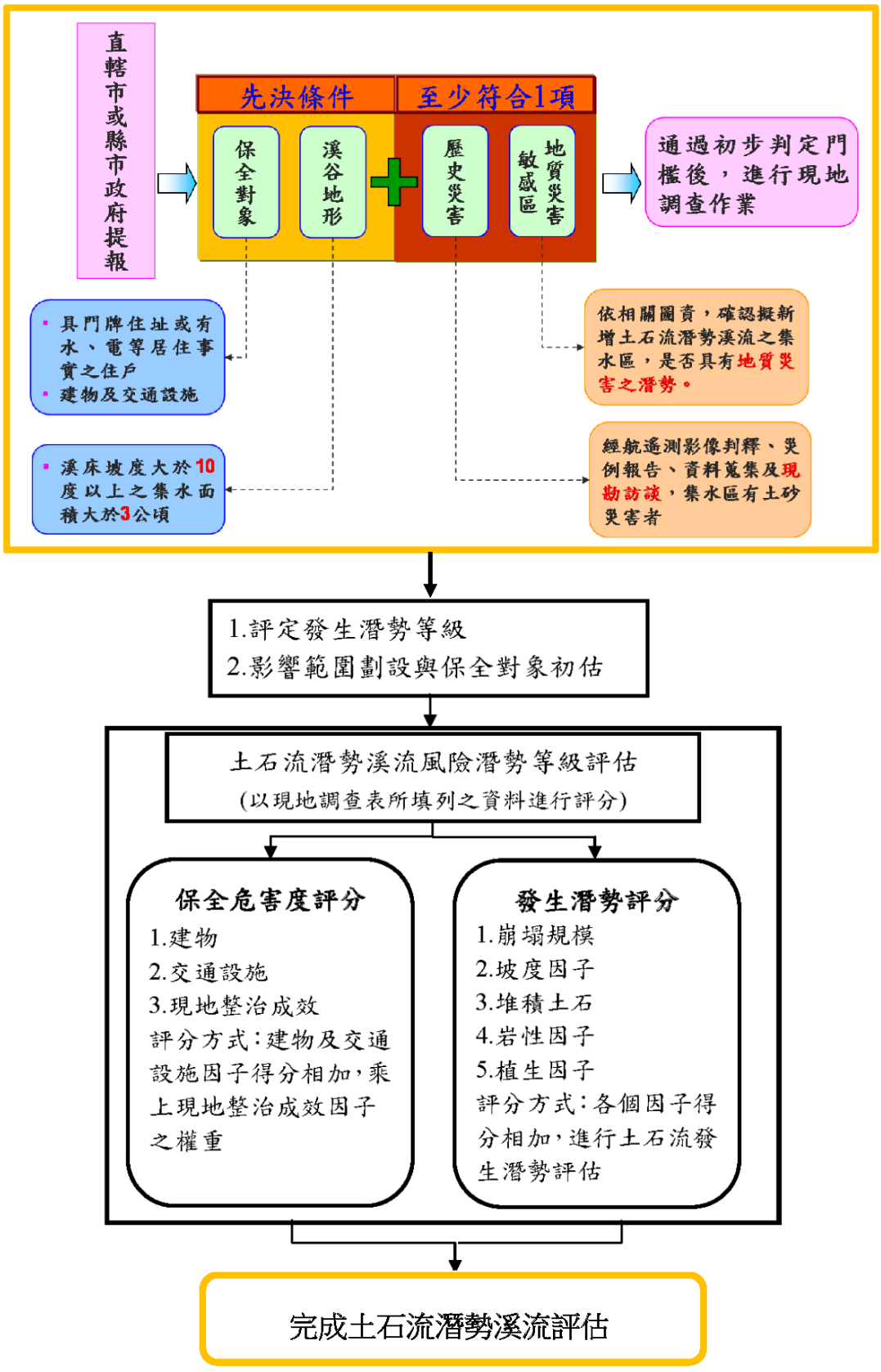


圖 3.3.10 土石流潛勢溪劃設作業流程圖(2)

表 3.3.4 全台土石流潛勢溪流統計(2016 年)

縣市	潛勢溪流數(條)
宜蘭縣	144
基隆市	34
臺北市	50
新北市	233
桃園市	53
新竹縣	76
苗栗縣	80
臺中市	109
彰化縣	9
南投縣	262
雲林縣	12
嘉義縣	80
臺南市	48
高雄市	111
屏東縣	70
臺東縣	166
花蓮縣	168
合計	1705

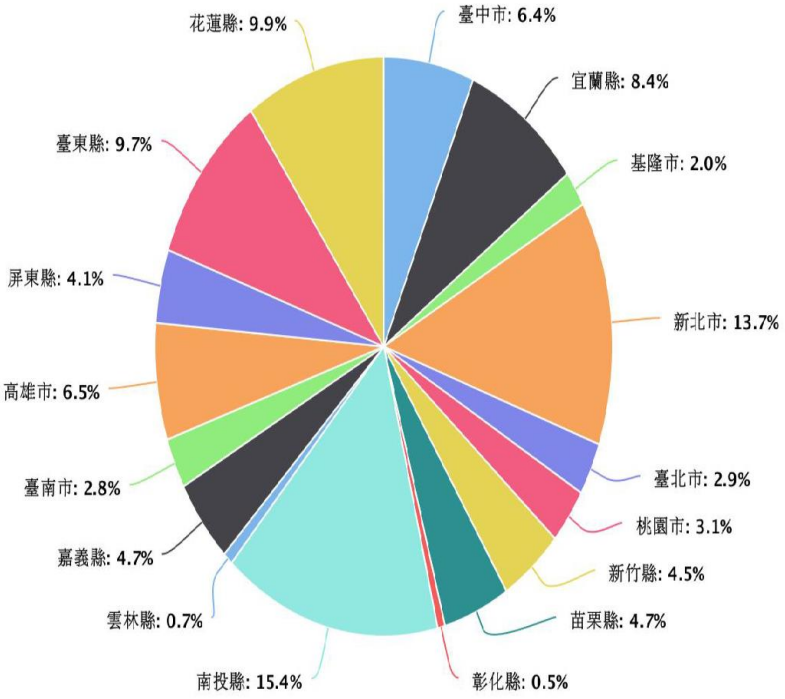


表 3.3.5 山坡地保育利用條例及水土保持法劃設之山坡地統計表

省市及縣市別	土地總面積 (1)	山保條例山坡地 (2)	山保條例山坡地 (2)/(1)	國有林＋保安林＋試驗林 (3)	水保法山坡地(4) (2)+(3)	水保法山坡地 (4)/(1)
宜蘭縣	214,363	33,297	16%	141,876	175,167	82%
基隆市	13,276	10,400	78%	2,108	12,508	94%
新竹縣	142,754	65,427	46%	58,144	123,571	87%
新竹市	10,415	4,097	39%	99	4,196	40%
苗栗縣	182,031	87,389	48%	71,926	159,314	88%
南投縣	410,644	127,822	31%	262,358	390,180	95%
彰化縣	107,440	10,020	9%	3,180	13,200	12%

省市及縣市別	土地總面積(1)	山保條例山坡地(2)	山保條例山坡地(2)/(1)	國有林＋保安林＋試驗林(3)	水保法山坡地(4)(2)+(3)	水保法山坡地(4)/(1)
雲林縣	129,083	8,150	6%	5,590	13,740	11%
嘉義縣	190,364	42,720	22%	66,596	109,316	57%
嘉義市	6,003	394	7%	289	683	11%
屏東縣	277,560	91,969	33%	89,882	181,851	66%
台東縣	351,525	97,540	28%	231,750	329,290	94%
花蓮縣	462,857	78,384	17%	334,137	412,521	89%
澎湖縣	12,686	-	0%	520	520	4%
台灣省小計	2,511,001	657,609	26%	1,268,455	1,926,057	77%
新北市	205,257	110,076	54%	70,319	180,395	88%
台北市	27,180	12,658	47%	2,349	15,007	55%
桃園市	122,095	31,317	26%	24,344	55,661	46%
臺中市	221,490	56,301	25%	103,033	159,334	72%
臺南市	219,165	50,609	23%	31,807	82,416	38%
高雄市	294,762	62,775	21%	155,594	218,369	74%
金門縣	15,166	-	0%	-	-	0%
連江縣	2,880	-	0%	-	-	0%
合計	3,618,861	981,345	27%	1,655,901	2,637,239	73%

5.地質敏感區(活動斷層、山崩與地滑)

為解決重大地質災害一再發生，如莫拉克風災造成高雄市小林村災害、國道 3 號順向坡走山災變及梅姬颱風造成蘇花公路崩坍等事件，地質法經過 15 年推動，終於 2010 年 11 月 16 日三讀通過。依據地質法第 1 條規定，地質法之立法目的係為健全地質調查制度，有效管理國土地質資料，建立國土環境變遷及土地資源管理之基本地質資訊。此外，依據地質法第 4 條，為建立全國地質資料，中央主管機關應理全國地質調查，且至少每五年應通盤檢討一次；其調查內容包括全國基本地質調查、全國資源地質調查、全國地質災害調查及其他經中央主管機關認定之地質調查。同時，地質法第 5 條規定中央主管機關應將具有特殊地質景觀、地質環境或有發生地質災害之虞之地區公告為地質敏感區，並訂定地質敏感區劃定、變更及廢止辦法；經濟部地質調查所據此劃定 4 類地質敏感區，包括防災型之活動斷層地質敏感區、山崩與地滑地質敏感區，以及保育型之地質遺跡地質敏感區、地下水補注地質敏感區，經過審議通過後，由經濟部依法公告。同法第 8 條規定，進行資源開發、土地開發利用、工程建設、天然災害整治等行為，其基地有全部或一部位於地質敏感區內者，應於申請土地開發前，辦理基地地質調查及地質安全評估。

截至 2016 年底止，經濟部已完成全國地質敏感區的劃定公告，包括 4 類 54 項地質敏感區(圖 3.3.11)，分布於 20 個縣市，250 個鄉鎮市區，面積總計約 5,287 平方公里，其中山崩與地滑地質敏感區約 3990.62 平方公里，為全台山坡地面積 15.1%，揭露地質敏感區資訊，可提供為土地開發、防災與保育之重要參據。

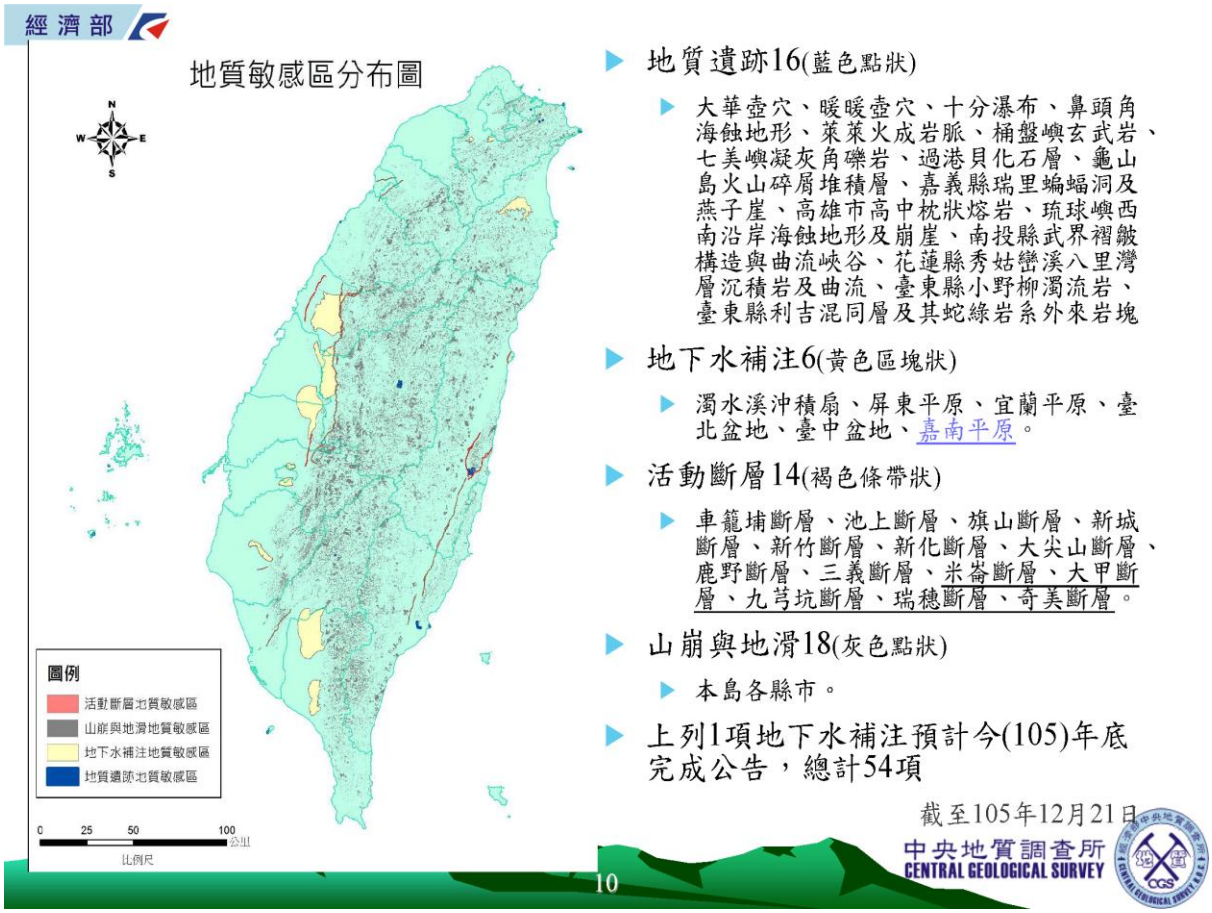


圖 3.3.11 地質敏感區分佈圖(地調所，2016)

依據地質敏感區基地質調查及安全評估手冊(2016)，山崩與地滑地質敏感區屬山坡地之土砂災害，主要包括落石、岩屑崩滑與岩體滑動(表 3.3.6)。落石指岩塊或岩體自陡峻岩壁上分離後，以自由落體、滾動或彈跳等方式快速向下移動，例如 2013 年基隆北寧路落石事件。岩屑崩滑是臺灣山區最常見的山崩型態，在豪雨或地震後，鬆軟破碎之地質材料經常發生之崩落或滑動，例如 2010 年梅姬颱風蘇花公路沿線多起的岩屑崩滑事件。岩體滑動屬於規模較大、滑動深度較深的山崩，滑動深度常深入岩層內，初期通常為移動速度緩慢的潛變，較不易直接察覺；若深入調查，可觀測到邊坡位移之量測證據及邊坡開裂之地形特徵，例如南投縣廬山地區之塔羅灣溪右岸。若岩體沿著滑動面崩塌，可造成大規模岩體快速滑動並釀成災害，例如 1997 年林肯大郡順向坡滑動事件、2010 年國道 3 號 3.1K 順向坡滑動事件。

表 3.3.6 山崩之類別(費立沅，2009)

	落石	岩體滑動	岩屑崩滑
定義	落石指岩塊或岩體自陡 峻岩壁上分離後，以自由落體、滾動或彈跳等方式 快速向下移動之現象。	屬於規模較大、滑動面深 度較深的山崩，滑動面常深入岩層內。在地表多可觀察到各種明顯的山崩現象。	為土壤、崩積層、煤渣堆 積、棄填土以及其他鬆軟破碎之地質材料等發生 之崩落或滑動現象。
說明	落石發生之條件除了陡 峭之地形外，尚包括岩體之性質，如富含節理之堅硬岩層所形成之陡峭崖坡，有利於落石之發生。堅硬岩層係指岩體強度分級歸屬在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ類的岩體。落石災害常見於基隆及臺北地區之坡地。	滑動面深、滑動體具有較大的厚度與規模之 山崩。範圍較大者，可達數十公頃以上；滑動體仍多能保持岩體之完整性。岩體滑動依移動方式，可分為平面型、圓弧型或複合型。在臺灣，大規模的岩體滑動多係由順向坡產生的平面型滑動，如草嶺及九份二山之山崩。	其移動方式在陡坡地為 崩落；在緩坡地則為滑動。在坡度較陡的山坡發生者，多因豪雨或地震作用而誘發。豪雨會造成土體之飽和含水，有時甚至會因過多的含水而轉化為土石流災害。岩屑崩滑後之裸露坡面常呈細長條狀，而崩滑下來之土石則多堆積於崩崖趾部或坡腳處。

	落石	岩體滑動	岩屑崩滑
判釋條件	分析落石之地形坡度以 55°以上之坡地為門檻，係考慮塊狀或厚層狀堅硬岩層構成之陡峭 崩 崖，且具以下特徵一項以上者:(a) 崩崖面裸露或植被稀 疏。 (b)坡腳有崖錐堆積。(c)岩體之不連續面密集。(d)有不利位態之節理或在坡面存在突石或危石。 (e) 有落石發生歷史紀錄 者。	在航照判釋時，可觀察到部分標準山崩地貌的特徵，滑動面積常在 1 公頃以上；如趾部緊鄰河道時，常呈異常彎曲的現象。野外調查時，在崩崖下方存在下陷之窪地或濕地；坡趾可能有大量土石堆積或隆起；若在順向坡分布區，地表有平面滑動痕跡，坡頂具殘留之岩 塊。	航照判釋呈現長條形或 其它不規則形狀之裸露區域；植生之色調較淡或與周圍植生不協調者;坡 面有時呈現凹槽狀。地形坡度平均在 55°以下的地區，且在野外調查 時,具有下列條件之一 者：(a) 具新鮮崩崖面或標準 崩塌之部分地貌特徵。(b)移動物質屬於風化岩屑、土壤或崩積層。(c) 坡 面 具 山 崩 的 凹 槽 狀,植生種類有異於未發 生山崩的區域。

二、台灣國土利用監測

(一) 我國國土保育保安查報現況

防杜土地違規使用開發，一直是國土保育保安重要課題；然土地違規查報工作繁重加上人情壓力等問題，導致基層查報人員流動率高，人力嚴重不足。衛星影像因具大範圍及週期性獲取地表資料的特性，已廣泛應用於環境監測與地形地貌資訊蒐集。我國已自主擁有福爾摩沙系列之高解析度衛星，對於全島國土資訊之涵蓋及監測應用特別具優勢。因此，國內各目的事業主管機關如內政部營建署與行政院農業委員會水土保持局及經濟部水利署等機關，近年來持續利用衛星影像與變遷偵測技術輔助土地違規查報，藉以杜絕人情關說，大幅改善傳統人工查報及回報方法，提升土地違規查報工作效率(圖 3-3-12)。

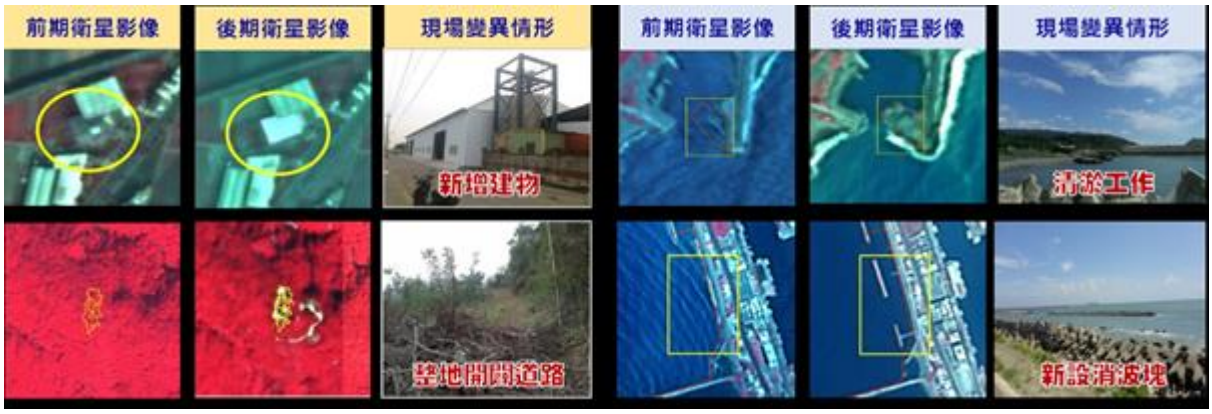


圖 3.3.12 前後期衛星影像變異點偵測(網路智慧新臺灣政策白皮書)

(二) 國土利用監測整合

鑑於營建署、水保局及水利署等機關運用衛星影像及遙測技術協助辦理業務職掌範圍土地利用監測工作時，因業務需求不同，而有重複購置衛星影像，或監測頻率不同及使用衛星影像解析度不一等情形，造成資源無法共享應用。為妥善運用跨部會行政資源，自 2014 年度起由內政部國土測繪中心辦理整合營建署、水保局及水利署等機關監測工作(圖 3.3.13)，監測頻率每 2 個月 1 次，監測使用衛星影像解析度為 1.5 公尺至 2.5 公尺，全面辦理臺澎金馬地區土地利用監測工作，透過整合各機關監測資源，減少政府資源重複投入，擴大使用效益。

自 2014 年起已陸續完成規劃國土利用監測整合通報查報系統架構、運作機制及系統開發，各機關可透過整合系統接收變異點資訊及回傳查報結果，並提供跨機關間變異點移轉及資訊傳遞溝通之有效平臺，減少以公文方式傳遞時間及行政程序；另新加入監測整合機關亦可直接加盟使用整合系統執行查報回報工作，無須再各自開發通報查報系統，各土地管理機關也可透過整合系統接收變異點資訊提供業務管理需求。

國土資訊系統對於土地動態變遷資訊之提供向來是較欠缺的一環，為因應現今國土整體規劃發展趨勢，除持續且定期從事土地利用監測工作外，並將建置完整的監測時態資料庫，讓全面性及持續性土地變遷資訊納入國土資訊系統，提供國土規劃、國土復育、國土保安、國土監測及防救災所需基本圖資，並因應各土地管理機關業務需求，提供對政府有用的決策資訊及技術服務支援。

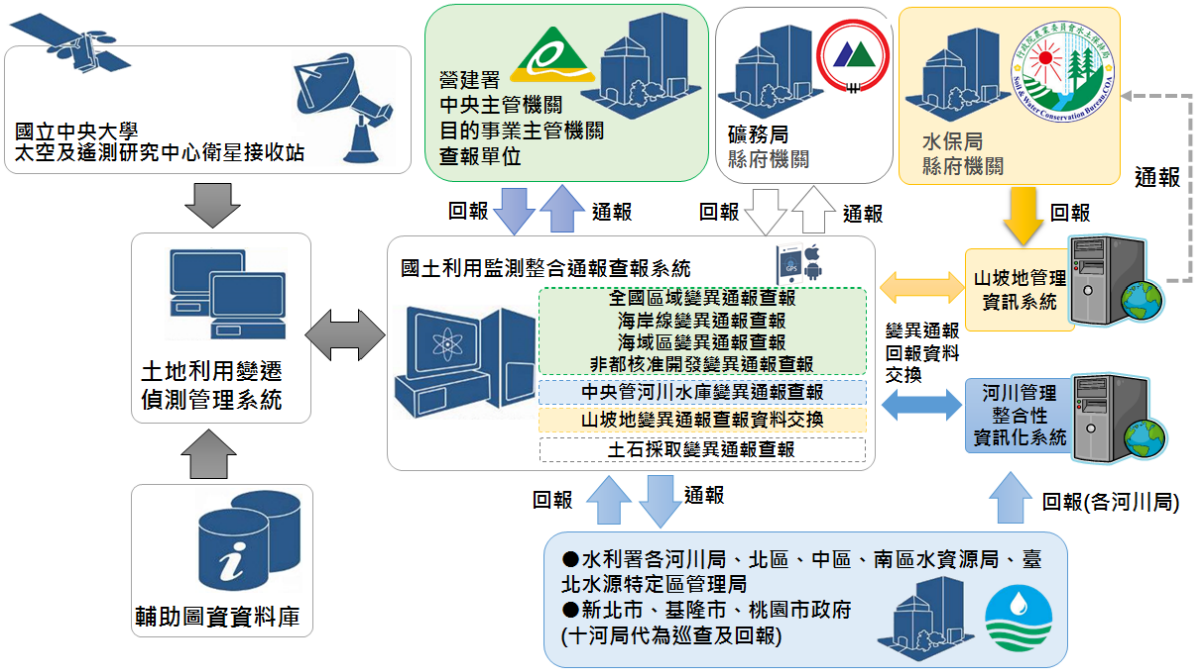


圖 3.3.13 國土利用監測整合架構(國土測繪與空間資訊，2017)

(三) 山坡地監測

依水土保持法規定，於山坡地從事開發行為，水土保持義務人應擬具水土保持計畫送主管機關核定後據以實施；若未依規定逕行開發，將處行政罰及限期改正，如涉及竊占並致生水土流失者，則移送司法機關偵辦。山坡地違規查報、制止及取締，係屬當地直轄市、縣（市）政府權責，水土保持局基於中央主管機關監督管理立場，主動提供各種違規資訊來源（如衛星影像變異點監測），協助地方政府加強山坡地管理工作，減免災害發生。

水土保持局自 1999 年起利用衛星影像實施全台灣山坡地監測，監測頻率由一開始每季（三個月），提昇為每二個月實施一次。衛星查證作流程概略如下（圖 3.3.14）：

1.取得影像，前後期比對，產生變異點。套疊地籍圖、交通路線、村里界線，製成變異點查證基本資料。

2.製成變異點查證基本資料，包括一變異點、影像圖、現場調查表、地籍清冊。

3.提供縣市政府進行現地查核。

4.查核資訊回報：違規(進入查報處分程序)、非違規(實施水土保持監督)。



圖 3.3.14 衛星影像差異點查證作業流程

(國土測繪與空間資訊，2017)

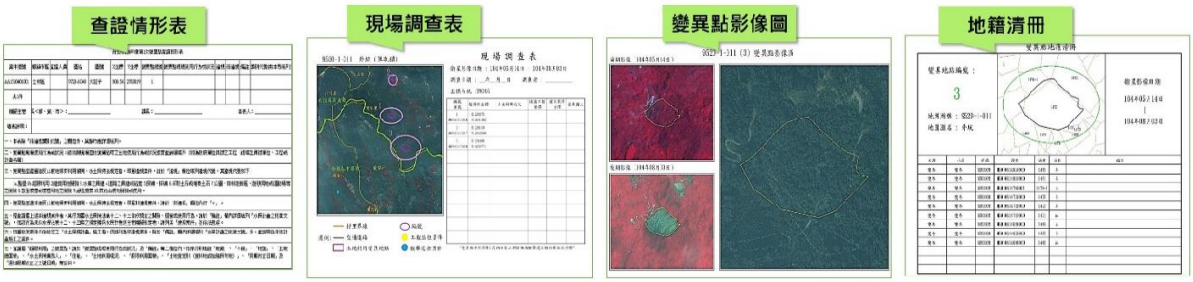


圖 3.3.15 水保局衛星影像差異點通報圖資範例

水保局以 2 個月 1 次監測頻率之臺澎金馬地區高解析衛星正射影像（福衛二號為主、SPOT 系列為輔之全色態與多光譜融合後正射影像）辦理土地利用變遷偵測工作，異點判定原則為山坡地範圍內若植被變化為非植被或植被減少，則視為變異點，但排除（1）因季節性農作輪耕整地等變化；（2）水保局每月遞送更新的合法案件及工程點，以減輕查報人員的工作量。

配合水保局衛星影像變異點資料「無紙化」之通報方式，目前係提供變異點 XML 資料（圖 3.3.15），包含變異點資訊、ESRI Shape 檔案、地籍清冊、現場調查表、變異點查證情形表及變異點影像圖等網址連結，介接至「水土保持局山坡地管理資訊系統」提供各直轄市、縣（市）政府下載使用。

2016 年山坡地監測總共通報 5,356 筆變異點，回報 4,360 筆，回報率為 81.4%，其中違規變異點共有 803 筆，占總回報變異點 18.4%，如表 3.3.7 所示。

表 3.3.7 山坡地衛星影像變異點回報成果(2016 年)

期別	通報日	變異點	已回報	未回報	回報率	查證結果		
						合法	違規	違規率
10506	11/28	1,003	376	627	37.5%	326	50	13.3%
10505	10/17	1,187	886	301	74.6%	744	142	16%
10504	08/17	975	921	54	94.5%	763	158	17.2%
10503	06/15	868	855	13	98.5%	710	145	17%
10502	04/15	463	462	1	99.8%	361	101	21.9%
10501	03/16	860	860	0	100%	653	207	24.1%
總計		5,356	4,360	996	81.4%	3,557	803	18.4%
資料統計至 105 年 12 月 19 日								

根據自 2000 年至 2015 年之違規類型統計，其違規類型原始資料共計有 4,935 件。經查證結果指出，違規類型以「其他開挖整地」所占比例為最高，共有 2,797 件，為全體違規案件次數之 56.68%；其次為「違規農業使用」，合計有 689 件，約占全體違規案件次數之 13.96%；再者為「堆積土石」類型之違規變異點計有 432 件，約占全體違規案件次數之 8.75%。

土地違規使用除改變原有地形地貌，造成災情更為加劇外，亦嚴重危害自然生態平衡，並衝擊民眾之生命財產安全。統計山坡地監測 89 年至 104 年違規總面積，如表 3.3.8 所示，違規總面積呈現每年上下震盪的現象，顯示違規案件經稽查舉報後，隔年面積有下滑的趨勢，顯見使用衛星影像輔助山坡地違規查報，具有嚇阻作用。同時，為強化國土監測作業，水保局自 103 年起使用之衛星影像解析度由原 8 公尺提升至 2 公尺，並調整衛星影像

變異判釋原則，已能針對更小範圍之違規使用面積做出更精準之判釋，有效提升查獲違規使用土地。此外，目前已針對違規高趨勢之縣（市）及鄉（鎮、市、區），試辦提高監測頻率，由原 2 個月監測通報提升至 1 個月，以期遏阻山坡地不法違規使用。

表 3.3.8 歷年山坡地違規使用總面積統計表

年度	89 年	90 年	91 年	92 年	93 年	94 年	95 年	96 年
違規面積（公頃）	30.79	17.10	37.59	165.43	100.58	79.85	116.06	226.24
年度	97 年	98 年	99 年	100 年	101 年	102 年	103 年	104 年
違規面積（公頃）	140.19	154.09	161.41	226.05	236.42	172.85	192.55	299.21

三、日本危險區劃定與管理

(一) 日本基本資料及行政體系介紹

日本由 6,852 個島嶼組成，面積 37.8 萬平方公里，約為台灣的 10.5 倍。國土面積 75%屬山地丘陵地帶，森林覆蓋率高，耕地面積僅佔日本國土的 11.1%，人口多集中在沿海地區。日本列島附近是歐亞板塊、菲律賓海板塊、太平洋板塊和北美洲板塊的交界地，同時也處於環太平洋造山帶、火山帶、地震帶之上，故日本為一個地震頻繁、多火山與溫泉的國家。

日本亦為世界上降雨量較多的地區，主要包括鄰日本海側地區的冬季降雪、5 至 7 月梅雨，以及夏季到秋季登陸或接近日本的颱風。由於日本面積狹小多山，因此河流普遍長度不長但落差較大。日本的河流在梅雨和颱風季節容易形成洪水，又因為坡地地質脆弱，過去 30 年每年約發生 1,000 件土砂災害（圖 3.3.16），共造成 1536 人死亡或失蹤（圖 3.3.17）

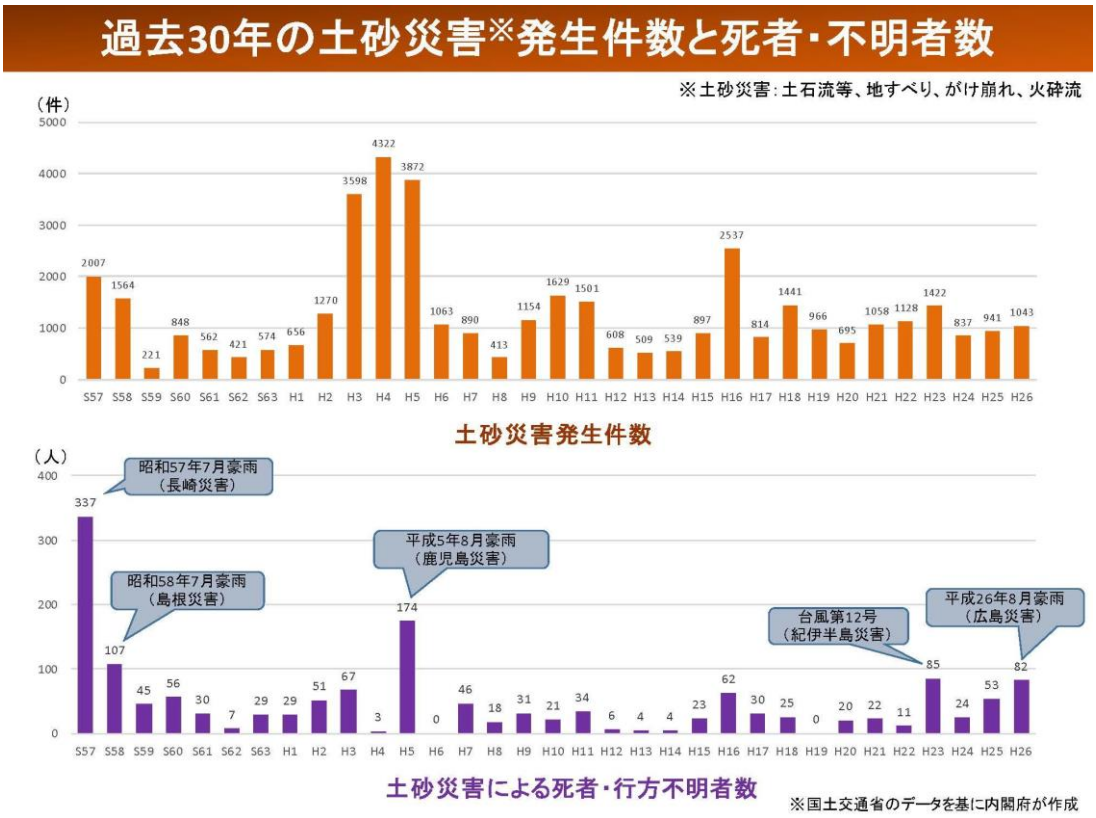


圖 3.3.16 過去 30 年日本土砂災害發生件數及死亡失蹤人數

(國土交通省)

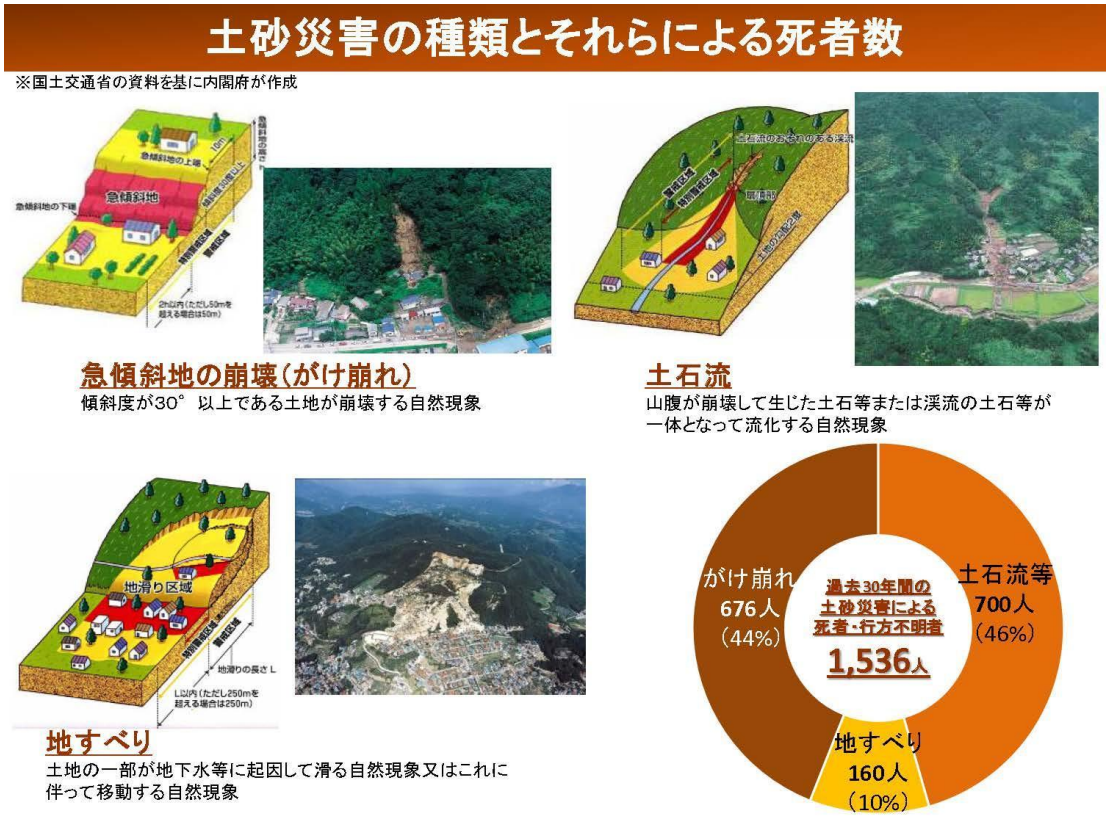


圖 3.3.17 過去 30 年日本土砂災害死亡及失蹤統計(國土交通省)

日本砂防相關單位主要依據主管業務的不同，分別由農林水產省（簡稱農林省）下轄的林野廳(圖 3.3.18)及國土交通省（簡稱國土省，前身為建設省）下轄的水管理國土保全局(圖 3.3.19)負責執行。農林省負責「森林法」治山有關工作；國土省負責「砂防法」、「陡坡地崩塌防止法」、「地滑防治法「和「土砂災害防止法」砂防有關的工作。

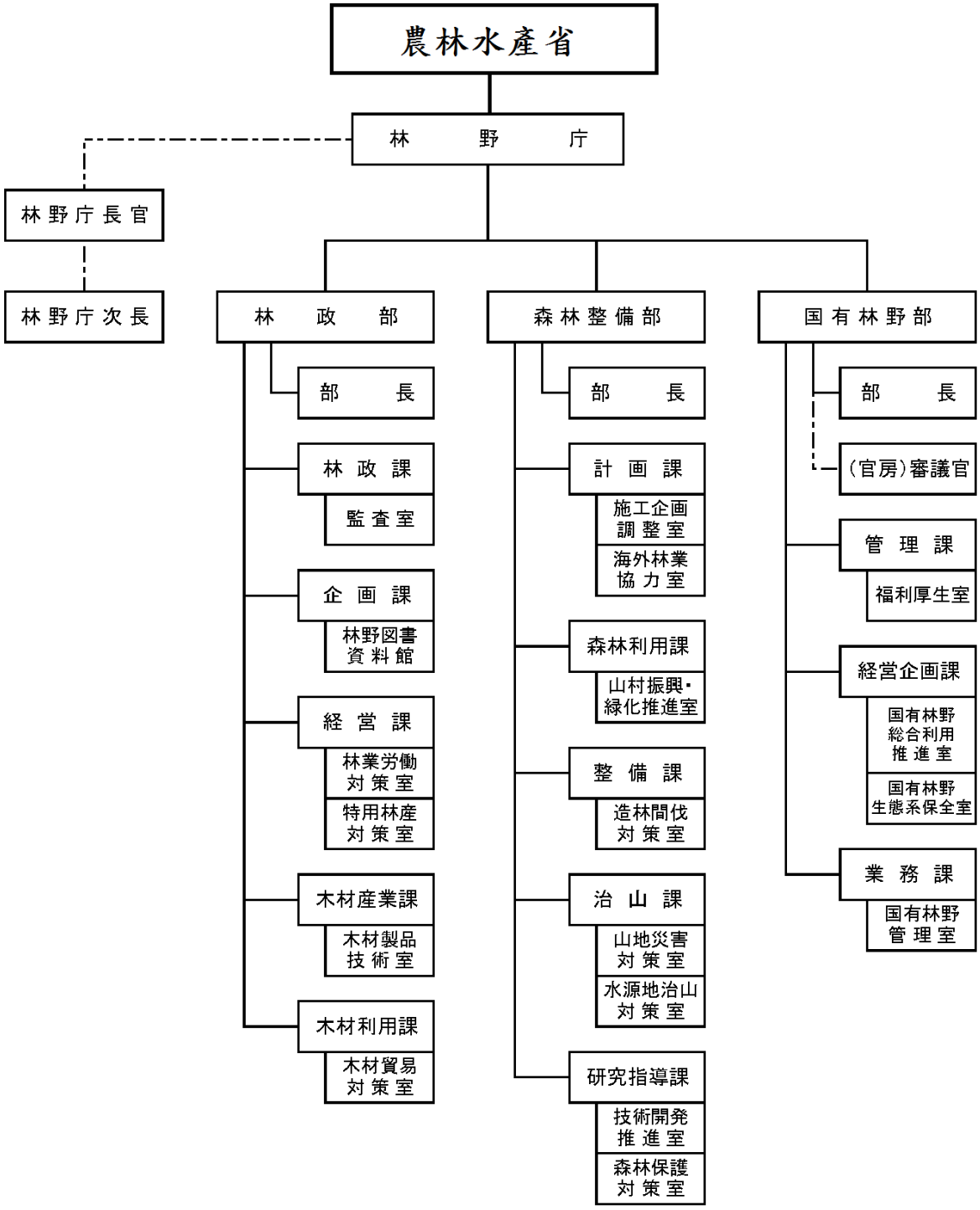


圖 3.3.18 日本林野廳組織圖

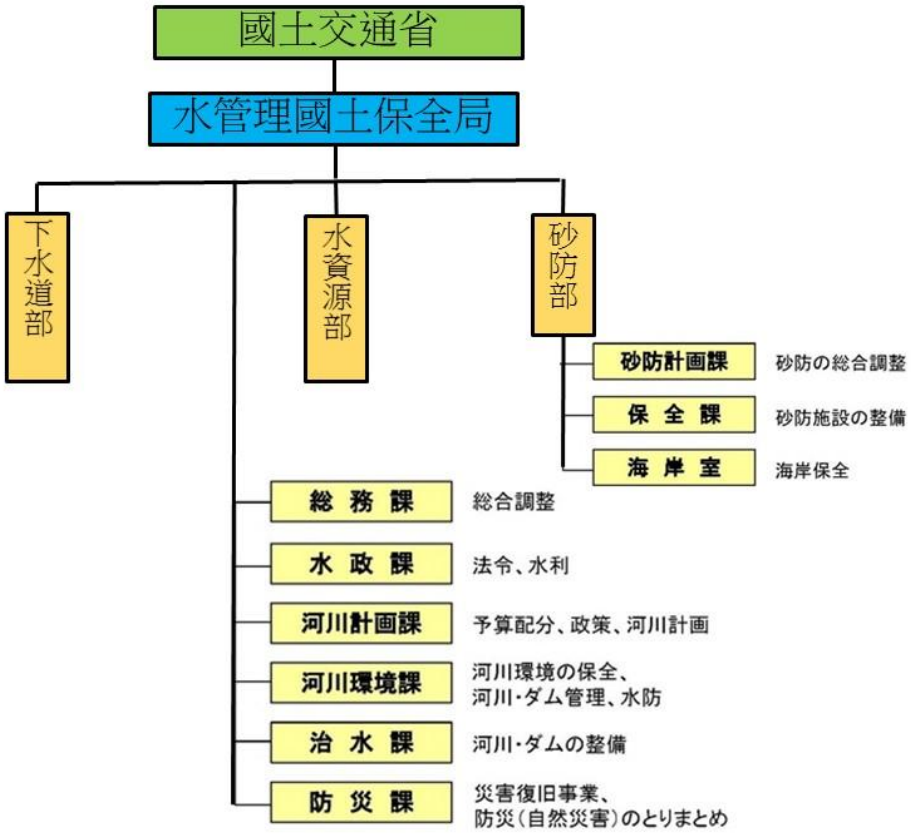


圖 3.3.19 日本水管理國土保全局組織圖

(二) 日本土砂災害法規

日本為了防止土砂災害，最早訂定的法令為砂防法。砂防法制定之時期，屬明治前期，當時山林因開墾或荒廢而無法涵養水源。常因颱風豪雨沖刷出大量的土石，造成下游河川河床上升進而釀成水災。基於水災防治需求，日本政府在此一時期，先後制定了「河川法」(明治 29 年，1896 年)、「森林法」(明治 30 年，1897 年)及「砂防法」（明治 30 年，1897 年）以為因應。其中，「森林法」建立水源地「保安林制度」藉以涵養水源，而河川整治則是由「河川法」加以規範，至於砂「砂防法」之主要目的，就是在於防治森林與河川之間土砂流出造成溪流淹塞。後來至昭和時期又訂頒地滑等防治法（昭和 33 年，1958 年）、陡坡崩塌災害防治相關法律（昭和 44 年，1969 年）等。1999 年廣島發生土砂災害（死亡 24 人）之後政府制定「土砂災害警戒區域等土砂災害防止對策相關法律」（以下稱為「土砂災害防止法」），從此完備了推動土砂災害防治所需的法令，圖 3.3.20、圖 3.3.21。

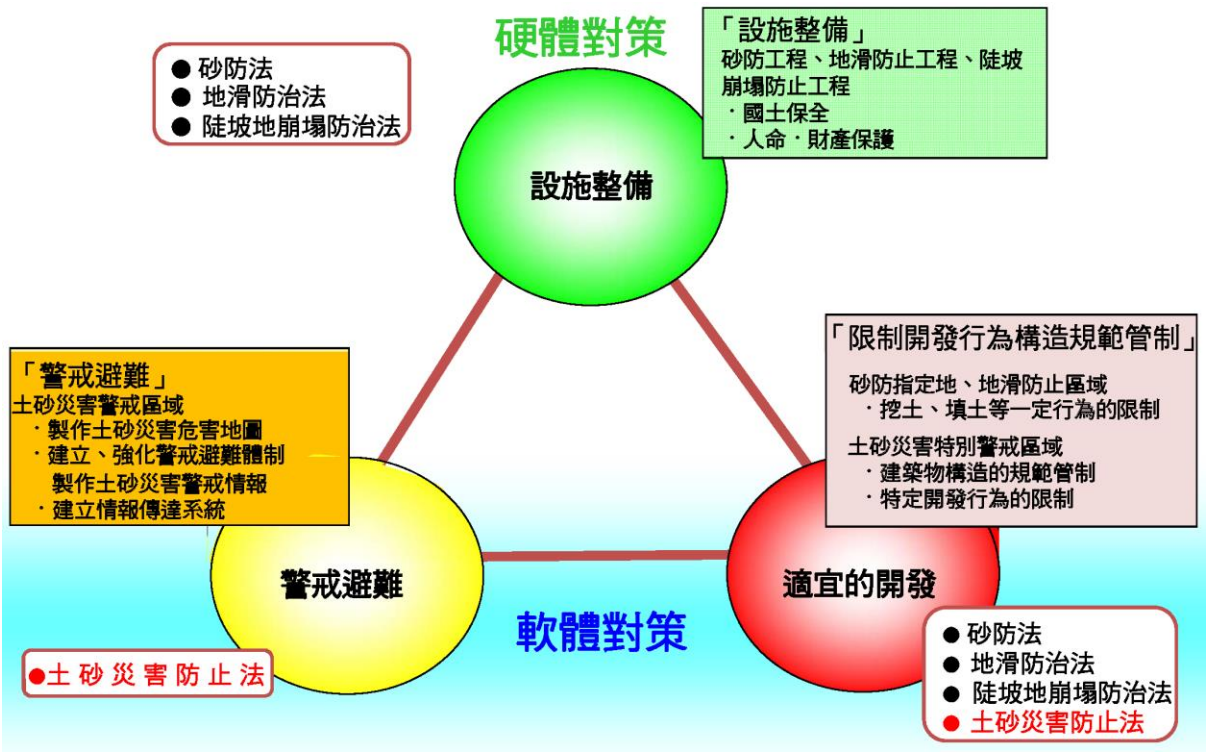


圖 3.3.20 日本土砂防災三大對策

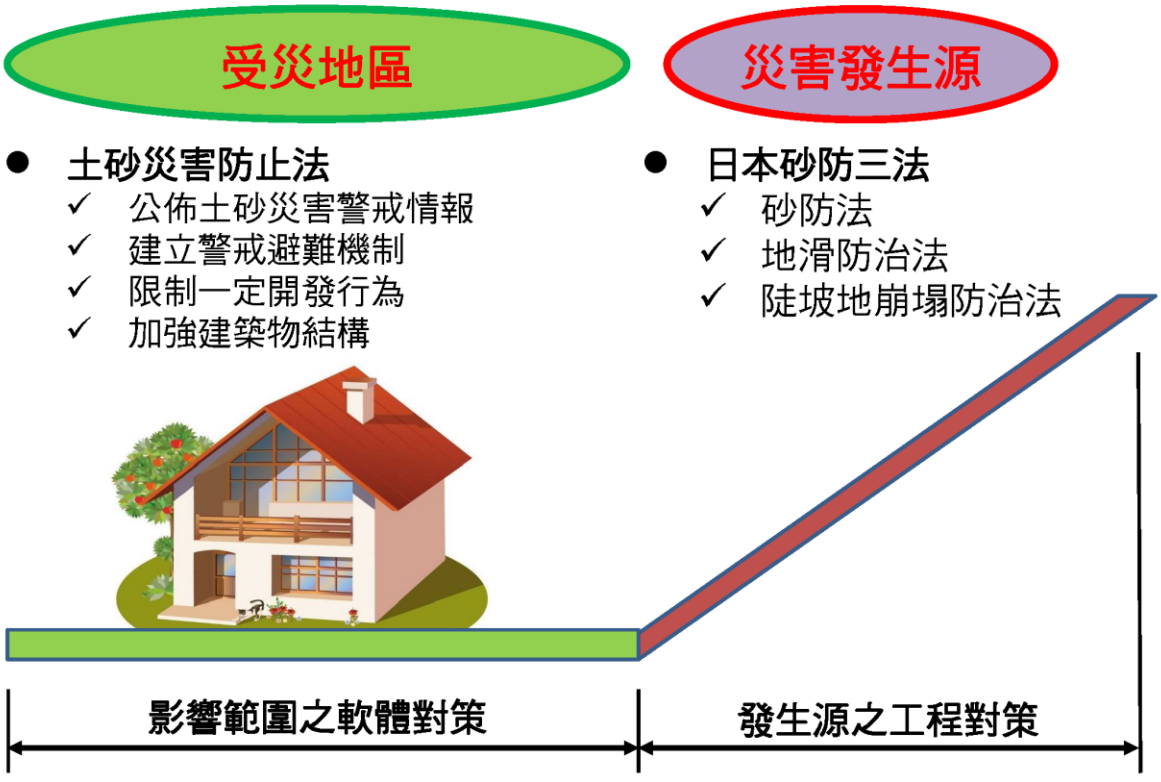


圖 3.3.21 日本土砂災害防止法與砂防三法之區別

(三) 土砂災害對策與措施

日本因為國土特性常遭遇土砂災害，因此，國土交通省等相關部會長期以來實施各種以防範土砂災害為目標的措施與法規，近年來政府所推動的主要土砂災害對策如下：

1.訂定每年 6 月為土砂災害防災月（1983 年）

2.開始運用解析雨量˙短期降雨預報（1988 年）

3.土砂災害防止法的制定（2000 年）

4.擬定避難勸告等判斷與傳達手冊的製作指南（2005 年）

5.開始發佈土砂災害警戒警報（2005 年）

6. 擬定土砂災害警戒避難指南（2007 年）

7.開始在大雨警報訊息中加註土砂災害警示（2010 年）

8.災害對策基本法修正（2013 年）

9.公布土砂災害警戒判定網格情報（2013 年）

10.導入特別警報（2013 年）

11.避難勸告等指南之修正（2014 年）

12.開始提供即時高精度降雨預報（2014 年）

日本廣島市 1999 年 6 月 29 日發生嚴重土砂災害，共造成 31 人死亡 1 人失蹤。日本於 2000 年以前，土砂災害防止的策略仍以硬體設施整備為主。由於該事件的發生，促使日本開始思考土砂災害高風險區域之警戒區域劃設及其相關土地使用的管制，並於 2000 年制定「土砂災害防止法」。制定土砂災害防止法之前，日本政府歷年來其實已完成土砂災害危險箇所調查。透過制定本法，現國土交通省就能進一步推動土砂災害潛勢資料的公開及周知、建立警戒避難體制、抑制新建住宅，鼓勵既有住宅搬遷等軟體對策。

若要確實推動土砂災害潛勢區疏散避難等體制，必需先儘速辦理坡地基礎調查與指定土砂災害警戒區域；但尚未完成基礎調查的地區，也有必要充分周知住在土砂災害危險箇所的居民，讓居民瞭解土砂災害之危險性，中長期應推動以土砂災害潛勢區儘量以不住人為目標之社區營造。

(四) 土砂災害潛勢地區之基礎調查

土砂災害潛勢地區之基礎調查乃是依法研擬土砂災害防止對策所不可或缺的程序，因此國土交通省於土砂災害防止對策基本指針(以下稱為基本指針)中提到，基礎調查應實施內容如下(圖3.3.22):

1.確認發生土砂災害的地點

2.地形、地質、降雨、植生等相關調查

3.土砂災害防止設施設置狀況相關調查

4.以往土砂災害歷史相關調查

5.掌握土砂災害受災區域

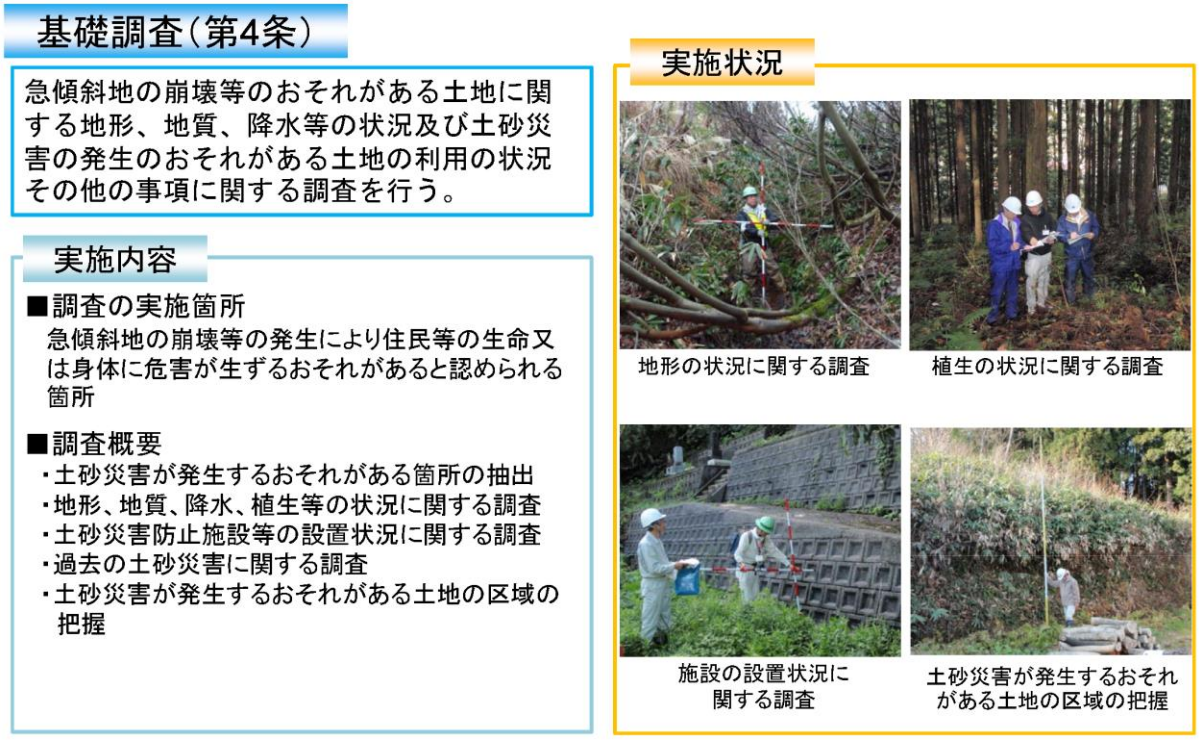


圖 3.3.22 基礎調查實施情形及內容(國土交通省)

為了保護國民生命與身體，免受土砂災害危害，應建立警戒避難體制。基本指針對於已掌握土砂災害潛勢土地區域，指出應實施以下警戒避難體制相關調查:

1.土砂災害避難勸告相關的調查

2.情報傳達相關調查

3.災害潛勢地圖（hazard map）相關調查

4.其他調查，例如針對保全住宅、有無道路、土地利用現況等實施相關調查。

基本指針提到，基礎調查結果乃為了周知居民土砂災害之危險性，其內容包括公布土砂災害警戒區域範圍的圖資。公布方法應包括都道府縣等網頁、都道府縣在地方的辦公室、市政府(區公所)等閱覽室、公布欄、刊物等各種方法。公布基礎調查結果後，都道府縣應與市町村合作，儘速完成指定土砂災害警戒區域公告程序。市町村應爭取居民協助，確保設置安全的避難場所，儘早實施情報傳達等避難體制。

(五) 土砂災害警戒區域指定

依據土砂災害防止法及其施行令規定，土砂災害警戒區域(黃區)的指定基準，說明如下:

1.陡坡崩塌警戒區域

(1)斜度超過 30 度且高度超過 5 公尺的土地區域。

(2)陡坡上端所連接水平 10 公尺以內的土地區域。

(3)陡坡下端所連接 2 倍陡坡高度的水平距離的土地區域(該距離超過 50 公尺時，採為 50 公尺）。

2.土石流警戒區域

集水面積小於 5 平方公里(500ha)野溪，坡度 2 度以上之山麓沖積扇地形區域者。但發生土石流時，根據地形判斷為土石流所不會到達的土地區域應予扣除。

3.地滑警戒區域

(1)正在滑動的區域及具有地滑潛勢區域。

(2)位於地滑下方可能受影響的區域(最大為250公尺)，但根據地形判斷為地滑所伴隨土石滑動所不會到達的土地區域應予扣除。

陡坡崩塌、土石流及地滑土砂災害警戒區域指定方法的示意圖，如圖 3.3.23~圖 3.3.25。

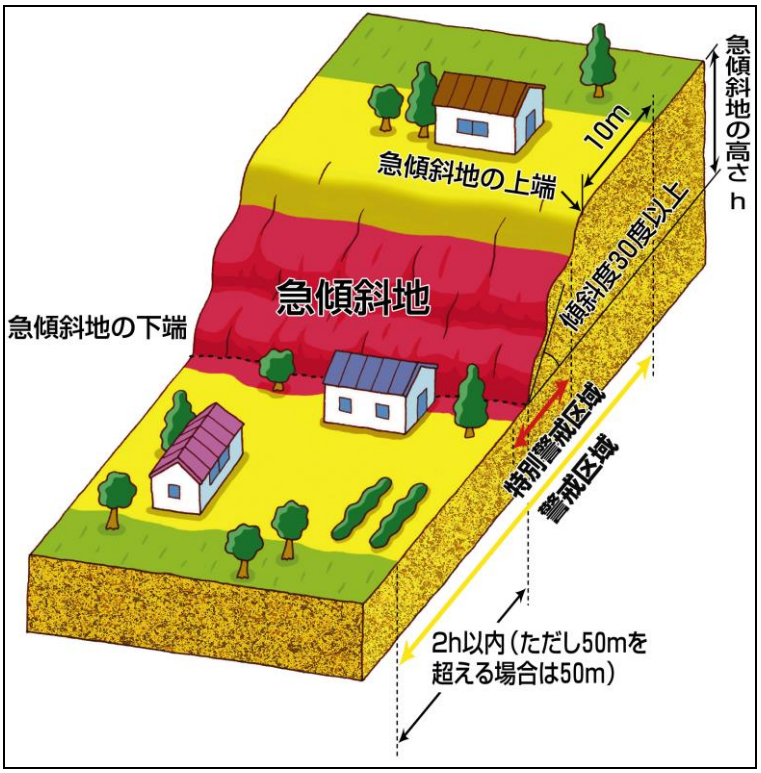


圖 3.3.23 陡坡崩塌土砂災害警戒區域指(劃)定示意圖

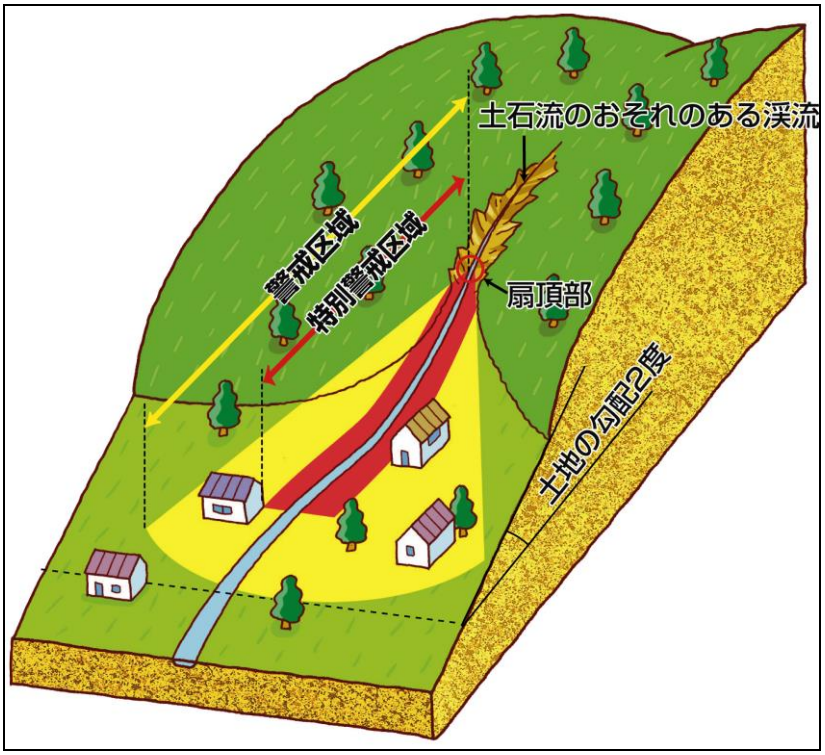


圖 3.3.24 土石流土砂災害警戒區域指(劃)定示意圖

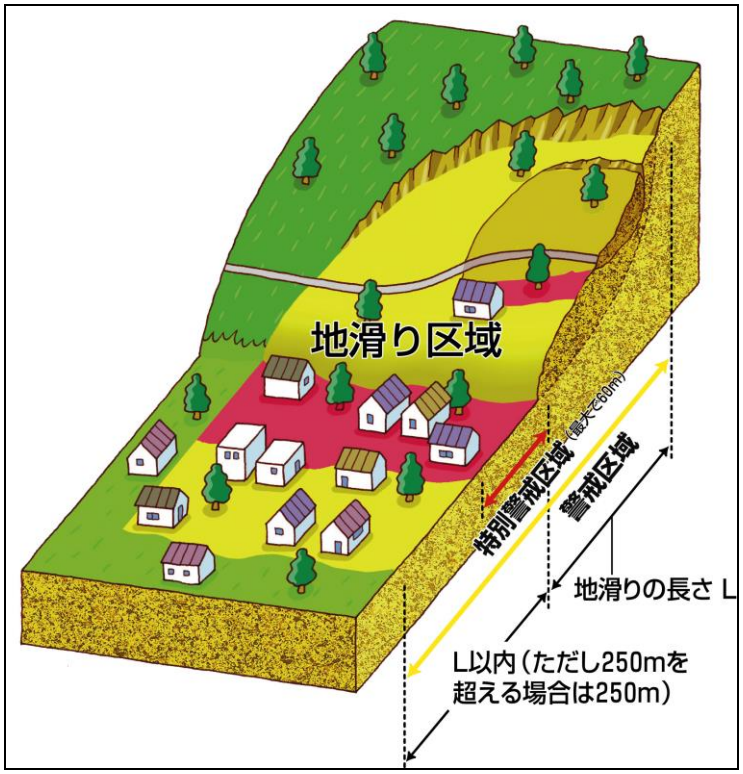


圖 3.3.25 地滑土砂災害警戒區域指(劃)定示意圖

依據土砂災害防止法及其施行令規定，土砂災害特別警戒區域(紅區)的指定基準，說明如下:

1.陡坡崩塌特別警戒區域

陡坡崩塌警戒區域(黃區)內存有居室之建築物，可能崩塌的土石作用於建築物的衝擊力，超過建築物所能承受，但不致於因建築物損壞而導致居民等生命或身體明顯危害之影響範圍。

2.土石流特別警戒區域

土石流警戒區域(黃區)內存有居室之建築物，可能土石流作用於建築物的衝擊力，超過建築物所能承受，但不致於因建築物損壞而導致居民等生命或身體明顯危害之影響範圍。

3.地滑特別警戒區域

地滑警戒區域(黃區)內存有居室之建築物，可能地滑土石作用於建築物的衝擊力，超過建築物所能承受，但不致於因建築物損壞而導致居民等生命或身體明顯危害之影響範圍。屬於地滑下方可能受影響的水平區域，其最大指定範圍為 60 公尺。

陡坡崩塌、土石流及地滑土砂災害警戒區域指(劃)定成果示例圖，如圖 3.3.26～圖 3.3.28。

土砂災害防止自 2001 年實施後，由 47 個都道府縣開始進行土砂災害基礎調查，預定調查數量高達 666,414 處，並依據調查結果推動土砂災害警戒區域指(劃)定。至 2016 年底，共有 26 個府縣完成 487,899 處基礎調查及土砂災害警戒区域指(劃)定，如表 3.3.9。但仍有 21 都縣道預定於未來 3 年才能完成調查及指定，如圖 3.3.29。

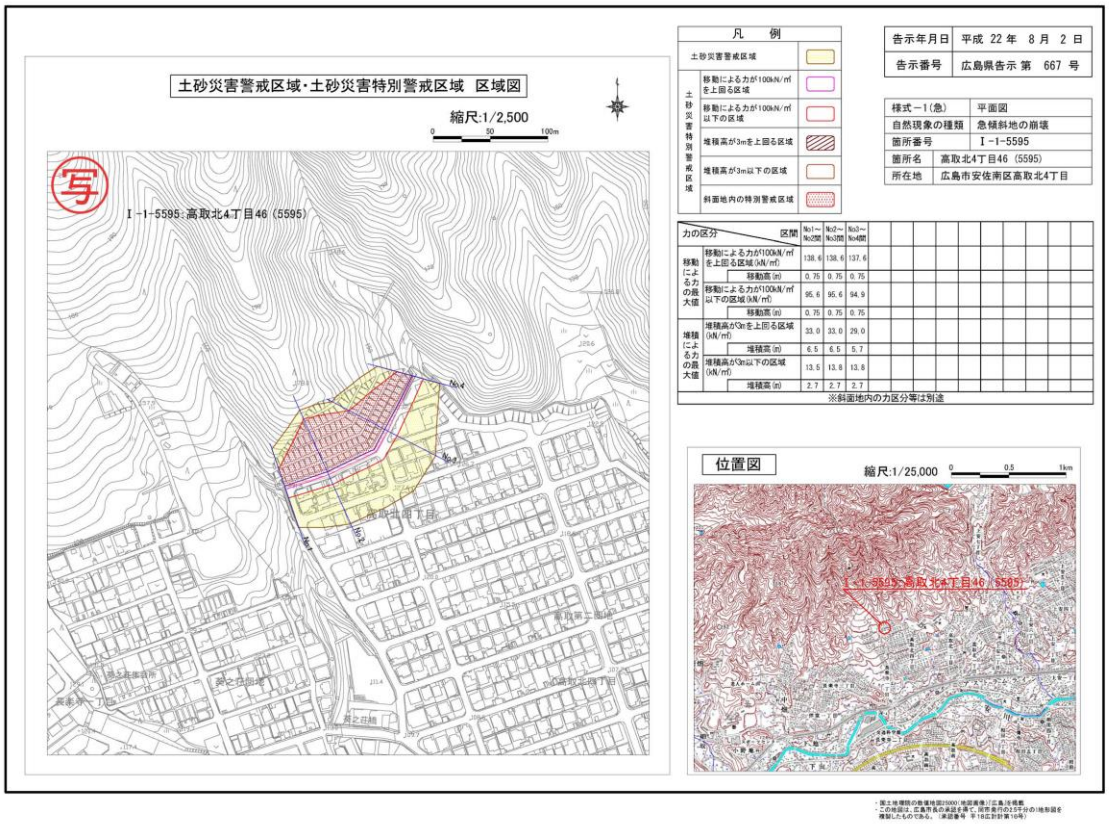


圖 3.3.26 陡坡崩塌警戒區域指定成果圖示意(國土交通省)

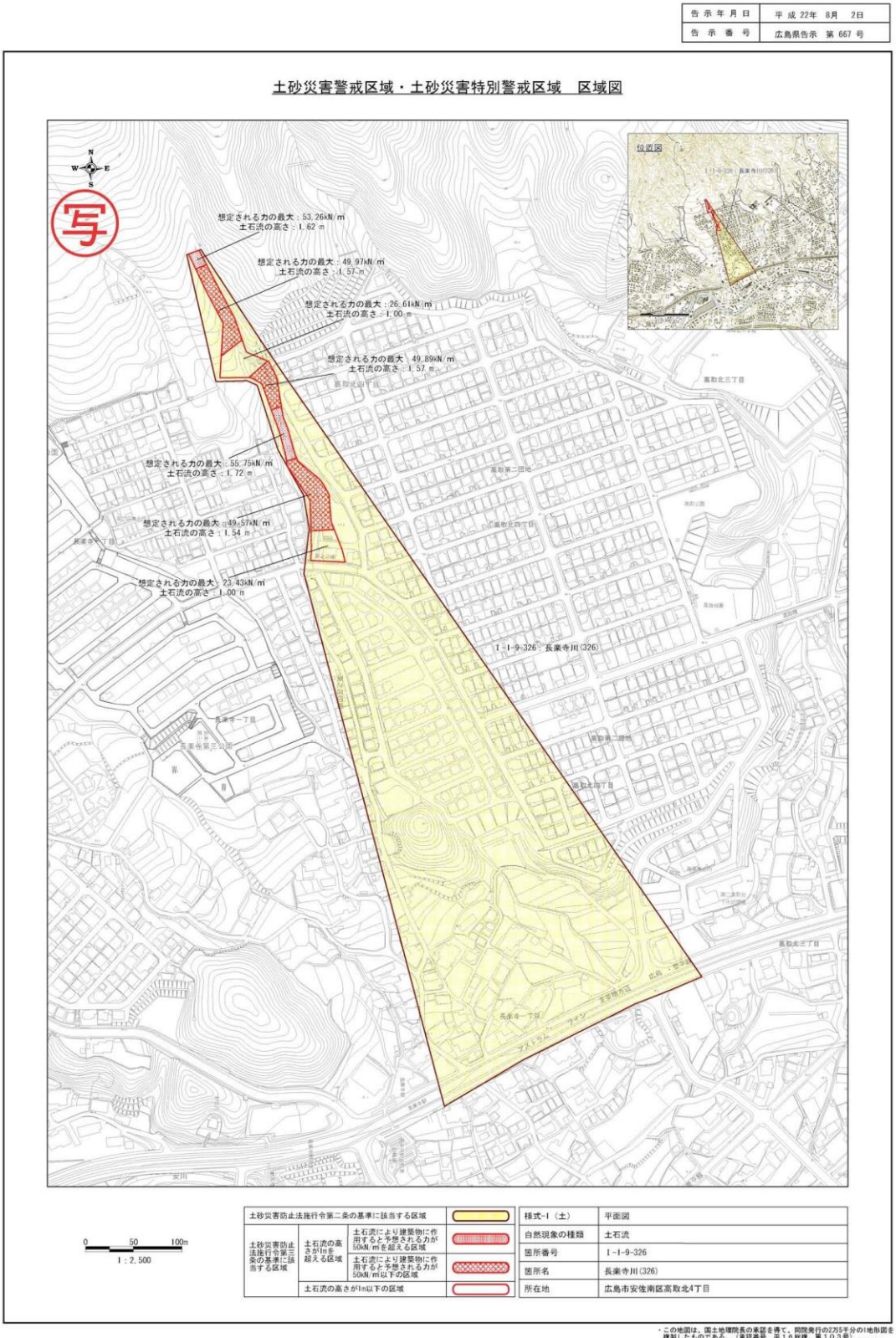


圖 3.3.27 土石流警戒區域指定成果圖示意(國土交通省)

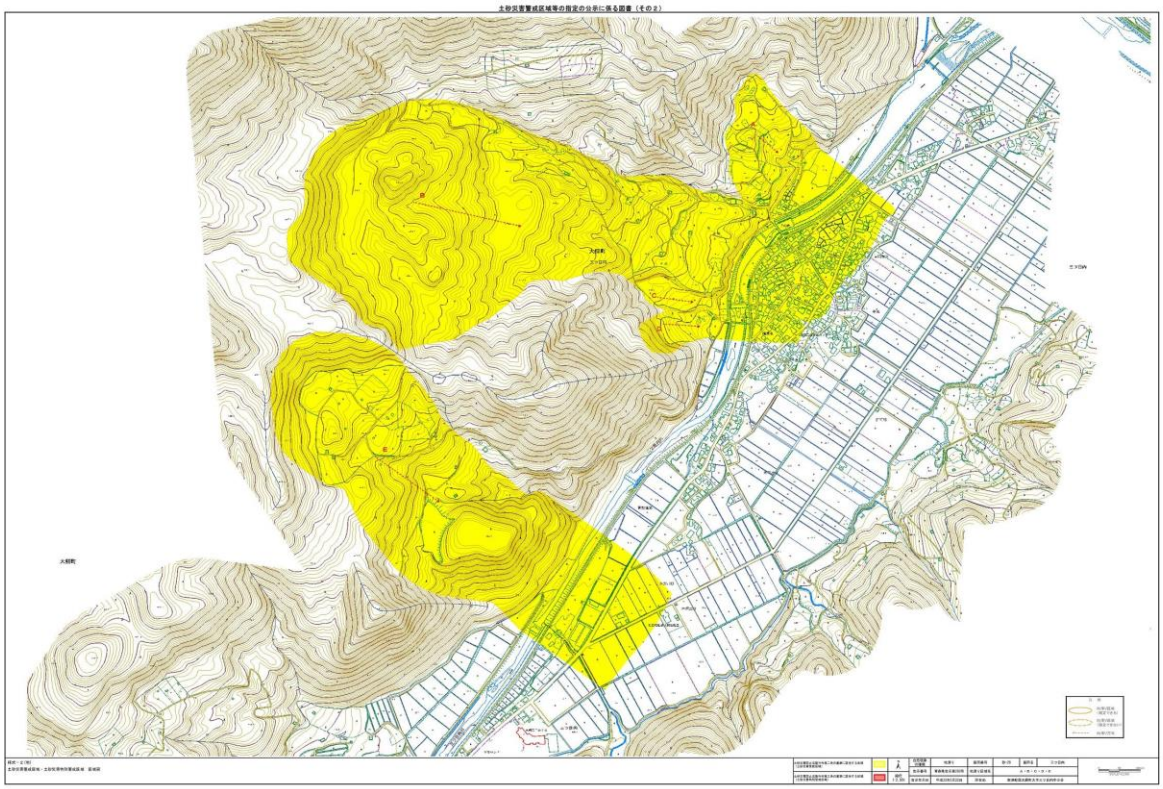


圖 3.3.28 地滑警戒區域指定成果圖示意(國土交通省)

表 3.3.9 日本土砂災害基礎調查統計表(國土交通省，2016)

調查(劃定)項目	調查(劃定)區位	預定調查(處)	完成調查(處)
土砂災害警戒區域(黃區)	土石流	666,414	162,947(黃區)
			97,001(紅區)
	地滑		9,025(黃區)
土砂災害特別警戒區域(紅區)			1(紅區)
	陡坡崩塌		315,927(黃區)
			234,464(紅區)

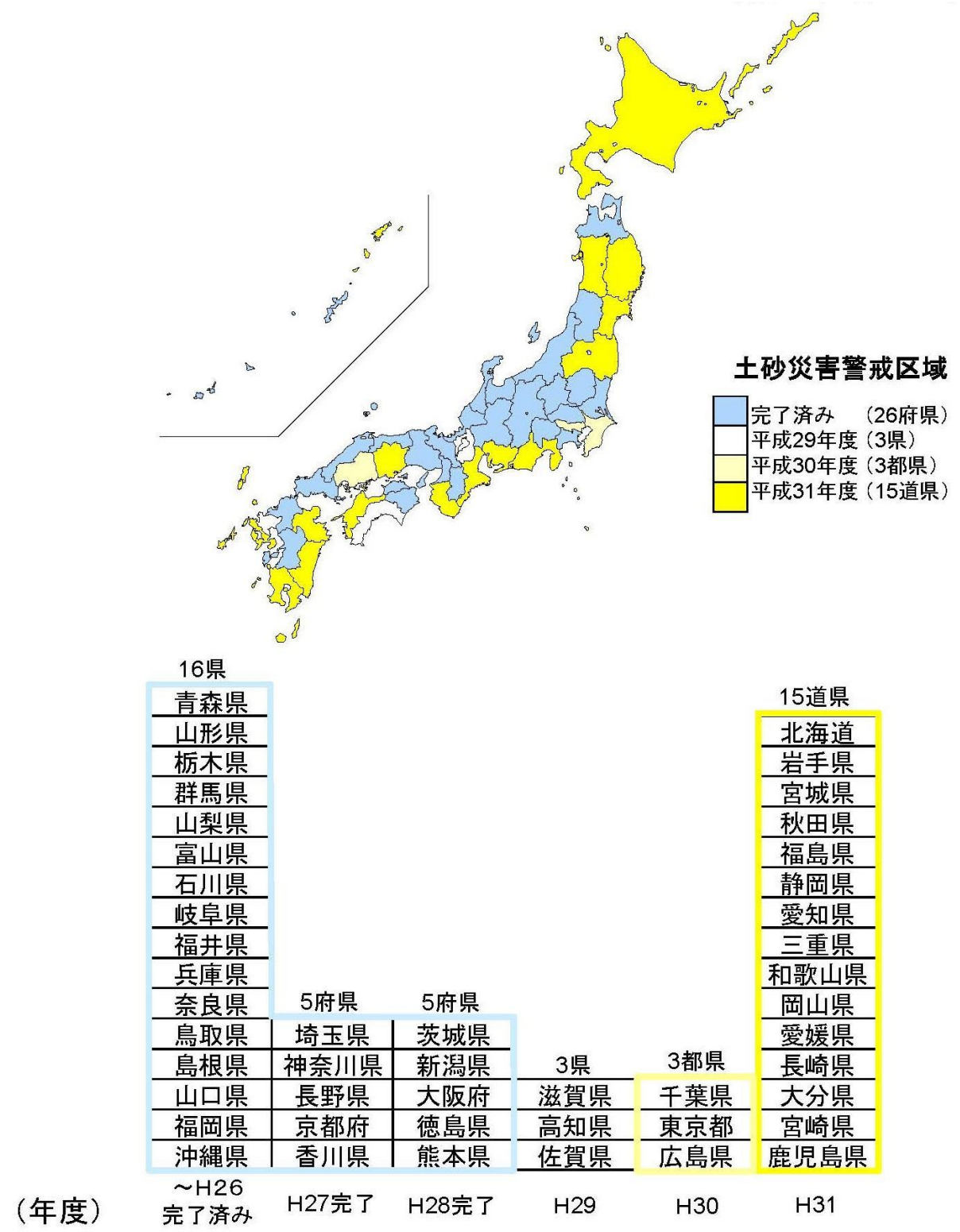


圖 3.3.29 基礎調查（土砂災害警戒區域）預定完成年度(國土交通省)

四、奧地利危險區劃定與管理

(一) 奧地利基本資料及行政體系介紹

奧地利是中歐內陸國，面積 8.4 萬平方公里，約為台灣的 2.3 倍，人口有 850 萬人。奧地利分為九個聯邦，各聯邦政府之下又區分為數個行政區（district）負責執行各項聯邦法律，但並非實質具有經費的行政體，至於最下層則為市（鎮）（community）。

由於阿爾卑斯山佔據奧地利國土面積達 62%，再加上鄰近的眾多旁支山系，因此，奧地利大部份為高山地形，只有東北部為盆地平原地形，地勢較為平緩。奧地利經濟主要以農業及觀光業為主，因此，當地土地利用多位處於山腳或溪流切割之谷地，該等地區往往亦是雪崩或洪水所集中之地區，雖然奧地利年平均雨量僅 800mm，但由於受到冰河融雪影響，雪崩、土壤侵蝕及土石流災害嚴重，以致於天然災害頻傳。

奧地利自 150 年前即開始發展野溪治理（torrent control）、雪崩防治（avalanche control）以及土石流防治（debris flow control）等技術，其工程技術及經驗在世界上佔有極重要的領先地位。奧地利早於 60 年代，即開始對山崩、地滑、雪崩以及土石流等地區，予以劃設危險區地圖（hazard map），以作為天然災害治理及管理之參考，1975 年奧地利聯邦政府將危險地區地圖劃設正式列入「森林法」，並規定必須實施整體治理計畫，其為奧地利實施風險管理法制化之開始，也逐漸發展出結合土地管理及治理工程之整體防災策略。

奧地利主管雪崩、沖蝕及野溪防治之行政機關為奧地利聯邦野溪及雪崩防治局（Austrian Service for Torrent and Avalanche Control，以下簡稱 WLV），隸屬於奧地利農林環境及水資源經營部（Ministry of Agriculture, Forestry, Environment, and Water Management, BMLFUW）第三部門森林分部下，野溪及雪崩防治局其下又分為七個分局（sektion），各分局下則又依所轄區域大小不同分為數個工作站（圖 3.3.30），負責執行各項危險區劃定、整體治理計畫及施工等工作，係為雪崩、沖蝕及野溪防治計畫的主要執行者，其下均附屬有野外工作隊，負責現場工程施作及各式防治措施之及管施工與管理。除此之外，奧地利野溪及雪崩防治局其下尚有三個獨立的研究群，分別負責地理資訊系統及數值

模擬計算、雪崩觀測以及地質研究等工作。

(二) 危險區劃定概念及策略

1.天然災害風險管理

由於天然災害風險管理已成為目前世界防災工作之趨勢，奧地利在天然災害風險管理則已發展十分完整，其概念如圖 3.3.31。而 WLV 依據其所負責之災害防治措施、集水區經營管理、危險區劃定及調查研究規劃等，主要集中於災害整備階段（prevention）之工作。

2.危險區劃定管理概念

奧地利危險區劃定概念最早源於瑞士，由於同屬於阿爾卑斯山脈區域之國家，隨著二次大戰之後旅遊及交通的逐漸發達，雪崩造成的災害頻傳，為使居民及地方政府瞭解那些地區適合開發或居住，因此發展出標示具雪崩災害風險地區之的雪崩防治地圖。

奧地利於六０年代起，開始針對境內具洪水、沖蝕、崩塌、地滑、土石流及雪崩等災害危險之地區，進行調查並標示於圖上，以作為災害治理與管理之參考，1975 年正式於森林法（Forest Act, §8 and §10）規定，對於災害可能發生區域需製作危險區地圖（hazard map, GZP），並研擬危險區計畫（hazard zone plan）實施整治工作。

WLV 之天然災害防治管理策略，主要分為三個階段，風險分析、風險評估以及風險管理（圖 3.3.32），各階段重點工作雖不相同，但卻密不可分。風險分析階段中，WLV 必須長期進行災害分析及紀錄，進行集水區現場調查，並透過科學性方法分析災害發生機率及程度，這些以長期且科學性的分析為基礎的資料，為進行風險評估階段之基礎，該階段必須根據完整的區域性調查製作危險區地圖（GZP），提供以下功能，以作為風險管理階段工作之基礎：

(1)結合區域規劃及土地使用計畫圖，有效土地利用與管制；

(2)研擬洪水、土石流及雪崩防治計畫；

(3)工程處理及執行之依據；

(4)地區安全維護。

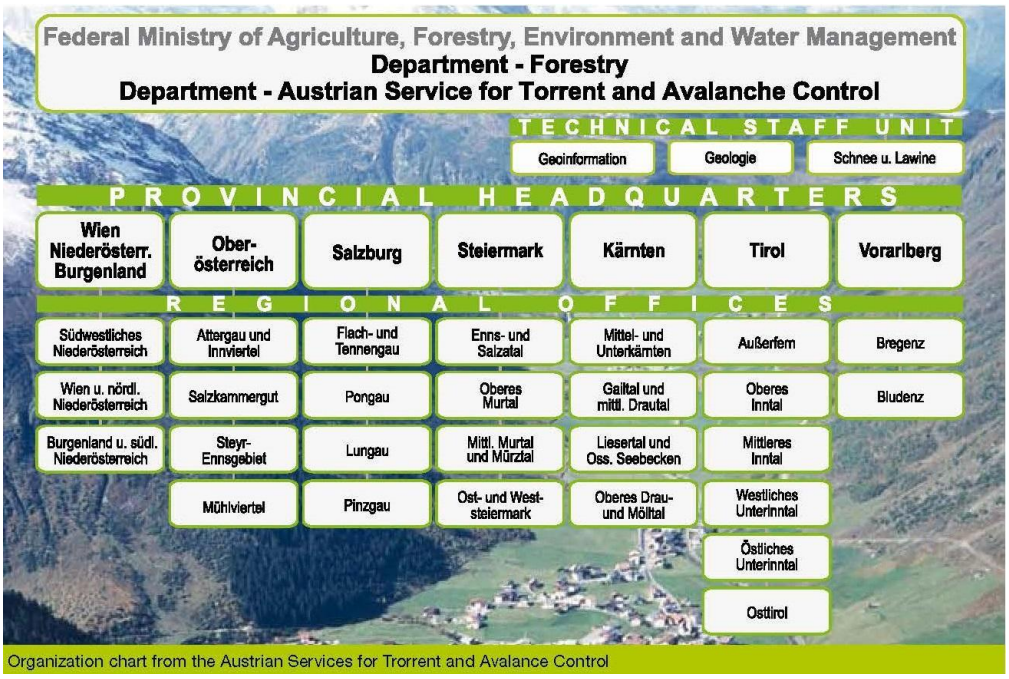


圖 3.3.30 奧地利聯邦野溪及雪崩防治局組織圖

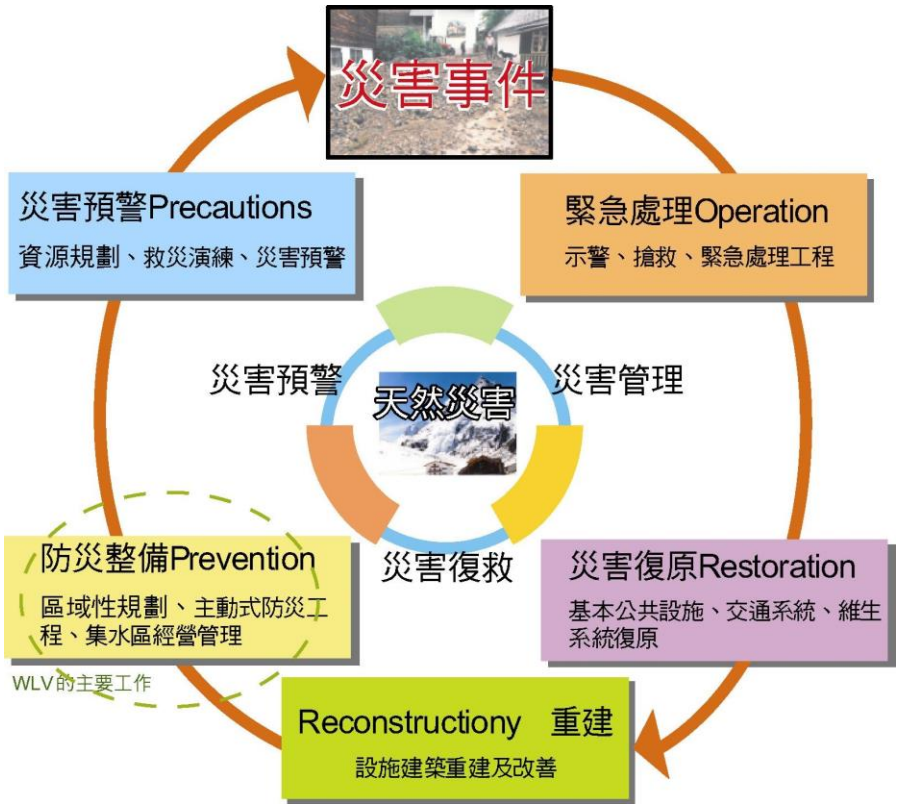


圖 3.3.30 奧地利天然災害風險管理概念圖(WLV, 2007)



圖 3.3.31 奧地利整合性天然災害防治策略圖（WLV, 2004）

3.危險區劃定方法及整治策略

(1)危險區地圖劃定方法

奧地利危險區劃定方法，具有一套系統的工作步驟(Step to step method)，主要可分為兩部分，其一為技術程序，包含集水區基本資料勘查、水文分析、現場踏勘、估算設計事件、危險區域標示及繪製危險區地圖等六個步驟；另外，則為行政程序，包含科學審查及行政審核工作。

根據奧地利聯邦災害危險區劃定準則第五條規定，危險區劃定工作雖以集水區為單元分析，但僅針對下游土地使用計畫區域標示危險區分區。至於中上游森

林區域，不屬於開發利用之區域，其土地使用計畫由奧地利各級國土計畫進行管理。所謂危險區分區包含紅色危險區、黃色危險區、藍色保留區、棕色參考區及紫色參考區(圖 3.3.32)。

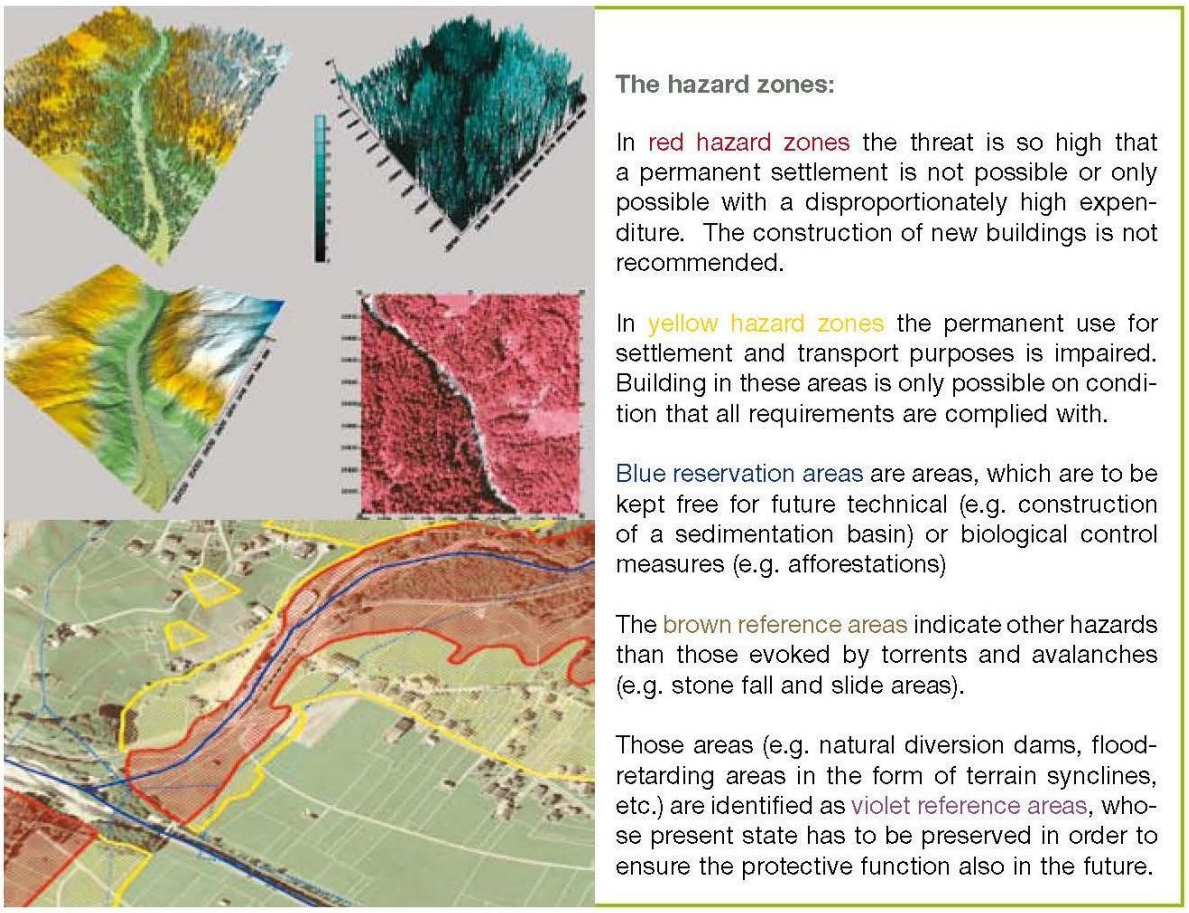


圖 3.3.32 奧地利公告危險區分區劃定示意圖（WLV,2007）

紅色危險區代表區內極易遭受到洪水及土石流災害，或該等災害對該區之人類或公共設施會造成極大危害者。因此紅色危險區不適合居住、不適合興建永久性建築物和公共交通設施，屬於禁止開發區。

黃色危險區係紅色危險區外，所有可能受到土石流或洪水災害影響之封閉區域。其表示該區域可以透過適當的安全措施，減少災害的程度，管理上，地方政府可以根據專家會勘評估意見決定是否准予新建建築物及公共設施。除此，區內建築物必須具備防護自然災害之設計，例如使用加勁混凝土牆、深基礎、在危險側裝設

門窗及在屋頂加裝特殊結構等，以確保居民在室內活動的安全性，但區域內不得興建學校、運動場、營地等公共場所。

藍色保留區主要是為施行整治工程所需之保留用地（包含緩衝林所需之區域），這裡所指之整治工程包含工程技術、林業技術、生態工法以及相關管理所需用到土地，該地區皆必須保留不得開發。

棕色參考區主要是除洪水及土石流災害之外，具有落石、崩塌、積水等災害地區，在開發建築審核過程中，雖不屬於紅色危險區或黃色危險區，但一般仍禁止開發利用，除經過地質、土壤力學及相關專家之評估後，建管單位得參照評估意見准予開發利用。

紫色參考區則為特殊地質或地形保護區，主要在維持一定的地形條件，避免變更地形造成洪水或土石流之發生及流動方向，如需變更現有情況，必須考量專家之意見，原則上，該區域同樣禁止開發行為。

危險區地圖初稿繪製完成後，必須經過工作站、聯邦省分局內部討論及評估，並控管其劃定標準與其他區域一致，而後送奧地利野溪及雪崩防治局總局審核，經核可後必須送交地方政府在相關社區公告四週，使當地居民有機會陳述自己的意見。

地方政府彙整居民意見後，將提送審查委員會，審查委員會由四個單位代表組成，包含農林環境及水資源經營部代表、野溪及雪崩防治局其聯邦省分局代表、聯邦省政府代表及市鎮社區代表（通常為市長）所組成，並由農林環境及水資源經營部代表擔任審查委員會主席。審查委員會必須針對相關單位或社區居民所提出之意見逐一審核並做成決議，審查委員決議採用簡單多數決，如正反雙方票數相同，則主席有最後之裁量權。

審查委員會將審查修正後之危險區地圖，送交農業森林部部長核定公告，並由原規劃工作站，製作四份分別農林環境及水資源經營部、聯邦省政府及地方市政府，分別作為經費核定及土地使用管理之依據。

(2)危險區整體治理計畫

WLV 各地區之工作站，每年將針對已劃定危險區地圖（GZP）之區域，研擬危險區整體治理計畫（master plan），其包含原劃定之危險區地圖、整治實施計畫及成本效益分析等部分。

危險區整體治理計畫之整治對策，以減少紅色危險區或黃色危險區為主要的目標（圖 3.3.33），也就是所有的工程設計均需思考如何降低災害的發生機率、減少災害程度或轉移災害波及之區域。

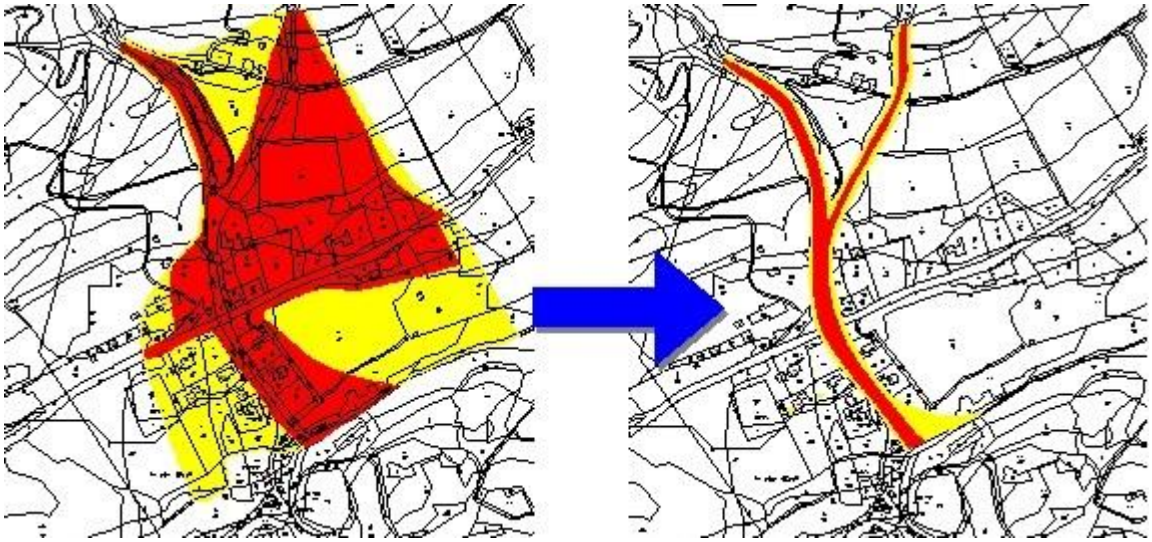


圖 3.3.33 奧地利危險區整體治理計畫目標示意圖（WLV,2004）

此外，由於危險區整體治理計畫之各項處理工程經費，須依水利建設財務法由聯邦政府(60%)、聯邦省政府(23%)、市(鎮)政府及受益者(17%)共同負擔，因此，整體治理計畫中的每件工程設施則必須與地方居民溝通，讓地方政府及地區受益者瞭解工程之配置與可能需要經費，此處所指之受益者即是在危險區分區內之紅色及黃色危險區內之所有住戶。至於工程配置、經費及效益之說明，則透過說明會溝通的形式，由 WLV 工作站代表、市長、受益居民以及聯邦省政府所指派之律師主持召開，首先將由 WLV 工作站代表於會議室內說明計畫內容，再由關係人提出意見，倘書面說明均達成共識，則進行現場會勘工程位置及可能使用之土地，最後

在由聯邦省所指派律師當場研擬契約，確認工程形式、項目、用地及經費分配，並由各方簽字確認。

危險區整體治理計畫中另一個重點即是計畫成本效益分析，WLV 之工程師對於每個整治計畫均會詳細評估計畫之成本與效益，以作為計畫實施優先順序之參考指標。由於完整之成本效益分析極為複雜，WLV 在計畫之成本效益分析上則採取市場評估法，忽略非市場財的價值，以工程壽命三十年期為其評估基期，其中成本部分包含工程費和工程費之 1.5%維護費，至於效益部分則計算危險區內因計畫完成後，所避免災害發生之效益總和，也就是等於計畫前後，紅色與黃色危險區變化範圍內的效益總和，每年度 WLV 各分局將依成本效益分析結果及各危險區所配合提出之經費狀況，決定集水區整體治理規劃之優先順序，並分別由 WLV 所屬之工作隊進行現場施工。

(3)危險區重新檢討

危險區地圖一旦經 WLV 核定，區內土地之土地開發、利用、建築整修及交易等均需依照危險區地圖相關規定辦理，每年度 WLV 各工作站會依危險區整體治理計畫分年分期實施相關治理工程，並於完成整治工作後，重新修正危險區地圖，減少對居民的限制，提供正確的土地開發管理資訊。

五、小結

面對全球氣候變遷影響下所造成大規模崩塌等複合型災害越來越顯著情形下，歐、美、日等先進國家於過去十多年開始進行大規模崩塌及氣候變遷相關調適研究工作，如藉由硬體施作和軟體對策的聯合運用，持續進行警戒避難體制整備、土地利用限制、保育治理工程設置等措施作為及教育推廣，並透過不斷研究發展持續精進與強化相關調適工作。

本章節研析了國內外有關環境敏感地區之管理及劃訂方式，其中國內部包含特定水土保持區、水庫集水區、土石流潛勢溪流、山坡地、地質敏感區等，並整理國內目前使用遙測方式進行國土利用監測的現

況。在國外方面，則分別介紹日本及奧地利針對土砂災害潛勢區之劃設及管理方式。藉由了解及分析國內外法令與制度面設計之異同，將有助於未來國土計畫法之實施與推動。

第四節　基礎調查

調查的目在於瞭解區域環境特性、保全對象，並評估治理區內災害潛勢類型、位置、數量，以及可能的影響規模與損害程度，對於調查程序及區域基本資料收集項目如圖 3.4.1 所示，並依其型態可概分為「流路(水)」及「坡面(土)」二大類。其中，「流路(水)」之調查項目中應收集人文、地文及區域氣象資料、區域環境地質與生態項目，並針對調查區域內之野溪及土石流潛勢溪流詳列其位置、加強現況描述等。例如，土石流潛勢溪流需描述堆積土石平均粒徑、植生狀況、河道內堆積及構造物狀況等，而野溪的現況描述則需針對河床沖刷、淤積抬升及兩岸掏刷情況進行說明與紀錄，同時針對治理區域內河床質、植物特性及土壤流失量之相關資料進行收集。然而，對於「坡面(土)」之調查項目中應收集土地利用、交通運輸現況，以及區域內災害歷史紀錄等，同時，彙整區域內既有崩塌地分佈、水土保持設施、構造物使用管理狀況，以及區域農路分佈等相關資料。

在進行相關治理規劃工作前，通常先透過集水區基本資料的收集，初步瞭解治理區域的特性及現況，再利用水文水理分析探討河道變遷過程、沖淤分佈及流速變化，以及防砂構造物設置後對河道之影響模擬分析，藉由上述之情境分析評估水土保持處理需求，其中考慮的項目包含：保全對象、處理地區及項目、數量，並進行水土保持效益評估等。依集水區整體治理調查規劃完成初步評估治理項目，再以此為細部規劃之依據進行構造物設計細部調查，本章節將依據調查技術的空間場域，約略劃分為空中大面積偵測之遙測影像技術、地表下調查技術及室內試驗三大類進行闡述，其各類細項技術將以執行單位常用之最新調查技術為主要的章節內容。

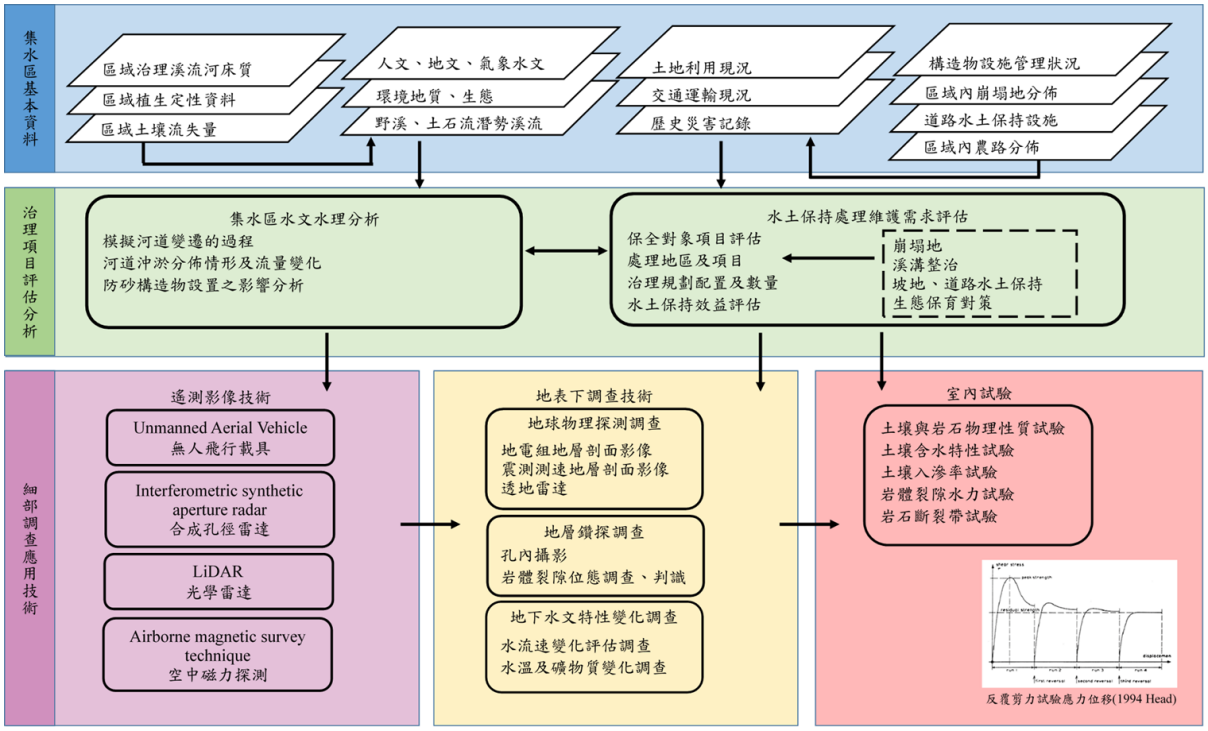


圖 3.4.1 集水區整體規劃調查示意圖

一、調查與資料收集項目

集水區整體調查規劃之目的，在減災防災與保土蓄水之前提下，確保集水區自然資源之永續發展及利用，並依集水區之基本特性、致災原因、水文水理及水土保持需要性等進行調查與分析檢討，擬定適當之治理對策及措施，作為後續經營管理之參考 (水土保持局，2008)。

依集水區性質區可分為河川和水庫集水區兩類，又或者以 5,000 公頃以下為原則，視自然狀況之需要作調整，而其規劃主要涵蓋區域則採用 1/10,000 或 1/5,000 航照圖或以 1/25,000 或 1/50,000 地形圖或正射影像圖進行規劃區範圍圈劃。對於調查與資料收集之項目應包含下列：

(一) 集水區概況說明

1.集水區地文、水文、人文

2. 特定水土保持區

3.交通現況

4. 土地利用變遷與現況

5.生態環境

6.地質環境

(二) 集水區現況調查

1.崩塌地調查

2.土石流潛勢溪流調查

3.野溪調查

4.河床質調查

5.構造物設施管理現況

6.保全對象

二、治理與評估項目分析

(一) 集水區水文水理分析

集水區水文水理分析的目的為利用數值模擬的方式瞭解河道變遷過程、沖淤分佈情形及流量變化，並考慮防砂構造物設置後對河道變化的影響。以下針對國內常用之分析模式進行簡要說明與各模式間之特性進行比較，如表 3.4.1、表 3.4.2、表 3.4.3 所示。

1.HEC-RAS

HEC-RAS（Hydrologic Engineering Center's River Analysis System）模式，為美國陸軍工兵團水文工程中心（Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers）發展之一維水理演算模式，此系統包括圖形使用介面（Graphical User Interface，GUI）、水理分析程式（定量流及變量流分析程式）、數據儲存與管理、圖表製作與資料彙整等功能。

此演算模式適用於河床坡度小於 10%之定量緩變流，可處理亞臨界流、超臨界流及混合流之水面剖線演算，亦具有模擬變量流的功能。模式可模擬橋樑、堰、排洪道等結構物對水流之影響，於空間幾何資料處理方面，HEC-RAS 模式可與地理資訊系統（Geographic Information Systems，GIS）及電腦輔助繪圖工具（Computer-Aided Design and Drafting，CADD）結合，

以簡化後置資料處理的繁雜度。

2.CCHE—1D、2D、3D

美國密西西比大學內之國家計算水科學及工程中心（National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE）先後發展一維、二維及三維模式，分別為 CCHE1D、CCHE2D、CCHE3D，其所發展之數值模式可探討集水區及河道網路模擬、河川治理及復育、潰壩及其風險分析、構造物附近流場、結構物基礎局部沖刷、岸壁沖刷以及泥砂或污染物傳輸等工程問題。

3.SRH—1D、2D

美國墾務局輸砂及河川水利研究群（Sedimentation and River Hydraulics Group, U.S. Bureau of Reclamation）主要為掌理美國西部河川水情、生態復育、輸砂管理及水資源等相關業務。水利署引進其所發展之 SRH 數值模式，其中，SRH-1D 模式利用流管概念進行模擬，並具備分析河道之橫斷面床底高程功能，能描述河川整體流況，但對於側向的動量交換無法確實模擬之，以及對於河道沖淤造成底床變動現象之模擬能力略顯不足。

而 SRH-2D 模式，則可模擬較複雜的天然環境，例如自由液面流、輸砂等機制，同時可應用於實驗室或天然河川之定量流、變量流、紊流流場等分析，並可模擬穩態及非穩態明渠流、亞臨界、超臨界、混合流等，能夠適切的反應水流之物理現象，但是對於局部複雜三維流場仍無法有效模擬。

4.NETSTARS

李鴻源等人（1996）開發，NETSTARS（Network of Stream Tube Model for Alluvial River Simulation）為求解網路型河川沖淤問題之分離演算（uncoupled）模式，其架構以 GSTARS 模式為主，模式可用於長、短期洪水演算及底床沖淤模擬，對於底床沖淤模擬分成水理演算與輸砂演算兩個步驟，而網路型河川模擬類似二維沖淤模式，凡主支流、側流、複雜河系、陡坡、緩坡、水躍、定量流及變量流之水理以及相對應底床沖淤特性均可模擬。

水理演算方面，可計算定量流、變量流及迴水演算；輸砂計算可選擇推移載（Bed Load）與懸浮載（Suspended Load）分開計算，並採取擬二維的流管概念，以等流量分配方式將河道劃分成指定的流管數目，在於各流管中分別進行輸砂演算，以表現出斷面的橫向沖淤變化。由於該模式為擬二維模式，因此，對河川蜿蜒橫斷面上因二次流作用造成之泥砂偏向分佈的情況不適用，亦無法模擬河川垂直向之二次流。

5.FLO—2D

FLO—2D 為 O'Brien et al.(1988) 所發展之二維洪水災害模式，係為美國聯邦急難管理署(Federal Emergency Management Agency) 所認可之二維模式。該模式以非牛頓流體及中央差分法（central finite difference），同步計算一維變量流及二維漫地流之流況，並且於堤防溢流時，計算堤內及堤外水流互動的流況，可適用於矩型、梯型或天然河道斷面，並可模擬水流流經水工結構物。

主要應用於都市淹水模擬、洪水平原管理、工程風險設計及土石流模擬等。由於模式無法模擬震波(shock wave)與水躍(hydraulic jumps)的現象，故會使突發現象之流深分佈平滑化，故無法模擬河床沖刷及淤積之現象。

6.FLOW-3D

此模式由 FlowScience Inc. 所開發之計算流體力學軟體，主要特色功能為網格處理、障礙物處理以及處理流體界面和自由液面技術。其利用有限差分法（Finite difference method）及交錯網格之配置，可針對特定區域，進行網格局部加密或增加網格數，透過多區塊結構性網格(multi-block grids)之計算，可抵消多餘的網格數提高計算效率。對於處理障礙物的方法，則以體積分率法（Fractional Area/Volume Obstacle Representation，FAVOR）控制體積（control volume）的觀念，使網格和幾何形狀獨立，能夠精確的描述外型。此外，模式中的流體體積法（Volume of Fluid, VOF）經由固定網格追蹤流體，能準確地處理界面，並應用於自由表面或雙層流體界面。

FLOW-3D 適用於水動力、泥沙及波浪等具水力特性的工程設計，目前除應用於水利與環境工程外，亦廣泛應用於航

太、鑄造、船舶、微機電工程等不同領域。

7.RESED—3D

RESED—3D 由交通大學楊錦釧教授團隊所發展之擬三維水理動床模式，基於水深平均二維模式，應用垂直水平分離演算的概念，加入垂向流速變異量，以動量方程式求解水深方向的流速分布。該模式可進行非穩流水理、懸浮載及底床載運移動床模擬，具結構物設置、側向出入流、岩床及岸壁穩定分析之功能，並整合河道沖淤與岸壁崩塌模式。對於垂向沖淤，可反應砂質、礫石及岩床等不同河床質組成；而對於側向沖刷，亦可反應因二次流造成泥砂運移角度的變化，導至岸壁崩塌進而分析河岸崩塌行為，因此，可探討二次流效應或側入流匯流段等複雜流場中之沖淤行為對於岸壁穩定性及河床變動之影響。

由於該模式屬於擬三維水理模式，係以靜水壓假設之，而忽略垂向動量方程式，所採用零方程紊流模式同樣假設渠寬遠大於水深、垂向流速分佈符合對數分佈，並限制計算格網不能重疊、交錯，因此，對於岸壁側向變化量而言，近岸壁底部之沖刷量會有低估的情況。

8.SOBEK

由荷蘭 WL|Delft Hydraulics 所發展，該模式整合了河川、都市排水系統與流域管理之套裝程式。SOBEK 依應用區域區分為三套演算模式，分別為 SOBEK Rural，SOBEK Urban 及 SOBEK River，其包含了降雨逕流、河道演算、水質模式、輸砂計算、鹽分入侵以及即時控制等九套模組，於應用層面可包含河川、都市下水道系統的水理計算及都市淹水區域的模擬，對於水利及水資源管理者在進行管理、決策與分析時提供了相當大的助益。

SOBEK 系統軟體中，SOBEK Rural 提供了一維河道演算(Channel Flow, CF module)與二維漫地流演算(Overland Flow, OF module)模組，結合 GIS 圖形介面讓使用者快速建置實際地形、斷面及結構物等。

實務上，在進行野溪工程規劃和治理時，受到水文、地文及土地取得等因素，需先進行水文及水理演算以為治理方案選用之

參考。以往水文演算常以合理化公式為主要之計算公式，但因無法將複雜的斷面特性納入考量，未必能因應實務上之需求。因此，相關研究團隊與學者依據自然環境條件與人造結構特性等因素，持續開發更完善且適用的演算模式。

上述各模式之演算功能包含：簡單河道或複雜河道、單一河道或網狀河道、自然渠道或人工渠道，以及定量流、變量流的演算，亦適用於構造物存在的影響分析等，其中，針對地形變化與構造物設置所可能產生的迴水效應、水躍與結構物週圍之水理變化在野溪工程中顯得格外重要。隨著計算機科技的演進，對於幾何空間的駕馭與模擬技術逐漸趨於成熟，使得演算模式朝著二維、三維的空間模式發展，舉凡變遷過程、河道沖淤分佈等情境模擬分析將更趨近於擬真狀態。

表 3.4.1 一維水理演算模式彙整表(水利署)

水理演算模式		HEC-RAS	CCHE-1D	SRH-1D	NETSTARS	SOBEK
演算方法		標準步推法 (standard step)	隱式有限差分法 (implicit finite difference)	有限差分法 (finite difference)	隱式有限差分法 (implicit finite difference)	有限體積法 (finite volumemethod)
水理	亞臨界流	○	○	○	○	○
	超臨界流	○	○	○	○	○
	定量流	○	○	○	○	○
	變量流	○	○	○	○	○
	迴水演算	○	○	○	○	○
	主支合流	○	○	○	○	○
輸砂	懸浮載/推移載	○	○	○	○	○
	床質級配	○	○	○	○	○
	護甲作用	○	○	○	○	○
	非均勻沉滓	○	○	○	○	×
	凝聚性沉滓	○	○	○	○	×
	岸壁沖刷	×	○	○	×	×

表 3.4.2 二維水理演算模式彙整表(水利署)

水理演算模式		CCHE-2D	SRH-2D	FLO-2D
演算方法		有效元素法 (efficient element method)	有限體積法 (finite volume method)	中央有限差分法 (central finitedifference scheme)
水理	超、亞、混合流	○	○	○
	定量流、變量流	○	○	○
	乾濕點處理	○	○	○
	紊流模式	1.parabolic eddy viscosity model 2.mixing length model 3.k-ε model	1.parabolic eddy viscosity model 2.k-ε model	k-ε model
輸砂	懸浮載、推移載分離	○	○	○
	床質級配	○	○	○
	護甲作用	○	○	○
	非均勻沉滓	○	○	○
	非平衡輸砂	○	○	○
	凝聚性沉滓	○	○	×
	軟岩沖刷	○	○	×
	軟岩沖刷機制	1. 泥砂磨蝕 2. 流功門檻	1. 泥砂磨蝕 3. 剪力門檻 2. 流功門檻	無
	岸壁沖刷	○	○	×
幾何	主支合流	○	○	○
	格網挖空與河中島	○	○	×
	變形格網	○	○	×

表 3.4.3 三維水理演算模式彙整表(水利署)

水理演算模式		CCHE-3D	FLOW-3D	RESED-3D
演算方法		有效元素法 (efficient element method)	有限差分法 (finite difference method)	有限差分法 (finite difference method)
水理	水理流場	完全三維	完全三維	擬三維
	明渠自由液面處理	○	○	○
	多相流	×	○	×
	穩態流與非穩態流	○	○	○
	紊流模式	○	○	○
輸砂	懸浮載傳輸	○	○	○
	非平衡輸砂	○	×	○
	推移載傳輸	○	○	○
	非均勻泥砂	○	○	○
	底床沖淤	○	○	○
	軟岩沖刷機制	○	×	-
	軟岩河岸拓寬機制	○	×	-
GUI 介面		○	○	-

(二) 水土保持處理需求評估

集水區處理及維護需求評估，應依據保全對象、地形起伏比、地質條件、植生覆蓋率、土壤沖蝕、崩塌率及土石流潛勢溪流等因子進行評估，並依評估結果將集水區處理順序分為立即治理、優先治理及自然復育等三個級別。依據上述評估項目進行簡要說明如下(水土保持局，2008)：

1.保全對象

評估時應考慮集水區內人口、房屋數、聚落區位的危險程度、農地可能危害程度、具保存價值之文化古蹟以及既有之公共建設等因素給予評定。

2.地形起伏

可利用 1/50,000 地形圖或 1/25,000 地形圖套疊於 GIS 地理資訊系統上，以「集水區內最高點至最低點的高程差」與「集水區主流長度」之比率為準則，採起伏比越大危險度越高為原則，進行評估。

3.地質條件

可藉由參考經濟部中央地質調查所地質資料查詢系統，對集水區域周邊地質性質與地質構造進行初步的判識與瞭解。

4.植生覆蓋率

以集水區內之灌木或綠色植被所覆蓋的面積與集水區總面積百分比值訂為覆蓋率，當比值愈低則裸露率高、地表逕流係數高，故土壤沖刷量亦高。

5.土壤沖蝕

依據各區域降雨沖蝕指數(Rm)及土壤沖蝕指數(Km)等資料作為評估之參考，並考慮坡度與坡長因素的影響，此評估項目可參考 103 年水土保持技術規範第三十五條。

6.崩塌率及土石流潛勢溪流

集水區坡地崩塌與土石流災害對居民的生命財產安全造成極大之威脅，並帶來嚴重的災害。故應依據崩塌地總面積與集水區面積之比值定義為崩塌率，而土石流潛勢溪流應

標示其區位及潛勢等級以為後續評估之參考。

三、調查階段應用技術

現行大地測量調查應用了許多工具及方法，避免了瞎子摸象的困境；調查的原則在於「由大到小」、「由廣而微」。首先，由衛星所獲得不同波段的影像及地形特徵，分析地質構造及侵蝕作用烙印在大地表面的痕跡。接著以配備精密儀器的飛行載具，以更貼近地球的高度，有效率的探測廣大範圍內地下岩體及構造的分布，作為後續規劃詳細地面調查及鑽探等工作的依據，以下將針對調查階段採用之相關技術進行簡要說明。

(一) 遙測影像技術

目前國內遙測技術的應用範圍，為利用衛星、航空器材及無人載具等航、遙測影像，進行災前及災後判釋，以提供預警監測及治理規劃之參考，說明如下。

1.無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)

所謂無人飛行載具即是沒有飛行員在載具上操控，而是藉由其他方法，如遙控或自動控制飛行等方式執行特定飛行任務。早期無人飛行載具主要以軍事需求為主，如靶機，爾後並演進為更高端之無人偵察機或攻擊機。相對而言，早期在民間無人飛行載具大多為小型娛樂用遙控飛機為主。然經工程事務所或顧問公司於相關專業領域之需求與飛行成本的考量等因素，目前無人飛行載具以小型可攜帶式之飛行器為主，廣泛的應用於工程、生態之空中偵察。

多軸飛行器之操作單元包含機架系統、飛控系統、遙控設備、空拍攝影機、雲台系統、圖傳系統與 OSD 系統，其中前 3 項為最基礎操作單元，為執行一般飛行任務之最低需求，若考慮空拍則需納入遙控設備及空拍攝影機單元，針對特定區域進行空拍與安全考量應納入圖傳系統與 OSD（On-Screen Display）系統，以下 針對即時性、全面性、危險性與動態性等特殊需求之應用案例進行分享。

(1)高速公路邊坡巡查

國道高速公路局自民國 99 年 4 月國道 3 號 3.1 k 邊坡坍滑事件後，對於高速公路沿線邊坡之巡查工作特別

重視，其中針對邊坡巡查範圍從路權界線向上延伸至邊坡潛在滑動面之最遠可能出現張力裂縫位置，再往邊坡後方水平延伸 10 公尺，訂為「評估最遠應巡查點」，由於國道 3 號北部地區均位屬山區，故巡查範圍通常會遭遇陡峭地形或私有地無法進入等問題，或者遇到較大範圍之邊坡，需在極短時間內需進行初步安全性評估時，如以下特別巡查案例。

五楊高架北上林口路段在未正式移交高公局管理養護期間發生內車道路面線狀隆起事件如圖 3.4.2，為快速掌握現場狀況之需求即出動飛行器於事發地點路外空曠地之安全空域範圍內，進行事故區域之近、遠景空拍攝影，於現場立即檢視空拍畫面，初步評估整體邊坡（包含坡頂與坡趾）有無滑動徵兆與大型裂縫等狀況，再搭配地面人員針對事故現場進行細部地貌巡查，經綜合結果顯示無整體邊坡滑動問題。事件後續經專業單位調查分析後，釐清應是地下水所導致局部道路區域裂縫，與邊坡整體滑動無關。

當邊坡災害事件發生後，無法立即確定事故範圍時，若能透過現場即時、快速之空拍作業擷取事故現場之大範圍上下邊坡影像，讓工程人員之視野從以往 2D 平面角度轉成 3D 立體空間檢視整個事故現場，對事故現場之瞭解與掌握將有跳躍式的進步。



a.內側車道線狀隆起狀況示意圖　　b.事故現場空拍輔助偵查示意圖

圖 3.4.2 國道公路應用 UAV 執行特別巡查示意圖(高公局)

(2)邊坡崩塌安全評估

交通部公路總局第四區養護工程處洛韶工務段轄屬台 8 線 181K+400，發生坍落範圍長約 700m、寬度約 500m，高差約 800m，估計坍方至道路周邊之土石量體約 670,000m3，導致台 8 線約 300m 道路受到掩埋影響，另部分土石堆積於下邊坡河谷，經河水沖蝕後逐漸恢復原有之行水河道，如圖 3.4.3。工務段為確認該路段是否安全，乃委託大地工程技師公會協助鑑定，由於勘查時發現落石不斷且上邊坡亦無法到達，故以飛行器進入崩塌週邊及上邊坡拍攝災後地形、地貌如圖 3.4.4 所示。



圖 3.4.3 台 8 線 181.4 K 邊坡大規模崩坍示意圖(公路總局)

由空拍影像顯示，研判該區上游兩岸佈滿大量崩積土石，且瀑布下方未崩坍之錐狀鬆方土石堆，雖見瀑布傾洩而下大量水體與下方小型水池，但未見大規模淹塞湖，如圖 3.4.4b 所示，雖無立即危險性若未來遭遇大雨或地震等外力因素可能再度發生土體崩坍而影響下方道路通車之安全。另外，上邊坡仍有許多張力裂縫存在，且持續發展擴大中，此項地質特性對邊坡穩定危害甚高。透過此次空拍任務讓第一線工作人員瞭解工作場所之安全性及無法到達崩坍區地貌之現況，並規劃妥善緊急處理方案與後續整治工程之參考。



a.台 8 線 181.4 K 邊坡不穩定區域空拍偵查示意圖



b.瀑布下方水池阻塞狀況空拍偵查示意圖

圖 3.4.4 台 8 線 181.4 K 邊坡大規模崩 UAV 空中偵查示意圖

(公路總局)

(3)臺北市立動物園邊坡巡查

臺北市立動物園為善盡水保義務人之職責，針對園區範圍水保設施與邊坡進行定期巡查工作。由於動物園山區自然邊坡範圍約 80 公頃，且部分區域屬原始未開發區域，地形相當陡峭無法進行徒步巡查，乃利用空中動態攝影，經由影片判釋，針對有安全疑慮之特定地點，列入地面巡勘人員需確認點位。因此，除既有步道路線巡勘外，加上空中攝影輔助，可使巡勘效率大幅提升。如圖 3.4.5，巡查範圍大部分邊坡植生均良好未受破壞，既有之崩坍地源頭亦無異狀，唯源頭陡峭區域尚有部分裸露面應將列為後續地面巡查追蹤點；另外，於執行空中拍攝亦可同時記錄周圍工程構造物施工的影響，如圖 3.4.6 所示，紀錄並確認貓空纜車塔柱補強施工的影響範圍及相關地貌改變之歷程，有助於提升邊坡管理的效益。

(4)地滑警戒位移軌跡圖

Lucieer et al, 2013，針對澳大利亞塔斯馬尼亞洲南部 (Tasmania , Australia.)一處地滑事件進行調查研究，該滑動為長度為 125m，寬度為 60m，且滑動型態屬頂部邊坡為圓弧形滑動，下邊坡至坡趾處則呈現流動狀。如圖 3.4.7，學者利用空拍機前後期的影像紀錄進行位移軌跡追蹤之研究，其中圖示地滑區外圍佈置 24 個地面控制點(Ground Control Point, GCP)，滑動區內設置 39 個定位系統 (Global Positioning System, GPS)，利用運動結構理論(Structure form Motion, SfM)及多時序圖像之關聯性，分別推演該地滑事件扔持續發展。如圖 3.4.8a 係標示地表面滑動距離及方向，並將該區域劃分為 4 個運動區塊。其中 D 區為坡頂陷落 5.5m 後往下滑動至 C 區，而此區域滑動至坡趾處相較其他區塊為活躍，其位移量為 3-4m；B 區為另一側坡趾，由圖面所示此區的滑動前緣大於 C 區，但是就區塊內整體滑動量相對較小，其滑動值介於 0.9m 至 1.6m；至於 A 區的移動量則相對微小。圖 3.4.8b 顯示為地滑事件之高程

差，如圖示坡頂陷落呈現藍色，紅色及黃色則代表隆起現象，除坡頂圓弧滑動區外，多數隆起區分佈於坡趾處。

最終利用 COSI-Corr 演算法整合平面位移量及位移向量，如圖 3.4.8c 所示，著色底圖為各位移點 xyz 方向之位移平均值，圖示箭頭為位移向量分別代表運動方向及位移大小。



a.崩坍地源頭空拍遠景示意圖　　b.崩塌地源頭空拍近景示意圖

圖 3.4.5 UAV 執行週期性邊坡巡查示意圖



圖 3.4.6　UAV 巡查邊坡周圍構造物施工影響範圍

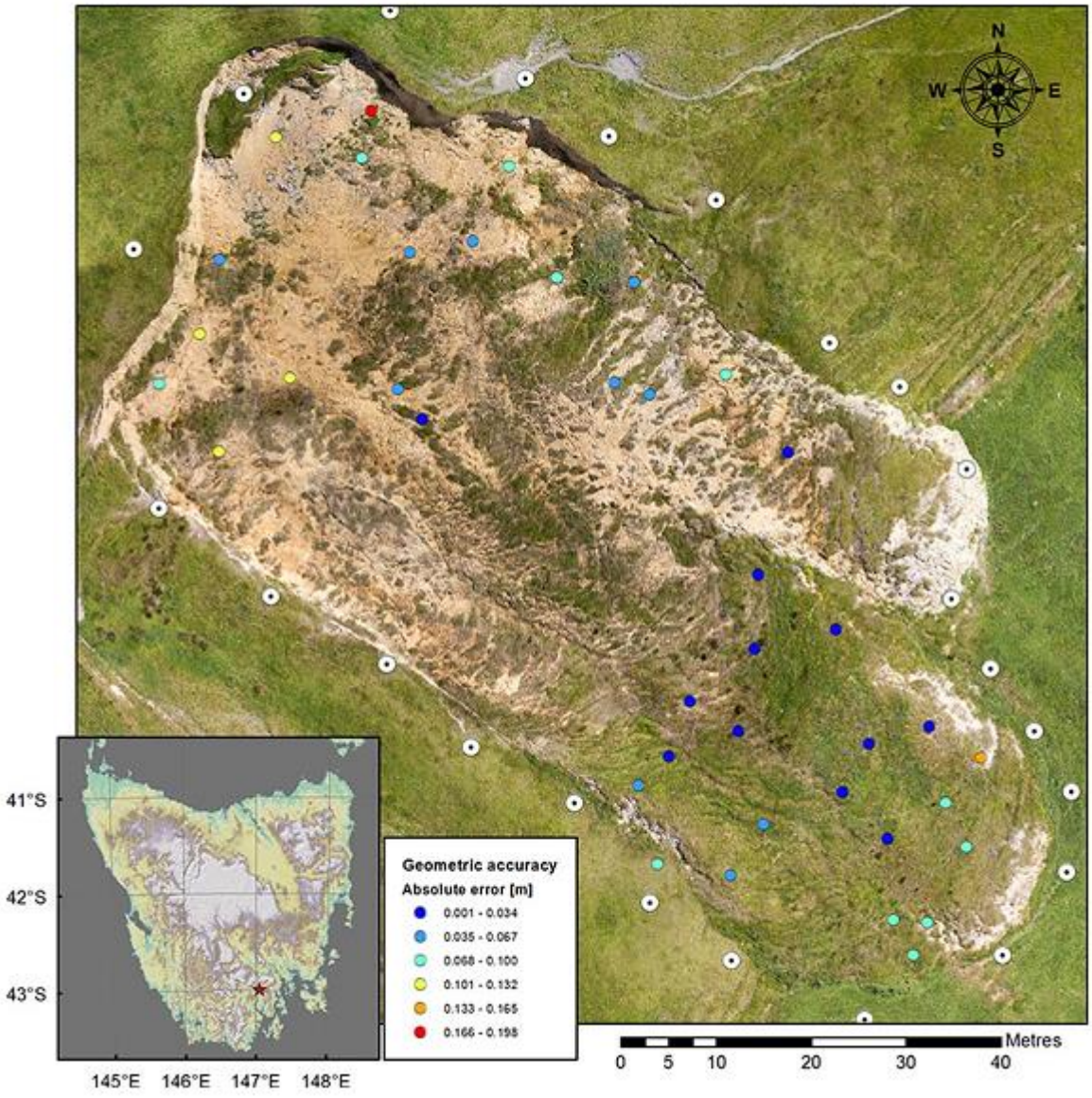
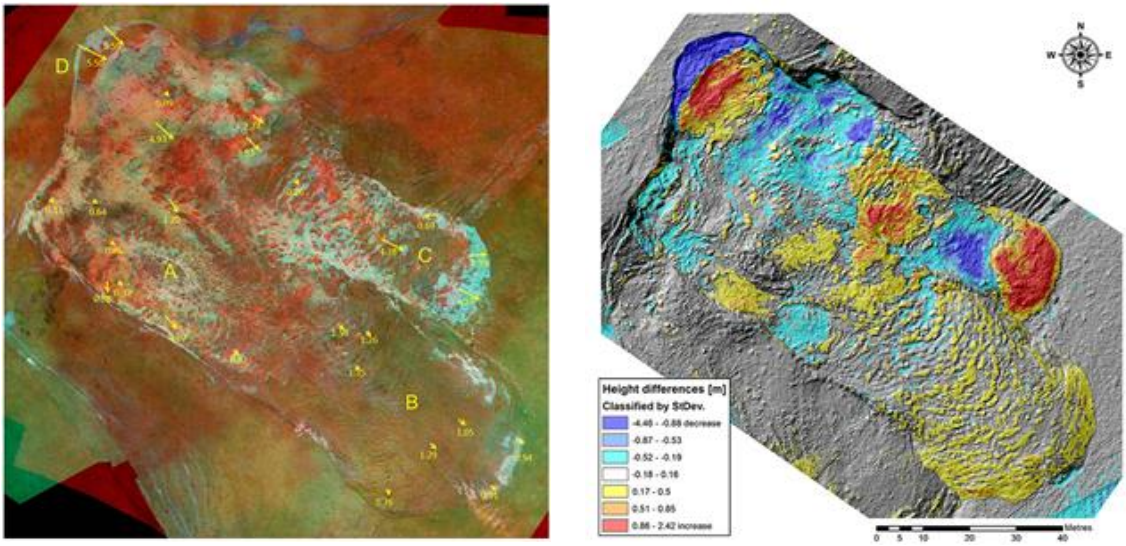
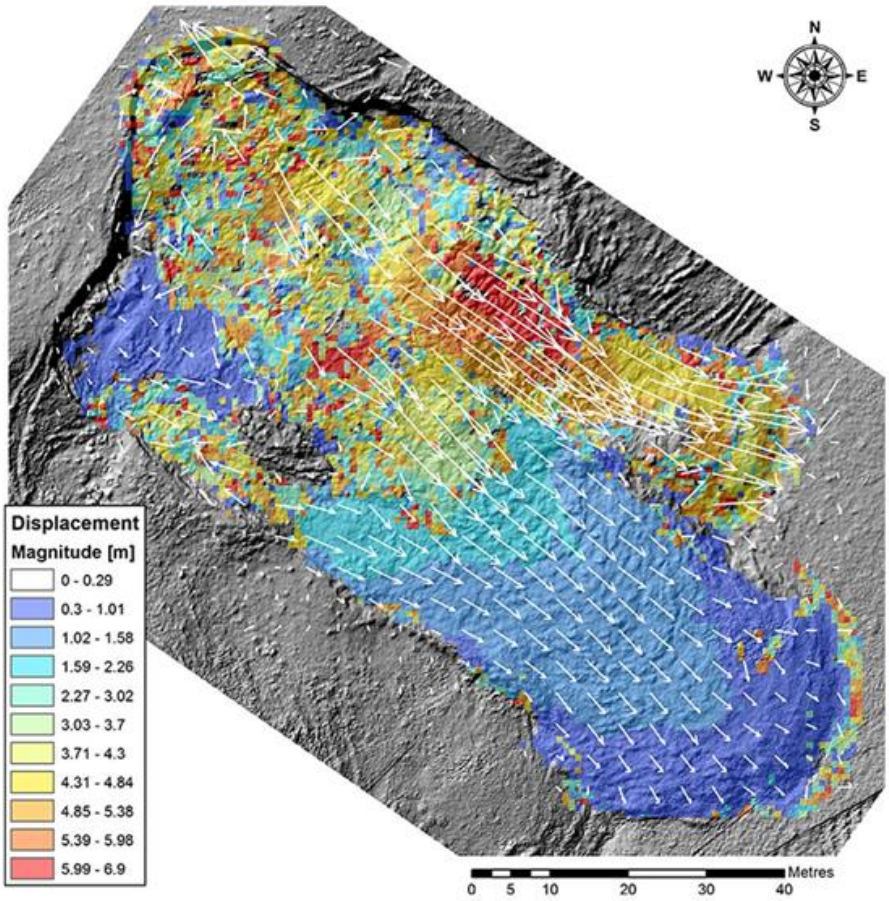


圖 3.4.7 地滑研究區監測空拍俯視圖(Lucieer et al, 2013)



a.xy 平面位移向量圖　　b.高程差異變化圖



c.地滑位移向量變化圖

圖 3.4.8 地滑位移軌跡圖(Lucieer et al, 2013)

2.干涉合成孔徑雷達(Interferometric synthetic aperture radar)

合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar, SAR)經過數年的發展，已經成了一種通用的偵察、監視和目標瞄準之有效工具，其基本原理為衛星運行時藉由快速地重複發射雷達波，把連續且重疊的回波資料加以解算，而達到提升影像解析力的效果。由於 SAR 成像存在只能產生二維雷達影像，故衛載 SAR 之發展重點轉變為干涉合成孔徑雷達測量(InSAR) 及極化雷達干涉測量(POLInSAR)技術；其中 InSAR 解決了 SAR 對地物的第三維訊息（高程訊息或速度訊息）之提取，而 POLInSAR 則透過極化和干涉訊息的有效組合，可同時提取觀測物的空間三維之特徵訊息及散射。

InSAR 技術如應用於地形測量，可建立高精度之 DTM，廣泛應用於地震災害監測、地表變形及位移的監測、火山監測與災害評估、地層下陷監測及林業、海洋等領域。不論應用於何種領域，不外乎 DTM 產製與地表變形評估，以下分述之。

(1)DTM 產製

InSAR 技術利用 SAR 複數影像中含有相位的訊息，透過干涉處理來獲取三維資訊，因此其主要的應用領域為製作地形圖、生成 DTM。InSAR 技術所測得地形地貌精度由於成像幾何及干涉影像的因素而有較大的波動，依研究結果，InSAR 技術用來獲取 DTM 是有效的，特別是在環境惡劣人員不易到達的地區，InSAR 技術是一種有效的監測方式。

(2)地表變形

利用 InSAR 技術獲取 DTM 就能發現地表的變化，如土石流的沉積，三角洲的演變等，差分干涉技術(Differential SAR Interferometry ,DInSAR)去除地表的效應後，可以雷達波長量級來測量微弱的地表物理運動，同時，可更深入應用於大地動力學層面，如火山、氣候地貌、沙漠地形和土壤遷移、海岸演變和侵蝕、災害風險估計和自然災害監測等。這些地表物理運動可能是斷

層的隆起和彎曲，地動引起的殘餘位移、地層的沉降等，對於觀測地震、火山爆發、山體滑坡等，可於災害發生前進行預報，降低災害的衝擊。

3.光學雷達(LiDAR)

LiDAR 為利用雷射光束測距原理進行掃瞄式測距系統。主要可以包含以空載及地面兩種系統，空載光達係以航空器為載具，結合雷射系統、GPS 與慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)，將三部分技術整合，獲取資料經解算後，即可獲得地形地物之(X, Y, Z)三維坐標，也使得地形高程測量作業快速而準確。以此技術所製成的數值地形，於解析度、精確度及數據獲取效率等，均有很高效果；且在特定情形下，亦可以濾除地表建物與樹木等對地形面的遮蔽或干擾，故空載光達技術成為地形研究應用的重要工具。自從 1995 年開始商業化，此系統之精度可達 15 cm 以內。同時，在森林覆蓋地區具有相當穿透率，可有效測得地表高程及地面高。國內自 2002 年引進後，獲取陽明山、新竹、大坑、九份二山與草嶺潭等測區之數據，供各界進行應用探討後，證實光達技術在獲取大面積精確數值地形上的效率，其應用面及潛在應用甚多，如下說明：

(1)表面數值模型(Digital Surface Model，DSM)

以此原始測繪數值資料，移除建物、人造物、覆蓋植物等第一回波點雲測點即可得 DEM，並同時可得到地面覆蓋物的高度。應用層面包括建物的萃取、建立三維城市模型、森林樹高、材積估計、生物量估算及電力線與下方植生間距測繪等。

(2)地表地形

數值地形不只可用於描述與展示三維的地形，亦易於推衍各種地表地形參數，如坡度、坡向、曲率、剖面、集水區、水系等，可用於地質災害分析、水文分析與模擬、土壤侵蝕研究以及其他生態環境之模擬與分析等，近年來應用於活動斷層與構造地形等地質災害研究方面，已具相當之進展。

4.空中地球物理探測(Airborne geophysical technique)

利用飛機快速移動且不受地形與植被限制的特性，探測岩石的磁力或密度等物理特性，透過資料解析後能掌握大範圍地下地質構造資訊，做為規劃場址調查的重要依據，是地質資源探勘重要的前導性工作，透過它獲得代表性之地下構造影像，讓地質工程師在進行細部探測之前，先以巨觀的角度觀察待探測目標與周圍岩體以及構造之間的關係，對於場址篩選為重要參考依據，亦被先進國家列為重要的基本國土資訊。執行空中地球物理探測必需具備：飛行載具、感測器載台、感測器及記錄系統，三者間往往相互影響，如圖 3.4.9，也需視探測目標及探測區域的地形狀況，選擇合適的飛行載具與感測器組合進行施測。常用於空中地球物理探測的飛行載具主要有：固定翼飛機與直昇機兩類。固定翼飛機的飛行速度較快且穩定，但爬升效率較差，適合在平原或海域地區探測時使用，直昇機的飛行速度雖然比較慢，但具有爬升率高且可於空中盤旋的優點，適合在山區探測時使用。

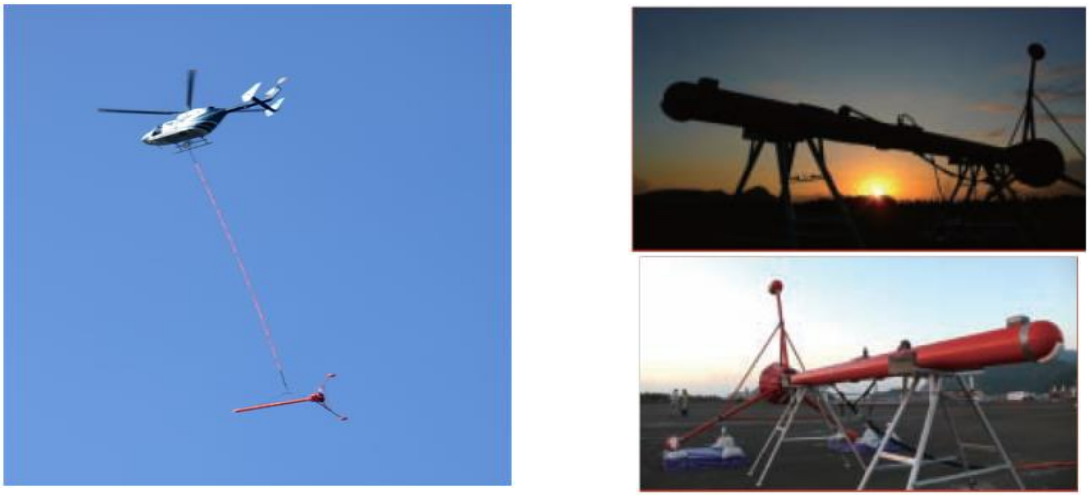


圖 3.4.9 空中磁力探測載具及感測器示意圖(工研院)

隨著儀器精度與解析技術的進步，空中地球物理探測已發展成「高解析度空中地球物理探測」(High resolution airborne geophysical survey)，以更低的飛行高度及更密集的航測線，提供更高解析度的成果。其應用領域與飛行載具亦有了改進，例如研究機構嘗試將磁力感測器安裝在無人飛機上，利用無人飛機大幅提高探測的效率。同時，隨著國內對

區域地質構造、火山活動及深層地熱能源開發等需求，台灣電力公司於 2007 年與澳洲 Fugro Airborne Surveys 技術合作，完成國內部份區域之空中磁力探測(Airborne magnetic survey technique），測線間距 350 公尺，相當於 3 萬 5 千分之 1 測勘，而地調所則進一步規劃建立國內自主的空中磁力探測技術，引進儀器設備並培養專業人力，逐年完成基本磁力資料。

(二) 地下地質調查技術

工址調查的目的為調查預定工址或路線的工程地質條件、分析其潛在的工程地質問題，並提出工程上應避免或應處理的地質問題，其依不同階段循序漸進，調查範圍逐漸縮小，調查深度越來越深，以後期的工址調查而言，重點應偏重於確定工程構造的承載層，已及其承載力與沉陷量，並評估場址是否存在不利的地質條件，故為了更詳細的調查與評估，必須利用鑽探及地球物裡探測等，同時以相關試驗求取力學設計參數，以下即進行相關應用技術與試驗目的說明。

1.地球物理探測(Geophysical exploration)

地球物理探測技術是一種非破壞性的檢測技術，可快速且大量的在檢測物體表面上或孔內進行施作，主要於施測後獲得檢測物體之不同物理量，而後由不同問題所反應之物理量變化間接推估工程問題。目前地球物理探測技術可測得之物理量大致有電阻率、介電度、電容、磁化率、重力、彈性波速以及地層反射性等，由此不同之物理量及不同之分析理論，已成熟可應用之地球物理探測技術有地電阻影像探測法(Electrical Resistivity Method)、自然電位法(Self-potential method)、感應極化法(Induced Polarization Method)、透地雷達探測法 (Ground Penetrating Method)、電磁探測法(Electromagnetic Method)、 重力探測法(Gravity Method)、彈性波層析成像法(Elastic Waves Tomography Method)、表面波震測法(Seismic Surface-wave Method)以及反射震測法(Seismic Reflection Method)等九種，這些方法主要有於表面上進行施測的非破壞性方法，亦可應用於孔內施測，本節將

就此 九種方法以表面施測方法為主進行介紹與說明。

(1)地電阻影像探測法(Electrical Resistivity Method)

地電阻探測法是在地表上利用兩根電極棒將直流電灌入地下，而後在地表上量測另兩根電極棒間的電壓差，此法是量測大範圍的電阻值，此電阻與土層的組成、飽和度以及土層孔隙中流體的導電度有關，透過量測值反算可獲得電阻之深度 2D 或 3D 剖面，圖 3.4.10，藉著所得之剖面可應用於地層、壩體含水特性之變化調查。此法於高電阻環境中亦能有效量測，故可探測較大孔洞，但於高導電性環境下效果不佳(尤其是表面高導電)。此外，量測需確保電極與地表有良好耦合以免獲得錯誤數據，亦要注意反算所得之結果於深層有較差解析度。

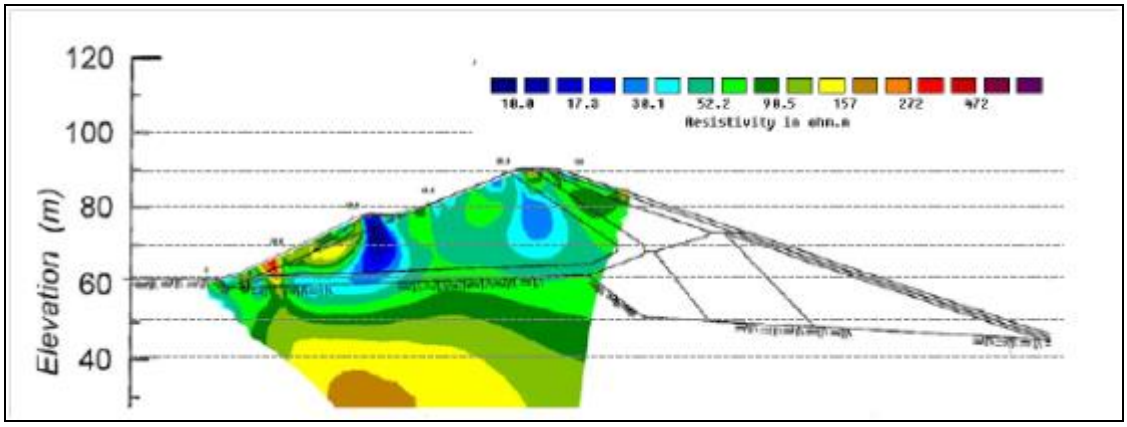


圖 3.4.10 電阻率影像剖面圖 (新山水庫案例)

(2)自然電位法(Self-potential method)

自然電位法是量測存在於地表的自然電位，通常在量測上是以兩個電極與地面接觸，以其中一個電極做為參考點，然後移動另一個電極，量測此兩點間的電壓差。此電壓差的產生與地層所含有之化學成份、金屬礦物或是電耦(dipole)之運動有關。在水庫壩體之應用上，主要是欲獲得因水流動（電耦運動）而產生的電壓差，對於所測得之結果最終以電壓差之平面空間分佈表示，圖 3.4.11，由此一平面差異圖可應用於水庫或破碎岩層之滲流路徑偵測。以此種檢測方式可迅速便利完成

施測，並且有利於調察地下水滲流狀況，惟其空間解析及辨識能力較差，不適用探測空氣孔洞。

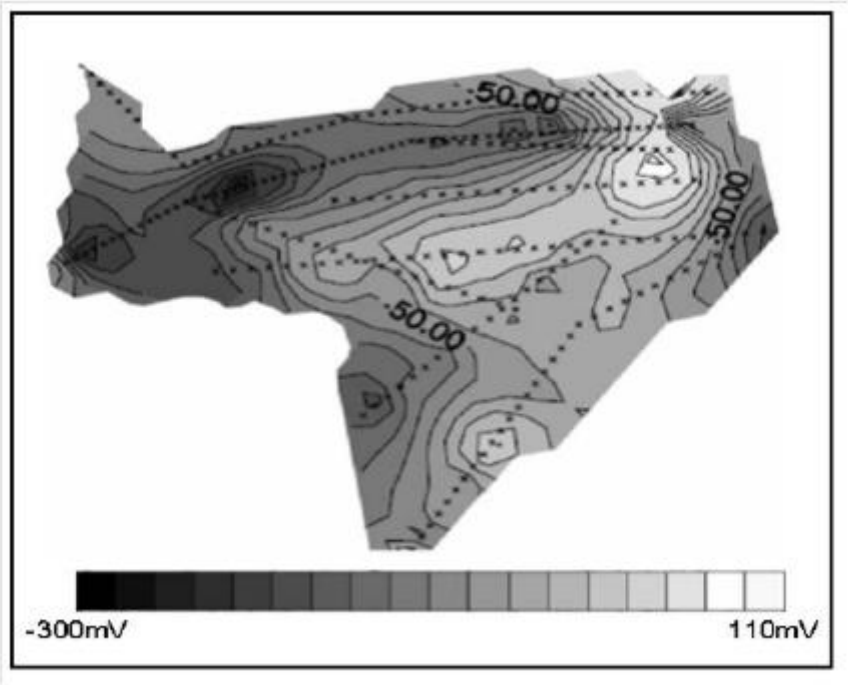


圖 3.4.11 自然電位影像平面圖(Johansson et al., 2005)

(3)感應極化法(Induced Polarization Method)

感應極化資料是使用四個電極棒中的兩個，將電流導入地面後快速關閉，在電流關閉之時，另外兩支電極量測電流引致的電壓(resulting voltage)，若感應極化效應存在，則電流關閉時跨越電極間的電壓不會突然降為零值，而是在時間週期(time period)內逐漸減低至零值，此時間週期與地層材料之電容性有關，用來量測此效應的單位稱為可充電性(chargeability)，將所量測得之資料進行反算分析可獲得地層的可充電性性質影像剖面，圖 3.4.12，此方法普遍地用於礦業中探查含金屬的硫化物礦產與其他含金屬礦物的定位，另外，亦可用於污染物調查與黏土層調查，只是反算分析需同時配合地電阻探測法之資料進行，無法單獨進行反算判釋。

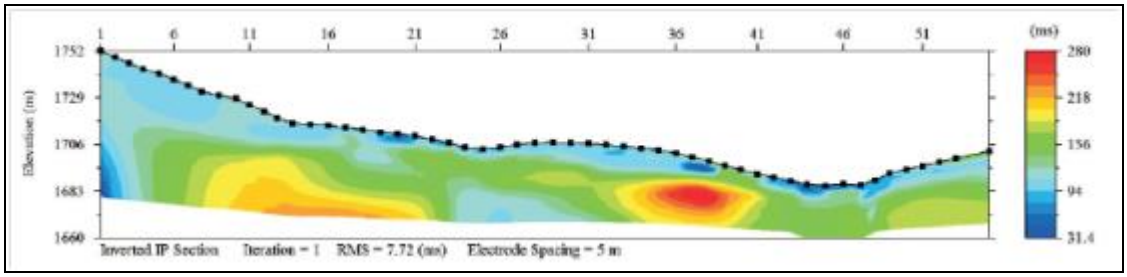


圖 3.4.12 感應極化法影像剖面圖(Advanced Geosciences Inc., 2010)

(4)透地雷達探測法(Ground Penetrating Method)

透地雷達主要可提供測線地表下高解析度之二維反射面影像，其檢測原理是利用發射天線發出高頻電磁波以穿透地層或被探測 j 物體，電磁波在兩個不同電性介質的界面，如地層層面、空洞與岩層等產生反射訊號，再接收反射訊號進行分析處理。將多個 2D 影像依空間位置整合後可得 3D 之立體影像，圖 3.4.13，此可應用於地層、壩體內部異常區域偵測。此技術施測迅速便利且解析度及辨識能力高，適用於複雜構造、混凝土結構、鋪面以及地下孔洞探測。惟其探測深度受導電環境影響甚鉅，一般探測深度小於 10 公尺。

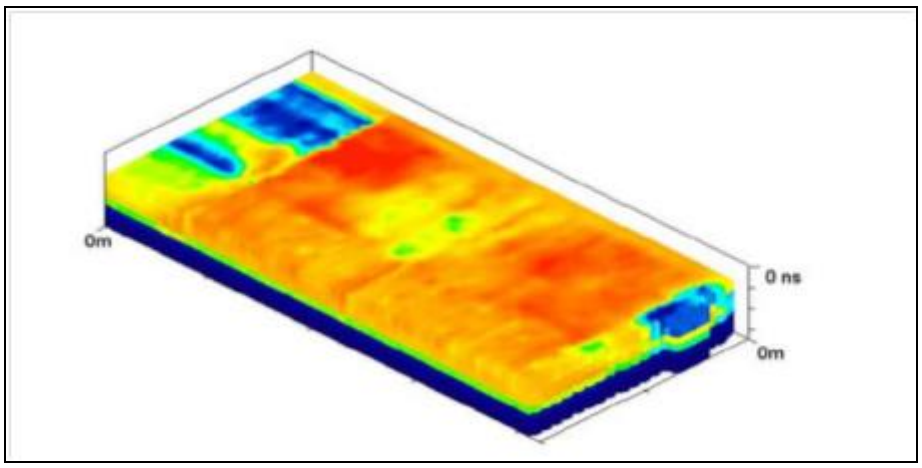


圖 3.4.13 透地雷達 3D 影像(大觀電廠溢洪道案例)

(5)電磁探測法(Electromagnetic Method)

電磁探測法是在地表利用線圈使其通過週期性電流，當電流逐漸降至零值的過程中，根據(Faraday's Law)會使在線圈中所產生的磁通量有所變化而產生電磁波的傳遞，地層材料會受到此電磁波所產生的磁通量變

化，而引發另一個電磁向上、向下傳遞便可量測得其感應電位，而此感應電位與地層材料之電阻率或導電率相關，透過電位值可獲得地表下電阻率之分布，對於結果可直接以所測得之電壓平面分佈進行判釋，圖 3.4.14，或可將所得之電壓值進行剖面反算。

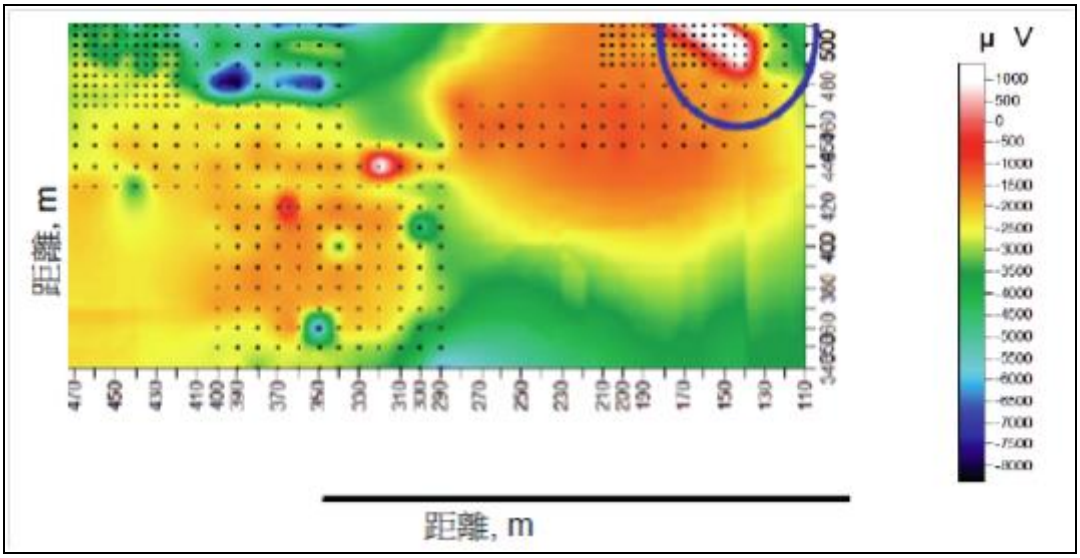


圖 3.4.14 電磁探測法平面影像圖

(6)重力探測法(Gravity Method)

重力探測法是量測在不同空間中的微小重力差異，如岩盤與覆土具不同的密度，當重力牽引在岩盤的地形特徵下有所改變，構造凹陷或凸起所對應的不規則重力場取決於起伏程度的大小、寬度與深度以及覆土與岩盤之間的相對密度，通常對於獲得之結果可直接以其空間分佈進行判釋，若有數條測線資料，可呈現重力場圖，如圖 3.4.15，由此結果可推估地表下地層構造之可能平面位置，但若欲獲得其深度及其深度分佈情況則需進行反算分析。

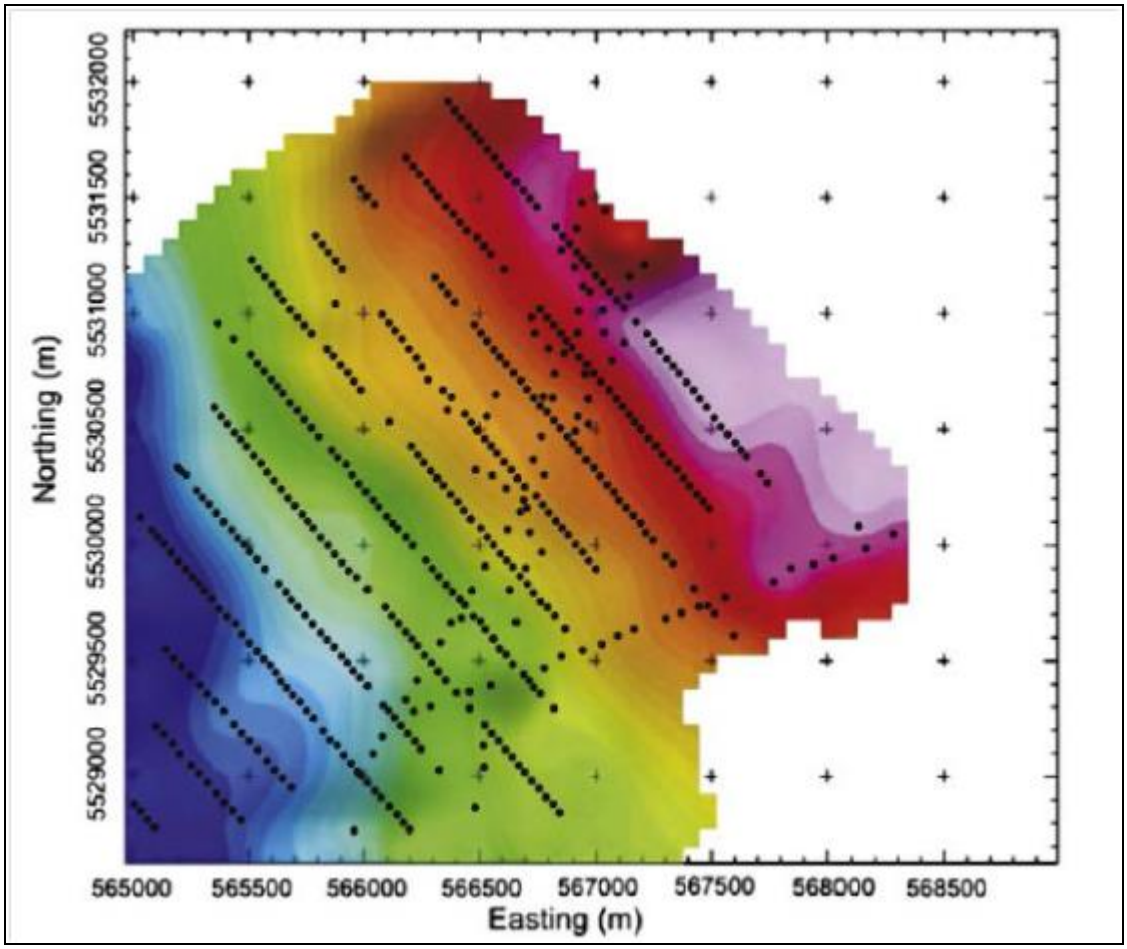


圖 3.4.15 重力探測法平面影像圖(Spicer et al., 2011)

(7)彈性波層析成像法(Elastic Waves Tomography Method)

彈性波層析成像法，藉由紀錄人造震源所產生之震波的傳遞時間（travel time）。傳遞時間的不同與地層壓縮波波速、地形以及地層結構有關，透過反算可獲得地層之壓縮波速分佈，如圖 3.4.16，此法對於飽和土壤及土壤與岩石界面探測甚佳，可估計材料波速，然而在其技術條件的限制下，無法探測軟弱夾層及厚層中夾帶薄層材料，此外，對於含有孔洞之場址，可能會造成波速呈現異常，但無法直接測繪。

(8)表面波震測法(Seismic Surface-wave Method)

於製造地表人造振動，表面波傳遞時影響範圍約侷限於一個波長深度內，因此，各個不同波長的表面波其所反映之地層深度特性將有所不同，亦即表面波影響深

度隨頻率之不同而有所差異。

藉由量測表面波於不同頻率之相位速度，進行推演反算獲得不同深度的剪力波速剖面，如圖 3.4.17，由剪力波速剖面便可應用至地層或壩體的動態性質推估。此法適用於側向變化不明顯的地層剪力波速量測，但其深層解析度較差，又土壤剪力波速不受地下水存在的影響，故無法探測地下水位。此法雖無法準確直接測繪，但是可探測地層中孔洞的存在。

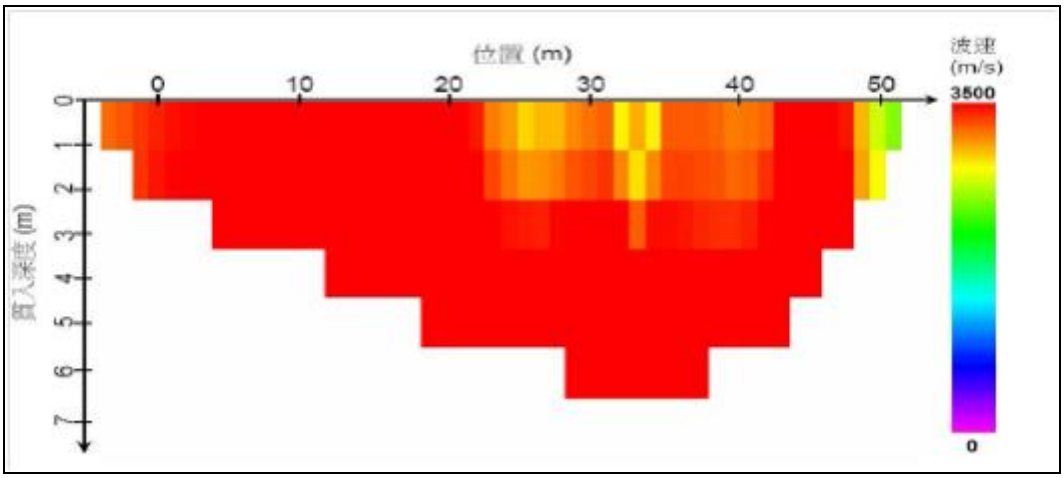


圖 3.4.16 壓縮波波速影像剖面圖(石門水庫廊道案例)

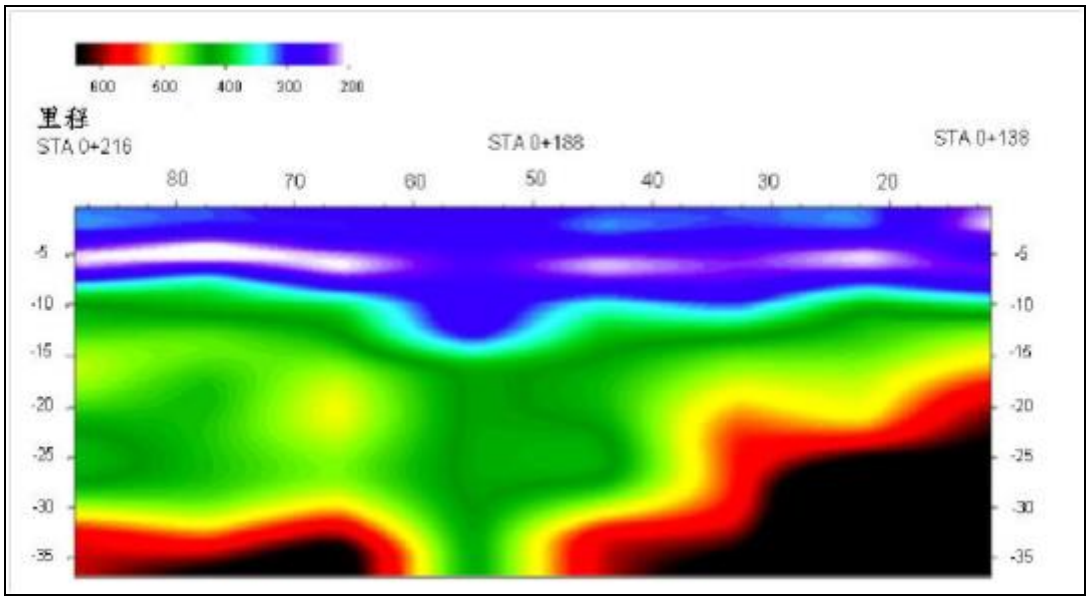


圖 3.4.17 剪力波波速影像剖面(新山水庫壩基案例)

(9)反射震測法(Seismic Reflection Method)

當地表發生振動時，震波以彈性波的訊號傳遞因地層材料的不同會於界面產生反射波以及折射波，而地表所接收到之波動常是綜合反射波、折射波以及表面波，因此，使用反射震測法分析時需先對原始訊號進行濾波的動作，以便保留反射波訊號而有利於後續的辨識，其濾波後的結果，如圖 3.4.18 所示，透過界面判識，可獲得地下構造之空間分布情形。

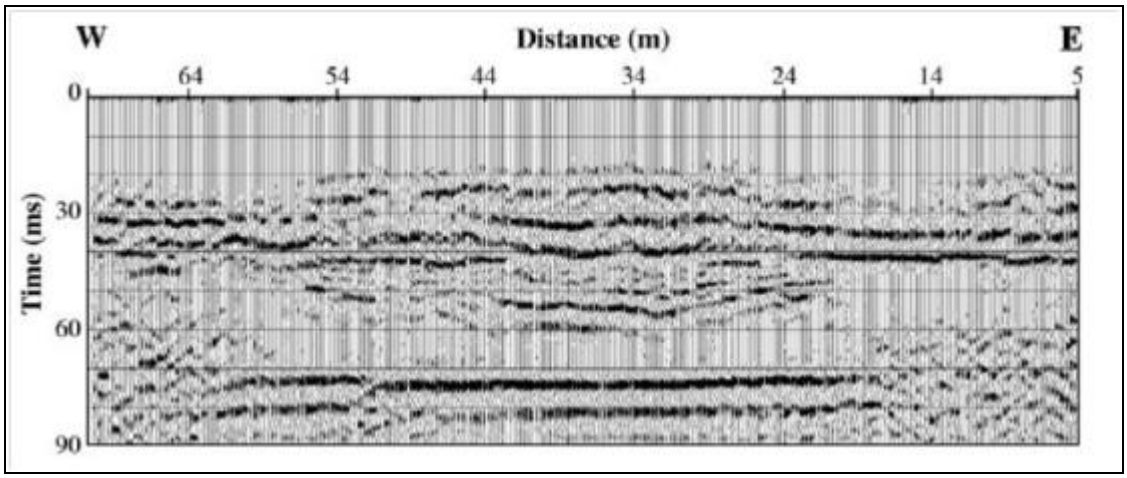


圖 3.4.18 反射震測法影像剖面(Sloan et al., 2007)

(10)小結

如前述所述，各物理探測技術其著重的量測資料、所適合之物理性質以及資料演算後之物理模型，不同的物理探測技術可量測得不同物理性質，而這些物理性質的存在即是各物理探測技術應用於不同安全檢測之關鍵，以下彙整各技術之特性如表 3.4.4。

2.地質鑽探孔內探測技術

鑽探取樣則為工址調查之首要工作，然而對於複雜的地質環境，確有取樣之困難及岩層構造的誤判，例如，變質岩盤劈理發達，岩芯於取樣解壓後易沿著劈理面開裂而造成高度破碎，或者當地層中的不均質岩盤因鑽探轉速控制不當造成破裂的情況，上述現象在岩芯判釋易被解讀為裂隙發達區段或破碎帶，反觀沉積岩因含較多的剪裂泥，若取樣不當易

發生流失，而被誤判為空洞，這些情形均造成岩心品質指標（RQD）大幅度的下降，應用於坡地工程評估中，極有可能造成滑動面之誤判。國外於鑽探工程之發展趨勢為隨鑽井測技術，即在鑽探過程紀錄轉速、鑽機扭力、流量、水壓力或其他地球物理訊號，藉以在鑽探過程獲取岩芯以外的資訊。

孔內探測係依各工程的調查目的，將各式探測儀置入鑽探完成的鑽孔中，除了可檢視上述鑽孔品質外，主要可投入在水文地質調查、大地工程及環境工程評估或是地下資源探勘等，其應用領域及調查項目彙整如表 3.4.5。以下針對國內較常使用之探測技術，包括孔內攝影、流速、電測、波速調查等，進行目的、探測原理、擷取訊號及適用條件之探討。

表 3.4.4 地球物理探測技術特性彙整表

地球物理探測技術	量測資料	所得物理性質	所得物理模型
地電阻影像探測法	人造電流造成之電位差	電阻率	電阻率 2 維深度剖面或 3 維深度剖面
自然電位法	地中自然電位差	自然電位差	電位差 2 維平面分布
感應極化法	人造電壓消散速度	電容性	電阻率 2 維深度剖面
透地雷達探測法	電磁波之反射歷時及振幅	電學性質不連續面	反射層之 2 維深度或 3 維深度剖面
電磁探測法	感應電位	電阻率	電阻率 2 維平面剖面或 3 維深度剖面
微重力探測法	重力值	重力值	重力 2 維平面分布
彈性波層析成像法	壓縮波之初達波走時	壓縮波速	壓縮波速 2 維剖面
多頻道表面波震測法	彈性波歷時振幅	剪力波速	剪力波速 1 維深度剖面
反射震測法	彈性波之反射歷時及振幅	力學性質不連續面	反射層之 2 維深度或 3 維深度剖面

表 3.4.5 孔內探測技術運用於工程領域調查項目彙整表

運用領域	水文地質	大地工程	環境工程	資源工程
調查項目	➢ 岩性及層次分布 ➢ 含水層位置及特性 ➢ 裂隙及連通性 ➢ 鑽孔結構及特性 ➢ 地下水特性	➢ 岩性及層次分布 ➢ 地盤強度 ➢ 承載層位置 ➢ 不連續面位態 ➢ 斷層調查 ➢ 灌漿完整性	➢ 地下水流速流向 ➢ 地層滲透性 ➢ 汙染物位置及含量 ➢ 地下水質 ➢ 水井檢測	➢ 資源位置及分布 ➢ 資源含量 ➢ 岩性分布 ➢ 建井品質

(1)孔內攝影

本調查技術得到最直觀的孔壁連續影像，因此首要之工作是檢核鑽孔取樣品質，亦即透過攝影結果與岩芯照片的比對，來修正鑽探的深度、岩芯品質指標（RQD）及位態等，如圖 3.4.19(a)所示，影像與岩芯兩者結果比對檢核，土岩交界面的深度僅於十餘公尺即產生錯位達近 1 公尺，另岩芯品質指標（RQD）的差異亦為鑽探長久以來存在的問題，尤其是變質岩岩盤，當鑽探時使用不適合的轉速，非常容易造成人為引致破裂面，如圖 3.4.19(b)，由孔內影像知其岩盤甚為完整，於 94～96m 區間的 RQD 大於 70%，然鑽孔取樣岩芯卻是極度破碎，其 RQD 的判釋趨近於 0%。再者國內的鑽探技術並無法進行定向取樣，難以單從岩心來判釋裂隙或層面的位態方向，因此欲瞭解區域不連續面位態僅能以現地露頭量測的方式為之，如圖 3.4.20，鑽孔於 40 公尺處具有寬度約 10 公分夾泥之剪裂帶，根據大圓投影結果，地層弱帶以上之位態大致呈偏東 38 度，向東南傾 23 度，弱帶以下之位態則呈北偏西 59 度，向西南傾 20 度。由此可證明該鑽孔應有地質構造通過，此為一般傳統鑽探與地表地質調查無法反應之成果。

(2)電井測及波速

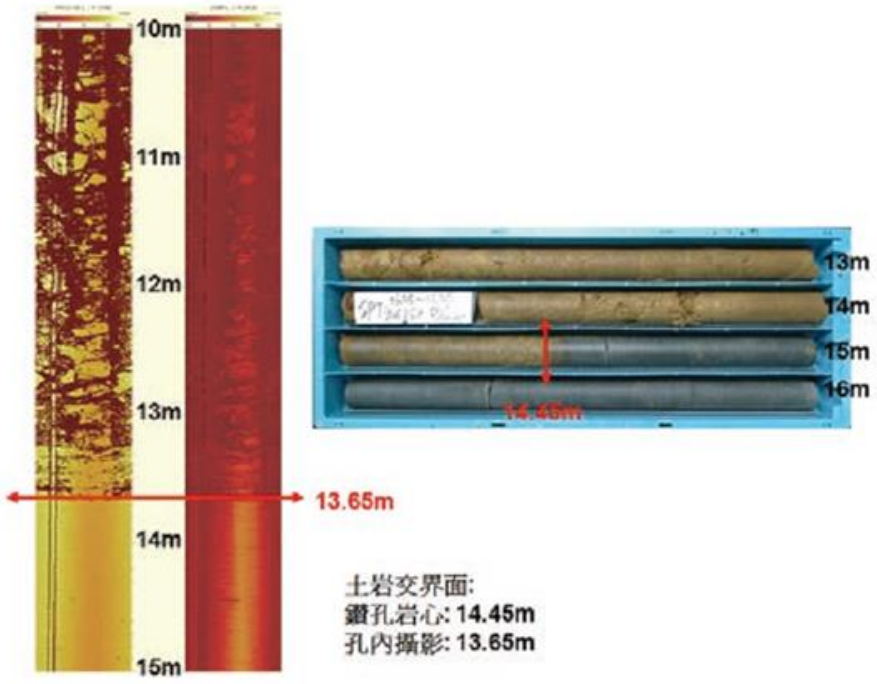
電井測及波速調查的資料連續不間斷，透過各種訊號的交互比對，除能進行各種水文地質特性外，針對提取率不佳、錯位嚴重的鑽孔，可作為資料補足及修正之資訊，尤其是砂頁岩互層變化較大或岩性不明確，如砂質泥岩或泥質砂岩難以研判的沉積岩層，其訊號反應對於層次的研判甚有助益，如圖 3.4.21 所示。電井測及波速的訊號對於材料顆粒的大小、岩盤強度及黏土含量多寡相當敏感，因此在基礎工程中亦可作為承載層深度確認或地盤改良成效的重要指標。

(3)地下水流速

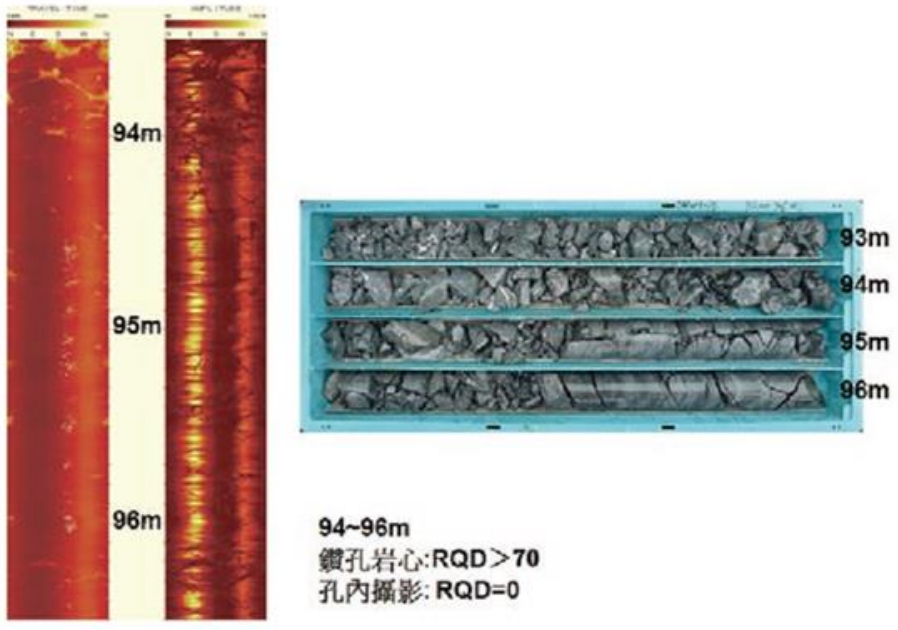
地下水流速探測在水文地質、大地及環境工程與地下水資源探勘均為不可或缺之工作，然傳統調查方式，利用特定區段量測並計算地層透水係數，此方式可求得現地尺度之水力參數，但無法藉由連續的資料來作更多的判釋，而孔內地下水流速探測，可藉此流速剖面變化，判斷地層滲透性、滲漏或補注位置，含水層型態或地下水流向等，如圖 3.4.22 所示，透過多孔流速的探測，可將滲透層整體地下水流場描繪之，作為後續地盤改良之依據。

(4)小結

綜整上述各調查項目，依據調查目的及調查原理彙整如表 3.4.6，通常孔內探測訊號以柱狀圖的剖面呈現，如圖 3.4.23 所示，經判釋可得該場址有明顯的變層反應，其中地層在 18m 以上，以顆粒較粗的礫石為主，因此其自然電位及伽瑪射線偏低、電阻則偏高，然該礫石層組成較為鬆散，導致波速走時明顯較低，然而 18m 以下則漸變至砂岩層，以致電井測訊號呈現反向，而砂岩層因岩盤質地較硬，因此發現其波速走時顯著降低，而透過流速探測可知孔底及土岩交界處均有地下水流動情形。此外，孔內攝影的成果，除了重新檢視鑽探深度、RQD 等記錄外，亦可進行場址位態的統計分析。



(a)鑽探與孔內攝影深度錯位情形



(b)鑽探與孔內攝影 RQD 之差異

圖 3.4.19 孔內攝影圖像與岩芯取樣差異對比圖示意

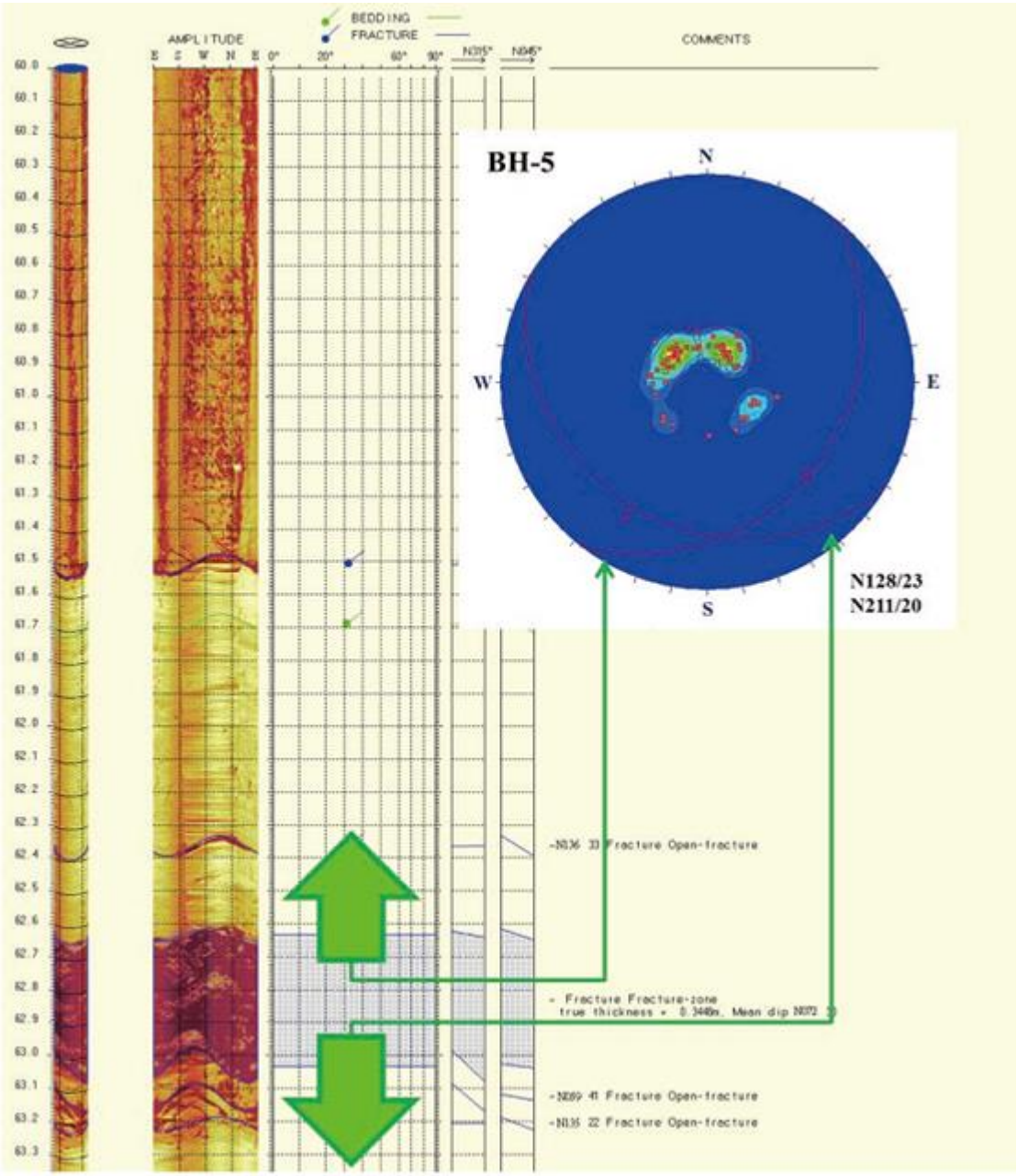


圖 3.4.20 鑽孔內不連續面位態隨深度變化情形示意圖

(趙啟宏、羅鴻傑，2015)

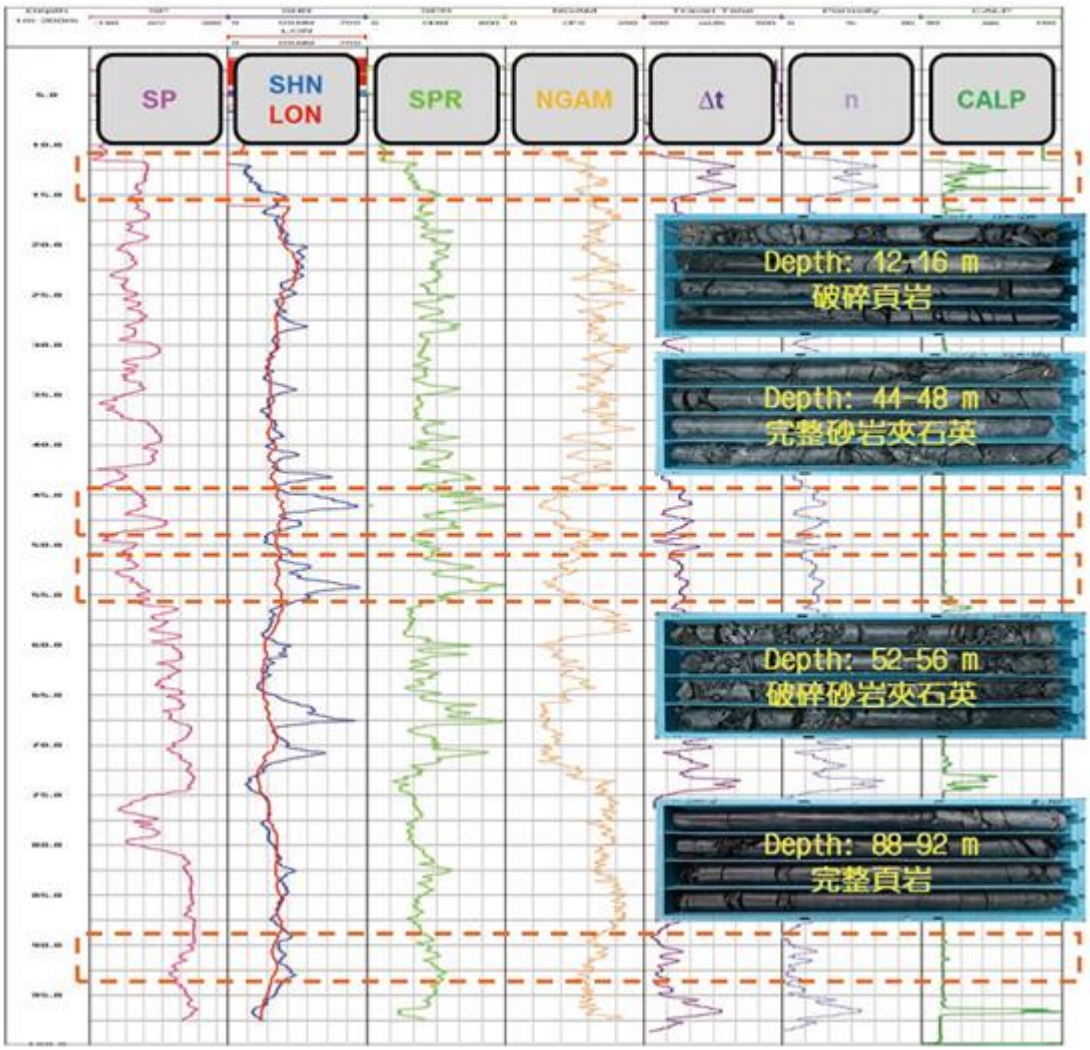


圖 3.4.21 電井測及波速調查成果示意圖(趙啟宏、羅鴻傑，2015)



圖 3.4.22 地下水流場調查示意圖(趙啟宏、羅鴻傑，2015)

表 3.4.6 孔內探測設備之調查原理及目的彙整表

調查項目	調查原理	調查目的
孔內攝影	以超音波為發射訊號，藉由孔壁回彈反射波之振幅及走時來轉換地層影像，當岩盤越堅硬，其走時及振幅訊號越強，轉換圖像的色階則越亮，反之當岩盤越軟，其走時及振幅訊號越弱，轉換圖像的色階則越暗，且內部的陀螺儀可用以標定不連續面位態方位（另有光學式之孔內攝影儀）。	檢視鑽孔品質、調查岩體破碎程度、裂隙分布、地層細部構造、鑽孔變形預估、及區域層面或節理面的主控位態統計。
電井測	於探測過程中發射並接收物理訊號，包括自然電位、電阻率、自然伽瑪射線，其中自然電位主要是探測儀在井內記錄地層電極與固定在地表電極間之電位差，電阻率是量測探測儀通過不同地層電流極與電位極間之電阻率，自然伽瑪射線則係以偵測鑽孔內地層釋放的自然伽瑪射線強度。一般而言在砂岩（土）層其滲透性高、顆粒較粗，放射性元素含量偏低，因此會得到高電阻、低電位及低伽瑪射線；反之，頁岩（黏土）層其滲透性低、顆粒較細、且具較高的放射性元素，會得到低電阻、高電位及高伽瑪射線強度的訊號反應。	利用電井測儀測錄得的物理訊號調查地層岩性分布或層次變化、質地軟硬程度、地層材料顆粒大小、含泥量、地層滲透性或含水層位置。
波速	發射器於測錄過程中向地層發射一連串聲波，聲波經由地下水或泥漿媒介沿孔壁傳遠至接收器，並根據聲波傳遞的走時來換算地層的壓縮波（P 波）及剪力波（S 波）。當地層材料越軟弱、孔（空）隙越大，所對應的波速較低；反之，質地堅硬完整的地層則會得到較高的波速。	利用波速儀測錄得的壓縮波及剪力波推估地層岩性分布或層次變化、地層材料強度及彈性、判斷承載層位置，可推算現地尺度的力學參數包括孔隙率、波松比、楊式係數、剪力模數、統體模數等。
流速	可分為垂直向及水平向兩種流速儀，垂直式熱脈衝流速儀係利用內部之柵狀發熱線圈以加熱附近流體，其會藉由地下水流動產生一垂直向的運動，而發電圈上下方之熱感應器可偵測其溫度之差異，並以熱脈衝曲線顯示來判段地下水垂直流向及流速；而水平式流速儀原理相當，即在發熱線圈加熱後流體透過水平環狀熱感應器來偵測地下水水平流速及流向。	利用流速儀量測連續的流速及流向分布來判斷地層滲透性、地下水流向、裂隙連通性、地下水補注或滲漏位置、含水層型態。

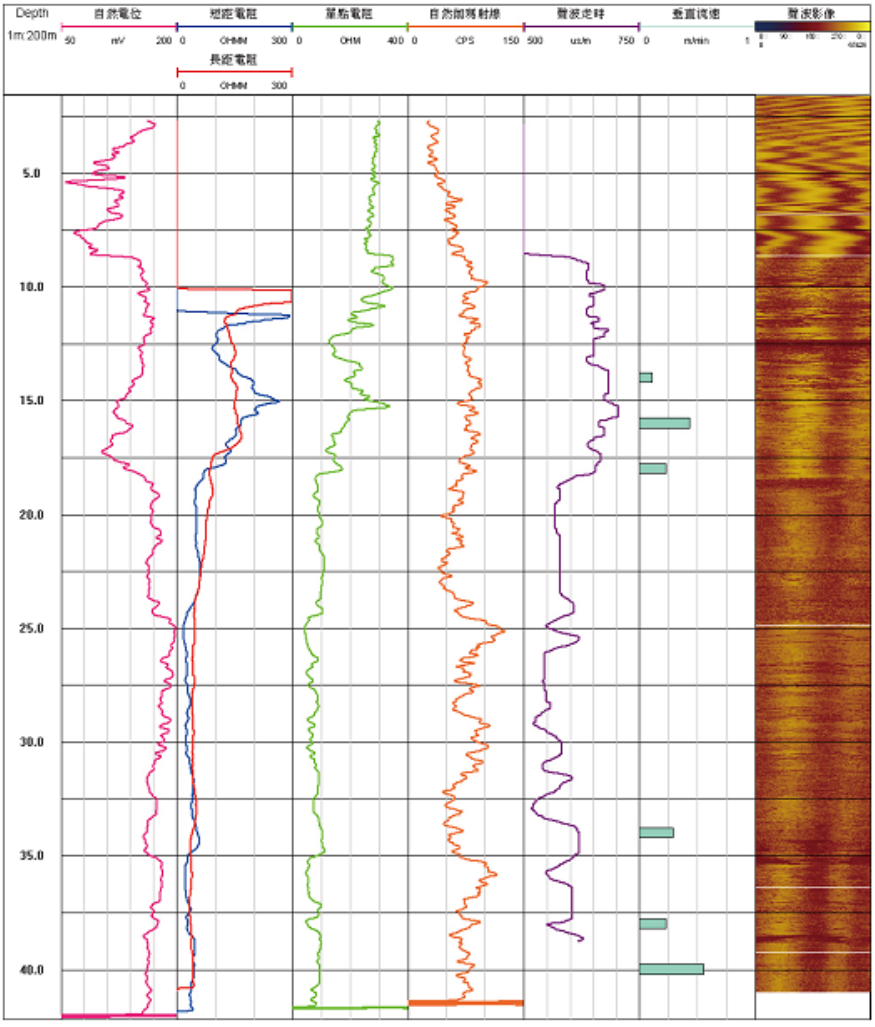


圖 3.4.23 孔內探測調查結果示意圖(趙啟宏、羅鴻傑，2015)

四、小結

水土保持的主要對象包含水土資源，其分布面極廣且其防減災與保土蓄水之措施往往必須因地置宜，而透過完整蒐集與建置集水區基本資料，有助於釐清災害類型以並擬訂適當之解決方案。在水資源方面，可透過水文水理分析模式瞭解河道變遷過程、沖淤分布情形與流量變化；在土資源方面，則可透過遙測影像技術、地下地質調查技術獲得巨觀影像(如地形特徵)與微觀參數(如地質條件與力學參數)，再依據上述調查所得結果，針對保全對象、地形起伏、地質條件、植生覆蓋率與土壤沖蝕、崩塌率及土石流潛勢溪流等因子，評估水土保持處理及維護的優先順序。然目前調查工具及評估方法眾多，其背後的理論基礎與目的均不相同，該如何選定合適的工具以及培養具備評估能力的人才，是值得進一步探討的課題。另一方面，如何導入國內外新興科技以提昇現有調查技術與工具之效能，亦為後續應持續精進之目標。

第五節　基礎研究

任何工程設計規範或是制度設計，均需仰賴前期的基礎研究建立基礎，進而演進為理論或是規範。水土保持領域由早期的農藝、植生及工程方法，近年來更與防災領域結合，其相關基礎研究之範圍既廣且深。 然而，不論對於何種領域，均需透過長期的基礎研究掌握問題，並藉由精密的實驗與觀察，逐步建立相關理論，並尋找問題的解決方案。因此，強化並持續支持基礎研究，係提昇水土保持相關理論與技術的必要途徑。本章節初步以、植生技術、土砂收支、崩塌深度與體積推估公式、土砂資源活化再利用、使用資源衛星評估土壤含水量等近期之基礎研究為例，進行相關說明。

一、坡地植生生長效益改良

(一) 添加生物炭

植物生長效益常受到植物初期發芽率不佳而影響。如能於工程初期有效運用保水保肥之有機資材就有機會增加工程效益。生物炭已被認為可有效保水及保肥之有機資材，植物生長效益於添加生物炭之處理可顯著提升土壤有機質、有效氮、磷、鉀含量，

達到提升土壤保水性與土壤抗蝕性，而研究顯示 2%生物炭及 50 ppm 之 PAM 共同施用，能達到最佳植物生長之最佳效益(簡士濠，2016)。

生物炭材料如稻草、稻殼在厭氧狀態下以高溫燒製而成，如圖 3.5.1 所示，由於生物炭是經熱裂解反應後，讓酸性物質揮發，遺留下鹼性物質，因此能直接用做土壤改良，同時生物炭的孔隙相當多，既能鬆軟土壤，也能是微生物的生長空間，孔隙還能吸附帶電物質，因此還能發揮保水，並避免肥料電解質過度釋出到土壤中的功能。



圖 3.5.1 生物炭示意圖(簡士濠，2016)

目前實務上所用的噴植基材以廢棄木屑堆肥加黏著劑，並混合草木本植物種子為主，然而在施工上為加強抗沖蝕效果，會提升黏著劑濃度，此舉往往造成種子發芽率降低、外來物種演替過慢及環境危害等問題，因此利用農業廢棄物資源化製程生物炭，配合不同配比組合，以提生噴植基材的種子發芽率與土壤肥力，係為可行方向。目前也有許多學者提出添加生物炭至土壤中可有效改善土壤品質，促進土壤構造、團利穩定性、導水度，並增加土壤中維生物活性及減少養分流失，促進植物生長。

(二) 植物營養層 Ph

土壤的酸性、中性及鹼性等性質，稱為土壤反應（soil reaction），以 pH 值表示，pH 7 為中性，pH 小於 7 為酸性，pH 大於 7 為鹼性。土壤 pH 值與作物的生長、土壤中各種微

量元素的有效性、微生物的活性、有機物的合成與分解、 氮磷等營養元素的轉化與釋放、土壤保持養分的能力、以及其他土壤理化性質、 土壤化育與分類等有密切的關係，是十分重要的土壤性質。土壤中之各種植物養分要素，依個別要素性質之差異，在不同酸性下或變為不溶性或大量溶解釋出，以致酸性土壤中有些要素缺乏，但有些要素卻有過剩之障礙。另外，土壤酸性增加時，養分保持能力隨著鹽基置換性能量減少而銳減，故酸性土壤之施肥易導致鹽害，亦易導致養分之流失。

大多數的土壤之 pH 值，介於 4.0-8.0 之間，PH 值為 6.5 時，適於大多數植物生長，日本環境部病理昆蟲研究室也有針對土壤 PH 值對植物的生長效果進行研究，如圖 3.5.2，而土壤酸鹼度也會因作物栽培的種類、肥料的施用及土壤中鹽基被雨水淋溶所造成，土壤太酸或太鹼都是影響作物生長，導致植物元素失衡，及部分病害發生的重要原因，然而不同作物間對土壤 PH 所需的條件也不同，如茶樹、鳳梨為喜酸作物，其可忍受土壤 pH4.5 之土壤，PH6.5 之土壤可能對鳳梨而言即有太鹼的風險，而水稻可耐受 PH4.5~7.0 的土壤。因此瞭解作物所需的土壤 PH 值並調整土壤至作物所適合的狀況，可使栽培作物事半功倍，並節省肥料使用量。

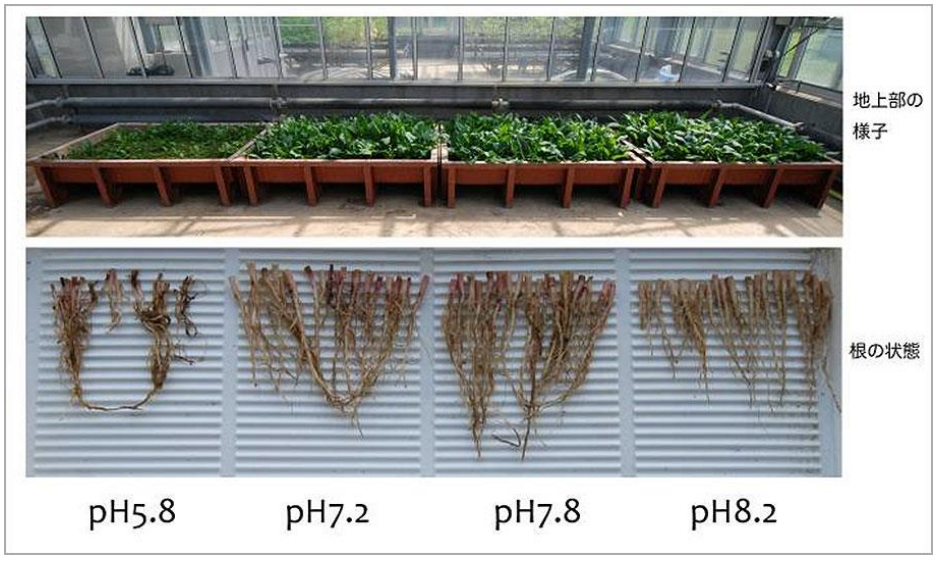


圖 3.5.2 不同 PH 值下植物生長狀態(環境部病理昆蟲研究室)

二、通用土壤流失公式(USLE)檢討與修正

通用土壤流失公式(USLE)，為目前最廣為使用之土壤流失量估算方法，也是台灣水土保持手冊中計算土壤沖蝕量之方法。公式中的降雨沖蝕指數，係為黃俊德(1979)利用美國華盛頓地區之降雨動能公式(Wischmeier and Smith, 1958)，並輔以台灣地區 200 個雨量站約 20 年的年平均雨量，建立目前水土保持手冊中所使用之年平均等降雨沖蝕指數圖。鑒於臺灣地區目前所參考之降雨沖蝕指數(rainfall erosivity)及土壤沖蝕性指數(soil erodibility, Km)乃於 30 餘年前建立，距今久遠，加上近十年氣候變遷劇烈，往來土地利用及開發程度差異甚大。因此，重新調查與修訂土壤可蝕性因子(Km 值)與降雨沖蝕指數(Rm 值)分布圖乃勢在必行。

水土保持局於 2016 年起，即委託屏東科技大學進行為期 5 年之土壤可蝕性因子(Km 值)與降雨沖蝕指數(Rm 值)相關基礎研究，其研究基本思考架構如圖 3.5.3 及圖 3.5.4。其中第 1 年之研究主要於台南、高雄及屏東地區進行雨量收集，進行 Rm 值之計算與空間分布繪製；並於山坡地範圍內(100 m-1000 m)，在各縣市選取最具代表性之 25 個土系作為基標土系，建立該地區 Km 值之空間分佈。根據國立屏東科技大學緩坡試驗區蒐集 22 場有效降雨之降雨動能關 e=0.01I1.21，R2 為 0.95。此外，依據南部地區 95 個中央氣象局雨量站 2002~2015 年十分鐘雨量資料，共分析出 36,045 場單場有效降雨事件，單場最大降雨量發生於 2009 年莫拉克颱風期間，約佔全部雨量站 7 成(63 個雨量站)。最大年降雨沖蝕指數範圍約介於 24,822~168,715 MJ-mm/ha-hr-yr 之間，平均約為 61,895 MJ-mm/ha-hr-yr，月的降雨量及降雨沖蝕指數主要集中在 6-9 月為主，Pm 與 Rm 的時間變化有逐年上升的趨勢；夏、秋兩季為降雨沖蝕指數較大之月份，且年平均降雨量(Py)及年平均降雨沖蝕指數(Ry)有明顯上升的趨勢。此研究所建立之 95 個雨量站不同重現期距之年平均降雨沖蝕指數值，可提供相關單位作為後續相關應用之參考依據。

此外，在土壤沖蝕指數方面，本研究採 Wischmeier et al. (1978)，Shirazi and Boersma (1984)及 Torri et al. (1997)三種不同計算方式計算 Km 值，並評估適用於臺灣地區之計算方式。研究結果顯示，新 Km 值分佈確實與舊 Km 值分佈具有所顯著差異，以台南市龍崎地區及高雄市荖濃溪上游差異最顯著，Km 值由 1989 年的 0.025 增加至 2016

年的>0.05，推測為土地利用及開發程度之差異所致；而臺灣地區建議以 Wischmeier et al. (1978)之計算方式較為適切，計算因子需要考量土壤團粒與導水度，但建議未來可針對等級來修正計算方式以適切臺灣狀況。圖 3.5.5 為屏東地區老埤台地上(紅壤)之舊 Km 值(參照黃與萬(1979))與新 Km 值之比對結果。

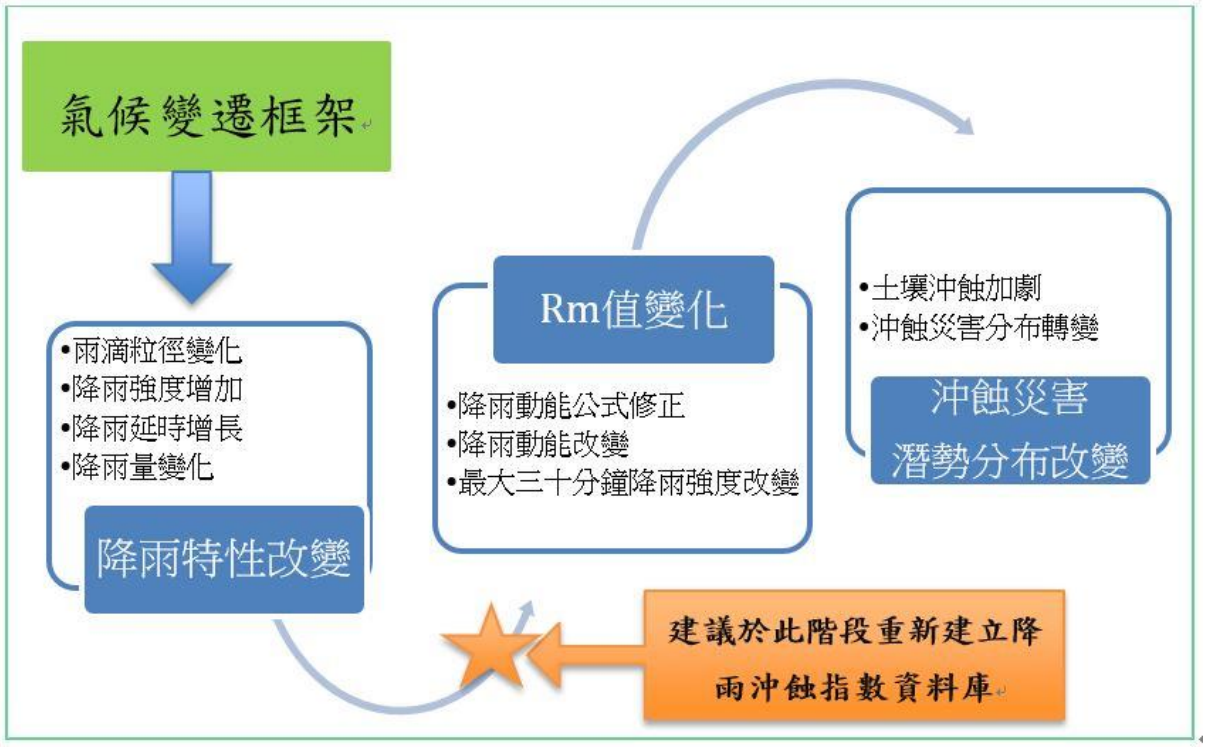


圖 3.5.3 降雨沖蝕指數(Rm 值)隨氣候變遷變化概略圖

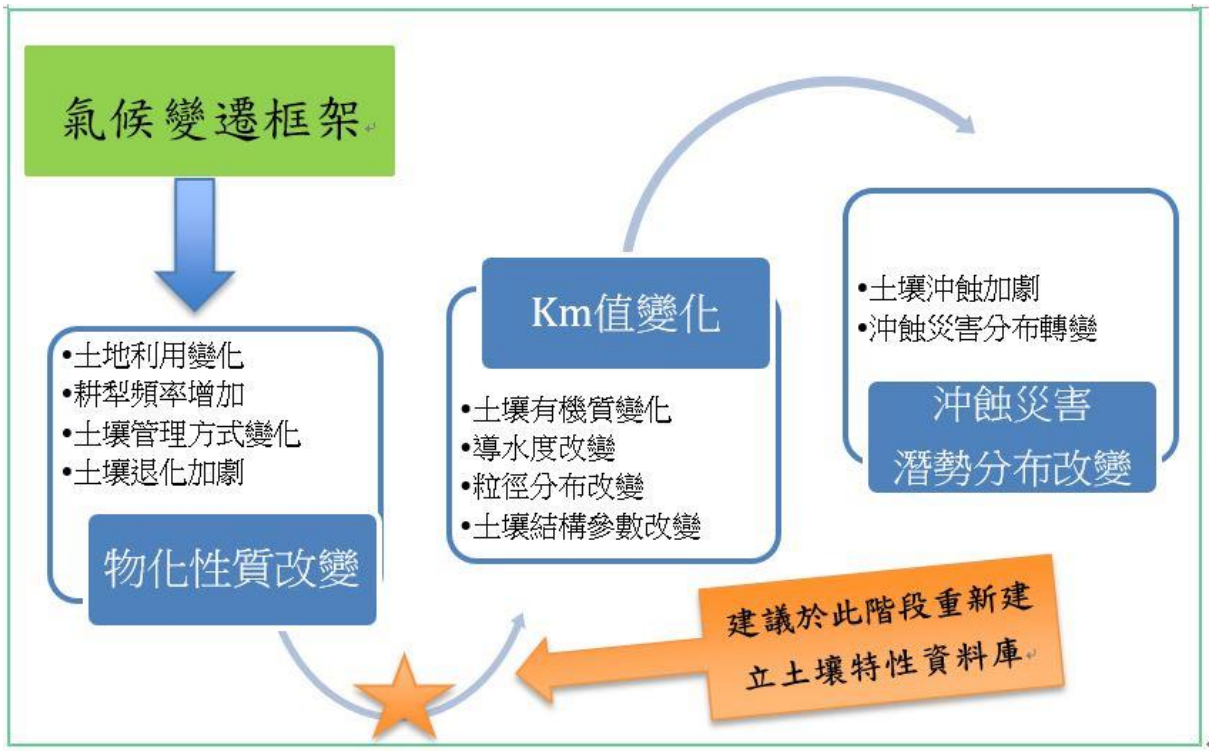


圖 3.5.4 土壤可蝕性因子(Km 值)隨氣候變遷變化概略圖

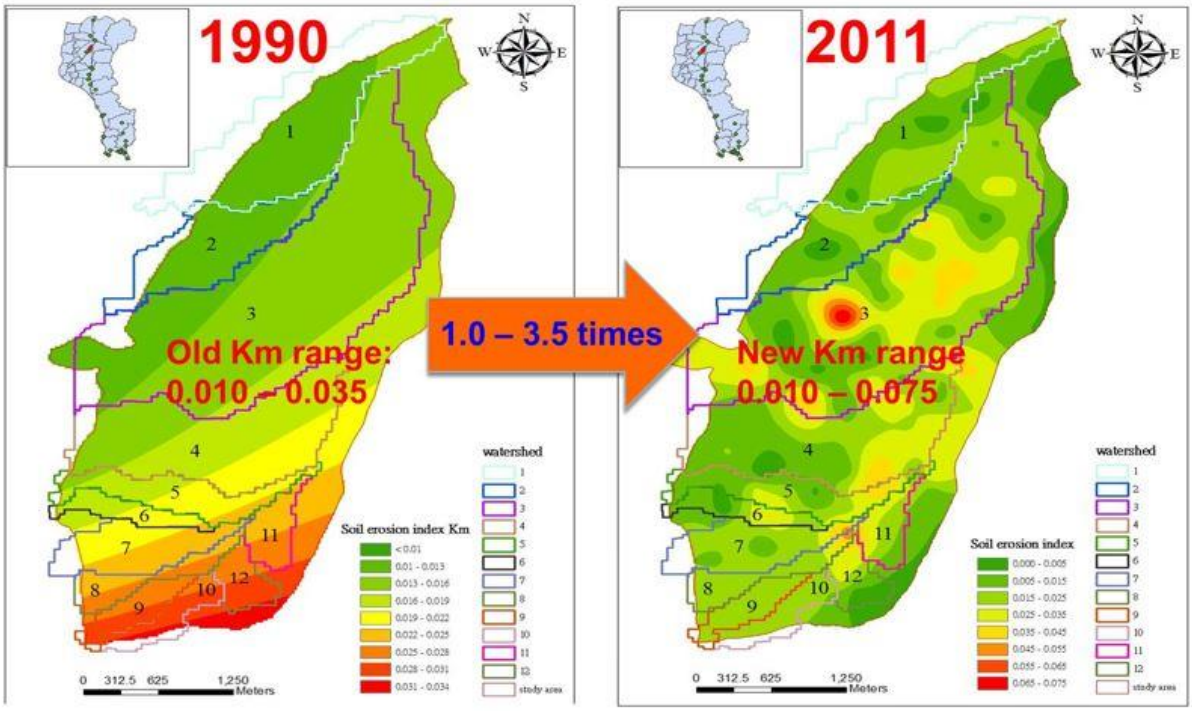


圖 3.5.5 屏東地區老埤台地上(紅壤)之舊 Km 值(參照黃與萬(1979))與新 Km 值之比對

三、集水區土砂收支模式

集水區土砂收支，係指集水區內土砂自坡面至河道之運移過程，但因歐美、日本、中國等國家採用之名詞各異，如來自坡面上崩塌發生後新增之土砂材料，可稱為土砂流失量 (Soil Loss)，也可稱為土砂生產量 (Sediment Yield)，又可稱為土砂侵蝕量 (Soil Erosion)，不同名詞可能說明相同之土砂運動現象。而集水區之土砂管理模式，係指應用集水區內之土砂分析方法，包括土砂量調查、土砂量監測與土砂數值模式，定量評估土砂材料在集水區內時間與空間之變遷情形，並提供土砂管理或治理單位，作為土砂災害防治、土砂災害治理，或行政管理協調等工作之用，為集水區土砂調查、模擬之應用。因此，如何建立適宜的集水區土砂收支模式，係為集水區經營與管理上重要的基礎研究方向。

此外，土砂收支管理之數值分析，主要在於應用集水區地形監測之成果，提供數值模擬應用，圖 3.5.6 為土砂管理模式示意圖，通常會考量集水區之降雨逕流、土砂生產量、河床沖刷等問題，並透過參數資料庫與情境設定得到良善的管理模式。圖 3.5.7 為模式中計算小集水區及河系串接示意圖。地形監測方法，主要目的在於監測追蹤重點土砂運動範圍之坡面土砂侵蝕量，與河道土砂沖淤量；而數值模式主要目的，則在於評估集水區全範圍中，土砂時間與空間之分布情形，透過模式之率定與驗證工作 (多元地形監測成果)，可提供暴雨事件尺度之土砂評估成果、工程治理校評估、設計情境土砂趨勢推估(如長期變遷趨勢、設計暴雨事件、氣候變遷情境等)。同時，藉由蒐集國內各單位現有之集水區土砂調查、監測與評估分析成果，結合多元性監測新技術等為基礎，可進一步評估：(1) 坡面土砂侵蝕量；(2) 河道土砂 (侵蝕或堆積) 沖淤量；(3) 集水區出口河道土砂流出量；藉以設定合理設計土砂量，評估工程成效，規劃未來土砂管理策略。

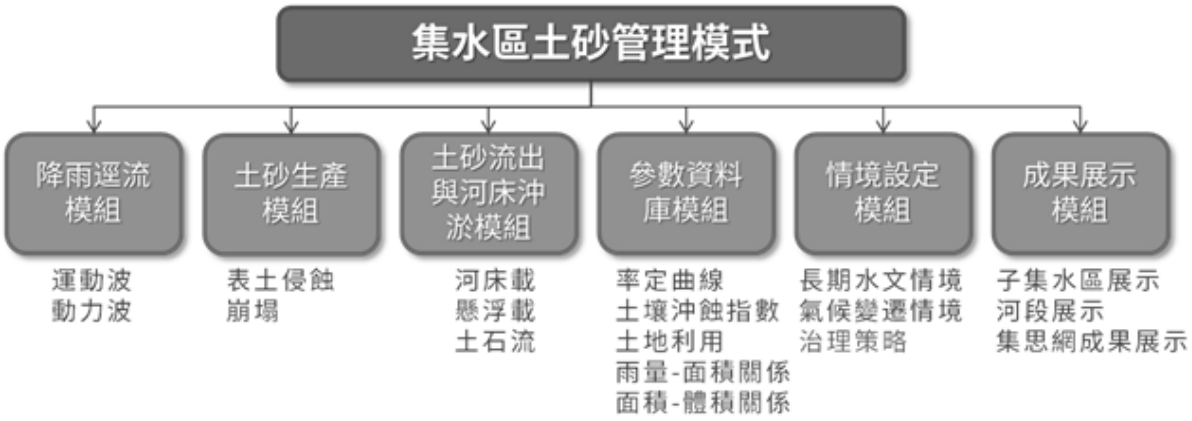


圖 3.5.6 集水區土砂管理模式示意圖

四、崩塌深度及體積推估公式

崩塌誘發因素可分為潛因(inherent causes)與誘因(initiating causes)等兩類，潛因是指坡地本身的基本條件，主要由地質與地形特性所組成，許多學者認為崩塌易發生在坡度較陡之邊坡，而臺灣常見的崩塌多發生於 30~60 度之間，國家災害防救科技中心(2004)、水土保持局(2009，2010，2011，2012)等皆以實測資料發現崩塌深度與坡度呈現反比。另一方面，誘因泛指可誘發崩塌之外在因素，如降雨、地震及人為擾動等，臺灣崩塌地的崩塌情形也以降雨事件為崩塌主因，暴雨會增加山坡地的崩塌，而強降雨也容易引發淺層崩塌，造成大量土砂流入河道，水保局近年來曾使用空載光達來評估分析崩塌地，並從新增崩塌地面積及土砂產量的關係中發現，若新增崩塌地面積越大，則土砂生產量就越大，若能於災害發生後快速獲得既有崩塌土砂產量，將有利提早規劃人力、物力，進而達到災害發生時之「減災」及「二次土砂災害防治」的決策參考。

表 3.5.1 為常見使用推估坡面崩塌深度與崩塌體積之方法彙整，表中所列崩塌深度與體積之關係推估公式發展過程往往具有地域性，但使用崩塌深度經驗推估式，仍可於災後快速推估可能產生土砂量，供以防災應變決策參考，未來若有更多期地形資料，可重新進行統計回歸分析，藉此調整各因子係數，並納入雨量因子，增添適用性及實務價值。

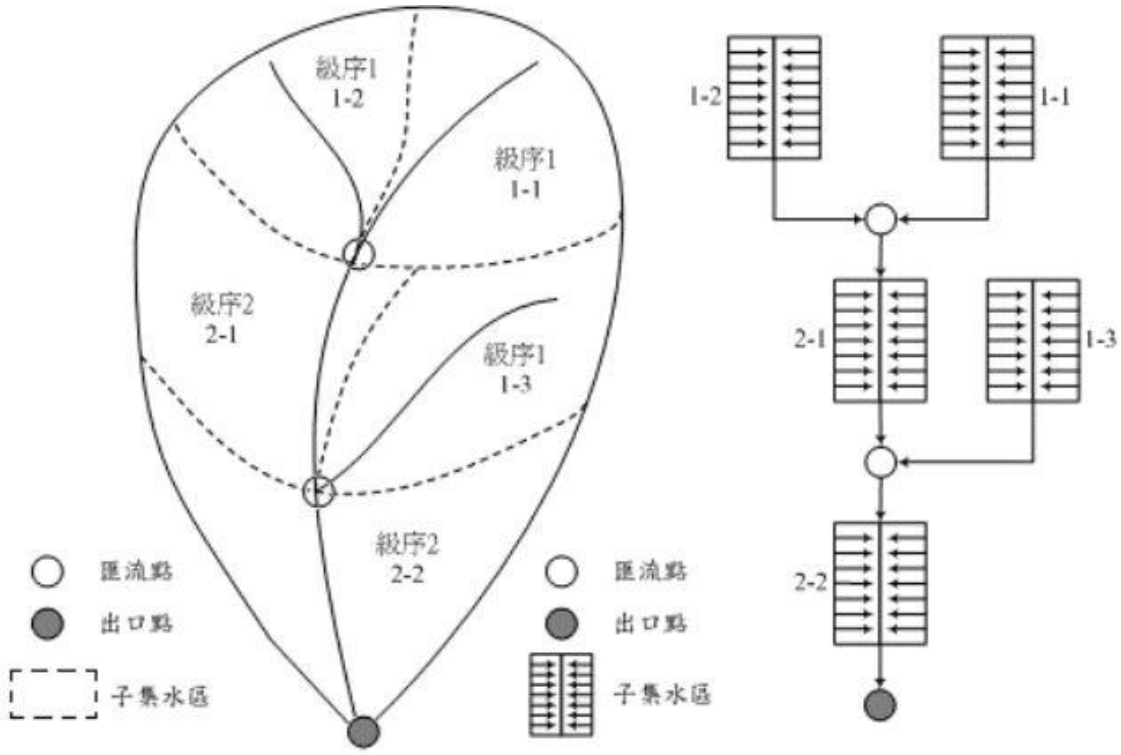


圖 3.5.7 計算小集水區及河系串接示意圖

表 3.5.1 坡面崩塌深度與崩塌體積相關推估公式

編號	參考文獻	研究地區	推估方式
1	台灣省石門水庫管理局(1976)	石門水庫集水區	平均崩塌深度 3 米
2	Khazai and Sitar(2000)	San Francisco Bay	坡度(°) <30 / 30-40 / 40-60 / >60 崩塌深度(m) 2 / 1.5 / 1 / 0.5
3	陳婉璇(2002)	南投縣埔頭地區	h=-0.11*S+10 h=土層滑動深度(m)；S=坡度(°)
4	歐陽元洋(2002)	石門、翡翠水庫	平均崩塌深度 1 米
5	國家災害防救科技中心(2004)	石門水庫集水區	坡度(°) <30 / 30-40 / 40-60 / >60 崩塌深度(m) 5 / 4 / 3 / 2
6	陳本盛(2005)	石門水庫集水區	h=-0.0716*S+5.66 h=淺層崩塌深度(m)；S=坡度(°)
7	地調所(2006)	台灣地區	崩塌面積(ha) <0.1 / 0.1-1 / 1-10 / >10 崩塌深度(m) 5 / 4 / 3 / 2
8	水利署(2006)	石門水庫集水區	坡度(°) <20 / 20-30 / 30-40 / 40-50 / 50-60 / >6 崩塌深度(m) 0.69 / 2.02 / 4.36 / 2.47 / 0.46 / 0.2
9	鍾欣翰(2008)	石門水庫四五溪	h=-1.2163*lnS+5.3683 h= 淺層崩塌深度(m)；S=坡度(°)
10	地調所(2008)	石門水庫台七線沿線	h=-0.9133*lnS+3.8294 h= 淺層崩塌深度(m)；S=坡度(°)
11	Guzzetti et al(2009)	義大利 Umbria 地區	$V_L=0.074\,A_L^{1.450}$
12	水保局(2009)	石門水庫九子集水區	h=-1.4249*lnS+5.7105 h= 淺層崩塌深度(m)；S=坡度(°)
13	水保局(2009)	石門水庫主支流綜合	h=-0.9596*lnS+4.0072 h= 淺層崩塌深度(m)；S=坡度(°)
14	王晉倫(2010)	石門水庫森平子集水區	面積法：全新 $\Delta V=0.403\,A_L^{0.96}$；既有 $\Delta V=0.496\,A_L$；既有外擴 $\Delta V=0.55\,A_L^{0.968}$；裸露地集合 $\Delta V=0.4233\,A_L$ 面積坡度法 $\Delta V=0.992A^{0.983}S^{0.437}$
15	陳樹群(2010)	玉峰集水區	ΔV=土砂重量(m³)；A=崩塌地面積(m²)；S=前期坡度(°) $V_L=0.015\,A_L^{1.606}$
16	水保局臺北分局(2011)	台灣西部易淹水地區上游集水區	$L/W<1$, $Hn=0.04L+2.31$ $L/W=1\sim2$ $Hn=0.03L+1.39$ $L/W=3\sim5$ $Hn=0.03L+0.74$ $L/W>5$ $Hn=0.01L+2.46$ L=長軸投影長；W=短軸投影長；Hn=崩塌深度
17	水保局(2011)	康區集水區	$h=75.32e^{12.375}$
		玉峰集水區	$h=31.6e^{26.665}$
		三光集水區	$h=49.95e^{16.965}$
		白石集水區	$h=57.83e^{8.695}$
		泰崗集水區	$h=61.46e^{16.665}$
18	水保局(2011)	智文水庫集水區	h=淺層崩塌深度(m)；S=坡度(°) $h=439.69e^{-0.050S}$
19	林務局(2011)	石門水庫集水區	以平均坡度 30 度計，崩塌平均代表深度 1.55 公尺
20	國家災害防救科技中心(2011)	台灣地區	$\Delta V=0.068A^2+4.929A$ ΔV=滑動體積(10^3m^3)；A=滑動面積(10^3m^2)；
		地質分區	
21	林務局(2013)	西部麓山地區	$V_L=0.099\,A_L^{1.256}$
		雪山山脈帶	$V_L=0.238\,A_L^{1.188}$
		脊梁山脈帶	$V_L=0.607\,A_L^{1.072}$
		中央山脈東翼地區	$V_L=0.351A_L^{1.122}$
		海岸山脈地區	$V_L=0.337A_L^{1.147}$
		全區	$V_L=0.240\,A_L^{1.191}$
22	水保局(2013)	V_L=崩塌體積(10^4m^3)；A_L=崩塌面積(ha)	
		地質分區	
		板岩區	$V_L=0.0332\,A_L^{1.36}$
		阿里山統 海岸山脈及縱谷	$V_L=0.0875\,A_L^{1.428}$ $V_L=0.0202\,A_L^{1.555}$
		高山區	$V_L=0.2116\,A_L^{1.283}$
		變質岩區	$V_L=0.03\,A_L^{1.51}$
		崩塌形狀分類	
		長/寬<1	$V_L=0.049\,A_L^{1.5057}$
		1<長/寬<3	$V_L=0.0407\,A_L^{1.5002}$
		3<長/寬<5	$V_L=0.0325\,A_L^{1.565}$
		5<長/寬	$V_L=0.0203\,A_L^{1.5985}$

五、淤積土砂資源活化再利用

台灣因颱風豪雨影響，致使坡地產生大量崩塌，崩落之土石加上河道原有之淤積材料，隨洪水進入野溪及下游的河道，導致溪床抬高及橋涵堵塞，常淹埋兩岸的土地；又或因河道淤積後，水路亂竄，攻擊兩岸路堤，致使路基流失、橋涵損壞等嚴重災情。此外，殘存於河道上大量土砂造成嚴重淤積，無法提供河道合理的通洪斷面，若不即時進行清淤，將有可能產生二次災害。一般而言，淤積土石之清淤排除，可區分為人為清淤及自然清淤兩種，前者係以人為方式清除淤積土石，而後者則是以水流挾砂能力將淤積土石輸往下游，減輕土石淤積。然而，人為清淤亦面臨棄土區不易取得，大量清淤後的土砂無處可去之窘境。

為了達到綠色能源節能減碳、就地取材、節省經費，近年來國內亦嘗試以「現地拌合工法」進行防災之工程方法。現地拌合工法係利用河道整理的土石，在現場直接與水泥進行拌合作為土石籠袋內材料，加強土砂固結能力，並回填於開挖的溝槽，取代原有疏鬆的河床地盤，運用現地拌合，就地施工便利及現拌即用的特性，達到河岸保護土砂利用、減少土砂下移的功效，而且不需使用外購的混凝土及預拌車運送，減少對環境造成的再次破壞與衝擊，如圖 3.5.8 現地拌合工法示意。



圖 3.5.8 現地拌合工法示意圖

水土保持局野溪淤積土石清疏作業要點內定義現地拌合工法，係指將現地土石與適量水泥及水充分拌合後之臨時性處理措施，藉以改良溪岸及構造物週邊淺層土石特性，增加抗蝕及承載力。經相關研究建議，目前現地拌合工法之拌合用量採重量比設計，其原則如下：

(一) 應用於阻抗溪水沖蝕、淘刷時，拌合比例原則為水泥與現地土石重量比，得採一比六至一比九之比例。

(二) 應用於土石回填區、基礎承載、背填材料或路基回填料時，拌合比例原則為水泥與現地土石重量比，採一比九至一比十二之比例。

(三) 現地拌合之總水量，以該次拌合土體體積之百分之十五為原則，或其他適當之比例。

六、使用衛星遙測評估土壤含水量

土壤含水量在地表水循環中扮演關鍵角色，其含量是用來推估水循環之重要機制，如地表蒸發、植物蒸散以及區域降雨變率等能量交換作用，也影響當地之農業條件、環境保育與氣候變遷等議題。利用遙測技術可以大量而廣泛的獲得地表土壤含水量資訊，以進行長時期的地表含水量監測，而使用 MODIS（Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer）衛星影像產生乾旱指數（Drought Index）以評估土壤溼度的方法已被證實可行，其空間解析度較高；惟乾旱指數不具有物理單位，只能得到土壤相對溼度情形。

在 MODIS 多光譜影像前處理的部分，在完成影像投影座標轉換後，便可利用向量資料製作國界及陸地邊界遮罩，先濾除水體，再以非監督式分類中的 ISODATA（Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique）方法分類，進一步過濾可能被雲層覆蓋的像元，成果如圖 3.5.9，圖中陸地內黑色區塊為已經過濾掉的水體及被雲層覆蓋像元。

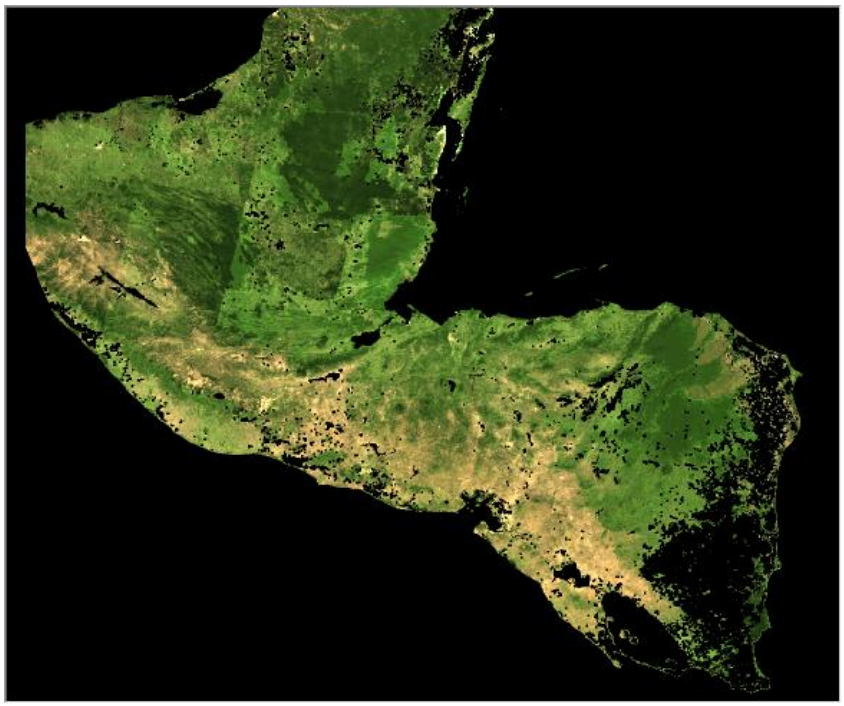


圖 3.5.9 濾除雲層及水體之影像示意圖

土壤含水量的計算大多採用微波方式反演，應用光學感測器計算土壤含水量則較少。利用光學感測器計算土壤含水量大多以計算出蒸發散量後，再根據蒸發散量與土壤含水量間之關係推演而得，亦可利用考慮土壤因子與未考慮土壤因子之植生指標反演而得。其中，搭載於美國 Aqua 與 Terra 兩顆地球資源觀測衛星上的 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)又稱中尺度影像光譜儀，擁有 36 個光譜波段，對於地表光譜變化相當敏感。MODIS 的單日過境可達四次，其原始設計用途即為監測地表生物、物理現象，並用以建立長期觀測資料庫，以供各領域分析研究之用。儘管土壤含水量對於坡地災害之誘發有明顯的關連性，惟目前對於土壤含水量的監測卻相當有限，對於土壤含水量觀測之空間區域相對侷限，無法全方位對於所有敏感山坡地區域之土壤含水量進行有效之監控。若能利用衛星遙測技術，以此獲得大範圍且即時的土壤含水量資料，便能解決觀測站空間上監測之侷限性。因此水土保持於 2016 年委託台灣大學以衛星遙測資料進行目標研究區域之土壤含水量推估，並結合現地觀測資料進行率定，從而尋找出一套適合台灣環境之土壤含水量推估系統，期望能為當前預警系統提供有效之資訊。圖 3 .5.10 為大鳥土石流觀測站的土壤含水量觀測值與 CWSI(Crop Water Stress Index 之散布圖。相關的研究，將於第四章第五節作進一步的內容介紹。

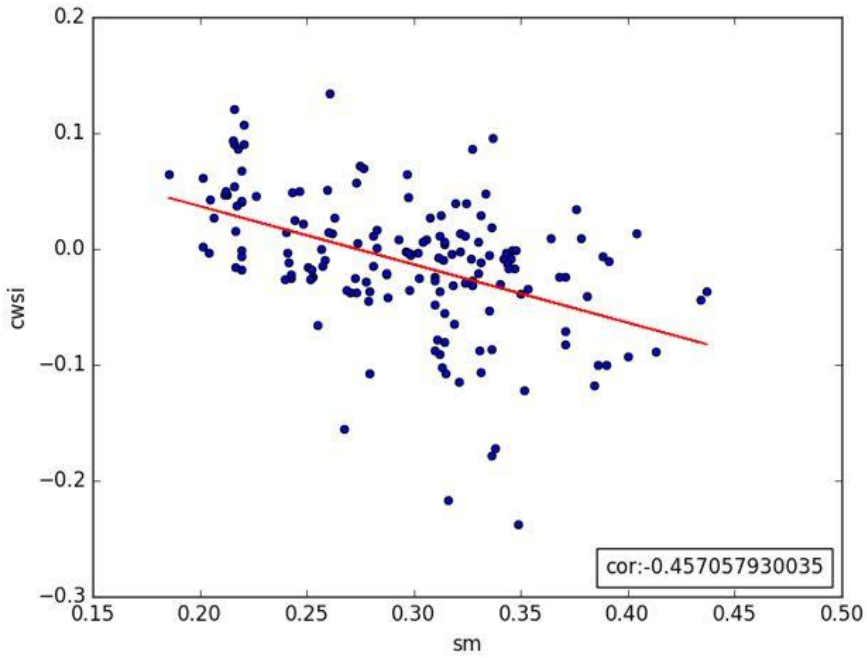


圖 3.5.10 大鳥測站 CWSI 與土壤含水量散布圖

七、小結

台灣位處於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界並橫跨熱帶及亞熱帶，不僅位於環太平洋地震帶(Circum-Pacific seismic zone)上，每年更受到颱風的侵襲，破碎的地質條件加上嚴苛的氣候條件，使得台灣在土壤沖蝕等土砂生產問題上相當面臨相當嚴苛的挑戰，而水土保持工作最主要就在於防止土壤沖蝕並抑制土砂災害發生。常見的水土保持工作會透過植栽方式配合植生方法將裸露地予以覆蓋，或透過排導水工程方法降低蝕溝沖蝕，已達到確保坡地安全之目的。

然而，不論對於土砂生產、流出、運移及處理，各項評估及處置方案均需透過長期的基礎研究來增進對於問題之掌握程度，並從實驗及觀察的過程，逐步建立相關理論，並尋找解決問題的可能性。因此，充分重視和支持基礎研究，係提昇水土保持相關理論與技術的不二法門。本章節初步以植生技術、土砂收支、崩塌深度與體積推估公式、土砂資源活化再利用、使用資源衛星評估土壤含水量等近期之基礎研究為例，進行相關說明。惟水土保持相關基礎研究領域範圍甚廣，且許多基礎研究費時甚久，後續宜建一步建立完整之發展架構，逐年分階段進行，並予以長期支持。

第六節　新興科技應用

在資訊流通愈來愈快的年代，各個領域之科技日新月異，為提昇水土保持相關領域之技術發展，本章節分別就五個未來可導入水土保持技術領域之新興科技，以及它們至今之技術應用略作介紹。包括三維地球引擎之「Cesium WebGL」、增強視覺感官之「新形態地形圖」、實境互動之「VR、AR、MR」、可連結知識與教育目的之「模擬情境互動遊戲」、技術雲端應用之「工具雲端化--Asia Cloud, FEWS」、物聯網應用與其通訊技術之「物聯網與 LoRa 技術」等。

一、Cesium WebGL

(一) WebGL 3D 繪圖標準

WebGL 是一種較新的 3D 繪圖標準，有別於過去須在瀏覽器安裝 plugin，並有資安上之疑慮；透過 WebGL 僅需編寫網頁代碼即可實現 3D 圖像的展示，其最大優點是通過 WebGL 可以達成統一、標準且跨平台之目標。尤其在 Android 及 iOS 等行動裝置之 3D 建物顯示，若採用 WebGL 元件，將可直接於瀏覽器上顯示 3D 圖形，不需加裝瀏覽器外掛程式(國土測繪中心，2013)。

導入 WebGL 技術，只需要編寫網頁代碼，即可實現高效能的 3D 圖像的展示。目前支持 WebGL 技術的瀏覽器，包含了 Mozilla Firefox、Google Chrome、Opera、Safari，已逐漸成為跨平台的網頁 3D 繪圖標準規範。最重要的是不需付費購置軟體及授權，即可免費使用，在更多裝置上享受相同的 3D 圖形互動體驗。目前已經有一些 WebGL 在網路地圖應用案例，將正射影像結合數值地形模型 (Digital Terrain Model)的高程，呈現出 3D 地形資料。(國土測繪中心，2013)

(二) 視覺化三維地球和地圖引擎－Cesium

Cesium 是使用 WebGL 發展 2D/3D 地圖核心以及虛擬球的 Open Source 軟體組織，亦即 Cesium 為開源 JavaScript 的 3D 地球儀和地圖。Cesium 由 AGI 公司於 2011 年創立，作為空間和國防行業動態數據視覺化的跨平台虛擬地球儀。此後，Cesium 已成長為 3D 地球，並以靜態和時間動態的內容進行呈現。現在服

務包括石油天然氣、農業、房地產、娛樂和體育行業等地理空間的呈現。圖 3.6.1、3.6.2 截取自 Cesium 官方網頁，分別 展示地貌起伏與 3D 模型之範例。



圖 3.6.1 3D 地貌起伏模型(珠穆朗瑪峰)



圖 3.6.2 3D 模型(紐約)

(三) 3D 圖像展示未來應用趨勢

自 Google Map 街景模式，利用技術將傳統的 2D 照片建立環場效果，使用者彷彿看到 3D 的立體畫面，人們開始討論未來電子地圖的發展，是否會從平面的 2D 發展成為真正的 3D 立體畫面。科技日新月異，現在可採用 Streaming 串流方式以及 WebGL 技術，使用者可僅憑藉開啟網頁瀏覽器，不用預載或安裝任何外掛程式，就能直接觀看 3D 地圖，或是套疊各種圖層，如同 Cesium3D 地球儀，能將多來源、多型態空間資訊整合，把檔案上傳到網路平台並進行分享，能即時提供地理空間資訊，甚

至是高精度 3D / 2D 圖資。3D 地圖的瀏覽儼然是一種趨勢，地形地貌與建物模型更是展示的重點，讓使用者能更便利且視覺化的獲取地理資訊。

二、新形態地形圖

(一) 提供並呈現更豐富與精確之地理資訊

近年地形測繪技術成熟，已有能力產出之高精度數值地形模型，然而過去地形相關地圖，以等高線、分層設色圖或陰影圖來表現數值地形模型，會因為傳統的繪製型態而使高程於圖面表現不佳而遺漏重要地理資訊，如：等高線及分層設色圖僅能判斷高程而無法直接觀察出細部地形型態；陰影圖則是因本身陰影特性而可能會遮蔽較細微之地形，或是入射光源方向及角度會影響地形凹凸誤判，導致無法完整呈現之實地形樣貌。由於傳統地形圖，微地形變化不能明顯的呈現，若應用新技術發展出能富有更多細節及資訊之地圖，便可作為相關水土保持業務、土砂災害或是地形變遷之參考。

(二) 新形態地圖簡介

本段落以新發展之數值地形地圖，紅色地圖與 H.O.S.T 視覺化地形圖來作簡單的介紹，以及其新形態地圖之未來應用進行探討。

1.紅色地圖

紅色地圖之發展已有 10 多年歷史，最早由日本 Yokoyama(2002) 提出開闊度分析之地形參數，製作似日照陰影圖與坡度圖之紅色立體投影地圖，以開闊度模擬光源接收量來形成地形立體感；Chiba et al.(2008) 提出結合地形開闊度與地形坡度繪製出有紅、灰色階之紅色立體投影圖“Red Relief Image Map (RRIM)”；近年於研究紅色地圖相關領域，還有 Lin et al. (2013)、陳奕中 (2014)、Wang et al. (2015)、李璟芳(2015)、蕭宇伸 (2016)， 和郭耀駿 (2016) 等專家學者，其中包含台灣學界與業界之學者專家，自行研發紅色地圖之技術，製作本土之紅色地圖，如圖 3.6.3 苗栗火炎山紅色地圖為中興大學水土保持學系蕭宇伸教授於

2016 年水土保持局創新研究計畫發展之紅色地圖成果。目前紅色地圖技術已廣泛用於地形學、地理學與地質學等領域，對地形判識上有不錯的效果。

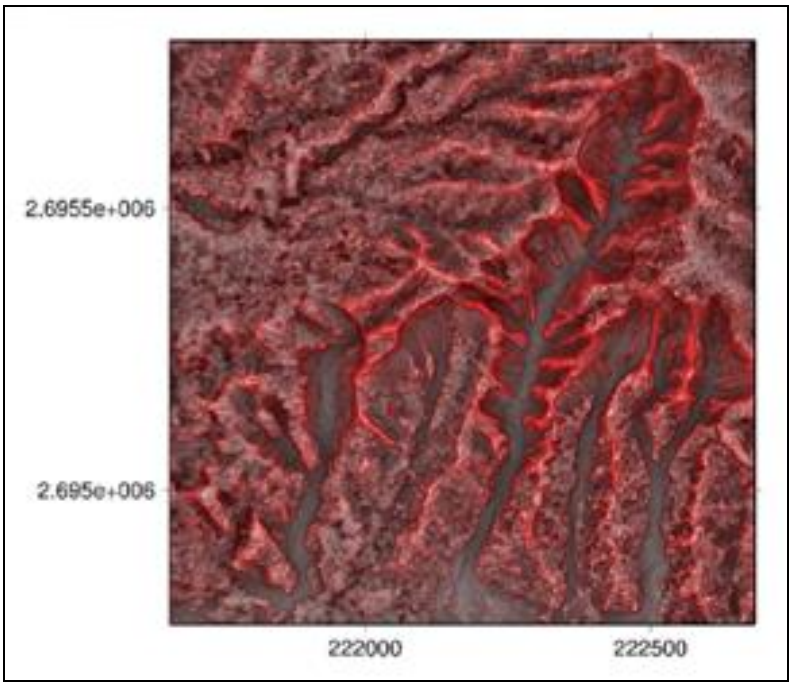


圖 3.6.3 苗栗火炎山紅色地圖(蕭宇伸，2016)

2.H.O.S.T 視覺化地形圖

現階段紅色地圖技術可替代傳統等高線或是陰影圖，凸顯細部的高程細節資訊，但無法直接從圖上觀察出每個網格點的實際高程值，或兩點相對的實際高程差，故若要得知研究區域之高程資訊，必須以帶有高程數值資訊之地圖（等高線圖、分層設色圖）來輔助配合判釋解讀。本段落介紹之 H.O.S.T 視覺化地形圖，名詞為高程(Height)、開闊度(Openness)、坡度(Slope)與地形(Terrain)之英文字首之組合，目前為中興大學水土保持學系進行開發之創新地形地圖，即是結合高程、地形開闊度與地形坡度之嶄新地形圖，將地圖色彩即呈現資訊更加多元豐富，如圖 3.6.4 苗栗火炎山 H.O.S.T 地圖為中興大學水土保持學系蕭宇伸教授於 2017 年水土保持局創新研究計畫發展之 H.O.S.T 地圖概念成果圖。對微地形之呈現仍與紅色地圖特性一樣十分明顯，亦能同時表達出區域地形高程之變化，後續期望能發展成熟，應用於地形判釋及山坡地土砂災害潛勢之評估。

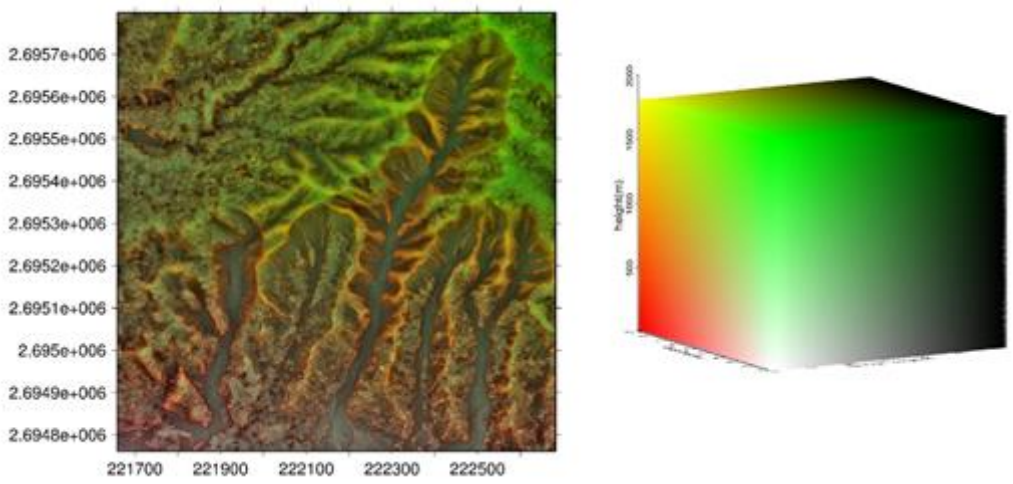


圖 3.6.4 苗栗火炎山 H.O.S.T 地圖及圖例(蕭宇伸，2017)

(三) 新形態地圖應用趨勢

從表 3.6.1 數值地形模型以傳統或新型態表現方式比較，可以看出傳統地形圖與新形態地形圖之差異；新形態之地形圖，其圖面特性能較傳統地形圖察覺更多研究區域內地形變化差異，日後於水土保持、環境監測、資源探勘，甚至是防救災領域應用，皆可作為土砂災害或是地形變遷等之參考。

三、VR、AR、MR

(一) 虛實整合的未來科技趨勢

科技進步，視覺感官從相機影像、設備錄影、虛擬動畫到 3D 攝影，轉向更真實之三維體驗。現今，虛擬實境(VR)、擴增實境(AR)、混合實境(MR)等影像技術，更能在現實的環境中，進行虛擬設計模擬，結合實境體驗。透過這些科技的應用，將能使資訊從二維展示推廣至三維互動。同時，在互動過程中除加強了環境資訊之印象，更能獲取比所在空間還要多元之資訊，目前主要應用在區域體驗、各專業領域之教育宣導或訓練。

(二) VR、AR、MR 簡介

在瞭解虛擬實境(VR)、擴增實境(AR)、混合實境(MR)各自應用或發展趨勢之前，首先要瞭解其名詞及技術上的差異。VR、AR、MR 三者影像互動技術差別，主要是在互動方式和呈現方法上。表 3.6.2 為虛擬、擴增、混合實境三者的差異比較。

表 3.6.1 數值地形模型以傳統或新型態表現方式比較

呈現方式	傳統地形圖			新形態地形圖	
	等高線圖	分層設色圖	陰影圖	紅色地圖	H.O.S.T 視覺化地形圖
內容	高程相同的各點連成之閉合曲線。線條分布可了解地勢高低地表起伏，分布疏密可判斷坡度緩急。	將等高線所劃分出的每一層級面積內加上不同的顏色來表示地貌。色彩的配合使地圖具有一定的立體感。	以模擬日光來源的方式，讓地形資訊具因明暗變化而有三維立體的視覺化效果。	結合地形開闊度與地形坡度並配合紅黑色階繪製出紅色地圖。	結合高程、地形開闊度與地形坡度之地形圖。
優缺點	僅能判斷高程而無法直接觀察出細部地形型態。	1.彌補等高線的不足，加強了高程分佈的直觀印象。 2.僅能判斷高程而無法直接觀察出細部地形型態。	1.自身會遮蔽較細微之地形 2. 光源入射方向和高低角度可能造成地形凹凸誤判	模擬光源接收量來製造立體感，加強了地表主要的凹凸特徵，可以替代掉陰影圖並製造絕佳立體感。	與紅色地圖特性一樣對微地形之呈現明顯，亦能同時表達出區域地形高程之變化。

表 3.6.2 VR、AR、MR 三者的差異比較

項目	中英名稱	內容	代表應用
VR	虛擬實境 Virtual Reality	利用電腦技術模擬出一個立體、高擬真的 3D 空間，當使用者穿戴特殊顯示裝置 (VR 眼鏡) 進入後，會產生好像處在現實中一般的錯覺 。在這空間中，操作者可以藉由控制器或鍵盤在這個虛擬的環境下穿梭或互動。	1.Google VR 2.PlayStation VR 3.BIM 智慧工廠
AR	擴增實境 Augmented Reality	一種將虛擬資訊擴增到現實空間中的技術， 它不是要取代現實空間，而是在現實空間中添加一個虛擬物件 ，藉由攝影機的辨識技術與電腦程式的結合，當設定好的圖片出現在鏡頭裡面，就會出現對應的虛擬物件。	1.手機遊戲 <Pokémon Go>
MR	混合實境 Mixed Reality	把現實世界與虛擬世界合併在一起，從而建立出一個新的環境以及符合一般視覺上所認知的虛擬影像，在這之中現實世界中的物件能夠與數位世界中的物件共同存在並且即時的產生互動。	1.Microsoft HoloLens

(三) 虛擬實境於工程領域與教育宣導之應用

過去純紙本或課堂教育的模式，現今已經逐漸改變為多媒體與互動式的型態，不僅能提升一般人的學習意願，亦增加了學習時的印象。實境體驗模擬目前已在多項領域如軍事、基礎教育等教育訓練中實際應用。以下就工程領域應用及後續教育宣導應用作簡單介紹。

1.工程領域應用

近年來許多工程建設從設計規劃階段，即導入 BIM 建築資訊模型的技術，現今有廠商更將現階段這樣的智慧建築或工廠導入 VR 虛擬實境技術應用，使在工廠建設前或施工完成後，能讓施工者或是一般民眾利用 VR 科技體驗真實的巡廠感受，後續亦可加入現場模型資訊數據等應用，讓實境模擬更加真實且便利，使民眾能對實景環境有深刻之體驗，如圖 3.6.5 為現今智慧工廠資訊建模之 VR 體驗。



圖 3.6.5 遠傳智慧工廠 VR 體驗(蘋果即時新聞，林林攝)

2.教育宣導

台灣因地質氣候條件，歷年曾發生多起大規模的災害事件，如颱風豪雨或地震造成的坡地災害。過去只能透過平面影像或影片記錄這些事件，在現在則可使用三維模型真實還原現場，同時透過 VR 技術，使民眾能身歷其境體驗災害現場。以下簡單介紹三個應用 VR 及 AR 之案例：在 2016 年美濃地震，維冠大樓倒塌，學者及廠商透過無人載具拍攝災害現場並製作三維模型，民眾透過穿戴 VR 裝備便可重返虛擬現場進行實境體驗，圖 3.6.6 為維冠大樓倒塌現場 VR 體驗影像擷取，除能捕捉到攝影照片、錄製影像外，更豐富的現場細節；運用虛擬實境，讓學習者跳脫書本，以親身體驗的方式感受，如圖 3.6.7 為土石流 VR，模擬土石流當下情境並親自選擇逃生路線；另外，以擴增實境輔助教學，利用 AR 掃描等高線便能於顯示裝置之實際地形三維模型，如圖 3.6.8 等高線 AR。



圖 3.6.6 維冠大樓倒塌現場 VR 體驗(福俠鷹航拍資訊有限公司)

（圖片取自 https://www.youtube.com/watch?v=g21UtHrXsRY）



圖 3.6.7 土石流逃生體驗 VR(闇橡科技)



圖 3.6.8 等高線地形模型 AR(闇橡科技)

四、情境模擬互動遊戲

(一) 模擬遊戲之目的

「模擬」，根據教育目的，係簡化真實情境後複製情境模式，讓學習者在不斷與此情境的互動過程中獲得新知；「遊戲」，則定義出一套應遵守的規則、提供精熟度不一的挑戰，引導學習者在追求勝利、挑戰對手、突破環境限制的過程中達成教育目標；兩者的結合就是「模擬遊戲」，既有遊戲設計、又有情境模擬。學習者面對模擬或遊戲的情境與角色設定，需要自行決策，自行從失敗或是之前的經驗中釐清最後能達成目標的方法，不同於單方面的直接教導，情境模擬提供每個學習者發展屬於自己的學習認知與速度。模擬遊戲目的讓學習者透過親身參與和實踐中增進自己對世界的認知、建構屬於自己的知識世界，「學習」主動選擇、尋求、轉換既有知識，以連結其他知識、建構新概念 (2012，柯俊如)。

(二) 情境模擬遊戲案例介紹

1.荷蘭治水桌遊

荷蘭地區面對氣候變遷、海平面上升的趨勢，既有存在之淹水問題需要更加的重視， 但在考量各方如金融、人口、社會、政治等因素，如何考量長期的規劃與國家安全，將相關水利政策或計畫具體實行是目前民眾及專家學者所關注的重點。

國際水利顧問群的工程公司 Deltares 近年來開發一套桌上遊戲－Sustainable Delta Game，讓水利計畫所涉及的各方專家與政策規劃人士，藉由遊戲方式共同探索與研究各種方案的可行性。透過實際的沙盤推演過程，治水遊戲模擬在不同情況下，可考慮實施的各項水利措施有哪些，和政策帶來的可能結果，圖 3.6.9 為體驗治水桌遊遊戲的情形。例如，了解極端氣候海平面上升時，加高堤防或是少一條疏洪道的政策，會對於下游居民的傷亡、水災損失的有什麼樣的影響，進而共同討論發展對於未來的治水的知識(Johanna Huang，2015)。

整體遊戲運作說明於第四章第六節「荷蘭治水桌遊」作

詳細內容介紹。

2.日本避難所營運模擬遊戲 HUG

日本是世界地震頻繁的國家，隨時都有可能發生大規模、致災之地震。當大地震發生時，房子塌陷、海嘯、火災、山崩等，受災的人們被迫需前往避難處所。避難所營運遊戲 HUG 是由日本靜岡縣發展，利用地圖模擬演練避難處所經營的遊戲。HUG 字母分別表示：H（hinanzyo 住所），U（unei 管理），G（game 遊戲），字母組合成英文擁抱（hug）之詞，亦代表著接受避難者提供庇護的意象而命名。

應用避難所營運遊戲「避難所 HUG」，靜岡縣以地區居民為對象實施避難所設置營運訓練。考量不同年齡層、性別、民族如何面對災害避難，透過此遊戲幫助居民思考在災害來臨時，如何去考量整體避難空間之營運，並進行避難所生活體驗訓練，如圖 3.6.10 為避難所營運遊戲體驗。過程中，藉由女性一同參與運作，可建立並反映女性避難之需求；此外，遊戲也鼓勵外國人一同進行避難所生活體驗訓練，藉以確認當地的外國人是否熟悉或是接納防災體制。



圖 3.6.9 治水桌遊遊戲體驗(Johanna Huang，2015)

（圖片取自 http://www.seinsights.asia/article/3290/3271/3940）



圖 3.6.10 避難所營運遊戲

（圖片取自影 http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/manabu/hinanjyo-hug/）

(三) 模擬學習遊戲發展

以上所提類似的遊戲，目的在用來模擬情境，只要確定遊戲的目的和腳本設定，亦可以在台灣本地發展，使專業或非專業人士一起參與討論。活用模擬遊戲，可以推廣至相關工程設計規劃、生態檢核評估，或是防災避難設置營運之教育訓練。遊戲對象不單是領域相關之工程、防災人員，甚至可以推廣至一般民眾。

五、工具雲端化- FEWS平台

(一) 工具雲端化

隨著網際網路的發展，資訊科技在近期已有了重大的發展，最新引起廣泛討論的就是雲端工具及雲端運算。雲端運算是指在網路上各種應用的服務，也指提供這些服務的軟體和硬體。依據美國國家標準與技術研究院（NIST）對於雲端運算的定義，它是一個模式，能方便且隨需求透過網路存取設定好的共享運算資源。

雲端運算主要的優點是計算的資源虛擬化，因而電腦的硬體與軟體的需求大大的減少，大多數的程式都可以在網路上使用，所以不需要安裝很多的軟體，直接在雲端操作即可。工具雲端化，不但能夠節省成本還能夠整合資源以及快速部署，透過雲端運算讓使用更方便，將不須花費大量的金錢建設機房架

構與資訊科技設備，不需要安裝及更新軟體，而是將機房設備維護、網路管理與軟體升級交給雲端去處理（楊欣哲，2015）。

(二) 工具雲端應用-FEWS 平台

洪水預報和預警系統的發展，係建立防災機制不可或缺的部份。其中數值天氣預報、雷達降水估計、氣象和水文等不同模式之數據資料蒐集、格式處理、整合往往是這些模式運作時常面臨的煩瑣問題。為因應洪水預報即時性之需求，荷蘭 Delft Hydraulics 公司將水文水理模式與即時觀測資料透過網路加以整合，進而發展了 DELFT-FEWS(Flood Early Warning System)災害預警系統。Delft-FEWS 是一個開放的數據處理平台，最初開發為洪水預報和預警系統。本質上，它是一個大型數據集，複雜的模塊集合，旨在構建根據個別組織的具體要求定制的水文預報系統，圖 3.6.11 為 DELFT-FEWS 應用介面。

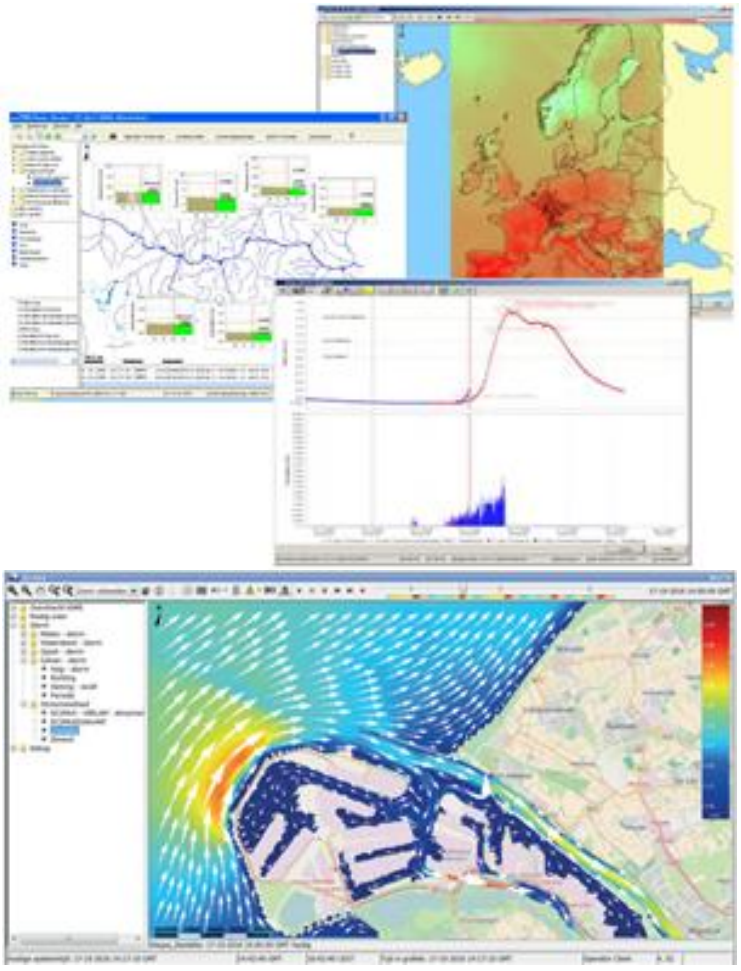


圖 3.6.11 DELFT-FEWS 應用介面(Deltares，2017)

目前水利署已於2003年開始以DELFT-FEWS作為洪水防災預警系統之開發基礎，並發展了 FEWS-TAIWAN 台灣防災預警系統應用平台(洪銘堅，2006)。FEWS-TAIWAN 系統整合降雨逕流模式與中央氣象局所發展的氣候預報模式，可滿足連結水文水資源資料庫、曾文溪與高屏溪流域水文模式之檢定與驗證、氣候預報與水文模式整合模擬、預報模式作業模擬等不同需求(楊慧芬，2006)。FEWS-TAIWAN 不僅整合連結不同型態及來源的資料庫，且可依據河川局之需求調整預報作業系統內容與即時水情預報作業(經濟部水利署，2006)

(三) 應用趨勢

近年來，科技資訊革新包含大數據分析、物聯網、工具雲端化等，不僅提供大數據資料的儲存環境，分析工具亦能在雲端上進行，甚至是達成共同協作，開放分享等優點，工具雲端化必然為目前科技資訊應用之趨勢。

六、物聯網與 LoRa技術

(一) 物連網概述-物物相連成網

物聯網的概念，在使物體具有溝通能力，實現人與人、人與物的對話，物與物的交流，達到物能聯網、物聯成網、物物相連成網。物聯網的概念最初起源於比爾蓋茲在 1995 年撰寫的《未來之路》一書；1998 年，美國麻省理工學院 Auto-ID 中心主任愛斯頓（Kevin Ashton）提出物聯網（Internet of Things，IoT）一詞；2005 年國際電信聯盟正式提出物連網概念。

物連網架構簡單可分為三個層次，如表 3.6.3，分為感知層(Device)、網路層(Connect)、應用層(Manage)：感知層(Device)針對不同的場景進行感知與監控，並具有感測、辨識及通訊能力的設備；網路層(Connect)將感知層收集到的資料傳輸至網際網路，且建構於無線通訊網路上應用層(Manage) 進行物聯網與各行業間的專業的技術融合，並根據不同的需求開發出相應的應用軟體，圖 3.6.12 為物連網架構(陳裕賢，2017)。

表 3.6.3 物聯網架構層次

物連網架構層次	內容
感知層(Device)	1.針對不同的場景進行感知與監控。 2.具有感測、辨識及通訊能力的設備。
網路層(Connect)	1.將感知層收集到的資料傳輸至網際網路。 2.建構於無線通訊網路上。
應用層(Manage)	1.物聯網與各行業間的專業進行技術融合。 2.根據不同的需求開發出相應的應用軟體。

(二) 低功耗廣域網通信技術-LoRa

在物聯網迅速發展之時，應用日益增多，大眾也越來越的關注無線傳輸方面的技術。一般生活常見的無線傳輸方式，包括智慧手機就具備的藍牙、WiFi，或是 hread、Zigbee、4G、5G 等等的物聯網和無線通信傳輸。以上的無線通訊傳輸有各自可適用條件，但物聯網的快速發展對無線通信技術提出了更高的要求，其中專為低頻寬、低功耗、遠距離、大量連接的物聯網應用而設計的低功耗廣域網（low-power Wide-Area Network，LPWAN）也快速興起，LoRa 便是其中的低功耗廣域網路通信技術典型代表。

LoRa 來源於 Long Range 這個單詞，其最大優點就是長距離傳輸，單個基站涵蓋範圍可達 10 公里。LoRa 技術有幾項關鍵特徵，使得此技術適用於要求功耗低、距離遠、大量連接以及定位跟蹤等的物聯網應用：其一，LoRa 技術改善接收靈敏度，降低了功耗，並延遲了電池的使用壽命；其二，該技術的閘道器/集中器支援多通道多數據速率的並行處理，系統容量大，如把閘道器安裝在現有移動通信基站的位置，發射功率 20dBm（100mW），那麼在建築密集的城市環境可以覆蓋 2 公里左右，而在密度較低的郊區，覆蓋範圍可達 10 公里；其三，其終端和集中器/閘道器的系統可以支援測距和定位(2016，楊碧玲) 。表 3.6.4 為 LoRa 關鍵特性和優勢。

(三) 廣域通訊技術與物聯網應用於水保、災防領域趨勢

廣域通訊 LoRa 技術非常適用於要求功耗低、距離遠、大量連接以及定位跟蹤等的物聯網應用，現在已廣泛應用在多個領域，如智慧農業、智慧工業、智慧城市、智慧社區等等，其應用已有相當的發展性。廣域通訊技術與物聯網應用於防災疏散及災時感測通訊等，已是目前的應用趨勢，以下針對智慧防災、疏散作業之應用作簡要介紹。

1.智慧型疏散系統

智慧型疏散系統，是能藉由動態逃生指引號誌將火災傷亡降到最低，在災害發生時即時通報，警報發生時可即時顯示動態導引，並能迅速準確的疏散導引，如圖 3.6.13 之動態導引號誌，相較於傳統靜態指引號誌，將可使逃生更加快速。此外，除了即時導引正確疏散路徑，其資料可儲存於雲端，提供消防人員進行救災及釐清災害責任。



圖 3.6.12 物連網架構(陳裕賢，2017)



圖 3.6.13 動態導引號誌(瑞德科技，2015)

表 3.6.4 LoRa 關鍵特性和優勢(楊碧玲，2016)

優勢	關鍵特徵
遠距離	157db 鏈路預算
	距離＞15km
易於建設和部署	最小的基礎設施成本
	使用閘道器/集中器擴展系統容量
延長電池壽命	電池壽命>10 年
	接收電流 10mA，休眠電流<200nA
低成本	免牌照的頻段
	基礎設施成本低
	節點/終端成本低

2.長距低功耗通訊技術在防災之應用

台灣地區發生災害時，需要接收即時資訊和回報災情以利災害應變，但偏遠地區普遍存在通訊問題：包含儀器功耗、傳輸距離、訊號干擾與穿透力等。若營造智慧防災網，即使在一些防災弱勢的區域，一樣也可透過這樣在有限的資源與條件下得到相同的防災及預警能力。以下就 LoRa 技術於防災應用作介紹。

(1)地震預警儀器

精簡型在地地震預警儀器，為透過長距無線傳輸技術整合後之應用之一，無線通訊模組整合重力微機電系統，透過 P 波位移偵測之演算機制，強化現行之地震預警系統，降低誤報機率、建置成本以及系統建置人力。（元鑫科技，2015）

(2)大型河道之流量與水位警戒

在範圍數百公里之河道上，河道寬度達到數公里遠，透過相關通訊模組與水文觀測儀器之整合，資料可透過無線即時傳輸，有別於傳統量測方式，可大量減少人力的成本與人員意外之風險，並可延伸作為水位等警戒之預警系統。（元鑫科技，2015）

物聯網不單單只是技術上的推動，其應用延伸可謂無遠弗屆，更可融入不同專業或生活，加速各領域的便利性。物聯網不僅使生活更方便，也帶來更多的安全，物聯網可與智慧防救災結合，應用於安全智慧監控，亦可於應變時應用於遠端遙控等，例如災害預警、防災減災、整體防範控制、聯動指揮等環節一體化的形成，以提升公共安全保障能力。

七、小結

本章節從地圖流覽到三維地球展示，進而到多媒體的實境互動與模擬體驗，以及資料管理雲端化或是資訊物連網等應用技術，不難發現，其實各領域科技近年都有相當多的突破點，如何能將跨領域的思維模式及應用技術，與本身水土保持相關領域連接成線，即是現階段需要努力的方向。

第四章　應用案例

第一節　日本 i-construction 之推動情形

近年來日本因泡沫經濟破滅後投資減少，造成營造投資減幅大於勞工人數，以致勞動力過剩；惟統計境內技術勞工(約 340 萬人)估計 10 年內將有 110 萬高齡者退休，日本將從勞力過剩變成勞動力不足的時代，如圖 4.1.1～圖 4.1.2 所示。為提前規劃與因應此問題，日本國土交通省擬應用 ICT 技術發展提昇生產力技術之革新能力，並稱之為 i-construction。為了解日本 i-construction 運作情形，本小節分就推動 i-Construction 觀點、推動先行者的策略措施、推動 i-Construction 之工作重點及 i-Construction 願景目標等四項內容分別論述。

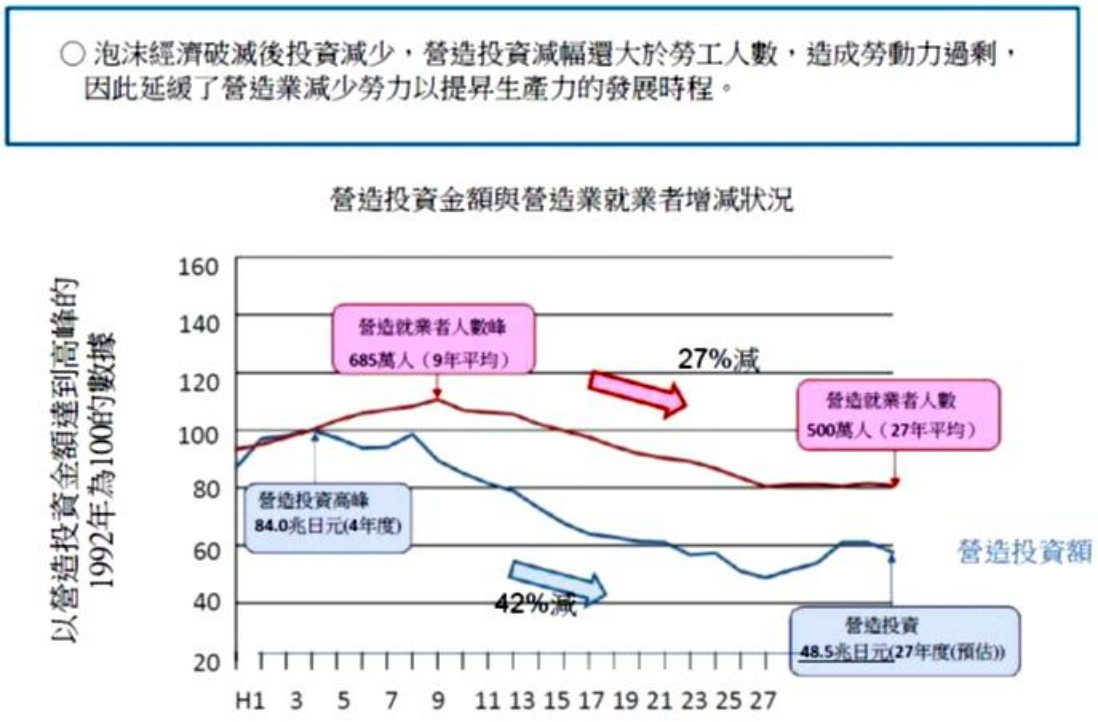


圖 4.1.1 營造工程量委縮導致勞動力過剩統計情形

一、推動i-Construction觀點

營造業現場因為具備「一件訂單即刻投產」、「現地屋外生產」、「勞工密集型生產」等特性，很難導入如製造業「工作檯生產方式」與「自動化・機器人」作業方式。惟為改變如此情況，必須將 IoT（Internet of Things）(圖 4.1.3)導入營造業工作現場，以實現如同製造業般可提昇生產力工作架構。

日本針對推動 i-Construction，提出三個觀點（圖 4.1.4～圖 4.1.5）

(一) 將營造工程變成最先進的工廠。

(二) 把最先進的「供應鏈管理」導入營造工程現場。

(三) 打破營造業工程現場二種常規，持續改善工程方法。

此外，亦須同時考量以下事項：

(一) 提昇營造現場工程安全性。

(二) 靈活地將快速進化的新技術導入工程現場工程技術。

(三) 以進軍海外為目標，考慮實施國際標準化與工程技術套裝化。

(四) 若要實現同步工程技術（Concurrent engineering）進度前移模（front loading）(圖 4.1.6)，須檢討投標契約方式。

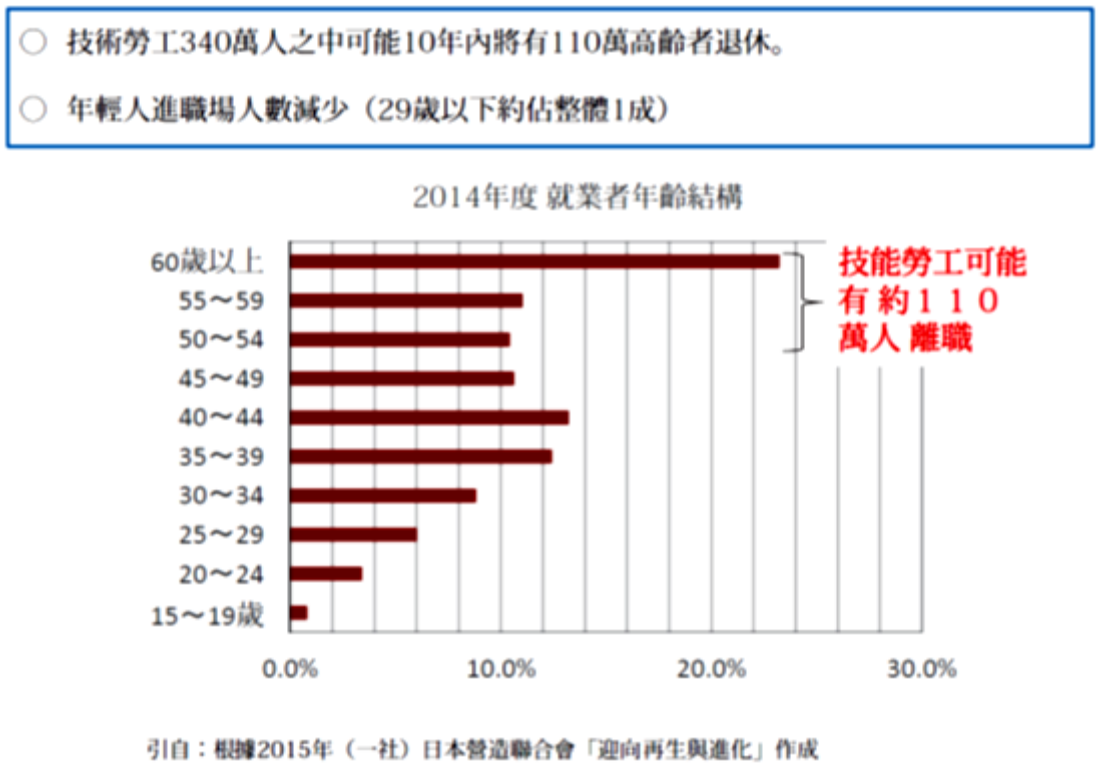


圖 4.1.2 勞力過剩變成勞動力不足之推估

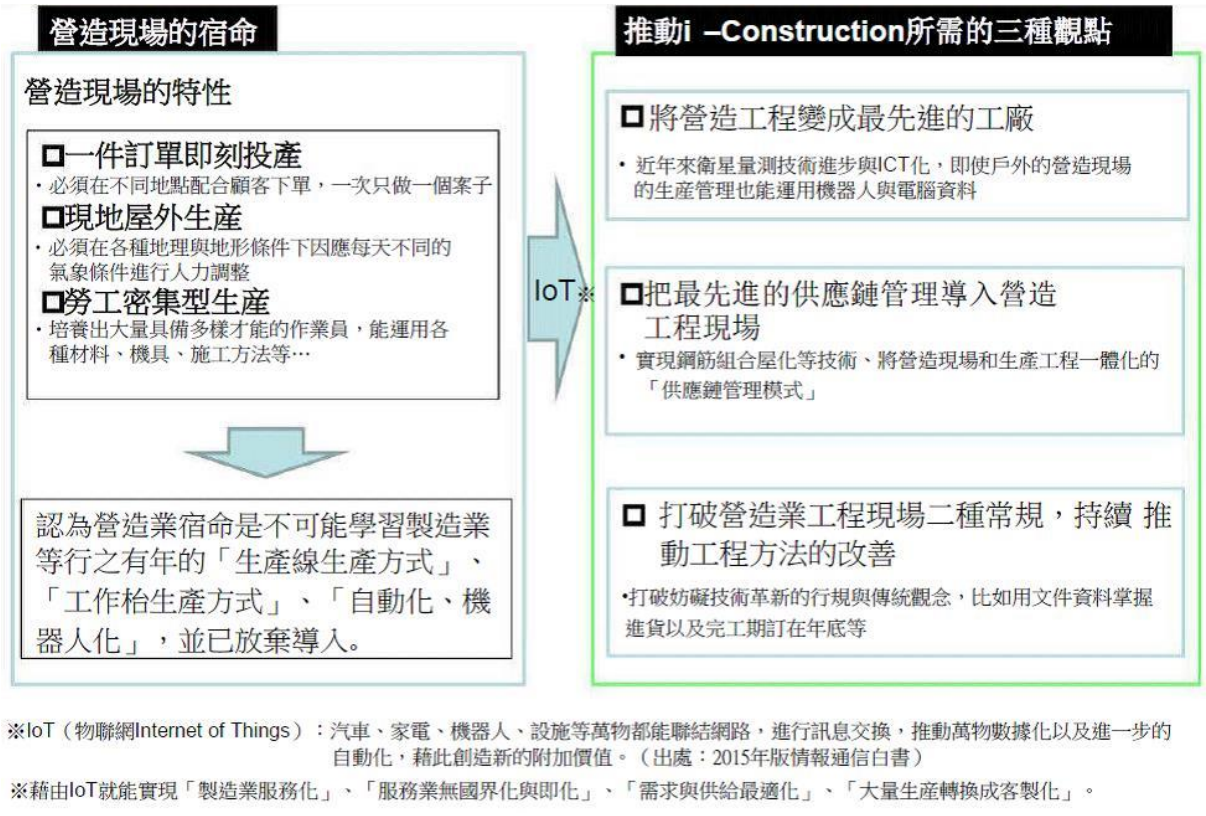


圖 4.1.3 推動 i-Construction 觀點示意圖

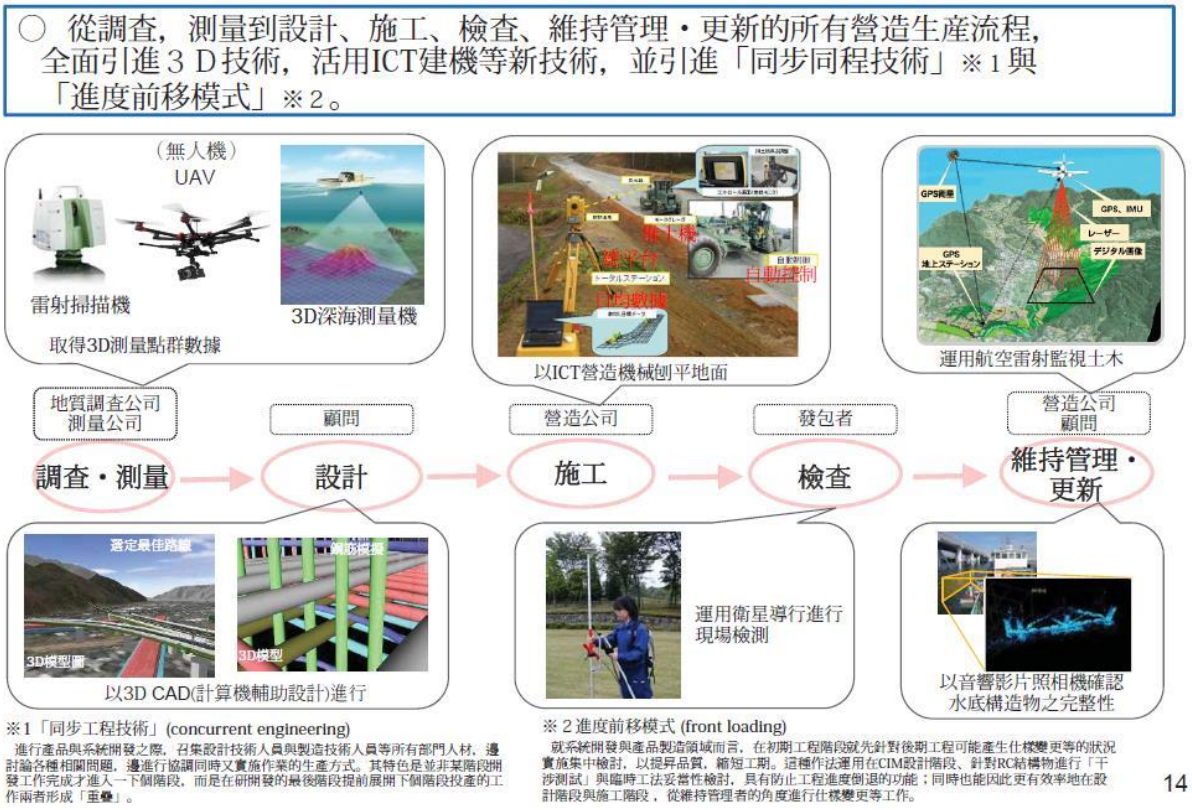


圖 4.1.4 將營造工程變成最先進工廠流程圖



圖 4.1.5「供應鏈管理」導入營造工程現場示意圖

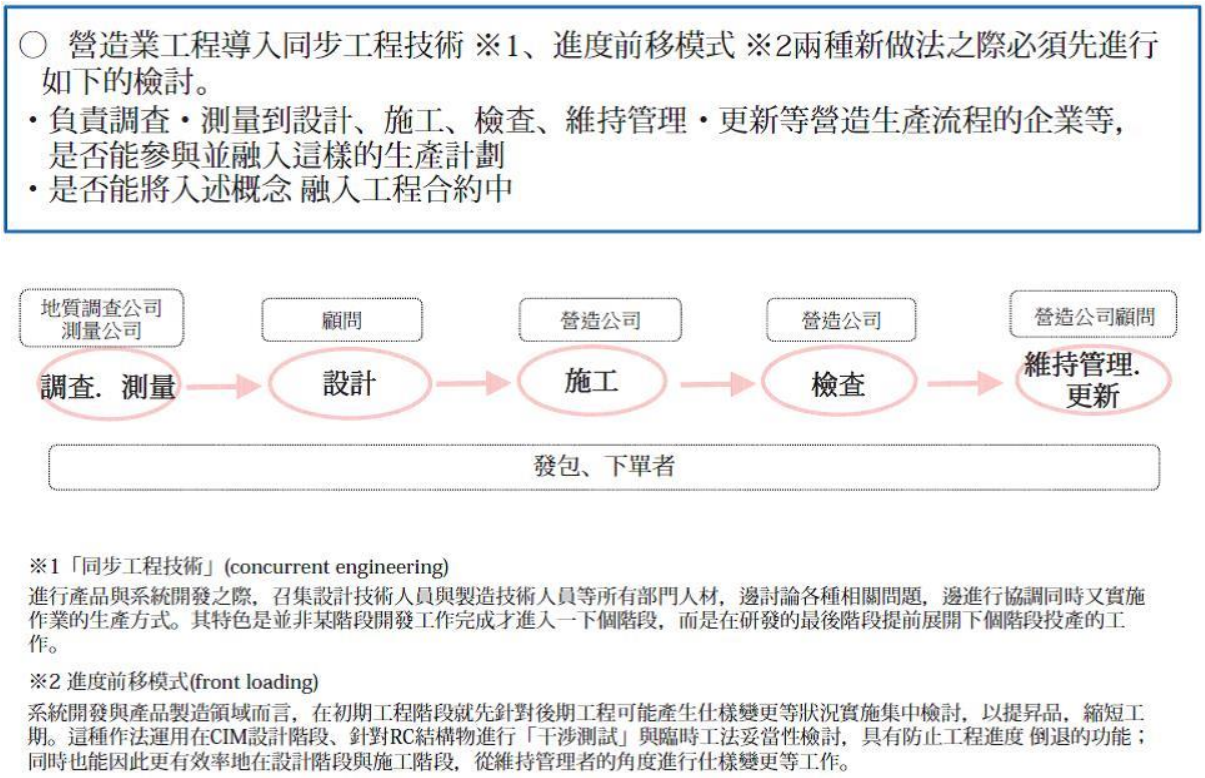


圖 4.1.6 同步工程技術（Concurrent engineering）進度前移模式示意圖

二、推動先行者的策略措施

日本擬採全面活用 ICT 流程（土木工程 ICT 化)、導入整體最佳工法（水泥工規格標準化等）及容許跨年度施工等作為推動策略措施，內涵如圖 4.1.7～圖 4.1.9 所示。

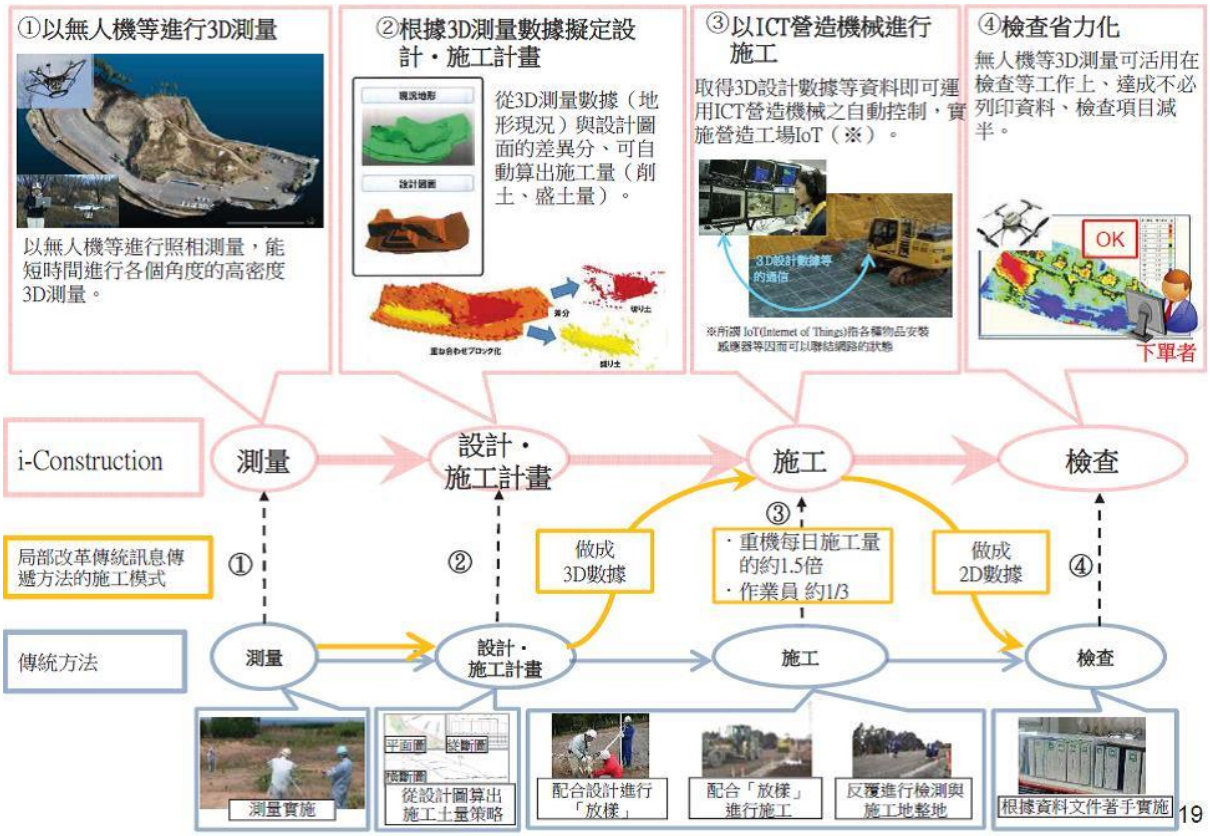


圖 4.1.7 全面活用 ICT 流程



圖 4.1.8 導入整體最佳工法示意圖

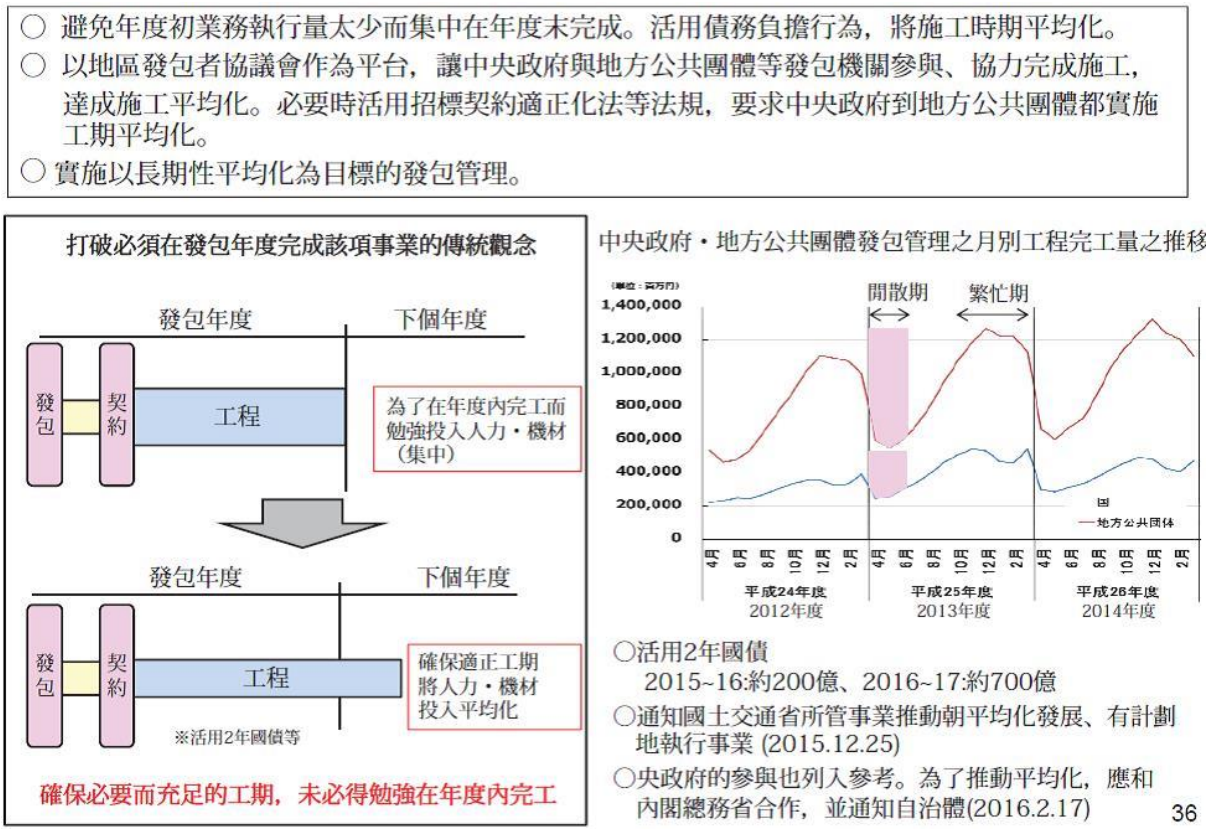


圖 4.1.9 容許跨年度施工策略圖

惟全面活用 ICT 之際，尚面臨監督・檢查基準等尚未齊備，以及 ICT 營造機械尚未普及等課題。為此，為推動全面活化 ICT，仍需立即實施事項如下(圖 4.1.10～4.1.14)：

(一) 引進新基準(標準)。

(二) 導入 ICT 於土木工程時，所需企業設備投資相關的支援。

(三) 增加能運用 ICT 的土木工程技術人員、技能勞工人數。

(四) 技術開發等。

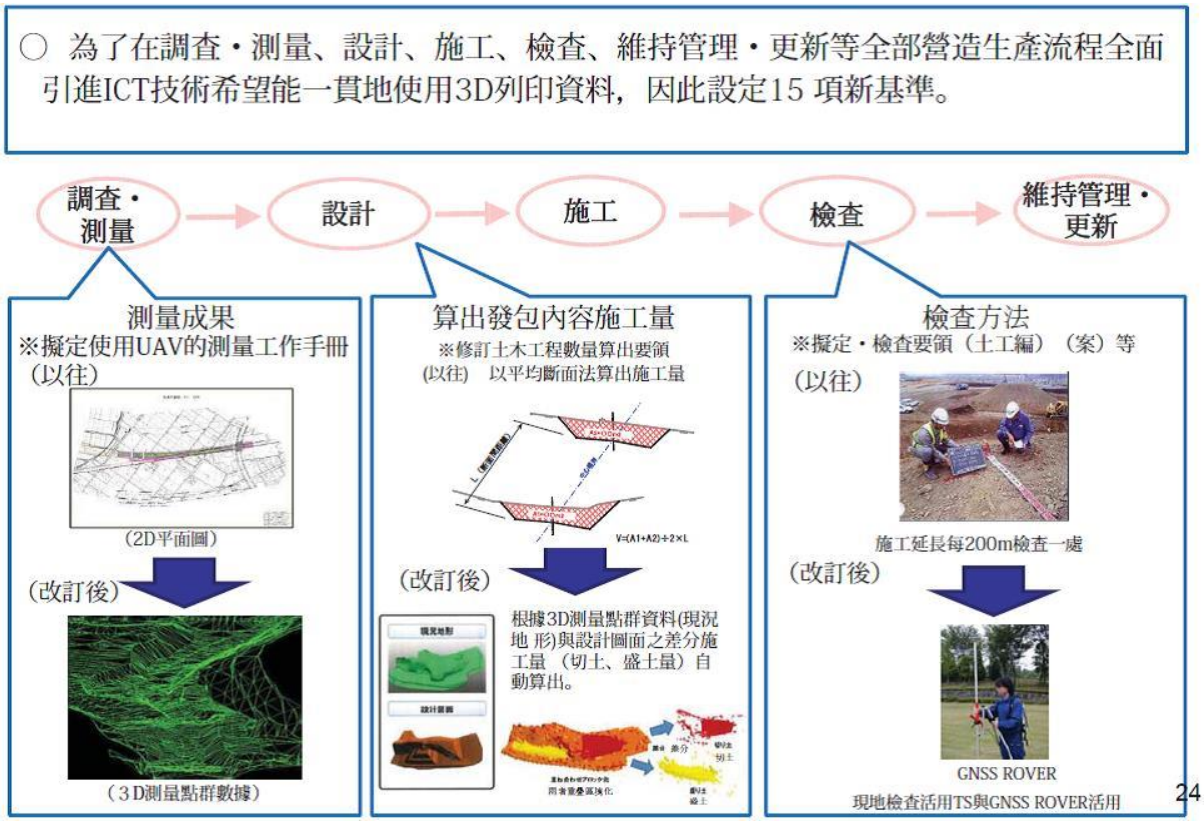


圖 4.1.10 引進新基準(標準)(1/3)

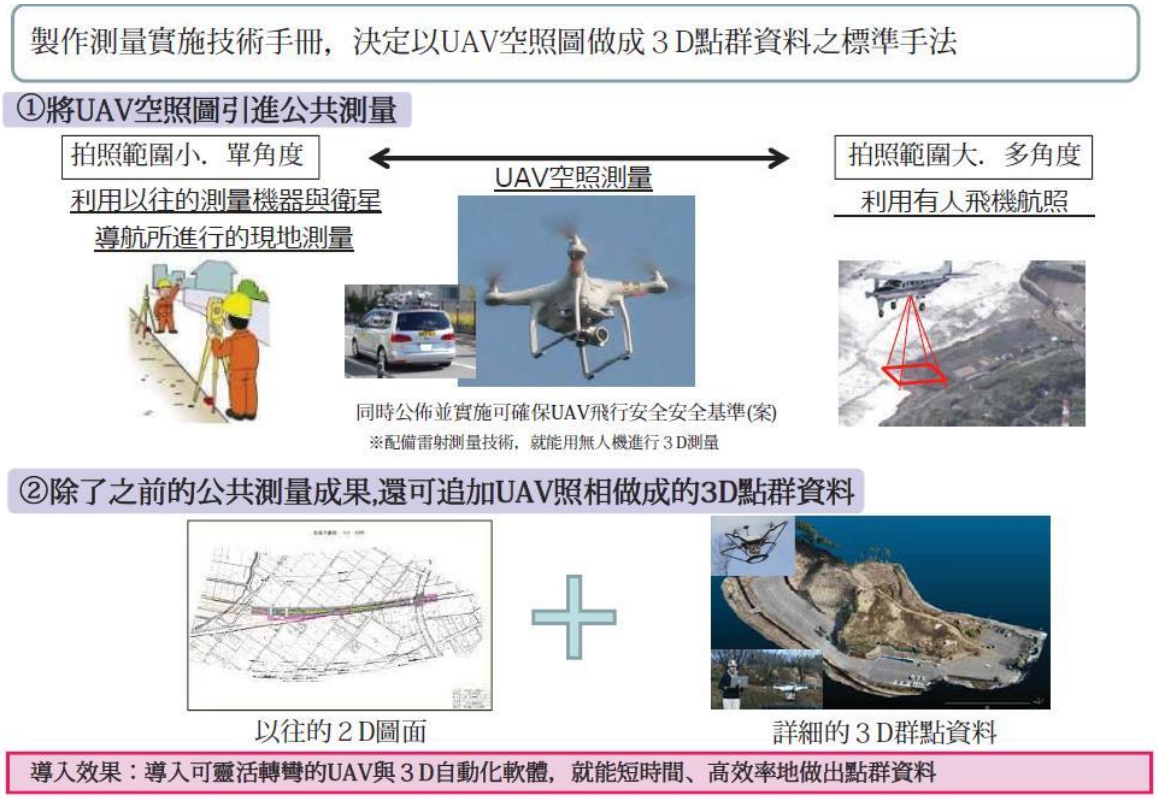


圖 4.1.11 引進新基準(標準)(2/3)

		名稱	新規	改訂	本文參照先（URL）
調查・測量、設計	1	運用UAV的公共測量操作手冊(案)	○		http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/index.html
	2	電子交貨要領(工程及設計)		○	http://www.cals-ed.go.jp/cri_point/ http://www.cals-ed.go.jp/cri_guideline/
	3	3D設計數據交換標準(含同運用方針)	○		http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/des.html
施工	4	全面活用ICT的實施方針	○		http://www.mlit.go.jp/common/001124407.pdf
	5	土木工程施工管理基準(案)(工作流程管理基準及規格□)		○	http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou/pdf/280330kouji_sekoukanrikijun01.pdf
	6	土木工程數量算出要領(案)(含根據施工履歷資料的土工□量算出要領(案))	○	○	http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/suryo.htm http://www.mlit.go.jp/common/001124406.pdf
	7	土木工程共通仕樣書 施工管理相關文件(憑證:工程流程是否符合判定總括表)	○		http://www.nilim.go.jp/japanese/standard/form/index.html
	8	使用空照測量(無人機)的工程流程管理要領(土工編)(案)	○		http://www.mlit.go.jp/common/001124402.pdf
	9	使用雷射掃瞄的工程流程管理要領(土工編)(案)	○		http://www.mlit.go.jp/common/001124404.pdf
檢查	10	地方工務局土木工事檢查技術基準(案)		○	http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou.html
	11	完工部分檢查技術基準(案)及同解說		○	http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou.html
	12	部分付款的□量處理方法(案)		○	http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou.html
	13	使用空照測量(無人機)的工程流程管理監督・檢查要領(土工編)(案)	○		http://www.mlit.go.jp/common/001124403.pdf
	14	使用雷射掃瞄的工程流程管理監督・檢查要領(土工編)(案)	○		http://www.mlit.go.jp/common/001124405.pdf
	15	工程成績評定要領的運用		○	http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou.html
積算基準		活用ICT的工程估算要領	○		http://www.mlit.go.jp/common/001124408.pdf

圖 4.1.12 引進新基準(標準)(3/3)

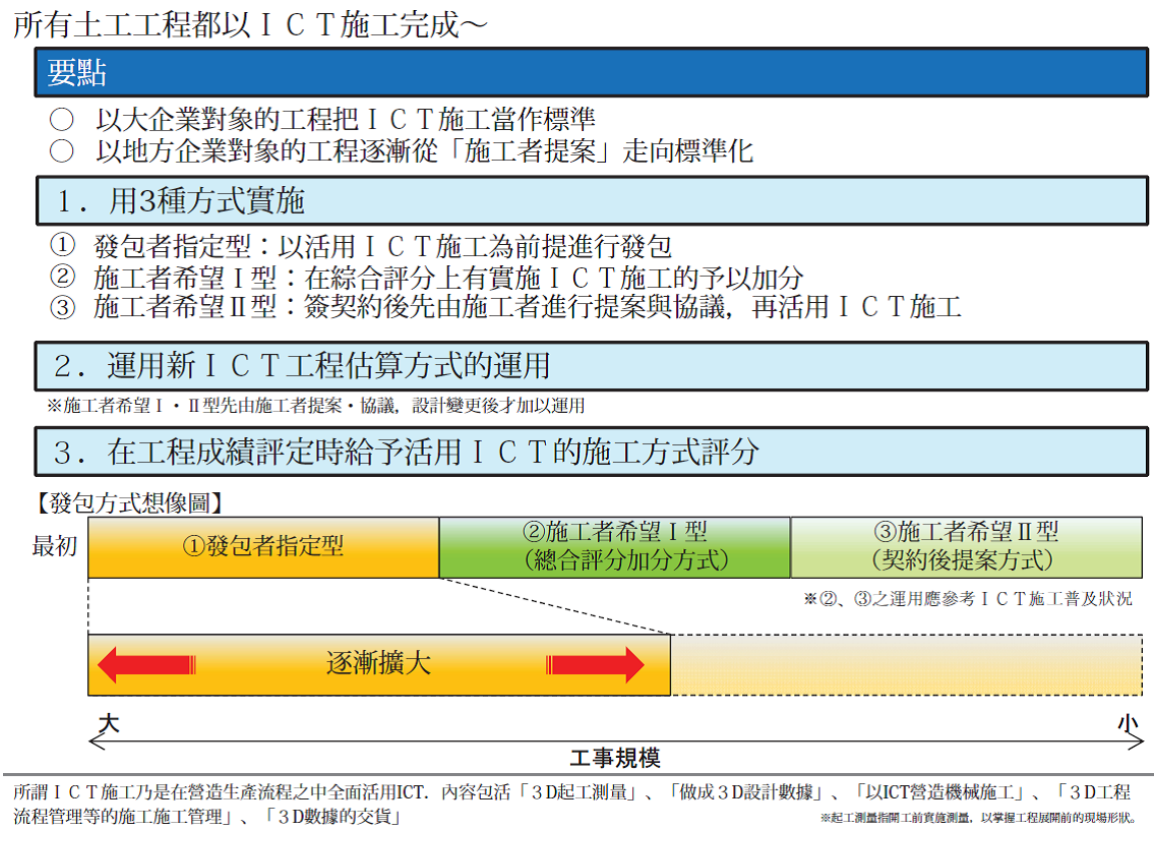


圖 4.1.13 土木工程應用 ICT 所需之企業設備投資與相關支援

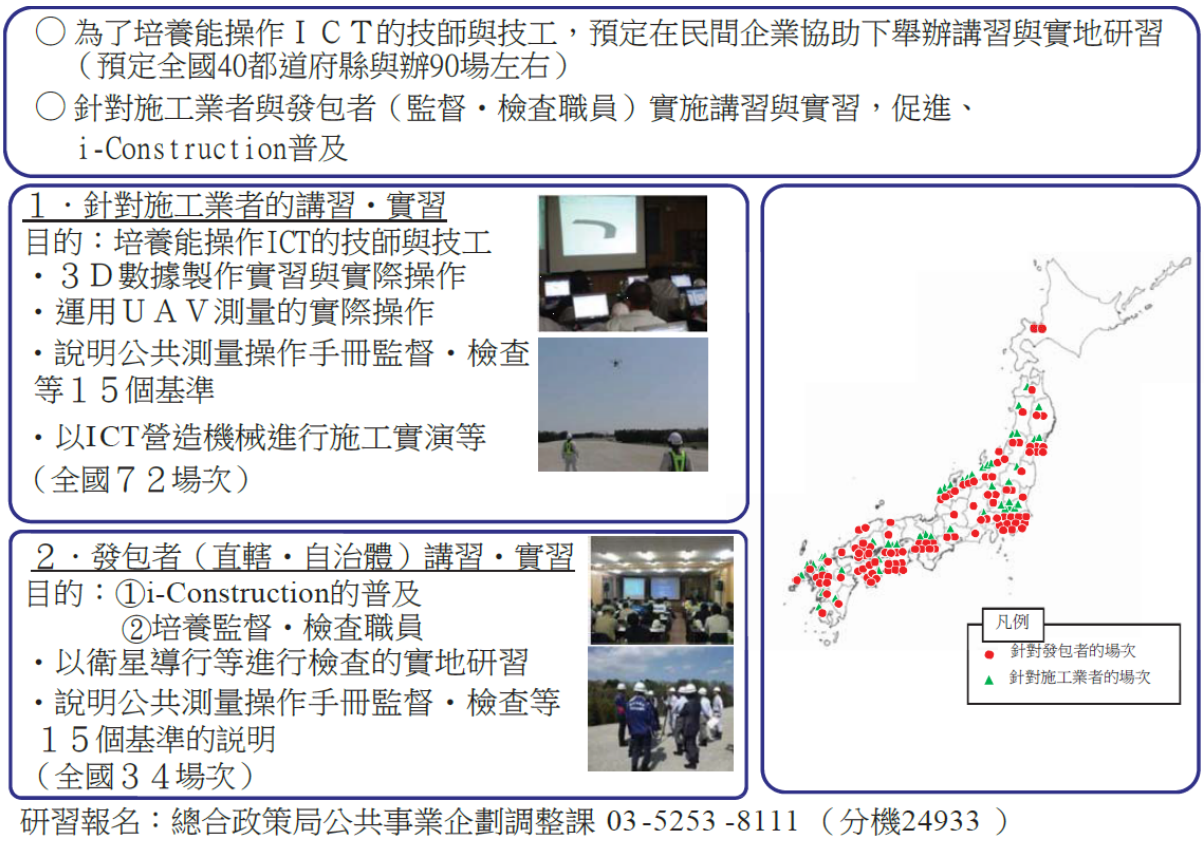


圖 4.1.14 增加能運用 ICT 之土木工程技術人員・技能勞工人數

三、日本推動i-Construction之工作重點

(一) 推動 i-Construction 相關工作架構(圖 4.1.15～圖 4.1.16)

督促國土交通省和地方政府相關單位成立推動相關工作架構，協助推展「直轄事業」，讓這套作法也能普及於地方公共團體以及其他發包者。

(二) 推動成立 i-Construction 聯盟 (圖 4.1.17)

為了盡快掌握急速發展的 IoT 等最新技術動向等，產官學應協力成立 i-Construction 聯盟。

(三) 活用 i-Construction 相關大數據(圖 4.1.18)

將做成的 3D 數據轉化成大數據加以活用，可進一步提高生產效率與維持管理， 更新等功能。

(四) 強化和其他現地生產或作業的行業的之合作關係(圖 4.1.19)

這套作法若要擴及其他現地生產行業，如礦業、農業、林業等，應加強宣傳 i-Construction 之要領（knowhow）。

(五) 海外展開(圖 4.1.20)

日後日本營造業相關「聯盟」若想成為全球領先者，為此必須先符合各類國際標準及各類套裝產品，以利向海外宣傳、推廣。

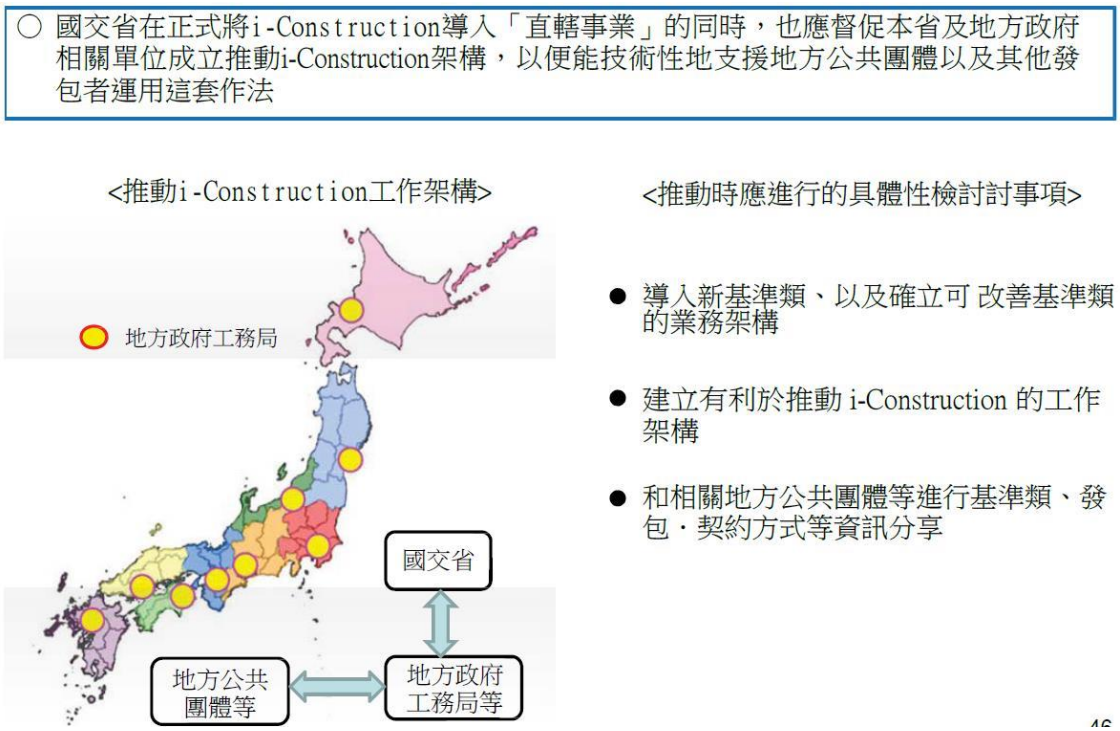


圖 4.1.15 推動 i-Construction 工作架構(1/2)

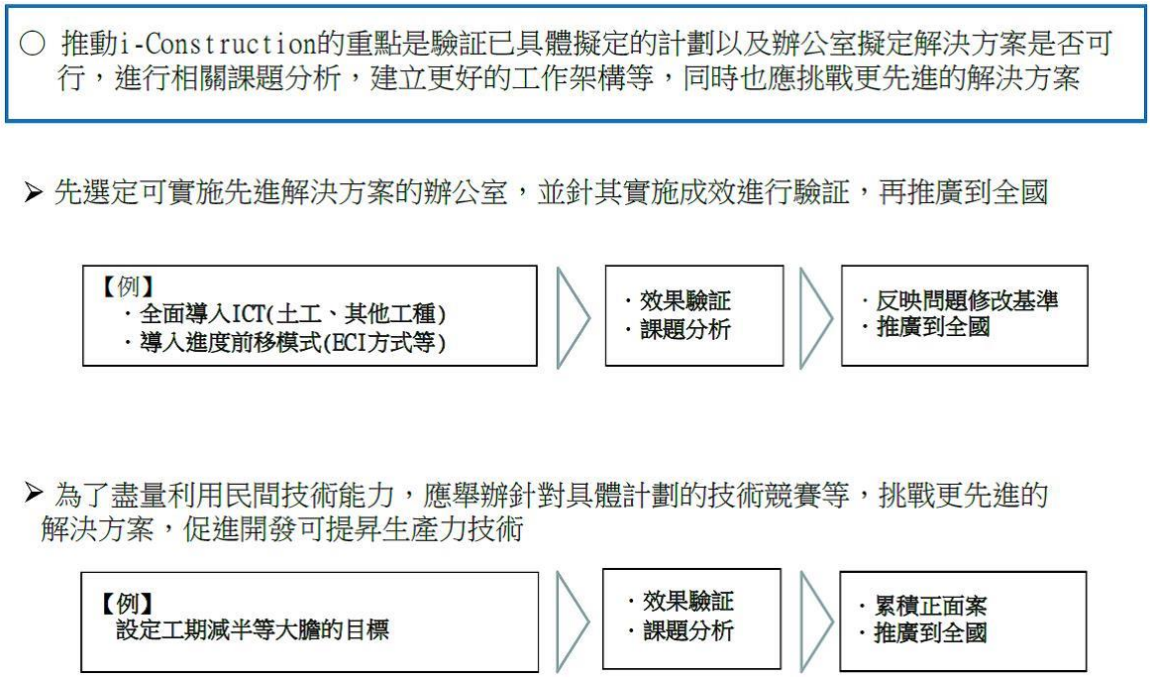


圖 4.1.16 推動 i-Construction 工作架構(2/2)

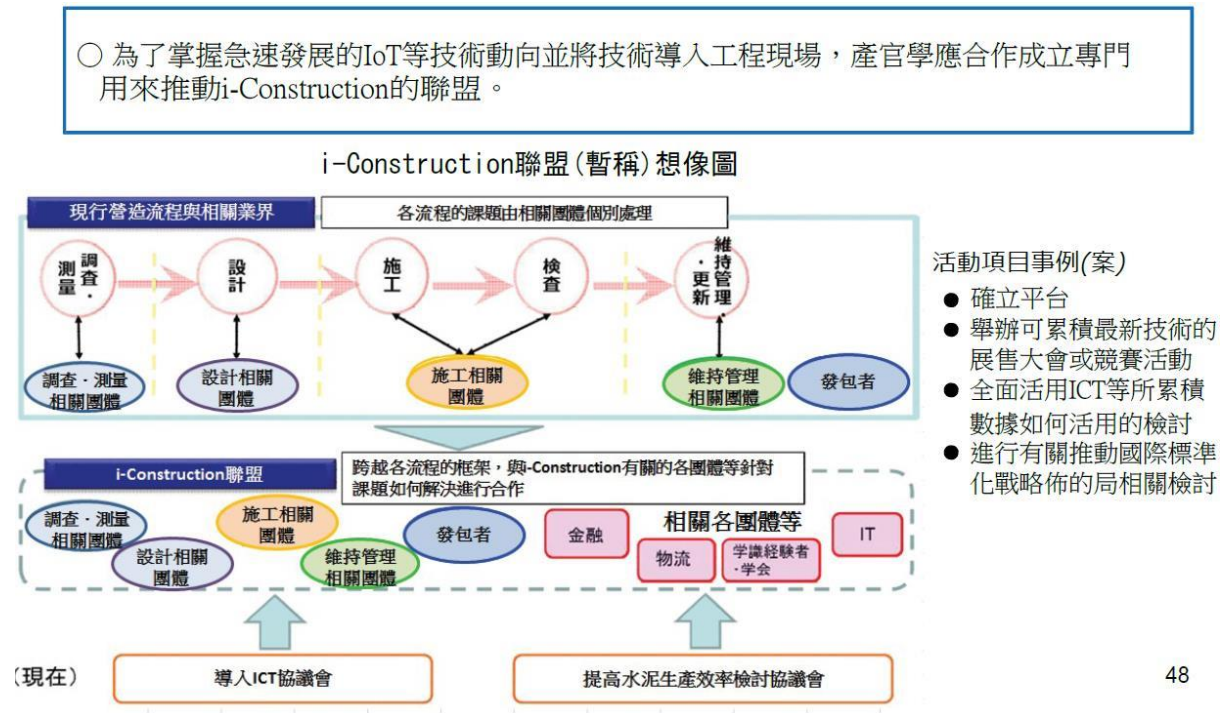


圖 4.1.17 成立推動 i-Construction 聯盟

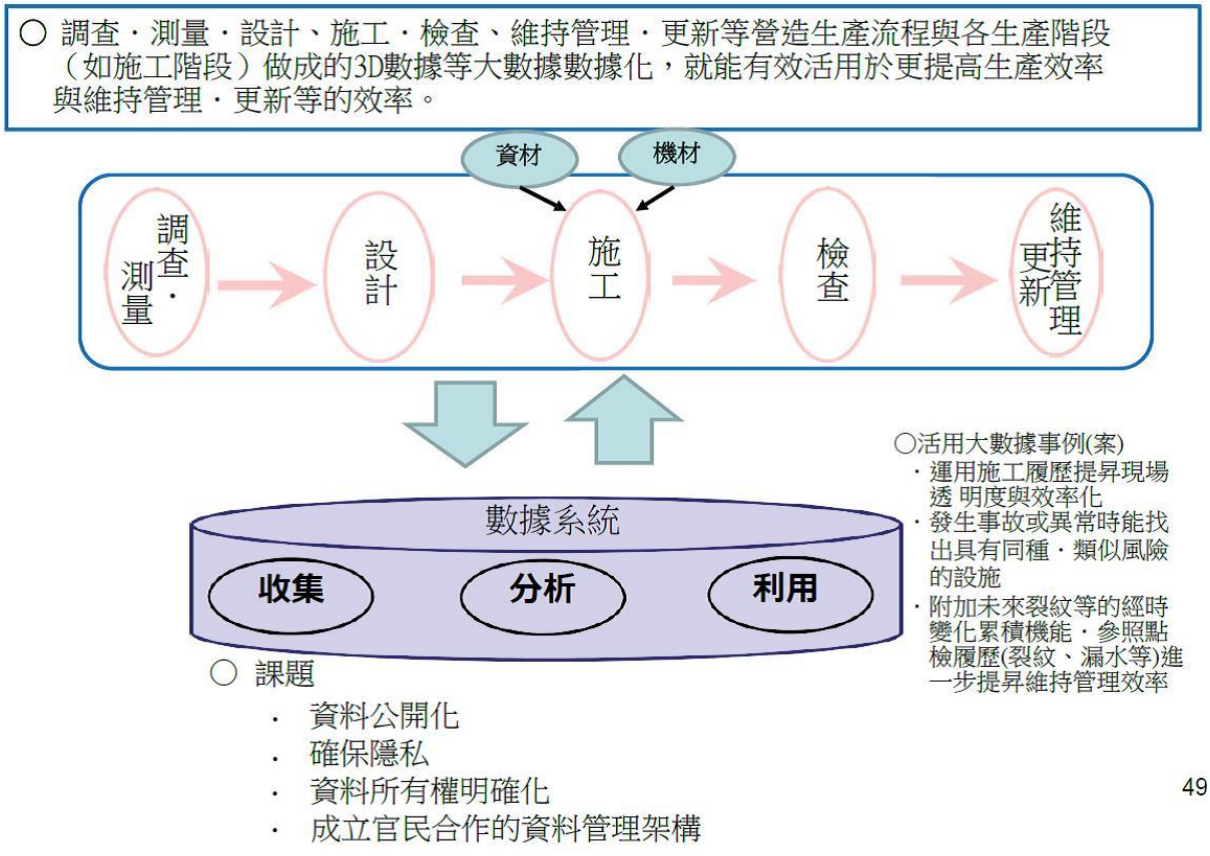


圖 4.1.18 活用 i-Construction 相關大數據

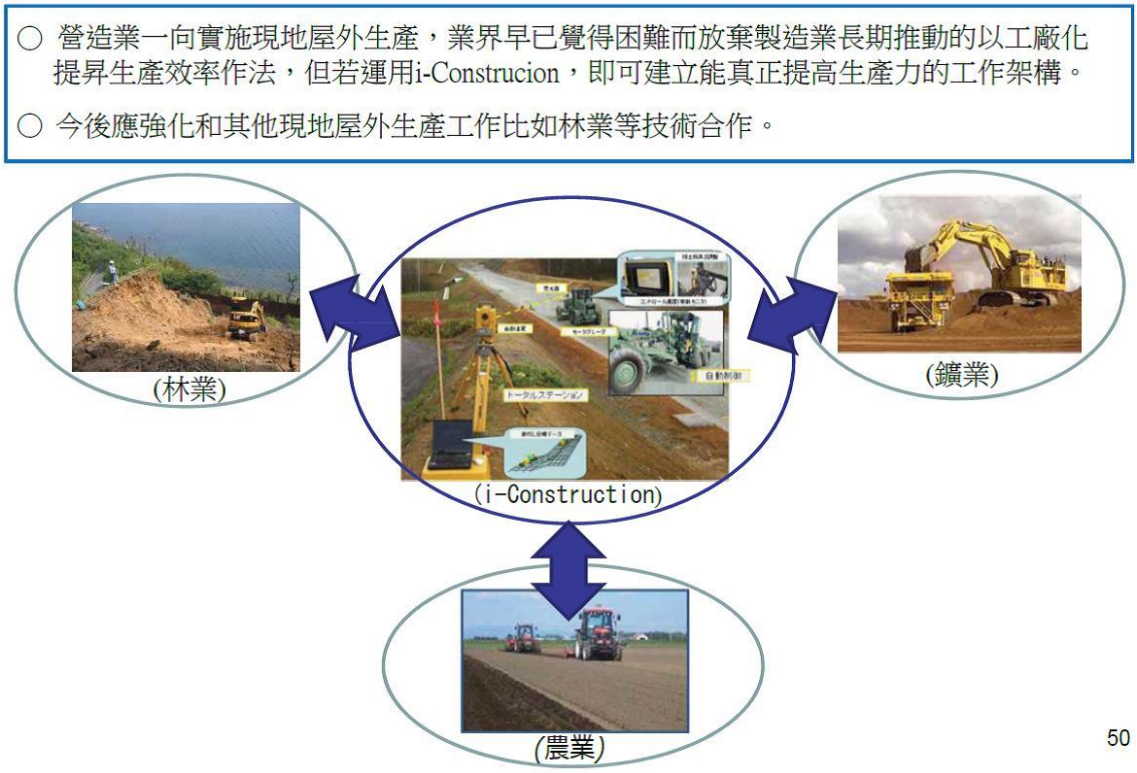


圖 4.1.19 強化和其他屋外生產或作業行業的合作關係

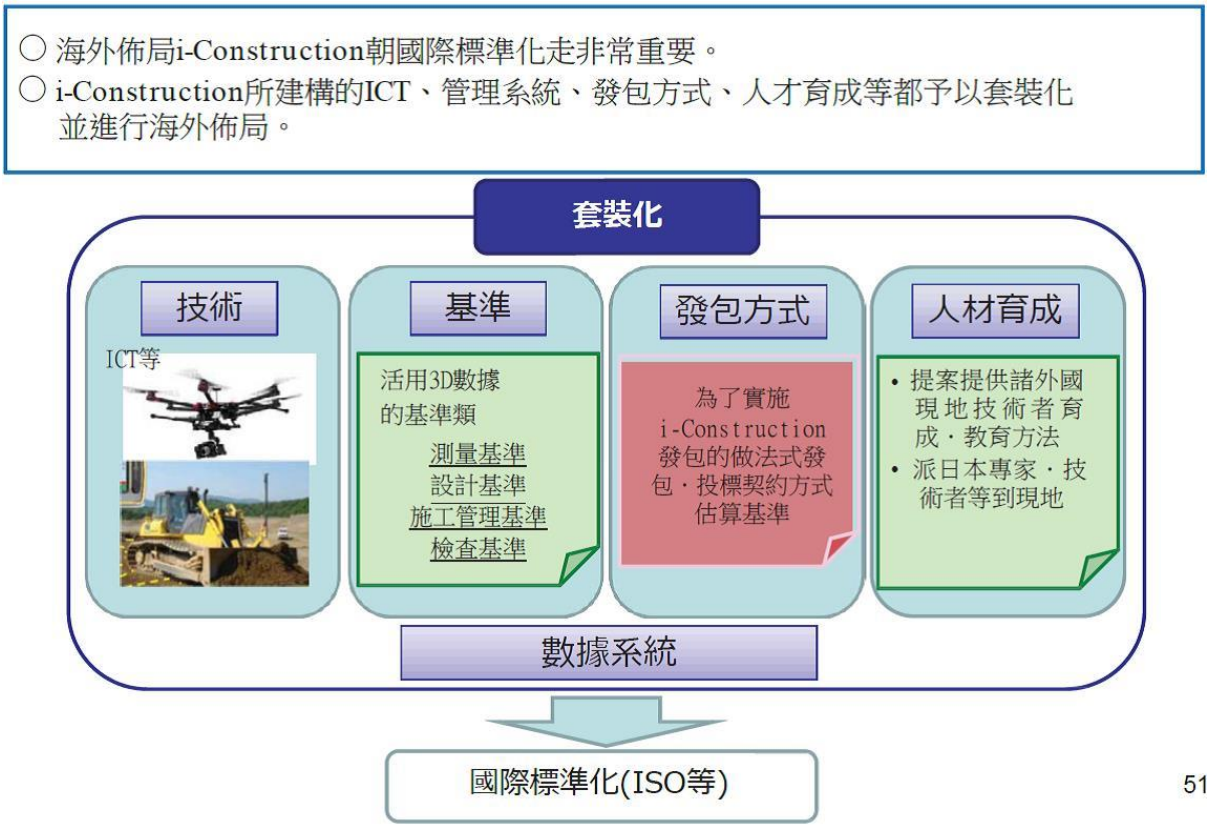


圖 4.1.20 日本 i-Construction 海外佈局策略

四、i-Construction願景目標

(一) 提升生產效率

全面活用 ICT 之後，未來生產效率可提昇約 2 倍。搭配工期容許跨年度等措施，生產效率還可再提高 5 成。

(二) 轉換成更有創造力的業務

藉由 ICT 化提昇效率，可協助技術性勞工建立更有創造力的業務，培養可達成多樣性需求。

(三) 提昇薪資水準

提昇生產效率讓工作量穩定且平均，就可改善企業經營環境，進而實現提高薪資水平、工作量平均而穩定的目標。

(四) 讓勞工有充分的休假

營造工程效率提昇、工期平均化後，員工就能取得更穩定的休假。

(五) 提高安全性

減少重機械周邊作業與高處作業，提昇員工安全保障。

(六) 多樣的人材活用

實現能讓女性與高齡者等更活躍參與勞動的社會。

(七) 對於活化地方的貢獻

提昇地區營造產業生產效率可實現更有魅力的營造現場，重建地區活力。

(八) 實現能帶來新希望的新型態營造現場

可實現「加薪、員工充分休假、帶來希望」的新型態營造現場。

(九) 宣傳策略

讓營造現場與營造工作變得更有魅力的導入 i-Construction 效果，有必要廣為周知。

第二節　日本綜合性土砂災害對策報告

儘管日本對於土砂防災相關機制之建立，在世界上已是屬一屬二。但 2013 年 10 月日本伊豆半島大規模土砂災害，造成 39 人死亡或失蹤；以及 2014 年 8 月的廣島市土砂災害更造成 74 人死亡嚴 重災情，讓日本政府不得不重新檢視相關之防災策略，特別是發生於半夜的短延時強降雨之防災對策。自 2014 年底起，日本政府記取廣島土砂災害等土砂災害教訓，全面調查近年來全國各地豪雨發生狀況，之後，不僅從推動國土強韌化、土地創生的角度深入檢討，了解各地土砂災害耐受能力是否太弱，檢討是否能提出綜合性對策，因此在中央防災會議「防災對策實行會議」之下成立「綜合性土砂災害對策檢討工作小組」，進行各級政府一體的土砂災害對策檢討。其中，此工作小組所擬訂之「推動綜合性土砂災害對策措施之報告」之概要詳如圖 4.2.1。而各項重要措施及方案，詳如圖 4.2.2~圖 4.2.10。



圖 4.2.1 推動綜合性土砂災害對策措施之報告」之概要



圖 4.2.2 掌握並分享土砂災害特徵與災害危險地區資訊

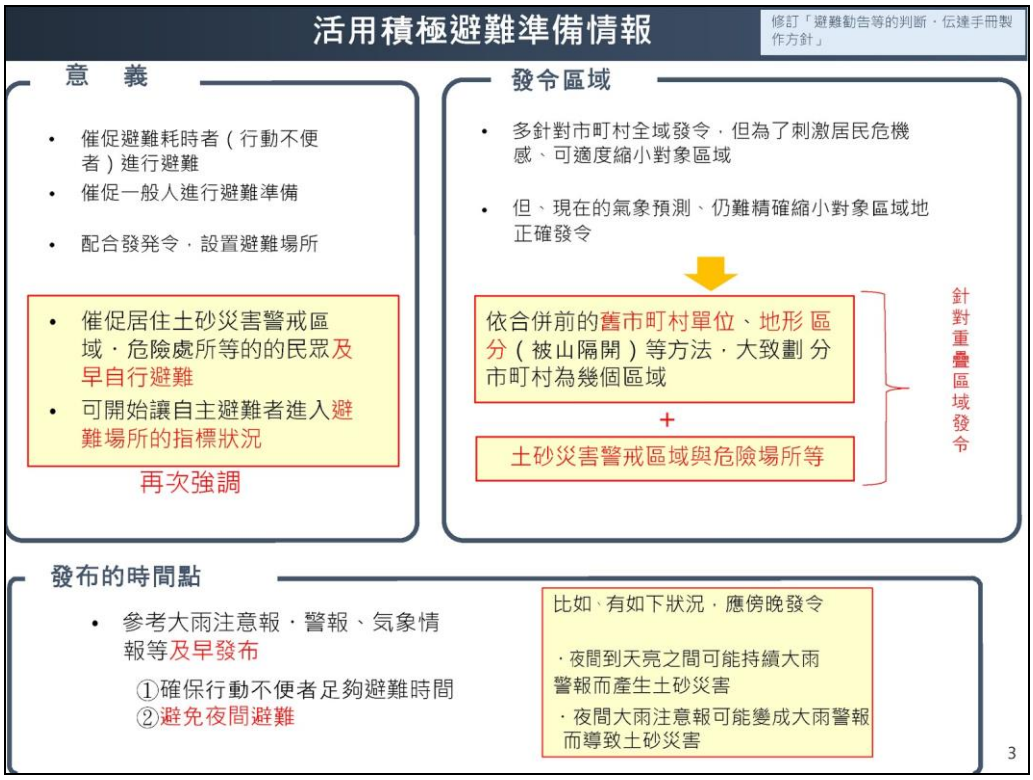


圖 4.2.3 活用積極避難準備情報

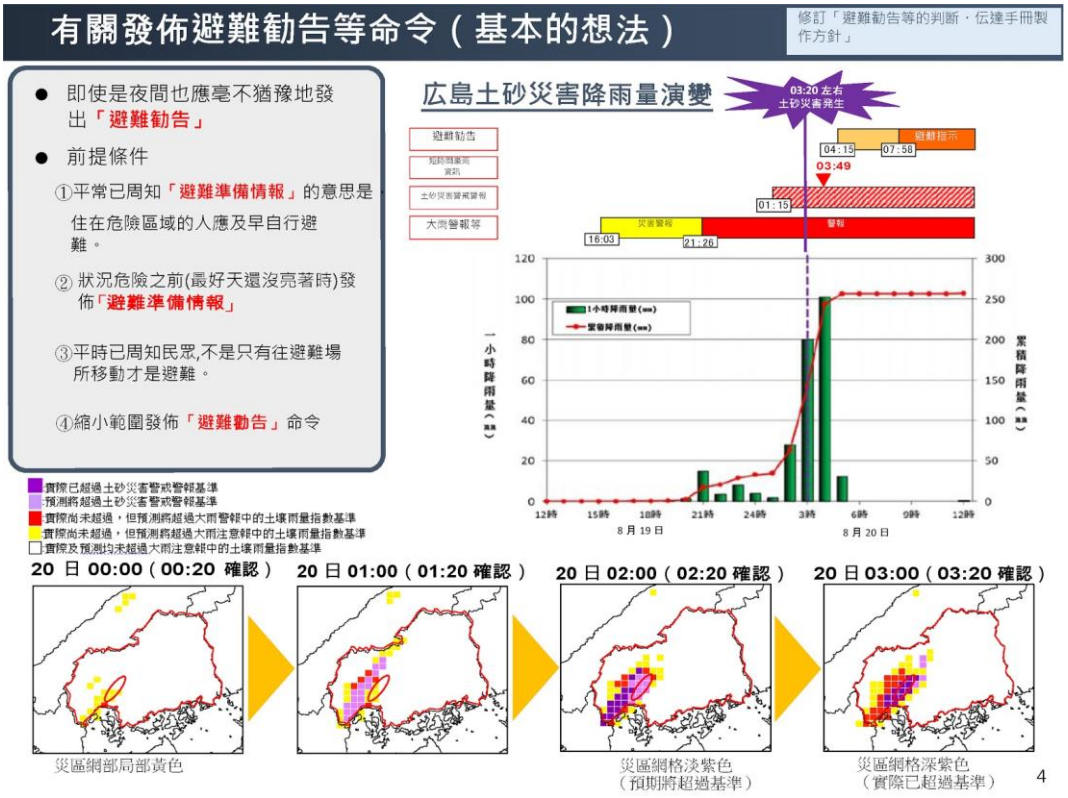


圖 4.2.4 有關發佈避難勸告等命令（基本的想法）

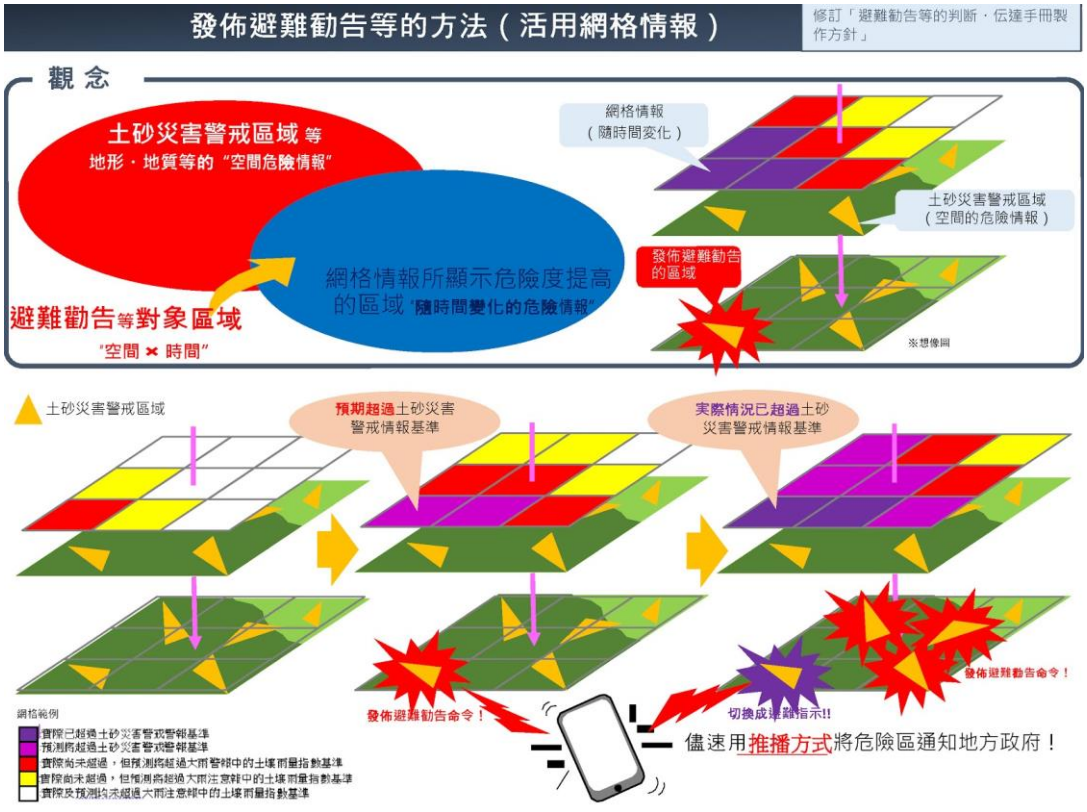


圖 4.2.5 發布避難勸告等的方法(活用網格情報)

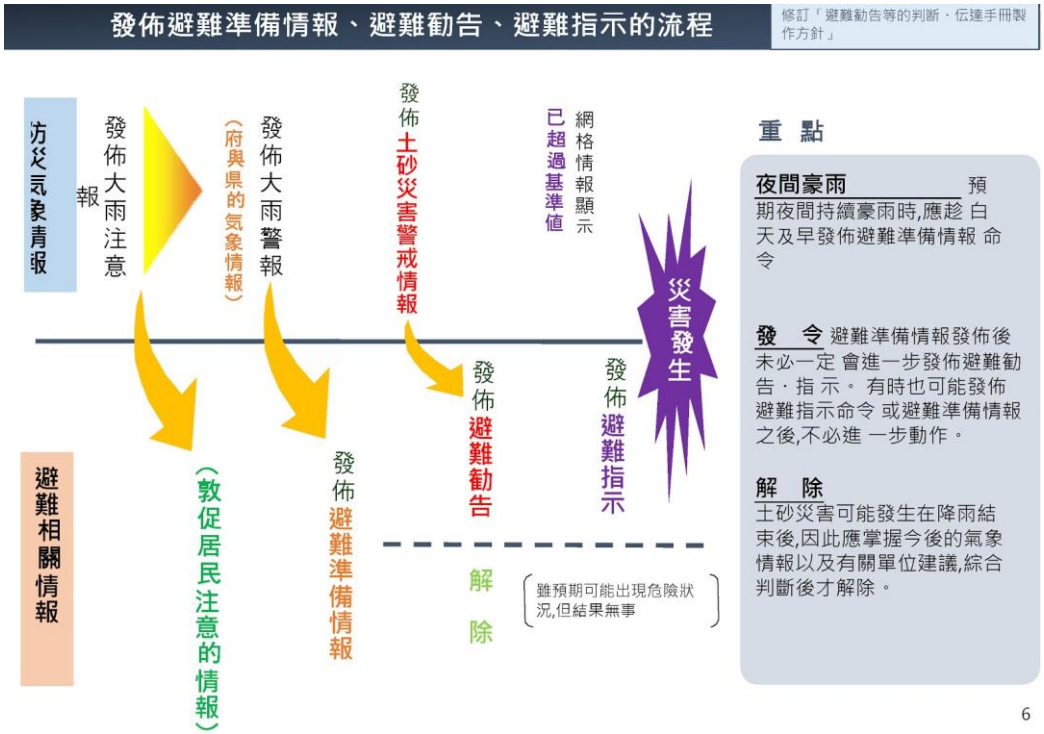


圖 4.2.6 發布避難準備情報、避難勸告、避難指示的流程



圖 4.2.7 「指定緊急避難場所」與「指定避難所」之差異



圖 4.2.8 外出危險時的避難處所

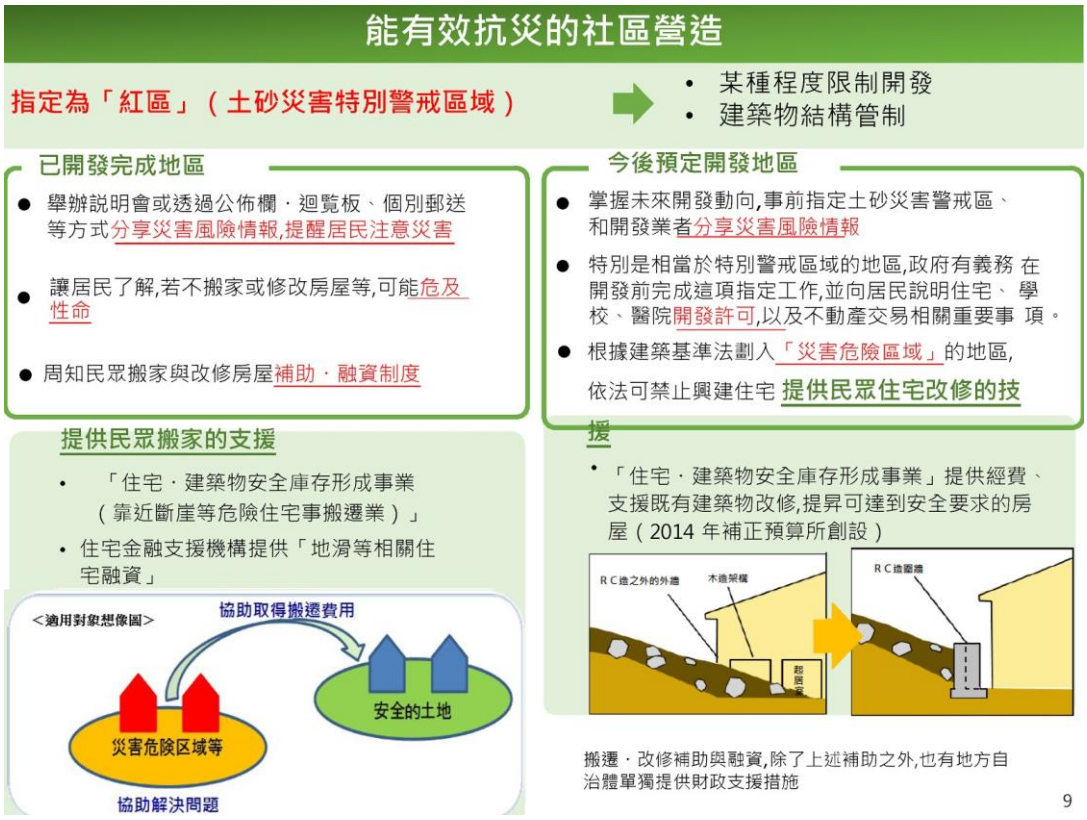


圖 4.2.9 能有效抗災的社區營造



圖 4.2.10 迅速的救災與重建活動

第三節　以廣島土砂災害探討日本土砂災害防止法制定背景與影響

一、廣島市概況

廣島縣位於日本本州島西南側，地理上屬於中國地區。而廣島市位屬廣島縣西南方，南面與瀨戶內海相鄰，出海口是為廣島灣(圖 4.3.1)。廣島市為太田川下游的沖積忙原範圍，主流太田川在可部北區匯 流後順流而下，在廣島市中心形成沖積忙原並於廣島灣出海，因此市中心區至可部地區皆為忙原區，面積約占全市之 20%，且支流甚多； 廣島市西部及東北部之地形則以山丘為主，總面積約占全市之 80%， 在市中心周圍的丘陵地高程多在 300-500 公尺左右，而向外至外圍則 高程約在 1000 公尺左右。由於市中心為沖積忙原，在颱風豪雨易發 生洪水氾濫；而山丘地區因其地質主要為第三紀花崗岩組成，風化作用嚴重，颱風豪雨等極端降雨發生時易發生崩塌、土石流災害。

依據日本氣象廳資料顯示(圖 4.3.2)，六月和七月為主要降雨月份，月降雨量約 250mm 左右，年降雨約 1,500mm。2014 年廣島市

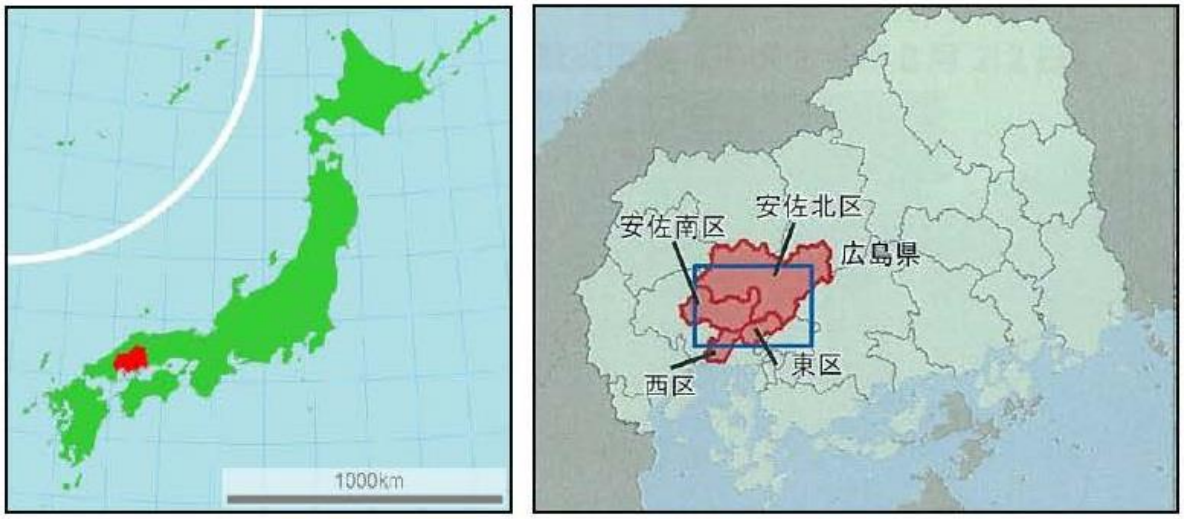


圖 4.3.1 廣島縣位置與廣島市行政區域圖



圖 4.3.2 廣島市降雨統計圖

人口為 118 萬人(台北市人口約 270 萬人)，廣島市人口密度 1,310 人/平方公里。

二、廣島縣災害歷史事件

廣島縣常見的災害以土砂災害和淹水災害為主，表 4.3.1 是二戰後土砂災害災情彙整，死傷最嚴重為 1945 年枕崎颱風，造成 1229 人死亡 783 人失蹤，是廣島縣過去最嚴重的災害。但若只看廣島市的歷史災害，則 1999 年 6 月 29 日及 2014 年 8 月 20 日所發生的土砂災害最為嚴重，共造成 31 人及 74 人死亡。由於 1999 年 0629 豪雨事

件的發生，促使日本開始思考土砂災害高風險區域之警戒區域劃設及其相關土地使用的管制，確定在工程設施的減災策略之下，必須納入非工程的策略提供配合使用，並於隔年（2000 年）通過「土砂災害防止法」，賦予政府劃設坡地災害潛勢地區之法源依據，並提高開發的門檻，詳圖 4.3.3 土砂災害防止法制定背景。

表 4.3.1 廣島縣土砂災害災情統計

西元	月日	災害名	土砂	地震	津波	水害	死亡	失蹤	受傷
1945	9 月 17 日	枕崎颱風	○			○	1229	783	1054
1951	10 月 14 日	ルース颱風	○			○	132	34	361
1967	7 月 8 日	豪雨災害	○			○	159	0	231
1972	7 月 11 日	豪雨災害（縣北）	○			○	35	4	105
1988	7 月 20～21 日	縣北西部豪雨災害集中豪雨（縣北西部）	○			○	14	0	11
1999	6 月 29 日	6.29 廣島土砂災害	○			○	31	1	59
2014	8 月 20 日	8.20 豪雨災害	○			○	74	0	44



圖 4.3.3 土砂災害防止法制定背景

三、土砂災害防止法的推動

從 1999 年後在廣島市的土砂災害之後，考量到土砂災害高潛勢區的警戒以及開發管制等問題，促使了土砂災害防止法的制定，而該法條的訂立，也確保了除了工程手段之外，必要的非工程減災手段，詳圖 4.3.4，也確立形成日本土砂防災之三大對策，圖 4.3.5。土砂災害防止法規定，針對容易發生土砂災害之地區，必預進行基礎調查，確認是否需劃為「災害警戒區域」以及「特別警戒區域」；對於已經確認必須劃為警戒區域者，對於區域內之居民，市町村政府有責任需告知其相關資訊，如警戒區域範圍、防災地圖的發放、疏散避難相關事項等，而這些事項必須列在市町村的防災計畫之中。另外，對於「特別警戒區域」，有更嚴謹的規定，主要是針對開發行為予以規範， 包括土地買賣、社福設施的建設、建物強度規範等。

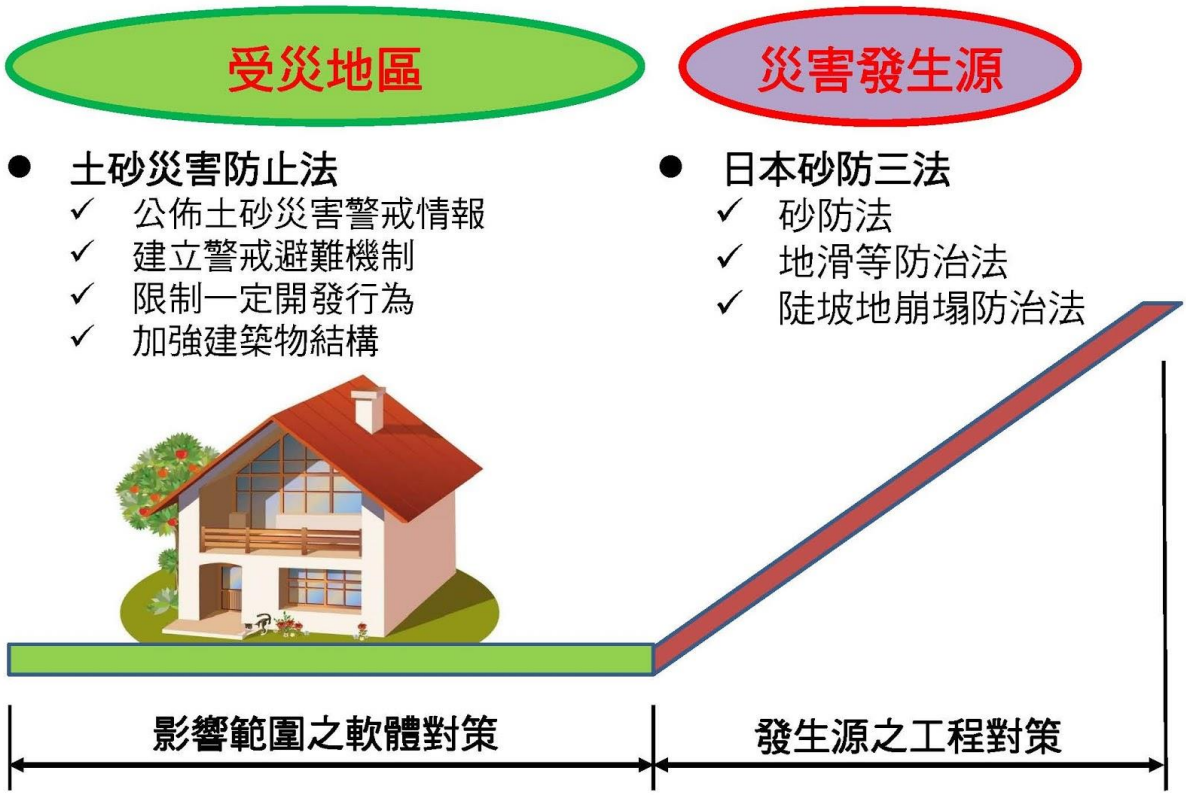


圖 4.3.4 土砂災害防止法與砂防三法之區別

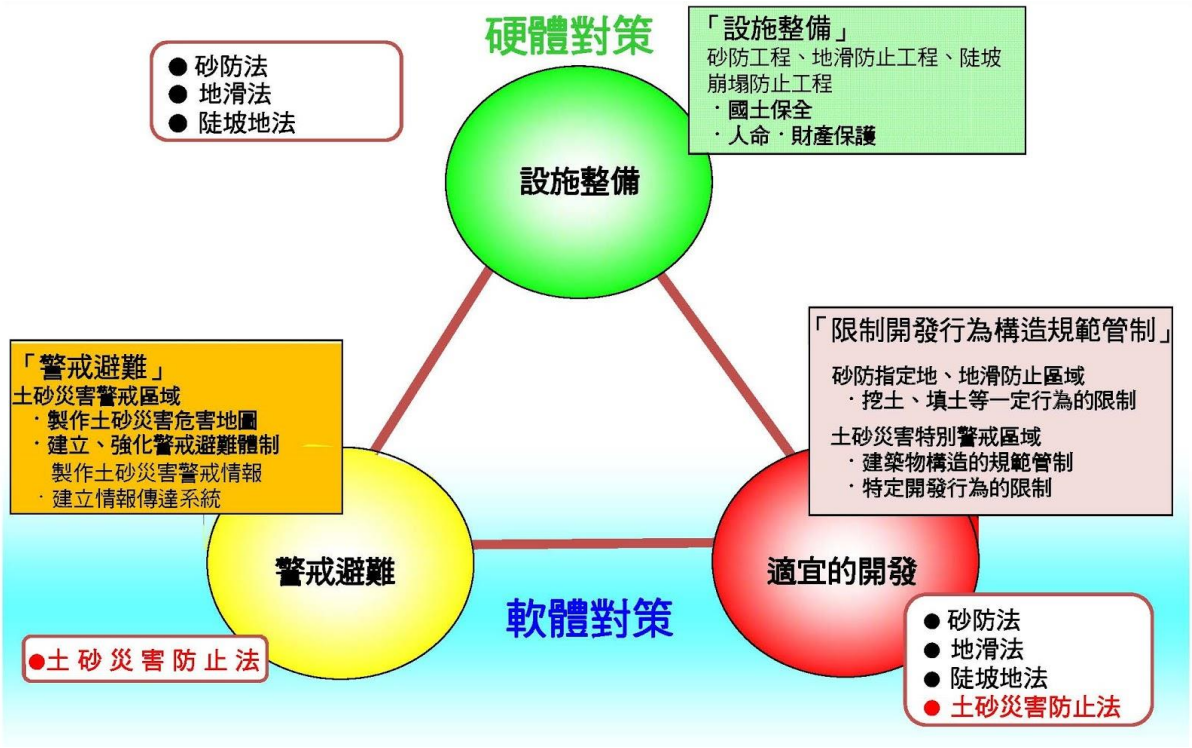


圖 4.3.5 日本土砂防災三大對策與相關法令

廣島縣從「土砂災害防止法」通過後，2002 年開始進行警戒區域的調查、劃定等工作，由原先透過「砂防法」、「陡坡地崩塌災害防止法」、「地滑等防止法」等法律所劃定之陡坡地、地滑、土石流危險溪流等危險區域開始著手，進行基礎調查，根據調查結果判斷是否進一步劃定為警戒區域。目前廣島縣境內共 49,500 土砂災害危險處所需進行調查，其中絕大部分是陡坡地崩塌危險處所，其次是土石流危險區域。

經過 15 年後(2014 年)的廣島市又發生了類似的災害，造成廣島市內多處山坡地發生土石流、土石崩塌與山洪暴發，尤其以廣島市安佐南區及安佐北區之災害發生密度最高。由於多處土石流及崩塌發生在緊臨人口稠密之山坡地地區，造成許多房舍沖毀以及大量傷亡事件，全市死亡人數 74 人、44 人輕重傷，詳圖 4.3.6。

2014 年的災害，反映了土砂災害防止法施行之後，警戒區域的劃定緩慢、現行疏散避難發布流程的缺點及極端降雨事件應變困難等的問題，因此在廣島 2014 年八月土砂災害之後，國土交通省再次推動相關法令的修正。



圖 4.3.6 2014 年廣島土砂災害概況

廣島縣內預定劃定的崩塌、土石流、地滑等土砂災害危險處所約有 49,500 處，是全日本土砂災害危險區域最多的地方。截至 2017 年 3 月僅完成 19,754 處調查，詳表 4.3.2，其中土石流 7,360 處、陡坡崩壞 12,380 處、地滑 14 處。劃定率約 40%，對於危險區域為日本最多的廣島縣而言，的確有稍慢的情形。

表 4.3.2 截至 2017 年 3 月鹿島縣累計完成基礎調查統計

市町名	区域数	市町名	区域数	市町名	区域数
広島市	3,613	庄原市	1,294	熊野町	37
呉市	2,908	大竹市	498	坂町	58
竹原市	1,157	東広島市	1,182	安芸太田町	918
三原市	496	廿日市市	1,166	北広島町	730
尾道市	987	**安芸高田市**	**166**	大崎上島町	86
福山市	1,609	江田島市	225	世羅町	838
府中市	553	府中町	26	神石高原町	119
三次市	1,042	海田町	46	合計(14 市 9 町)	**19,754**

對於警戒區域的劃定出現障礙的狀況，根據國土交通省針對各縣政府的調查結果顯示（圖 4.3.7），除了有地方政府（市町村）自己的想法，希望能夠由地方自治會或地方政府進行劃定，而需再協調之外， 和居民溝通的過程是最大的因素。畢竟當劃定為警戒區域、甚至是特別警戒區域之後，不但會造成該地區的房價下滑、甚至有可能無法再進一步開發，在防災、開發的權衡利弊考量之下，防災可能獲得的無形利益經常會被忽視。

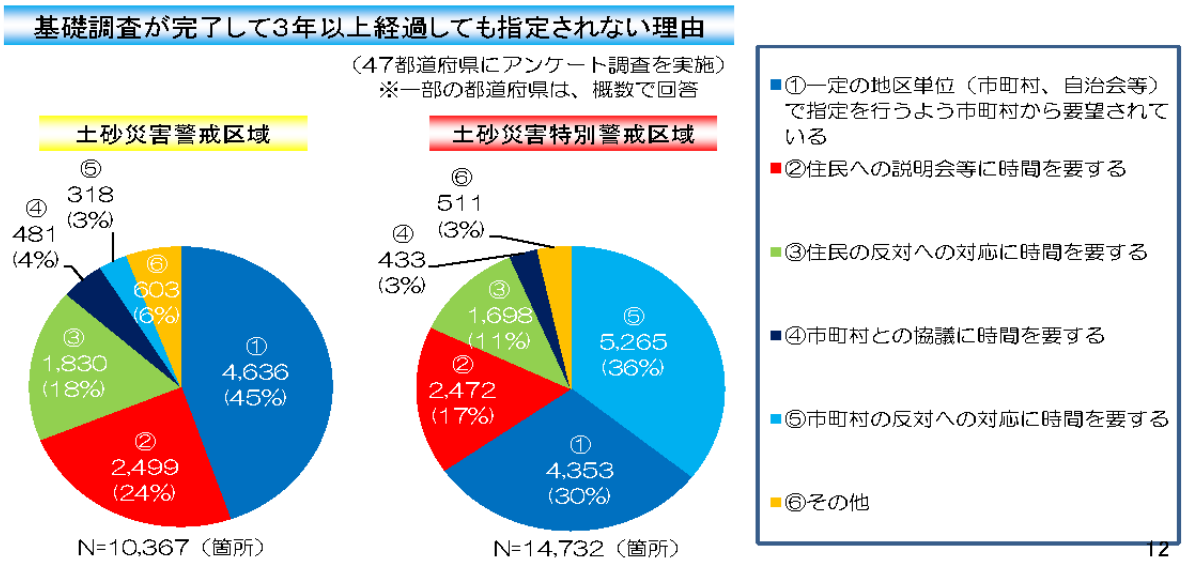


圖 4.3.7 縣政府未完成警戒區劃定之理由

此外，由於廣島市安佐南區人口數已超過 24 萬人，該地人口密度高達 2060 人/ km2，由表 4.3.3 可了解該區人 口一直呈現正成長趨勢。在一個土地面積有限的地區，人口增加相對建地需求也增加，當建地需求大於土地容許量時，土地開發就會往限制開發地區發展。圖 4.3.8 為統計建物新建之情況，隨著人口逐年增加，地圖中山坡地開發建築界線亦逐年往山坡地退縮，如 1948 年(藍)、1969 年(黃)和 2009 年(紅)。因此從 2014 年災後影像(圖 4.3.9) 所見，建物緊鄰山坡開發、砍斷坡腳和建物座落在河谷扇狀地中， 這樣高度開發的情況屢見不鮮。

表 4.3.3 廣島市安佐南區 1960 至 2010 年每十年人口變化

年	1960	1970	1980	1990	2000	2010
安佐南區	40, 708	84, 905	157, 720	175, 211	204, 636	233, 733



房屋改變時序	1948-1969	1970-1988	1989-2009
新增(棟)	152	94	10
改建(棟)	-	21	1
2014損毀(27棟)	14	13	-

圖 4.3.8 安佐南區八木地區山坡地開發情況



圖 4.3.9 安佐南區山坡地開發情況資料

廣島市的土砂災害潛勢本來就高於日本其他地區，從近 60 年的人口增加、都市發展擴張顯示，民眾居住朝山坡地發展，在未即時管制開發情況下，山坡地住宅社區已成事實，大大增加了土砂災害的風險，不僅是本次災害的發生，未來這些位處於高災害潛勢地區的居所，都將面臨短延時強降雨所導致的災害風險。

藉由日本廣島土石流災害的經驗，醒思山坡地建築開發管制必需重新思考設計標準與限制，包括坡度的限制、建物退縮距離的提高、地質敏感、災害潛勢的分析等，避免將居住環境暴露於高災害潛勢範圍內，以降低災害風險。對於現況環境已位於高災害潛勢範圍內，也要與民眾溝通、研擬逐步改善災害風險的調適對策。

第四節　日本深層崩塌對策基本技術事項

為因應深層崩塌(大規模崩塌)這類少見，但災害規模及其影響巨大的災害，傳統的防砂設施及軟體防災對策未必能妥切因應，因此日本國土技術政策總合研究所(NILIM)於 2014 年 9 月撰寫「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」手冊，彙整日本近期所提出之相關對策。簡要摘錄如下：

一、大規模崩塌引起之之土砂災害類型

依土石流動機制及型態可約略分為堰塞湖類型、土石流類型、重力堆積類型等三類。

二、大規模崩塌之成因

(一) 因地下水位急遽上昇所產生之大規模崩塌

(二) 因地盤晃動產生之大規模崩塌

(三) 因重力變形作用產生之大規模崩塌

三、大規模崩塌可能發生之區域

(一) 有關大規模崩塌推測頻率地圖

參照國土交通省 水管理・國土保全局 砂防部（2010）大規模崩塌推測頻率地圖，如圖 4.4.1。http://www.mlit.go.jp/common/000121614.pdf

(二) 有關大規模崩塌遺跡密度地圖

參照國土交通省 水管理・國土保全局 砂防部（2012）大規模崩塌遺跡密度地圖，如圖 4.4.2。

http://www.mlit.go.jp/common/000223656.pdf

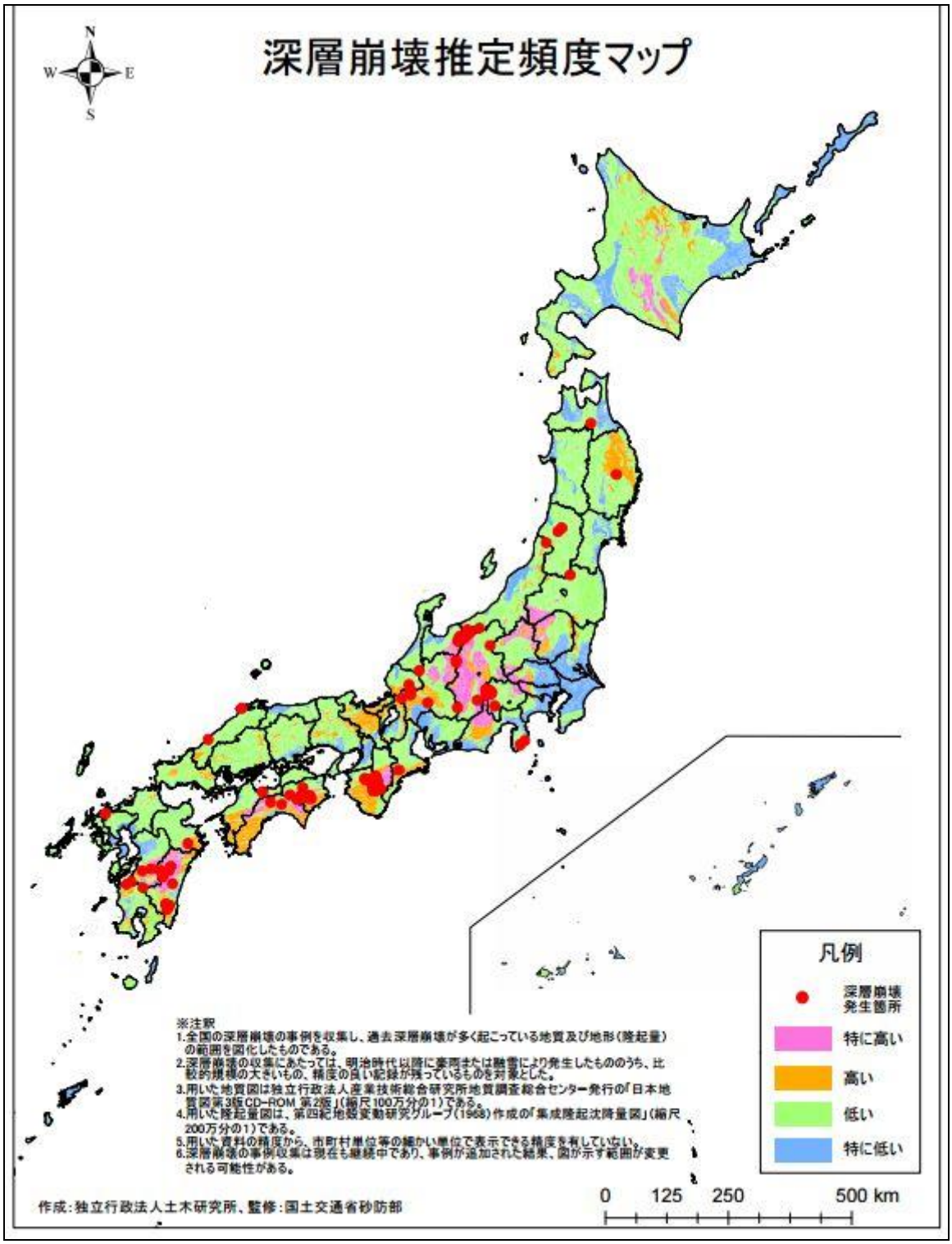


圖 4.4.1 大規模崩塌推測頻率地圖

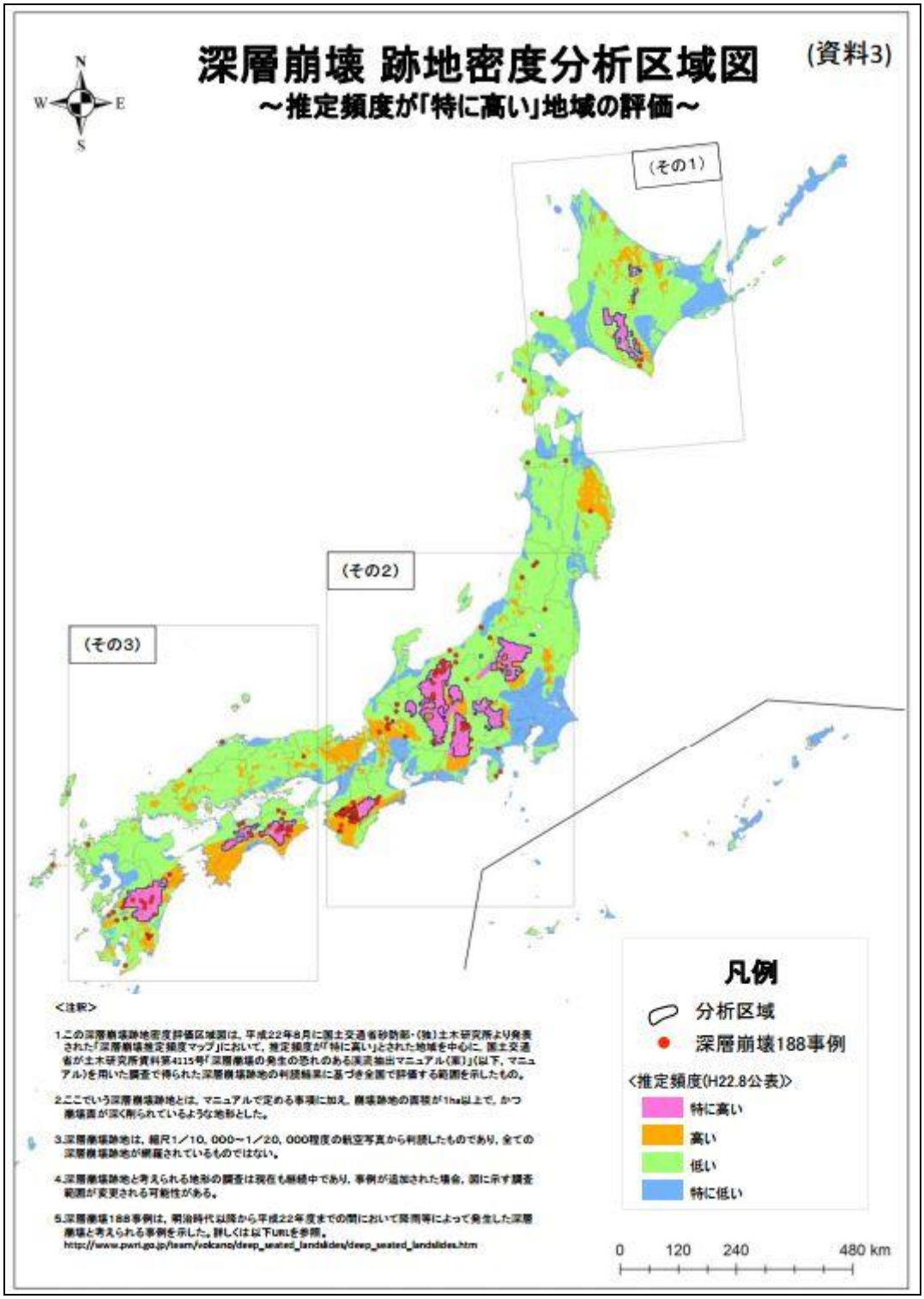


圖 4.4.2 大規模崩塌遺跡密度地圖

四、硬體對策

(一) 堰塞湖類型崩塌案例對策

如圖 4.4.3 所示，研判可能發生大規模崩塌之坡面進行下列功成措施以預防、減輕土石災害的影響。

1.利用防砂壩固定坡腳，促使抑制或抑止大規模崩塌發生。

2.設置格框式或其他型式之透過性防砂壩，減少流入主流之土石流規模，以降低可能形成堰塞湖之高度。另於可能形成堰塞湖之河段，則設置非穿透型防砂壩，使河床上升，進而增加河道寬度，亦有助於降低堰塞湖高度。

3.當堰塞湖形成時，在適當的河段設置防砂壩，可抑制急遽潰壩的發生。

4.當堰塞湖潰壩所產生土石流及洪水流，為控制土砂、泥水流出，應設置透過性防砂壩等設施。

5.設置工程便道、渡河設施及排水隧道，於堰塞湖形成後，有利於執行緊急應變對策。

(二) 土石流類型崩塌案例對策

如圖 4.4.4 所示，研判可能發生大規模崩塌之坡面進行下列功成措施以預防、減輕土石災害的影響。

1.於最靠近崩塌發生之堆積區設置防砂壩固定坡腳，達到抑制或抑止大規模崩塌之發生。

2.在土砂流動段設置非穿透型防砂壩，於崩塌發生時，可減小土石流的規模。

3.在鄰近保全對象設置穿透型防砂壩，當崩塌發生後，產生土石流之攔阻作用。

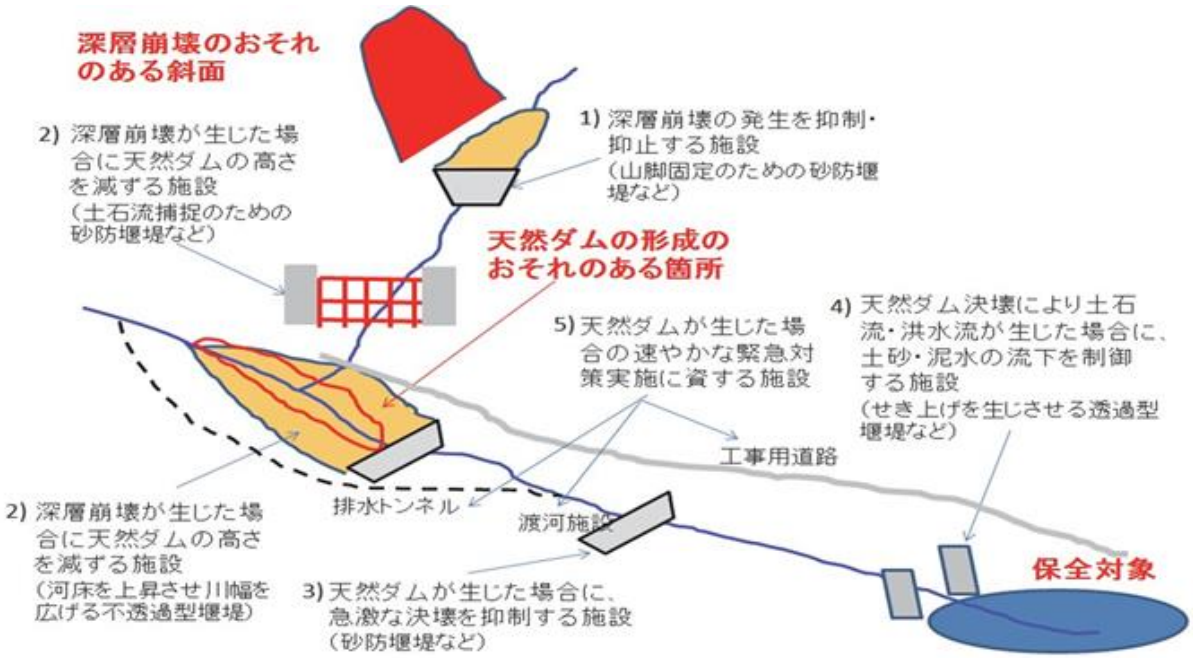


圖 4.4.3 堰塞湖類型硬體對策示意圖

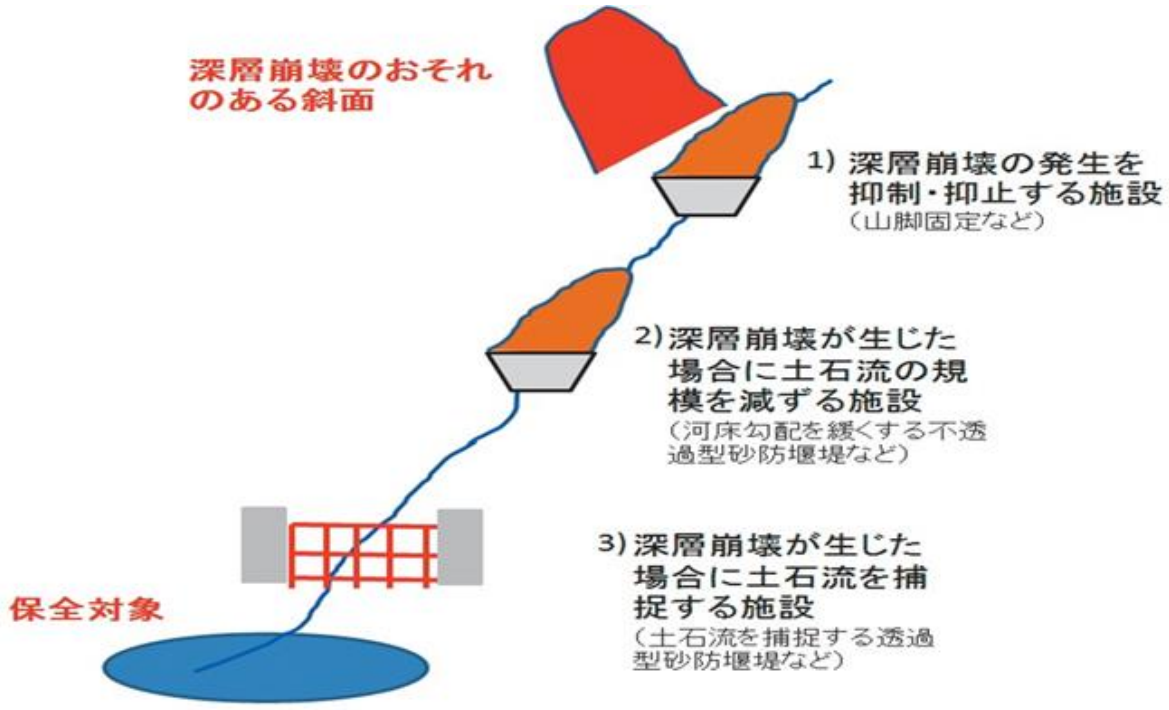


圖 4.4.4 土石流類型硬體對策示意圖

第五節　衛星遙測土壤含水量

利用遙測技術可以大量而廣泛的獲得地表土壤含水量資訊，以進行長時期的地表含水量監測，而使用 MODIS（Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer）衛星影像產生乾旱指數（Drought Index），並用以評估土壤溼度的方法已被證實可行。土壤含水量的計算大多採用微波方式反演，應用光學感測器計算土壤含水量則相對較少。利用光學感測器計算土壤含水量，大多以計算出蒸發散量後，再根據蒸發散量與土壤含水量間之關係推演而得，亦可利用考慮土壤因子與未考慮土壤因子之植生指標反演而得。其中，搭載於美國 Aqua 與 Terra 兩顆地球資源觀測衛星上的 MODIS 又稱中尺度影像光譜儀，擁有 36 個光譜波段，對於地表光譜變化相當敏感。MODIS 的單日過境可達四次，其原始設計用途即為監測地表生物、物理現象，並用以建立長期觀測資料庫，以供各領域分析研究之用。

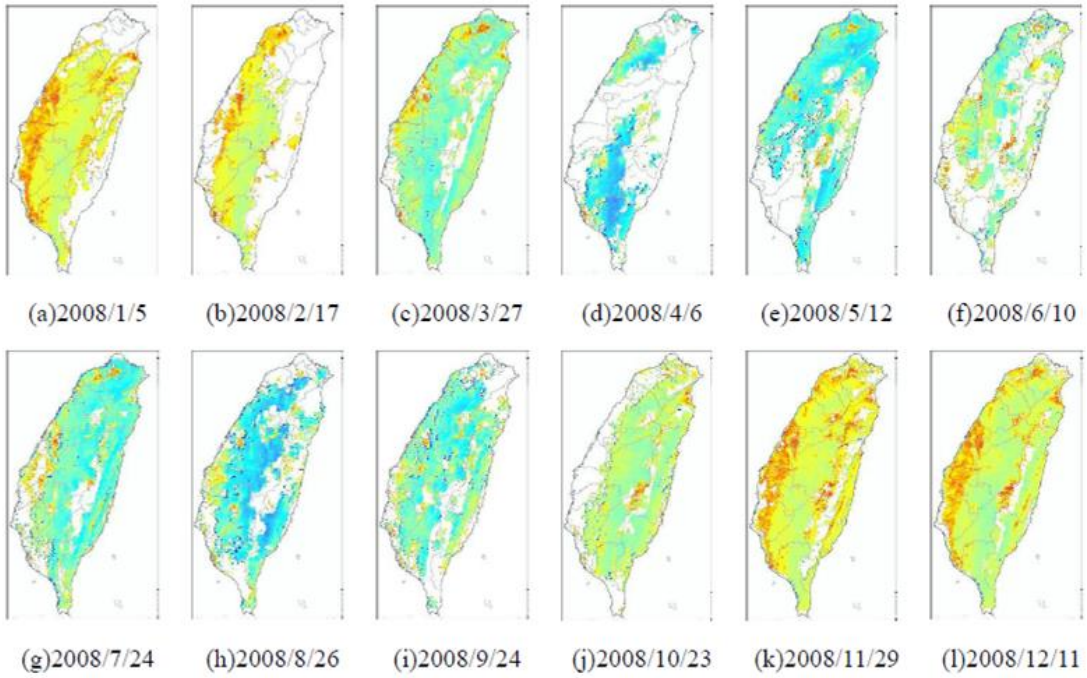


圖 4.5.1 2008 年各月蒸發散量成果(陳錕山，2009)

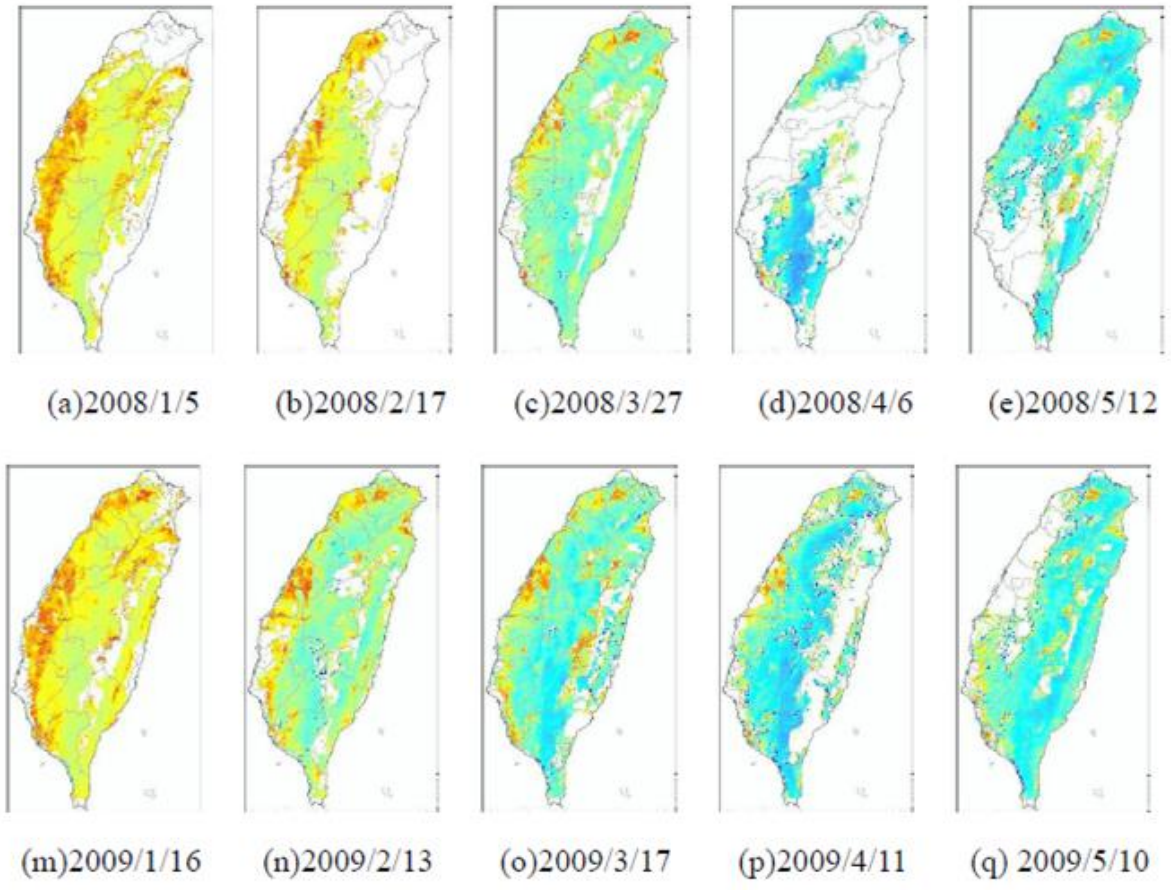


圖 4.5.2 月對照蒸發散量成果(陳錕山，2009)

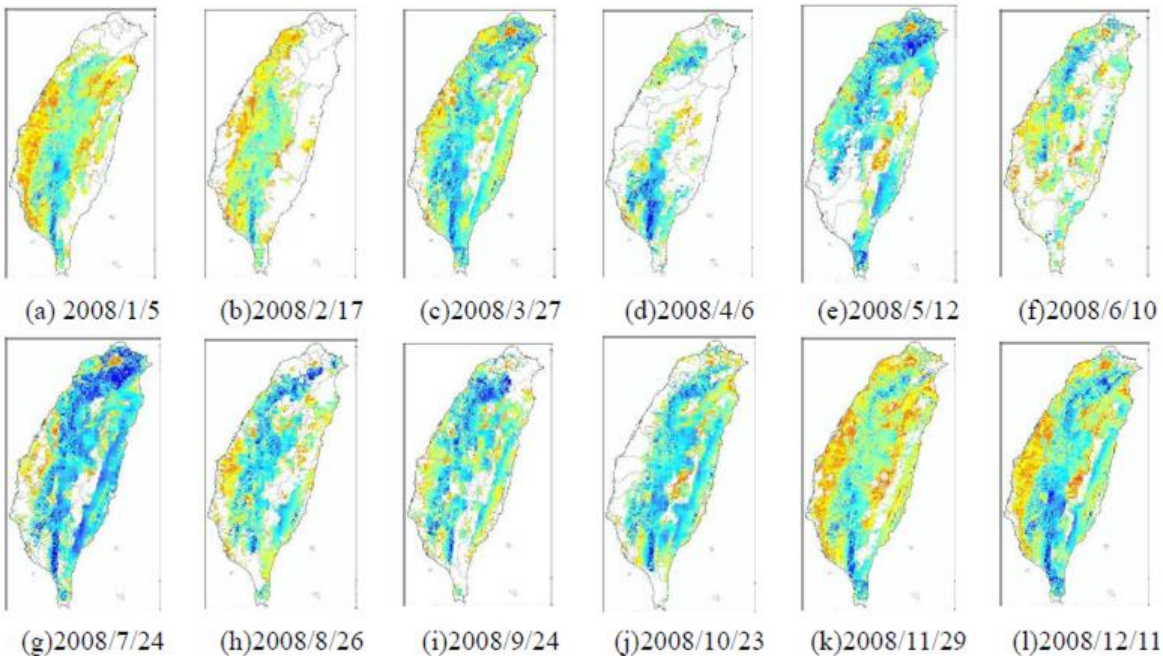


圖 4.5.3 土壤含水量計算結果(陳錕山，2009)

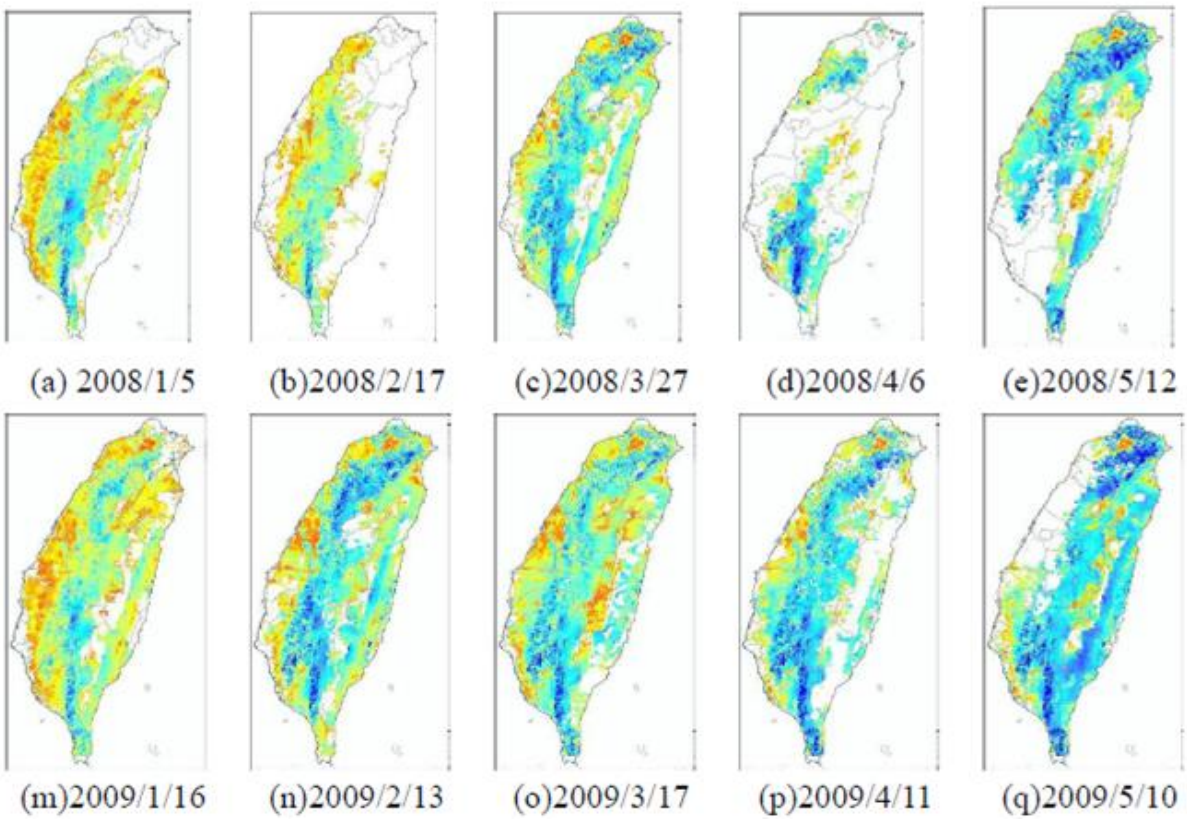


圖 4.5.4 月對照土壤含水量結果(陳錕山，2009)

圖 4.5.1~4.5.4 為目前具體落實應用情形，土壤含水量反應地面水勢狀況，控制降雨逕流、入滲、及土壤內根系的水分吸收，進而影響植生蒸散作用，透過與數值地形模型的套疊分析，能呈現不同海拔高度的土壤水勢狀況，而研究中也發現土壤含水量與蒸發散量在空間上有相似的變遷趨勢，高含水土壤主要位於麓山地區，以中西部低、中海拔山區較為明顯，整體而言平地及低海拔區域由於土地利用複雜，土壤水分變異較大，低中海拔山區則由於森林植生的分層阻斷效應，對土壤產生保濕作用，且中海拔山區為主要的雲霧帶地區，故土壤含水量隨高度上升而逐漸向上提升，但在高海拔山區，受到土壤弱育、有機腐質層較少、較強的風場動力、及地形坡度對地表逕流產生的影響，土壤水分與高度間呈現反向的關係。

國內已成功透過 MODIS 資料及全台地面降雨觀測資料反演每日全台土壤含水量之作業化程式，並用以反演產生每日全台土壤含水量，並將特殊事件如颱風與乾旱事件之土壤含水量狀況以案例呈現，圖 4.5.5 為 2008 年卡玫基颱風前後水文參數變化情形，由於 MODIS 光學波段受到雲層遮蔽的影響，僅可呈現颱風前 7/15，及颱風後 7/21、7/24 的蒸發散量分析圖資，由分析圖資中顯示颱風過後地表植

被及土壤含水增加，受到水分熱容及較高比熱的影響，造成地表減溫及發射熱輻射降低，而當溫度開始增加後，蒸氣壓力差上升，造成更多的地表及植生內部的水份藉由蒸發及蒸散作用而脫離為水氣，地表能量以潛熱形式進行傳遞，故整體而言，颱風過後的地表及土層含水並未迅速消散，透過持續的輻射增溫，在數日後蒸發散量才呈現明顯上升。

而在乾旱案例水文參數變化案例中，則以 2002 年台灣北部乾旱缺水事件進行說明，該年由於春雨短少，造成台北及桃竹苗地區發生嚴重的乾旱缺水現象，因此藉由比較乾旱年與非乾旱年同期的水文參數，來分析土壤含水量的變異情形，圖 4.5.6 呈現不同年份間三月份的土壤含水量，顯示 2002 乾旱年的水文參數較非乾旱年為低，但其差異情形卻不甚顯著，此或許由於衛星推演資料主要仰賴單日瞬時觀測資料，而乾旱為長期水文趨勢的反應，因此若要有效以衛星觀測分析資料來探討乾旱災情，仍需要較長期的觀測資料，以利分析整體差異情形。

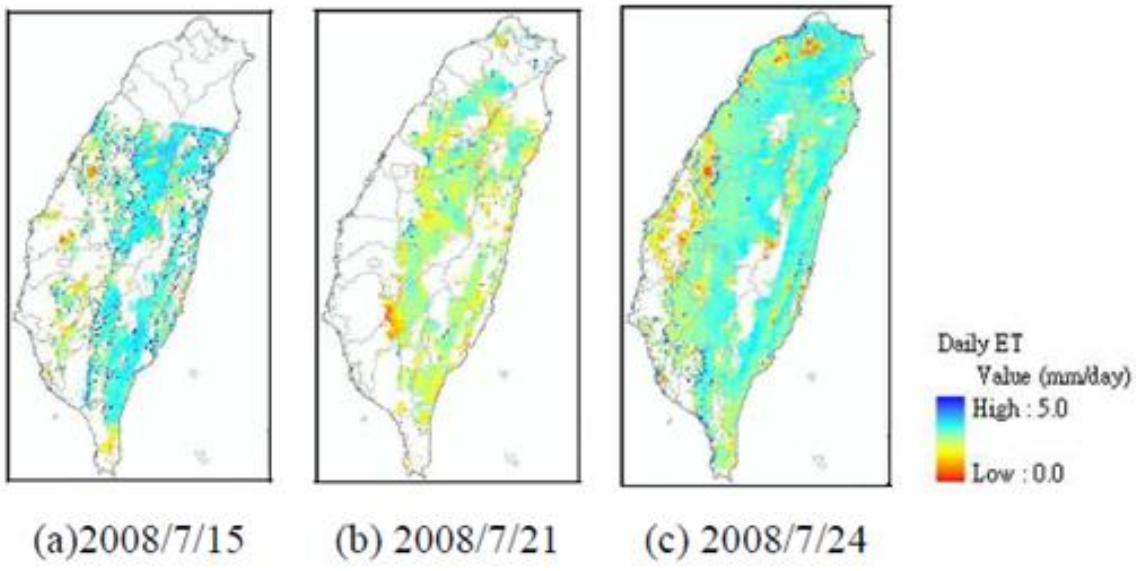


圖 4.5.5 蒸發散量示意圖(陳錕山，2009)

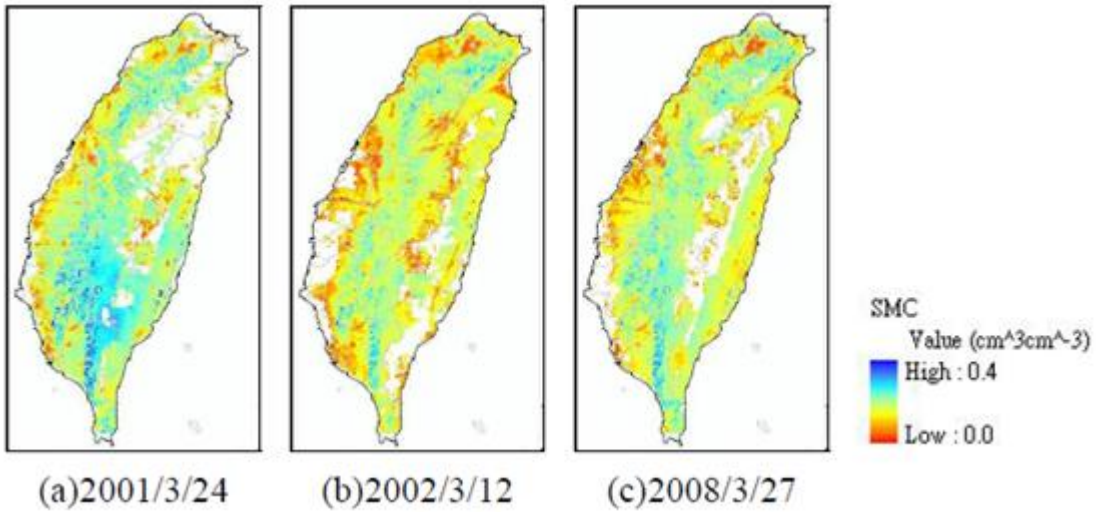


圖 4.5.6 土壤含水量分析示意圖(陳錕山，2009)

研究也顯示土壤含水量與降雨量在時間上的相關性，在時間解析度為一日的條件下，降雨發生後，土壤含水量在當日隨即增加，而在降雨停止後土壤含水量亦會隨即降低。透過衛星資料反演土壤含水量，可獲得大範圍的土壤含水資訊，對於防災及各領域應用上有相當程度的助益，期望能為當前預警系統提供更有效的資訊。

第六節　荷蘭治水桌遊

一、以模擬遊戲方式探索理解評估開發政策

隨著資訊傳播速度愈來愈快、資訊交易與取得之門檻愈來愈低，身處民主社會，任何政策推動之順利與否，不僅要靠更精準的模式建構與推估，更必須與政策相關之社區、民眾、民選官員及相關之利害關係人進行充份的對談與溝通，以取得共識。

鑑於未來的不確定性，水資源管理面臨人口增長、海平面上升、氣候變遷等環境壓力，如何作出適宜的調適方案，成為未來決策上的一大挑戰。為因應以上問題，荷蘭 Deltares 國際水利工程顧問公司，發展了一套永續水資源管理桌遊(Sustainable Delta Game)，圖 4.6.1，此治水桌遊係以遊戲方式讓專家學者、利益相關者、政府官員和民眾了解環境及治水相關的保護措施，並藉由即時回饋的機制，讓參與者參與溝通、談判並討論各種可能方案，期能在未來做出更明智的決策。



圖 4.6.1 工程與環境模擬之數值模式及實體桌遊卡片

(圖片來源：http://www.delta-alliance.org/toolboxoverview/sustainabledeltagame)

二、遊戲機制

在這個荷蘭治水桌遊(Sustainable Delta Game)遊戲中，以視覺化的方式即時模擬與回饋未來可能之變化，以期能建立最佳的共識與決策，如圖 4.6.2 為線上永續水資源管理模擬遊戲介面。參與者可以在三個虛構場景中選擇任一個去制定和實施該場景未來 100 年可持續水管理計劃的任務，而其面臨之狀況與問題包含：乾旱、淹水、農業、河川航道及港口淤積與洪水等。其三個場景包括：

1. 瓦斯河(Waas River)：與荷蘭相似的低地河段。遇到的關鍵問題包括洪水、乾旱等。
2. 阿特拉河(Te Ara River)：與紐西蘭相似的洪氾區河段。面臨的主要問題包括淹水、農業乾旱、自然災害。
3. 泰努伊港(Tainui Harbour)：與紐西蘭相似的城市沿海港口。遇到的關鍵問題包括沿海淹沒，港口/運輸能力和性質。

遊戲同時由兩個團隊參與，決定可持久的戰略，以減緩特定的洪水和乾旱風險，同時也須注意廣泛的發展影響、自然影響、全球或地區事件，以及當地居民多元變化的觀點。可靠的對策需要在各種績效指標之間保持穩定和平衡，可長期模擬，並適時調整管理計劃，制定自己的戰略後，兩隊必須協商確定一個可執行對策。如圖 4.6.3 為永續水資源管理桌遊進行程序:(a)討論 (b)提出可能方案 (c)溝通與決定方案 (d)模擬 (e)檢討 (f)修正。



圖 4.6.2 線上永續水資源管理模擬遊戲

遊戲中所選定的策略將以數值模擬方式模擬後續可能的變化，每個模式均會模擬該地區的經濟、社會和環境特徵，模擬結果會直接回饋給參與者，並說明他們選擇的策略對績效指標的成敗。隨著「未來」逐漸展開，玩家可以使用他們新獲得的經驗，來決定調整其對策以適應後期的遊戲比賽。

遊戲過程時間約 3～4 小時，遊戲人數最少 5 個人，最多可達 50 人同時參與。整個遊戲分為治水遊戲進行和回顧檢討兩部分。遊戲首先設定該場水利遊戲的核心價值，核心價值包含：水域功能的優先順序、工程技術規模大小、氣候變遷程度、人口成長和經濟發展程度、洪範控制安全性策略、空間規劃、權責單位、決策依據，這些選項也是後續討論的主軸和依據。選定討論地點（例如鹿特單）後，主持人邀請約 5～20 個參與人提出實施水利政策的各項措施（選項如下圖），選定措施後，藉由運算軟體模擬 10～20 年後的情況，並評估政策結果(Johanna Huang，2015)。

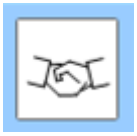


圖 4.6.3 永續水資源管理桌遊進行程序

(圖片取自影片 TrailerDeltagame)

遊戲所提供的水利政策措施選項，包括：提坊往內陸退移（還地於河）、中上游合作、加高河岸堤防、加高都市週邊堤防環、堤防強度、疏散時機、防洪建築型態、河道疏浚、行船吃水量、保留自然綠地，如表 4.6.1。

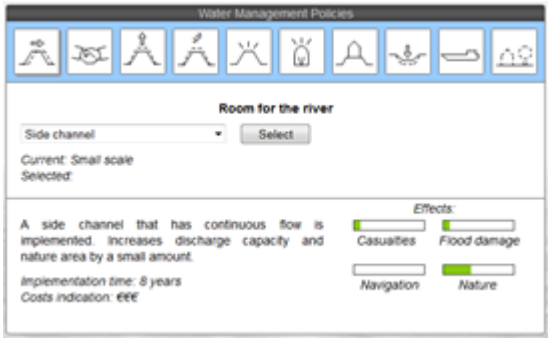
表 4.6.1 荷蘭治水桌遊之水利政策措施選項

	堤坊往內陸退移（還地於河）		疏散時機
	中上游合作		防洪建築型態
	加高河岸堤防		河道疏浚
	加高都市週邊堤防環		行船吃水量
	堤防強度		保留自然綠地

(圖例取自 http://www.seinsights.asia/article/3290/3271/3940)

以下就治水遊戲兩個方案「還地於河」方案 A 和 B 的比較和評估，參與者以水利措施的成本和成效做為比較依據，評估內容包含：工程實施時間（1～12 年不等）、工程經費（低、 中、高、極高），洪水災害頻率造成的傷亡、淹水損失、河道疏導、自然綠地保留相對比例。參與者只需選擇方案 A 或 B，軟體立刻可以演算該政策 10～50 年後 所帶來的影響。(Johanna Huang，2015)

表 4.6.2 遊戲案例比較(Johanna Huang，2015)

方案	內容	操作介面
方案A	方案A：大規模的把堤防向內陸遷移 。 方案A雖然得到很多河岸綠地，不過一旦洪泛發生會造成高度傷亡、高度水災損失、耗費時間極長（12年）、工程費用很高。	
方案B	方案B：加開支流疏洪道。 方案B河岸綠地保留一半，洪泛發生的話會造成高度相對低、水災損失相對低、耗費時間中等（8年）、工程費用略高的結果。	

三、遊戲腳本在地化

國內目前在治水等相關基礎建設規劃上，也一直面臨安全與環境等相關議題折衝等問題，也許可透過借鏡荷蘭永續水資源管理遊戲中的討論邏輯、共同溝通方式與討論平台，讓類似的遊戲變成刺激溝通和發想的管道，爾後可運用於台灣的治水或防災政策。

第五章　結語

隨著科技智慧製造時代的來臨，工業生產方式以物聯網、大數據、雲端系統、互聯網、智慧機械等新型態科技為基礎，利用數據匯流串接各個產業間的每一個關鍵環節，同時，強調跨領域及虛擬與真實場景的整合，並且打破公務部門與私人企業間的界限，產業間的疆界不再清晰，而是採用跨域、跨國合作與共享的方式，重新建構生產製造供需、分工價值。日本近期所提出的「i-Construction」此建設現場的生產方式，正呼應了上述科技工業之發展趨勢。

臺灣具備特殊地形、地質條件以及氣候因素，面對難以預期之複合型土砂災害以及大規模崩塌可能帶來的衝擊，水土保持局預計未來四年將投注大量的人力及預算進行相關之防減災工作與研究，期以過去於土石流防災的成功經驗為基礎，降低大規模土砂災害及大規模崩塌可能造成的傷害，並利用組織內部的審視、檢核業務執行步驟，以保持各部門間之協調性與競爭力為原則，逐步盤點自身所擁有的資源和長短處，建立專屬的「轉型策略」和「水土保持技術發展藍圖」。因此，藉由收集、參考國內外相關技術、法規、政策等文獻進行研析，並參酌鄰近國家因應氣候變遷、智慧科技等全球趨勢所擬定之對策，循此脈絡做為研擬提升國家土砂防災能力之策略。以下針對相關章節重點進行彙整：

(一) 「營建自動化」技術，成為國內外共同的趨勢。此項技術可提高施工效率及改善工程品質之設計、管理、工法、機具、材料等，其內容包括： 建築資訊模型(BIM)、虛擬與擴充實境模擬(AR&VR)、機具自動化、工程材料智慧化、自動化監控系統、大數據分析、資訊科技創新應用、制定設施維護管理之制度與規範等。

(二) 工程維護管理及延壽的定義在於以生命週期為導向（規劃、設計、施工到維護）之管理運作架構下，在各個階段獲得許多前置階段所傳遞之資訊，進而建立有效之管理策略，加強特定範圍之管理，以減少人力、物力、成本之花費。因此，對於工程延壽對策不單是技術上的提升，而是必須建構合理評估延壽需求方法，發展並健全延壽相關記錄。

(三) 跨領域技術應用於水土保持之評估，例如大地測量所應用之遙測影像技術(InSAR、LiDAR、UAV、空中地球物理探測等)，而地質調查技術則包含：利用地球物理探測技術檢測物體之不同的物理量，再由變化量的差異間接推測工程可能面臨的問題。另一具有發展性的技術為鑽探孔內探測技術，應用該項技術除了可檢視鑽孔品質外，主要可投入在水文地質調查、大地工程及環境工程評估或是地下資源探勘等。

(四) 新型態技術的應用評估包含：3D 圖像應用於工程展示、教學及解說，另外透過視覺感官體驗技術(VR、AR、MR)，將能使資訊從二維展示推廣至三維體感互動，並在互動過程加強了環境資訊之印象，獲取比身處之空間更多的資訊，目前主要應用在區域體驗、各專業領域之教育宣導或訓練。其他相關之新型態技術如情境模擬互動遊戲、廣域通訊技術與疏散系統等。

(五) 在防減災對策方面，針對國內外近期之防減災對策、災害潛勢之調查與評估方式，以及土砂災害之預警模式，分別進行精要的說明與介紹，期能作為後續提昇臺灣坡地防災能量的重要參據，並研析國內外有關環境敏感地區之管理及劃訂方式，其中國內以特定水土保持區、水庫集水區、土石流潛勢溪流、山坡地、地質敏感區等為主要探討對象，同時參酌日本及奧地利針對土砂災害潛勢區之劃設及管理方式。藉由了解及分析國內外法令與制度面設計之異同，將有助於未來國土計畫法之實施與推動。

參考文獻

1. 中央災害防救會報(2013)，「災害防救基本計畫」。
2. 內政部國土測繪中心(2016)，105 年度國土利用監測整合作業-工作總報告。
3. 內政部營建署林秉勳(2016)，國土計畫法之推動與展望(簡報)。
4. 內政部(2016)，災害防救法。
5. 內政部營建署(2017)，國土計畫法重要工作辦理情形(簡報)。
6. 內政部(2017)，全國區域計畫。
7. 內政部(2017)，國土白皮書（草案）。
8. 水利署，(2013)，曾文溪、北港溪、八掌溪、朴子溪、急水溪流域與臺南市、嘉義市、嘉義縣脆弱度及風險地圖製作。
9. 水土保持局(2002)，集水區整體調查規劃工作參考手冊。
10. 水土保持局(2005)，水土保持手冊。
11. 水土保持局(2011)，氣候變遷對高屏溪流域坡地災害發生潛勢之影響評估。
12. 水土保持局(2012)，氣候變遷對坡地防災規劃之影響評估。
13. 水土保持局(2013) ，土石流潛勢溪流劃設作業要點。
14. 水土保持局(2013) ，土石流潛勢溪流劃設作業手冊。
15. 水土保持局(2013)，氣候變遷下坡地災害潛勢評估及調適策略制定之研究。
16. 水土保持局(2014)，野溪淤積土石清疏作業要點。
17. 水土保持局(2014)，水庫集水區環境資料及土砂災害風險評估。
18. 水土保持局(2015)，104 年非莫拉克災區潛在大規模崩塌地區危險度評估與簡易觀測系統建置。

19. 水土保持局(2015)，大規模崩塌防減災技術發展與應用。

20. 水土保持局(2015)，高屏溪及林邊溪集水區土砂收支管理模式建置計畫。

21. 水土保持局(2016)，濁水溪集水區土砂收支管理模式建置。

22. 水土保持局(2016)，105 年土石流警戒基準值檢討與更新。

23. 元鑫科技股份有限公司(2015)，長距低功耗通訊技術在防災之應用，臺灣防災產業協會季刊，No.2，Vol.2。

24. 日本國土交通省(2011)，土砂災害防止法に基づく施策の主な取り組み状況。

25. 日本國土交通省(2014)，土砂災害防止法の概要。

26. 日本內閣府(2014)，平成 26 年に発生した主な土砂災害。

27. 日本內閣府(2015)，「総合的な土砂災害対策の推進について（報告）」。

28. 日本國土交通省砂防部(2015)，「土砂災害防止法の改正と今後の取り組みについて　パンフレット 」。

29. 日本國土交通省砂防部(2015)，「土砂災害警戒避難ガイドライン」。

30. 日本內閣府(2015)，総合的な土砂災害対策の推進について。

31. 日本國土交通省(2015)，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(土砂災害防止法) 。

32. 日本國土交通省(2015)，土砂災害防止対策基本指針。

33. 日本國土交通省(2015)，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。

34. 日本國土交通省(2015)，土砂災害防止法の概要。

35. 日本內閣府(2017)，「避難勧告等に関するガイドライン」。

36. 日本國土交通省(2017)，基礎調査（土砂災害警戒区域）の完了

予定年度。
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/pdf/map(yellow)_170331.pdf

37. 日本広島県庁(2017)，広島県平成 29 年３月 30 日現在の指定状況。
http://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/100/keikaikuiki20170330-0413.html

38. 行政院(2010)，國土空間發展策略計畫。

39. 光特資訊科技股份有限公司(2013)，102 年度國土測繪圖資網路地服務系統擴充案工作總報告書，內政部國土測繪中心。

40. 河川砂防技術基準(維持管理)砂防編(2016)，日本國土交通省。

41. 岩手県県土整備部砂防災害課(2015)，岩手県土砂災害防止に関する基礎調査マニュアル（案）(共通編)。

42. 岩手県農業研究センター環境部病理昆虫研究室 http://www.jeinou.com/technology/2016/01/28/094000.html

43. 砂防學會(2015)，砂防・急傾斜管理技術者資格制度。

44. 科技部 (2015)，臺灣氣候調適科技服務平台(http://sdl.ae.ntu.edu.tw/TaiCATS/knowledge_detail.php?id=10)。

45. 國家災害防救科技中心(2005)，「兵庫宣言及 2005-2015 年兵庫行動綱領：建構國家和社區災害回復力」。

46. 国土交通省河川局砂防部、氣象庁予報部、国土交通省国土技術政策総合研究所(2005)，「国土交通省河川局砂防部と氣象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)」。

47. 國家發展委員會(2012)，「國家氣候變遷調適政策綱領」。

48. 國家發展委員會(2014)，「國家氣候變遷調適行動計畫(102-106年)」。

49. 國家災害防救科技中心(2014)，2014 年廣島土砂災害紀要。

50. 国土交通省国土技術政策総合研究所(2014)，深層崩壊対策技術に関する基本的事項。

51. 国土交通省国土技術政策総合研究所(2014)，研究方針。

52. 國家災害防救科技中心(2015)，「2015-2030 仙台減災綱領」。

53. 國家發展委員會(2015) ，ide@ Taiwan 2020(創意臺灣)政策白皮書。

54. 國土交通省(2015)，「国土交通省気候変動適応計画」。

55. 国立研究開発法人土木研究所(2015)，重点的研究開発。

56. 国土交通省国土技術政策総合研究所(2016)，重点的に取り組む研究分野。

57. 国立研究開発法人土木研究所(2016)，重点的研究開発。

58. 国土交通省国土技術政策総合研究所(2017)，重点的に取り組む研究分野。

59. 財團法人台灣營建研究院(2004)，「高速公路橋梁延壽評估及案例分析委託研究計畫」，交通部臺灣區高速公路局。

60. 國土交通省(2016)，i-Construction_建設現場の生産性革命。

61. 農林水産省林野庁(2014)，大規模崩壊現場対応ハンドブック（案）。

62. 農林水産省林野庁(2014)，大規模崩壊潜在斜面危険度判定マニュアル（案）。

63. 農林水産省林野庁(2014)，大規模崩壊リスク評価マップ作成マニュアル （案）。

64. 嘉南農田水利會網站 http://www.chianan.gov.tw/

65. 經濟部(2010)，「水災災害防救策進計畫(2011-2015)」。

66. 經濟部水利署(2011)，開放式水利地理資訊 GML 資料標準之研訂

67. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2014)，「應用多期數值地形於南化水庫集水區土砂生產與運移趨勢之定量評估」。

68. 經濟部水利署(2016)，現有水庫概況統計。

69. 經濟部中央地質調查所(2016)，地質敏感區基地質調查及安全評估手冊。

70. 經濟部中央地質調查所(2016)，經濟部完成地質敏感區劃定公告記者會簡報檔。

71. 瑞德感知科技股份有限公司(2015)，物聯網智慧疏散導引解決方案，臺灣防災產業協會季刊，No.2，Vol.2。

72. 王鍾和(2006)，有機農業之土壤管理技術，國立屏東科技大學。

http://www.mdu.edu.tw/~dpa/doc/Microsoft%20Word%20-%20%E5%9C%9F%E5%A3%A4%E7%AE%A1%E7%90%86%E6%8A%80%E8%A1%93%E8%88%87%E6%9C%89%E6%A9%9F%E8%B3%87%E6%9D%90%E7%A0%94%E7%99%BC_%E7%8E%8B%E9%90%98%E5%92%8C%20%E6%95%99%E6%8E%88.pdf

73. 王漢國 (2014)，「對聯合國 IPCC《第五次氣候評估報告》之解析與省思」，戰略與評估，5(2)，pp49-72。

74. 李達生、翁仲銘、彭永新(2012)，物聯網核心技術、原理與應用 ，前程文化事業有限公司。

75. 李欣輯、吳亭燁、魏曉萍、施虹如、蘇元風、陳偉柏、劉俊志、陳永明(2015)，氣候變遷極端颱風豪雨於高屏溪之全流域災害衝擊評估，國家災害防救科技中心。

76. 余化龍(2016)，「時空巨量資料推估技術於坡地災害風險預警之發展應用」，水土保持局。

77. 林耀煌，蔡茂生，張清祥，林國濬，黃毓瑩，「工程規劃設計階段之安衛風險管理」中興工程，第 109 期，2010 年 10 月，pp. 134-139。

78. 林志平(2012)，「地球物理探測技術於水庫構造物安全檢查應用之研究」，經濟部水利署水利規劃試驗所。

79. 呂佳穎(2016)，台灣救災像做秀？一篇文詳解美國「全災型應變中心」。http://news.tvbs.com.tw/ttalk/blog_author_detail/4720

80. 周憲德(2016)，「坡地土砂災害之地文因子綜整判定及現地判釋(以新北市平廣溪集水區為例)」，水土保持局。

81. 周坤賢、黃俊翔、王泓翔、黃正光(2010)，「3D 視覺化工程設計方法導入-應用 Civil 3D 於土木工程之同步實作」，中華技術，No.88，pp.43-55。

82. 青山工程顧問有限公司(2014)，「大規模潛在山崩機制調查與活動性觀測」，經濟部中央地質調查所。

83. 青山工程顧問有限公司(2016)，「山崩觀測技術發展應用研究」，經濟部中央地質調查所。

84. 長距離低功耗物聯網傳輸技術(2016)

https://read01.com/5xzLQE.html

85. 吳亭燁、魏曉萍、陳偉柏、 李欣輯、陳永明、蘇元風、劉俊志 、施虹如、葉克家(2014)，「氣候變遷極端颱風豪雨事件之坡地、河川、都會以及海岸之衝擊評估」，國家災害防救科技中心。

86. 官大偉(2015)，「原住民生態知識與當代災害管理－以石門水庫上游集水 區之泰雅族部落為例」，地理學報，No. 76，pp97-132。

87. 姜燁秀(2016)，「以水土保持法觀點探討山坡地使用管制之適宜性」，國立中興大學水土保持學系博士學位論文。

88. 洪銘堅(2006)，台灣水資源決策支援系統之發展與應用，工業污染防治，第 97 期，pp.159-174。

89. 柯勇全(2004)，奧地利危險區劃定與管理，行政院所屬各機關

因公出國人員出國報告書。

http://report.nat.gov.tw/ReportFront/report_detail.jspx?sysId=C09303166

90. 柯俊如(2012)，「教學原理」課本裡消失的教學方法—模擬與遊戲法。http://ntuedusa.blogspot.tw/2012/11/blog-post.html#comment-form

91. 侯進雄、費力沅(2013)，「臺灣大規模崩塌調查的發展現況」，地質，第 32 卷，第 1 期，pp.40-43。

92. 袁培堯(2012)，「利用 MODIS 與 AMSR-E 衛星資料推估地表土壤含水量」，國立中央大學碩士學位論文。

93. 陳錕山(2009)「衛星遙測台灣地區土壤含水量與降雨量之研究」，中央氣象局。

94. 陳振宇(2008)，「國內土石流警戒發布機制沿革」，台灣水土保持季刊，第 63 期，pp.1-7。

95. 陳裕賢(2012)，「物聯網架構- in 無線網路導論」，國立台北大學，pp. 11。

96. 陳振宇(2016)，「 全災型應變中心? 台灣要轉型為全災害管理的關鍵因素」。http://cychen59.blogspot.tw/2016/10/blog-post.html

97. 陳振宇(2016)，「2016 年日本砂防學會富山大會心得(1)－タイムライン（防災行動計画）簡介」。http://cychen59.blogspot.tw/2016/07/20161.html

98. 陳振宇(2016)，「【日本防災見聞】鑑往知來－日本古地名與災害潛勢之關連」，地質，第 35 卷第 1 期，pp.82-84。

99. 陳亮全、吳杰穎、歐蜜偉浪、林偉聯(2016)，「因應氣候變遷韌性部落之建構：新北市烏來區信賢部落參與式行動計畫」，水土保持局。

100. 陳天健(2016)，「劇烈天氣下聚落周緣山坡坡面型土石流易發生

區位及 潛勢評估方法」，水土保持局。

101. 曾裕強(2010)，「衛星遙測台灣地區土壤含水量與降雨量之作業化研究」，中央氣象局。

102. 曾君儒(2012)，「空中磁力探測技術」，能源報導，3 月。

103. 單信瑜、王文祿(2016)，「土石流災害緊急應變下強制撤離相關法制與實務之研究」，水土保持局。

104. 張倉榮，許銘熙，林國峰，賴進松，潘宗毅(2010)，「脆弱度及風險地圖分析方法之研究」，經濟部水利署。

105. 廖肇昌、王立柏、賴建中、賴釭蒨(2010)，「用 IT 加值提昇工程管控能力」，中華技術，No.88，pp.57-65。

106. 廖宇慶、張靜貞、 陳淑玲、王毓麒、 呂雅萍(2016)，「台灣土石流預警與撤離避難之成本效益分析」，水土保持局。

107. 廖學誠(2016)，奧地利的林業概況及維也納大學植物園簡介，台灣林業，No.6，Vol.42，pp.61-71。

108. 詹錢登、李明熹(2004)，「土石流發生降雨警戒模式」，中華水土保持學報，35(3),275-285.

109. 潘宜輝、張德仁(2012)，「無人飛行載具合成孔徑雷達運用探討」，國防雜誌，No.1，Vol.27，pp.89-94。

110. 劉哲瑋(2015)，秒懂災害潛勢。
(https://g0v.hackpad.com/4rF7N2Ihf5r)

111. 鄭錦桐(2016)，「借鏡日本—地震之國　我們準備好了嗎？」。
(https://www.twreporter.org/a/opinion-0206earthquake)

(http://www.jsece.or.jp/indexj.html)

112. 楊錦釧(2006)，「降雨逕流模式與氣候預報系統整合應用」，經濟部水利署。

113. 楊欣哲、陳柔穎、謝永明(2015)，企業雲端化移轉的關鍵成功因素之探討，中華民國資訊管理學報，第二十二卷，第三期，

頁 317-352。

114. 楊碧玲，2016，想快速全面了解 LoRa？看這篇就夠了！，智慧產品圈 https://read01.com/mdnP54.html

115. 謝龍生、蘇昭郎、蘇文瑞 、陳天健、許建智、許丁友 、廖宏儒(2016)，「第十次全國科學技術會議防災議題芻議─精進防災科技減少災害衝擊」，台灣災害管理學會電子報，第 26 期。

116. 謝有忠、侯進雄、胡植慶 、費立沅 、陳宏仁、邱禎龍、詹瑜璋(2016)，「地形計測方法應用於潛在大規模崩塌之判釋」，航測及遙測學刊 第二十卷第 4 期第 263-277 頁。

117. 潘禎哲(2016)，水庫整體防淤策略與規劃(簡報)，經濟部水利署。

118. 蕭宇伸(2016)，「以自行研發之紅色地圖技術輔助預判土砂災害之潛勢地區」，水土保持局。

119. 蕭宇伸(2017)，「以嶄新 3D 地形表現技術(H.O.S.T 地圖)輔助地形判釋」，水土保持局(執行中)。

120. 簡士濠，江介倫，王建昇，張庠睿(2012)，「添加生物炭對酸性紅壤肥力之影響」，農業工程學報，12 月，pp.15-22。

121. 簡士濠、陳文棋(2013)，「添加不同溫度下製備之稻殼炭對泥岩土壤物 理性質的影響」，生物炭在農業與環境上之應用研討會論文集，第 55-69 頁。

122. 簡士濠(2016)，「以新穎技術改善植生工法之植物生長效益」，水土保持局。

123. Asia Cloud。(https://www.asia.cloud)

124. Arko Lucieer, Steven M.de jong, Darren Turner, (2014). “Mapping landslide displacements using Struccture form Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography.” Progress in Physical Geography, Vol.38(1), 97-116.

125. Baum RL and Godt JW.(2010). “Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA.”, Landslides, 7(3), 259–272.

126. BIM 技術與公共工程-公共工程電子報，第 38 期，2011 年 9 月 1 日。

127. Cesium 官方網頁 https://cesiumjs.org/

128. Delft-FEWS(2017) http://oss.deltares.nl/web/delft-fews/about

129. Deltares，2017，Sustainable Delta game.

(https://www.deltares.nl/en/software/sustainable-delta-game/)

130. Dawen Yang, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, Toshio Koike and Katumi Musiake(2003), “ Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes”, Hydrological Processes,Vol.17(14), pages 2913–2928.

131. FEWS 軟件社區(2017) http://oss.deltares.nl/web/delft-fews/

132. i-Construction 營造現場的生產力革命，日本國土交通省，2016 年。

133. Johanna Huang，2015，荷蘭現代版紙上談兵：政策專家玩的治水桌遊 http://www.seinsights.asia/article/3290/3271/3940

134. Ken Salazar, Marcia K. McNutt (2012). “Natural Hazards Science Strategy—Public Review Release.” U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.

135. “Subsurface Investigations—Geotechnical Site Characterization.” (2002), FHWA NHI-01-031.

136. VR 帶入工業，遠傳智慧工廠 VR/AR 體驗吸睛 http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20170221/1060919/

137. VR(虛擬實境)、MR(混合實境)、AR(擴增實境)，2015。

https://www.inside.com.tw/2015/10/08/what_are_vr_mr_ar

138. VR、AR、SR、MR，四種實境 - 2017http://benevo.pixnet.net/blog/post/63012046-%E5%9B%9B%E7%A8%AE%E5%AF%A6%E5%A2%83---vr%E3%80%81ar%E3%80%81sr%E3%80%81mr

139. VR 體驗以維冠大樓倒塌現場，2016。

http://www.medialyrics.com/VR-g21UtHrXsRY

https://www.youtube.com/watch?v=g21UtHrXsRY

140. World Conference on Nature Disaster Reduction (1994), Yokohama Strategy and Plan of Action for A Safer World, WCNDR, Yokohama, Japan, 23-27 May. 1994.

141. World Conference on Disaster Reduction (2005), Report of the World Conference on Disaster Reduction, WCDR, Kobe, Hyogo, Japan, 18-22 January 2005.

142. Wieczorek, G.F. and Glade, T. (2005). Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In: Jakob M, Hunger O (eds) Debris-flow Hazards and Related Phenomena, Praxis, Springer Berlin Heidelberg, pp. 325-362.

143. UN (2015), Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. UN World Conference in Sendai, Japan.

144. Rebolledo Lemus, S., Vargas Easton, V. y Sepúlveda Valenzuela, S. (2006-12).Recent catastrophic debris flows in Chile: Geological hazard, climatic relationships and human response. Disponible en http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/124987

145. Osanai, N., Shimizu, T., Kuramoto, K., Kojima, S., and Noro, T. (2010). “Japanese early-warning for debris flows and slope failures using rainfall indices with Radial Basis Function Network.” Landslides, 7(3), 325–338.

附錄、審查意見回覆與辦理情形

編號	審查意見	意見回覆
一	本報告之定位何在？宜明確，例如是工作報告、資料彙編、研究報告？另目標何在？宜有說明。	依水土保持局技術研究發展小組設置要點之規劃，上半年撰寫之國內外技術研究發展趨勢報告(本報告)，係以資料彙整為首要目的，並以蒐集之文獻為研析依據重點摘錄撰寫相關領域之發展趨勢及其配套法規制度，以作為水土保持領域未來可能引入的技術與可參酌法規之索引，同時，亦作為下半年研提之次年度本局技術研究發展建議之重要參據。
二	報告之屬性及推廣對象宜先確立，若屬年報，其回顧材料之時間範疇宜有界定。	本報告推廣對象以水土保持局同仁及相關研究發展之產官學研為主，其主要目的在藉由蒐集國內外近期研究發展之重點，聚焦並凝聚水土保持領域未來發展之共識。
三	本報告標題定為水土保持技術，重要內容多為土砂災害防止，似乎不太一致，可以再討論，或多討論大規模崩塌直接與二次災害的防止。	本年度之國內外技術研究發展趨勢報告，為優先配合未來四年列為本局發展重點的大規模崩塌防減災計畫，故初步先以土砂災害防止為資料收集重點，唯後續之研究預計將納入大規模崩塌災害與二次災害發生防止之討論與研析。
四	本報告之定位若為研究報	本報告初步以資料彙整與收

	告，除了盤點外，宜有比較分析或評論，找出研究缺口(gap）及亮點(highlights)供參。	集為主，對於其分析、評論、比較及後續研究發展建議等，將納入下半年之「水土保持技術與研究發展規劃與建議報告」。
五	摘要中述及，本報告期「研擬提升國家土砂防災能力之策略」，此為技術研究發展小組之重要目標，立意甚佳。但是，此目的必須建立在參酌各國組織及各項專業議題的同時，比較深入地探討各項議題之優劣，以及在我國水土保持領域上之應用價值。	本計畫執行目的確有參酌各國水土保持相關研究單位其組織架構及其專業議題，以作為後續研究發展方向之借鏡，並評估未來本局組織再造時成立水土保持規劃試驗所等相關組織之可行性。唯各單位之組織特性及各項研究議題之差異比較或其優劣點，涉及範圍較廣，後續將採分年分期方式完成上述各項之比較與研析。
六	各項資料之呈現、敘述甚為詳實，具參考價值，惟每項內容是否增加詳述一段，摘要說明對水保局之關聯或值得推動等。小結一節可再強化之。	謝謝委員肯定。本報告之定位初步以資料彙整與收集為主，對於其分析、評論、比較及後續研究發展建議等，將納入下半年之「水土保持技術與研究發展規劃與建議報告」。
七	報告內容對技術發展趨勢著墨不少，惟研究發展趨勢似尚有發揮之空間。然國外研究來源甚為多元，欲蒐集完整不易，不妨集中先進國家為主即可。	謝謝委員肯定，本次報告主要針對局內各業務組涉及業務通盤彙整相關資料為主，亦即先以廣度為優先；後續將規劃逐年針對各專項議題及先進國家之作法，作更進一步之探討與比較。
八	在組織簡介方面，建議增加一節「小節」，評析從國內、	謝謝委員指教，此部份預計將於下半年『水土保持技術

	外的組織架構及其優缺點，回饋目前我國水土保持組織架構可參考精進之處，例如是否有成立「水土保持工程及規劃中心」之必要。	研究規劃與發展建議』報告中，針對各國相關單位之組織架構進行比較納入報告內容，俾作為未來本局組織再造時，評估成立水土保持規劃試驗所之參據。
九	第三章研究與技術發展趨勢之各項課題，建議增加說明目前水土保持局的做法。例如，營建管理自動化部分，水土保持局以往曾經建置之遠端監造系統，在這個基礎上是否有機會提升至「營建智慧化管理」。	謝謝委員指教，此部分之議題將於下半年之「水土保持技術研究規劃與發展建議」報告內容進行比較，並分析過去經驗之得失與需修正之方案。
十	BIM 係應用於建築領域，如果要應用於水土保持領域時必須克服哪些問題，包括制度面、技術面、法規面等。	謝謝委員指教，此部份目前本局保育治理組已另案委請台灣營建研究院進行相關初期研究，後續如有具體建議或成果，將納入下半年『水土保持技術研究規劃與發展建議』報告內容。
十一	工程本質安全內容宜參考貴局「金安獎」工程的一些具體作為。	謝謝委員建議，已於該章節增列以本局南投分局於 105 年該項選拔獲得優等獎之「中心崙崩塌地排水整治工程」為例，該項工程於設計階段即參考勞動職業安全衛生署所研訂的「風險評估技術指引」,辨識和瞭解工作環境及作業活動過程可能出現的危害，並確保這些危害對作業勞工的風險已受到評估及處理，並控制在可接受的

		程度。
十二	因國內大規模崩塌案例不多，目前採用的理論及公式多以國外為主，後續如何建置本土化的理論或公式，應為努力的目標。	謝謝委員建議，相關國外之資料已逐步收集、彙整，同時藉由盤點本局歷年相關委託辦理及研究等相關成果，期能建立相關基本資料庫，後續之研究階段將進行相關之研析，期望落實本土化公式之目標。
十三	是否舉出我國土水土保持在管理與法規上的問題，在從國外的法規制度，尋求解決之道。	謝謝委員提醒。本項建議已於 105 年 9 月出版之「水土保持技術研究發展規劃與建議」報告中進行問題研析，並已研提相關具體建議，詳該報告之第二章第一節及第三章第四節。
十四	基礎調查中有關數值模式部分是否能有比較深入的探討，包括使用原則、演算流程、分析研判方式等。	謝謝委員指教，此部份正進行相關實際測試，部份已於 105 年 12 月出版之「105 年度大規模土砂災害防災對策先期研究」報告第四章討論與呈現，本年度下半年將持續針對其他模式進行實測與探討，此部份預將納入今年 12 月出版的「106 年度大規模土砂災害防災對策先期研究」報告中。
十五	P.174，基礎研究部分，建議增列土砂災害風險分析、集水區土砂管理模式、工程與生態檢核競合、水土資源保育議題等。	謝謝委員提醒，因相關基礎研究領域甚廣，此部份將再依人力與時間等通盤考量下，逐年納入研究範疇。

十六	新興科技應用提及物聯網概念，數位水土保持就是必須建議在物聯網的架構之下，這對水土保持的發展會有很大的影響，建議通盤檢視以往計畫的執行成果。	相關新興科技應用於水土保持領域，本局已採每年研提創新型研究計畫補助之方式逐年進行研究及示範案例執行研究成果，對於過往的計畫成果亦將納入未來數位水保的考量。105 年計畫成果報告及 106 年計畫名稱，已置於技研小組網頁(http://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsInnovation)。
十七	本研究宜由法規面，技術面及管理面等面向回饋機關部門做跨域整合加值利用之參考。	謝謝委員指教。本項建議已於 105 年 9 月出版之「水土保持技術研究發展規劃與建議」報告中進行問題研析，並已研提相關具體建議，詳如該報告之第三章。
十八	各類模式是否適用極端事件的模擬，宜有說明。	謝謝委員提醒。目前技研小組正持續進行多項模式之實際測試，後續將依委員建議，將極端事件之模擬納入後續測試之項目。
十九	建議將本局引導趨勢業務，如自主防災、生態檢核...等，加強論述納入報告。	謝謝委員指教。本項建議已於 105 年 9 月出版之「水土保持技術研究發展規劃與建議」報告中進行問題研析，並已研提相關具體建議，詳如該報告之第三章。
二十	報告內工程技術發展之方法及案例，多以其他機關之大型案例為主，建議可分析於本局以小型工程之適用性，	謝謝委員指教，此部份因涉及較廣，將考量人力與時間等因素，逐步納入後續『水土保持技術研究發展建議』

	及如何擷取其優點，創造本局之優勢。	報告內容。
二十一	建議報告以第三人稱來撰寫，如 P.3 用”我們”則為第一人稱，可能會較主觀。	謝謝委員提醒，已依委員建議修正。
二十二	P.113 末段「違規面積卻呈現攀升之趨勢…」建議文字再潤述，避免造成誤解。	謝謝委員提醒。本段文字已調整為「土地違規使用除改變原有地形地貌，造成災情更為加劇外，亦嚴重危害自然生態平衡，並衝擊民眾之生命財產安全。統計山坡地監測89年至104年違規總面積，如表 3.3.8 所示，違規總面積呈現每年上下震盪的現象，顯示違規案件經稽查舉報後，隔年面積有下滑的趨勢，顯見使用衛星影像輔助山坡地違規查報，具有嚇阻作用。同時，為強化國土監測作業，水保局自 103 年起使用之衛星影像解析度由原 8 公尺提升至 2 公尺，並調整衛星影像變異判釋原則，已能針對更小範圍之違規使用面積作出更精準之判識，有效提昇查獲違規使用土地。此外，目前已針對違規高趨勢之縣（市）及鄉（鎮、市、區），試辦提高監測頻率，由原 2 個月監測通報提升至 1 個月，以期遏阻山坡地不法違規使用。」
二十三	P.26 TDR 有錯字，這個技術	謝謝委員提醒，已依委員建

	對上游集水區的適用性可以檢討。	議修正。
二十四	集水區土砂災害宜依 source、path 以及 sink 加以推估模擬其軌跡，宜採生態系統服務之模式加以評估點源及非點源土砂之危害類別。	謝謝委員指教，因相關基礎研究領域甚廣，此部份將再依人力與時間等通盤考量下，逐年納入研究範疇。
二十五	P.75 僅是內部草案，在此呈現是否恰當？	謝謝委員指教，P.75 表 3.2.7 將加註「(草案)」，以表示此為初步成果，並非定稿本。
二十六	建議增加工程與生態的平衡指標內容，以為各業務組參考之。	謝謝委員指教，因相關基礎研究領域甚廣，此部份將再依人力與時間等通盤考量下，逐年納入研究範疇。
二十七	建議增加香港 GEDD 風險策略實際操作案例。	謝謝委員指教，此部份將優先納入本小組後續研究重點。
二十八	本報告宜針對各項技術或領域發展空間，研擬具體之未來工作方向或重點。	謝謝委員指教，此部份因涉及項目及領域較廣，後續將考量人力與時間等因素，擇要逐步納入後續『水土保持技術研究發展建議』報告內容。
二十九	國外研究單位有學術機構或機關內部附設之研究單位，兩者功能有所不同，學術機構偏於理論、學術之創新，而機關單位則偏向於新技術、新工法、新材料及相關管理規範之訂定，參用時宜有所區別。	謝謝委員提醒，後續技術文件及學術文獻蒐集時將注意此重點。目前本小組亦持續翻譯與導讀國外資料時，係優先以實務應用之技術文件為主。

三十	建議報告中引用外國的資料時，可以選擇性翻譯成中文，這麼多的文獻應以平台方式呈現，供國人查閱與參考。	謝謝委員指教，待相關翻譯文獻與連結整理完成後，將展示在技研小組的官方網站，網址如下： http://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsTranslation
三十一	相關資料呈現後應可逐步討論及檢討其在台灣的適用性，哪些可以立即引進。資料與各種技術應驗證其可行性。	謝謝委員指教，此部份技研小組已逐步著手進行，例如目前已進行之利用 UAV 空拍影像進行三維地形建模、自製紅色地圖之應用，以及 VR 應用於外業訓練等技術驗證與評估，後續如有具體成果，亦將提供技術支援，以逐步推廣與應用。
三十二	USGS 的地震網路平台是值得推廣的概念，利用物聯網(IOT)結合民間各地的雨量計，就可以獲得較有效的大數據。	謝謝委員提供相關資訊，目前國內亦有「空氣盒子」計畫，由民間自購之可聯網之空氣品質檢測儀，以群眾外包方式，提供全台空氣品質即時監測資訊，亦為近期一成功案例。相關最新資訊，亦將納入後續相關報告。
三十三	水土保持相較於土木與水利有其獨特性，是否能從蒐集之資料具體的呈現出。	謝謝委員指教，尋找水土保持的獨特性與下一階段的發展方向，確實是本研究期間所思考的主題之一，有關此議題之探討，將納入後續相關研究中。
三十四	在報告中蒐集了很多的模擬軟體，大多為水文，是否亦有蒐集崩塌或土砂推估之模式。惟這些模式需要當地之	謝謝委員指教，模式模擬結果之良窳確實與基本資料之完整性有絕對之關連性。對於加強基本資料之建議，已

	基本參數，建議能加強基本資料之建置。	於105年9月出版之「水土保持技術研究發展規劃與建議」報告中進行問題研析，並已研提相關具體建議，詳如該報告之第三章第五節 、第六節。
三十五	水土保持之強項係跨域整合，宜強調各機關（領域）基礎資料或大數據之加值應用。	謝謝委員指教，此建議將考量納入後續相關研究中，並研擬強化基本資料收集與加值應用方案。