

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：研習)

赴日本研習「土石流調查技術」報告

服務機關：經濟部中央地質調查所
出國人職稱：科長、技正、技士
姓名：劉憲德、艾克非、邱禎龍
出國地區：日本
出國期間：92年11月4日至92年11月29日
報告日期：93年2月27日

系統識別號：

行政院及所屬各機關出國報告提要 頁數：81 頁
出國報告名稱：赴日本研習「土石流調查技術」
出國計畫主辦機關：經濟部中央地質調查所
聯絡人／電話：陳政恆／29462793-275
出國人員：經濟部中央地質調查所／環境與工程地質組
科長／劉憲德／29462793-257、技正／艾克非／29462793-230
技士／邱禎龍／29462793-296
出國類別：研習
出國地區：日本
出國期間：92 年 11 月 4 日至 92 年 11 月 29 日
報告日期：93 年 2 月 27 日
分類號／目：I3/地質學
關鍵詞：土石流、地質環境、預警系統、砂防整治、土砂災害防止法
內容摘要：

本次研習在日本社團法人全國治水砂防協會的妥善安排下，進行為期一個月的研修及野外參訪調查，具體的研修內容包括：1. 土石流發生機制與分析，2. 土石流危險溪流調查技術，3. 土石流危險溪流劃設，4. 土石流防治與預警系統，5. 土石流整治砂防設施等。

研習的成果除可直接運用於本所正在進行中的相關防災減災之基本地質調查研究計畫工作外，對於防災領域發展與研究上並可適切提供：1. 土石流的生成與山崩的關係，2. 土石流的生成與地質條件的關係，3. 由地質條件來進行土石流預警系統之建置，4. 土石流危險溪流的調查與敏感區劃設等之技術與成果，以提昇我國於山崩災害調查研究與防治劃設、整治規劃技術。

台灣與日本之自然環境頗為相似，都位於板塊碰撞帶上，地震頻繁，地質環境不佳，因此豪雨後土砂災害頻傳。但日本防災監測體系起步較台灣較早，每年都投資鉅額經費辦理有關事業，對於天然災害的防止、環境保護及國土資源保育皆有相當的成效，足為我國借鏡。

綜合此次研習心得：1. 日本行政體系的事權統一，2. 日本相關砂防資訊與防災體系相當完備，3. 砂防技術研究創新，4. 自然保育觀念的重視，5. 災害情報建檔完備，6. 防災與監測系統建置，7. 文宣與通訊系統建置，8. 完備的法規--土砂災害防止法，9. 軟、硬體兼具的砂防對策。值得我國引進參考，作為防災減災借鏡。

(本電子檔已上傳至出國報告資訊網，<http://report.gsn.gov.tw>)

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：赴日本研習「土石流調查技術」	
出國計畫主辦機關名稱：行政院人事行政局	
出國人姓名/職稱/服務單位：劉憲德／科長、艾克非／技正、邱禎龍 /技士，經濟部中央地質調查所／環境與工程地質組	
出國計畫 主辦機關 查核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整 <input type="checkbox"/> 3.內容充實完備 <input type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> (1)不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> (2)以外交撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> (3)內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> (4)未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 <input type="checkbox"/> (5)未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告 電子檔 <input type="checkbox"/> 8.其他處理意見：
層轉機關 審核意見	<input type="checkbox"/> 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分 (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 退回補正，原因_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 其他處理意見：

說明：

出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。

各機關各依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。

審核作業應於出國報告提出後二個月內完成。

赴日本研習「土石流調查技術」報告

摘要

台灣與日本之自然環境頗為相似，都位於板塊碰撞帶上，地震頻繁，地質環境不佳，因此豪雨後土砂災害頻傳。但日本防災監測體系起步較台灣較早，每年都投資鉅額經費辦理有關事業，對於天然災害的防止、環境保護及國土資源保育皆有相當的成效，足為我國參考。

本次研習在日本社團法人全國治水砂防協會的妥善安排下，進行為期一個月的研修及野外參訪調查，具體的研修內容包括：1. 土石流發生機制與分析，2. 土石流危險溪流調查技術，3. 土石流危險溪流劃設，4. 土石流防治分析與預警系統，5. 土石流整治砂防設施等。

研習的成果除可直接運用於本所正在進行中的相關防災減災之基本地質調查研究計畫工作外，對於防災領域發展與研究上並可適切提供：1. 土石流的生成與山崩的關係，2. 土石流的生成與地質條件的關係，3. 由地質條件來進行土石流預警系統之建置，4. 土石流危險溪流的調查與敏感區劃設等之技術與成果，以提昇我國於山崩災害調查研究與防治劃設、整治規劃技術。

綜合此次研習心得：1. 日本行政體系的事權統一，2. 日本相關砂防資訊與防災體系相當完備，3. 砂防技術研究創新，4. 自然保育觀念的重視，5. 災害情報建檔完備，6. 防災與監測系統建置，7. 文宣與通訊系統建置，8. 完備的法規--土砂災害防止法，9. 軟、硬體兼具的砂防對策。值得我國引進參考，作為防災減災借鏡。

未來本所將加緊全國地質災害調查研究與建置整合性環境地質資料庫，並將促成砂防相關對策之推動，建立危險區域設置防災體系與預警及避難系統，提供政府相關單位作為災害防治規劃與整治參考。

赴日本研習「土石流調查技術」報告

目 錄

摘要	IV
目錄	V
壹、前言	1
貳、總論	2
參、日本的土石流調查技術與砂防體系.....	7
一、土石流概論	7
二、土石流危險溪流調查與劃設.....	9
三、土石流發生的要因與砂防施設調查.....	13
四、土石流危險區之劃設與管理.....	15
五、土石流觀測系統.....	16
六、土石流警戒與避難系統.....	21
七、土石流整治對策計畫	25
八、土石流砂防施設計畫.....	28
九、砂防關係法令.....	31
十、砂防指定地劃設.....	38
肆、野外考察與參訪.....	42
一、兵庫縣神戶人與防災未來中心.....	42
二、兵庫縣神戶住吉川防災站與住吉川下游砂防施設.....	44
三、兵庫縣西宮座頭谷川蓬萊峽土石流工事.....	46
四、兵庫縣西宮仁川地滑資料館.....	48
五、長野縣木曾御岳山地震山崩與預警施設.....	50
六、長野市地附山地滑.....	52
七、鹿兒島出水針原川土石流整治.....	55
八、熊本縣水俣市集川土石流災害	58
九、雲仙普賢岳火山災害整治.....	61
十、廣島安川左支川災害整治.....	63

十一、廣島西部山系相田砂防堰堤工事	64
十二、廣島吳市急傾斜地崩壞地之整治	66
十三、姬川流域砂防設施	68
伍、研習心得.....	78
陸、建議	81
柒、參考文獻.....	83

壹、前言

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海洋板塊碰撞帶上，造山運動劇烈，岩體相當破碎，加以雨量豐沛且集中，地表侵蝕強盛，地形陡峭，因而一旦颱風或豪雨來襲，每每形成嚴重的坡地災害。再加上台灣地狹人稠，隨著社經環境之快速發展，大量坡地過度或不當的開發使用，使地質災害問題更形嚴重，1996年7月的賀伯颱風造成南投地區廣泛的山崩及土石流已見其端，1999年9月21日規模7.3的集集大地震，更使岩層鬆動，在山區產生更多的崩塌地，致2001年的桃芝與納莉颱風則引發全台地區嚴重的山崩土石流，造成人民生命財產重大損失。

有鑑於地震後的山崩災害頻傳，經濟部中央地質調查所於九十年代起，即著手進行「都會區周緣坡地整合性環境地質資料庫建置」、「山崩調查與危險度評估」與「土石流災害地質調查研究」等三大中長期計畫，期能以地質之觀點，針對各個類型的山崩災害作詳細的地質調查與分析評估，提供政府相關單位作為災害防治規劃與整治參考。

而有關於土石流的調查與整治，雖然目前政府各級單位均編列有鉅額預算進行中；然而正確的防治對策則有賴於深入了解土石流發生的機制與作用，同時分析評估各個潛勢溪流之危險度，再進而研擬整治對策，因此爰以申請此項「土石流調查技術」研習計畫。

由於日本在地形、地質、氣候及政經環境上與台灣相似，且日本在坡地防災與整治技術上已有百年之經驗，故本研修計畫乃借鏡於日本防災之經驗與技術，進行有關土石流之調查與整治技術研習。因此經由日本社團法人全國治水砂防協會的妥善安排，進行為期一個月的研修課題，具體的研修內容包括：1. 土石流發生機制與分析，2. 土石流調查技術，3. 土石流危險溪流劃設，4. 土石流觀測分析與預警系統，5. 土石流整治與砂防設施對策等，希望借由日本砂防整治工事的成功經驗，來重整我們的家園，進行整合性的地質災害敏感區劃設，並告訴國人如何防災與減災，建立我國防災體系。

此次研習的成果除可直接運作於本所正在進行中的相關防災減災之基本地質調查研究計畫工作外，對於防災領域發展與研究上，並可適切提供地質環境與災害關係，包括 1. 土石流的生成與山崩的關係，2. 土石流的生成與地質條件的關係，3. 由地質條件來進行土石流預警系統之建置，4. 土石流潛勢溪流的調查與敏感區劃設等之技術研發與成果推廣，以提昇我國於山崩災害調查研究與整治設計、防治規劃技術。

貳、總論

本次奉派赴日研習考察，研修期間自民國九十二年十一月四日起至十一月二十九日，共計二十五天，第一星期行程為神戶地區與長野地區之地震山崩考察研修；第二星期為日本砂防協會安排之土石流理論課程及相關法規講習，並赴筑波獨立行政法人土木研究所研修及參觀大型土石流現地試驗；第三星期繼續研修土石流理論課程，並考察鹿兒島出水，熊本水俣與島原雲仙岳，廣島安川左支川與吳市等地區之火山地區山崩災害與土石流的觀測系統、預警系統與整治工事；第四星期為土石流發生實例及整治成果影片介紹，與考察長野白馬姬川流域之土石流整治與觀測預警系統；而於研習結束的前夕並與日本國土交通省砂防部、砂防協會等政府官員與砂防協會技術人員進行研習成果說明與意見交換。詳細研習與考察課目詳如表 2.1。

相關理論課程與考察之內容，將依序詳述於第參章與第肆章，並提出研習心得與建議。首先就日本國土的自然社會環境與土砂災害現況、防治整備做一概括性的說明。

一、日本的自然環境

日本位於太平洋海洋板塊、菲律賓海洋板塊及歐亞大陸板塊三大地殼板塊衝撞的位置上，是一地質環境極為活躍的國家，境內的活火山有 108 座，地質構造複雜，褶皺、斷層、火山噴發以及活動斷層到處分布，且地震頻繁。全國地形分布山地約佔總面積之 76%，台地約為 11%，平地約僅 13%，地形陡峭，年平均雨量約 1500 公釐，河川短而湍急，每有颱風豪雨，山崩災害頻繁。除火山活動外，日本的自然環境在許多方面與臺灣類似。

二、日本社會的特性

日本人口約有一億五千萬人，但地域狹小，相對的人口密度亦是世界屬一屬二的，與臺灣人口密度類似；而其人口的分布根據統計資料顯示，平地地區人口約佔全國之 55%，台地地區約為 23%，山地人口亦佔 22%；山地地區人口總數估計約為 3,300 萬人，數目可觀，為暴露在土砂災害下的高危險羣。

日本的開發較早，許多人民為了生計進入山區謀生，開發墾植山林地而導致土砂及洪水災害的衝擊，因此江戶時代即已有『治水在治山』的看法；明治時代曾聘請荷蘭砂防專家指導進行防災整治工作，並於 1897 年制定相關砂防保護法律；進入現代後，由於憲法規定人民有居住遷徙的權利，因此一直無法強制人民離開土砂災害危險區及

洪水危險區，也因而創造出研發防治土砂災害技術的市場；以至於今，使得日本的土砂災害防治技術一路領先，除一部分原因是日本人的積極進取外，其背後社會的壓力與環境因素也是重要的促成因素。

「土石流調査技術研修」日程 (2003・11・4～11・29)

月日	AM	PM	研修講師等	備考
4日(火)	来日(台北→関西空港)			
5日(水)	人と未来防災センター・住吉川防災デモ、流路工	仁川地すべり資料館・座頭谷川砂防事業	兵庫県砂防課	現地研修
6日(木)	木曾福島へ移動	御岳崩れ、伝上川の砂防事業	長野県木曾建設事務所	現地研修
7日(金)	長野県における雨量観測と情報監視システム / 長野へ移動	地附山地すべり災害の実態と対策工、監視システム	長野県木曾建設事務所 / 長野県砂防課	現地研修
8日(土)	東京へ移動			
9日(日)	休日			
10日(月)	オリエンテーション	総論(日本の自然・社会特性、土砂災害、砂防基本計画)	砂防協会 / 国土交通省砂防課	
11日(火)	砂防法と土砂災害防止法	土石流概論	国土交通省砂防計画課 / 東京農工大学	
12日(水)	土石流調査	土石流発生実験(森林総合研究所主催)	独法土木研究所	
13日(木)	土石流氾濫区域設定法	土石流観測システム	国土交通省危機管理技術研究センター	
14日(金)	土石流対策(計画)	土石流対策(設計)	(財)砂防地すべり技術センター	
15日(土)	資料整理	資料整理		
16日(日)	休日			
17日(月)	土石流警戒・避難システム	砂防指定地と管理	(株)日さく / 国土交通省砂防計画課	
18日(火)	鹿児島へ移動	針原川土石流災害現地視察	鹿児島県砂防課・出水土木事務所	現地研修
19日(水)	水俣土石流災害現地視察	雲仙普賢岳噴火活動と災害、情報収集のためのシステム	熊本県砂防課 / 国土交通省雲仙復興	現地研修
20日(木)	土石流対策施設、工事監視体制、無人化施工、等	広島県へ移動	国土交通省雲仙復興事務所	現地研修
21日(金)	土砂災害防止法・防災情報システム、直轄・補助砂防事業現地視察、堂ヶ原川(土砂災害防止法指定地箇所)視察	呉地域事務所建設局(特例箇所)、都市砂防事業(急傾斜地崩壊対策事業)	国土交通省太田川河川事務所・広島県砂防課	現地研修
22日(土)	東京へ移動			
23日(日)	休日			
24日(月)	振替休日			
25日(火)	土石流の性状、土石流対策工法(不透過型砂防堰堤、透過型砂防堰堤：スリット、スーパー暗渠砂防堰堤)機能と効果	松本へ移動	(社)全国治水砂防協会	
26日(水)	土石流観測施設(平川)、松川床固工群	金山沢源頭域、土石流観測装置、掃流砂・浮遊砂サンプリング調査、浦川スーパー暗渠砂防堰堤	国土交通省松本砂防事務所・姫川出張所	
27日(木)	東京へ移動	土石流の発生形態と発生・流動機構 <small>→ねり</small>	(社)全国治水砂防協会	
28日(金)	文献・資料収集、報告書作成	意見交換会	(社)全国治水砂防協会	
29日(土)	帰国(成田→台北)			

表 2.1 土石流調査技術研習與考察課目表

三、日本的土砂災害現況及對策

根據日本砂防調查統計資料，日本全國土石流危險溪流約 18 萬條，地滑區約有 1 萬 1 千多處，陡坡崩塌地有 11 萬 3 千多處，可能產生崩塌的山坡地約有 33 萬多處，下圖為最近五年來土砂災害的統計圖。

H15土砂災害と過去5ヶ年発生件数との比較

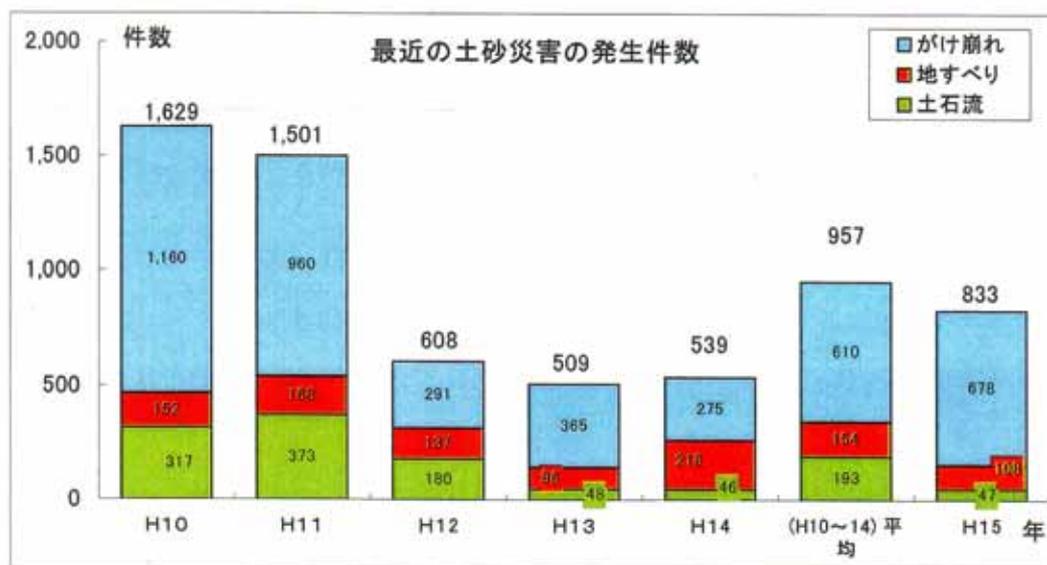


圖 2.1 日本近五年來土砂災害的統計圖，縱軸為年雨量 mm，橫軸為平成年代

由圖 2.1 顯示，年降雨量增加時土石流災害明顯增加；但隨著近年來土石流防治技術的進步及土石流預警制度的建立，土石流發生災害的數目已逐年在減少中。根據此次陪同考察的日本前國土交通省砂防部部長岡本正男博士所述，2001 年日本全國砂防整治預算折合台幣約為 4,000 億元之多，而僅在島原雲仙岳火碎流之土石流整治個案，總整治經費則達台幣 500 多億元，由此可見日本對土砂災害防治工作的重視。

日本土砂防治措施採取的對策，除研究發展土砂防治技術與寬籌經費辦理砂防事務外，並且由法規方面配合宣導進行，以達到軟、硬體兼具之整治對策。這些砂防相關法令包括砂防法、地滑防止法、急傾斜地法、土砂防止法等，其中有些為最近幾年才通過的法令，顯示出日本政府對土砂災害之更積極因應，以確保國土環境安全與謀求人民的福祉。

土砂災害的防治需要建立砂防的行政組織以資效行，其施行的流程如圖 2.2，係由地方政府逐一向上級陳報，以獲得批准，其地方政府的權限與地方自治的能力值得參考與學習。

四、臺灣與日本的比較

臺灣的自然環境雖然與日本類似，但是沒有活火山活動及相關廣泛的火山堆積物與火碎流。不過臺灣的降雨量與降雨強度卻往往是日本的兩倍或更多，溫暖潮濕的環境造成地表深厚的土壤層及風化層形

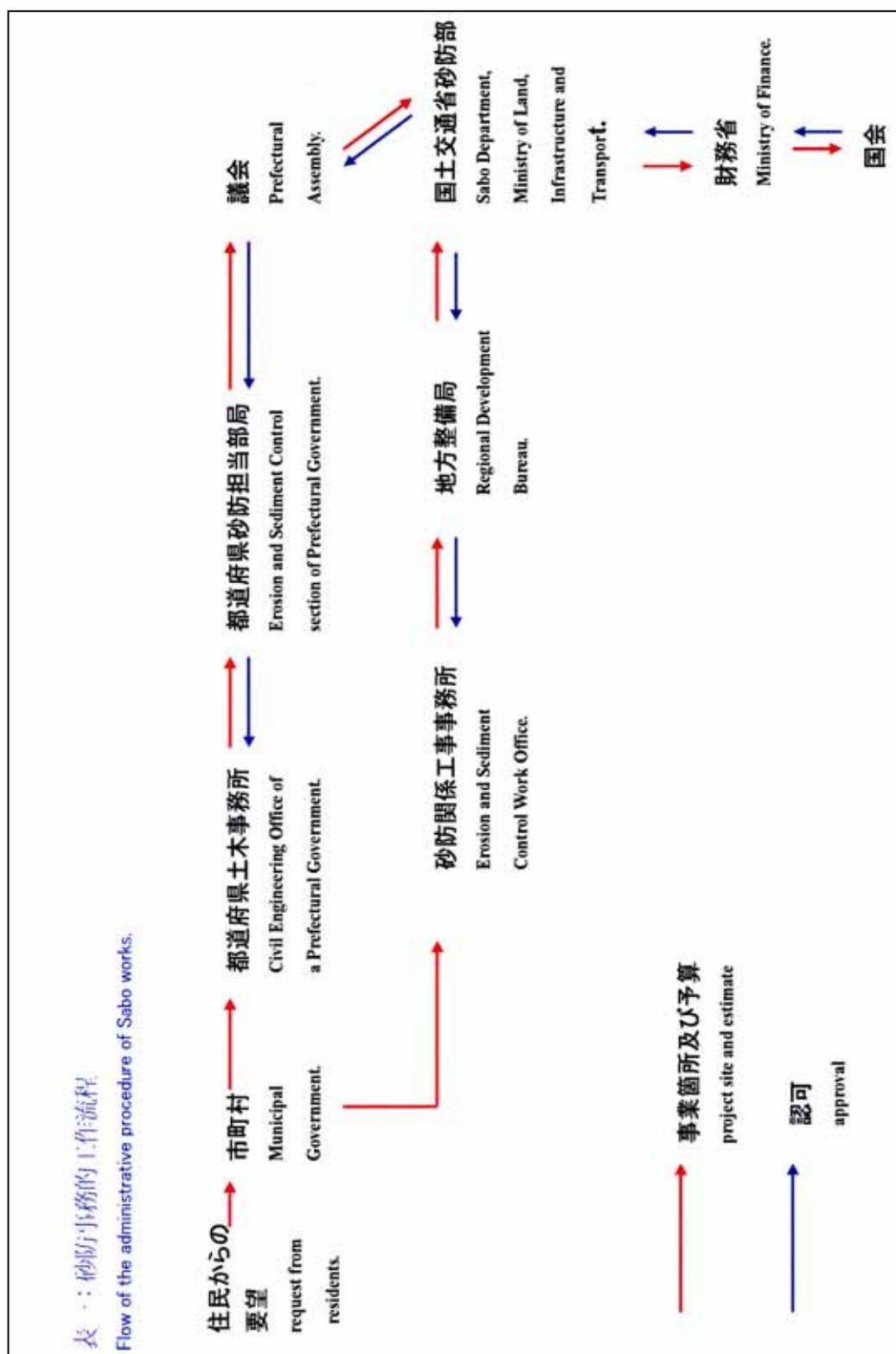


圖 2.2 日本砂防事務行政組織流程圖

成，易於受到降雨的沖蝕與產生崩塌，因此臺灣整體自然環境條件比日本更為不利，其中氣候條件與地質環境造成的因素則扮演相當重要的角色。

臺灣山區較少人民居住，開發程度亦較低，不若日本的情形，同時臺灣因山坡地保育利用條例、水土保持法、環境影響評估法等已施行有年，對山區的開發已有明文的限制，所以臺灣山地的土砂保育工作目前施行成效良好，如能借鏡日本的砂防研發技術及整治對策，對未來臺灣山區自然環境的保護與土砂災害防治，將會有非常良好的助益。

參、日本的土石流調查技術與砂防體系

日本的土石流調查技術與砂防體系已相當完備，且日本與台灣同處於西太平洋邊緣，自然地理環境與地質環境相近，土石流發生原因與調查方法可做為借鏡。本次研修土石流調查技術課程將分為土石流概論、危險溪流調查與劃設、土石流觀測系統、警戒與避難對策、砂防工事、與砂防相關法規等摘錄敘述如下。

一、土石流概論

土石流為泥、砂、礫石及巨石等固態物質與水之混合體，受重力作用後所產生流動的現象。形成土石流之基本要件為足夠的土石材料、充份的水份、及足夠大之溪床坡度。土石流的發生多受溪床坡度、降雨量、降雨強度、地質條件、崩積材料粒徑、堆積層之含水量等影響。而土石流發生與否及受災程度之大小，與該區域內崩積物厚度、水文特性、及地形等因子有關。

(一)、土石流的類型(圖 3.1.1)

1. 山腹斜面崩壞型：坡面崩塌→土石流
2. 天然壩決壞型：坡面崩塌→天然壩→土石流
3. 溪床堆積物流動型：河床堆積物→土石流
4. 地滑土塊流動型：地滑塊體→土石流

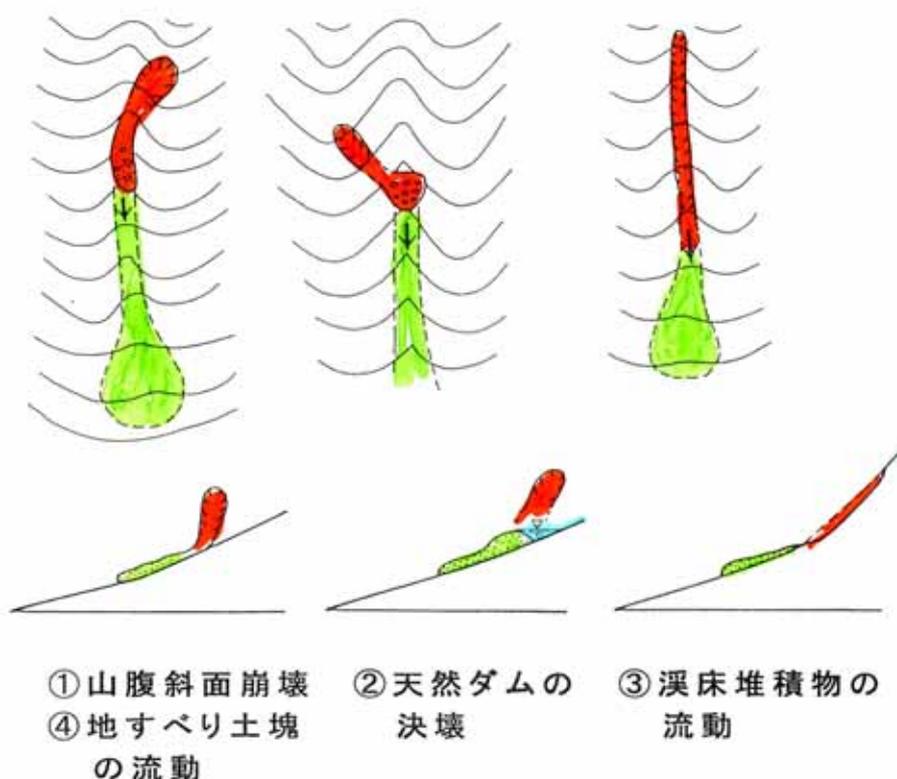


圖 3.1.1 土石流的類型

(二)、土石流發生條件

1. 坡度：溪床坡度 15° 以上
2. 材料：坡面或河床上不安定土砂與塊石
3. 水(降雨、融雪)：多量的水

(三)、土石流災害的特徵

1. 流動速度快，流速約 $5\sim 20\text{m/秒}$
2. 巨礫、流木、土砂、泥的混合體
3. 突發性高
4. 容易造成重大傷亡
5. 家屋、施設易遭到破壞
6. 須花費大量經費與較長時間復整

(四)、土石流危險溪流的分類

以保全對象為依據，可分為 3 級：

1. 土石流危險溪流 I

保全人家戶數 5 戶以上，或保全人家未滿 5 戶，但有政府機關、學校、醫院、發電廠等之場所，並可能受土石流影響的溪流。此類型危險溪流將由中央政府編列預算優先構築砂防設施。

2. 土石流危險溪流 II

保全人家戶數 1 戶以上 5 戶以下場所，可能受土石流影響的溪流。此類危險溪流由地方政府自行編列預算採取必要對策。

3. 土石流危險溪流準溪流

目前無保全對象，但未來可能有住宅等之發展之土石流危險溪流。

(五)、土石流災害對策

1. 警戒對策

- (1) 避難體制的整備
- (2) 土地利用的限制
- (3) 土石流相關之防災教育

2. 工法對策(圖 3.1.2)

- (1) 土石流發生區抑制工：不透過型砂防堰堤、山腹工
- (2) 土石流流路區抑制工：不透過型砂防堰堤、透過型砂防堰堤、攔砂壩、流路工、導流堤
- (3) 土石流氾濫區抑制工：導流堤、攔砂壩、流砂地

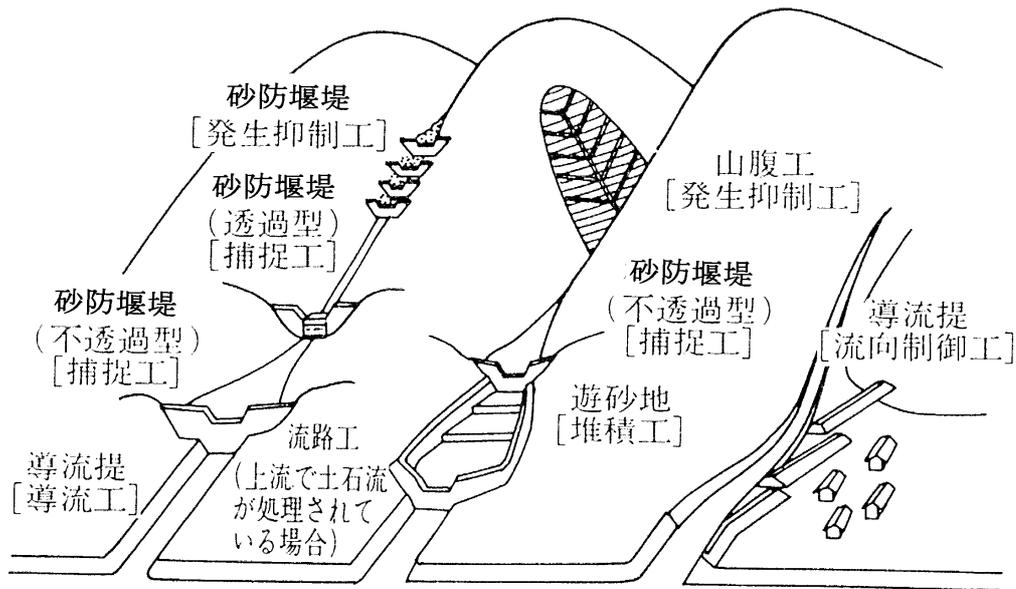


圖 3.1.2 土石流對策工法

(六)、調查流程

土石流危險溪流調查包括集水區及兩側堆積土石材料的分佈、厚度變化、地貌表徵、岩性組合、構造地質、環境地質及其材料之岩性組合情形，分發生區、流通區及堆積區進行詳細調查，調查作業流程圖 3.1.3 所示。

1、土石流危險溪流：可分為發生區、流通區及堆積區

(1). 發生區

一般位於整個溝谷或河谷流域之中、上游或源頭發生區通常由周圍的山嶺環繞，形成只有一處出口的窪狀、匙狀或碗狀的地形。此出口處的坡度一般較陡峻，大致上多在 15° 至 50° 之間，出口處的橫剖面形狀則多為「V」字形。此外，發生部堆積的地質材料多為週遭谷壁崩坍所提供的，因此，相對的，谷壁四周的植生便顯得較稀少。對於發生區山崩分佈需加以調查，以瞭解土砂料源的量。

(2). 流通區

一般位於溝谷或河谷流域的中、下游地區，其流通部橫剖面的谷形多為「U」字形，谷壁兩側的山坡相當陡峭，河床一般坡度多介於 15° 至 40° 之間，而谷壁與河床中皆可發現土石流經過時遺留下來的沖刷、淘蝕的痕跡。在流通部的河床上常可見自河谷兩岸崩落下來的崩積土層與崖錐堆積材料。

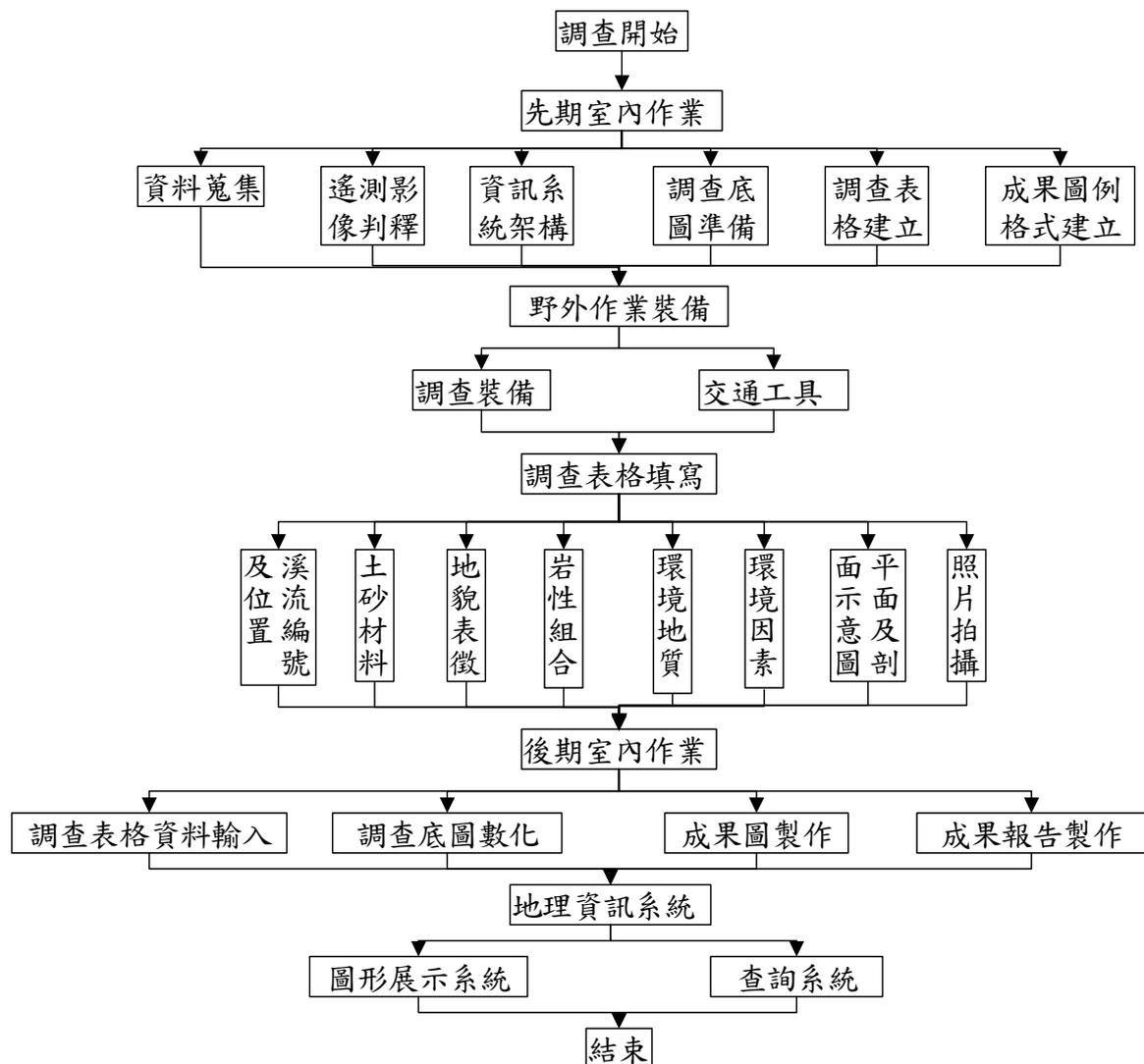


圖3.1.1 土石流危險溪流調查流程圖

(3). 堆積區

多位於河谷下游的出口處，堆積區的地形較平緩，坡度一般在 10° 以下，通常為沖積扇狀的平坦地形。在溝谷內，堆積部表面與前緣多聚集有大顆粒的岩塊。

2、古土石流

古土石流流域的判定，在野外可由下列特徵加以判定：有溝谷的形態發育，河流出口或山溝出口有扇狀地形，坡度超過4至6度，縱剖面中有大小不一岩塊、基質支撐(matrix support)；局部有枯樹幹、樹枝、雜草等，中游地區之橫斷面常呈U型谷，有明顯沖刷及淤積痕跡，縱剖面常呈鋸齒狀，有天然跌水，上游成畚箕形地形，坍方、蝕溝作用頻繁，中上游溪岸坍方數目多，曾有土石流災害紀錄等。

二、土石流危險溪流調查與劃設

為因應 2000 年(平成 12 年)土砂災害防止法的發布，日本國土交通省砂防部訂定土石流危險溪流調查與劃設的方法，其流程如圖 3.2.1，首先進行危險溪流判釋，再擬定危險溪流調查範圍，與進行保全對象調查及土石流危險區域之劃設；過程分述如下。

(一)、危險溪流判釋

以 1/25000 地形圖為底圖，進行河谷地形判釋，並以一次谷地形為起始點，當一次谷地形以上的河床坡度大於 3° ($1/20$)、或火山地區之河谷地形坡度大於 2° ($1/30$) 以上時，即為土石流危險溪流。

(1) 一次谷地形

所謂的一次谷地形如圖 3.2.2 所示，指河流或野溪流出谷口後，同一等高線之谷寬 a ，與同一等高線最凹入地點之谷長 b 的比值，當：

1. $a < b$ ，為 1 次谷。
2. $a > b$ ，不是 1 次谷。

(2) 但有下列情況即使不是 1 次谷，亦列為土石流危險溪流：

- A. 常有土石流和土砂流發生之溪流，與扇狀地形。
- B. 由地形地質研判，可能發生土石流之溪流，如上游有崩壞地、裸露地等特徵。

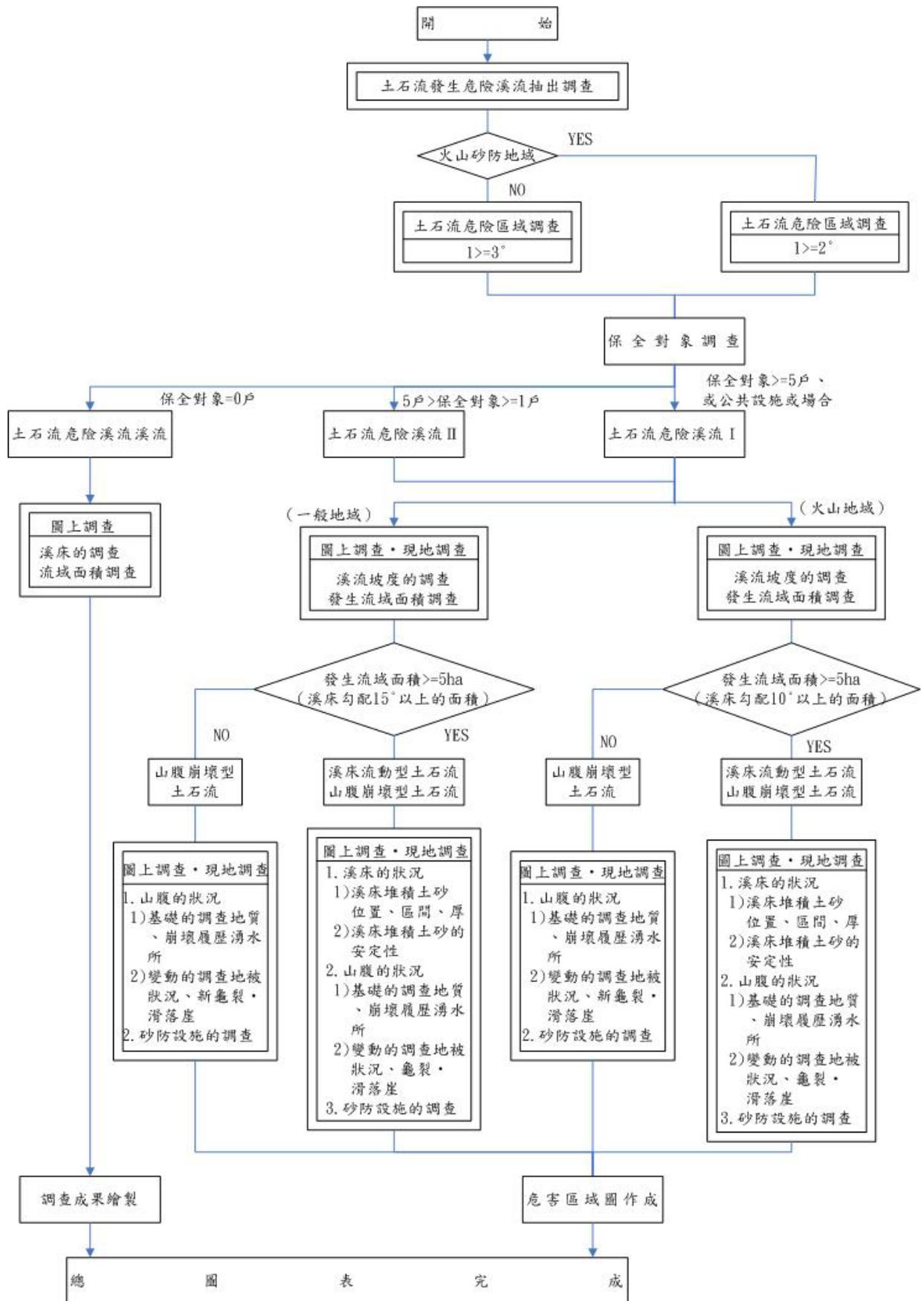


圖 3.2.1 土石流危險溪流判釋與調查流程

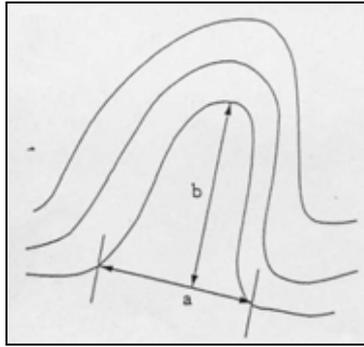


圖 3.2.2 一次谷之地形

(二)、危險溪流調查範圍與調查內容

日本的危險溪流包括火山砂防計畫地區的危險溪流、土石流危險溪流 I 與 II、土石流危險溪流準溪流三部分，其調查範圍為：

1. 火山砂防地區危險溪流：指火山噴時發避難對策事業計畫所涵蓋的範圍。
2. 土石流危險溪流：指可能發生土石流之危險溪流，包括保全對象在 1 戶以上之土石流危險溪流 I 與土石流危險溪流 II，調查範圍包括民宅、政府機關、學校、醫院、旅館、發電廠、社會福祉施設之災害弱勢者關連施設等之公共施設附近之危險溪流範圍。
3. 土石流危險溪流準溪流：指將來可能因住宅擴大、保全對象增加、或都市計畫範圍，所劃定之事前調查區域。

危險溪流調查的內容包括河床坡度調查、流域面積調查、土砂堆積量調查、土砂堆積物特性調查、土砂穩定性調查、地質環境調查、崩塌地特性調查、砂防設施調查等，以掌握河流的變動特性，分析研判土石流的再發性。而土石流危險溪流準溪流的調查則僅進行圖上查證。

(三)、保全對象調查

保全對象調查係以土石流危險溪流附近之人為設施進行查訪，包括一般住戶、政府機關、學校、醫院、旅館、發電廠、社會福祉施設之災害弱勢者關連施設等之公共施設調查。在此所謂之弱勢者關連施設有：

1. 兒童福利設施(厚生省管理) → 助產設施，乳兒院，母子生活支援設施，保育所，兒童衛生設施，兒童養護設施，精神薄弱兒設施精神薄弱兒童園設施，盲兒設

施，肢體不自由兒童設施，重症心身障礙兒設施，情緒障害兒短期治療設施，兒童自立支援設施，兒童家庭支援等。

2. 老人福利設施(厚生省管理) → 老人養護設施，老人特別養護老人設施，老人津貼設施，老人福利設施，老人介護支援設施等。
3. 身體障害者更生援護設施(厚生省管理) → 身體障礙者更生設施，身體障礙者療護設施，身體障礙者福利設施，身體障礙者受產設施，殘障設備製作設施，視聽覺障礙者情報提供設施。
4. 精神薄弱者援護設施(厚生省管理) → 精神薄弱者更生設施，精神薄弱者授產設施，精神薄弱者通勤設施，精神薄弱者福利設施。
5. 醫療提供設施(厚生省管理) → 醫院、診療所、老人保健設施。
6. 幼稚園(文部省管理) → 對幼稚園的相關設施。

(四)、土石流危險區域之劃設

土石流之危險區域指在地形條件上為土石流發生時可能影響與涵蓋的區域，可分為古土石流堆積物之分布區域、過去之土石流氾濫區域、鄰接土石流危險溪流地形區域、地質類似土石流危險溪流或土石流氾濫狀況等區域。

土石流危險區域劃設的範圍，原則上在土石流堆積區為河床坡度3度以上(火山砂防地域，土石流發生實際參考值則使用2度)，土石流發生區為河床坡度15度(火山砂防地區10度)以上之流域。

土石流危險區域的地形，可以土砂堆積物的地形特徵為著眼點加以判釋，其特徵為：a. 扇狀地形，b. 巨礫群之存在，c. 層狀砂礫之混合堆積物。

河床坡度3度以下之範圍雖不列入土石流危險區域，但如有下列情形者，亦劃為土石流危險區：

- (1). 曾發生災害之案例，特別是細粒土砂之土石流(泥流)地區。
- (2). 河床坡度3°以下，但距離海洋、湖泊、主要河川很近之場所亦屬土石流危險區域。

三、土石流發生的要因與砂防施設調查

土石流的發生型態有河床堆積土砂的流動化(溪床堆積物流動型土石流)、天然堤的決壞(天然壩決壞型土石流)、山腹崩壞的土石流動化(山腹斜面崩壞型土石流與地滑土塊流動型土石流)等，前二種土石流發生型態要因主要受河流溪床坡度、流域面積、溪床的穩定狀況所控制；而山腹崩壞的土石流動化主要原因為山腹坡面的穩定狀況。

(一)、土石流要因調查

1. 河床坡度的調查：調查項目河床坡度

(1). 地形圖計測

使用 1/25000 地形圖(若有精度 1/5000 地形圖 1/10000 地形圖則使用精度高之地形圖)來計算河床坡度；亦可活用精度更佳之數值化航空照片進行坡度計測。

(2). 現地量測

於現地調查土石流發生區、流動區、堆積區之際，進行現地量測。

(3). 土石流發生區、流動區、堆積區坡度和河床坡度關係：如表 3.3.1。

表 3.3.1 土石流與河床坡度關係

溪床坡度	土石流發生區分	代表色
$20^{\circ} \leq \theta <$	發生區間	赤色
$15^{\circ} \leq \theta < 20^{\circ}$	發生區間，地下區間 (火山地域土石流發生區間)	橙色
$10^{\circ} \leq \theta < 15^{\circ}$	土石流流下堆積，土砂流流下區間	桃色
$3^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}$	土石流，土砂流堆積區間	綠色
$2^{\circ} \leq \theta < 10^{\circ}$	(火山地域土石流，土石流堆積區間)	綠色

2. 流域面積的調查：調查項目包括堆積區與發生區

(1). 氾濫開始點上游的流域面積（堆積區流域面積）。

(2). 河床坡度 15° （火山砂防地域溪床坡度 10° ）地點上流的流域面積（發生區流域面積）

調查方法係以地形圖或現地調查確認氾濫開始點與河床坡度 15° （火山砂防地域 10° ）之流域面積，以作為計測土砂量、水量與土石流規模之依據。

3. 溪床狀況調查：調查項目為流域面積大於 5 公頃者

- (1). 調查溪流溪床內土砂堆積位置、範圍、堆積厚度(m)、寬度(m)，並與舊有資料或施工中所挖掘剖面進行複查。
- (2). 調查溪床堆積土砂的安定性，與溪床堆積土砂堆積形狀(表面的凸凹)，侵蝕斷面上植生狀況，評估其不安定土砂量與可能崩塌量。

4. 山腹狀況的調查：調查項目為地質、崩塌地、湧水、植生等

(1). 基本地質調查

調查項目：表土層的發達狀況(表土層厚度)，崩積土層分佈區域，風化岩分佈區域，火山岩屑分佈區域、火碎流堆積分佈區域，火山灰分佈區域，破碎帶分佈地點，第三紀層又第四紀層的分佈區域
調查方法：地質圖等與文獻資料的收集及分析，並進現地調查。

(2). 崩塌地調查

調查項目：過去發生崩塌的區域(崩塌面積 1,000m²以上的崩塌地位置、數量)。
調查方法：過去發生崩塌區域災害報告書、地形圖、航照，進行現地調查。

(3). 舊崩塌穩定調查

a. 植被狀況調查

調查項目：調查裸露地、草地，採伐區存在之流域中所佔之比率。
調查方法：利用地形圖、航照與現地進行調查。

b. 新龜裂、滑落崖調查

調查項目：調查舊崩塌地有無新龜裂，或新滑落崖。
調查方法：利用地形圖、航照、現地調查舊崩塌地內有無新龜裂的數量調查。

(4). 湧水地點調查

調查項目：山腹斜面湧水地點的有無及數量。
調查方法：先從地形圖與航照中等找尋可能湧水地點，再進行野外調查確認。

(二)、砂防施設調查

砂防施設調查目的為調查危險溪流內現有攔砂壩等砂防施設の

容許容砂量(圖 3.3.1)，並核算其對土石流流出抑制效果，與作為規劃新砂防設施的依據。調查方法主要為現地調查，與量測攔砂壩內未淤滿攔砂壩高度、堆砂寬度、堆砂長度等，與未滿容砂量算出。

$$\text{現況的堆砂量 } V_0 = 0.25(B_0 + B_1)(H - \Delta H) \cdot L_0$$

$$\text{計劃堆砂量 } V = 0.5(B_0 + B_2)H^2 / i_0$$

$$\text{未滿砂量 } \Delta V = V - V_0$$

i_0 = 河床坡度
 B_0 = 砂防基礎長度
 B_1 = 現況堆砂寬度
 B_2 = 計畫堆砂寬度
 L_0 = 現況堆砂長度
 H = 砂防設施高度
 ΔH = 未淤滿砂高度

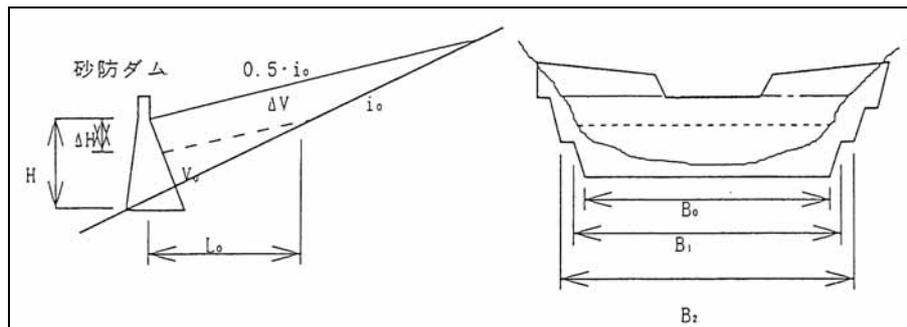


圖 3.3.1 砂防設施的容許容砂量示意圖

四、土石流危險區之劃設與管理

土石流危險區之劃設目的為保全人民生命財產安全，並定期進行土石流危險區域溪床邊坡狀況的巡視、檢查，且每 5~9 年實施複查，以瞭解危險溪流流域狀況，及土石流危險溪流調查實施後應做之一系列管理，以瞭每一時期之狀況。

(一)、土石流危險區之劃設

土石流危險區之劃設，首先須瞭解流域現狀與過去的調查結果及現地調查時之記載，分成 4 個部份：

1. 土石流危險溪流調查第 1 部份：調查溪流位置圖、流域圖、危險溪流等級區分、地質概況、比較大災害之歷史記錄、流域面積等。

2. 土石流危險溪流調查第 2 部份：土石流危險區域圖之繪製（以比例尺 1/5,000 標示每一戶的家屋、現地設施與各分區）。
 - (1) 土石流危險區域以黃色代表。
 - (2) 各項砂防設備與施工地點以黑色代表。
 - (3) 水系名，河川名，溪流名，溪流編號皆須標示清楚。
 - (4) 氾濫開始點以綠色為記號。
 - (5) 保全對象以青色代表。
3. 土石流危險溪流調查第 3 部份：調查保全對象、溪床狀況、山腹狀況、砂防設施的未滿容量，並將結果記載。
4. 土石流危險溪流調查第 4 部份：現地調查溪床、山腹、保全對象狀況、並附加現地拍攝照片。

(二)、土石流危險溪流之管理

由於土石流危險溪流發生時所釀成的災害極為嚴重，因此在管理上的檢查佔了相當重要的角色，原則上可分為下列 3 項：

(1) 日常巡視檢查

日常須巡視與檢查，特別是在土砂災害防止月之降雨期前，為一重要例行檢查。

(2) 緊急檢查

一定規模以上之地震與一定量以上的降雨，或有斜面崩壞、土石流土砂災害發生時，則進行緊急檢查。

(3) 定期檢查

全國定期進行土石流危險溪流檢查，檢查項目即針對溪流狀況、邊坡狀況做精查與各項砂防設施之檢查。

五、土石流觀測系統

土石流觀測系統主要目的為實際觀測土石流發生時之水文條件如降雨量、水流量、流速等，並瞭解土石之流動特性、流動規模、土石大小特性等，以進行分析與修正理論數據，做為建立土石流發生之警戒與避難體系與砂防設施規劃設計依據。

圖 3.5.1 為整合性土石流觀測系統架構圖，除可利用傳統儀器進行觀測外，目前並於土石流發生區與流動區設置土石流監視系統，分別掌握各個流路點之土石流現況，提供做為發布警戒與避難資訊。觀測系統的架構並可依據各個土石流危險溪流的特性，與依觀測目的的

不同，規劃與設立不同的觀測網。

(一)、觀測方法

1. 降雨量觀測

降雨量觀測主要儀器為雨量計，包括輕便雨量記計、自記型雨量計與雷達雨量計。目前日本國內之降雨量觀測站約每間隔 1-3 公里均設置有一座自記式雨量計，而每 10-20 公里則有小型或大型雷達式雨量計。

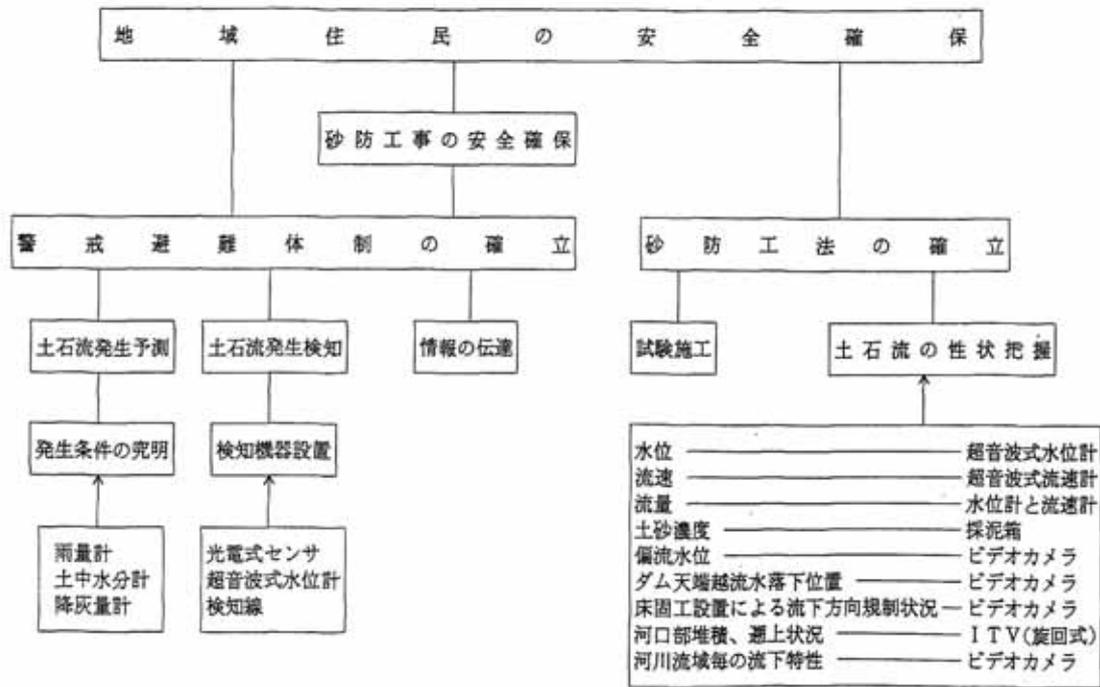


圖 3.5.1 整合性土石流觀測系統架構圖

2. 土石流觀測

土石流觀測所使用之儀器有數位相機、VTR 攝影機、超音波式水位計、流速計、線型感應器、光電式感應器、音響感應器、振動感應器等，由觀測所獲得的資料包括土石流發生時之河流水位、流速、流量、土砂濃度等，以進行土石流分析與評估。

降雨量與土石流發生狀況為防災上重要的資訊，因此相關觀測數據均是 24 小時監視觀測，降雨量並每 10 分鐘將所觀測之資料以網際網路或衛星傳送到臨近的砂防事務所或工務所彙整，與進行分析、評估與提供警戒。

(二)、土石流觀測資料分析－以櫻島土石流為例

櫻島位於鹿兒島市東側鹿兒島灣的對岸，東西長 12 km、南北寬 9 km、周緣約為 50 km，面積約 80 km²，最高峰 1117m，地形相當陡峭。櫻島於一萬三千年前開始噴發火山熔岩形成，屬於層狀熔岩火山。櫻島火山近年又開始活躍起來，最近一次大規模火山噴發為 1935 年(昭和 10 年)之火山碎屑噴發，而自昭和 40 年以來迄今 35 年間已有 4800 次之火山噴發活動，昭和 58 年與昭和 60 年活動更為頻繁，平均每日爆發一次，地表並堆積著大量的火山碎屑岩與火山灰。

櫻島年平均溫度約為 18°，年平均雨量達 2240 mm，屬於溫暖潮濕氣候，主要雨季為每年五至八月之梅雨期與颱風期。島上河川短促陡急，因此每有豪雨發生，必定造成地表嚴重侵蝕，與發生土石流災害。目前在島上裝設有多處之雨量計、降灰量計、土石流感應器與土石流觀測相機等設備，表 3.5.1 為櫻島土石流觀測儀器設備，相關位置如圖 3.5.2，觀測結果則以野尻川為例分述如下。

種類	番号	場所	仕様	
雨量計	1	野尻川5号ダム右岸	テレメータ、バケツ型	
	2	野尻川5号ダム右岸	洗浄型	
	3	野尻川5号ダム右岸	オーバーフロー型	
	5	持木川5号ダム右岸	テレメータ、バケツ型	
	7	持木(国道224号)	転倒マス型	
	8	東岳島	テレメータ、バケツ型	
	9	通之(桜島砂坊出張所)	転倒マス型	
	10	第二古里川1号ダム右岸	テレメータ、バケツ型	
	11	古里(国道224号)	転倒マス型	
	13	有村(国道224号)	オーバーフロー型	
	14	第一黒神川	転倒マス型	
	15	黒神	転倒マス型	
	16	宇都	転倒マス型	
	17	第二白紙(古河良川)	転倒マス型	
	18	白紙	転倒マス型	
	19	第三白紙(アミダ川)	転倒マス型	
	20	金床川	転倒マス型	
	21	持木	転倒マス型	
	降灰量計	1	第一黒神川	ドラム缶
		2	第二黒神川(鹿野松川)	ドラム缶
		3	古河良川	ドラム缶
6		松浦川	ドラム缶	
8		金床川	ドラム缶	
9		深谷川	ドラム缶	
10		長谷川	ドラム缶	
11		長谷川(養田山)	ドラム缶	
12		通之平	ドラム缶	
13		野尻川5号ダム右岸	ドラム缶	
14		野尻川(愛宕山)	ドラム缶	
15		持木川	ドラム缶	
16		養松川	ドラム缶	
18	第二古里川	ドラム缶		
20	有村川	ドラム缶		
23	野尻川河口	ドラム缶		
土石流センサー	検知線	1	野尻川7号ダム	光センサ
		2	野尻川5号ダム	ワイヤセンサ
		3	養松川(流路工)上流	ワイヤセンサ
		4	持木川(流路工)上流	ワイヤセンサ
		5	第二古里川1号ダム	ワイヤセンサ
		6	第一古里川上流	ワイヤセンサ
		7	有村川(流路工)上流	ワイヤセンサ
		8	黒神川(黒神橋)上流	ワイヤセンサ
	水位計 流速計	1	野尻川(流路工)上流	超音波式水位計
		2	野尻川(流路工)上流	超音波式流速計
		3	養松川(流路工)上流	超音波式水位計
		4	養松川(流路工)上流	超音波式流速計
		5	持木川(流路工)上流	超音波式水位計
		6	持木川(流路工)上流	超音波式流速計
		7	第二古里川1号ダム	超音波式水位計
		8	第一古里川上流	超音波式水位計
土石流観測カメラ	1	野尻川7号ダム	旋回型カメラ	
	2	野尻川5号ダム上流	固定カメラ	
	3	野尻川5号ダム左岸	固定カメラ	
	4	野尻川5号ダム	固定カメラ	
	5	野尻川4号ダム(旧)	固定カメラ	
	6	野尻川4号ダム右岸	固定カメラ	
	7	野尻川4号ダム右岸(正面)	固定カメラ	
	8	野尻川(流路工)上流(1号ダム)	固定カメラ	
	9	野尻川(野尻橋)	固定カメラ	
	10	野尻川河口	旋回型カメラ	
	11	養松川(流路工)	固定カメラ	
	12	持木川(流路工)	固定カメラ	
	13	第二古里川(1号ダム)	旋回型カメラ	
	14	第一古里川(流路工)	固定カメラ	
	15	有村川(流路工)	固定カメラ	
	16	黒神川(黒神橋)	固定カメラ	

表 3.5.1 為土石流観測儀器設備

1. 野尻川之土石流観測記録整理

野尻川源於櫻島中岳(標高 1060M)之西側，匯集西側坡面之地表水向西南方流入鹿兒島灣，流路約僅五公里，河床平均坡降約 21%，河道湍急，因此每有豪雨必造成土石流災害。表 3.5.2 為近年來由 VTR 攝影機與雨量計所観測獲得的土石流發生時之尖峰流量、流速與累積降雨量等資料，由資料顯示最大尖峰流量達每秒 580.8 立方米，最大流速亦達每秒 20.3 米，土石流規模相當鉅大。

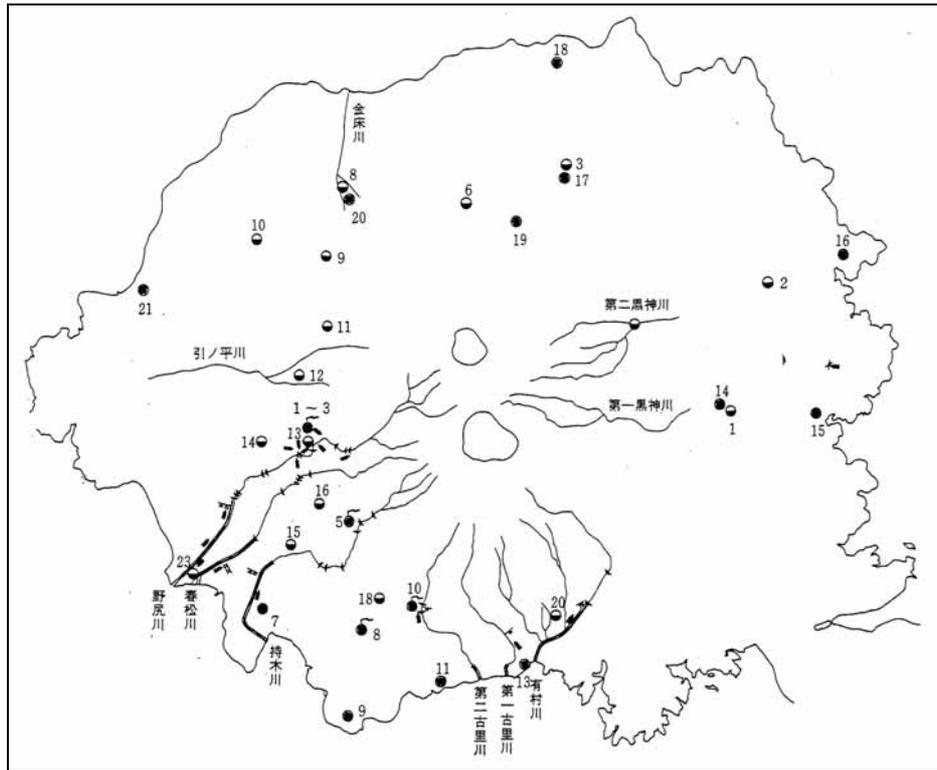


圖 3.5.2 櫻島土石流觀測設施分佈位置圖

番号	年月日 時刻	VTR-No.	Q _p m ³ /s	V m	ΣQ m ³	備 考
1	S58 9 1 10:57	NOB-46	404.0	15.6	82,600	偏流計算を始める
		NO5-13	379.5	11.0	43,000	
2	S59 4 19 8:26	NOB-47	474.3	16.7	193,200	第二古里川で国道の氾濫土砂 1,500m ³
		NOR-15	483.6	16.0	29,970	
3	S59 7 30 14:05	NOB-52	298.2	14.9	105,100	
		NOR-16	422.7	14.0	140,500	
4	S62 11 2	NOR-35	580.8	16.8	—	ピーク時のみ計測 初めて超音波式水位計・流速計稼働
		超音波	384.5	17.6	125,600	
5	S63 5 4 15:18	NO4-08	405.6	8.6	91,190	
		NO5J-09	292.7	3.9	109,160	
		超音波	197.9	11.8	118,720	
6	S63 8 16 16:12	NOR-39	541.8	18.2	172,060	
7	H01 8 30 9:27 (第2波)	NOB-77	270.3	16.2	139,720	
		NO4-15	354.7	8.5	107,940	
		NO5-37	374.0	10.0	120,830	
8	H01 9 2 7:54	NO4-16	483.1	7.2	86,900	
		NO5J-14	431.4	10.0	38,860	
9	H01 9 19 9:06	NOB-80	338.8	20.3	234,480	
10	H03 6 28 12:29	NOR-103	371.7	7.7	463,700	時間雨量101mmで既往最大 野尻川で砂防施設被災
		NOR-62	411.2	13.6	350,200	
		NO5J-32	546.7	7.9	343,500	

表 3.5.2 野尻川之土石流觀測記錄(昭和 58 年至平成 3 年)

2. 土石流之流出波形記錄

由觀測之降雨量、中、上游各個觀測點土石流尖峰流量所繪製之相關圖顯示(圖 3.5.3)，土石流大多於暴雨後呈間歇式一波又一波的逐流而下，並於降雨量劇減後停止流動。

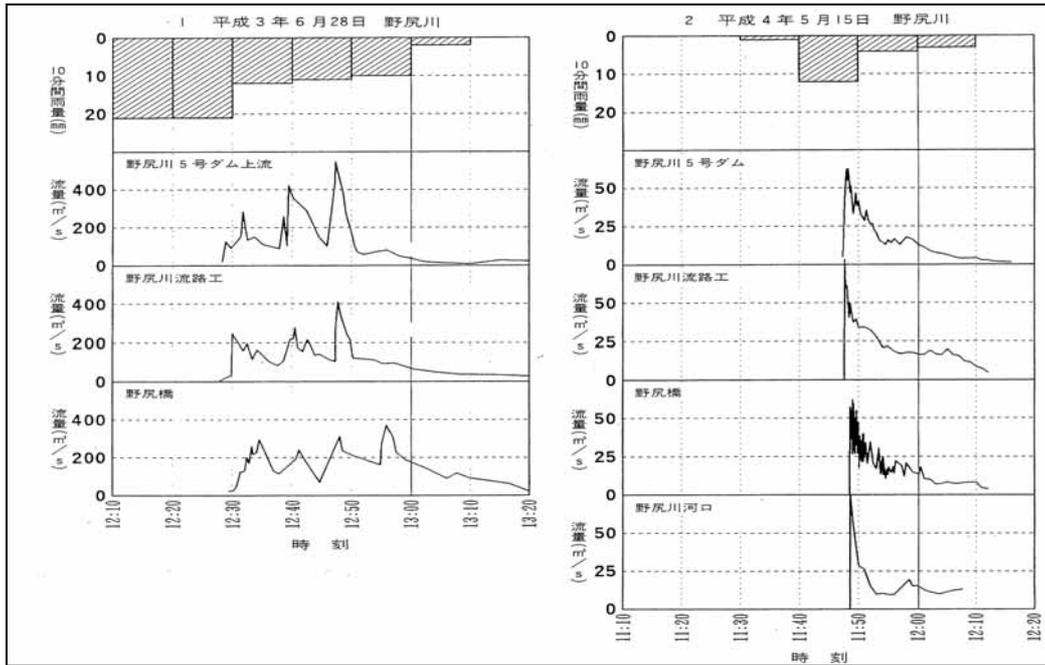


圖 3.5.3 野尻川土石流之流出波形

3. 降雨量與土石流之關係

土石流發生的條件為足夠的降雨量與充足土砂量，同時配合適當的河床坡度比降。由目前觀測結果，野尻川只要在很小的降雨量後即有可能發生土石流，圖 3.5.4 為近年來野尻川所觀測之雨量與土石流發生或未發生統計圖；由圖顯示，當在 10 分鐘內之累加降雨量達 2mm 時，即有可能發生土石流。

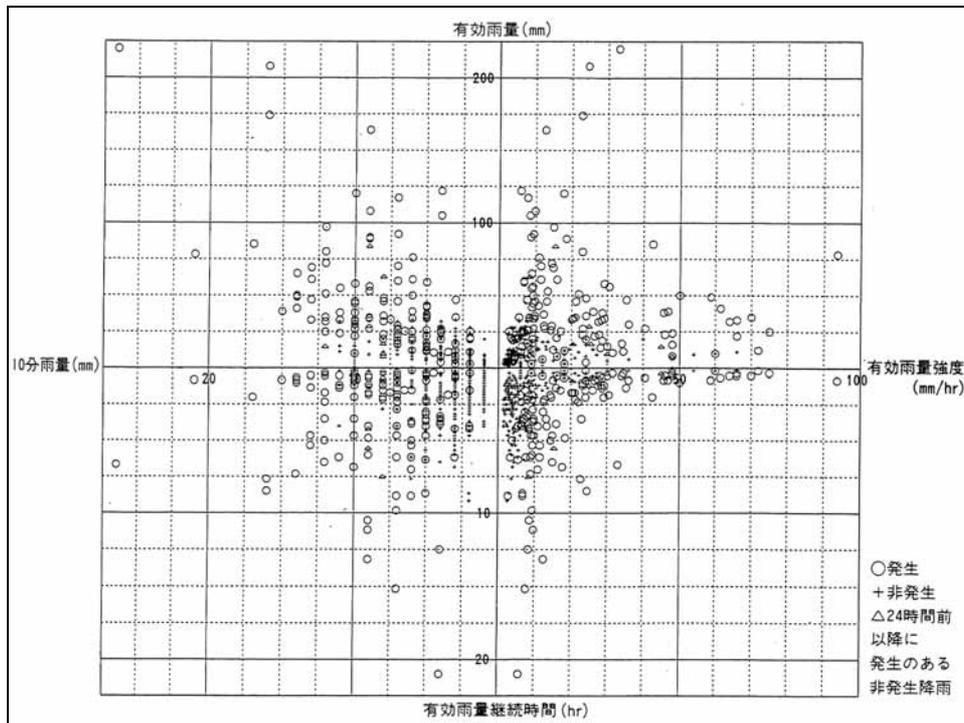


圖 3.5.4 野尻川降雨量與土石流發生關係統計圖

4. 土石流警戒避難基準雨量的推估

土石流警戒避難基準雨量的推估主要目的，為提供主管當局與社會大眾於降雨當達到某一降雨量時，作為警戒與避難的參考。

由野尻川所觀測獲得的資料進行分析評估結果顯示(圖 3.5.5)，雖然 10 分鐘內之累加降雨量達 2mm 時，即有可能發生土石流，但 20 分鐘的累加降雨量更可準確的預估土石流的發生，因此可作為土石流警戒避難基準雨量，亦即當降雨量達到一定程度時，即可能發生土石流。

就目前觀測結果顯示，野尻川 20 分之降雨量達到 5mm 時即進入第一階段之土石流準備狀況，而若降雨量達 8mm 時即進入土石流警戒狀態，當降雨量達 12mm 時即會發生土石流而進入避難狀態。觀測結果之整體成功命中率於第一階段與第二階段可達 1/3 以上，而屬於避難階段之成功預期命中率則達 2/3 以上，因此可作為未來警戒避難體系的參考依據。

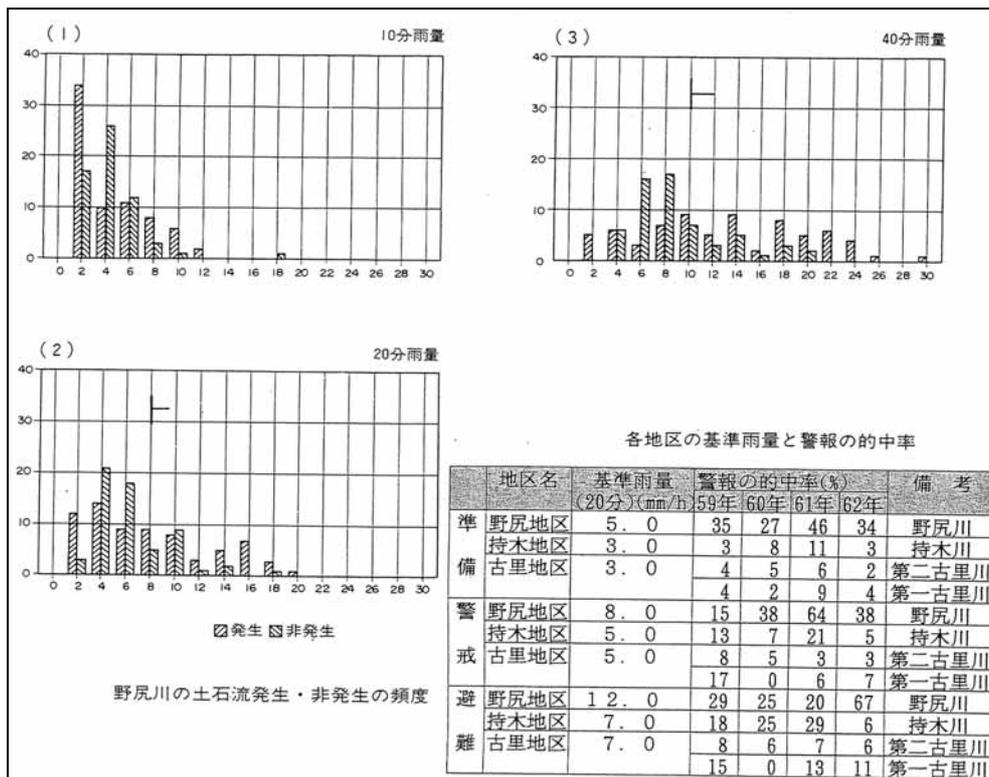


圖 3.5.5 野尻川之土石流警戒避難基準雨量

六、土石流警戒與避難系統

土石流警戒與避難系統主要目的為掌握土石流災害發生前與發生時之特性，研擬相關之災害警戒對策，與建立警戒避難體系及人員避難場所等。

完整的土石流警戒與避難系統包括土石流發生地點之研判、土石流警戒指標之建立、預警系統的建置及通報系統之發佈等四項，有關土石流發生地點之研判已於前述章節中討論，現以靜岡縣為例就警戒基準指標之建立、預警系統的建置與警報之發佈分述如後。

(一)、警戒基準雨量指標設計

有關土石流基準雨量指標設計可依循過去土石流發生之臨界雨量線(CL line)而得，此臨界雨量線係針對一特定土石流潛勢溪流，蒐集曾經誘發土石流之降雨量與未誘發土石流之降雨量為指標，劃分兩群之交線而得。(如圖 3.5.4 野尻川觀測之雨量與土石流發生或未發生統計圖)

在警戒雨量線之劃定上，除劃定臨界雨量線外，並一併劃定避難雨量線 (EL line) 及警告雨量線 (WL line)，並由以上三線劃分為四大區域。各雨量線的劃定係由歷史雨量資料進行統計，以求得臨界雨量線，再以可能發生土石流之前二小時劃設為警戒雨量線，發生土石流之前一小時劃設為避難雨量線。同時一併研究不同劃定方法以供日後驗證，目前所使用的劃定方法有以下三種：

1. A 案：以時雨量強度為縱軸，實際雨量為橫軸，其中 WL 及 EL 線為垂直線(圖 3.6.1)。

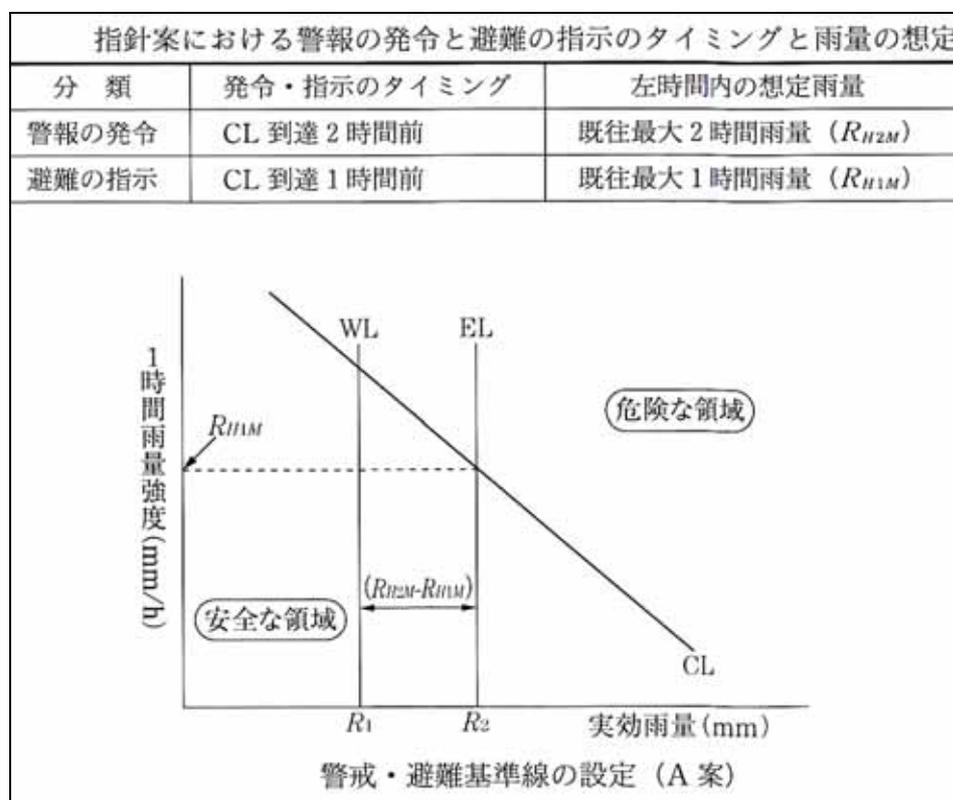


圖 3.6.1 A 案警戒基準雨量指標設計方法

2. B案：以有效降雨強度為縱軸，實際雨量為橫軸，其中 WL 及 EL 線為曲線。
3. 矢野提言案：以時雨量為縱軸，實際雨量為橫軸，惟實際雨量考量半減期 72 小時。(圖 3.6.2)

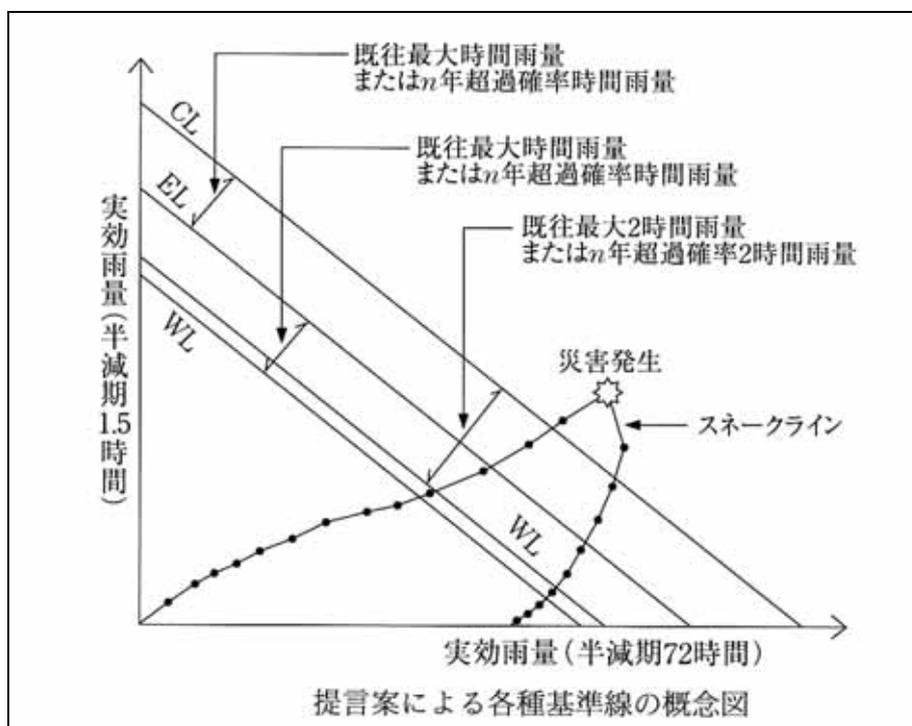


圖 3.6.2 矢野提言案警戒基準雨量指標設計方法

在日本國土技術政策綜合研究所主要扮演土石流警戒雨量劃定方法之提供，而實際土石流警戒雨量則由地方政府自行劃定並加以輔導，目前靜岡縣採用 A 案作為警戒基準雨量指標，主要考量點為其簡便性與準確性。

(二) 土石流預警系統建置：

土石流觀測儀器平常除可做為土石流危險溪流相關土砂流量、流速觀測外，並可於土石流發生時應用現場之各項土石流事發型觀測儀器，產生預警作用，以提供警報之發佈。可做為土石流警報預警系統的觀測儀器包括下列數種：

1. 鋼索檢知器：目前已應用於現場，其預報土石流發生之準確性高，但屬消耗性材料，對於連續發生之土石流則無法繼續量測；另對於落石或動物之運動導致鋼索之斷裂則無法判斷是否為土石流發生。一般而言，為提昇準確量測，可在防砂壩溢流口分別裝設多道鋼索（間隔一公尺）以利預警。

2. 光感應器：係在防砂壩溢流口裝設發射端及接收鏡作為感應，該項儀器可連續量測土石流發生，但如下雨、濃霧、火山灰或鏡面污損時將降低正確性。
3. 地聲探測器：係以土石流發生之振動頻率做為預警之依據，該項儀器可連續量測，惟因地聲資料庫尚未建立完善，故不易準確性的掌握土石流發生。
4. PANEL 觀測儀：該項儀器於近三年已應用於現場，其主要係以二支感應器進行組合，一端為固定式，一端可隨土石流發生而分離，其架設方式為在溪床上先行架設一橫向鋼索，並在鋼索上架設 PANEL，離水位高約五十公分，當土石流發生時，PANEL 因土石流動而分離並產生訊號，該儀器可重複使用、準確性高，管理上較為方便。

(三)、土石流通報系統

整合性之土石流通報體系如圖 3.6.3 示意圖所示。整個防災監控作業模式為，於土石流災害地區現場整治時設置土石流情報收集傳送設施，於最上游防砂壩或河道上設置感應探測索及遙控攝影機，另在崩塌地設置伸縮傾斜儀，集水區內裝置密集地面雨量計等。並藉由監視小屋內土石流感應器電腦裝置系統判斷是否發生災情，同時將災情傳送至下游村落設置的受訊警報機，以擴音器廣播通知災區下游各住戶、公共場所等，告知村民緊急避難，同時分別以有線、無線方式同步傳送至該管轄之工務所及縣市政府等相關單位(圖 3.6.4)。

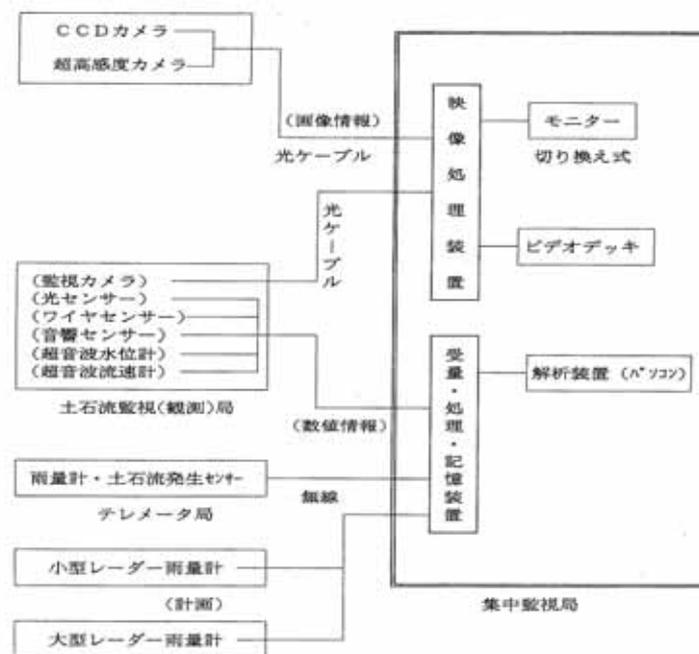


圖 3.6.3 土石報報體系示意圖

土石流災害通報系統平時由行政機關提供居民危險區域的告知與土石流災害相關的防災知識；而於降雨時提供居民降雨量資料，與根據過去發生土石流災難時的降雨資料分析定出危險基準線、避難基準線、警戒基準線，綜合研判警戒避難的發布。

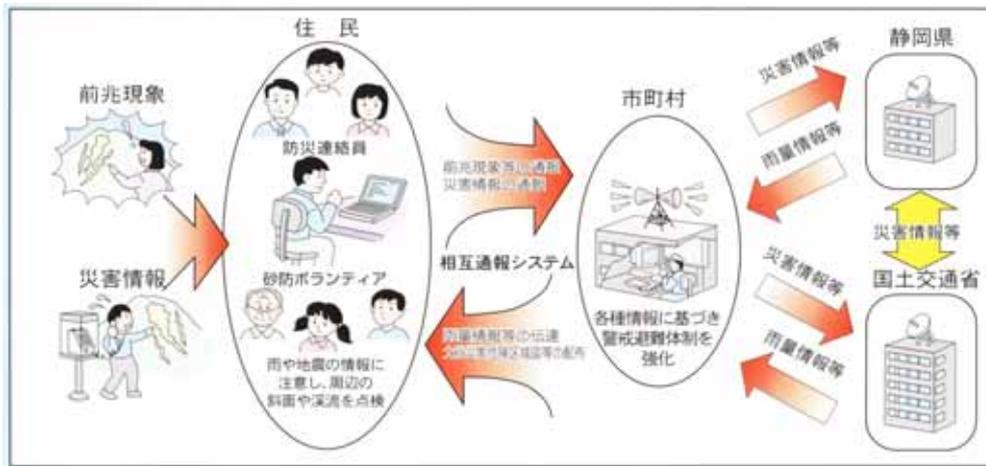


圖 3.6.4 土石流通報系統

七、土石流整治對策計畫

土石流之整治對策計畫為土石流災害防治的基礎，並以達成保障人民生命、財產安全為目的，同時建立完善的警戒避難體制與災害防治系統。

整體整治對策計畫包括對計畫整治區土石流基準點的標定，計畫區降雨規模的推估，計畫區流出土砂量與尖峰土石流量計算，計畫區土石流流速、深度、單位體積規模等資料蒐集分析，並將所獲得之資料探討既有砂防對策之成效與作為研擬砂防設施計畫。

1. 土石流基準點標定

土石流基準點指地形坡度在 3° 以上之溪流谷口或保護區正上游地方，在此基準點以上屬於土石流危險區域，因此才是土石流整治對策，但因地形因素大多無法進行谷口上游流域或崩塌地坡面的整治，因此大多數的整治對策都在其下游處，並規劃適切的砂防設施以捕捉土砂量，疏導土石流動，以確保下游人民生命財產安全。

危險溪流基準點標定方法為當谷口處同一等高線縱距 B 大於橫距 A 時即屬於危險溪流圖 3.7.1；若其下游有五戶以上住家或公共設施存在時，即是土石流危險區域，必須進行細部調查與提出砂防計畫對策；截至 2002 年，日本已劃定的土石流危險溪流計有 89518 條，但屬於土石流危險區域目前已整治者約僅佔 3~5%。

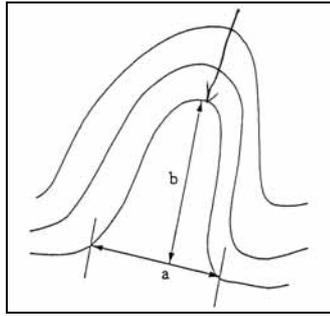


圖 3.7.1 土石流危險溪流標定方法

2. 降雨規模設立

計畫區之降雨規模原則以 100 年週期之最大日降雨量為基準，而對於已發生土石流且頻率較高的溪流，則以實際量測之發生土石流降雨量訂定之。

3. 土砂流出量計算

土砂流出量為危險溪流內可能被移動的土砂量，與土石流發生時搬運之土砂量，二者比值較小量。因此需分別對二者進行計算與比較。前者之計算方式則需以地形圖佐以詳細現地調查資料估算基準點以上之可能堆積之土砂量與可能崩塌地之生產量；土石流發生時可能搬運之土砂量則以其土石濃度、孔隙特性、降雨量、集水面積估算之，相關計算摘述如下：

$$\text{移動土砂量 } V_e = V_1(\text{溪床堆積土砂量}) + V_2(\text{崩塌土砂量})$$

$$V_1 = A_1(\text{河床平均斷面}) \times L_1(\text{土石流發生時侵蝕區長度})$$

$$A_1 = B(\text{侵蝕區溪床寬度}) \times D_e(\text{侵蝕區溪床深度})$$

$$V_2 = \text{參照地形、地質、崩塌厚度實際狀況推估土砂量}$$

$$\text{土石流搬運土砂量 } V_{ec} = \frac{10^3 \cdot RT \cdot A}{1 - \lambda} \left[\frac{C_d}{1 - C_d} \right] fr$$

λ ：空隙比，約為 0.4

RT：平均日雨量(mm)

C_d ：土石流濃度

A：流域面積(km²)

fr：降雨流出量補正率（因降雨未完全流出需補正，如圖 3.7.2）

$$\text{土石流濃度 } C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

σ ：礫石密度

ρ ：水密度

ϕ : 土砂之磨擦角

θ : 河床坡度

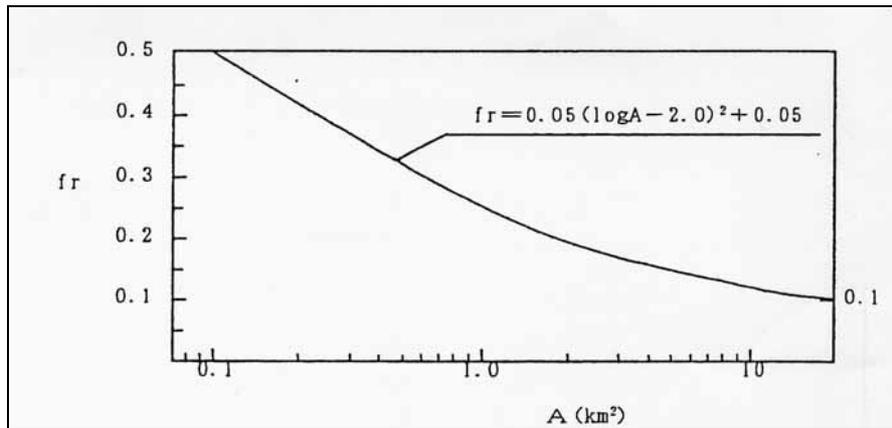


圖 3.7.2 降雨流出量補正率圖

4. 土石流之尖峰流量

土石流尖峰流量與當時之水流量、土砂濃度關係式為：

$$Q_{sp} = \alpha Q_p$$

$$\alpha = \frac{C^*}{C^* - C_d}$$

Q_p : 尖峰水流量(m^3/s)

α : 濃度係數

C^* : 堆積區土砂容積率，約在 0.6 以內

由上式得知，當一土石流發生時，若 $C^* = 0.6$ 、 $\rho = 2.6$ 、泥水密度 1.2、 $\phi = 30^\circ$ 、 $\tan \theta = 1/4$ 時，尖峰土石流流量則約為尖峰水流量的 10 倍，因此其破壞力不得想像。

5. 土石流之流速與水深

根據燒岳、滑川與櫻島之實際土石流觀測結果，土石流之流速 (m/s) 與土石流深度分別為：

$$\text{流速 } U = \frac{1}{n} R^{2/3} (\sin \theta)^{1/2}$$

$$\text{深度 } H = \frac{Q_{sp}}{B \cdot U} = \left\{ \frac{n \cdot Q_{sp}}{B (\sin \theta)^{1/2}} \right\}^{3/5}$$

R : 深度 n : 粗糙係數 B : 河床寬度

6. 土石流單位體積重 (ρ_d)

土石流單位體積重受土石流之材料種類、密度等關係各異而有

很大的不同，可由實測值、經驗公式與理論公式分別推定，下式為理論公式：

$$\rho_d = \sigma C_d + \rho(1 - C_d)$$

八、土石流砂防設施計畫

土石流砂防施設計畫係根據土石流發生頻率、規模等，同時考慮符合計畫目標與安全性之合理有效的砂防對策；目前日本之砂防設施對策計畫則以 50 年內曾發生土石流災害、且地形坡度在 2 度以上之危險溪流規劃為高頻率危險溪流，其他則為低頻溪流，做為規劃整治順序的參考。

土石流整治對策之砂防施設計畫首先為預估土石流發生時之流出土砂量，並據以規劃與檢核配置土石流之捕捉工事、堆積工事與導流工事等之可行性，同時於土石流發生區配置抑制工事，以抑制土石崩塌之擴大。砂防設施計劃策定時尚需考量土石流發生頻率、土石流量、流動特性、地形特徵與保全對象等，並對其設施之安全性進行分析評估。

(一)、土砂流量之規劃

根據土石流基準點標定標準，當土石流發生時基準點以上之土砂最大流出量 Q ，應等於土砂容許流出量 E ，與砂防設施捕捉量 C 、計畫堆積量 D 、計畫抑制土砂量 B ，亦即

$$Q = E + C + D + B$$

由於整個砂防設施計畫是要確保整體砂防設施之安全性，因此土石流發生後基準點以下之土砂容許流出量 E 需設定為 0，是以整個砂防設施的施設計畫應以捕捉計畫區土砂流出量之總量為原則，相關流出量的計算方式詳如上一章節。

(二)、砂防設施配置檢核

砂防設施之配置講究安全性與可行性，對於土石流發生頻率較高的危險溪流，所規劃之砂防設施檢核作業為：

1. 土石流實際流出量與計劃流出量的檢核。
2. 土石流捕捉工、堆積工、導流工、抑制工等施設位置與規模大小的確認。
3. 土砂流出後之捕捉工、堆積工等除石計畫之施行，以增加砂防設施之可容量。

而對於土石流發生頻率低的危險溪流則進行溪床堆積物調查與計算土砂流出量，定期及豪雨後土砂堆積檢核及除石作業。另外，亦可考慮計畫區之土地使用狀況，設置土石流緩衝樹林帶，以涵養地下水及降低地表徑流，減少土砂流失。

(三)、土石流對策設施種類

1. 土石流捕捉工：不透過型砂防堰堤、山腹工

土石流捕捉工主要目的為減少土砂流出，延長流出時間，捕捉前端巨石與流木，改變土石流型態與降低尖峰流量等，目前運用於土石流防治設施之捕捉工事分為不透過型砂防壩與透過型砂防壩(圖 3.8.1)，二者可分別由其捕砂量與堆積量來評估其砂防設施成效，並依據不同地形地質環境考量而設施。二者對崩塌地均可直接產生抑止效果，但因崩塌地大多位於上游地區而無法到達，及為直接保護下游安全考量，因而捕捉工事多以上游土石流基準點附近進行規劃設計。

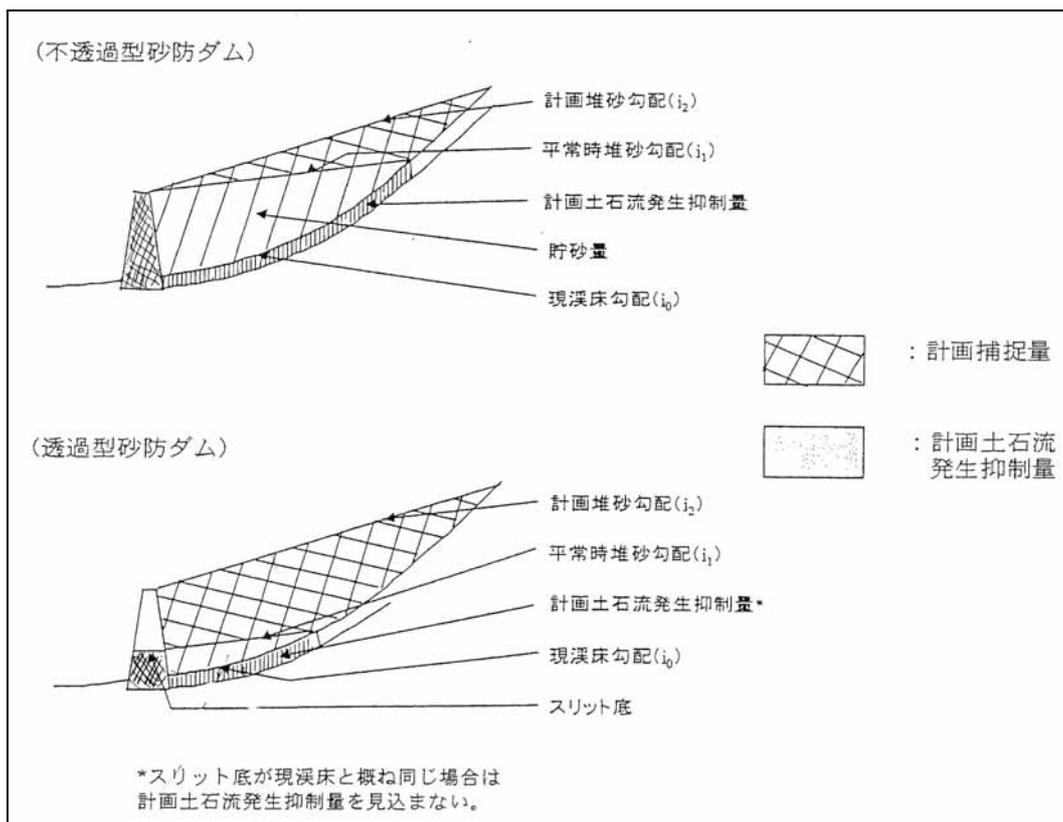


圖 3.8.1 砂防設施之捕捉工事之攔砂壩

不透過型防砂壩最大優點為降低河床坡度，其設施點尚需考慮其堰堤穩定性、河床沖刷量、基礎安全性等進行設計；但因土石流發生時可能溢出壩頂而可能影響下游工事，因此多設置於下游土石流發生區基準點以下地區以捕捉土砂，

而透過型防砂壩，則可直接在上游建構，並直接攔截土石流，與捕捉更多之大型土石；其攔砂壩設計開口部之寬度則以攔砂壩設置點上游二百公尺以內 100 個以上最大礫石平均粒徑的 1.5 倍為設計基準。

目前採用不透過型或透過型防砂壩之規劃設置，原則上以河床坡度比降 $1/20$ 為基準，即 $1/20$ 以上之河床上游設置透過型防砂壩， $1/20$ 以下設置不透過型防砂壩，分別捕捉不同土石材料與流木以降低災害。

2. 土石流導流工：不透過型砂防堰堤、透過型砂防堰堤、攔砂壩、流路工、導流堤(圖 3.8.2)

土石流導流工主要功能為導引上游流出之土砂，沿著固定的流路前行，以減低尖峰流量與防止土石漫流所產生的災害。

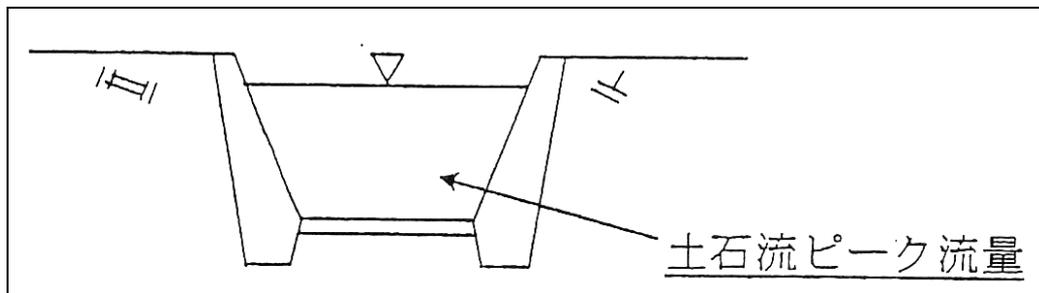


圖 3.8.2 土石流導流工

3. 土石流堆積工：導流堤、攔砂壩、流砂地

土石流堆積工(圖 3.8.3)大多設置於土石流基準點下游，並可考慮土地使用情形分為分散式堆積池與流路型堆積工二種，分別捕捉部份的土砂量。

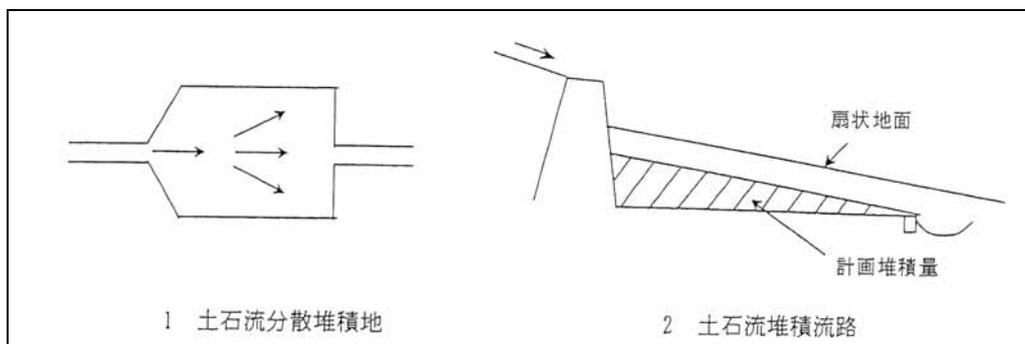


圖 3.8.3 土石流堆積工

4. 土石流緩衝樹林帶(圖 3.8.4)

5. 土石流流向抑制工：導流堤

本的做法與臺灣類似，由國會通過法律，內閣據以訂定政令，主管部會再訂定省令（即我國部令），下級單位訂定通達（即我國的辦法、細部的規定）。砂防法的概要為：

A、砂防指定地的指定

1、指定採用的土地及限制使用的土地：

- (1)砂防設備所需要的土地。
- (2)在治水上，對砂防有一定的行為限制及禁止的土地。

2、砂防指定地的指定權：國土交通省大臣。

B、行為的限制

行為的限制主管機關為都道府縣知事，如果涉及其他都道府縣則為國土交通省大臣。在治水上，對砂防地有一定的限制及禁止行為。

C、砂防工事的施行

砂防工事的施行主管機關為都道府縣知事，如果涉及其他都道府縣，則為國土交通省大臣。砂防工事的內容係為砂防設備的施工及作業。

D、砂防設備的維持、管理

管理的主管機關為都道府縣知事，如果涉及其他都道府縣，則為國土交通省大臣。

E、監督處分

1、具處分權者為國土交通省大臣及都道府縣知事。

2、處分的內容：包括許可的取消、停止許可的效力、設備的變更、原狀回復的命令及預防因許可而造成災害的必要設備的施行。

3、間接強制。

F、經費負擔

與災害關連的緊急砂防工事由國家負擔 2/3，都道府縣負擔經費的 1/3。火山砂防工事及緊急對策砂防工事由國家負擔 5.5/10，其他的砂防工事由國家負擔 1/2。

G、砂防指定地內土地所有者的權利義務

1、砂防工事的施行及砂防設備的維持。

2、土地的進入及使用、補償等。

3、因砂防設施而得到的利益及廢止後砂防設備的拆除。

H、國土交通省大臣的職責

- 1、對都道府縣知事進行砂防行政的必要指示。
- 2、對受益公共團體施行工事等的指示。
- 3、砂防工事計畫的認可。

(二)、地滑防止法

地滑以往是透過砂防法來治理，地滑地其下有河川就採用砂防法規定。而地滑防止法係於昭和 33 年(1958 年)立法通過。

地滑防止法與砂防法之基本架構類似，包括地滑防止區域的指定、撤退的指示、管理、行為的限制、地滑防止工事的施行、監督處分、工事經費的負擔、損失補償等，其中以往有礦渣堆積區的管理法條，因日本停採煤礦且礦渣堆積區目前已幾乎全部清理，所以廢止了這礦渣堆積區的管理法條部分。由此也可看出日本無論是在實務上或是法規業務上的效率是值得我們觀摩學習的；下面就相關內容概要做一介紹。

A、地滑防止區域的指定

1、指定的土地包括下列兩種：

- (1)地滑區域(指定的區域要較發生地滑區域為大)。
- (2)鄰接地滑區域如會助長、誘發地滑者應包括在內，同時會有誘發地滑情形時，指定的區域應要較誘發地滑區域為大。

2、指定權：主管機關首長(國土交通省大臣及農林水產大臣)。

B、撤退的指示

1、指示的場合

認定有可能立即發生地滑時。

2、下達撤退指示者

都道府縣知事及奉命辦理此事的官吏。

3、接受指示撤退者為認為有危險的區域內居民。

C、管理

1、主管機關為都道府縣知事。

2、設置地滑相關標識。

3、地滑防止工事基本計畫的作成。

4、地滑防止區域相關總帳目的管理。

D、行為的限制

1、阻害地下水排除的行為。

2、助長地表水入滲的行為。

3、挖土。

4、設施、建物的新建或改良。

E、地滑防止工事的施行

1、執行主管為都道府縣知事及中央主管機關之首長。

2、事業內容為地滑防止設施的新建或改良，並包括其他地滑防止區內地滑防止工事。

F、監督處分

1、主管機關為都道府縣知事。

2、處分的內容有許可的取消、行為的中止、設施的移轉、必要設施的設置、原狀回復命令等。

G、工事經費的負擔

1、直轄工事

(1)溪流區域施行的工事，國家負擔 2/3。

(2)其他的工事，國家負擔 1/2。

2、都道府縣施行的工事

(1)溪流區域施行的工事，國家負擔 2/3。

(2)緊急地滑工事，國家負擔 2/3。

(3)緊急災害對策工事，國家負擔 5.5/10。

(4)其他的工事，國家負擔 1/2。

H、損失補償

1、都道府縣處理及決定對受到損害者，通常為生者的損失補償。

2、都道府縣進行地滑工事時造成民眾的損失及補償，以及其他請求有關損害的補償。

(三)、急傾斜地法

急傾斜地法於昭和 44 年立法。本法與砂防法之基本架構類似，砂防法以治水為目的，造福下游地區，而急傾斜地法與當地居民有直接關係，造福對象為特定的少數人；從經濟觀點上看，砂防法為公共財，急傾斜地法則不能算做公共財，因此條文會有不同，可向受益人徵收費用。急傾斜地法之內容與急傾斜地崩壞危險區域的指定概要如下：

A、急傾斜地崩壞危險區域的指定基準：

1、坡度 30 度以上、坡高 5m 以上者。

2、距急傾斜地上緣 10m 以內範圍者。

3、距急傾斜地下緣起，坡高 2 倍距離以內之範圍者，超過 50m 者以 50m 計。

4、急傾斜地崩壞發生危險區域內有 5 戶以上住戶者，或五戶以下但有政府機關、學校、醫院、旅館等存在情形。

B、指定權者為都道府縣知事。

C、指定程序，先聽取相關鄉町村長的意見。

D、構成崩壞危險區域的要件

1、在崩壞危險區域內有相當數目的居住者。

2、在會產生誘發、助長崩壞以及有害行為的限制必要的鄰接急傾斜地崩壞危險區域的地區。

E、行為的限制

1、許可權者為都道府縣知事。

2、對於挖土、盛土等一定的行為須有許可之必要。

F、防災措施的勸告

1、主管者為都道府縣知事。

2、勸告的條件為防止急傾斜地崩壞災害之必要情況。

3、勸告的對象為土地所有者、一定的行為會受到災害者。

4、勸告的內容，例如防災工事的施行等。

G、改善措置的命令

1、主管者為都道府縣知事。

2、命令的要件：在為防止急傾斜地崩壞災害之必要地點的限制行為、崩壞防止工事的放置。

3、命令的對象：土地所有者、進行一定的行為者。

4、命令的內容：防災工事的施行。

H、崩壞防止工事的施行

1、主管者為都道府縣知事。

2、工事的對象

(1)防止急傾斜地崩壞災害之必要地點的限制行為及崩壞防止工事以外的工事。

(2)急傾斜地的所有者。

(3)受災者被認為有施行困難的情況。(國家補助額為 1/2 以內，受益者負擔金 1/2 以上)

I、公庫融資：針對防災工事的施行等得予公庫融資。

(四)、土砂災害防止法 (平成 13 年施行)

日本廣島縣在平成 11 年 6 月 29 日因梅雨 24 小時連續降雨量

255mm 後，造成 325 處土石流及山崩同時發生，死亡民眾 24 人，造成嚴重之損傷。因此乃於平成 13 年頒布施行土砂災害防止法。

目前全日本土砂危險地有 46 萬個，為防止以後類似的災難，以及因應日本全國在山坡地上新建住宅區的問題，作為土砂災害防止對策基本指導方針，規範所有土砂災害防止之相關對策事項，明定各種土砂災害相關調查作業方法，規定各都道府縣為主管機關，說明土砂災害警戒區劃定之工作，規範土砂災害警戒區內建築，防災之管理等相關措施。與土砂災害防止法有關的法令有：

- 1、急傾斜地法
- 2、砂防法
- 3、地滑防止法
- 4、宅地造成等規則法
- 5、災害對策基本法
- 6、都市計畫法
- 7、都市計畫法施行令
- 8、宅地建物取引業法
- 9、建築基準法
- 10、住宅金融公庫法

由其中條文內容可看出日本的都道府縣及市鄉町村負有很大的權力與責任，具有辦理自身地方事務的能力，相當值得台灣地方政府效法。

截至目前，全日本指定之土砂危險地只有 13 個，係因基礎調查須花時間來做，而最主要原因為當地人民反對將自己的土地劃定土砂危險地，因此須要與居民協調才行，此為本法執行時最大瓶頸。而在有災害的地區如廣島，同意劃定土砂危險地的案例就較多，其他沒發生過災害的則會不同意，最後的裁決權屬於縣長權限，臺灣地區將來的情況應會與此類似。以下就土砂災害防止法的概要做一簡介。

A、適用對象

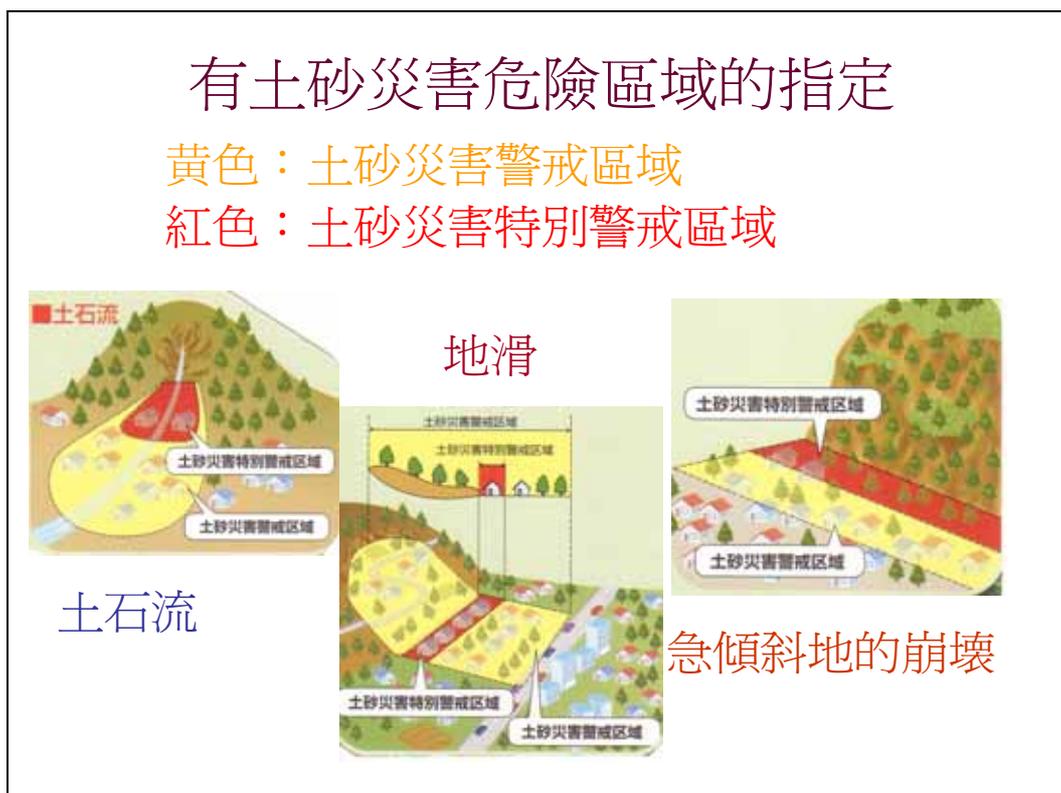
急傾斜地的崩壞、土石流、地滑。

B、土砂災害防止對策基本指針

- 1、基本指針的作成者為國土交通省大臣。
- 2、有關的土砂災害防止對策基本事項。
- 3、有關基礎調查的指針。
- 4、土砂災害特別警戒區域等的指定方針。
- 5、特別警戒區域內的建築物的移轉等的方針。

- C、基礎調查的實施(由都道府縣負責)
 - 土砂災害警戒區域及土砂災害特別警戒區域等的指定調查。
- D、土砂災害警戒區域的指定(都道府縣知事)
 - 1、情報傳達、警戒避難體制的整備。
 - 2、告知居民警戒避難有關事項。
 - 3、警戒避難體制(依據災害對策基本法訂定市鄉村地域防災計畫)。
- E、土砂災害特別警戒區域的指定(都道府縣知事)
 - 1、特定的開發行為許可制。
 - 對象：住宅宅地分讓、社會福祉設施等目的的開發行為。
 - 2、建築物的構造規制(都市計畫區域外建築確認的對象)。
 - 依建築基準法設定建築物的構造基準。
 - 3、勸告遭到土砂災害危害時移轉遷居。
 - 4、保證移轉遷居者的融資、資金等的支援。

土砂災害區域的指定及相關措施可以下二圖示了解。



土砂災害警戒區域的指定

- 警戒區域→
 - 警戒避難体制的整備
- 特別警戒區域↓
 - 特定的開發行為許可制
 - 建築物的構造規定
 - 建築物的移轉

十、砂防指定地劃設

砂防法中有規定砂防指定地及其指定與解除，砂防指定地採用的土地及限制使用的土地有：

- (1) 砂防設備所需要的土地。
- (2) 在治水上，對砂防有一定的行為限制及禁止的土地。

在砂防堰堤設置的地點，禁止及限制挖掘土地、砍伐草木、新建工程等會造成土砂發生的行為。

砂防指定地的指定權者為國土交通省大臣，行為的限制內容由各都道府縣知事定之；如因已開發或其他原因，如河川改道或已不成為土砂發生源時，可重新指定或解除，指定或解除的手續由各都道府縣向國土交通省大臣要求，核准後並由中央刊載在官方公報公布之。目前日本正推動地方自治，將權限交給地方政府，砂防指定地的權限也交由地方政府，但為了統一的方針，還是由中央辦理砂防指定地的相關法令問題。

有違反砂防指定地規定者，各都道府縣應定罰則，包括取消許可、恢復原狀等的行政監督執行。

砂防指定地的指定方法有：

- 1、面指定：在有害土砂發生的溪流流域指定地區全區，這是比較理

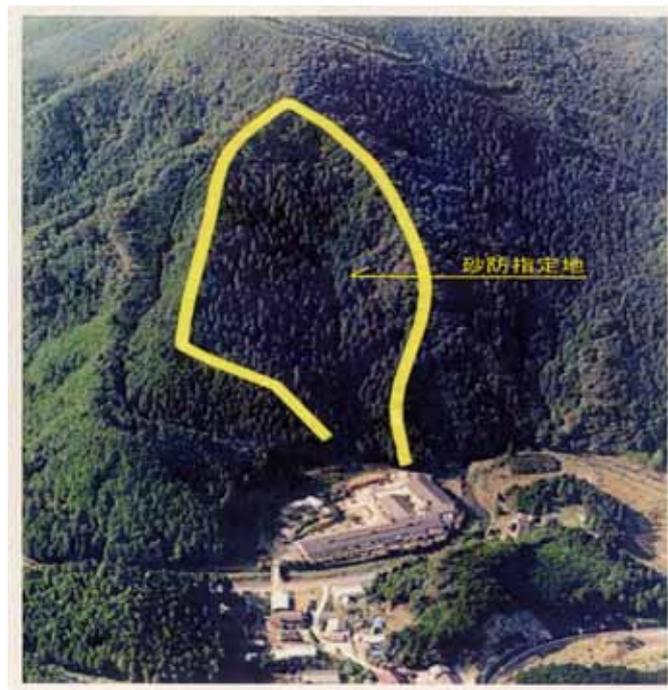
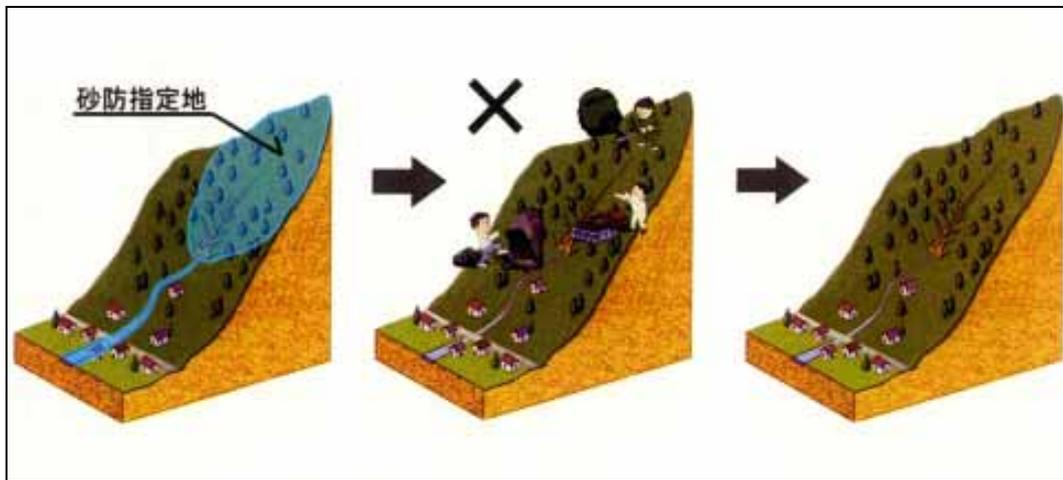
想的方法。

2、線指定：指定河川沿線土地中心線兩旁若干距離地帶，大部分為施作流路工時用此。

3、標柱指定：指定以標柱圍起來的土地範圍，例如在設攔砂堰堤時，其周邊用直線連接起來的地區，選擇為做砂防設施的最小範圍。

標柱點是依據 1. 存在，2. 可管理，3. 座標指定地點(基準點)而設立；萬一有災害損壞時，還可在復原的地方以三點原則來決定。

砂防指定地可收購私人土地，訂有補償標準；砂防指定地應避開國有林、保安林用地。砂防指定地的模擬圖示如下圖：



肆、野外考察與參訪

一、兵庫縣神戶人與防災未來中心 (Disaster Reduction and Human Renovation Institution, DRI) (2003.11.05)

人與防災未來中心位於兵庫縣神戶市，是為紀念1995年1月17日上午5:46發生規模7.3之阪神-淡路大地震所設立的防災與減災研究中心，隸屬於兵庫縣政府，並由中央與縣府分攤經費營運。

該中心為二棟七樓層的建築物，耗資126億日元於2002年完成，分為減災博物館與人員未來博物館，並開放各界參觀，目前來自世界各地已有56萬人次的參訪與技術交流。

該中心主要任務有：救災專業人員派遣、災難物資的蒐集保存陳列與經驗傳承、人力資源開發、防災與減災技術研發、技術交流等。

當有重大災害發生時，該中心即派遣專業人員前往救援，並且進行資料分析討論與評估災害的擴張，與提供專業資訊給予主政者做為決策參考。該中心亦曾於我國九二一地震時派遣專家前來協助救災。

而該中心亦負責災害殘存物資的蒐集與保存，提供人們的觀摩與借鏡，目前中心之一至四樓間陳列有阪神地震後殘存的災害實物、照片、受災的建物等，並模擬當時的地震狀況，供參訪的人體驗當時地震發生時的實際狀態，希望藉由災變經驗的傳承，達到防災與減災的教育訓練。

該中心並負責全職人員的培養與災害管理者的專業訓練，目前正有七位博士後專任研究員由資深專業人員帶領進行災害救治的訓練，此些人員將於三至五年後成為專業救災人員協助災害的急救與資訊判斷；而管理者的專業訓練則是定期邀集相關單位各級主管人員進行不同系列的防災教育訓練，以提昇主管人員危機處理的技能。

人與防災未來中心另一任務為防災與減災技術研究發展，期望未來能對災害的防治與減災有所貢獻，並將技術推廣到世界各地，協助其他國家災害的救難工作。目前該中心亦成立數個國際性的災害防救組織，如亞洲地區減災中心(ADRC, www.adrc.or.jp/)，兵庫人道主義救助協會(OCHA, www.Reliefweb.int/)，聯合國區域發展中心兵庫災害防治計畫(UNCRD, www.hyogo.uncrd.jp/)，地震災害減災研究中心(EDM, www.edm.bosai.go.jp/)，廿一世紀人類救難研究基金會，與阪神—淡路大地震紀念展望協會。

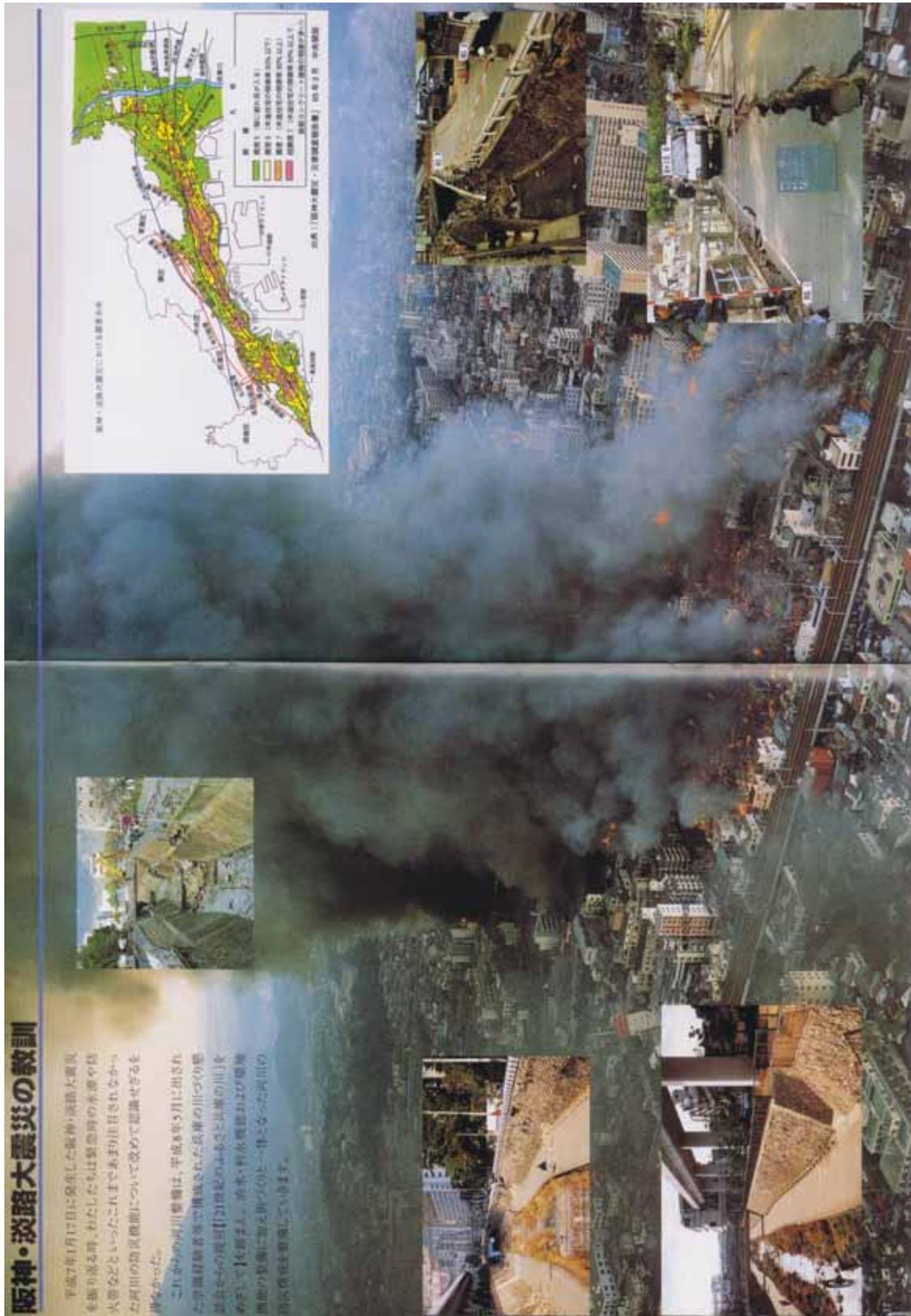


圖 4.1.1 阪神大地震災害情形

二、兵庫縣神戶住吉川防災站與住吉川下游砂防設施（2003.11.05）

住吉川防災站位於神戶市東灘區住吉川的下游處，為一多功能的防災站。

住吉川發源於六甲山脈最高峰(標高 931 公尺)東南坡面，流域面積約 11.5km²，流路長約 13 公里，住吉川並因不斷淤積、下游水道目前已高過二側之民房，河堤不斷加高，因此又稱為天井川，平時溪水平時清澈，流量不大，但於夏季豪雨時水位暴漲，因而災害頻傳。六甲山脈為 20 萬年前隆起的火山山脈，主要由花崗岩構成，斷層構造發達，地形相當陡峭；住吉川大部份之流域都在這陡峭的山地上，上游河床比降在 15%以上，中下游比降約為 2-3%，因此水系流出山地後有寬廣之扇狀地發育。

根據統計資料，神戶地區山區年平均雨量約 1500-2000mm，平地約 1200-1400mm，主要雨季多集中於 6 至 10 月之夏季梅雨與颱風，百年來最為嚴重豪雨災害為昭和 13 年 7 月 5 日(1938)發生之阪神大水災，最大時降雨量為 60.8mm，24 小時雨量達 326.8mm，土石滾滾而下，土砂流失量 502 萬 m²，重創神戶市與兵庫縣，並有 15 萬戶房屋損壞與造成 695 人死亡。因此即刻成立災害復興委員會進行災後復建與全面性河川整治工事。

平成 7 年 1 月 17 日發生規模 7.3 之阪神—淡路大地震(1995)，則再次重創神戶地區，地震後火災頻傳，但水電系統完全停擺，更使災情更加嚴重，因此緊急水源的保護與防火綠帶設置的概念逐被重視，是以於次年邀集學者專家進行座談，而提出以治水、利水機能兼具環境與河川防災機能的「自然と都市の共生」的防災體系建置。

住吉川防災站與住吉川整治工程即是此防災體系建置產物之一，整體設施包括河川防災設施增強、防災綠帶設置、緊急取水規劃、人與自然河川共享等。

目前整體之防災設施設有河堤斜坡路面、階段式護岸、階梯式河道、低水斷面柵欄、渡川石階等，除平時可做為親水景觀、休閒遊憩公園外，災難時並提供做為避難場所、臨時水源供給、防災隔離綠帶等，而最重要的精髓是防災設施的規劃與自然環境相當諧調，達到治水、利水、生態維護、水資源文化、自然景觀與人類生活共生共容的和諧階段。相當值得我們學習。

三、兵庫縣西宮座頭谷川蓬萊峽土石流工事（2003.11.05）

座頭谷川蓬萊峽位於兵庫縣西宮市塩瀨町生瀨附近，為武庫川水系（二級河川）上游支流座頭谷川與太多田川匯合處下游側，並匯集六甲山東緣山系斜坡面的水系由北向南流入大阪灣，上游流域因有多條斷層通過，岩體破碎，土砂量豐沛，土石流災害頻傳。明治 32 年(1895)開始砂防整治設施即陸續建設中，已有百年的整治歷史，早期砂防設施以植生及山腹坡面穩定設施為主，昭和初期並有流路工事、固床設施、攔砂壩、攔砂堰堤等設施。

平成 7 年兵庫縣南部大地震(阪神大地震)，更誘發了上游多處舊山崩與新崩塌地，潛在土砂災害威脅擴大，因此為減少災害再度發生，並配合環境景觀考量，新的砂防技術—大型暗渠堰堤設施被引進。

砂防堰堤座落於座頭谷川與太多田川匯合處，主要目的為攔截上游之大量崩塌土砂，流域總面積為 4.59km²（座頭谷川 1.94km²、太多田川 2.65km²）；地質條件為風化花崗岩體與大阪層群之透水性低的泥質岩層構成，斷層構造發達，岩體相當破碎。

堰堤並與上游河川流路以法線而呈 S 型橫跨二水系，全長 152.5 公尺，並設有數個大型暗渠，堰堤高度於座頭谷川部份為 6.5 公尺，太多田川部份 11.0 公尺，平時水可由堰堤下的暗渠流過，洪水時更可攔截大量土砂流出，上游並設置數座攔砂壩，整體砂防設施的攔砂成效可達 110,890 立方米，砂防設施的整治率達 81.7%；且堰堤外觀優美，與自然景觀溶合。



圖 4.3.1 座頭谷川蓬萊峽大型暗渠堰堤設施



圖 4.3.2 大型暗渠堰堤設施現況(右側為上游)



圖 4.3.3 座頭谷川上游攔砂壩與崩塌地

四、兵庫縣西宮仁川地滑資料館（2003.11.05）

仁川地滑資料館位於兵庫縣西宮市縣立甲山森林公園東側之仁川百合野町(Nigawa Yurino-cho)地滑地旁，主要任務為管理與監控地滑設施與陳列地滑資料。

仁川百合野町地滑係發生於平成 7 年(1992)之阪神大地震，地滑規模約 $L=120m, W=80m, D=10-15m$ ，體積約達 10 萬立方米的風化花崗岩體與土砂材料向南傾瀉而下覆於仁川河上，並造成 13 戶房屋掩埋與 34 人死亡的重大災害。

災害發生後緊急處理對策為救災、清運崩塌土石與臨時固坡處理，並規劃整治對策。復整工法包括大型集水井 4 座、集水管 6916m、抗滑樁 142 支、格樑護坡 10300 平方米、擋土牆 1299 平方米、河床護岸工 918 平方米，整體整治經費共達 28 億日元，並於平成 9 年完工，與進行長觀測研究，同時開始啟用自動觀測系統及仁川山崩資料館，展示地付山地滑對策相關資料。

資料館為二層建築，一樓為資料放映室與資料庫，二樓包括地滑展示室與觀測室，目前進行之觀測項目包括地下水位計、雨量計、地盤傾斜計、地盤伸縮計、垂直伸縮計等。

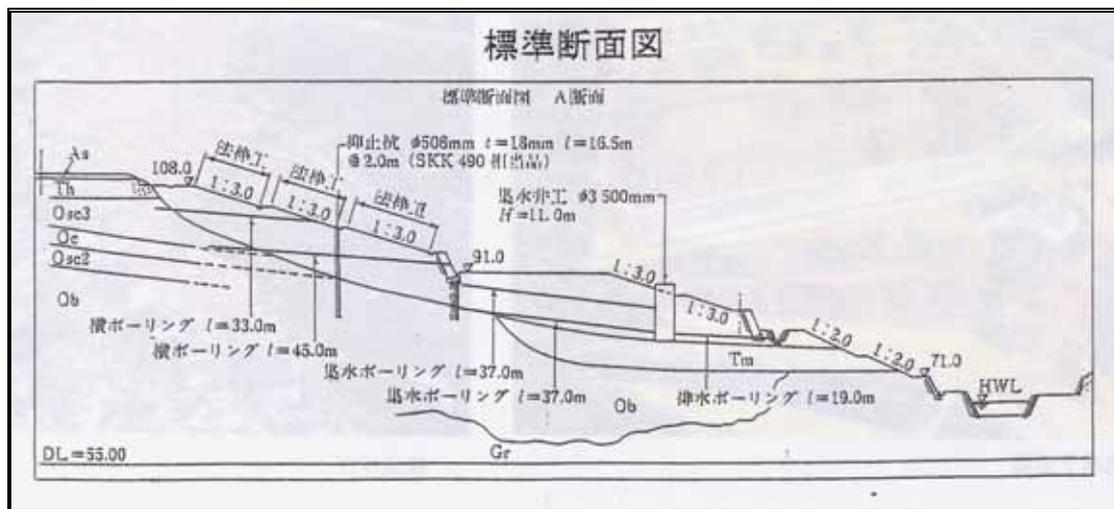


圖 4.4.1 仁川地震地滑地剖面圖與整治規劃

五、長野縣木曾御岳山地震山崩與預警設施 (2003.11.06.)

御岳山位於長野縣木曾郡西側，屬於日本中央山脈(Alps)之一部份，標高 3063.4 公尺，為僅次於富士山的第二高峰。御岳山為層狀火山，於 75 萬年前開始噴發，最早期的火山體基盤標高為 1400-1900 公尺，而持續增高了 1100-1600 公尺。

御岳山為層狀火山，於 75 萬年前開始噴發，主要火山活動期可分為 42 萬至 75 萬年前的舊活動期，與 12 萬年前開始 3 萬年前結束的新期火山活動；早期的火山體基盤標高為 1400-1900 公尺，而持續增高了 1100-1600 公尺，並在表層堆積一層 3 萬年前至 8 萬年前主要噴發期的火山碎屑岩。

1979 年(昭和 54 年)10 月 24 日上午 5:20 御岳山又開始活動，造成震度 4 級的地震與噴出大量的火山灰，至上午 8:30 煙霧瀰漫，而於下午 2:00 達到最高潮。1984 年 9 月 14 日上午 8:48 分再次的火山爆發與引發震度達 6 級的強裂地震，並造成多處的山崩，御岳山南斜坡面伝上川(Danjo-river)上游的山崩規模則為日本戰後以來地形改變最大的崩塌地，伝上崩塌地頂部標高為 2550 公尺、崩趾 1900 公尺，長達 650 公尺，而最大寬度約 430 公尺、最大厚度 160 公尺，體積估計超過 3400 萬立方公尺的火山碎屑岩體以時速約 80 公里的速度快速順著伝上川傾瀉而下，部份火碎流並跨越比高 100 公尺的嶺線匯入濁澤川(Nigorisawa-river)後再合流而下，並再次跨越比高達 90 公尺的鞍部而堰塞於王滝川(Otaki-river)下游，與造成水深 22 公尺、蓄水規模達 365 萬立方公尺的天然湖(圖 4.5.1)。此次地震山崩同時造成 29 人死亡。

地震山崩後的主要復整工作包括伝上川 79 座攔砂壩構築與植生綠化工作，而在王滝川下游河堤則構築 4020 公尺河岸復整工程；同時進行區域性火山活動監測計畫而預警系統設置，圖一為各式監測儀器配置位置，包括有雨量計 3 座、風向風速計 2 座、積雪計 1 座、地震計-空振計-傾斜計三處與監視相機一處，所有監測儀器並由位於木曾福島的木曾建設事務所進行長期監測，並將獲得的資料進行分析評估與提供火山資訊情報做為警戒避難與土砂災害防治參考。

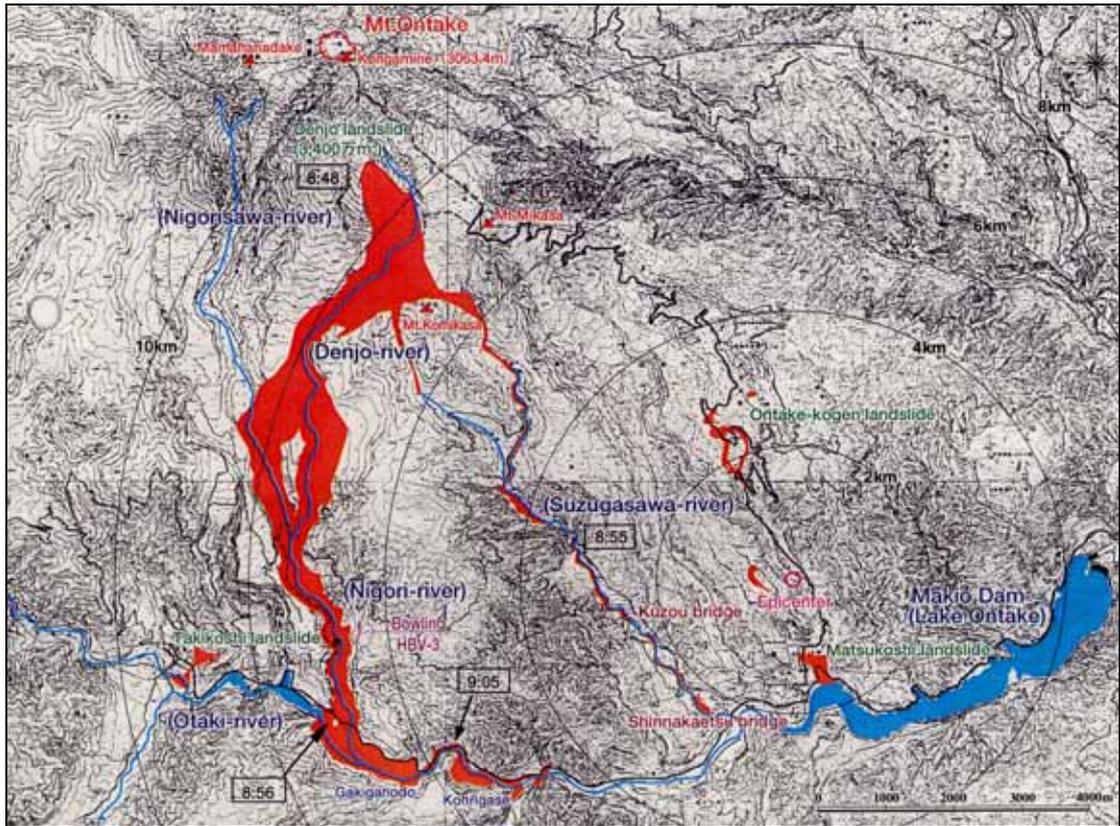


圖 4.5.1 御岳山之地震山崩



圖 4.5.2 火山活動監測計畫與預警系統設置圖

六、長野市地附山地滑 (2003.11.07)

地附山位於長野市西北側，標高 733 公尺，地形面為頂部平緩比高達 300 公尺之陡急斜坡面，並有一彎迤收費道路穿越山腹通達山頂。1981 年(昭和 56 年)地附山斜坡面上的收費道路即發現有輕微的地滑現象，管理該有料道路的長野縣企業局即著手調查原因。待至 1985 年(昭和 60 年)的梅雨期，因大雨而使滑動加速，乃於 7 月 26 日下午五時發生了大規模的地滑，山崩體朝湯谷社區、松壽莊及望岳台社區等滑落，造成 26 人死亡，房屋全毀及半毀共 64 戶；此次災害所幸發生前數小時即已發布避難指示與勸導，致災情有效控制。

地附山周邊之地質屬中新世後期之凝灰岩，可分為三層。下部為細粒堅硬而緻密之流紋質凝灰岩、凝灰角礫岩及流紋岩，中部地層為泥岩、含凝灰岩礫泥岩、泥質凝灰岩及凝灰質礫岩，上部地層為凝灰岩及堅硬之白色細粒凝灰岩。地滑上部有一東北西南走向之斷層通過，構造甚為複雜。中部地層之泥岩為本次地滑之主要滑動面，地滑規模長約 700 公尺，最大寬度約 500 公尺，面積約 25 公頃，土方約 360 萬立方公尺，滑動面深度約 60 公尺。

為穩定地附山地滑，一些較永久性之對策工事有集水井(23 個，共有鑽孔 700 孔)、深礎工(29 根)、地錨工(共 1306 根)、鋼管樁(50 根)、排水廊道(3 個，總長 1630m)坡面處理工法等也陸續完成。並於地滑地附近之松壽莊原址附近設立地滑資料館兼做地滑監測中心，蒐集地滑監測數據，並展示地滑活動之沿革、整治始末、地滑現況，並展示地附山地滑對策相關資料，提供民眾參觀。

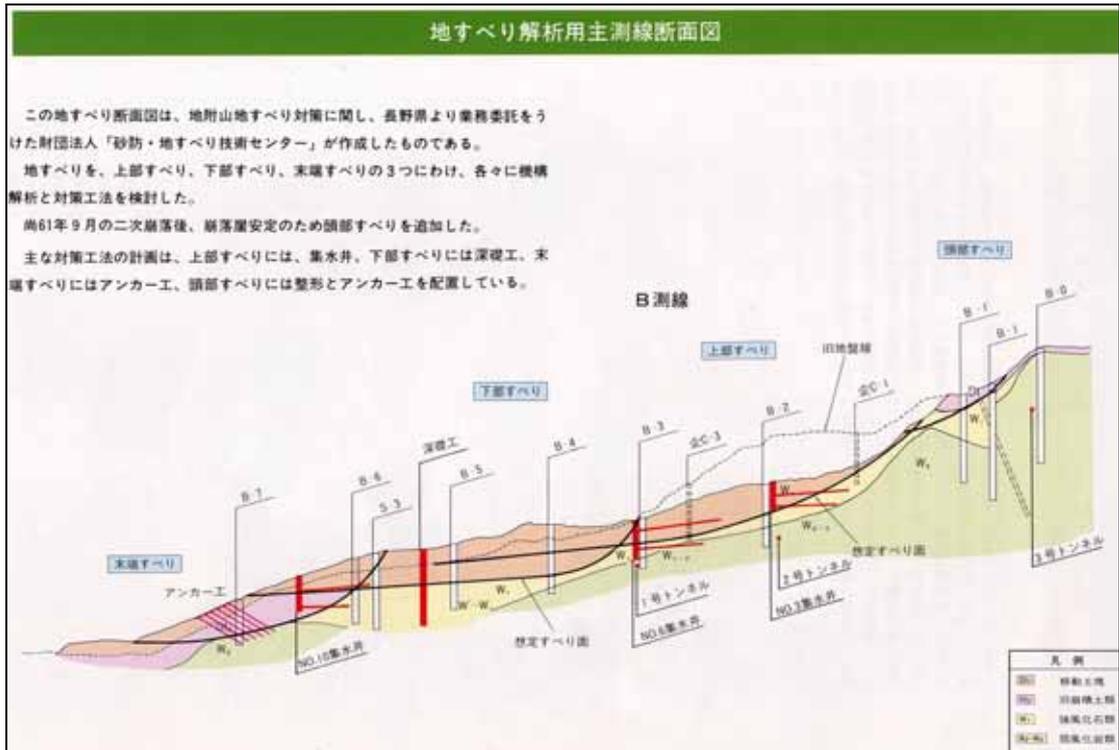


圖 4.6.3 主要地滑面與砂防設置



圖 4.6.4 整治後景觀優美

七、鹿兒島出水針原川土石流整治（2003.11.18）

平成九年七月十日凌晨四十五分針原地區發生了大規模土石流，原有之砂防設施也因這次災害被淹沒，並有五萬立方米土砂溢出，共造成二十一人死亡，十三人受傷，住家全毀十八棟，半毀一棟之慘劇。

災害發生後，大約有十六萬立方米之土砂流動，約八萬立方米被攔砂壩攔下，五萬立方米土砂溢流。於七月十三日進行緊急監測系統之架設，七月十六日因災害發生後土方不穩定，乃利用無人設施清除土方，八月十一日開始進行邊坡整治，總工程費約四十二億日元。整治項目共分成六項：第一項邊坡整治、第二項新攔砂壩、第三項原攔砂壩加強、第四項沉砂池、第五項農地整治、第六項護岸工程。

導致本次災害發生之主因，為災害發生前三日開始降下大雨，累計雨量 400.5mm，造成了邊坡不穩定滑動，原有之攔砂壩無法阻擋大量土砂而造成溢出，故釀成了本次災害。

整治工作完成後佈設了監測系統，計有伸縮計十組、雨量計一組、監視器二組、警報器一組，以防災害再次發生時可事先預警，使得進行緊急疏散。

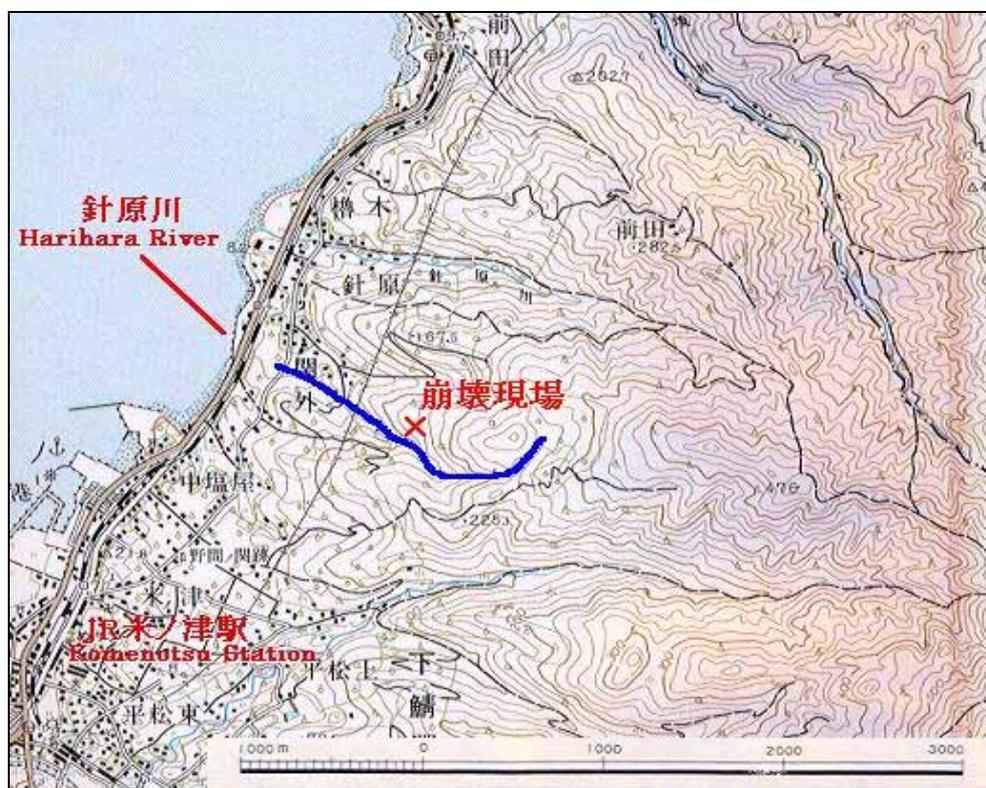


圖 4.7.1 受災位置簡圖



圖 4.7.2 災害發生前之全景

圖 4.7.3 災害發生後之全景



圖 4.7.4 崩塌邊坡整治後之全景

八、熊本縣水俣市集川土石流災害（2003.11.19）

集川流域面積為 1.14 平方公里，長度 2.54 公里；發生本次災害地點位於約 1.5 公里處之邊坡崩塌，崩塌面積約有 0.58 平方公里。

本次災害發生在平成十五年七月二十日凌晨四點二十分，共造成十五人死亡、六人受傷，房屋全毀十七棟、半毀一棟。而本地區地質概況基盤為泥岩與砂頁岩互層上，基盤上為風化安山岩和凝灰角礫岩，表層為風化安山岩。

本次災害主因，亦為豪雨造成邊坡崩塌，崩塌地長一五〇公尺、寬一〇〇公尺，崩塌後土石混合水向下游流動，沖毀了原有之攔砂壩進而流向下流造成災害。本區災害發生後即進行緊急整治，並先撤離居民。目前已安裝了監測設施，以防再度發生災害時便於緊急疏散。

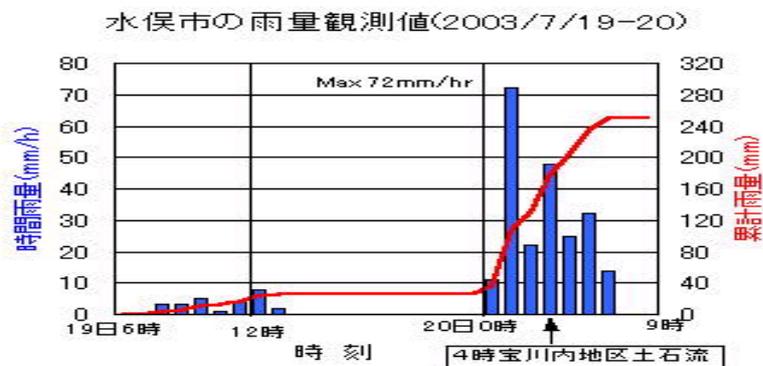
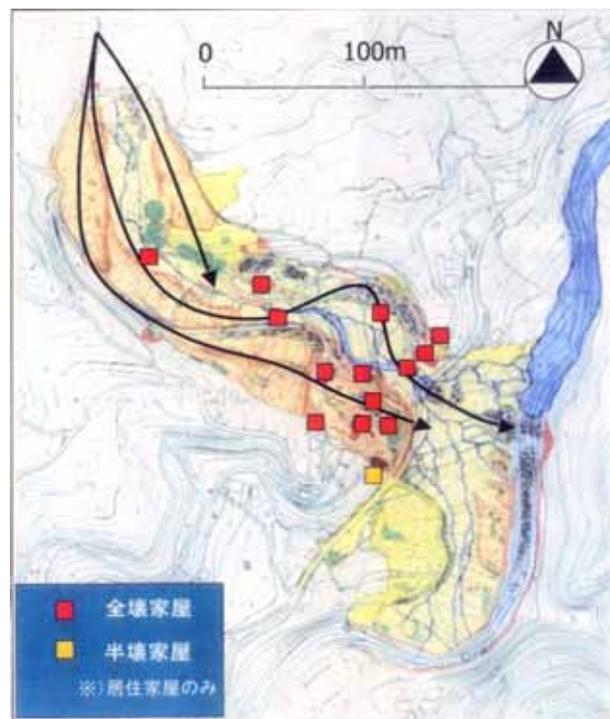


圖 4.8.1 受災區域圖



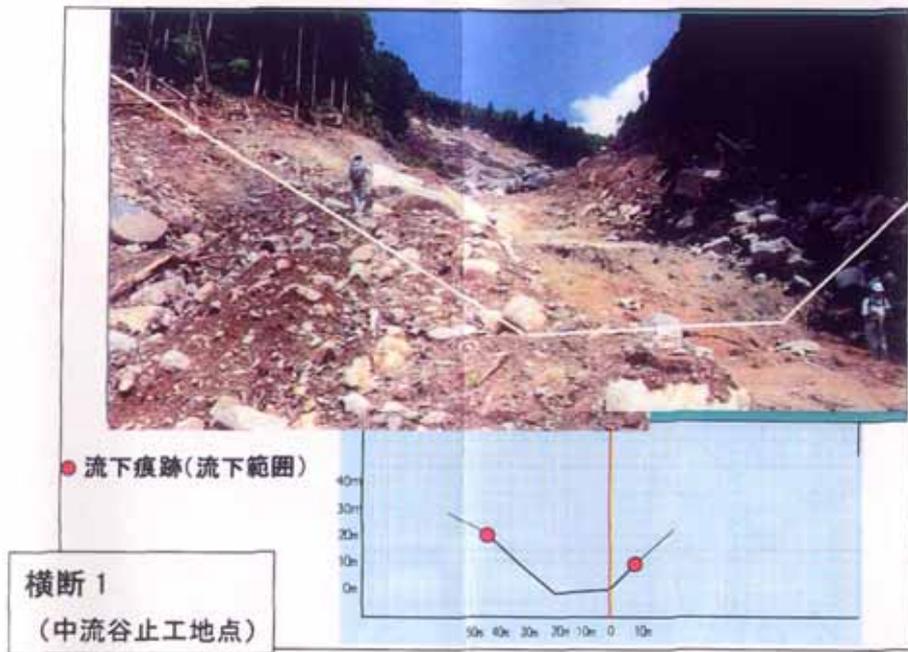


圖 4.8.2 災害地區斷面圖 (一)

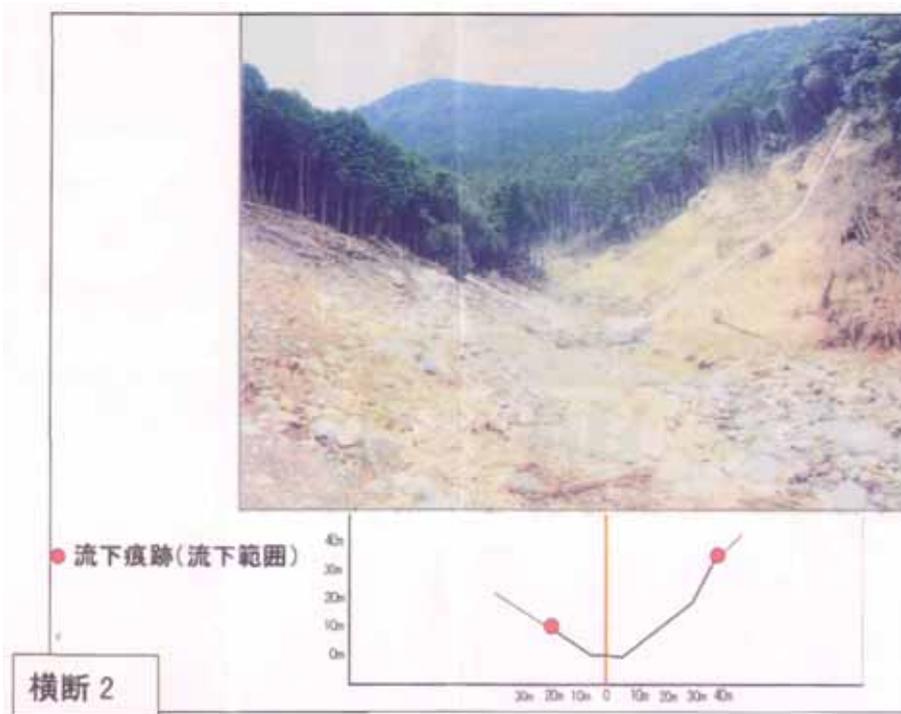
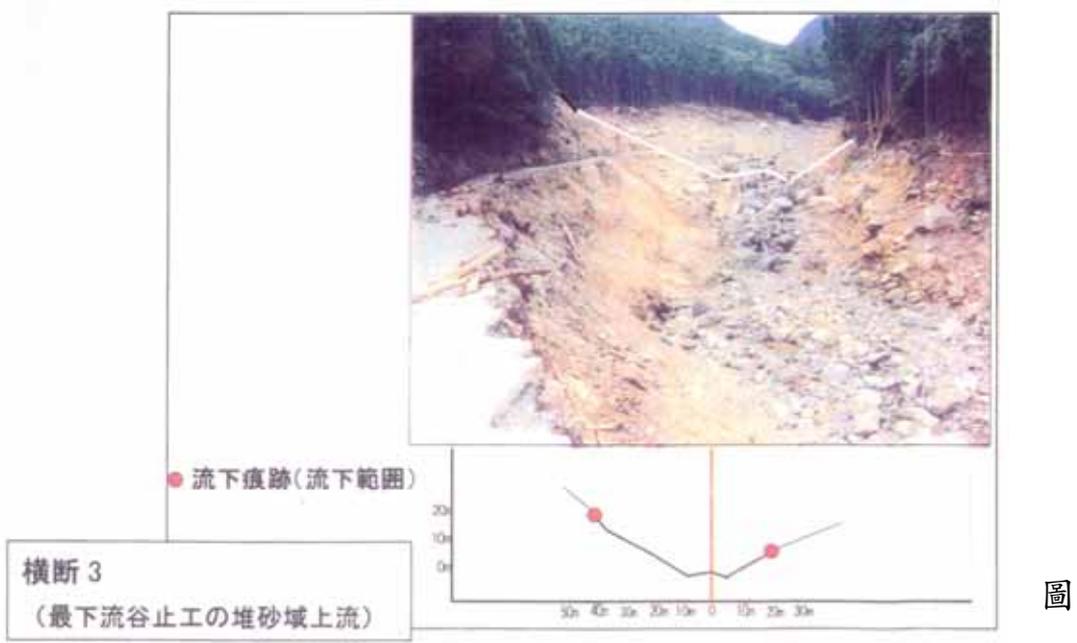


圖 4.8.3 災害地區斷面圖 (二)



4.8.4 災害地區斷面圖 (三)

圖



圖 4.8.5 監測系統分佈圖

九、雲仙普賢岳火山災害整治（2003.11.19）

雲仙普賢岳為一活火山，在有記載之 1663 年即有災害之歷史發生到近年來因人口聚集，為了防止人員及財產之損失，積極進行整治工程，而此區域除火山爆發之危險災害外，還會有土石流及火碎流所形成的危害。

此一區域為了避免災害發生，故做了一系列的整治，有防砂堰堤、導流堤等工程。為確保施工安全，採用無人操作儀器進行施工，且有優良警戒之系統（包括了監視器、雨量計、震動計、音響計、超音波式水位計與流速計等）。皆可預防災害發生前之緊急疏散。由此可看出，因日本地狹人稠，要與大自然相爭地所須付出代價之不得已措施與防範，然而他們為了居住安全盡力去做好防治工作，是值得我們學習的地方。



圖 4.9.1 平成五年九月六日火山噴發後之空照圖，可觀察到火山碎屑流及土石流的流徑，直至出海口地區。



圖 4.9.2 平成十五年三月十二日經過十年整治後之情形



圖 4.9.3 雲仙岳無人機械之操控，是利用無線遙控與現地攝影方式來進行操作。

十、廣島安川左支川災害整治（2003.11.21）

廣島地區於平成 11 成 6 月 29 日，因豪雨造成了土石流災害與重大傷亡，而主要原因是人口增加，逐漸向河谷出口與山坡居住，造成更大傷亡。此事件並引起日本政府重視，而擬定了土砂災害防止法，來限制人民的居住地點。

而本次參觀之地點為廣島安川左支川，本次災害造成 1 人死亡，房屋全毀 2 棟、半毀 1 棟，災害地區下方為一社區，為了下方居民安全其花費了三億七千四佰萬進行整治。

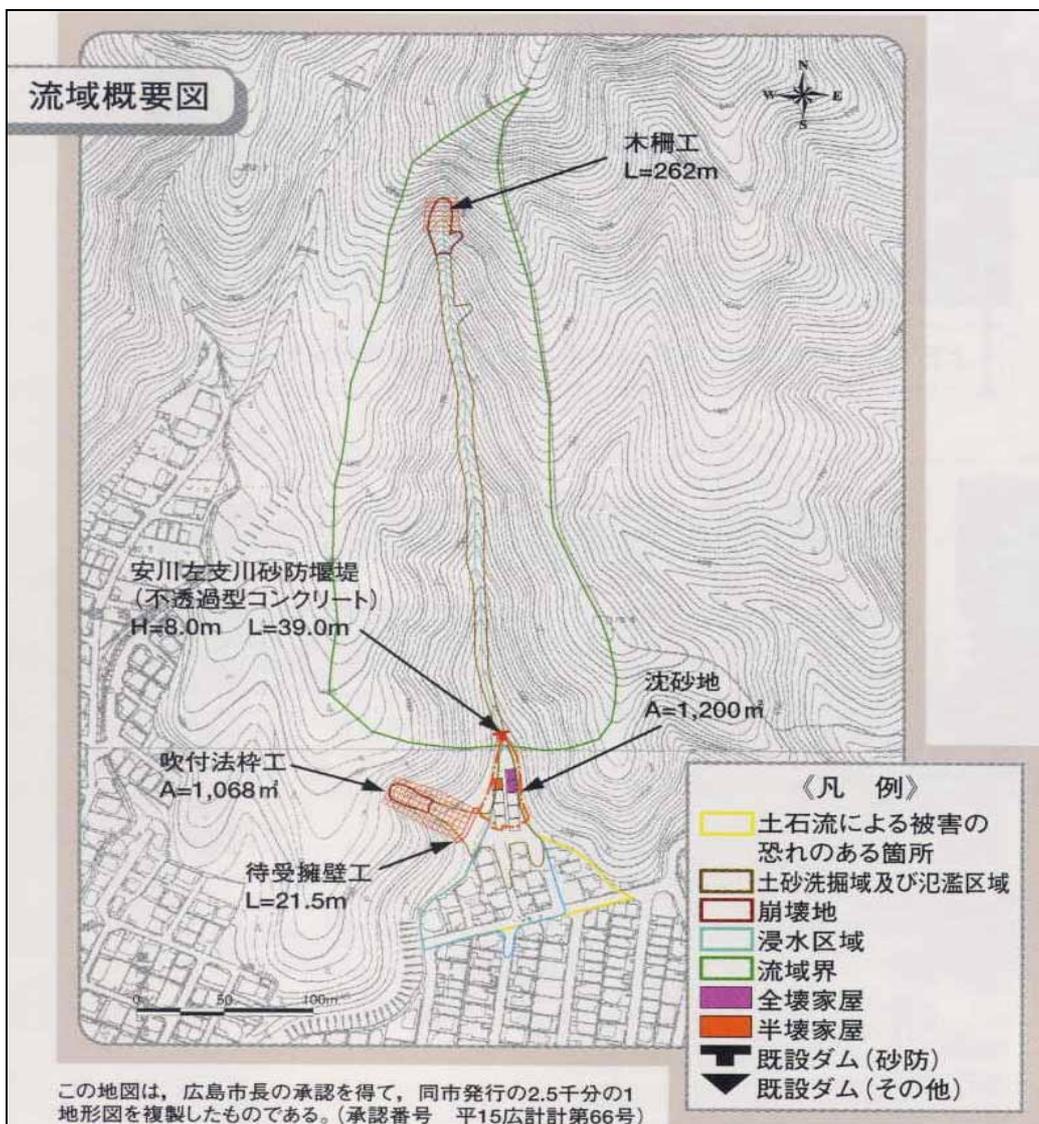


圖 4.10.1 廣島安川左支川之流域地形圖



圖 4.10.2

圖 4.10.3

圖 4.10.2 本區災後空照圖，可見清楚看到被掩埋之民宅(標示①位置)。

圖 4.10.3 整治後之空照圖，攔砂壩(標示②位置)與沉砂池(標示③位置)配置情形。

十一、廣島西部山系相田砂防堰堤工事 (2003.11.21)

廣島地區因平成十一年嚴重土石流災害，故日本政府開始重視土石流危險地區之劃設與砂防示範區之設立。被劃土石流危險區後，須先調查全流域邊坡狀況與堆積河砂石量，計算土石流量，預先設置砂防堰堤，以防災害發時造成災害，另一方面若土石流危險溪流下方無居民居住或公共設施，則劃設危險區警告民眾，若在此區域設置建物遇到災害，政府不予補助與協助復建，且禁止公共設施設置。如此才可減少政府每年在土石流災害之支出與防範災害發生減少人命、財產損失。廣島西部山系相田地區，調查後為危險高潛度溪流，經審查後做為示範與優先整治區。



圖 4.11.1 一號砂防堰堤施工現況



圖 4.11. 二號砂防堰堤正進行施工前之測量工作



圖 4.12.2 因地震造成陡峭邊坡崩塌



圖 4.12.3 整治後之現況

十三、姬川流域砂防設施 (2003.11.26)

本日野外現地考察對象包括平川流路工、松川流路工及浦川砂防設施等，位於長野縣松本市的北方，屬於姬川流域之範圍。

姬川發源於長野縣鄰近日本北 Alps 山脈的北安曇郡白馬村南部，向北流入日本海，河流長約 60 公里，流域面積約為 722 平方公里，平均河床坡度約為 1/16 為急湍型之河川。

1、姬川流域之概要

姬川流域之地質由第四紀更新世火山噴出物、火山岩類、中生代地層及第三紀的沉積物所組成，由於此區域受到系魚川—靜岡構造線活動的影響，地質脆弱，再加上降雨因素，就成為容易產生山崩土石流地滑等災害的地區，例如平成七年梅雨季節曾集中降雨 393.2 公釐，造成甚大規模的住家埋沒、倒壞、護岸決壞，沖毀道路、鐵路等。



圖 4.13.1 姬川流域圖

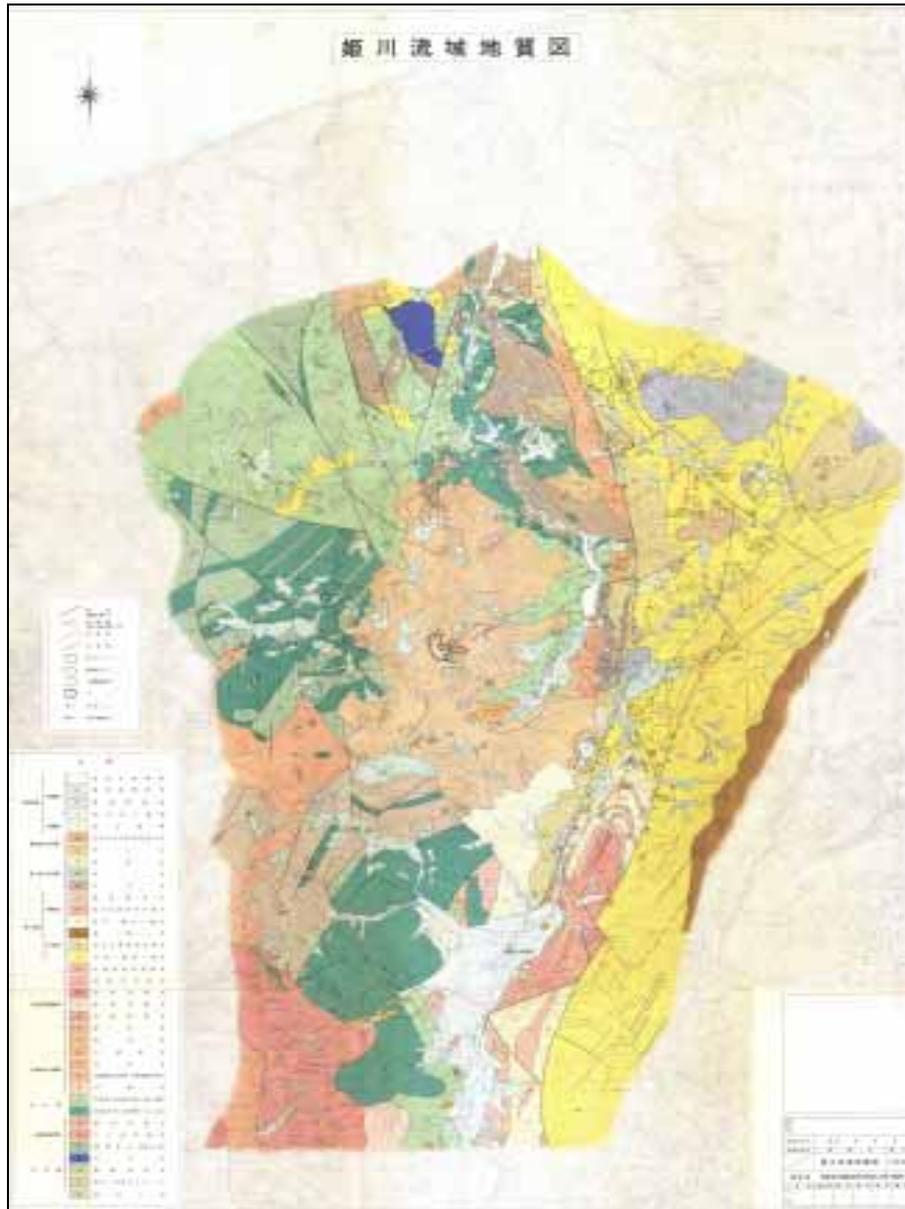


圖 4.13.2 姬川流域之地質圖

2、姬川流域之土砂管理上的課題

欲了解本區土砂的狀況就必須針對本區內土砂的情形進行調查及觀測，同時應了解平常流量及洪水流量時之土砂的量、質（粒徑）、時間的變化等起因，掌握了土砂移動的實際情況才能解明土砂災害的原因，因此對本區平常流量及洪水流量時（1）土砂發生區至海岸之間全河川流域的土砂移動狀況。（2）搬運的土砂的量、質（粒徑）、土砂移動分布、土石災害砂石的採取利用、環境關係等的把握來協助解決問題。

1、土砂移動之災害防止上的課題

(1) 洪水流量時

支流內的大規模山崩、土石流、地滑、急傾斜地崩塌等災害。

姬川本流河床上升導致洪水、土砂氾濫災害。

姬川本流河道河川構造物基礎損害。

(2) 平常流量時

河床低下導致河川構造物基礎不穩定。

河床上升使得洪水、土砂氾濫災害增加。

海岸侵蝕造成護岸損壞、海濱地減少。

漂砂的局部堆積影響。

(3) 砂防設施效果的把握

在平常流量及洪水流量時，解明砂防設施效果如何。

2、適當利用土砂的課題

對於今後姬川流域之平常流量及洪水流量時土砂堆積區、侵蝕區的適當砂石採掘利用。

3、生態系、景觀等環境保全上的課題

掌握流入河口及本流河道區間土砂量等性質上的變化，對河口及河道周邊的生態系之影響。

3、姬川流域之土砂移動監測管理的目的

土砂移動監測管理的目的是要明瞭土砂在空間、時間的連續性及土砂量及質（粒徑）的把握。了解土砂移動造成的災害、砂石利用、環境影響，進行土砂移動的高精度預測、土砂管理，以實現對社會福祉的幫助。

砂防、河川、海岸

■土砂的量

■土砂的質（粒徑）

■土砂移動在空間上的連續性

■掌握土砂移動在時間上的連續性

流域綜合土砂管理的目標

1、防止各區域土砂移動的災害。

2、各區域適當的土砂採取利用。

3、各區域生態系、景觀等的環境保全。

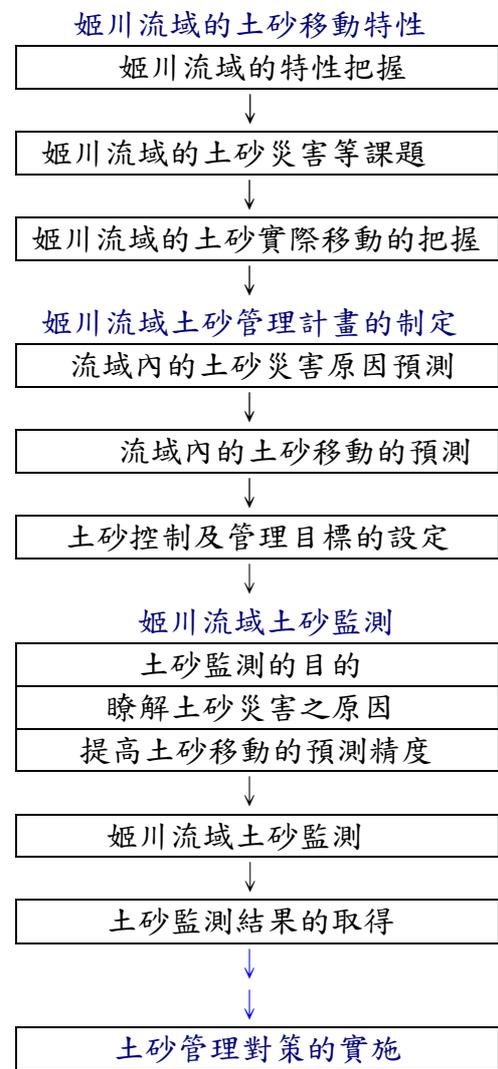
4、姬川流域之土砂移動監測管理的整體計畫

為明瞭土砂在空間、時間的連續性及土砂量及質（粒徑）等的特性，全域設置下列監測儀器：

(1) 觀測用監視器

- (2) 超音波式水位計
- (3) 超音波式流速計
- (4) 粒度分布調查
- (5) 浮游砂觀測
- (6) 掃流砂觀測
- (7) 河床侵蝕計測裝置 (洗掘監測、地下雷達)
- (8) 河床變動測量
- (9) 航照判釋
- (10) 超音波堆積層厚計測裝置
- (11) 振動計

5、姬川流域今後監測的展開：(如下表)



6、野外現地勘查

(1) 平川流路工

平川位於白馬村附近，為姬川的上游支流，屬姬川出張所治

理範圍，流域面積約為 26.8Km²，其水源來自日本北Alps山脈，附近高山有唐松岳（2,696m）、五龍岳（2,814m）、大遠見（2,107m）、大黑岳（2,405m）等，為急湍型之河川，自古以來就有很多土砂被沖蝕下來，在水流平緩地區形成扇狀堆積，本區以往曾產生過許多次土石流災害，因此對治理本河川所提出的第一期整治計畫，由昭和 47 年起至平成 2 年止，進行河川流路的整治，包括床固工 6 處，帶工 28 處，河床延長 3,850m，砂防堰堤 13 處，並設有一處雨量觀測所，總經費 47 億日元，此外平川有幾條支流，如崩溪及八方溪，也均設有砂防堰堤進行防治。



圖 4.13.3 平川之鳥瞰圖



圖 4.13.4 平川之固床工、護岸情形



圖 4.13.5 平川之橫溪防砂堰堤

(2) 松川流路工

松川位於平川流域的北方，長野及富山兩縣內的高山如白馬連峰的白馬岳、唐松岳等山區為其水源集水區，松川由白馬岳的北股入川及唐松岳的南股入川匯流而成，在白馬村附近匯入姬川。由於松川有許多自然景觀，包括高山、雪景、動植物等，因此展開積極的景觀、親水性、生態性的保護事業，迄平成 14 年 11 月已構築了 18 座河床固床工及帶工。



圖 4.13.6 松川位置圖



圖 4.13.7 松川鳥瞰圖

(3) 浦川暗渠砂防堰堤

浦川位於長野白馬村的北邊，小谷村附近，發源於乘鞍岳，流經小谷村石坂地區注入姬川，是日本少數的荒廢河川，其地質以火山噴發物佔多數，因此地質脆弱，明治 44 年曾發生有史以來最大之山崩災害，以後經常發生土石流，洪水發生的高危險區。

近年來一方面為自然災害防治進行治山治水，一方面為國民水準日趨提高，因此從自然環境、親水性及姬川安全性等綜合考慮下，制定多目的的基本方針計畫，暗渠砂防堰堤的功能包括：

- (一) 河床變動抑制
- (二) 暗渠砂防堰堤貯砂效果
- (三) 下游的土砂供應（洪水後，暗渠砂防堰堤能繼續讓土砂流過）
- (四) 生態系的保全（上下游沒有遮斷的效果）
- (五) 具有橋樑功能
- (六) 環境創造

浦川暗渠砂防堰堤是一新的整治土石流河川的觀念，對土石流中較大的石塊具有阻擋功能，但同時又能讓較小顆粒的土砂通過，不影響河川輸砂，又可做為橋樑使用，是非常優秀的研究成果，值得國內效法。

浦川附近也設置許多監測站進行各項監測，包括水位計、流速計、雨雪量計、現場監視器等，並採用自動傳輸系統傳遞資料，臺灣土石流監測系統仿自日本，因此大致配備類同。



圖 4.13.8 浦川暗渠砂防堰堤



圖 4.13.9 浦川防砂梳子壩



圖 4.13.10 浦川附近地質脆弱情形（一）



圖 4.13.11 浦川附近地質脆弱情形（二）

伍、研習心得

台灣與日本之自然環境頗為相似，都位於板塊碰撞帶上，地震頻繁，地質環境不佳，因此豪雨後土砂災害頻傳。但日本防災監測體系起步較台灣早，每年都投資鉅額經費辦理有關事業，對於天然災害的防止、環境保護及國土資源保育皆有相當的成效，足為我國參考。此次研習，除土石流調查技術與防災整治系統外，也學習了許多有關日本人民對防災體制與相關技術方面的觀念，實為一大獲益，綜合此次研習心得為：

一、日本行政體系的事權統一

日本土砂災害之防治業務與權責，中央與地方之分工甚為明確。屬於土砂災害嚴重之地區，經劃定為指定地區(特定區)之後，均由中央所屬之地方整備局直接予以治理，但所有管理工作仍歸縣主管；而對於各鄉鎮市町村之土砂災害地區則歸縣統籌辦理。尤以土石流之防災避難監視、警戒雖由中央所屬之地方整備局配合工程治理之同時，一併辦理監測工作，但其資訊最終仍送至縣市鄉鎮市町村，且地方亦可因需要性自行設置監視系統，並由當地之相關主管單位負責必要之避難、疏散等工作，行政體系之事權統一，災害調查與整治規劃設計可相互研擬討論，以達成整體性的砂防整治目標。

二、日本相關砂防資訊與防災體系完備

日本自明治時代即相當重視砂防與保育，砂防事業已有近百年歷史，累積了十分可觀的經驗和成果，有關陡坡崩塌、地滑、土石流等坡地地質災害相關資料之調查規範，及監測、警戒基準值分析及砂防相關法令之訂定相當完備，因此其經驗和成果對我國防災體系的建置有相當之價值，值得引進參考。

三、砂防技術創新

日本每年在防災資訊及整理工法研究的經費龐大，顯示日本對防災資訊及災害整治的重視。防災情報系統軟體之健全，必須以防災資訊蒐集及自然生態工法研究成果為基礎。在日本，如遇大型土石流或特殊崩塌災害時，必須於重建區規劃時與專門技術相關機構合作，務必求得一合理有效的解決方案，方付諸實行，使得防災與維護自然生態能發揮最大功效，並可提供其他防災單位規劃設計時之參考。

四、自然保育觀念的重視

砂防事業，不只是保障生命財產安全，並且需與自然環境保育相

結合；此次研習，參觀了多處親水設施砂防工程，除了親水設施外，也重視生態的維護，野溪治理儘量採用生物性材料，併用石材、木材等材料，除可防災外，並維持野溪原貌，避免破壞野溪原有生態。

五、災害情報資料建檔

日本自然災害情報系統資訊的管理，均由地方政府有關單位管理建檔，對於災區之水文、地質、土壤、圖冊、照片等基本資料及以往發生之災害等資料均詳盡建檔，以作為日後研究及防災情報之參考。

六、防災與監測系統建置

日本尖端科技發達，目前於砂防事務所內均設置有全套防災監視設備及降雨觀測雷達，以彙整轄區內各主要河川水位、雨量等資料，對於山崩、土石流第一手資料可即時掌握，特別於土石流發生地區，在河道上設有感應電纜，了解土石流到達時刻，並藉由高性能攝影機之設置，對土石流之狀況及工程防治土石流之效果，均有詳實的記錄，並蒐集相關資料，了解工程防治效果及研擬更佳之治理對策。

七、文宣與通訊系統建置

日本政府及人民對於水土資源保育及自然生態工法技術相當重視，有關單位均編印各項資料，宣導水土資源保育及防災監視系統管理的重要性，此次研習，每到一個單位，均準備一些印製詳細的資料提供給我們參考，資料圖文並茂，內容更簡易美觀，防災監控系統運作文宣資料值得我們參考。

八、完備的法規--土砂災害防止法

日本有關砂防方面之法規計有砂防法、地滑防止法、急傾斜地災害防止法、土砂災害警戒區域及土砂災害防止對策之相關法律（簡稱「土砂災害防止法」）等。對地滑、急傾斜地、土石流等之災害防止對策基本方針、各級政府之義務、危險區域之指定及管理，相關費用各級政府之分攤、警戒避難體制之整備、開發行為之限制、對策工事基準、施工損失補償等均有詳細的規範。臺灣在這方面並不落後於日本，日本的經驗值得我們了解與思考。

九、軟、硬體兼具的砂防對策

日本土砂防治措施採取的對策，除研究發展土砂防治技術與寬籌經費辦理砂防事務外，並且由法規方面配合宣導進行，以達到軟、硬體兼具之整治對策。這些砂防相關法令包括砂防法、地滑防止法、急傾斜地法、土砂防止法等，其中有些為最近幾年才通過的法令，顯示

出日本政府對土砂災害之更積極因應，以確保國土環境安全與謀求人民的福祉。

十、防災減災借鏡

此次研習的成果除可直接運作於本所正在進行中的相關防災減災之基本地質調查研究計畫工作外，對於防災領域發展與研究上並可適切提供地質環境與災害關係，包括 1. 土石流的生成與山崩的關係，2. 土石流的生成與地質條件的關係，3. 由地質條件來進行土石流預警系統之建置，4. 土石流潛勢溪流的調查與敏感區劃設等之技術研發與成果推廣，以提昇我國於山崩災害調查研究與整治設計、防治規劃技術。

陸、建議

一、加強災害基本調查及資料之蒐集建置

要達到國土永續經營之目標，地質災害之基本調查、分析及預測是很重要的工作。以往國內相關工作受客觀環境之限制，較少進行基礎的、全面的調查及資料蒐集建置工作，因此沒有足夠的資料進行地質災害分析及預測。本所自九十年代起，所進行之「都會區周緣坡地整合性環境地質資料庫建置」、「山崩調查與危險度評估」與「土石流災害地質調查研究」等三大計畫，即是以地質之觀點進行山崩地質調查與分析評估，提供相關單位作為災害防治規劃與整治參考；但因人力與資源的限制，短期內以進行都會周緣地區的災害調查研究與資料建置為主，冀望未來逐年擴展儘速完成全國國土的基本資料調查。

二、善用民間力量，成立類似日本砂防協會之組織

日本砂防協會成立於昭和 10 年，至昭和 15 年因社團法人化而改稱日本全國治水砂防協會，會員由市町村長組成，目前共有會員 2799 個，都道府縣支部 47 個。協會主要任務為負責政府及民間之溝通協調、受委託辦理砂防調查研究、協辦國際砂防合作交流事宜，本次研習即由日本全國治水砂防協會安排進行參訪。

台灣目前在砂防事業上缺少像日本砂防協會這樣的有效組織，因此有必要善用民間力量，成立類似日本砂防協會之組織，作為政府與民眾溝通之管道與機制，促進砂防相關政策之形成、砂防對策之推動、砂防教育宣導等事項。

三、建立預警及避難系統專責管理機構

日本預警及避難系統專責管理機關以地方政府為主，管理運作模式值得借鏡。台灣雖在許多地區已設有土石流預警系統，但有些並未與地方政府防災中心及災區居民結合，因此無法有效發揮災害情報警戒避難功能，目前地方上雖有避難演練，但是否能有效利用監視系統降低災情，尚待考驗，中央須加速協助地方儘快設置監視避難系統之專責管理機構及相關資訊設備。

四、加強合作，建立常設性之交流管道

欲建立完整的坡地地質災害防救體系，其工作可以說千頭萬緒，所需花費的時間及金錢更是不計其數。日本以上百年的時間及每年上兆日元之砂防經費經營砂防事業，其所累積的經驗及成果，可以說完全是時間與金錢的結晶。因此有必要與日本加強相關合作，建立常設

性之交流管道，以便以最少的經費及在最短的時間內完成台灣之坡地地質災害防救體系。

五、加強宣導，提高社會大眾對治山防災及生態環境的重視

台灣近年來對治山防災及生態環境觀念之宣導日趨成熟，乃由於以往多次的豪雨颱風侵襲與集集大地震的重創造成人民生命財產的重大損失，更使國人體認治山防災及生態環境保育的重要性。而治山防災及生態環境保育之宣導係一長期性的工作，除了宣導外，更應將治山防災的觀念與作法納入國民基礎教育內，以落實治山防災的成效。

柒、参考文献

- 日本の砂防(2000) 国土交通省砂防部，(社)全国治水砂防協会，砂防広報センター。P35。
- 日本砂防のあゆみ(2003) インタープリメント実行委員会，国際防災協会，環太平洋インタープリメント印行。P123。
- 防災情通信システム(2003) 防災情通信システム研究会。P195。
- 土砂災害の予知と対策(2000) 第五章土石流，土質工学会。PP249-287。
- 土石流危険溪流および土石流危険区域調査要領(1999) 建設省河川局砂防課。P45。
- 土石流による家屋被災範囲の設定方法に関する研究(2003) 国土交通省 国土技術総合研究所。P146。
- 6.29 土砂災害復旧誌(2003) 平成 11 年豪雨災害，広島縣土木建築部河川砂防總室砂防室。P22。
- 兵庫縣の砂防(1997) 兵庫島縣縣土整備部土木局砂防課。P43。
- 鹿兒島縣の砂防(2000) 鹿兒島縣土木部砂防課。P36。
- 長野縣の砂防(2001) 長野島縣土木部砂防課。P42。
- 阿部宗平(2003) 土石流發生抑止工法に関する研究，(社)全国治水砂防協会。