

出國報告（出國類別：考察）

2019 年日臺砂防共同研究會 技術交流

服務機關：行政院農業委員會林務局

姓名職稱：戴欣怡 技正

派赴國家：日本

出國期間：108 年 12 月 8 日~14 日

報告日期：109 年 3 月 19 日

摘要

臺灣與日本防災業務交流多年，每年雙方互訪一次，並召開會議。108 年為臺日砂防技術交流滿 30 週年，特此彙編「日本・臺灣砂防技術交流 30 週年紀念誌」，紀錄 30 年時間約 500 人的交流歷史，促進臺灣水土保持技術飛躍的進步，日方也同樣見證臺灣重大災害治理，甚至見證花蓮縣壽豐溪 30 年災害與治理歷史演變，紀念誌收錄 2004 年~2018 年兩國每場次共同研究會研究課題及考察區域，滿載雙方每年互訪交流的深厚情誼，顯示在砂防重要課題中集水區治理、土砂防治、堰塞湖、大型邊坡災害、複合型災害等課題的瞭解與研究方向幾乎同步前進，兩國行政體系也積極的推動防災預警機制方向而努力。

108 年度現地考察與參訪，顯示遭逢天災毀壞自然環境，透過人為軟硬體之技術與方法，經過時間洗禮，棲地逐漸復育，顯示日本對於災害區域之治理，仍視治理區域保全對象重要性，因地制宜選擇不同強度防治工程整治復育，更善於將公共工程轉換為環境教育場域，並視時代變遷，結合觀光遊憩，將相關具歷史或文化意義工程轉化為世界文化遺產，提醒人們安全背後的代價。

目次

摘要.....	2
目次.....	3
壹、目的.....	4
一、緣起.....	4
二、考察成員.....	4
三、考察目標.....	6
貳、考察過程.....	7
一、考察行程.....	7
二、研討會技術交流.....	8
三、工程現地考察.....	21
參、心得及建議事項	35
肆、結語.....	36
伍、附錄.....	37
附錄一 日本・臺灣砂防技術交流 30 週年紀念誌	
附錄二 2019 日臺砂防共同研究會議資料	
附錄三 2019 日臺砂防技術交流會議資料	
附錄四 廣島縣宮島紅葉谷川土石流災害復舊簡報	
附錄五 20191211 實地調查廣島縣土木建築局砂防課簡報	
附錄六 廣島縣熊野町川角地區土石流災害復建情形簡報	
附錄七 堂々川公園 6 番砂留簡報	

壹、目的

鑑於氣候變遷下降雨型態轉變，臺灣與日本地區同樣面臨超過防洪標準之強降雨威脅，以及不容忽視的土砂災害、地震及海嘯等課題；臺灣與日本辦理防災業務交流行已有多年，透過相互分享與學習，尋求如何因應天然災害問題，適地適性解決對策，以及災害之復建方法與機制；藉由災害防制經驗與成果分享及研討、現地參訪及技術交流，對於考察人員均有實質助益。

一、緣起

自民國 78 年起，臺灣與日本辦理雙方防災業務交流，更隨著時間與時俱進，每年兩國互訪一次，並召開會議，由召開國負擔會議所需經費。歷經 30 年防災技術交流，臺灣的水土保持技術，由以工程為主的手段，與時俱進運用各種坡地防災預警技術、監測技術、生態工法、環境保育，乃至全流域尺度的土砂定量管理或是各種跨域整合技術、公民參與、自主防災社區等，都顯示臺灣水土保持技術與方法水平提升躍進國際。108 年度為臺灣與日本砂防技術交流 30 週年，「中華防災學會」及「中華水土保持學會」再度接受「日本全國治水砂防協會」之邀請，於 108 年 12 月 8 日至 14 日赴日本東京都、廣島縣及香川縣，進行為期 7 天的考察行程，期間除召開「臺日砂防共同研究會會議」、「臺日雙方行政官會議」外，並考察近幾年連續遭逢天災侵襲之廣島縣相關災害治理與復建情形。

二、考察成員

此次考察成員由「日本全國治水砂防協會」邀請，分別由臺灣中華防災學會及中華水土保持學會協助，考察成員為公部門機關業務相關人員及學術單位教授參與，團長分由中華防災學會蔡光榮理事長及中華水土保持學會周天穎理事長擔任，成員共計 13 人，名單如表 1 及表 2。

表 1 中華水土保持學會考察成員名單

成員姓名	服務單位/職稱	備註
王晉倫	農委會水土保持局/副局長	團長
陳樹群	中興大學水土保持學系/特聘教授	
周天穎	中華水土保持學會/理事長	
王咏潔	中興大學水土保持學系/助理教授	
黃振全	農委會水土保持局臺中分局/分局長	
廖雯慧	農委會水土保持局/副工程司	

表 2 中華防災學會考察名單

成員姓名	服務單位/職稱	備註
謝正倫	成功大學防災中心/主任	副團長
姚俊豪	國家發展委員會國土區域離島發展處/技正	
戴欣怡	農委會林務局/技正	
王復生	屏東農田水利會/總幹事	
紀宗吉	經濟部中央地質調查所環境與工程地質組/組長	
嚴川舜	農委會水土保持局/正工程司	
賴文基	成功大學防災研究中心/副主任	



圖 1 日臺砂防共同研究考察成員合照

三、考察目標

- (一) 瞭解日本颱風豪雨災害檢討與策進對策資訊。
- (二) 考察日本防災治理工程復建情形或棲地復育環境現況。
- (三) 掌握日本防災技術之脈動、建立友誼與交流管道。

貳、考察過程

一、考察行程

本次日本考察期程自民國 108 年 12 月 3 日至 12 月 14 日止，為期 7 天，惟第一天(8 日)及最後一天 14 日)為交通往返路程，並未安排考察行程，考察行程如表 3。考察區域主要位於日本東京都、廣島縣及香川縣，行程包括召開「臺日砂防共同研究會會議」(9 日)、「臺日雙方技術交流會議」(10 日)外，現地考察廣島縣廣島市宮島紅葉谷公園土石流災害遺址與復建情形、廣島縣廣島市八木 3 丁目土石流災害復建情形及熊野町川角土石流災害復建情形(11 日)、廣島縣福山市堂々公園堂々川 6 番砂留他災害復建情形(12 日)及香川縣琴平町滿濃池農塘建置案例(13 日)。

表 3 2019 年日臺砂防技術交流行程表

日期	行程內容	地點
12 月 8 日 (星期日)	搭乘全日航空 NH852 13:30 由臺灣飛往日本羽田機場 17:30 抵達	臺灣 東京都
12 月 9 日 (星期一)	日臺砂防共同研究會	東京都 日本全國治水砂防協會
2 月 10 日 (星期二)	日臺砂防技術交流會	東京都 日本全國治水砂防協會
2 月 11 日 (星期三)	考察點 1-廣島縣廣島市宮島紅葉谷公園土石流災害遺址與復建情形 考察點 2-廣島縣廣島市八木 3 丁目土石流災害復建情形 考察點 3-廣島縣熊野町川角土石流災害復建情形	廣島縣廣島市、 熊野町
2 月 12 日 (星期四)	考察廣島縣福山市堂々公園堂々川土砂防治歷史工程	廣島縣福山市
2 月 13 日 (星期五)	考察香川縣琴平町滿濃池農塘建置案例	香川縣琴平町
2 月 14 日 (星期六)	由淡路島搭乘巴士前往關西機場搭乘長榮航空 NH5811 12:55 由日本返回臺灣桃園機場 15:05 抵達	兵庫縣州本市、 臺灣

二、研討會技術交流

(一)技術交流開幕式

本次日臺砂防共同研究會於 108 年 12 月 9 日 10:00 開幕，參與人員除本考察團 13 名成員外，日方參與人員包含日本國土交通省砂防部代表、日本全國治水砂防協會、日本一般社團法人國際砂防協會、及相關技術人員等計 35 人。

開幕式由日臺雙方代表(大野宏之 理事長、今井一之 部長、王晉倫 副局長)致詞揭開序幕，雙方除對於台日砂防技術三十年來不間斷的交流予以正面肯定，未來持續雙方在相關議題與技術上之學習與交流。開幕式情形如圖 2 所示。



圖 2 2019 年日臺砂防共同研究會開幕情形

(二)共同研究及技術交流會討論議題

「2019 年日臺砂防共同研究會會議」於 12 月 9 日在東京都全國治水砂防會館 3F 惠高會議室召開，翌(10)日同在東京都全國治水砂防會館 3F 霧島會議室召開「2019 日臺砂防技術交流會議」，兩場次會議議程如表 4 及表 5 所示。

表 4 2019 年日臺砂防共同研究會會議議程

時間	討論議題	講演者
12 月 9 日 (星期一)	日臺砂防交流 30 週年紀念刊物	全國治水砂防協會副會長 岡本正男
	近年土砂災害發生之狀況特徵與警戒避難	國土交通省砂防部長 今井一之
	國際標準在臺灣土砂災害資訊分享及發佈服務之應用	逢甲大學教授 周天穎
	近年土砂災害與土砂移動幅度	國土交通省國土技術政策綜合研究所土砂災害研究部砂防研究室長 山越 隆雄
	大規模崩塌應變管理之建立	成功大學防災研究中心副主任 賴文基
	2018 年 7 月豪雨大規模土砂災害復建情形	國土交通省中國地方整備局廣島西部山系砂防事務所所長 雄澤至朗
	臺灣西南部泥岩地區沉積土沖蝕及運移特性研究	中興大學助理教授 王咏潔
	贈書及參觀全國治水砂防協會圖書館	農委會水土保持局 VS. 全國治水砂防協會圖書館

表 5 2019 年日臺砂防技術交流會議議程

時間	討論議題	講演者
12 月 10 日 (星期二)	既有高壩的生態補償作為-以臺中市東勢區四角林溪整治為例	農委會水土保持局臺中分局分局長 黃振全
	土砂災害實例-平成 30 年(2018 年)7 月豪雨土砂災害與對策	國土交通省砂防部砂防計畫課課長 三上幸三
	日本土石流漂流木攔阻調查	(国研) 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム主任研究員 平田遼
	土砂治理新思維-調整型防砂壩之研發與應用	農委會水土保持局副工程司 廖雯慧

1. 日臺砂防交流 30 週年紀念歡迎會

由全國治水砂防協會岡本正男副會長講述日臺雙方 30 年來砂防技術交流歷史與共同研討相關回憶，日方並編撰了「日本・臺灣砂防技術交流 30 週年紀念誌」(詳如圖 3 及附錄一)；我國代表中華防災學會謝正倫榮譽理事及中興大學陳樹群特聘教授針對日臺雙方交流 30 週年發表多年交流心得與期許。

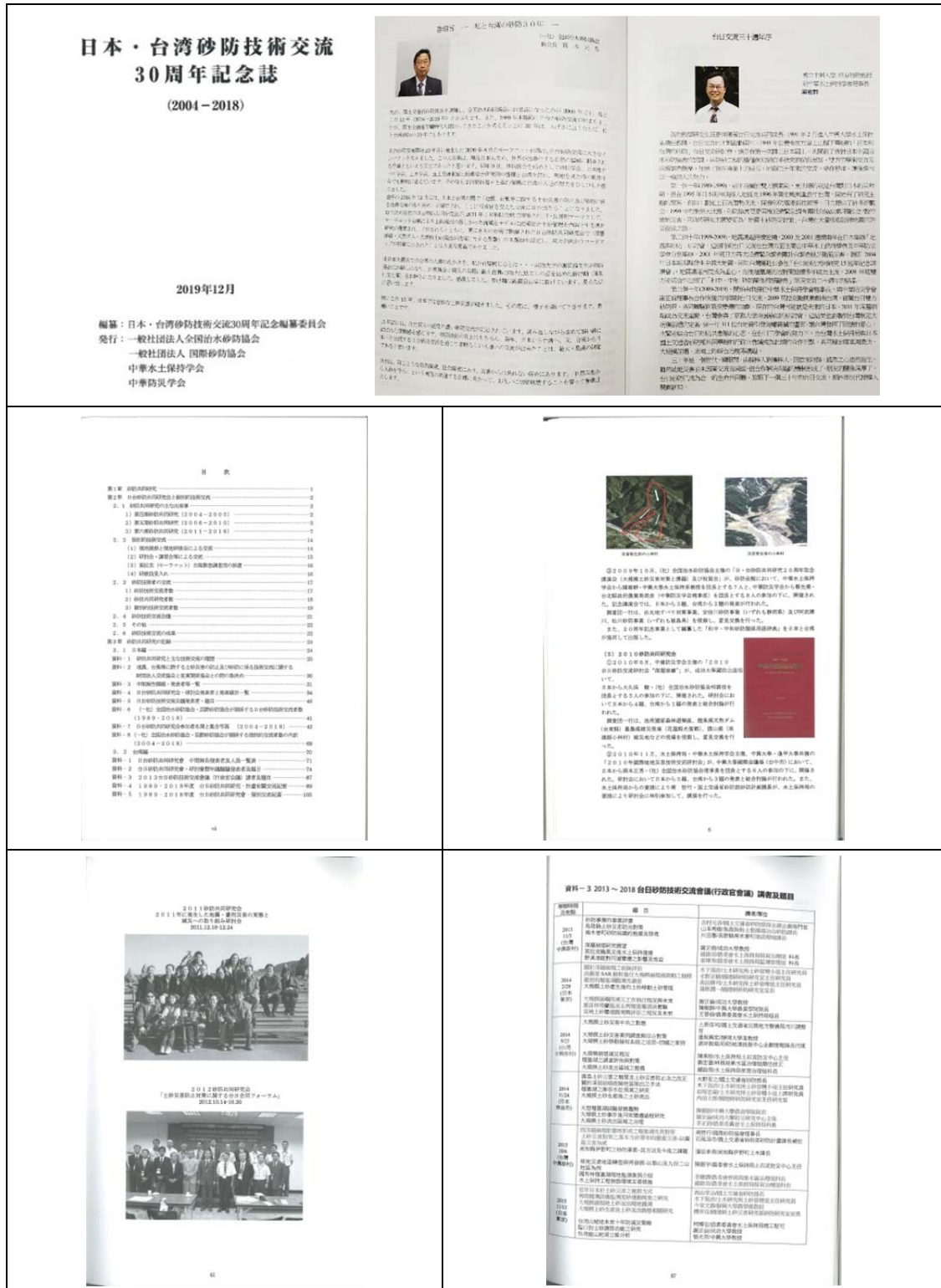


圖 3 日本・臺灣砂防技術交流 30 週年紀念誌摘要內容

2. 近年土砂災害發生之狀況特徵與警戒避難

由國土交通省砂防部今井一之部長主講，介紹近年 10 年日本地區重大土砂災害發生案例之特徵與警戒避難工作，其中，以 2018 年發生土砂災害件數最高，達 3,459 件，而單場颱風豪雨事件引發災害處數最高為 2019 年第 19 號颱風海貝思 (Typhoon Hagibis)，重創日本造成 937 處土砂災害(如圖 4 所示災害統計圖表)。對於重大災害處置作為分以下三類：

- (1) 硬體構造處理：災害緊急處理由日本 TEC-FORCE 組織砂防班及高度技術指導班等協助地方整備局勘災與現場緊急處置作為，較嚴重災區，由中央 TEC-FORCE 主導及辦理工程防治相關工作。
- (2) 非硬體構造對策-土砂災害警戒區域檢討與劃定：在經歷重大災害後，政府部門全面調查，重新檢討，視區域調整警戒值或訂定警戒值，而災害警戒區域之調查檢討與公告時程，則依據災害嚴重縣市區域排定順序。
- (3) 非硬體構造對策-防災警戒推廣與避難宣導：於災害發生後，政府部門會進行問卷調查是否瞭解住家區域土砂災害警戒資訊，加強宣導與實施，而警戒區域公告方式於社區周邊電線杆及社區活動中心公告欄。

而日本為防治土砂災害之減災措施，期望結合民眾、政府與專家學者力量，積極推動共同合作，達到全面自主防災的目標；善用人力資源，透過協助防災高度意願者與專家協助社區居民提升防災知識，積極提升土砂災害預警準確度，以期提供更多資訊以支持居民與政府之決策。

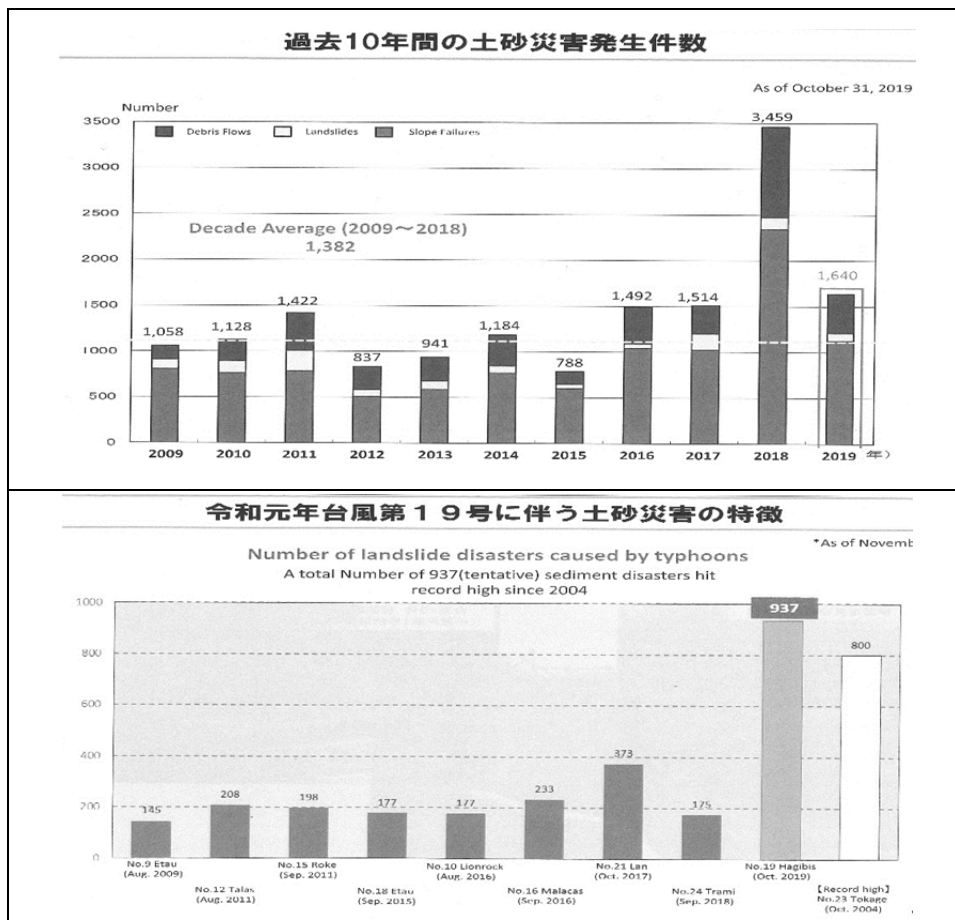


圖 4 日本近 10 年土砂災害類型、件數與每年災害影響甚巨颱風統計圖

土砂災害警戒区域の表示方法

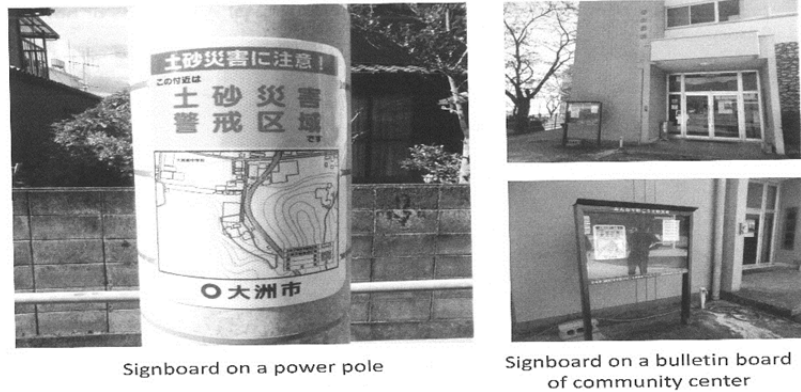


圖 5 土砂災害警戒訊息公布表示方法

3. 國際標準在臺灣土砂災害資訊分享及發佈服務之應用

由中華水土保持學會理事長周天穎講演，介紹臺灣智慧化土砂防災監測系統，運用數據分析提升監測預警效益，並將相關大數據資料，資訊公開，實質參與國際組織(OGC)，製作土石流警戒發布情形報告；並說明臺灣為防災之努力，結合產官學整合資訊，打造創新防災服務；另外此多功能防災地理資訊系統，更榮獲了2019 Geospatial World 空間地理資訊技術創新獎，臺灣並協助東南亞國家越南建置防災觀測站。



圖 6 臺灣土砂災害資訊網絡與協助東南亞國家建置觀察站圖

4. 近年土砂災害與土砂移動規模

由國土交通省國土技術政策綜合研究所土砂災害研究部砂防研究室長山越隆雄講演，先列舉 2 場大規模土砂災害案例，簡述如下：

案例 1 為 2017 年 7 月初豪雨事件，造成九州地區赤谷川山洪暴發，河川氾濫，河川改道，降雨監測顯示，最大 24 小時累積降雨為 829mm，最大單日小時降雨為 124mm。赤谷川地質為花崗閃綠岩，該場豪雨事件造成赤谷川集水區發生超過 250 處崩塌，大部屬沿溪流發生之淺層崩塌。

案例 2 為 2019 年 10 月颱風海貝思帶來之豐沛雨量，造成富山縣射水市新湊內川流域發生 490 處崩塌及土石流災害，災害事件之降雨量，除打破歷史紀錄外，

河川水位也超越 2012 年豪雨事件的歷史最高水位紀錄，降雨監測顯示，最大 24 小時累積降雨約 607.5mm，最大單日小時降雨 80.5mm，其中最大 12 小時累積降雨量竟為歷史紀錄 2 倍。內川溪地質同為花崗岩。

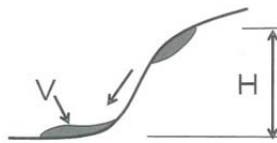
日本為探討研究颱風豪雨事件引發集水區發生大規模崩塌事件，蒐集各類型災害，經過案例分析推估出土砂運移規模公式(亦翻譯為土砂洪水氾濫評估規模公式)(如圖 7 所示)，蒐集了各事件前後之衛星影像或 LiDAR 分析流域特性及土砂運移範圍，並計算出各場事件選取流域發生之土砂量體、受害人命、毀損房舍等重要因子(如圖 8 所示)。

各事件透過公式最後得到之 SMM 值，如圖所示，逐步歸納土砂運移規模可能造成的規模影響。將同樣地質條件之災害事件移動距離土砂量變化與累積百分比，找出特性曲線，而每一條曲線代表一場事件，顯示同樣流域、地質條件下，產生之土砂量都有可能差 10 倍以上，仍須視坡面風化狀況及微地形評估，如圖 9 所示。

Sediment Movement Magnitude

$$SMM_{event} = \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n H_i V_i \right) = 8.0_{QE}$$

H : Vertical drop of landslide *i* (m), V: Volume of landslide *i* (m³)



Uchida and Kunitomo (2005)
Hayashi et al.(2015)

圖 7 土砂運移規模公式

SMEvent	Name of Disaster	Volume of sediment (10 ³ m ³)	Number of victims	Number of houses damaged
10.5	Disaster in Kil Peninsula caused by Typhoon Talas in 2011	100,000	62	190
10.4	The Iwate-Myagi Nairiku Earthquake in 2008	130,000	18	3
9.9	Niigata Prefecture Chuetsu Earthquake	100,000	4	93
9.9	Disaster caused by Typhoon Nabi in 2005 (Kyuusu Region)	23,000	11	76
9.4(9.6)	Landslide disaster caused by Heavy Rain in July 2018 (Hiroshima Prefecture)	8,000	87	711
9.3(9.5)	Landslides disaster caused by Northern Kyushu Heavy Rain in July 2017 (Right bank area of Chikugo River)	11,000	20	266
8.8	The 2016 Kumamoto Earthquake	4,400	10	35
8.3(8.5)	Landslides disaster caused by Kanto and Tohoku Heavy Rain in September 2015 (Serizawa area, Nikko city)	800	0	7
8.1	Debris flow disaster at Nagiso caused by Typhoon Neoguri and Baiu-front in July 2014	100	1	13
8	Landslide disaster at Hiroshima caused by Heavy Rain in August 2014	500	74	429
8	Landslide disaster in Hofu caused by Northern Kyushu and Chugoku Heavy Rain in July 2009	2,400	14	91
7.9	Disaster in Izu Oshima caused by Typhoon Wipha in 2013	180	39	203
7.8	Landslide disaster at Tamba caused by Heavy Rain in August 2014	1,000	1	43
7.4	Debris flow disaster at Okaya caused by Heavy Rain in July 2006	100	8	27
7.5	Debris flow disaster at Minamata caused by heavy rain (Baiu-front) from July 19 to 21, 2003	90	19	16
6.7	Debris flow disaster at Dazaifu City, Fukuoka Prefecture caused by heavy rain (Baiu-front) from July 19 to 21, 2003	15	1	40
6.4	Landslides disaster in Semboku caused by heavy rain in August 2013	15	6	6

圖 8 歷史災害事件土砂運移規模統計分析結果

Assessment of Potential of Sediment Yield

- LiDAR survey reveals precise amount of sediment yield by landslides.
- Specific sediment yield varies more than one order even in the area with same geology and same amount of rainfall

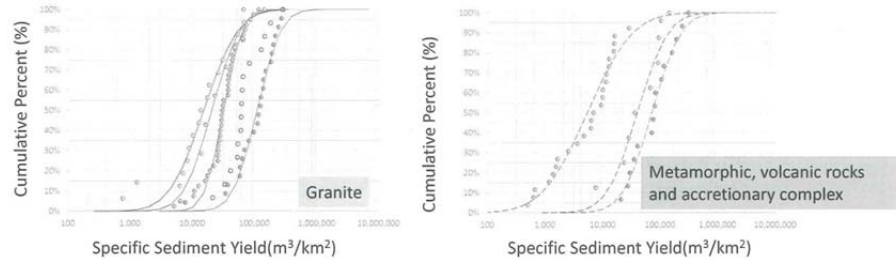


圖 9 土砂災害事件移動距離土砂量變化與累積百分比

5. 贈書及參觀全國治水砂防協會圖書館

因 2019 年正好為日臺交流 30 週年，我國農委會水土保持局準備 38 本臺灣政府出版水土保持相關書冊，圖為農委會水土保持局王副局長與全國治水砂防協會圖書館館長贈書合影，及本次交流團員參觀圖書館情形。



圖 10 臺日贈書及參觀全國治水砂防協會圖書館



圖 10 臺日贈書及參觀全國治水砂防協會圖書館(續)

6. 大規模崩塌應變管理之建立

由臺灣國立成功大學防災研究中心賴文基副主任講演，介紹臺灣地區大規模崩塌潛勢區與土石流潛勢溪流評估定義差異，現階段研究利用大規模崩塌發生之歷史事件以無因次之坡度與雨量迴歸分析定義出包絡線，找出大規模崩塌發生臨界雨量線，提供未來預警系統定義區域災害事件可能發生雨量值(如圖 11、12)。

而對於大規模崩塌事件類型屬性分類上，努力結合土石流災害類型，期望可以整合複合型災害不同特性分類，更可簡化與統整應變管理機制。然而，應變管理機制之建立，仍面臨眾多挑戰，如潛勢區是否過度預警、保全對象增加、民眾意願與配合度、解除機制等，仍待我國公部門相關單位之努力。

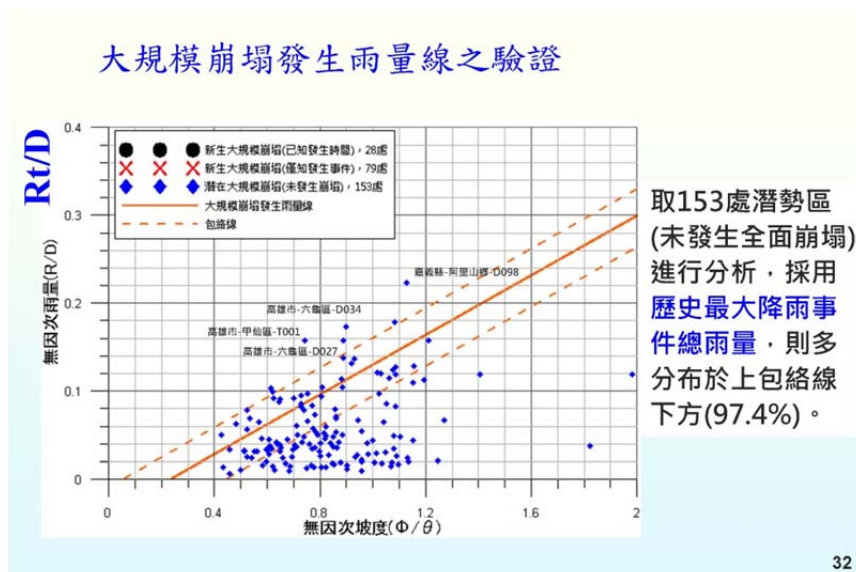


圖 11 大規模崩塌發生臨界雨量推估驗證圖

大規模崩塌發生臨界雨量線之設定-下包絡線

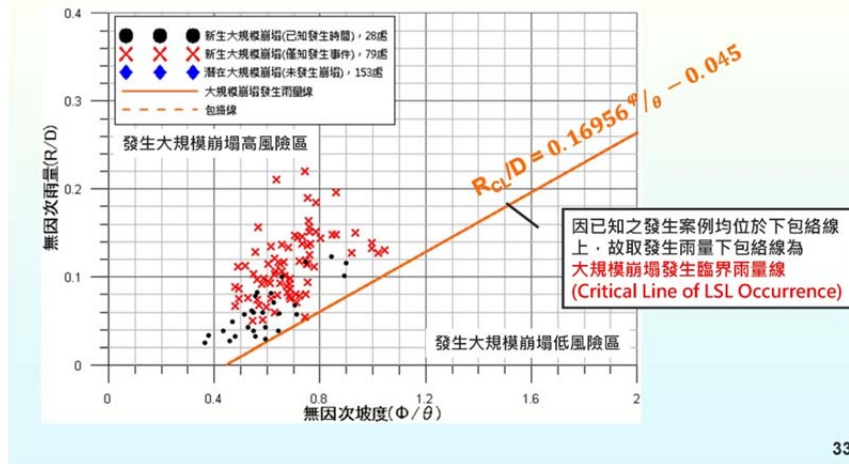


圖 12 大規模崩塌發生臨界雨量推估下包落線圖

7.2018 年 7 月豪雨大規模土砂災害復建情形

由國土交通省中國地方整備局廣島西部山系砂防事務所雄澤至朗所長講演，介紹 2018 年 7 月豪雨在日本地區造成大規模土砂災害事件復建情形，日本如何進行土砂災害調查、緊急搶修及災後復建方式，而此全國性之大規模災害事件，日本政府為儘速治理與復育，於災害區域設立事務所，由中央單位國土交通省砂防事業及林野廳治山事業分工合作，顯示日本緊急災害處理效率與體制分工完整性。

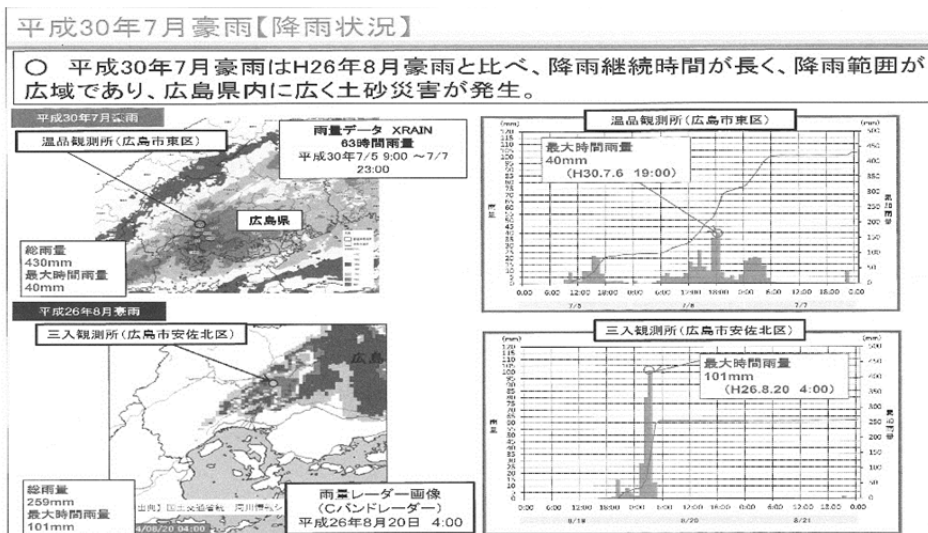


圖 13 2018 年 7 月豪雨雨量統計分析圖

平成30年7月豪雨【中国地方の土砂災害発生状況】

- 平成30年に全国で発生した土砂災害件数は、過去最多の3,459件と過去平均の約3.4倍（S57年集計開始以降）
- 中国地方で発生した土砂災害件数は約45%の1,514件で、広島県内が約36%の1,242件
- 中国地方での土砂災害による死者（93人）のうち、約9割（87人）は広島県内で発生。

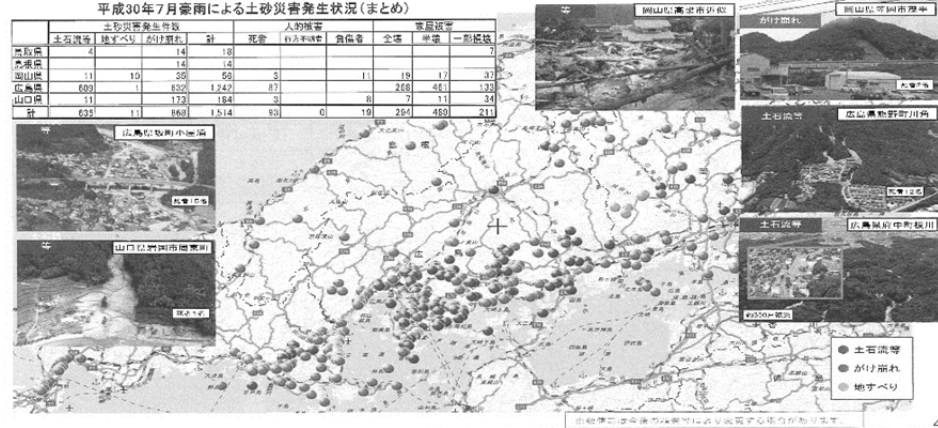


圖 14 2018 年 7 月豪雨日本地區發生大規模土砂災害統計分布圖

○ 砂防・治山施設整備計画(緊急事業等)
 国、県、関係市町が連携し、住宅に直接被害があった箇所や溪流内の不安定な土砂により崩壊が拡大するおそれがある545箇所を整備予定

種別	砂防事業				治山事業				合計
	国土交通省	県	市町	小計	林野庁	県	市町	小計	
溪流	26	151	—	177	30	195	—	225	402
がけ地	—	26	68	94	9	36	4	49	143
計	26	177	68	271	39	231	4	274	545



圖 15 日本中央單位成立緊急應變組分工合作處理事件與時程規劃

8. 臺灣西南部泥岩地區沉積土沖蝕及運移特性研究

由臺灣中興大學水土保持系助理教授王咏潔老師講演，介紹臺灣西南部泥岩地區沉積土沖蝕及運移特性，研究應用單束雷射掃瞄技術於土壤流失量評估，提出成本經濟且準確評估流失量應用方法，得作為遙測技術與資料對坡面土壤侵蝕及運移過程描述，以及土壤流失量估計之應用參考。

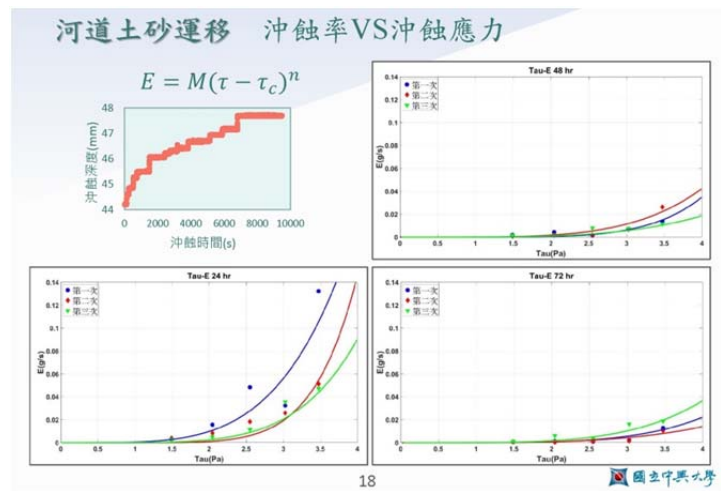
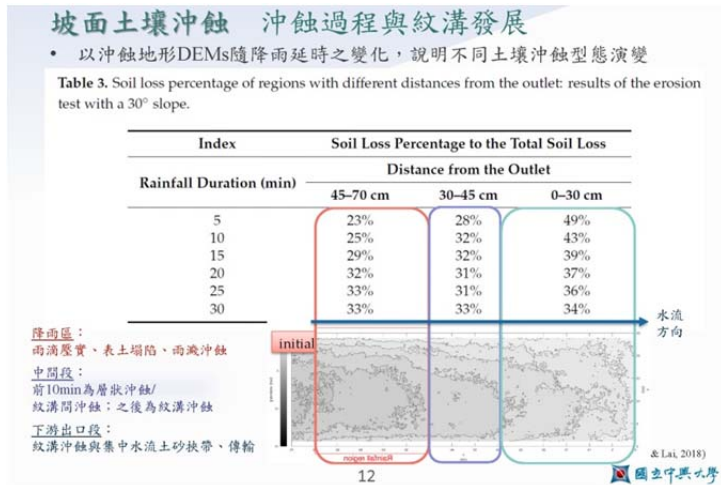


圖 16 臺灣西南部泥岩地區沉積土沖蝕試驗分析成果

9. 既有高壩的生態補償作為-以臺中市東勢區四角林溪整治為例

由我國農委會水土保持局臺中分局黃振全分局長講演，分享我國臺中市東勢區四角林溪既有高壩生態補償作為案例，針對早期防砂設施以防砂及減災為考量，較少兼顧生態，恰因既有構造需補強，故一併調查檢視溪流環境與縱橫向生態區間需求，營造復育溪流與周邊環境生態多樣性，並達防災功效。



圖 17 臺中市東勢區四角林溪既有高壩生態補償作為案例



圖17 臺中市東勢區四角林溪既有高壩生態補償作為案例(續)

10. 土砂災害實例-平成 30 年(2018 年)7 月豪雨土砂災害與對策

由國土交通省砂防部砂防計畫課三上幸三課長講演，介紹 2018 年日本地區共計發生 3,459 件土砂災害，其中 7 月豪雨造成 2,581 件土砂災害，佔 75% 災害集中於 7 月豪雨事件，而受災最為嚴重縣市為廣島縣，包含土石流、地滑、崩塌、河道淹水(如圖 18 所示)，影響住宅安全及交通中斷等災情。緊急災害處置方式與對策與國土交通省砂防部今井一之部長講演內容相近，更細部說明廣島地區之作為，以及透過警戒通報後做到事前避難，無生命損傷；對於事後調查相關災害及既有構造設施發揮功效上，列舉了長谷川(A)3 號防砂壩及三迫川防砂堰壩攔阻土砂與漂流木情形(如圖 19 所示)。



圖 18 2018 年 7 月豪雨廣島縣受災實態



圖 19 長谷川及三迫川防砂壩發揮攔阻土砂與漂流木功效

11. 日本土石流漂流木攔阻調查

由日本国研土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム平田遼主任研究員講演，介紹日本發生土石流災害後，相關公共設施攔阻漂流木案例頗多，發現非開放型防砂壩(傳統型式防砂壩)漂流木易流至下游釀成災害，而透過型防砂壩除攔阻了大顆粒徑土石外，對於攔阻漂流木更具功效，遂利用災害後調查及土砂清淤配合研究試驗調查。

以 2016 年 9 月 20 日發生於鹿耳島 Hirano River 土石流事件，日本多數大型工程案件會預留清疏通道，配合清除淤積壩體後方之土砂與漂流木，選取 1 處開放型防砂壩進行試驗，於清淤段劃分 10m 方格進行挖掘工作，探討土石(超過 50cm 粒徑)及漂流木分布情形(如圖 20 所示)。結果顯示礫石多分布於 20cm 後中間河道輸送段及中層區域，而漂流木則集中於壩體上游 20m 範圍內；但因所探討之 2 種材料特性不同，且本調查研究僅選擇 1 處試驗分析，該試驗壩上游區域還有設置 1 座非開放型防砂壩，已攔阻了部分土砂，藉由此案例可推知，防砂構造攔阻土砂與漂流木情形，仍需視集水區林業狀況及溪流縱向構造分布有所差異，但可證明開放型式之透過性防砂壩，對於集水區上游攔阻土砂與漂流木功效相對於傳統型式防砂壩更具功效。

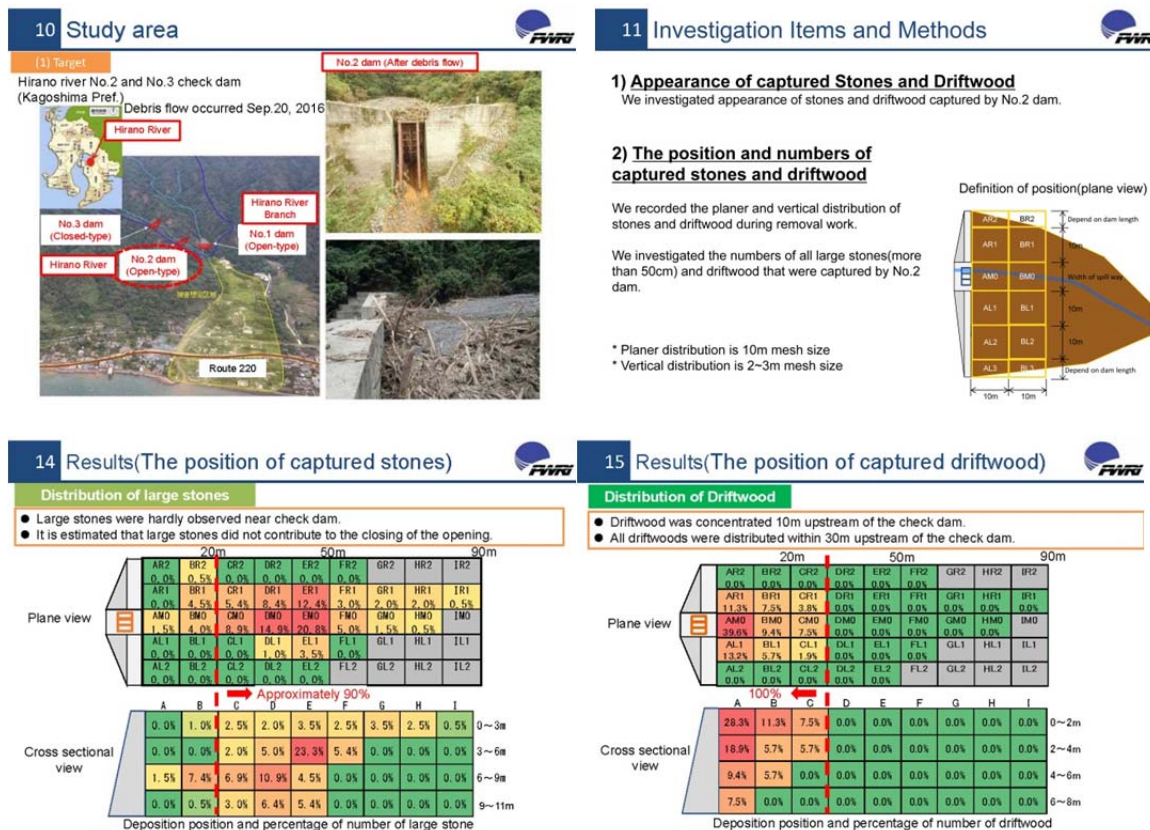


圖 20 日本土石流漂流木攔阻調查試驗分析案例

12. 土砂治理新思維-調整型防砂壩之研發與應用

由我國農委會水土保持局廖雯慧副工程司主講，介紹臺灣土砂防治工法調整型防砂壩之研發與應用，防砂壩設置大部分係為了進行土石、土砂適度的攔阻，以及調整溪床坡度。近年我國為因應复合型災害事件，順應自然界泥砂量變動、幾十年後可能會因工程的治理措施或大自然復原能力，泥砂生產量日趨減緩，下游溪床的泥砂量因此逐漸不足、甚至衍生淘刷情形，最常採取的是工程方法於下游施作橫向整流或固床工等措施，因此選擇調整型防砂壩可兼顧防災及生態。

為了探究適地適性規劃合適之調整型防砂壩，達防砂構造物永續性，及延長使用年限，水土保持局委託研究調整國內 17 處不同調整型防砂壩的型態(如圖 21)，透過現地調查作業，包括土砂粒徑調查、河道演變等，瞭解適合施作調整型防砂壩的地點、如何改為調整型、以及針對已設置調整型防砂壩地區、何時可以進行調放作業等，進行調查研究。

調查研究結果，工程設計階段，應選用調整型式的壩體，可避免後續投入更多的人工構造物設置，組件要分開設計或分成各單元體，儘量輕便或易裝卸，以利組件更換，而壩翼應加裝吊掛元件，並考量日操作便利性及安全性。其次，構造物調整方式，建議先調整橫桿、次為縱柱，橫桿:約 3-5 年為期，進行橫桿的調整，縱柱:約 30-50 年為期，進行縱柱的降低。

何時需調整，仍為目前持續研究的課題，建議從巡檢機制著手，並訂定調整型防砂壩的操作機制，提供調整的時間點與調整次序，最終目的希望可以逐漸恢復完整的縱向廊道，回歸為自然的野溪。



圖 21 調整型防砂壩調查研究案例分布與現地調查作業內容

三、工程現地考察

(一) 廣島縣廣島市宮島紅葉谷公園土石流災害遺址與復建情形

宮島位於廣島市之南方，為日本三景之一。而紅葉谷川位於宮島之北方，流域範圍涵蓋岩石公園、紅葉谷公園及嚴島神社等地。宮島全島地質多屬於易引起災害之風化花崗岩，於 1945 年 9 月 17 日枕崎颱風直接侵襲廣島縣，造成此島嚴

重災害，當時宮島的最大日雨量達 170mm 以上，發生多處崩塌，連續降雨，溪谷河岸沖刷發生土石流災害，導致較低窪之旅館、紅葉橋及巖島神社等遭土石埋沒；直至 1948 年開始進行「特別名勝地-巖島的災害重建工作」工程。

復建工程以生態工法理念規劃，因為宮島係日本重要史跡名勝地，為防止災害再次發生，防治方法已砂防工程為主要考量，另外工程從規劃設計到施工都有庭園景觀工程師參與，並擬訂岩石公園造景計畫書，設定工作方針，包含以下項目：(1)巨石和不同大小的石材，絕對不可切割或破壞，保留原石塊之面貌使用；(2)樹木不應砍伐，應原地保留；(3)混凝土表面，應以原石覆蓋，以看不見混凝土構造為原則。圖 22 為本團參訪廣島市宮島紅葉谷公園土石流災害遺址與復建情形，圖 23 為日本紀錄紅葉谷川災害資料，顯示日本對於重要歷史災害事件復建工作的紀錄完整性。

	
<p>白糸川土石流舊址復建區域</p>	
	
<p>災後遺留巨石適當地點留置刻文紀錄</p>	<p>紅葉橋下游庭園景觀師復舊後造景</p>
	
<p>日本歷史災害紀錄文件保存與解說</p>	<p>紅葉谷川溪流工事現勘情形</p>



紅葉谷川利用現地塊石堆砌防砂壩與橫向構造

圖 22 廣島市宮島紅葉谷公園土石流災害遺址與復建情形

枕崎台風 もみじだにがわ 紅葉谷川の復旧状況①

■復旧工事

紅葉谷川の溪流工事は、史蹟名勝地としてふさわしい工事内容にするため、紅葉谷に堆積した巨石や大小の石礫を野面石(のづらしい)のまま使用し、また石組庭園風の工事の必要性から、「岩石公園築造趣意書」(がんせきこうえんちくぞうしゅいしよ)が作られ、趣意書の趣旨を忠実に守りつつ、復旧工事が行われた。

<岩石公園築造趣意書>

1. 巨石、大小の石材は絶対に傷つせず、又、割らない。野面のまま使用する。
2. 樹木は切らない。
3. コンクリートの面は眼にふれないように野面石で包む。
4. 石材は他地方より運び入れない。現地にあるものを使用する。
5. 庭園師に仕事をしてもらう。いわゆる石屋さんも、のみや金槌は使用しない。

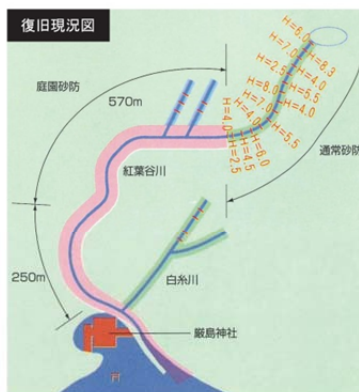
「かぐらさん」を使って巨石を移動する様子



復旧工事の様子(紅葉橋付近)



復旧工事の様子(能舞台東側)



構造物はコンクリートの面が眼に触れないよう、野面石で包むよう配慮した



写真「日本三景宮島 紅葉谷川の庭園砂防抄(昭和63年3月25日 広島県土木建築部砂防課)」より

(資料來源 <https://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/densyou/pdf/panel01.pdf>)

圖 23 日本紀錄紅葉谷川災害資料

(二)廣島縣廣島市八木3丁目土石流災害復建情形

2014年8月20日集中豪雨致使廣島縣廣島市八木地區發生土石流災害，紀錄最大時雨量為121mm，造成77人死亡，因災害發生坡面坡趾處緊鄰民眾居住聚落(如圖24)，因此就災害防治整體規劃，共計施作40座防砂壩，截至108年12月已完成34座，主要復建策略採用防砂堰堤及土石流堆積工攔阻土砂、堰堤材料採用現場之堆積土砂，拌合水泥而成，以INSEM工法(雙牆法)，工程規劃設計時預留施工作業道及爬梯，供日後堰堤及沉砂池攔砂空間淤滿後可隨時進行清淤工作。

圖25為廣島市八木地區土石流災害復建工程執行現況及現場觀摩施工情形，圖26廣島市八木3丁目工區施工安全衛生及臨時設施工作落實情形，顯示日本對於工程施工。



圖24 廣島市八木3丁目2014年8月土石流受災情形



圖 25 廣島市八木地區土石流災害復建工程執行現況及施工情形

	
<p>挖土機裝設立體軟性標示牌，警告迴轉半徑禁止進入</p>	<p>坡頂設置監測設施</p>
	
<p>落露坡面覆蓋帆布，表面設置土壓包整齊排列</p>	<p>每個路口設置交通指揮人員</p>
	
<p>施工便道路面鋪設整齊，施作完善截水設施，三角錐設置工項負責人員照片</p>	
	
<p>工區相關設備材料完整保護，各層工作區間連結設置工作梯</p>	<p>裝設日後維護管理及檢修之安全樓梯欄杆</p>

圖 26 廣島市八木 3 丁目工區施工安全衛生及臨時設施工作落實情形

(三)廣島縣熊野町川角地區土石流災害復建情形

2018年7月6日豪雨事件造成土砂災害最為嚴重的熊野町川角地區，累積總降雨量491mm，最大時雨量57mm，總計35戶住宅損壞，其中22戶全毀，12人於此事件罹難。圖27為左圖發生災害後日本救援人員與臺灣成大防災中心調查人員工作拍攝現況，右圖為本次考察時，現地拍攝日方於災後進行工程整治並配合於現地災區架設臨時性監測設備。

日本對於緊鄰民眾居住聚落之土砂治理極為謹慎，除了緊急的救援與清除工作外，於中長程的防災治理工程未完成規劃定案前，相關應急措施設置也很完善，對於危害巨石岩塊，也一併於施作應急措施時現行打除與清除，如圖28所示。

圖29為本團考察熊野町川角地區二河川之川21川工區治理現況簡報，透過空拍影像可看出日本對於防砂壩兩側無穩定岩盤區域之壩體設計採用較高安全穩定係數，以重力式壩體為主，甚至於壩翼兩側增設混凝土塊體，以增加壩翼穩定度；另為了縮短防砂壩施工期程，壩體主體架構採用免拆模鋼網牆施工，如圖30所示。



圖 27 廣島縣熊野町川角地區受災後情形/架設臨時性監測設備



圖 28 広島縣熊野町川角地區災後緊急防治措施



圖 29 考察熊野町川角地區二河川之川 21 川工區治理現況簡報




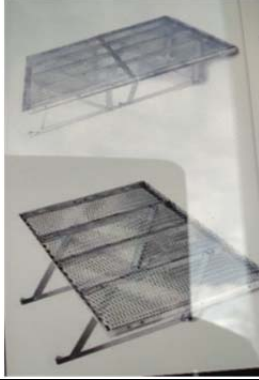




	
<p>防砂堰堤構造正面</p>	<p>開口式鋼構防砂壩(總長 69m 鋼構高 9.5m)</p>
	
<p>壩體採用免拆網模施工後表面情形</p>	<p>免拆模鋼網構造原件</p>
	
<p>應急措施攔護網</p>	
	
<p>壩翼設置混凝土塊加強穩定性</p>	<p>無穩定邊坡設計厚重翼牆</p>

圖 30 考察熊野町川角地區二河川之川 21 川工區防砂堰堤現況

(四)廣島縣福山市堂々公園堂々川土砂防治歷史工程

考察福山市堂々公園堂々川(Dodo River)早期土砂防治工程，防砂堰堤建置始於 17 世紀，並於 17 至 19 世紀陸續於堂々川建置砌石防砂壩，日本政府調查堂々川歷史防砂工程(如圖 31、表 6 所示)，將遺留保存尚為完好的砌石防砂壩修建改善，並彙整相關防治歷史資料，於 2006 年登錄為有形文化財。

由於堂々川(Dodo River)坐落於人口較不密集區域，可配合規劃為景觀公園，既有的防砂壩體歷經時代變遷已融入自然環境，地方政府更結合當地社區民眾，自主管理與維護河川自然生態，該區域亦為螢火蟲棲地區，為環境教育場域之一。圖 32 為堂々川歷史防砂工程現況。

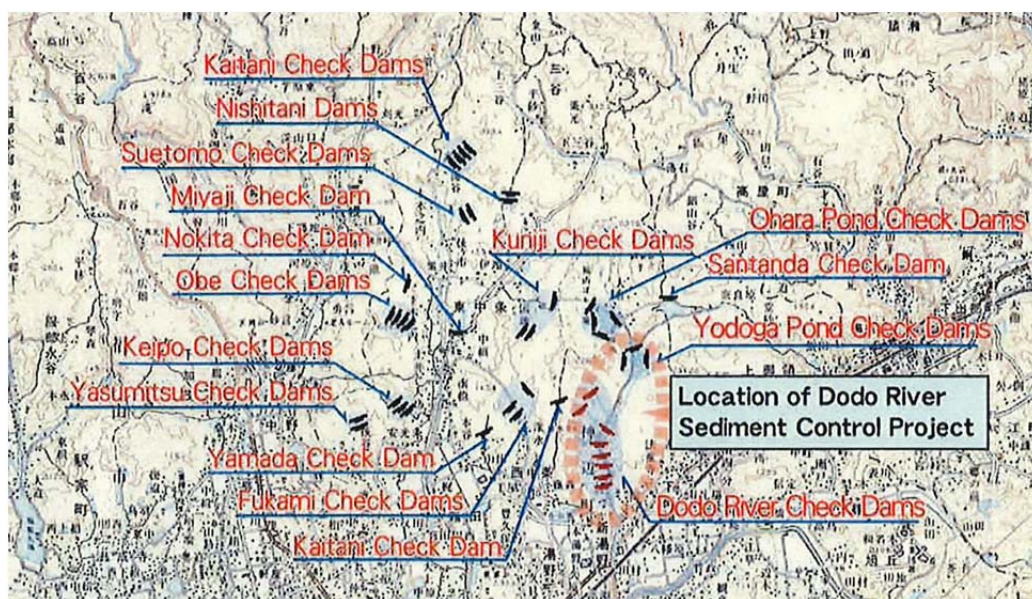


圖 31 福山市溪流河川防砂壩分布局部放大圖

表 6 堂々川砌石防砂壩築造年代與型式

防砂壩編號	築造年代	構造型式	石積方式	壩體規模
1 番砂留	1773 年(推定)	石塊段積堰堤型式	成層布積	堤高 3.2m、堤長 9.6m
2 番砂留	1733~1860's 年間	石壁堰堤型式	右岸軸部：亂層亂砌 左岸軸部：谷積	堤高 3.9m、堤長 25.8m
3 番砂留	1832 年，壩體頂部於 1868 年增築	結構型傾斜塊石牆型式	成層布積	堤高 5.46m、堤長 36.2m
4 番砂留	1733~1860's 年間，壩體頂部於 1868 年增築	石壁堰堤型式	右岸軸部：成層布積 左岸軸部：谷積	堤高 3.3m、堤長 31.5m
5 番砂留	1832~1835 年，壩體頂部於 1926 年增築	石塊段積堰堤型式	準成層布積	堤高 8.8m、堤長 31.4m
6 番砂留	1835 年，上層部 1872 年增築，頂層於 1926 年增築	石塊段積堰堤型式(不同砌石排列方式)	成層布積	堤高 13.3m、堤長 55.8m

	
<p>6 號壩(6 番砂留)</p>	<p>現地設置災害警告告示牌</p>
	
<p>6 號壩上游面作為遊憩景觀公園</p>	<p>5 號壩(5 番砂留)</p>
	
<p>4 號壩(4 番砂留)</p>	<p>每座防砂壩旁設置不同型式砌石碑</p>
	
<p>3 號壩側視(3 番砂留)</p>	<p>3 號壩縱剖面結構圖</p>

圖 32 廣島縣福山市堂々川 6 座防砂壩

	
<p>3 號壩正視</p>	<p>3 番砂留解説牌與石碑</p>
	
<p>2 號壩(2 番砂留)</p>	<p>1 號壩(1 番砂留)已不具防災功能</p>
	
<p>社區自主維護管理告示牌</p>	<p>環境教育場域告示牌</p>
	
<p>2 號壩下游河道現況</p>	<p>5 號壩下游河道現況</p>

圖 32 廣島縣福山市堂々川 6 座防砂壩(續)

(五)香川縣琴平町滿濃池農塘建置案例

滿濃池位於日本香川縣仲多度郡滿濃町，是日本最大的灌溉用蓄水農塘，因蓄水量以千萬噸計故亦稱為滿濃水庫。周長約 20km，蓄水量約 1540 萬噸。該池最早於 8 世紀初期建造，著名僧侶弘法大師空海曾於 701~704 年對該池進行修補整治。1854 年因地震造成堤防損壞，1870 年完成設施復舊；為增加滿濃池利用效率，1905 年著手第 1 次堤防增高 3 尺工程，蓄水量可達 660.2 萬噸；1927 年著手第 2 次堤防增高 5 尺工程，蓄水量可達 780 萬噸，至 1959 年進行第 3 次堤防增高工程，方達現今蓄水量。滿濃池滿水位面積 138.5 公頃為甲子園球場(約 4 公頃)近 35 倍面積。

滿濃池初建時，行政區劃位於神野鄉，故被稱作神野池。嵯峨天皇即位後，由於池名與天皇姓氏相同，為了避諱改稱真野池，之後又改名萬農池，明治時期定名滿濃池。滿濃池周邊有赤松林和柞櫟和等落葉廣葉樹林，周邊生態資源豐富，因此香川縣將滿濃池周邊 32 公頃地被劃定為鳥獸保護區。

為何香川縣會興築如此規模水塘，溪因為該縣市終年降雨量少，加上河流湍急，農業一半以上依賴水塘，因此全縣擁有萬座水塘，單在滿濃町就有約 500 個，其中以滿濃池最為著名。為遠眺滿濃池全景最佳地理位置須由國營讚岐滿濃公園進入，而滿濃池洩水設施(日語稱樋門)更被登錄為國有有形文化財產，2005 年被財團法人水庫水源地環境整備中心選為「百選水庫」，2010 年又被農林水產省選為「百選蓄水池」。



(資料來源 <https://welcome2japan.hk/japan50plus/detail.php?id=49>)

圖 33 香川縣滿濃池空拍影像



圖 34 滿濃池農塘設施現況

參、心得及建議事項

- (一)日本在土砂災害紀錄與統計上，中央政府呈現資訊極為詳盡，且由於相關災害之緊急處理與中長期對策，由 TEC-FORCE 組織統一掌握相關資訊，自 2018 年受天然災害影響，重創日本島多處縣市，政府部門於一年時間內(2019 年底)重新檢討各縣市災害警戒範圍與數值，確認警戒避難資訊等，其處置作為與政府部門縱橫向分工與協助效率值得臺灣審思檢討。而對於經政府單位公告劃定為紅色警戒區域之地方，亦與臺灣面臨相同問題，可能導致土地價格及房價下跌問題或無法進行開發，因此實際劃定公告為紅色警戒區域或遷移案例不多。
- (二)日本經歷近 3 年大型災害頻發生，在防災避難上，避難疏散作業中常因民眾輕忽豪雨衝擊與警戒資訊的錯誤判讀，因民眾有可能不理解特別警報的意義，行政人員通知疏散，部分居民嫌煩或覺得不至於發生事故，所以不願疏散；因此發生豪雨事件因警戒資訊的錯誤判讀，以及避難指令下達的不夠精確，日本政府部門思考特別警報的情形下，或許應將避難指示用詞改為「避難命令」，才能被理解，相關行政作為未來值得我國借鏡學習。
- (三)由日本土石流漂流木攔阻調查研究，發現非開放型防砂壩(傳統型式防砂壩)漂流木易流至下游釀成災害，而透過型防砂壩除攔阻了大顆粒徑土石外，對於攔阻漂流木更具功效；透過案例試驗分析推知，對於溪流環境設置防砂壩型式，仍需視集水區林業狀況及溪流縱向構造分布攔阻土砂與漂流木比例與分布有所差異，但可證明開放型式之透過性防砂壩，對於集水區上游攔阻土砂與漂流木功效明顯優於傳統型式防砂壩。
- (四)承上，日本於 10 年前對於防砂壩淤滿後是否進行清淤問題，也因防砂治理預算減少及考量防砂效益，已逐漸趨向進行部分清淤，對於開放型防砂壩原則於淤滿後，即進行清淤工作，以隨時保持空庫之攔砂功能；而非開放型防砂壩(傳統型式防砂壩)非全部清於，僅於洪水過後，清淤堆積坡度超過原設計坡度之堆積土砂，即清淤後之河床坡度，仍需維持設計時之河床坡度，以維持其原本設計之防砂功能。
- (五)參訪廣島縣福山市堂々川超過 45 年歷史防砂壩工程，瞭解日本對於防災設施的構築與維護用心，甚至對於具歷史文化背景意義的文物，不論型式類別都努力的蒐集相關資料，並予以建檔保留。
- (六)香川縣琴平町滿濃池農塘因灌溉用途歷經 3 次堤防增高有效率提升蓄水功能，兼顧農業灌溉用、景觀設施及環境保育功能；相對於臺灣面積小，且總面積 60% 以上屬森林範圍，較難興設如此規模農塘，然而對臺灣而言，可借鏡日本對於完整維護灌溉設施歷經一千多年修築整建，並兼顧保育環境景觀與生物多樣性，甚至保留文化資產等心力值得我國學習。相信臺灣這塊寶島上，以農立國以來之農用工程設施或防災蓄水設施，可通盤檢視維護修築，或就文化歷史背景意義予以保存。
- (七)參觀全國治水砂防協會圖書館，有關交流文件典藏部分，顯示日本對於重

要文物及交流文件，不論交流內容的價值，均非常重視，且保存完整；經歷 30 年的歲月，回顧相關文件都具歷史意義與價值，值得學習之處。

(八)此次日本考察觀摩行程，發現日本對於災害治理區域採用工程方法差異極大，原因仍歸於防災治理保全目標，涉及人民生命財產安全區域，仍以防治工程設施為主；於環境敏感或不會直接危及人民生命財產區域，可採以分年分期辦理，甚至視災害逐漸擴大，而陸續增設構築。

肆、結語

近幾年世界各國頻傳受天災所苦情事，不僅只我國面臨土砂災害防治對策受到挑戰，國際因不同地理環境條件差異下，也都致力謀求解決對策。而日本與臺灣地理環境較為相似，雙方在土砂防治交流多年，不同時期不同天災問題造成之災害課題均極為相近，對於災害防治處置對策均可互相作為借鏡，甚至面臨重大災害緊急處理上，因彼此建立之深厚情誼，而給予更多的意見交流與學習。

本次赴日考察行程能順利完成，感謝日本「全國治水砂防協會」全力協助與安排，與國土交通省砂防部各考察點人員之解說與導勘；更感謝全國治水砂防協會大野宏之理事長、岡本正男副會長及藤川泰宏課長之盛情款待及全程陪同勘察，致使本次赴日考察任務能順利完滿達成。

感謝中華防災學會提供 1 名額給本局，得以有機會參與見習，以及此行成大防災中心謝正倫主任，中興大學水土保持學系特聘教授陳樹群老師、以及本團所有成員在考察過程中不吝提供指導與協助。期望未來還有機會參加類似的國外考察行程，提升國際視野，並應用於相關業務工作上。

伍、附錄

附錄一 日本・臺灣砂防技術交流 30 週年紀念誌

附錄二 2019 日臺砂防共同研究會議資料

附錄三 2019 日臺砂防技術交流會議資料

附錄四 廣島縣宮島紅葉谷川土石流災害復舊簡報

附錄五 20191211 實地調查廣島縣土木建築局砂防課簡報

附錄六 廣島縣熊野町川角地區土石流災害復建情形簡報

附錄七 堂々川公園 6 番砂留簡報