

# 出國報告

## 100 年度經濟部中央地質調查所 派員赴日本技術交流 出國計畫

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：紀宗吉科長、林錫宏技士

派赴國家：日本

出國期間：民國 100 年 10 月 16 日～10 月 22 日

報告日期：民國 100 年 11 月



## 摘 要

民國 98 年 8 月莫拉克颱風豪雨成災，包括臺灣西南部地區的小林村、新發村、太和村等，發生許多大規模山崩的災害，造成民眾生命財產嚴重損失。依據行政院災害防救委員會防災體系架構，本所將肩負強化崩塌敏感區的調查工作及提供環境地質基本資訊，並協助相關防災機關(如本部水利署及各縣市政府等)建立坡地崩塌災害的監測機制；本所並應加強潛在地質災害危險區的鑑定。與臺灣地質條件相似的日本，在大規模山崩災害的調查監測及分析方面，已累積相當多的經驗與成效，因此值得透過研討會或參訪，學習各項新技術及分析方法，加強與日本的技術合作與交流。

本次出國計畫執行內容，包括拜訪日本山崩調查及分析技術研究的相關政府部門，主要目標是學習日本產官學界近期在大規模岩體滑動(地滑地)的最新調查策略、地形判釋、機制分析、觀測科技、山崩模擬技術及政府部門策略規劃，除能引進相關經驗及技術，做為本所在山崩調查分析技術的推動策略，並能分享本所在臺灣數個大規模岩體滑動區(廬山、和雅、翠巒等)的調查、觀測及分析經驗，拓展技術交流層面及展現臺灣近年山崩災害預警的成效。

本次出國計畫的執行成果，除可落實在經濟部中央地質調查所進行中的相關防災減災基本地質調查研究計畫外，對於地質災害的研究分析及防災預警等方面，也提供多項構想可供未來推行，包括：土砂災害即時觀測科技的應用、大規模山崩引致土石流及堰塞湖預警、土砂災害危險地區的調查與管理、地質災害預警系統及防災避難整備機制等，將能提昇我國於重大土砂災害防治方面的技術。



# 目 錄

一、目的.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研習目標.....	1
1.3 參加人員.....	1
二、研習行程、課題與過程.....	3
2.1 研討「平成 23 年 9 月颱風 12 號引致日本地區地質災害概要」.....	4
2.2 研討「土砂災害警戒區域的調查與管理方法」.....	7
2.3 研討「新期測量技術」.....	7
2.4 進行「台日土砂災害技術交流研討會」.....	8
2.5 進行「岩手縣市野々原的地滑地及堰塞湖」現場勘查.....	13
2.6 進行「宮城縣北上川地區大規模崩塌及堰塞湖」現場勘查.....	17
2.7 進行「2011 年日本 311 地震引致海嘯災害」現場勘查.....	20
2.8 研討「衛星測量技術的應用」技術.....	21
2.9 研討「土石流災害觀測影像即時判釋技術」.....	23
2.10 研討「水循環模擬與管理技術」.....	24
三、心得.....	27
四、建議.....	29

附錄：本次研習參訪照片



# 表 目 錄

表 1	本次出國計畫詳細行程表 .....	3
表 2	日本砂防相關法規與土砂災害防止法的施行策略與對象比較表.....	6
表 3	日本各都道府縣未指定為土砂災害警戒區域數量一覽表 .....	6





# 圖目錄

圖 1	砂防フロンティア整備推進機構有關土砂災害警戒區域設定的自動化電腦系統劃設成果。.....	7
圖 2	日本 Topcon 公司街景車取得即時畫面與地形測量流程示意圖。.....	8
圖 3	日本 2011 年 9 月颱風 12 號於奈良縣及和歌山縣因土砂災害引致的堰塞湖分布圖。.....	10
圖 4	日本 2011 年 9 月颱風 12 號於奈良縣及和歌山縣因土砂災害引致的堰塞湖分布圖。.....	11
圖 5	日本土木研究所研發的投入式水位觀測計(左)，並應用在赤谷地區堰塞湖的水位觀測(右)。.....	11
圖 6	判釋可能引致土石流的深層崩壞作業流程圖，主要由歷史災害紀錄、地質地形特徵及數值地形分析等 3 方面進行檢討。.....	12
圖 7	深層崩壞的微地形示意圖，判釋特徵包括山頂的緩斜面、二重或多重山稜、線狀凹地、反斜崖、圓弧形滑動體、岩盤潛變現象及老崩塌地地形等。.....	12
圖 8	日本土木研究所近期的地滑觀測技術相關研究成果，包括不安定岩盤的斜面震動觀測方法(左上)、地盤傾斜計即時監測系統(右上)、大變位地表伸縮計觀測設施(左下)及無線式遠端位移監測系統(右下)等。.....	13
圖 9	岩手縣祭時大橋於 2008 年岩手宮城內陸地震時，於東側橋台附近引致地滑平面圖。.....	14
圖 10	岩手縣祭時大橋東側地滑的地質剖面圖。.....	15
圖 11	岩手縣祭時大橋東側橋台地滑及橋樑毀損現況。.....	15
圖 12	市野々原的地滑及堰塞湖全景(引用自日本國土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所網頁)。.....	16
圖 13	市野々原的地滑經整治後現況。.....	16
圖 14	宮城縣三迫川沼倉與御澤地區大規模崩塌及堰塞湖災情概況。.....	17
圖 15	宮城縣三迫川沼倉地區因 2008 年岩手宮城內陸地震，造成崩塌及堰塞湖後目前概況。.....	18
圖 16	宮城縣三迫川御澤地區因 2008 年岩手宮城內陸地震，造成崩塌及堰塞湖後目前概況。.....	18
圖 17	宮城縣一迫川小川原地區大規模崩塌及堰塞湖災情概況。.....	19
圖 18	宮城縣一迫川小川原地區因 2008 年岩手宮城內陸地震，造成崩塌及堰塞湖後目前概況。.....	19
圖 19	宮城縣石卷市的海嘯災害現場，照片中央下方可見漁船被沖到陸地上。...	20
圖 20	宮城縣石卷市的海嘯災害現場，照片中央下方可見漁船被沖到陸地上。...	21
圖 21	日本國際航業會社於 2011 年日本 311 地震後，利用衛星影像即時判釋海嘯影	

	響範圍(上)，並模擬海嘯可能影響範圍(下)。	22
圖 22	日本國際航業會社有關山崩災害觀測的業務實績，除利用航空測量取得災區影像外，並應用 LiDAR、GPS 等測量技術結合即時傳輸裝置，建置山崩觀測系統。	23
圖 23	ARA 軟體公司社長村井保之簡報說明土石流災害觀測影像即時判釋技術，軟體可迅速判別土石流的發生、流向、流速，並在超過監測警戒值時發出警戒通知。	24
圖 24	日本財團法人 River Front 整備中心發展的水循環模擬技術，在九州熊本地區發現跨多重集水區的地下水流向分析成果案例。	25
圖 25	日本財團法人 River Front 整備中心發展的水循環模擬技術，應用在地下水污染物(如輻射污染)的流向追蹤案例。	25

# 一、目的

## 1.1 前言

民國 98 年 8 月莫拉克颱風豪雨成災，包括臺灣西南部地區的小林村、新發村、太和村等，發生許多大規模山崩的災害，造成民眾生命財產嚴重損失。依據行政院災害防救委員會防災體系架構，本所將肩負強化崩塌敏感區的調查工作及提供環境地質基本資訊，並協助相關防災機關(如本部水利署及各縣市政府等)建立坡地崩塌災害的監測機制；本所並應加強潛在地質災害危險區的鑑定。與臺灣地質條件相似的日本，在大規模山崩災害的調查監測及分析方面，已累積相當多的經驗與成效，因此值得透過研討會或參訪，學習各項新技術及分析方法，加強與日本的技術合作與交流。

本次出國計畫執行內容，包括拜訪日本山崩調查及分析技術研究的相關政府部門，主要目標是學習日本產官學界近期在大規模岩體滑動(地滑地)的最新調查策略、地形判釋、機制分析、觀測科技、山崩模擬技術及政府部門策略規劃，除能引進相關經驗及技術，做為本所在山崩調查分析技術的推動策略，並能分享本所在臺灣數個大規模岩體滑動區(廬山、和雅、翠巒等)的調查、觀測及分析經驗，拓展技術交流層面及展現臺灣近年山崩災害預警的成效。

## 1.2 研習目標

本研習計畫的目標，依據行政院指示，強化各種土砂災害的調查監測與危險區劃設評估技術，進一步了解國內重大土砂災害危險地區，建立情報資訊系統，以提供土砂災害防治及國土規劃上的防災基本資訊，減少土砂災情發生。

## 1.3 參加人員

本次赴日本技術交流計畫，除經濟部中央地質調查所紀科長宗吉及林技士錫宏外，並邀請國內土砂災害防治研究產學單位相關人員共同參與，以擴大本案成效。

參與人員包括成功大學防災研究中心監測組李組長心平、規劃組陳組長俞旭、中興工程顧問社防災科技組鄭組長錦桐、羅佳明、魏倫瑋研究員等。

## 二、研習行程、課題與過程

本次赴日的行程安排，感謝由臺北駐日經濟文化代表處周立副組長、成功大學防災研究中心監測組李心平組長及日本全國治水砂防協會進行聯繫接洽，詳細行程如表 1。

表 1 本次出國計畫詳細行程表

月 日	時間	內容	地點
10月16日 (星期日)		(移動) 往程：臺北-桃園機場-成田機場-東京	
10月17日 (星期一)	9:00-10:30	內容：2011年9月颱風12號引致日本地區地質災害概要 人員：(社)全國治水砂防協會 事業本部次長 <u>阿部宗平</u> 、事業本部專業係長 <u>野間大佑</u> 等。	砂防會館會議室
	10:30-12:00	內容：土砂災害警戒區域的調查與管理方法 人員：(財)砂防フロンティア整備推進機構 理事長 <u>森俊勇</u> 、總括研究員 <u>龜江幸二</u> 等。	
	12:00-14:00	(移動) 東京-赤羽岩淵	
	14:00-17:00	內容：新期地形測量技術 人員：Topcon 公司 定位事業部業務長 <u>平野聰</u> 、 <u>中村昭久</u> 等	
10月18日 (星期二)		(移動) 東京-つくば-(独)土木研究所	
	14:00-17:30	內容：台日土砂災害技術交流研討會	土木研究所
		議題 1：2011年9月颱風12號引致地質災害的因應對策 講者 1：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 <u>山越隆雄</u>	
		議題 2：臺灣地區近期的大規模崩塌災害 講者 2：成功大學防災研究中心規劃組 組長 <u>陳俞旭</u>	
		議題 3：日本近期地滑觀測技術方法 講者 3：土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 交流研究員 <u>宇都忠和</u>	
		議題 4：臺灣中部廬山溫泉北坡地滑地的觀測 講者 4：經濟部中央地質調查所環境與工程地質組 技士 <u>林錫宏</u>	
		議題 5：日本地震引致深層崩壞的危險度分析方法 講者 5：土木研究所土砂管理研究グループ火山土石流チーム 交流研究員 <u>橫山修</u>	
議題 6：臺灣地區山崩潛勢的調查分析方法 講者 6：中興工程顧問社 副研究員 <u>羅佳明</u>			
10月19日		(移動) 東京-宮城縣、岩手縣	岩手縣祭時大

(星期三)	13:00-17:00	現地勘查：岩手縣市野々原的地滑地及堰塞湖勘查 人員：日本國土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所 建設監督官 <u>佐藤彰</u>	橋、市野々原
10月20日 (星期四)	9:00-12:00	現地勘查：宮城縣三迫川大規模崩塌及堰塞湖勘查 人員：日本國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所 專門官 <u>佐藤尚司</u>	宮城縣北上川地區
	14:00-17:00	現地勘查：宮城縣一迫川大規模崩塌及堰塞湖勘查 人員：日本國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所 專門官 <u>佐藤尚司</u>	宮城縣北上川地區
10月21日 (星期五)	8:00-12:00	現地勘查：2011年日本311地震引致海嘯災害現場勘查 人員：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 <u>山越隆雄</u> 、交流研究員 <u>橫山修</u>	宮城縣石卷市
		(移動)宮城-東京	
	16:00-16:10	內容：拜會臺北駐日經濟文化代表處 人員：臺北駐日經濟文化代表處經濟組 副組長 <u>周立</u>	臺北駐日經濟文化代表會議室
	16:10-16:50	內容：衛星測量技術的應用 人員：日本國際航業會社 部長 <u>村嶋陽一</u> 、主任 <u>三好壯一郎</u> 、 <u>原口勝則</u> 、 <u>翠川利一</u> 等	
	16:50-17:20	內容：土石流災害觀測影像即時判釋技術 人員：ARA軟體公司 社長 <u>村井保之</u>	
	17:20-18:00	內容：水循環模擬與管理技術 人員：日本財團法人River Front整備中心 企劃組組長 <u>柏木才助</u> 等	
10月22日 (星期六)		(移動)返程：東京-成田機場-桃園機場-臺北	

## 2.1 研討「平成23年9月颱風12號引致日本地區地質災害概要」

本研習計畫的行程安排、內容規劃及人員聯繫等，係由日本全國治水砂防協會提供許多協助。爰在開始首先與全國治水砂防協會進行交流及意見交換，全國治水砂防協會事業本部次長阿部宗平、事業本部專業係長野間大佑及木村奈奈惠等共同參與。日本全國治水砂防協會係聯合全國各縣、市、町、村而組成之單位，旨在協助政府推動全國治水砂防事業，主要工作包括蒐集及提供砂防有關的資訊、向政府單位提出建言、從事砂防有關事項的調查研究及先進的砂防技術、向社會大眾傳播砂防有關訊息、促進國際交流、舉辦講習會及研討會、出版各種砂防行政及防災技

術有關的書籍等。

全國治水砂防協會事業本部專業係長野間大佑並就「2011年9月颱風12號引致日本地區地質災害概要」進行簡報說明。颱風12號於8月底至9月上旬，在日本紀伊半島一帶降下大雨，奈良縣並記錄到72小時間累積雨量達1652.5毫米，是當地最大的雨量觀測紀錄。豪雨在奈良地區造成嚴重的土砂災害，受土砂災害直接影響而傷亡者超過55人，房屋全毀38戶、部分損毀亦達38戶以上，並引致58處土石流、12處地滑及25處崩塌災害及17處堰塞湖。日本政府初步檢討災情後發現，土砂災害警戒避難體制無法落實恐是原因之一。因為在發生人員傷亡的8市町村12地區中，土砂災害前地方政府均未發布避難勸告，甚至僅有其中的3市町村具有防災地圖。

日本政府自19世紀末即制定「砂防法」，期以興建砂防工程等措施進行土砂災害防治，至20世紀中期又陸續制定「地滑等防止法」及「急傾斜地崩壞防止法」，分別主管地滑災害及陡坡地崩塌災害之防治。但於1999年6月間，廣島地區在梅雨期間發生豪大雨，造成大規模土砂災害，土石崩塌引起的土石流處所計325處，造成24人死亡。事件發生後，當時建設大臣即向首相報告，必須對現況檢討，並制定徹底的事前防止措施。因此建設省隨即擬訂「土砂災害防止法」，並於2000年5月經眾議院通過公布，2001年4月施行。「土砂災害防止法」的精神，係從預防的角度制定，屬於管理層面，著重於警戒避難體制及開發行為限制的軟體對策，與「砂防法」、「地滑等防止法」及「急傾斜地崩壞防止法」等從防治的角度制定、以砂防堰堤等土砂災害防治工程為中心的硬體對策不同。「土砂災害防止法」的制訂目的，係於再發生土砂災害機率相當高之區域，建置該區域的警戒避難體制，同時限制一定的開發行為，並制定有關建築物構造限制等相關措施，以推動土砂災害的防止對策，確保公共福利。法規中明訂由都道府縣地方政府辦理基礎調查，對於轄區潛在危險區域之地形、地質及土地利用狀況進行調查，並應依據調查結果指定土砂災害警戒區域，包括土砂災害警戒區（黃色區域）及土砂災害特別警戒區（紅色區域）。

從近期的統計結果來看，日本「土砂災害防止法」實行近10年，各都道府縣已實施基礎調查並認為應指定為土砂災害警戒區域者為295497處，但其中尚未完成

土砂災害警戒區域指定工作者為 64822 處，未指定率達 21.9%（表 3）。這次災情較為嚴重的奈良縣、和歌山縣，土砂災害警戒區域未指定率甚至達 48.2% 及 69.8%，因此未完成土砂災害警戒避難整備是造成災情慘重的原因之一。但深究未完成土砂災害警戒區域指定的原因，仍在於政府與地方民眾間的溝通無法達成共識。儘管「土砂災害防止法」對於土砂災害警戒區域的土地利用方面，已訂定相關限制及補償措施，但在天然災害尚未發生之前，如何勸導居民處於具有土砂災害發生之虞的地區、進而推行防災整備工作並非容易。臺灣的「地質法」同時也具備日本「土砂災害防止法」的精神，地質法中擬劃定的「地質敏感區」其精神亦類似於「土砂災害警戒區域」，因此日本這次颱風的經驗非常值得借鏡，尤其應重視與地方民眾間的溝通，並強調自主防災的重要性，才能避免災難的發生。

表 2 日本砂防相關法規與土砂災害防止法的施行策略與對象比較表

	砂防法、地滑等防止法、 急傾斜地崩壊防止法	土砂災害防止法
施行策略	<ul style="list-style-type: none"> <li>n 興建砂防工程以防止土砂災害。</li> <li>n 指定區域內，限制設施或土石樹木等開發採取行為。</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>以硬體建設為主要對策</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n 建置警戒避難體系。</li> <li>n 限制開發，提升建物安全性。</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>以軟體措施為主要對策</b></p>
對象	<ul style="list-style-type: none"> <li>n 於土砂災害發生地區，限制會引起土砂災害的行為。</li> <li>n 規定土砂災害發生地區之工程施作。</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>以災害發源地區為整治對象</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>n 針對有土砂災害發生之虞的地區，建置警戒避難體系及限制開發等。</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>以受災地區為治理對象</b></p>

表 3 日本各都道府縣未指定為土砂災害警戒區域數量一覽表

都道府縣	土砂災害警戒區域指定件数	うち、指定率	未指定率
北海道	1844	977	58.45%
青森	4018	0	0.0%
岩手	3755	1398	37.2%
宮城	1311	702	53.5%
秋田	1309	341	26.1%
山形	3912	1331	34.0%
福島	2504	1084	40.9%
茨城	1527	0	0.0%
栃木	8551	1955	30.3%
群馬	6786	3010	44.4%
埼玉	2466	874	35.4%
千葉	2531	1441	56.9%
東京	4583	1992	42.5%
神奈川	3679	0	0.0%
新潟	5000	2000	40.0%
富山	4749	905	19.1%
石川	2381	243	10.2%
福井	11658	143	1.2%
山梨	7051	4	0.1%
長野	20000	4500	23.0%
岐阜	8385	3718	44.3%
静岡	7000	1300	18.6%
愛知	3788	1104	29.1%
三重	3000	2400	80.0%
滋賀	3725	583	15.1%
京都	11411	6495	56.9%
大阪	1675	22	1.3%
兵庫	20186	686	3.4%
奈良	8595	4144	48.2%
和歌山	4330	3024	69.8%
鳥取	5956	316	5.3%
島根	30877	0	0.0%
岡山	8750	1250	18.5%
広島	11957	3262	27.3%
山口	18841	558	3.0%
徳島	2929	464	20.0%
香川	4240	1340	29.2%
愛媛	2333	719	30.8%
高知	4476	0	0.0%
福岡	4147	497	12.0%
佐賀	3055	2512	82.0%
長崎	4917	687	14.0%
熊本	4554	2117	46.4%
大分	2026	28	1.4%
宮崎	2156	303	17.7%
鹿児島	15144	3626	22.5%
沖縄	1033	695	67.3%
合計	295497	64822	21.9%

(6月現在の刊明数。一部は概数)



## 2.2 研討「土砂災害警戒區域的調查與管理方法」

本項工作主要為拜訪砂防フロンティア整備推進機構理事長森俊勇、總括研究員龜江幸二等，就該機構的業務及土砂災害防止法中有關「土石流」、「地滑」、「急傾斜地の崩壊」等 3 種土砂災害警戒區域的劃設方法進行討論。砂防フロンティア整備推進機構的主要目標，是針對容易發生土砂災害的地區，包括砂防指定地、地滑地、土石流及急傾斜地等區域，進行地質、水文、氣象等資料的調查，並在政府機構和地方民眾之間針對砂防業務建立密切聯繫。

砂防フロンティア整備推進機構在依據土砂災害防止法辦理的各項土砂災害警戒區域工作，均已建立作業流程及準則規範，包括數值地形圖製作方式、現地調查準則、土砂災害警戒區域設定方法及電腦系統、防災地圖、警戒避難體制計畫、警戒避難通訊通知等，並具體協助日本數十個都道府縣進行管理工作(圖 1)。詳實的基礎調查資料也具體提供日本 30 個以上都道府縣，進行大規模土砂災害防災整備工作。



圖 1 砂防フロンティア整備推進機構有關土砂災害警戒區域設定的自動化電腦系統劃設成果。

## 2.3 研討「新期測量技術」

本項工作主要為參訪 Topcon 公司，並與該公司定位事業部業務長平野聰、中村昭久等就新期地形測量技術進行參訪及討論。Topcon 公司是日本生產測量儀器的主要公司之一，除了傳統的測量儀器外，近期也導入 GPS、LiDAR 等全自動化的測

量技術，此外也整合街景車即時畫面與地形測量技術，在街景車行駛過的道路上，可即時取得街景畫面及周圍高精度的 LiDAR 地形資料(圖 2)。2011 年日本 311 地震後，Topcon 公司也與日本國土地理院合作，於日本東北部地震引致海嘯災害現場，利用街景車迅速並廣泛的取得災害現場的畫面及災後地形地貌的測量資料，即時提供相關救災單位利用。這項即時測量技術在大規模土砂災害地區，也具有利用的潛力，若能利用機動性高的車輛(如 4WD 車輛、機車等)，即可迅速取得受災區的完整地貌資料，深具技術發展的潛力。

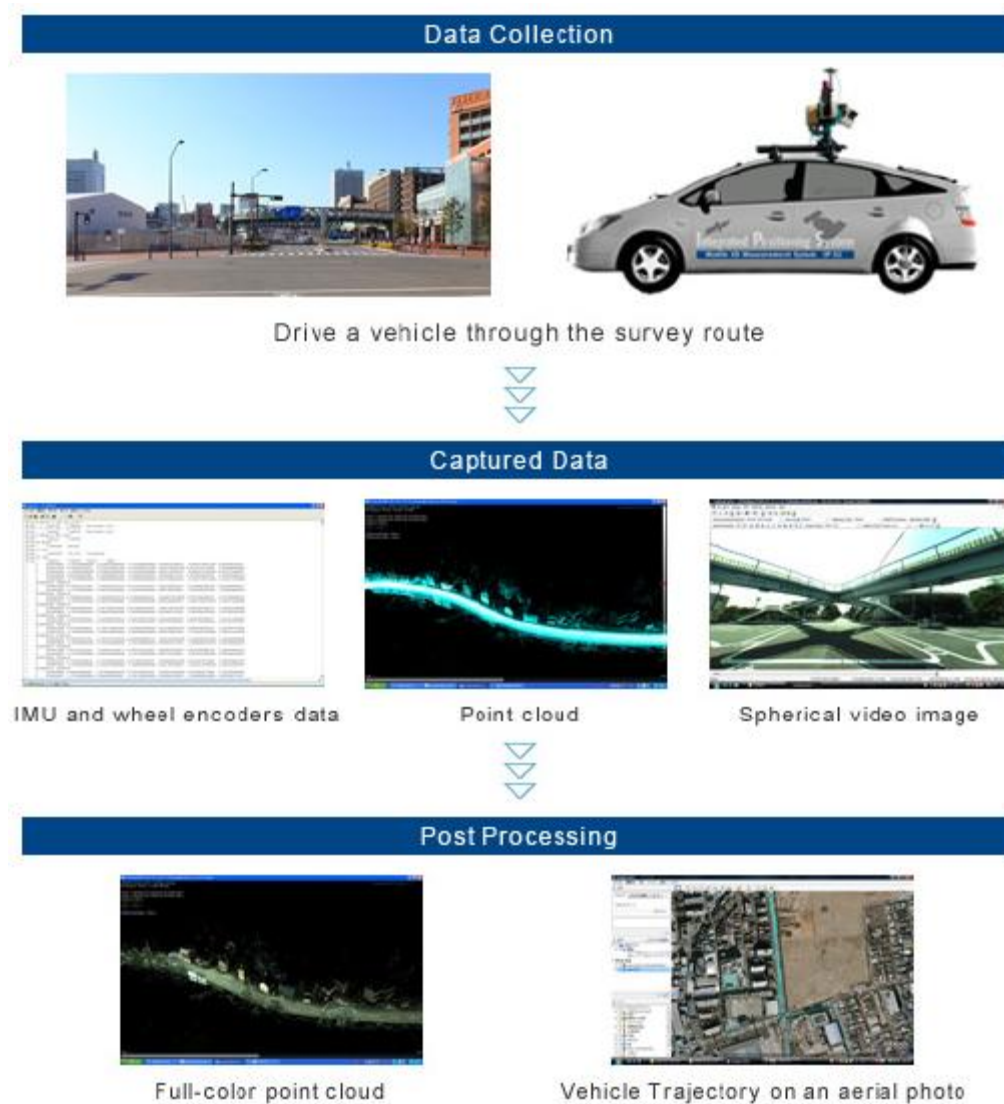


圖 2 日本 Topcon 公司街景車取得即時畫面與地形測量流程示意圖。

## 2.4 進行「台日土砂災害技術交流研討會」

為加強台日雙方有關土砂災害調查及分析的技術交流，因此本次與日本獨立行

政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山土石流チーム合作，進行「台日土砂災害技術交流研討會」，由臺灣與日本各提出 3 項簡報，進行經驗分享及心得交換，臺灣方面簡報的 3 個題目分別為：臺灣地區近期的大規模崩塌災害、臺灣中部廬山溫泉北坡地滑地的觀測、臺灣地區山崩潛勢的調查分析方法，日本方面簡報的 3 個題目分別為：日本 2011 年 9 月颱風 12 號引致地質災害的因應對策、日本地震引致深層崩壞的危險度分析方法、日本近期地滑觀測技術方法。

由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山越隆雄「日本 2011 年 9 月颱風 12 號引致地質災害的因應對策」的簡報中可瞭解，由於近期的全球氣候異常及極端氣候狀況，因此颱風期間的降雨強度、延時及總累積雨量屢破氣象觀測歷史記錄，因此屢屢造成大規模土砂災害(包括深層崩塌)並引致堰塞湖。從日本在 2011 年 9 月颱風 12 號的經驗發現，奈良縣上北山氣象站在 5 天內的總累積雨量達 1800 毫米，因此在奈良縣、和歌山縣及三重縣共發生 3077 處土砂災害，總土砂崩塌量估計達 3500 萬立方公尺，並形成了 17 處堰塞湖，其中 5 處對下方聚落安全具有危害(圖 3)。日本土木研究所在颱風災害，隨即迅速協助國土交通省，進行土砂災害分布位置的調查及堰塞湖潰壩影響範圍模擬(圖 4)，並利用土木研究所研發的投入式水位觀測計(圖 5)，針對堰塞湖的水位進行即時觀測，並能提供水位記錄及潰壩警戒。

土木研究所土砂管理研究グループ火山土石流チーム交流研究員橫山修「日本地震引致深層崩壞的危險度分析方法」的簡報，則是探討地震引致深層崩壞的危險度分析方法。由於深層崩壞往往造成大規模土砂災害並可能引致堰塞湖，因此日本土木研究所已發展「劃設可能發生深層崩壞引致土石流的危險溪流」(深層崩壞の発生の恐れのある溪流の抽出手法)的方法，主要是因為由深層崩壞造成的土砂災害，包括土石流、堰塞湖等往往造成嚴重的災害，期藉由科學的計量方法找出這些危險溪流。所謂「深層崩壞」的定義，係指深層風化岩盤(而非表土層)發生崩落、一次發生就造成的嚴重災害，判釋方法包括：(1)曾經發生深層崩壞的區域；(2)地質構造及微地形；(3)數值地形分析等。詳細操作流程圖如圖 6 所示。在深層崩壞的微地形判



釋方面已建立初步準則，判釋標準包括：山頂的緩斜面、二重或多重山稜、線狀凹地、反斜崖、圓弧形滑動體、岩盤潛變現象及老崩塌地地形等，並可參考圖 7 協助進行判釋。這項方法利用日本宮城縣栗駒山地區，於 2008 年岩手宮城內陸地震後發生的深層崩壞做驗證，發現找出可能具有深層崩壞引致土石流的危險溪流，確實也是容易受到地震而引致深層崩壞的危險溪流。因此該分析方法應該具有很廣泛的應用性。

土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム交流研究員宇都忠和「日本近期地滑觀測技術方法」的簡報，則說明了土木研究所針對深層崩壞或大規模地滑，除了傳統的地滑調查及監測技術外，近期也致力開發新型觀測技術，包括不安定岩盤的斜面震動觀測方法、地盤傾斜計即時監測系統、大變位地表伸縮計(6m 以上)監測設施、無線式遠端位移監測系統等(圖 8)，並檢討這些新式方法在實務量測中遇到的問題。



圖 3 日本 2011 年 9 月颱風 12 號於奈良縣及和歌山縣因土砂災害引致的堰塞湖分布圖。

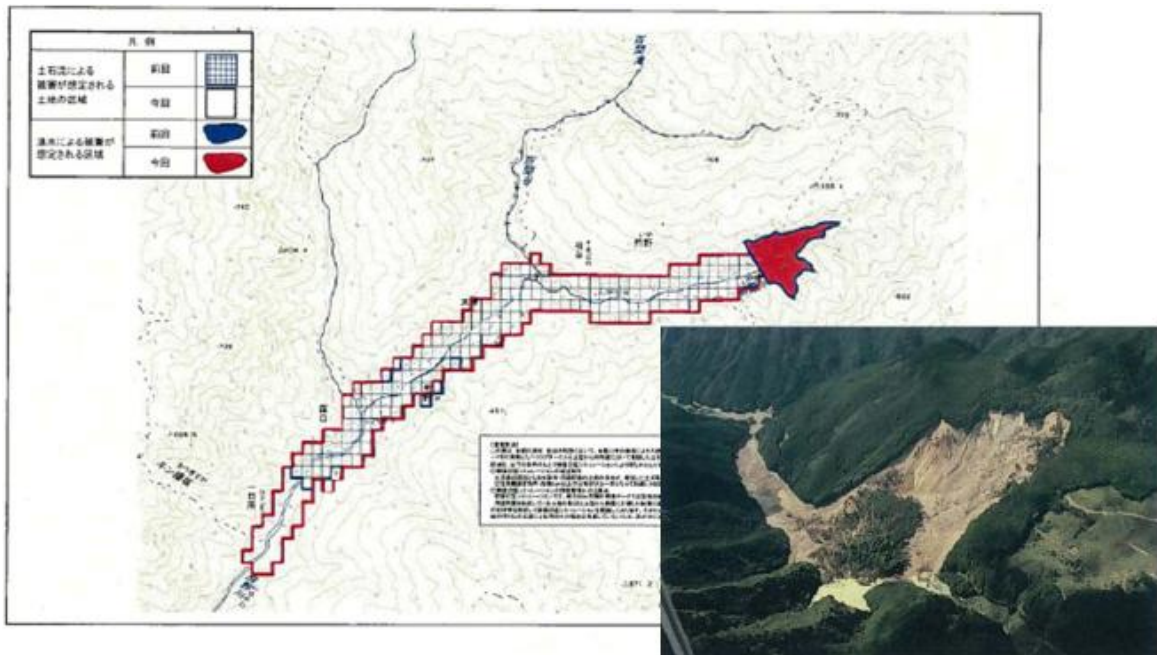


圖 4 日本 2011 年 9 月颱風 12 號於奈良縣及和歌山縣因土砂災害引致的堰塞湖分布圖。



圖 5 日本土木研究所研發的投入式水位觀測計(左)，並應用在赤谷地區堰塞湖的水位觀測(右)。

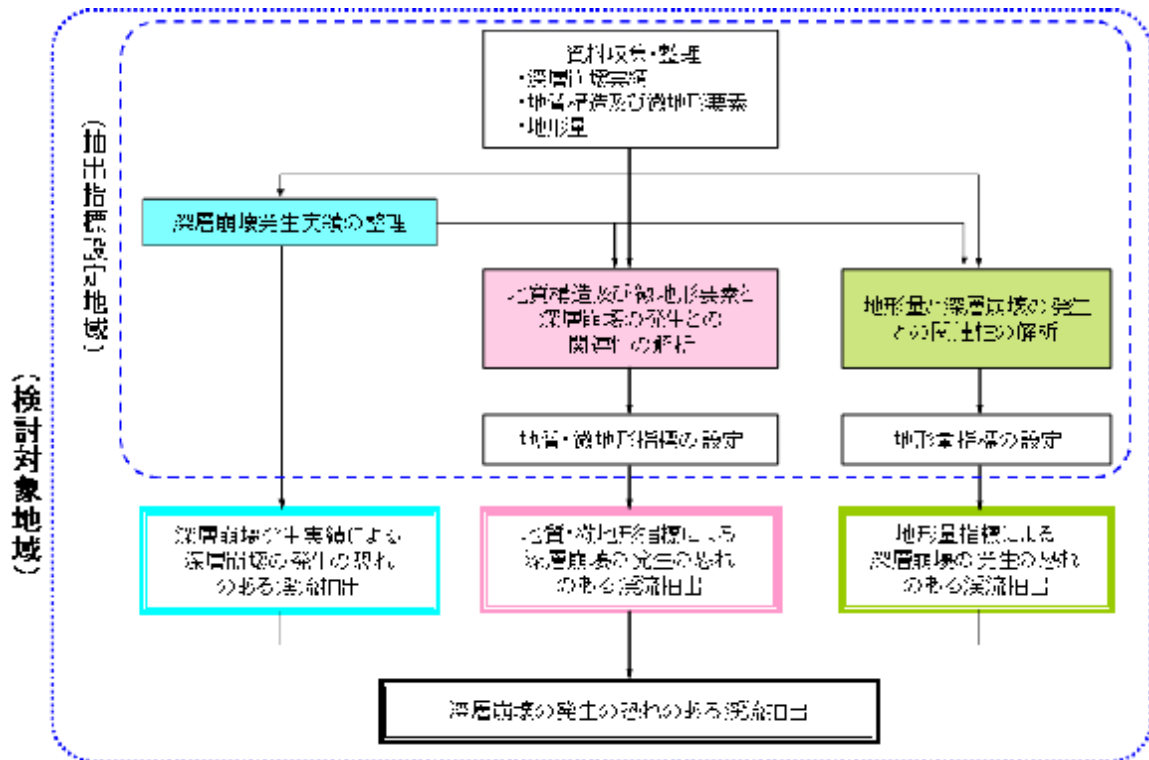
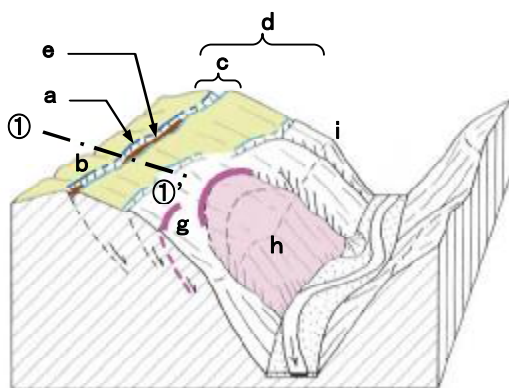


圖 6 判釋可能引致土石流的深層崩壊作業流程圖，主要由歷史災害紀錄、地質地形特徵及數值地形分析等 3 方面進行檢討。



上圖中記号

- a: 主稜線, b: 山頂緩斜面, c: 二重山稜, d: 多重山稜, e: 線状凹地, f: (山向き)小崖地形, g: 円弧状クラック, h: 岩盤クリープ斜面(あるいは、地すべり地形) i: 遷急線

深層崩壊の発生に関連する微地形要素の位置関係(模式図)

圖 7 深層崩壊的微地形示意圖，判釋特徵包括山頂的緩斜面、二重或多重山稜、線狀凹地、反斜崖、圓弧形滑動體、岩盤潛變現象及老崩塌地地形等。



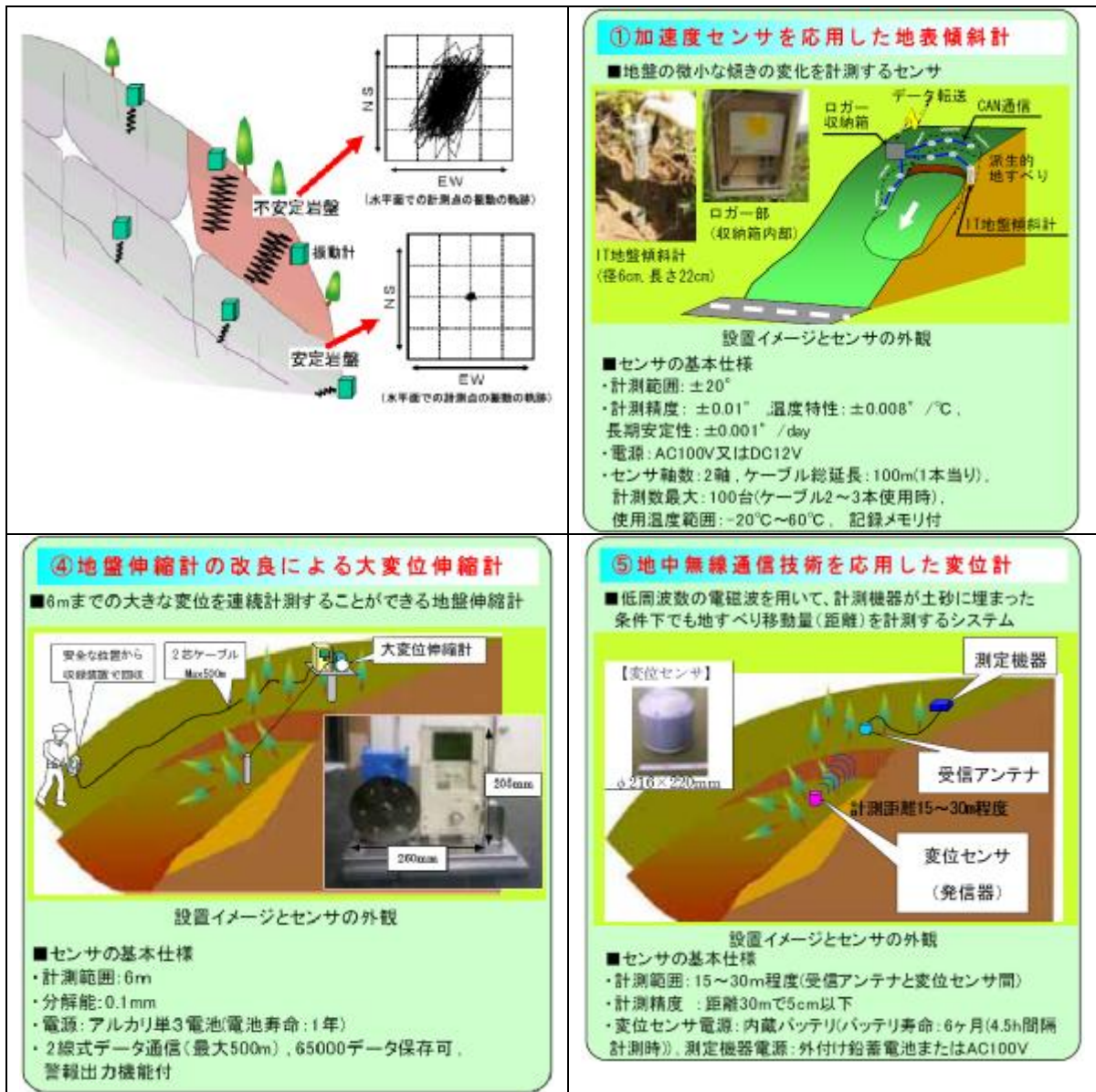


圖 8 日本土木研究所近期的地滑觀測技術相關研究成果，包括不安定岩盤的斜面震動觀測方法(左上)、地盤傾斜計即時監測系統(右上)、大變位地表伸縮計觀測設施(左下)及無線式遠端位移監測系統(右下)等。

## 2.5 進行「岩手縣市野々原的地滑地及堰塞湖」現場勘查

本項現場勘查由日本國土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所建設監督官佐藤彰進行現場導覽及說明，主要針對2008年岩手宮城內陸地震後，岩手縣祭時大橋、市野々原的地滑地及堰塞湖進行現場勘查。

岩手宮城內陸地震發生於2008年6月14日，震央位於岩手縣奧州市和宮城縣栗原市，根據日本氣象廳的數據，此次地震的規模為M7.2，並造成23人死亡、426

人受傷、房屋受損達 2697 棟。該地震同時引致 48 處土砂災害，包括 24 處土石流、9 處地滑及 15 處崩塌，在宮城縣及岩手縣土砂災害並引致 15 處堰塞湖。祭時大橋的地滑與市野々原的地滑及堰塞湖距離 2008 年岩手宮城內陸地震震央均不到 5 公里。

祭時大橋於 2008 年岩手宮城內陸地震時被嚴重損毀，橋面嚴重彎折，經過調查後顯示，該地震於祭時大橋東側橋台附近引致 1 處地滑，寬度約 120 公尺、長度約 150 公尺、深度約 13.5 公尺，主崩崖最大下陷量達 6 公尺，地層主要屬於凝灰質砂岩。雖然地滑的範圍不大，坡度亦相當緩和(約 10 度)，但是滑動體前緣向祭時大橋東側橋台推動約 2 公尺長，因而造成橋樑損毀(圖 9、圖 10、圖 11)。

市野々原的地滑及堰塞湖於 2008 年岩手宮城內陸地震時發生，沿河流約 700 公尺的地滑及崩塌地阻塞盤井川河道，崩塌土方量估計達 173 萬立方公尺，崩塌形成的堰塞湖壩體高約 25-30 公尺。日本國土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所主要進行盤井川的河道及堰塞湖整治，除了將河流水路重新復舊外，並將緊鄰河道的 2 戶民宅進行遷建。地滑則由日本岩手南部森林管理署進行整治，目前坡體已呈現穩定狀態(圖 12、圖 13)。



圖 9 岩手縣祭時大橋於 2008 年岩手宮城內陸地震時，於東側橋台附近引致地滑平面圖。



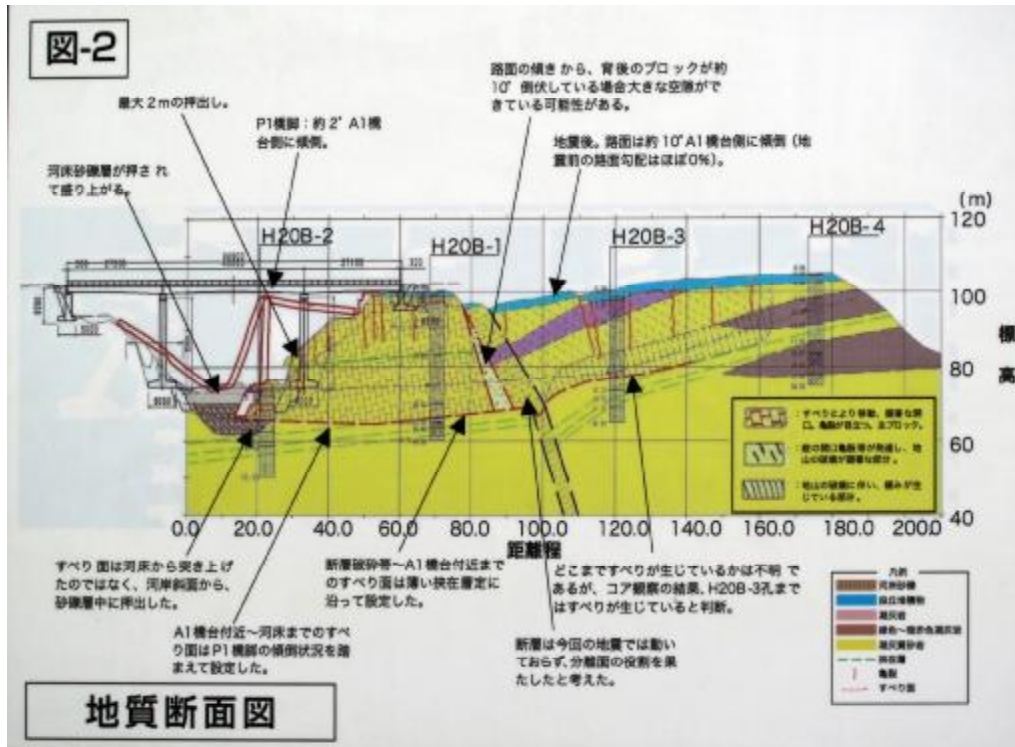


圖 10 岩手縣祭時大橋東側地滑的地質剖面圖。



圖 11 岩手縣祭時大橋東側橋台地滑及橋樑毀損現況。

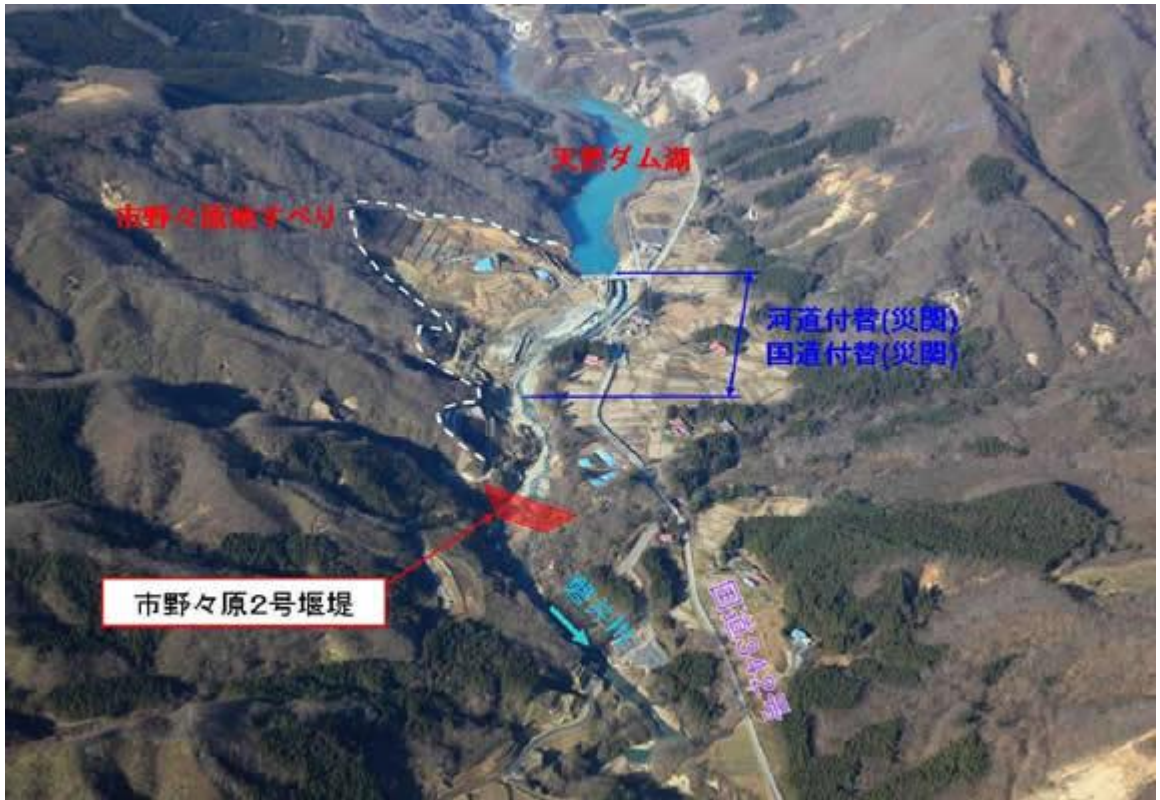


圖 12 市野々原的地滑及堰塞湖全景(引用自日本國土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所網頁)。



圖 13 市野々原的地滑經整治後現況。



## 2.6 進行「宮城縣北上川地區大規模崩塌及堰塞湖」現場勘查

本項現場勘查由日本國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所專門官佐藤尚司進行現場導覽及說明，針對 2008 年岩手宮城內陸地震後，宮城縣北上川地區大規模崩塌及堰塞湖勘查進行現場勘查，主要包括三迫川沼倉與御澤地區及一迫川小川原地區。這個地區的地層，主要由質地軟弱的砂泥岩互層、上覆厚層的凝灰岩(及玄武岩)所構成，凝灰岩中堅硬的玄武岩具有發達的柱狀節理。在 2008 年岩手宮城內陸地震時，這個地區質地軟弱的砂泥岩互層發生多處崩塌，連帶的上方較堅硬但節理發達的玄武岩也一併崩塌，阻塞河川並造成堰塞湖。

這幾處大規模崩塌及堰塞湖目前均已初步整治完成，部分防砂壩的加高工程則持續進行中，日本國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所同時在這些地區設置土石流檢知裝置、投入式水位計、攝影機等，持續進行觀測及防災整備。

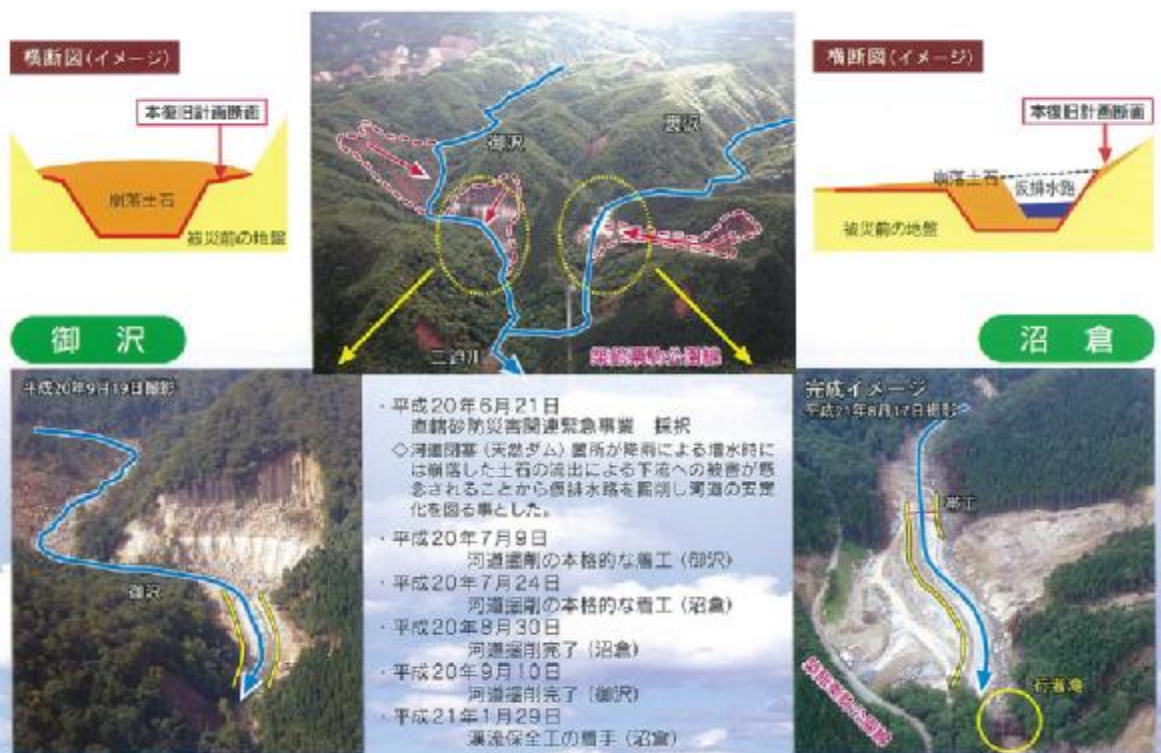


圖 14 宮城縣三迫川沼倉與御澤地區大規模崩塌及堰塞湖災情概況。



圖 15 宮城縣三迫川沼倉地區因 2008 年岩手宮城內陸地震，造成崩塌及堰塞湖後目前概況。



圖 16 宮城縣三迫川御澤地區因 2008 年岩手宮城內陸地震，造成崩塌及堰塞湖後目前概況。





圖 17 宮城縣一迫川小川原地區大規模崩塌及堰塞湖災情概況。



圖 18 宮城縣一迫川小川原地區因 2008 年岩手宮城內陸地震，造成崩塌及堰塞湖後目前概況。

## 2.7 進行「2011 年日本 311 地震引致海嘯災害」現場勘查

本項現場勘查由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山越隆雄、交流研究員横山修進行現場導覽及說明，針對 2011 年日本 311 地震引致海嘯災害後，宮城縣石卷市的海嘯災害現場進行勘查。

該地震的震央位於宮城縣首府仙台市東部外海約 130 公里處的太平洋海域，地震矩規模為 9.0，震源深度約為 24.4 公里，並引發最高 38.9 米的海嘯。此次地震是日本有觀測紀錄以來規模最大的地震，引起的海嘯也是最為嚴重的，加上其引發的火災和核洩漏事故，導致全國性的地方機能癱瘓和經濟活動停止，東北地方部份城市更遭受毀滅性破壞。

日本政府在沿海地區針對海嘯災害，各級地方政府也曾進行調查研究，並繪製海嘯災害潛勢圖，但面臨這次這麼大規模的地震災害，原先預測的海嘯災害影響範圍即顯不足。例如日本國土地理院將宮城縣石卷市於 311 地震的海嘯影響範圍(圖 19 紅色範圍)，套繪至原先的海嘯災害潛勢圖(圖 19 藍色範圍)，即可發現 2 者的範圍實際上相差甚多。這也顯示對於極端的天然災害事件，災害影響常超過預期，因此防災整備策略或許仍有改進的空間。

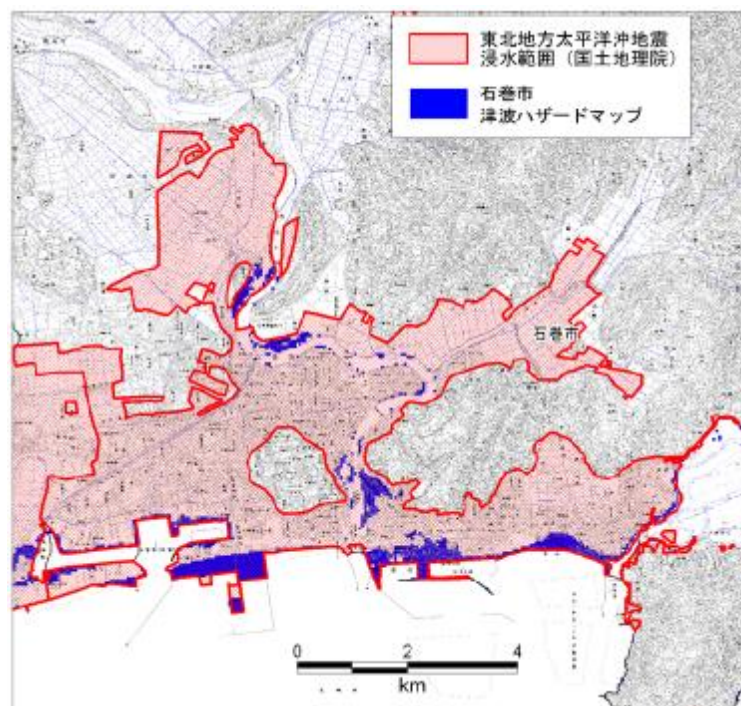


圖 19 宮城縣石卷市的海嘯災害現場，照片中央下方可見漁船被沖到陸地上。





圖 20 宮城縣石卷市的海嘯災害現場，照片中央下方可見漁船被沖到陸地上。

## 2.8 研討「衛星測量技術的應用」技術

本項工作主要由日本國際航業會社部長村嶋陽一、主任三好壯一郎、原口勝則、翠川利一等，簡報說明該公司的技術發展及案例應用。日本國際航業會社主要從事空間地理資訊的服務，核心業務包括航空攝影測量、衛星影像分析、地理資訊系統建置等，但近年來已將業務擴充至相關專業的加值利用，包括利用即時影像進行土砂災害範圍即時自動判釋、即時防災地圖繪製、土砂災害模擬、海嘯模擬、火山灰影響範圍模擬、地震防災規劃、水文分析、GPS 地表變位測量及各種立體地形圖製作等。該公司亦於 2011 年日本 311 地震後，迅速取得衛星影像進行海嘯致災影響範圍的自動判釋，並隨即進行海嘯模擬，推估東日本可能會受到海嘯侵襲的影響範圍，提供相關單位迅速規劃救災行動(圖 21)。

關於大規模土砂災害、地滑等山崩災害，日本國際航業會社不僅利用航空測量取得災區影像外，並應用 LiDAR、GPS 等測量技術結合即時傳輸裝置，建置山崩觀測系統(圖 22)。此外並能提供土砂災害影響範圍模擬等進一步的服務，迅速掌握土

砂災害受災地區範圍。

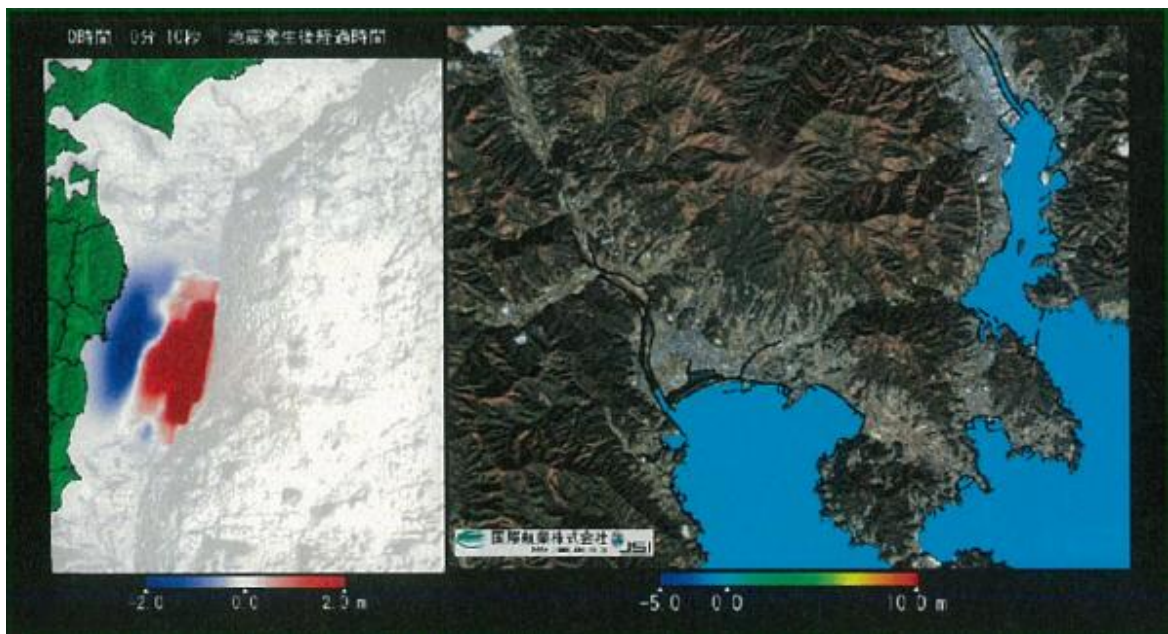
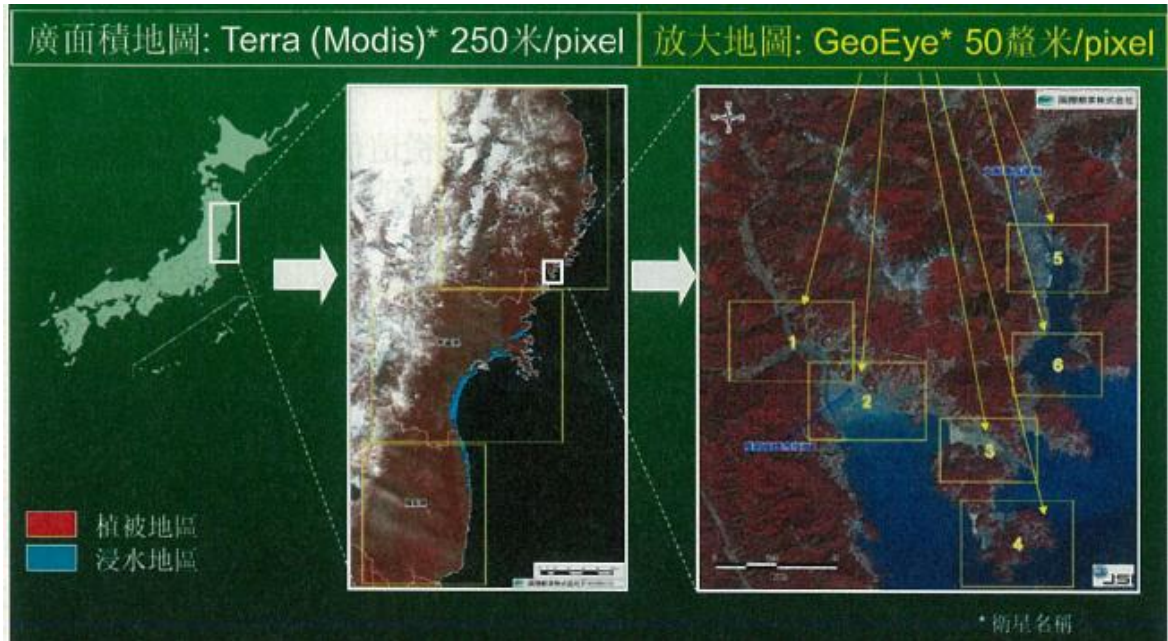


圖 21 日本國際航業會社於 2011 年日本 311 地震後，利用衛星影像即時判釋海嘯影響範圍(上)，並模擬海嘯可能影響範圍(下)。





圖 22 日本國際航業會社有關山崩災害觀測的業務實績，除利用航空測量取得災區影像外，並應用 LiDAR、GPS 等測量技術結合即時傳輸裝置，建置山崩觀測系統。

## 2.9 研討「土石流災害觀測影像即時判釋技術」

本項工作主要由 ARA 軟體公司社長村井保之簡報說明該公司的技術發展及案例應用。ARA 軟體公司開發的 X-system 應用軟體，主要係利用現場攝影機的即時影像，進行象元分析，進而即時掌握現場的動態。以土石流災害的應用來說，架設在土石流溪流的攝影機即時取得影像後，X-system 應用軟體即能即時運算影像中的變化，包括河川水位、流速、水流寬度等。當土石流來襲時，軟體能自動分析偵測流體組成物質的改變(由清水變為土石)，並能迅速計算土石流的流向及流速，一旦超過監測管理值，並能透過手機簡訊或網路傳輸，即時發出土石流警戒通知，進而完成土石流的防災警戒工作(圖 23)。

該技術僅需利用一般的攝影機取得影像，因此對於土砂災害或洪水的監測及預警，具有極大的應用潛力。未來值得進行小規模的應用試驗，檢討該技術的實用性及優缺點。

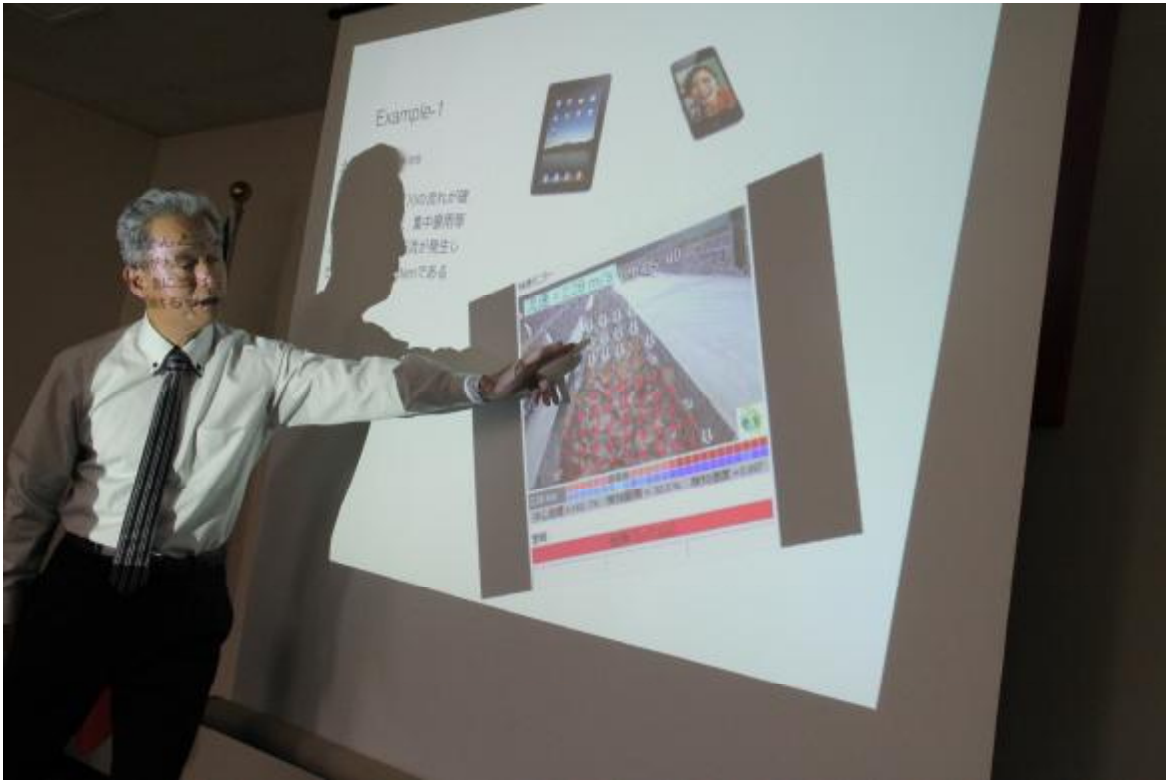


圖 23 ARA 軟體公司社長村井保之簡報說明土石流災害觀測影像即時判釋技術，軟體可迅速判別土石流的發生、流向、流速，並在超過監測警戒值時發出警戒通知。

## 2.10 研討「水循環模擬與管理技術」

本項工作主要由日本財團法人 River Front 整備中心企劃組組長柏木才助簡報說明該公司的水循環模擬與管理技術及案例應用。日本財團法人 River Front 整備中心等成員共計 5 人曾於本(100)年 5 月 3 日至 5 月 7 日來臺訪問，由經濟部中央地質調查所安排技術座談會及現場勘查，並曾參訪中興工程顧問社、成功大學防災研究中心等，說明該公司開發之水資源及地質關係預測模型技術事宜。本次柏木才助再度補充說明該公司水循環模擬技術的最新發展，包括該水循環模擬技術已成功發現跨多重集水區的地下水流向(圖 24)，對於地下水污染物(如輻射污染)的流向追蹤也具有很好的效果(圖 25)。

這項水循環模擬與管理技術，在地滑地的地下水調查分析、坡地災害水文模式及水資源評估等議題，均具有實務應用的潛力。有關水文地質及坡地災害調查應用等方面，分析評估的精準度均可以有效提升，並能落實防災管理與應用。

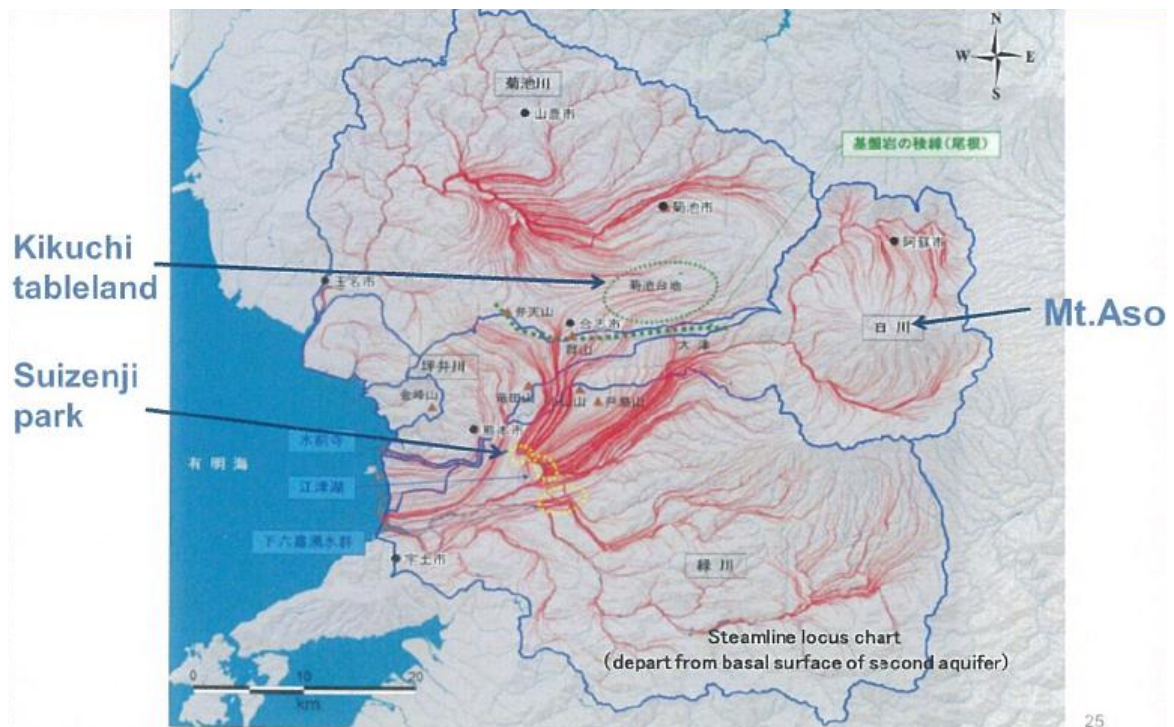


圖 24 日本財團法人 River Front 整備中心發展的水循環模擬技術，在九州熊本地區發現跨多重集水區的地下水流向分析成果案例。

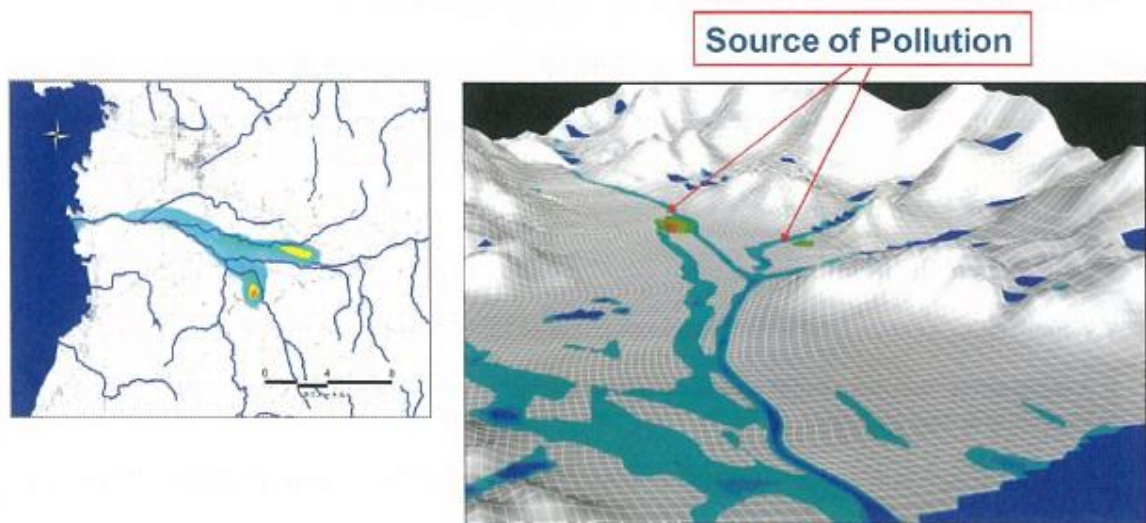


圖 25 日本財團法人 River Front 整備中心發展的水循環模擬技術，應用在地下水污染物(如輻射污染)的流向追蹤案例。



### 三、心得

藉本次出國計畫進行的台日技術交流，已進一步瞭解日本於土砂災害調查、觀測及預警等各方面的先進技術與經驗，這些技術交流成果期能強化臺灣於土砂災害的調查分析、即時觀測與危險區域模擬等，並能深入判釋臺灣具有重大土砂災害危害的區域，建立即時觀測系統，以提供土砂災害防治及國土規劃上的防災基本資訊，減少土砂災情發生。由於日本在氣候、地形、地質及政經環境上與臺灣極為相似，同時日本在坡地防災已累積長期之經驗，因此本次完成的出國計畫技術交流內容，將能借鏡日本在土砂災害方面的各項技術，短期以完成行政院交辦之政策指示為目標，中長期以加強臺灣的坡地安全及環境地質問題調查，尤其是重大土砂災害危險地區的監測資訊掌握。日本行之有年的「土砂災害防止法」及「土砂災害警戒區域」政策執行經驗，也將能提供我國地質法在地質敏感區劃設方面之參考。

以下為本次出國計畫技術交流後的心得：

1. 儘管日本土砂災害防止法已實施近 10 年，今年更將堰塞湖列為土砂災害之一，努力推行土砂災害警戒區域的整備工作，然而全國平均土砂災害警戒區域未指定率仍達達 21.9%，今年颱風災情較為嚴重的奈良縣、和歌山縣，土砂災害警戒區域未指定率甚至達 48.2% 及 69.8%，因此未完成土砂災害警戒避難整備是造成災情慘重的原因之一。由於政府與地方民眾間的溝通不易達成共識，尤其在天然災害尚未發生之前，如何勸導居民處於具有土砂災害發生之虞的地區、進而推行防災整備工作並非容易。臺灣的「地質法」同時也具備日本「土砂災害防止法」的精神，地質法中擬劃定的「地質敏感區」其精神亦類似於「土砂災害警戒區域」，因此日本這次颱風的經驗非常值得借鏡，尤其應重視與地方民眾間的溝通，並強調自主防災的重要性，才能避免災難的發生。另日本在劃設土砂災害警戒地區的過程，重視與居民及地方之溝通，並強調居民的自主防災意識，而非完全仰賴政府的協助。此亦頗值我國借鏡。



2. 日本土砂災害防治工作強調中央政府與地方政府權責分工明確劃分，地方政府應充分負起地方自治的責任，且於縣政府建設部設立砂防課直接執行相關業務。相較於我國目前現行的土砂災害防治工作偏重於中央，而地方政府對轄管區域內之坡地土砂災害防治應變能量薄弱，遇有重大災害時，地方無法發揮災害防救效能，未來亟需從制度及人力方面逐步建立，以利因應目前一遇颱風豪雨即發生坡地土石災害之嚴厲情況。
3. 日本近年來歷經多次地震(如 2008 年岩手宮城內陸地震)及颱風豪雨(如 2011 年 9 月颱風 12 號)後，已發現土砂災害的規模不僅有擴大的趨勢，引致的堰塞湖更成為潛在的威脅，因此日本在 2011 年土砂災害防止法的修正中也將堰塞湖列為土砂災害之一。臺灣在民國 98 年莫拉克颱風後，中南部山區也發生多起土砂災害引致堰塞湖的案例，因此如何應用近期新發展的調查技術(如 LiDAR 量測、衛星測量)等科學方法，搜尋具有大規模土砂災害的集水區，將是政府相關防災單位的重要挑戰。有關堰塞湖的調查議題也應該檢討列入相關法規中。
4. 臺灣已於 2010 年通過地質法，相關子法刻正研擬中，以便對地質災害防治及安全評估工作提供法源依據，加強保障人民生命財產，減少坡地地質災害常造成之巨大而慘重的損失。從日本的經驗來看，日本有關坡地土砂災害方面的法規已相當完善，包括砂防法、地滑等防止法、急傾斜地崩壞防止法、土砂災害防止法等，綜合形成一個綿密且完整的法規體系。國內目前有關土砂災害的法規，散見於水土保持法、區域計畫法、都市計畫法、環境影響評估法及相關建築法規等，對於坡地地質災害防止對策基本方針、尤其是危險區之指定及管理基準、警戒避難體制之整備、對策工事基準等尚缺少完整的規範。
5. 地質災害之基本調查、分析、監測及技術研發，是國土保育與國家發展過程中相當重要的一環，這項工作必須有長期投入的人力與經費進行之。此外，地方政府不斷地與當地居民的進行良好溝通與宣導，唯有透過政府與民眾雙方齊心合力，促進民眾瞭解自主防災的重要，才能達到減災避災離災的目標。

## 四、建議

### 1. 加強具有大規模崩塌潛勢坡地的地質調查分析工作

從臺灣在莫拉克颱風期間發生小林村大規模崩塌災害後，如何應用科學方法，找出其他具有大規模崩塌潛勢的坡地，一直是日本及臺灣方面政府機關及防災單位的重要議題。日本在深層崩壞的相關研究事實上亦屬起步階段，但其相關的研究策略與方法值得臺灣深入分析或借鏡，包括應優先針對高風險地區進行山崩潛勢調查、利用航照或 LiDAR 影像判釋及野外檢核進行潛勢評估、推動老崩塌地的調查觀測與分析模擬、加強水文地質觀測分析及引進新型調查觀測科技等，並將這些研究分析成果具體量化公開，以深化災害高潛勢地區之當地政府與民眾之危機感，進而加強當地民眾之自主防災意識。

### 2. 推動大規模土砂災害潛勢地區的長期調查及觀測

要達到國土永續經營之目標，長期持續地進行地質災害之基本調查、分析及觀測是很重要的工作。無論是經濟部中央地質調查所進行中的相關防災減災基本地質調查研究計畫、集水區中上游沿岸有坡地崩塌災害或堰塞湖發生之河段、或是災害防救基本計畫中有關坡地崩塌防災體系架構暨坡地崩塌防災權責分工，涉及中央與地方政府之權責推動工作事項等，均需要有長期進行地質災害調查與分析評估資料，以提供相關單位作為災害防治規劃與整治參考。

### 3. 強化台日雙方技術交流與合作

日本在土砂災害的調查及觀測技術，已具有多元化的商業發展，透過政府部門、非營利研究機構及民間業者的共同合作，無論在法規面、對策工法面、土砂災害警戒區域調查劃設等，均已累積豐富經驗，建立土砂災害觀測與防治的標準作業程序。本次出國參訪許多機構及其技術，在臺灣均具有實務應用的潛力，並有利於強化臺灣坡地地質災害防救災體系。因此持續強化台日雙方技術交流與合作，將能在土砂災害調查及防治的實務工作推動上有所助益。

### 4. 提昇社會大眾對自然災害的重視

無論是臺灣的 921 地震、莫拉克颱風、日本的 311 地震及海嘯，這些無法預期

的巨大天然災害及地質作用，不僅造成嚴重傷亡及無以計數之財產損失，更衝擊國家經濟發展。尤其臺灣每年均會遭遇多次的颱風豪雨侵襲，坡地崩塌率急遽上升，這也讓全國人民更深刻體認到土砂災害防治及環境保育的重要性。然而環境保育的宣導是一項長期性的工作，天然災害更是我們無法逃避的重要問題，因此自主防災意識的防災觀念必須被強化。除了繼續加強宣導外，更應將天然災害防治的觀念與做法納入生活內，以提升防災應用的成效。



# 附 錄





全國治水砂防協會野間大佑並就「2011年9月颱風12號引致日本地區地質災害概要」進行簡報說明(2011.10.17)



與全國治水砂防協會阿部宗平等會後留影(2011.10.17)



與砂防フロンティア整備推進機構理事長森俊勇、總括研究員龜江幸二等討論情形  
(2011.10.17)



試乘日本 Topcon 公司街景車，探討即時取得畫面與地形測量技術(2011.10.17)

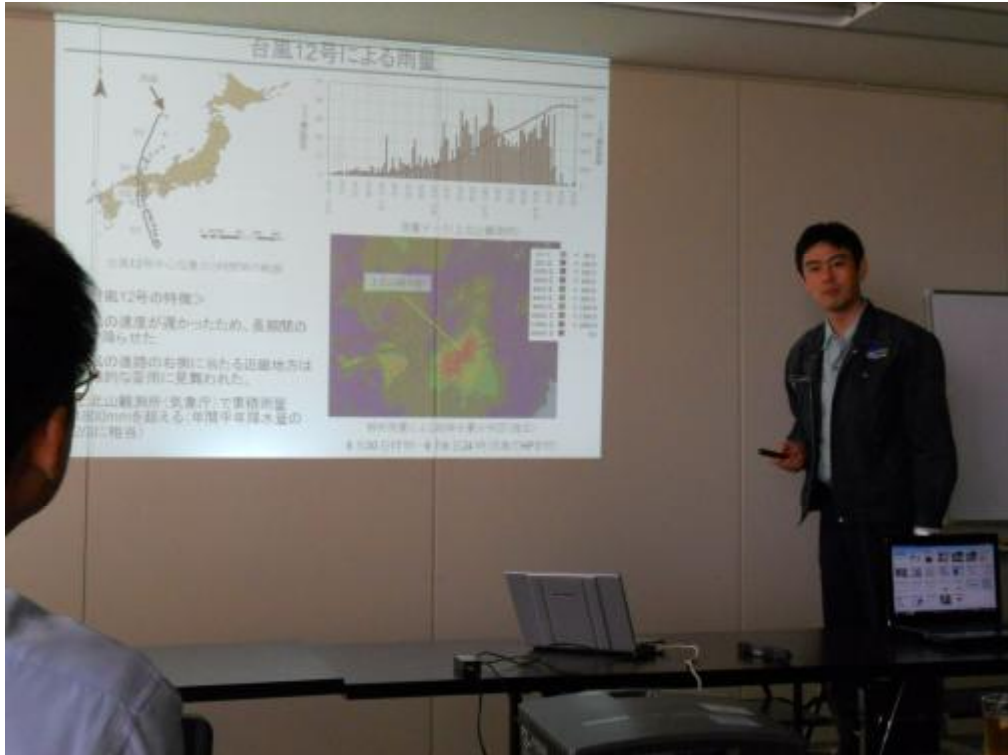




於日本 Topcon 公司參訪後留影(2011.10.17)



於土木研究所進行「台日土砂災害技術交流研討會」概況(2011.10.18)



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山越隆雄「日本2011年9月颱風12號引致地質災害的因應對策」簡報概況(2010.10.18)



成功大學防災研究中心規劃組組長陳俞旭「臺灣地區近期的大規模崩塌災害」簡報概況(2010.10.18)



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム交流研究員宇都忠和「日本近期地滑観測技術方法」簡報概況(2010.10.18)

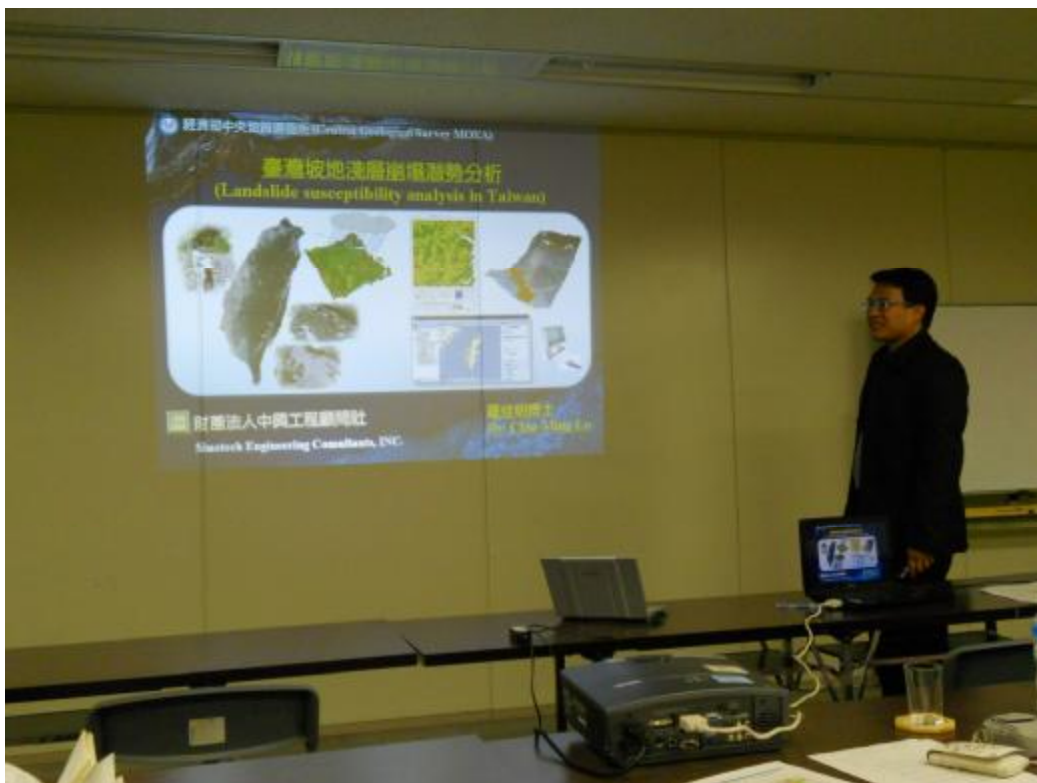


經濟部中央地質調查所環境與工程地質組技士林錫宏「臺灣中部廬山溫泉北坡地滑地的観測」簡報概況(2010.10.18)





土木研究所土砂管理研究グループ火山土石流チーム交流研究員横山修「日本地震引致深層崩壊の危険度分析方法」簡報概況(2010.10.18)



中興工程顧問社副研究員羅佳明「臺灣地區山崩潛勢的調查分析方法」簡報概況(2010.10.18)



土木研究所完成「台日土砂災害技術交流研討會」後全體留影(2011.10.18)



日本國土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所建設監督官佐藤彰說明岩手縣祭時大橋東側橋台地滑概況(2011.10.19)





日本國土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所建設監督官佐藤彰說明岩手縣市野々原的地滑地及堰塞湖概況(2011.10.19)



日本國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所專門官佐藤尚司說明宮城縣三迫川大規模崩塌及堰塞湖概況(2011.10.20)



日本国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所専門官佐藤尚司説明宮城縣一迫川大規模崩塌及堰塞湖概況(2011.10.20)



土木研究所土砂管理研究グループ火山土石流チーム交流研究員横山修説明宮城縣石巻市於2011年日本311地震引致海嘯災害後現場概況(2011.10.21)





日本國際航業會社原口勝則簡報說明「衛星測量技術的應用」概況(2011.10.22)



ARA 軟體公司社長村井保之簡報說明「土石流災害觀測影像即時判釋技術」概況(2011.10.22)





日本財團法人 River Front 整備中心企劃組組長柏木才助簡報說明「水循環模擬與管理技術」概況(2011.10.22)



於臺北駐日本經濟文化代表處(東京)與經濟組周立副組長、日本國際航業會社、ARA 軟體公司、日本財團法人 River Front 整備中心等留影(2011.10.22)