

出國報告（出國類別：考察）

# 考察日本對於潛災判斷分析模式 與豪雨的災害情報使用及公路預警 機制

服務機關：交通部公路總局

姓名職稱：賴佳聖分組長

派赴國家：日本

出國期間：105 年 11 月 24 日~29 日

報告日期：106 年 1 月

## 摘要

本次係針對日本東京都公路建設之管養、技術單位，研習防災暨邊坡等崩塌潛災處理技術及現地勘查外，另參加日本橋梁調查會辦理之第 4 屆國際橋梁研討會，是採公路橋梁建設國際交流，進而推展設施永續維持之防災管理考察暨研習。

因豪雨等災害因素而預警禁止條件區域內公路等設施之使用，此部分日本與臺灣亦有相同作法及概念，惟國內公路設施如邊坡之防治需以承受對應雨勢之整體性改善，以提高其安全性，係以建議公路單位考量全面性風險及資源，進而提升公路工程之養護、防災及調適能力，另針對防災管理部分，建議提升 CCTV 遠端監控影像系統，及 VD 車輛偵測器之承受風雨及穩定性運作能力，於災後著重迅速使用勘災科技，並針對搶救災路線設置牌面強化防災應變宣導，期達全民防救災共同重視及整備理念。

## 目次

壹、目的.....	4
貳、過程.....	5
一、行程.....	5
二、交流內容.....	5
(一) 臺日公路防交經驗交流.....	5
(二) 潛災判斷分析模式及崩塌監測研討.....	9
(三) 公路橋梁工程及防災工法參訪.....	11
(四) 豪雨的災害情報使用及公路預警機制研討.....	12
參、心得及建議.....	15
附錄：圖片說明.....	17

## 壹、目的

公路總局自民國 100 年 3 月 28 日成立公路防災中心，係針對劇烈天候下(天然災害)，利用地質敏感區資訊、歷史災情統計預判可能致災點，以降雨為觀測指標監控管理作法，及推動公路防災預警機制之預警、部署、預警及應變逐級階段，期達提前應變之防災之效，至今(105 年)近 6 年來不斷策進預警機制及監控手法，惟災害之發生受劇烈天候、地震、地質特性等不確定因素影響，仍具有相當程度之風險，所以降低用路人罹災之風險，亦為公路防災主要之使命，再則針對危害邊坡產生之落石等高不確定因素之風險降低，亦是當前尋求先進國家科技及研究優化之參考方案解決途徑，爰查臨近臺灣之先進國家-日本，其國土地形、環海特性，同時亦同臺灣每年皆面臨颱風、地震無情考驗；如近年來經國際媒體報導之 103 年 8 月 20 日之日本廣島土石流、105 年 4 月熊本地震等重大災害，其災後復原及災區崩塌潛勢監測等經驗皆值得借鏡。

此行考察係以針對日本對於潛災判斷分析模式與豪雨的災害情報使用及公路預警機制為標的，前往地點係針對日本東京都公路建設之管養、技術單位研習防災暨邊坡等潛災處理技術及現地勘查外，另參加日本橋梁調查會辦理之第 4 屆國際橋梁研討會，係採公路橋梁建設國際交流進而配合相關潛災技術參訪行程之防災管理考察暨研習。

公路總局之防災管理歷經近 6 年來策進係以經驗修正法則調整修正及不斷激盪創新新想法，更於 104 年以降雨熱點追蹤者-全時高風險路段自動預警系統之創新提案，以自動化減低人力成本消耗執行作法，榮獲交通部創新提案制度甲等獎，爰基於防災係以降低災情危害風險之目的，致風險必然存在的條件下，防災作業就無法創造百分之百安全的可能性，因此不斷創新防災作為，多一分準備亦多一分保障，此行亦期透過臺日之公路防災交流，研討風險精進、流程減化、經費節省並適合國情之創新或整體方案，另亦期能進一步降低用路人罹災之風險。

## 貳、過程

### 一、行程

本次赴日考察對於潛災判斷分析模式，與豪雨的災害情報使用及公路預警機制行程表如下：

日期	地點	行程摘要	住宿地
11月24日 (星期四)	台北-東京羽田機場、東京都新宿區	去程、亞洲測量株式會社參訪-考察公路監測實務運用及防災預警機制研習	東京
11月25日 (星期五)	東京都江東區、千代田區	東京防災作業研習及參加日本橋梁調查會辦理之第4屆國際橋梁研討會	東京
11月26日 (星期六)	東京都、埼玉縣埼玉市、大宮區	參訪國土防災技術株式會社-考察預警機制、崩塌監測及潛災判斷分析模式研習	東京
11月27日 (星期日)	東京都新宿區、墨田區	參訪市區公路建設與考察豪雨災害情報使用及防災作業研習	東京
11月28日 (星期一)	東京都、埼玉縣埼玉市	OYO應用地質株式會社參訪-考察公路崩塌預警科技實務運用、封路封橋預警機制及防災工法研習	東京
11月29日 (星期二)	東京都千代田區、東京成田機場-台北	參訪國際航業株式會社-考察預警科技實務運用及公路防災預警研習、回程	

## 二、交流內容

### (一) 臺日公路防災經驗交流

此行於11月24日抵達東京羽田機場後，隨即赴新宿區與亞洲測量株式會社之測量、公路邊坡監控等技術團隊，進行臺日公路防災經驗及崩塌監測之實務案例分享(圖1)，並於後續數日於國土防災技術株式會社、OYO應用地質株式會社及國際航業株式會社，皆透過分享公路總局於山區公路風險管理之作法相互交流，同時日方亦說明現今公路防災近期之經驗及方法。

臺灣因近年來劇烈氣候發生之頻率有增加趨勢，造成對公共道路的影響亦越來越大，因此公路總局基於「防災重於救災、預防勝於治療」概念發想公路防災預警封路作業，其關鍵點是封路時機，為了爭取封閉公路、橋梁預警作業時間，依橋梁及山區道路屬性的不同，發展出「橋梁流域管理」及「山區道路風險管理」兩大管理概念及執行方法，「橋梁流域管理」方法乃利用水從河川上游集水區，流至下游橋梁需經過一段時間，所以當掌握上游的雨量大大於下游橋梁可承受的能力時，即可把握時間執行預警應變，另外針對瞬間強降雨將導致山區公路崩塌災情，以雨量大小分級管理預警封路作業的「山區道路風險管理」方法。

不論是「橋梁流域管理」或「山區道路風險管理」方法，其重點在於整合所有情資並加以利用，而首要的是需掌握公用道路邊坡、橋梁設施特性及相關氣象情資，將危害性較高之公路、橋梁依其區域實際降雨等級分為黃色預警（注意）、橙色警戒（建請勿入）及紅色行動（管制封閉），並依序朝上述不同等級雨量執行公路防災作為。每次颱風豪雨事件後皆檢討其雨量操作值，以期同時降低用路人因封路造成不便與行駛較高致災風險公路之機率。

各階段實際執行作法：當雨量達預警等級（黃色警示），通報地方政府、當地派出所及管制站人員對現場進行警戒，該路段維持通行；達警戒等級（橙色警戒），針對可能出現零星落石及小規模土石坍流，採隨坍隨清處理，於管制點人員勸導遊客避免進入該區域；行動等級（管制封閉，紅色燈號），針對公路邊坡 AB 分級所採列一級監控路段，經研判後續仍有持續降雨趨勢，路段得封閉；對二級監控路段，保全或開口契約廠商應駐點守視，其路段管制原則為維持通行，惟若路段內出現坍方、缺口、下陷等災情徵狀，或在路況不明確狀況下得予以暫時封閉。另針對颱風事件之劇烈天候影響，公路總局建立「公路防災預警機制」預判、部署、預警及應變 4 階段作業逐步啟動指揮決策及預警封路作業，並於災中應變期間不斷透過氣象情資及遠端、現場公路監控，修正管制及預警封路之時間地點，視防災為作戰任務，並多方面發布通告訊息，以達到超前部署的高成效。

在日本防災經驗之部分，針對劇烈天候下之應變，係以日本氣象廳發布之各項警報，其警報係屬通盤式防災通報，於颱風、豪雨特報期間，日本媒體轉氣象廳發布之預報累積雨量，及最大時雨量，呼籲民眾小心防範可能會發生災害地區及災情(如淹水、崩坍或土石流)。另各設施業管機關、單位、公司，係依據相關設施建立「土砂災害警戒情報」，依觀測、預報、警報、避難勸告及強制執行避難或禁止通行使用。依據 Toshiyuki Kurahashi (2008) 分析日本 1990~2004 年期間 1310 個公路崩塌災害發生數，發現約有 90%的崩塌災害是因為降雨造成，且 80%是表層破壞造成的崩塌(參考資料來源：Toshiyuki Kurahashi, Yoshinori Yajima and Yasuhito Sasaki, 2008,Landslide disasters and hazard maps along national highways in

Japan)，而其餘 10%的崩塌災害可能是因為地震、風蝕或潛移等因素造成，尚難掌握，其不確定性亦所謂的風險，而可有效掌握的情報是降雨因子將造成災害或大或小的發生，因此豪雨的情報係為公路防災預警之重要因子，此部分國內目前防災預警機制業與先進國家一致，惟經討論及考察發現，各項警報發布所採用之降雨指標，日本係以事件累積雨量為主，另搭配小時雨量操作，其除於預報資料亦多方顯示發布外，亦於各設施管理操作上大幅使用實際之累積雨量值。而目前國內以氣象局實際雨量發布係以小時、3 小時、6 小時、12 小時、24 小時、48 小時等時距間隔性雨量為主，如現行公路總局採用之降雨多重指標操作值，亦以上開間隔雨量(大部分採用 24 小時及時雨量)作為降雨指標，而日本係以事件累積雨量搭配小時雨量操作。事件累積雨量在日本又稱之連續雨量，係事件雨量以前後至少 6 個小時以上降雨為 0，期間之總雨量為連續雨量，另以高速公路管理單位 NEXCO 中日本之禁止通行雨量指標，亦為連續雨量及時雨量，雨量單位為 mm(毫米)，詳表 1 (參考資料來源：<http://c-ihighway.jp/web/rainfallInformation/>)。

表 1 NEXCO 中日本之禁止通行雨量指標

路線	管制區間	觀測站	禁止通行基準值(單位:mm)		
			連續雨量	組合雨量	
				連續雨量	時雨量
中央道	上野原~大月	鶴川橋、中野橋、大月	330	180	40
	大月~笹子隧道西側	大月、天神沢橋	330	180	40
	笹子隧道西側~勝沼	日影隧道	250	190	30
	甲府昭和~須玉	甲府昭和、日之城、須玉川	310	230	35
	須玉~小淵沢	須玉川、女取川	220	170	30
中部橫斷道	雙葉結~白根	釜無川橋	310	210	35
長野道	岡谷交界~鹽尻	岡谷、鹽嶺隧道	210	150	25
	鹽尻~鹽尻北	鹽嶺隧道、奈良井川	180	130	25

日本之防災經驗亦強調災害預防係以災情發生後擴大範圍進行調查，如 103 年 8 月 20 日 2 時，滯留鋒面停滯於廣島地區，造成該地區短時間降下驚人雨勢，3 小時內降雨量相當當地 1 個月份累積降雨，當地雨量觀測站（廣島三入雨量站）於凌晨 2 時 20 分測得 10 分鐘雨量均超過 10mm，最大 10 分鐘雨量約發生於凌晨 3 時 20 分達 20mm，凌晨 2 時 30 分連續測得時雨量均超過 60mm，最大時雨量於凌晨 4 時測得約 100mm，事件 24 小時雨量約 250mm；事件造成當地十多處山坡發生重大土石流災情，由該事件後日本各產官學界亦投入監測資源掌握災點及臨近地區之滑動等行為，尤其可作為工區管制及預先停工參考，另針對工區目前日於 105 年熊本地震多處災區復建工區亦搭配自動化系統施工，避免人員曝露於高危險條件下。在公路邊坡降雨監控禁止通行部分，以高速公路而言係使用連續雨量及時雨量，在國道而言（在臺灣係指省道或縣道），一般而言係使用連續雨量（於 2015 年起於多條國道或合併小時雨量操作），當連續雨量達律定值或根據研判設施安全性降低時，則禁止道路通行，因降雨、地震、強風等因素限制通行之例已行之有年，惟開放通行時較不具彈性，需有邊坡相關研判安全性方能開放，這亦是目前日本因降雨封路遭遇之關鍵問題。

此行臺日公路防災經驗交流共參訪日本 4 個主要執行災害崩塌技術監測、研發及防治之企業，以參訪順序說明如次：於亞洲測量株式會社與哈斯部長、千葉先生（紅色立體地圖發明者）、小野田先生、山田先生、水谷部長、河村和夫部長進行研討，會中更以國土交通省之公路防災政策，分享其災情掌握可透過 TOYOTA 等汽車大廠開發之車輛定位掌握公路通阻情形。於國土防災技術株式會社進行日臺地質災害對策技術交流會（圖 2），由技術本部開發部小川內良人部長進行深層崩壞調查對策報告，龍見課長說明 SL 3DMap 測量技術研發報告，關東支社東支社長新型地錨鋼材維持管理，其深層崩塌監測及地錨鋼材之汰舊換新係防範災害發生之具體執行方法。

在 OYO（應用）地質株式會社與三上代部長、岡田部長、小澤先生、宮崎先生、東京支社中川支社長、蚊爪先生、山內先生、北原部長及吉田部長進行崩塌監測、路面透地光達技術及相關防災經驗交流（圖 3）。另外於國際航業株式會社係與田中部長、飯島課長及織茂部長，主要針對災害風險較不確定之落石災害，如何尋求高科技防範方法，會中以 GPS 經驗分享（圖 4），惟其預警時間亦為科技研發期能再突破之議題。

本次綜整臺日防災經驗成果，可就其災前整備、災中應變及災後復原分述，以災前整備部分，降雨因子納入各項設施執行防災預警重要指標，而且其降雨因子必採連續雨量之概念，另災中應變部分係以高穩定 GPS 定位及網路監控系統掌握災情，在災後復原部分乃就災因管理，擴大監測災區狀況，並通盤列改善計

畫以提升設施抗災力，在設施未達相對應抗災能力前，即禁止該設施之使用，爰防災管理係基於設施完成相對程度補強後之輔助手法，故吾人亦應思考全面公路邊坡分級改善補強方為防災之基石，另再輔以科技監控及預警管制作法必然可事半功倍，以降低用路人之罹災機率。

## (二) 潛災判斷分析模式及崩塌監測研討

探究日本針對崩塌之潛災判斷分析，係針對公路邊坡進行道路危險度之判定，是先以邊坡概略調查潛在危險邊坡之各項災害潛勢因子，再結合邊坡詳細調查結果，其調查最主要為律定危險度，以崩壞機率、滑落高低研判分級，並針對個案導入邊坡模擬分析，以各邊坡安全性係數衡量各個邊坡的危險度。其中若災害潛勢因子主要為降雨或複合式災害，如深層崩坍災點可透過模擬分析以降雨造成地下水位上升情形致邊坡穩定性降低，進而得到公路禁止通行之連續雨量及時雨量值，當某路段之降雨達土砂災害情報之警戒標準，即執行交通管制封路。

前述邊坡概略調查及詳細調查需依據日本產、官、學所訂定的相關規範（如總點檢實施要領之道路坡面之土構造物編），及編訂相關設施使用、設計手冊（如日本道路協會之「落石對策便覽」）執行，基於手冊律定之原則，另針對大範圍調查或人力成本降低考量，於現行實作面皆輔以高科技方法達事半功倍之效，其方式係以土砂災害事前想定及過去災害地形經驗，運用數值高程模型(DEM)，並考量公路邊坡管理現況問題，如全路段特定區位現地調查相當繁複且費工費時、遙測航照、衛星影像及光達影像仍有不足之處、降雨並非崩塌充分必要條件；因此，為妥善省時省力大面積調查邊坡狀況，可透過使用DEM資料強化其呈現，以供改善及設計判斷，甚而進行防災管理，係以無人飛行載具(UAV)瞭解災區災害情形，並以UAV或飛航機具搭配最新空載光達(LiDAR)技術，進行崩塌地大範圍地形雷射點雲掃描，並根據掃描點雲成果產製數值地形資料，或色調強化如紅色地圖等地質分析工具；針對DEM或光達技術加值運用在日本有數項研究，亦在日本空間情報展呈現測繪技術應用於生活及防災之多種實例(圖5)，此外，該情報展內也有各項影像處理技術暨應議題之發表(圖6)，以下就DEM加值於影像服務之紅色地圖及SL3DMap分述說明應用。

紅色立體地圖針對尚無法掌握公路邊坡的地表微地形之呈現與判釋，可顯示其優勢；傳統航測因可見光無法透視，而無法測量在DEM數據的使用，如植物生長將覆蓋邊坡而無法真正得知實際邊坡情形，紅色立體地圖能與地形圖套合，並利用色調強化技術提供加值服務，在應用上針對等高線使用不熟悉的人，亦能輕易理解地形狀態，紅色地圖可以提供崩塌地、地滑(大規模崩塌地)、各級道路、河溪形態、河階台地、溪床堆積物、扇狀地堆積物、蝕溝、小崖崖錐堆積物、工程構造物及各種保全對象等多樣資訊，主要優點可於錄影檔案直接處理，簡化傳統單張影像鑲嵌程

序，並可於任何尺度的DEM資料，產製紅色立體地圖。技術應用上透過套疊或組合等高線、地質、植物生長、正射照片及陰影等其它資料，可製作各式圖表；其顯示接合後影像色調連續，尤如手術燈照射近似垂直投影其高差位移誤差較小，亦可放大縮小各種尺度。

在SL3DMAP解析技術部分亦提供深層崩塌之判釋使用案例，針對以前坡度圖、等高線圖等地形解析圖，較難直接顯示出局部微地形特徵(如山峰、山谷、局部崩塌等)，SL3DMAP可較佳呈現這些局部微地形特徵，係以航空光達測量取得地形數據，再使用斜面微分三軸數值高程模擬地圖優化其解像度，以得知詳細地形情形，在GIS應用與DEM結合，呈現3D畫面，顯像成果可應用於深層邊坡崩塌模擬分析。

前述各種DEM影像加值服務，其共通優點係強化等高線圖不易判讀之特性，透過加值服務其顯像成果，可應用於邊坡崩塌模擬等計算或改善工程設計等，惟其係為前端之邊坡特性資料之提供，若進一步需掌握邊坡狀態，將進行細部調查或實地勘查或監測，以深層破壞(滑坡)實例而言，針對2011年紀伊山發生深層破壞作為探討該坍塌首先透過空中電波探查範圍，並於後續設置監視(測)設備對已發生深層破壞邊坡進行安全性掌控。

針對深層破壞的對策，係首要對已發生深層破壞斜面的監測，其破壞行為與降雨的關係，為邊坡水位上升致穩定性下降，經統計且當連續雨量達400mm以上時，於日本有多起深層崩塌之發生(參考資料來源：後藤宏二，2012，國土技術政策總合研究所講演會)，因此日本針對深層破壞(滑坡)之對策，係採實際監測位移、傾斜及地下水水位面分布，並使用Web GIS系統整合主題資訊應用，包含建置資料庫，易致災因子大數據分析及預估、監測、預警系統(公路邊坡、橋梁檢測、地震、土石流潛勢溪流、高淹水區等)，另以系統資訊模擬(潛在崩塌土體三維運動模擬)邊坡安全性。

於公路邊坡崩塌暨防災管理部分，針對危險度分級後再則進行現地調查，掌握邊坡自然或異常狀態，如埼玉縣公路邊坡自然復育(圖7)，係平常性一般公路養護管理，另針對各種異常事件所導致的災害崩場地，如熊本地震之阿蘇大橋、赤岩地區等地點，日本以產、官、學合作監測及研究該區域之邊坡狀態，為2次致災提早因應處置，其實際監測運用上為無線傳輸傾斜計(圖8)、水位計或GPS等量測器具，以進行安全性研判。

公路總局現行公路邊坡分級管理作法，以透過中央地質調查所各項地質災害潛勢圖層及現場勘查結果，全面體檢山區公路邊坡並建置邊坡資訊管理系統，將其分為A、B、C及D級4級邊坡，其全面性分級管理係以日本概念相同，但其危害度較高部

分，日本採優先監控並進行安全性分析，並搭配雨量管理禁止設施使用或停止施工等作為，反之國內於近年來因大規模災害之發生以颱風、地震而言，雖已逐漸強調防災管理，如颱風、豪雨影響相關區域時，為避免人命傷亡之撤離及禁止設施(如鐵公路)等之使用作為；而實地監測及工程改善雖同步進行，惟尚缺整體性監控及工程改善全面性計畫支持，較難呈現災修控制之整體作為，且防災管理亦受限風險考驗，爰同步全面性提升邊坡抗災能力，或針對豪雨災害之實地監測安全性分析，才可有效達降低用路人罹災之機率。

### (三) 公路橋梁工程及防災工法參訪

此行於11月25日參加日本橋梁調查會辦理之第4屆國際橋梁研討會，由JFE鋼構造本部海外事業部須藤部長等，針對道路整備狀況及橋梁建設情形進行簡報，會中報告日本基礎建設及其發展著重永續，而其今後課題為安全基準、環境基準等法令整備、維持管理體制，並提升設計、施工技術，及建設機具器材之充實(參考資料來源：須藤聰，2016，世界橋梁建設國際研討會講演集)

另日本針對公路、邊坡等防災工程之永續維持經驗分享，主要起源於中央自動車道笹後隧道崩塌事故2012年12月頂拱崩落造成9人死亡，其因鋼筋老化引發設施維持管理及長壽命化重視，亦即設施永續維持(圖9)，如邊坡改善維持使用之地錨經過50年以上使用，其耐久性降低，因此需經劣化檢查及使用調查(圖10)，擬定健全度判定結果，並採新式地錨鋼材取代舊式地錨鋼材以掌控相關安全性；地錨鋼材分階段調查更新係以外觀調查、健全度判定、詳細調查、對策判定、補修設計工事等程序，其中外觀調查包含確認邊坡是否湧水情形、受壓板是否龜裂變形，及防銹油是否漏出等異常項目，另外詳細調查部分包含採用荷重計量測、變位關係及地錨頭部以及本體檢測。

1990年以前的舊式地錨鋼材負荷性能較低，且舊式地錨鋼材沒有防腐蝕層，因此容易腐蝕、斷裂，為防止舊式地錨鋼材斷裂，而於頭部加強固定之設置防止脫出措施，為檢測鋼材異常變形狀況，於使用上特別開發高性能變位計與荷重計等器具，比傳統式更具通用性及維護費用較低廉，另外亦搭配檢測結果更換新式地錨鋼材以維永續使用，新式地錨鋼材使用了防腐保護套或環氧樹脂保護PC鋼索，地錨之維持管理採5年1次地錨鋼材檢查，日本現行已檢查約2萬個地方需更換，並預估歷程15年逐步完成更換成新式地錨鋼材。另針對橋梁等鋼板腐蝕環境評估技術部分，主要為變形、龜裂，腐蝕，定量的分析其劣化評估技術，以UAV拍攝圖像並以3D技術處理，可取代高空橋梁查車無法達到之場合，運用UAV影像處理，可進而縮短工期或節減經費，UAV及光達設備亦透過保險方式以降低損壞造成財產之極大損失。另一永續維持

議題係為路面空洞之對策，路面洞發生原因主要為水管破損，大量水滲流造成地下孔洞增加，地下空洞將造成路面沈陷之發生，亦可能發生重大災情，一般檢測係針對可能地點之選定，尤其是滲漏地點，運用土層強度檢查棒檢測分析是否空洞，另針對大範圍之檢測，為節省人力及經費，亦輔以路面下空洞探查車，進行路面下探測，車行最高速度可達每小時80公里，發射頻率判斷分析空洞之產生及位置。以國土交通省資料其管路施設道路因地下空洞造成沈陷於2013年約3,500件，因此調查地下空洞亦是日本永續維持設施之重點項目之一。

針對公路邊坡之災害防治，其中風險有極大不確定者以落石之發生為最，因此以落石為災因建置之監測系統，可能因時間無法即時提供應變作為，而降低其實用性，故針對落石之防範需以調查分析及工程改善為主，防災監控管理為輔，因為落石產生多無徵兆，難以預知，其運動方式有自由落體、彈跳、滾動和滑動，對落石的運動路徑以及運動速度，在一定程度上對其能量的推定，爰針對落石的防治對策需針對已有落石產生的邊坡進行安定度調查(圖11)，確定具有落石潛能，需要防治的邊坡，並透過落石防治工法改善，在日本防治落石之工程係採明隧道、落石防護網與防護柵，其工法亦都運用於臺灣內，惟實地考察發現其道路防災設施設置的密度相當高，且搭配之工法亦會透過安定度分析，設計適合該區之落石或土砂衝擊時之防落石設施，如明隧道或防護柵加設緩衝材消散大部分衝擊力。防災工法之落實除分析調查施工外，其工區規劃、管制通行(圖12)及替代路線引導(圖13)，亦為日本針對工區保障施工者及行經者安全之重視，故針對較危險性工區，日本亦朝自動化施工取代人力，以降低施工者發生職災之機率。

#### (四) 豪雨的災害情報使用及公路預警機制研討

因豪雨的情報為公路防災預警之重要判斷依據，查日本一般國道通常僅採連續雨量之基準，詳表2(參考資料來源：<http://www.road.ktr.mlit.go.jp/info/jizen/all/all.html>)，惟經此行考察發現日本國道預警封路之降雨量指標，已於2015年後亦採用事件累積雨量(連續雨量)、及連續雨量搭配小時雨量之2種方式操作，惟對外發布之訊息仍以連續雨量為主，其內部操作亦已參考連續雨量搭配小時雨量之方式。另即使降雨未達到標準，惟事故和道路條件下，仍由道路管養單位依其必要性執行禁止通行之發布及作業。另因日本之國道與高速公路銜接部分其先後達降雨預警封閉標準時，亦依其因銜接部分由管養單位禁止通行，係為橫向單位中同步執行防災預警作業，且相關資訊亦同步於網站揭露予民眾。

表 2 關東區域豪雨禁止通行規定

路線	管制區間		禁止通行基準雨量	觀測站
	管制開始地點	管制終止地點		
國道 17 號	群馬縣利根郡水猿 京都温泉	新潟縣南魚沼郡 湯沢町三國	連續雨量 150mm	三國、猿京都
國道 18 號	群馬縣安中市松井 田町横川	長野縣北佐久郡 輕井沢町大字輕 井沢	連續雨量 150mm	入山鏈解站
國道 18 號	長野縣長野市豊野 町川谷	長野縣上水内郡 飯綱町倉井	連續雨量 150mm	川谷
國道 19 號	長野縣東筑摩郡生 坂村池沢	長野縣長野市大 岡川口	連續雨量 130mm	生坂、野平、雲 根
國道 19 號	長野縣長野市信州 新町日名	長野縣長野市信 州新町大原	連續雨量 130mm	日原、信州新町
國道 19 號	長野縣長野市信州 新町杖突	長野縣長野市七 二會笹平	連續雨量 130mm	信州新町、水 内、瀨脇
國道 19 號	長野縣長野市篠之 井秋古	長野縣長野市小 市	連續雨量 130mm	瀨脇
國道 20 號	東京都八王子市南 浅川町	神奈川縣相模原 市綠區千木良	連續雨量 150mm	大垂水
國道 20 號	神奈川縣相模原市 綠區與瀨	神奈川縣相模原 市綠區吉野	連續雨量 150mm	相模湖
國道 20 號	山梨縣上野原市井 戸尻	山梨縣上野原市 腰卷	連續雨量 300mm	上野原
國道 20 號	山梨縣上野原市四 方津	山梨縣大月市梁 川町新倉	連續雨量 200mm	梁川
國道 52 號	山梨縣南巨摩郡南 部町境川	山梨縣南巨摩郡 南部町越渡	連續雨量 200mm	萬沢
國道 52 號	山梨縣南巨摩郡身 延町波木井	山梨縣南巨摩郡 身延町波古屋敷	連續雨量 150mm	古屋敷
國道 127 號	千葉縣南房總市富 浦町南無谷	千葉縣南房總市 小浦	連續雨量 200mm	小浦
國道 127 號	千葉縣安房郡鋸南 町元名	千葉縣富津市金 谷	連續雨量 200mm	元名

另外在高速公路而言是採事件累積雨量(連續雨量)，及連續雨量搭配小時雨量之 2 種方式操作，單一採用「連續雨量」之基準是觀測過去大規模連續降雨，其中最易引致土砂崩落災害之經驗訂定，超越此基準之雨量即屬異常。另連續雨量搭配時雨量之操作方式，其中時雨量指的是降雨強度，亦即該強度係將造成地水水位之抬升，以致邊坡不穩定，該值係以邊坡排水量為參考值，另以個案使用模擬分析水位變化及安全性評估，進而推定時雨量。

在公路防災預警機制部分，日本認為無論是崩塌、事故、淹水等涉及人命傷亡之災害，災害傷亡是其結果，而各種災害必須探討其發生原因，如本次考察報告所述 2012 年 12 月中央自動車道笹後隧道崩塌事故，探究其災因為鋼筋等老化為主因，爰引發日本對設施維持管理及長壽命化重視，因此，如公路崩塌災害其發生的原因，可分為設施邊坡本身性質條件，或者為外在因素如地震、颱風、豪雨等異常現象導致；當然兩者間之相互複雜作動關係，超出其穩定條件時，就造成災害的發生；但以現今科技仍無法針對兩者之複雜關係全面性掌握，故災害風險必然存在，惟為降低風險而考量外在因素之豪雨情報便是首要關鍵，豪雨的情報亦誘導土砂災害情報之發布，係其公路防災預警機制啟動之重點。

另除豪雨情報運用於公路預警機制外，此行亦走訪東京都於防災整備及情報發布之防災宣導使用，東京都為了讓每一個家庭都能很好地應對地震、豪雨等各種災害，製作了防災手冊《東京防災》(圖 14)，《東京防災》充分考慮東京的地域特性、都市結構以及都民的生活方式，總結了災害的事前準備、災害發生時的應對措施等，具有實用性並在災害發生提供有用信息，內容簡單易懂，是一本完全根據東京情況製作的防災手冊，內含緊急避難事前準備事項及避難時之必需用品(圖 15)。

針對震災之防治宣導，東京都亦於相關防災教育館介紹大地震時其土壤液化其上建物之傾倒模擬(圖 16)，及地震震坡 P 波 S 波傳遞振動變化(圖 17)，係以地震之強大破壞力及相關運動行為強化民眾對議題之關注；另於大地震發生時為利救護、消防車等通行，在震度 6 級以上地震時禁止車輛通行(圖 18)，以利緊急車輛通行；首先依據道路交法實施第 1 次交通限制，以期道路上的安全，並保障救護消防車輛順利通行，再依據災害對策基本法實施第 2 次交通限制，確保緊急通道，順利進行救災活動。若發生地震震度在 5 級或以下時，也依據道路交法根據災害情形實施需要的交通限制。

在颱風、大雨或豪雨之災害宣導部分，強調需時常關注最新的天氣預報，保護自身不受災害的侵害，並確認災害預測圖(防災地圖)，事前檢查哪些為危險性比較高的場所。當豪雨和颱風有可能引發災害時，日本氣象廳會發布預警報，對

於容易受到風雨影響的地區，提前進行避難行動之準備與支援規劃。很可能引起重大災害時，發布警報對符合條件的地區要求加強警戒，請民眾掌握避難情報，必要時迅速避難。另外，在很有可能發生大大超過警報的發布條件時，如數十年一次的重大災害時發布特別警報，符合條件地區的民眾必須立刻轉移到安全的地點。(參考資料來源：日本防災手冊《東京防災》)

### 參、心得及建議

為能客觀且即時呈現公路風險程度，以往公路總局係以豪雨與設施破壞(公路阻斷災情)之經驗值研判致災雨量，惟於 104 年以蘇花公路為例採歷史大數據分析延析公路風險，主要控制策略為降低用路人罹災機率，亦即以用路人之車流量當成曝露度，而曝露度降低其罹災機率隨之降低，故有鑑於災害發生的時間與規模之不可預測性，致災風險必然存在，而臺日雙方亦面臨相同問題，此行過程中與日本相關技術單位，進行密集性防災交流與經驗交流，並對其崩塌潛災對策及豪雨災害情報運用於預警機制多有瞭解及受惠，爰此次考察對於潛災判斷分析模式與豪雨的災害情報使用及公路預警機制得如下：

1. 因豪雨等災害因素而預警禁止條件區域內公路等設施之使用，此部分日本與臺灣亦有相同作法及概念，惟其豪雨情報上之使用亦更細緻化，且探究其主因為一般而言，其設施安全係數足以承受平常(非異常)雨勢之侵襲，如日本各項警報發布所採用之降雨指標，係以事件累積雨量(連續雨量)為主，連續雨量為觀測過去大規模連續降雨，其中最易引致土砂崩落災害之經驗訂定；而目前臺灣之公路管養單位因以氣象局實際雨量發布係以小時、3 小時、6 小時、12 小時、24 小時、48 小時等時間間隔性雨量為主，且多以 24 小時(日)雨量再搭配小時雨量之指標執行，此部分係國內因應經驗標準律定，且若條件解除亦可同步經設施檢查後開放通行，相當具有可操作性，而日本採連續雨量之指標其主要操作困難點係為開放通行時機，現行作法主要透過產、官、學界專業研判其安全性後開放；經綜整雙方經驗後，思考國內之封路指標係以經驗及風險控制，故針對指標部分並非必須與日本相同，惟其公路設施如邊坡之防治需以承受對應雨勢之整體性改善，以提高其安全性。
2. 在災害潛勢調查部分，日本有多種針對國土 DEM 數值模型資料之運用，其運用使得測量圖繪顯像更精進，亦可使用於崩塌地之安全性模擬分析，在臺灣雖亦有相關應用之研究及模擬分析，惟其精度較高之 DEM 資料及相關關鍵設施建置情形之取得方式仍有其限制，如此該研究發展較無法全面性拓展。
3. 防災預警除豪雨情報配合設施養管單位之操作外，於災中之應變亦為防

止災害擴大主要的考驗，現行日本係以災中運用車輛 GPS 數據，運算各道路阻礙通行情形，當車輛受阻時亦利用 CCTV 或人員查報確認該路段之狀況，其車輛 GPS 數據之動態資訊亦透過日本車廠之網站顯示，可見防災預警之作為係民間與官方共同重視之關鍵議題。

4. 吾人應有正確之觀念，劇烈天候下，尚未達封路標準前之罹災風險最高，因此風險即時傳遞與安全駕駛的離災觀念同等重要，此部分日本亦同臺灣之防災觀念及作法，惟其政府對民眾之防災宣導策略及傳遞之防災信念強度仍有其差異性，如日本民眾收到地震、豪雨等警報後之避難觀念較為落實，因其主要信念為政府針對設施之防災工作，已針對相關脆弱點控制在一定程度下，惟當警報發布亦指異常事件已然超出控制程度，此時需要民眾自行避災、離災以降低曝露度，進而降低人員傷亡之機率。

針對建議如下：

1. 資源調配以利著重防災工程全面性改善，係以建議全面性風險及資源考量進而提升公路工程之養護、防災及調適能力，針對山區道路崩塌防治部分，應以國土整治調查為底，運用高精度 DTM 數值地形模型或 DEM 數值高程模型之資料，以國土安全性考量亦即考量結合公路邊坡分級之作業，以高風險(包含高脆弱度及高曝露度特性)，分列短中長程全面性公路邊坡防災工程計畫，經調查、安全性分析、改善計畫(含落石防治)、依風險列期程及經費執行，再經由防災管理輔助其異常因素(如強颱、超大豪雨等劇烈天候事件)之調適能力，先藉由防災管理於異常條件時限制公路設施之通行及使用，等異常條件解除後再重覆調查、安全性分析，及考量風險改善設施以恢復其足以抵抗一般天候侵襲，再則若無異常因素亦需間隔性時距(如 5 年)全面盤點設施安全性(設施老化、邊坡、地錨、橋梁檢測)，並調配資源以應高風險公路、橋梁之改善，維持及調適其正所謂永續經營之理念及作為。
2. 防災管理由災前整備強化至災情即刻掌握，即災中之應變能力亦為防止災害擴大主要的因素，現行臺灣於災中使用 CCTV 等監控設備掌握現地狀況，惟其傳輸及影像穩定性倍受風雨之考驗，另則日本係以災中運用車輛 GPS 數據，運算各道路阻礙通行情形，當車輛受阻時亦利用 CCTV 或人員查報確認該路段之狀況，其車輛 GPS 數據之動態資訊亦透過日本車廠之網站顯示，可見防災預警之作為係民間與官方共同重視之關鍵議題，爰建議提升 CCTV 遠端監控影像系統及 VD 車輛偵測器之承受風雨及穩定性運作能力，係為電力中斷、傳輸考量，可考量備用電池電力及無線、有線互為備援傳輸設

備等抗災性改善，並於公路防災管理時妥為應用遠端設備或偵測器等掌握道路通阻之情形，亦可透過 CCTV 及 VD 資訊共享，以產、官、學之衛星定位資訊整合運用，可較全面性及科技化地針對防災監控技術研發及發布。

3. 災後即時災情勘查及搶救災路線規劃，建議現地評估 UAV 無人飛行載具預先災情規劃，及針對作為救護、消防車輛之使用及疏散避難用途之緊急搶救災路線，設置牌面強化防災應變宣導，期達全民防救災共同重視及整備理念。

#### 肆、 附錄：圖片說明



圖 1 與亞洲測量株式會社防災經驗交流



圖 2 國土防災株式會社進行地質災害對策技術交流會



圖 3 與亞洲測量株式會社防災經驗交流

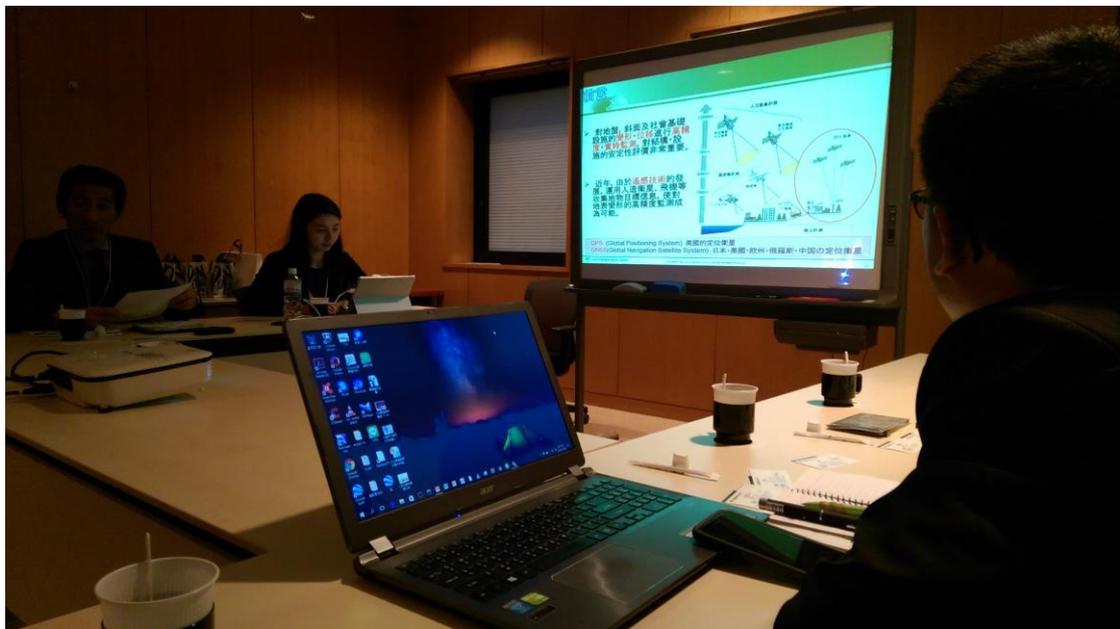


圖 4 於國際航業株式會社 GPS 技術經驗交流

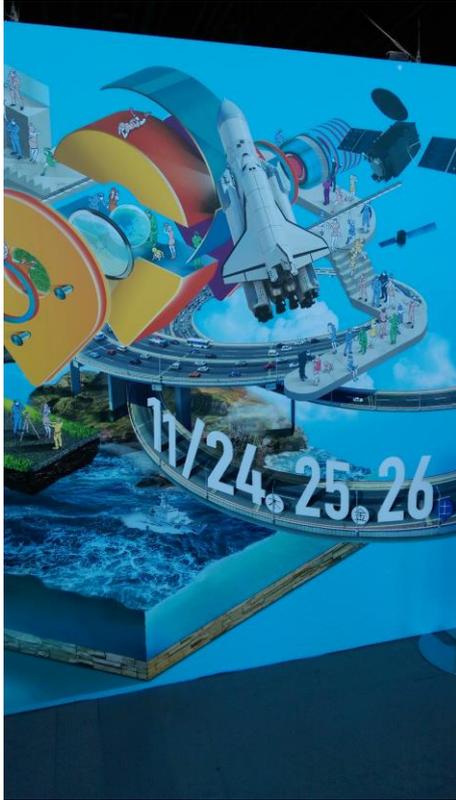


圖 5 空間情報展呈現測繪應用



圖 6 空間情報展成果発表各項議題



圖 7 埼玉縣邊坡自然現況

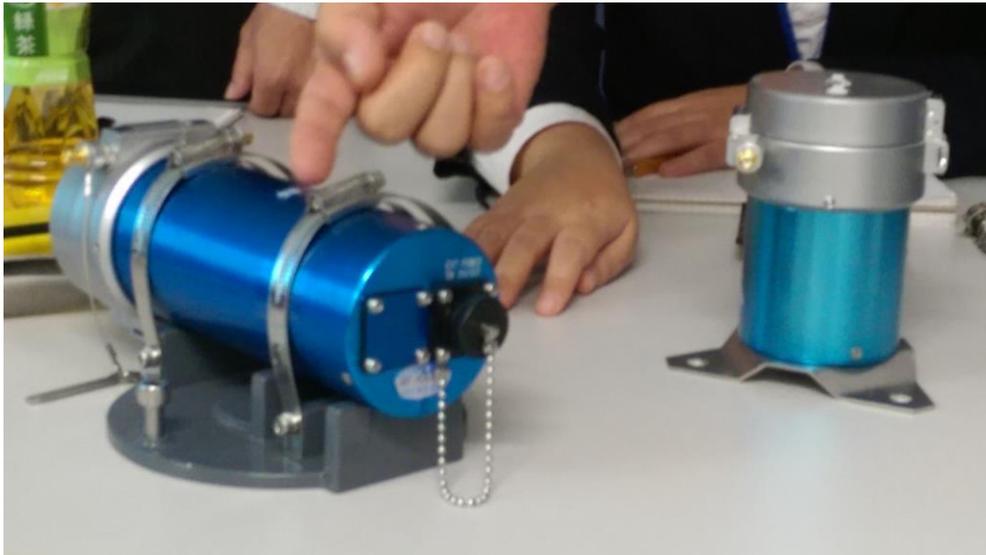


圖 8 無線傾斜儀子母機介紹



圖 9 日本針對設施永續經營之重視

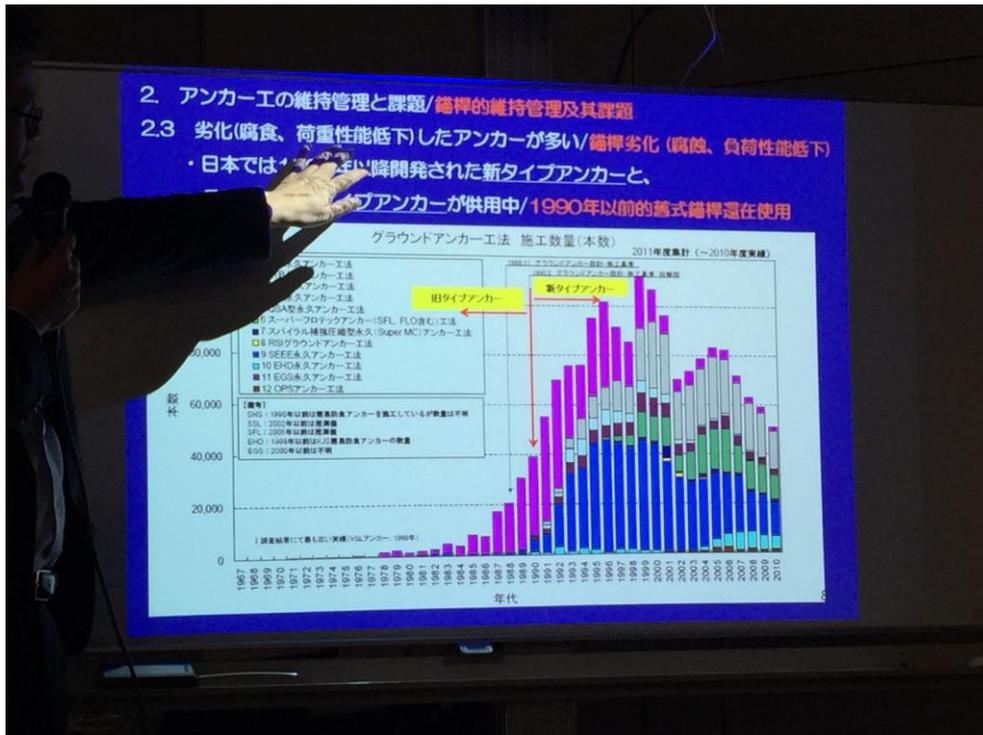


圖 10 新舊地錨鋼材使用調査



圖 11 落石防治經驗交流



圖 12 工區管制



圖 13 替代路線引導



圖 14 東京都防災手冊及防災地圖



圖 15 緊急避難必需用品



圖 16 土壤液化致建物傾倒模擬



圖 17 地震震坡 P 波 S 波傳遞振動變化



圖 18 大地震緊急救援路線禁止通行標示