



# 他山之石-堰塞湖處置之日本經驗

文／圖 ■ 臧運忠 ■ 國立成功大學防災研究中心副主任

## 一、前言

臺灣近年受地震與極端降雨影響，山區形成堰塞湖之頻率有增高的趨勢，由於堰塞湖災後可供調查、應變及處置之時間相當短，其災害規模卻又可能造成嚴重的損失，因此，平時即應針對堰塞湖調查、評估及處置作業所採用之方法、工具與程序進行檢討及研訂，方能在災害發生後於最短的時間進行妥善處置，減低二次災害可能的威脅。

鄰國日本之地形、地質與氣候等條件均與臺灣相近，在過去的 200 年間（統計至 2011 年紀伊半島大水災）因地震、豪雨或火山爆發造成河道阻塞形成堰塞湖之案例，共計有 26 個地區發生 87 處，累積了許多寶貴的處置經驗，並隨著災害經驗的累積逐年檢討與修正，建立了許多可供臺灣採參的制度及方法。2004 年新潟縣中越地震堰塞湖處置過程檢討後發現地方向中央請求支援過程所出現之時間延宕可能造成災害風險擴大，2008 年即創設緊急災害對策派遣隊（TEC-FORCE），於重大災害發生後，由中央主動且迅速地提供地方（都道府縣・市町村）必要的支援；2010 年修正土砂災害防止法，明文規定中央及地方在緊急調查實施以及緊急資訊公布的權限及

責任；近年於 2004 年新潟縣中越地震、2008 年東北地區岩手宮城地震以及 2011 年於紀伊半島大水災，災後針對不同規模堰塞湖之處置對策以及發生緊急狀況之應變作為，無論成功與失敗的案例均值得我國借鏡與參考。

本文內容主要參考日本國土交通省國土技術政策總合研究所土砂災害研究部砂防研究室長櫻井亘博士來臺發表大規模河道阻塞對策之演講資料，針對近年日本政府在法令與應變體制上之變革以及 2011 年紀伊半島大水災之堰塞湖處置對策進行介紹，期能提供我國未來在法令及對策面檢討及強化參考。

## 二、日本緊急災害對策派遣隊 (TEC-FORCE)

TEC-FORCE（Technical Emergency Control FORCE）是日本政府於 2008 年 4 月所創設的一個組織，直屬於中央國土交通省，其最重要的任務是在重大災害後，協助地方（都道府縣・市町村）快速掌握災害狀況，並針對防止災害擴大之處置作為提出具體的支援或技術性建言，避免地方向中央請求支援過程中出現時間延宕而導致災害風險擴大。TEC-FORCE 協助執行之工作內容包括災害狀況調查（空中

及地面），專門機具及材料的支援（例如衛星通訊車及排水幫浦車等），協助地方建立現場指揮與支援體系以及對地方首長提供決策建言等。TEC-FORCE 所完成之調查結果須以淺顯易懂的方式向地方首長解說並提出建議，包括災害現況、那些地方危險，避難要往哪裡去，以及現場警消防人員在現場作業之安全性等。特別值得一提的是，除了派遣專家提供技術協助外，TEC-FORCE 同時派遣資訊聯絡員進駐地方，擔任中央與地方聯繫與溝通之橋梁以確實掌握地方實際需求，也讓各項資訊能夠無縫傳達。

TEC-FORCE 是日本國土交通省特有的任務編隊，在全日本共有 7,728 名隊員（圖 1），統計至 2015.10），主要成員是以全國各地方整備局的職員為主體（共 7,296 名），另國土交通省本省、地方運輸局、航空局、國土技術政策總和研究所、氣象廳、國土地理院等單位亦指派各類專長領域的人員加入 TEC-FORCE，TEC-FORCE 於災後第一時間即前往災區提供調查及處置之技術指導與支援，也包括堰塞湖潰壩之影響範圍模擬。TEC-FORCE 配有許多特殊的機具設備提供調查及緊急處置使用，包括直升機、衛星通信車、排水幫浦車、緊急照明車以及各類監測設備（圖 2），因此成員平時需定期接受訓練以學習各種新技術並熟悉機具及設備操作。

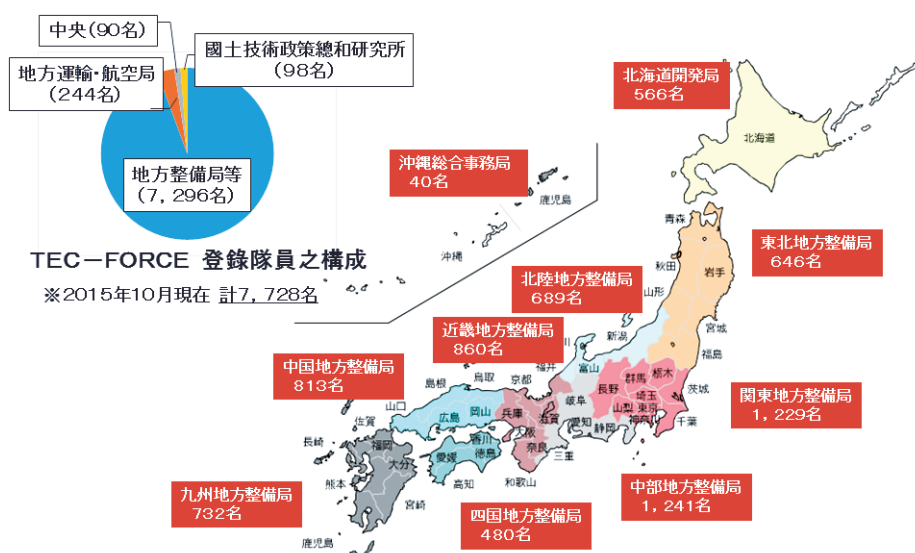
TEC-FORCE 的運作模式詳圖 3，災害發生後由受災之地方政府（都道府縣及市町村）首長向受災區轄之地方整備局提出支援申請，若屬中小型規模之災害，地方整備局的局長可直

接決定派遣任務，若屬較大規模規模之災害或需召集災區以外之地方整備局支援時，地方整備局的局長需向國土交通省（災害對策本部）提出支援申請，由中央單位向日本各地方整備局提出支援受災地區災害整備局的派遣任務（廣域派遣支援）。

以 2011 年 311 大地震期間 TEC-FORCE 支援東北地區之任務為例，311 地震當天中央已發布命令要全國 TEC-FORCE 隊員待命預備去現場支援，於國土交通大臣的指示下，震災發生隔日各地方整備局所派遣約 400 名之 TEC-FORCE 隊員就已抵達東北現場，透過直升機空勘以及人員調查方式掌握災害狀況，支援災害對策用機械（排水幫浦車、衛星通信車等），同時資訊聯絡人並進駐地方提供首長決策支援，自 3 月 11 日～11 月 21 日期間，總計出動 18,115 人 / 日之人力支援，災害對策用機械（排水幫浦車、衛星通信車等）在災害發生後 1 個月內總計派遣 5,760 台 / 日支援受災自治體（都道府縣及市町村）。由歷年執行狀況顯示，地方政府對於國家派遣有技術有能力的公務人員至受災區協助之制度（TEC-FORCE 制度）均有極高的評價。



（圖片／高遠文化）



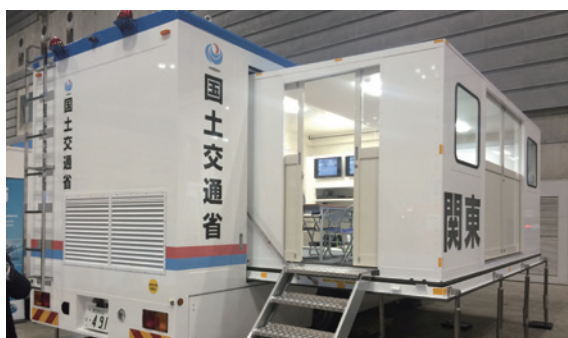
▲圖1、日本緊急災害對策派遣隊（TEC-FORCE）之隊員組成



▲排水幫浦車



▲衛星通信車



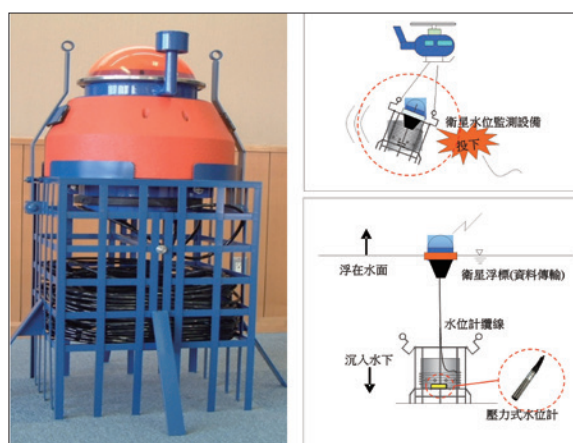
▲對策本部車(行動指揮車)



▲緊急照明車

圖2、日本緊急處理使用之特殊機具及設備



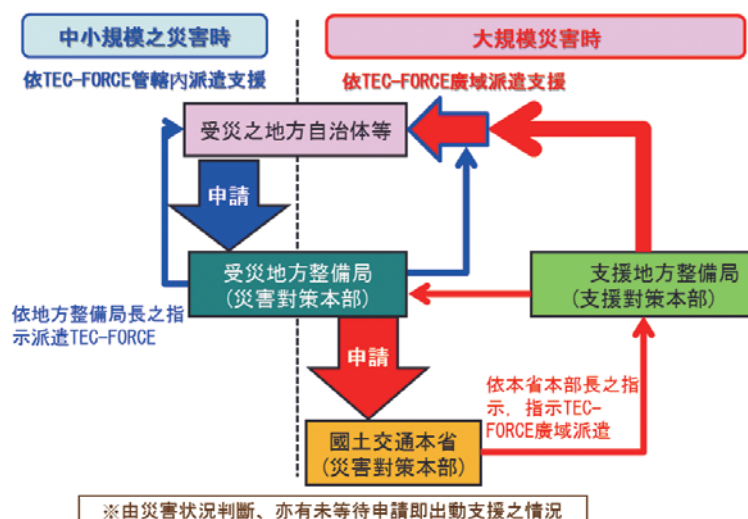


▲投入式水位觀測設備



▲小型衛星傳輸設備

圖2、日本緊急處理使用之特殊機具及設備



▲圖3、TEC-FORCE 因應災害規模之支援機制

### 三、日本針對堰塞湖處置在法令上的修正

日本政府於 2008 年 4 月建立 TEC-FORCE 之支援體制後，大幅改善了地方政府（都道府縣及市町村）普遍存在專業人力不足的問題，同時也避免地方向中央請求支援過程中可能出

現時間延宕的問題，但對於堰塞湖緊急調查與緊急資訊發佈等工作之實施仍欠缺法源上的依據，因此，日本政府於 2010 年提出土砂災害防止法修正案（2010.11 修正、2011.5 施行）。其中針對大規模河道阻塞形成之堰塞湖緊急調查實施，於法令中明文規定中央與地方之權責，另針對緊急資訊公布部分，土砂災



害防救法修正案中也明訂中央單位（國土交通省）必須主動公布調查評估結果（包括調查評估可能發生災害的影響範圍以及調查評估可能發生災害的時機），具體內容如下：

### （一）緊急調查實施

1. 天然壩壩高超過 20 公尺以上，受上游迴水影響之保全對象超過 10 戶以上的堰塞湖，由中央單位（國土交通省）負責執行緊急調查及評估。
2. 天然壩壩高超過 20 公尺以上，下游受潰壩洪水影響之保全對象超過 10 戶以上的堰塞湖，由中央單位（國土交通省）負責執行緊急調查及評估。

### （二）緊急資訊發佈

依據土砂災害防治法，中央單位（國土交通省）必須負責執行緊急調查及向地方政府（都道府縣・市町村）公布調查評估結果，包括：

#### 1. 調查評估可能發生災害的影響範圍

包括因堰塞湖潰壩可能遭受影響的下游區域（潰壩模擬）以及可能受迴水淹沒影響的上游區域（影響範圍可能會受影響的市町村）。

#### 2. 調查評估可能發生災害的時機

- （1）村落或設施遭堰塞湖迴水淹沒之時間。
- （2）天然壩可能發生潰決破壞的時機（就日本而言，可能潰壩時機即為湖水開始溢流的時機）。

## 四、2011 年紀伊半島大水災之堰塞湖緊急處置

2011 年 9 月 Talas 颱風於日本紀伊半島之最大累積降雨超過 2,400mm，於奈良縣、和歌山縣及三重縣發生多處大規模土砂災害，共計有 17 處堰塞湖形成，其中 3 個較大型的堰塞湖（詳圖 4）分別位於奈良縣的赤谷地區（壩高 67m），長殿地區（壩高 100m）以及栗平地區（壩高 100m），本次事件是日本政府於 2011 修訂土砂災害防救法後首次遭遇之大規模土砂事件，由於 3 處堰塞湖之壩高均超過 20 公尺，因此依法由中央（國土交通省）負責處置。

以下針對災害處置過程進行概要說明，並針對日本近年對於大型堰塞湖處理採用較為特殊之對策及工法以及緊急狀況發生後之檢討改善作為，提供未來處理類似事件時參考。

### （一）災害處置過程

2011 年 Talas 颱風在 9 月 3 日 10 時自高知縣東部登陸，由於移動速度緩滿因此帶來大量降雨並造成多處土砂災害，圖 4 為 2011 年紀伊半島大水災之堰塞湖概況，圖 5 為災害緊急處置過程概要，在颱風尚未登陸前（9 月 2 日），近畿地方整備局即已成立災害對策本部，開始災害應變的前置作業並監控災情變化，大規模土砂災害發生當日（9 月 4 日），近畿地方整備局立即派遣資訊聯絡人至各自治體（都道府縣及市町村）進行資料收集，以掌握災害狀況。在災害發生 2 日後（9 月 6 日），來自

各地方整備局之 TEC-FORCE 成員已分別抵達災害現地提供技術支援，同時依據土砂災害防止法開始實施各項緊急調查（其中高度技術支援調查以及潰壩影響範圍模擬由國土技術政策總和研究所以及土木研究所負責執行）。在災害發生 4 日後（9 月 8 日）TEC-FORCE 即公布第一次土砂災害緊急資訊（圖 6），將調查結果公布給奈良縣及和歌山縣內會受影響的市町村。並協助設置各類堰塞湖監測設備（包含投入式水位計，鋼索檢知器，雨量計，傾斜感知

器）。發生的 12 天後（9 月 16 日），各項緊急對策工程已陸續開始進行。

本次土砂災害事件是以土砂災害防救法為基礎進行各項調查與資訊公布，因分工明確（土砂災害防救法修訂）且支援體制完善（TEC-FORCE），在災害發生短短 10 餘天內即完成初步處置，各項緊急工程措施並開始接續執行，此次事件突顯出法令及體制完善之重要性。



▲圖4、2011年日本紀伊半島大水災之堰塞湖概況



▲圖5、2011年日本紀伊半島大水災之緊急處置過程概要



平成23年9月8日

土砂災害緊急情報（奈良県十津川流域） 第1号

奈良県知事 殿  
五條市長 殿  
十津川村長 殿  
近畿地方整備局長

9月6日から、土砂災害防止法第27条第1項に基づき、河道閉塞による湛水  
を発生原因とする土石流等による重大な土砂災害の危険性について緊急調査を  
実施していましたが、このたび調査結果がまとまったので、同法第29条第  
1項の規定に基づき以下のとおり通知しますので、災害対策基本法第60条第1  
項の規定に基づき、適切に処置願います。

記

1 重大な土砂災害が想定される区域  
重大な土砂災害が想定される区域は別紙1のとおりです。 **区域**

2 重大な土砂災害が想定される時期（別紙2のとおり）  
今後の降雨の状況により、河道閉塞部分での越流が始まり、土石流が発生す  
る恐れがあります。 **時期**

3 今後の予定  
今後、降雨の状況等によって重大な土砂災害が想定される区域又は時期に変  
更があった場合には改めて通知します。

【問い合わせ先】  
国土交通省近畿地方整備局河川部河川調査官  
代表06-6942-



別紙-2 重大な土砂災害が想定される時期（平成23年9月8日17時現在）

河道閉塞の確認場所	重大な土砂災害が 想定される時期	避難について	河道閉塞高さまで湛 水になるまでの推定 累積雨量
奈良県五條市大塔町赤谷	早ければ今夜	避難が必要であると考えら れます。	約60mm
奈良県十津川村長殿	予想されている降雨量 では越流する可能性 は小さい	予想されている降雨量では 避難の必要はないと考えら れますが、局地的豪雨の可 能性もあるため、避難の準 備を進めてください。	約270mm
奈良県十津川村栗平	予想されている降雨量 では越流する可能性 は小さい	予想されている降雨量では 避難の必要はないと考えら れますが、局地的豪雨の可 能性もあるため、避難の準 備を進めてください。	約650mm

※ ただし、今後の降雨の状況等によって土石流の発生が早まることも予想されます。

▲圖6、赤谷堰塞湖土砂災害緊急資訊範例（2011年9月8日）

## （二）緊急處置對策

日本堰塞湖緊急處置階段之主要對策，是以防止天然壩發生溢流破壞為目標，透過抽水與緊急排水方式降低或控制湖水位（臨時排水路之設計通常以2年洪水重現期作為設計標準），為了加速工程進度，盡量使用現地容易取得的材料，例如使用土壤混合水泥（水泥土壤，soil cement）作為臨時排水路或防砂設施的材料，若交通可及性不佳時，則利用直升機協助機具及資材搬運。

日本在堰塞湖處置之經費十分充足，緊急處置階段即投入龐大的人力與經費，圖7為長殿地區堰塞湖緊急處置階段所施作的臨時排水道，雖名為「臨時」，但其工程之規模及細緻

程度已與永久性工程措施不相上下，為了盡可能避免湖水溢流造成壩體沖刷問題，除了施作鋪面工程（石籠或水泥土壤）以防止底床及側岸發生沖刷之外，在臨時排水道下方並會預先埋設暗渠排水管（HDPE管），讓湖水可經由暗渠排水管直接排至下游，控制湖水位在較低程度，當上游來水量增大致使湖水位上升時，亦可加速湖水位下降之速度，與幫浦抽水之效率相比較，臺灣水利署採用之大型移動式抽水機（12英吋口徑）之抽水量為 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ ，若鋪設管徑800mm之暗渠排水管，暗渠排水管的排水能力可達 $5.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ，其排水效率為幫浦排水的18倍，施設暗渠排水管確可大幅增加排水效益。

栗平地區堰塞湖於 2012 年完成臨時排水路工程（圖 8），同年 9 月颱風 17 期間發生嚴重掏刷、全長 576m 之臨時排水路工程有 2/3 遭沖毀（圖 9），此事件突顯出 2 個堰塞湖緊急處理階段需考量的重要問題：(1) 對於壩體透水性低，滲流量小致使堰塞湖水位降低緩慢容易發生溢流之天然壩類型，需考量是否需要設置排水暗管來加速湖水排除及降低湖面高程，降低堰塞湖發生滿水位溢流的機率；(2) 對於排水路縱向高差較大之案例，僅進行塊狀鋪設工可能無法有效防止掏刷，其改善對策如圖 10，針對排水路縱向坡度較陡之案例，需在壩趾部附近設置防砂壩，以緩和因溢流造成沖刷的問題；針對坡度較緩之案例，則可以沿排水路施作連續固床工以穩定河床並防止沖刷；針對天然壩兩側山壁仍有崩塌土石會持續流入之案例，則可不設置排水路而改於下游以防砂壩形成儲砂空間的方式來穩固壩址。



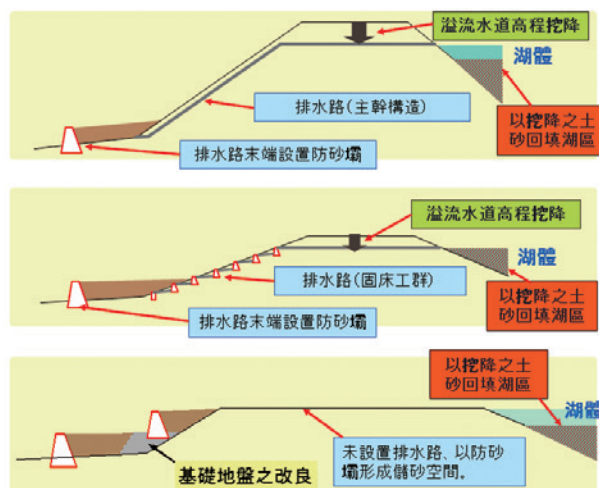
▲圖7、【長殿地區】緊急對策工（臨時排水路工程）



▲圖8、【栗平地區】緊急對策工程；臨時排水路（剛完工）



▲圖9、【栗平地區】臨時排水路發生大規模侵蝕（2012年9月颱風17期間）



▲圖10、堰塞湖天然壩工程處置原則



### (三) 特殊工法介紹－以推進工法佈設暗渠排水管

針對壩高較高且發生溢流破壞風險較高之堰塞湖，設置暗渠排水管可增加湖水排放量，控制水位在較低高程，減少湖水達滿水位溢流的機會，日本過去施作暗渠排水管常採開挖工法，但有工期較長以及施工危險性較高的問題。栗平地區堰塞湖因壩體透水性較差，降雨後水位下降速度十分緩慢，且曾因湖水溢流致使臨時排水路發生劇烈沖刷，因此利用推進工法進行暗渠排水管設置（圖 11），與開挖工法相比較，在成本上採開挖工法需 3.1 億日幣，推進工法僅需 2.7 億日幣，在工期上開挖工法需要 476 個工作天，而推進工法僅需 150 日即可完工，此工法在工期及經費上均可大幅降低，是值得採行的方案。



▲圖 11、利用推進工法佈設暗渠排水管

## 五、臺日堰塞湖處置比較分析

### (一) 堰塞湖處理之權責分工

我國災害防救法並未指定堰塞湖之災害防救業務主管機關，現階段堰塞湖處理之權責分工採屬地主義，由發生堰塞湖地點之轄管單位負責處理（包含林務局、水土保持局、水利局以及縣市政府）。然因堰塞湖之形成與潰決機制十分複雜，處理工作亦屬多元，常有跨領域整合及特殊技術之需求，雖可由主管機關召集專案小組進行跨部會協商以取得最適技術與資源，但若申請支援過程出現時間延宕仍可能造成災害擴大，此為我國現行依屬地主義進行權責分工可能存在的問題。

日本依據天然壩壩高（20m）與保全對象戶數（10 戶）區分中央及地方之處理權責，針對災害規模較大且保全戶數較多之堰塞湖，由中央負責執行緊急調查與緊急資訊發布，其主要優點在於中央可有效整合全國優勢資源（如 TEC-FORCE 體制），避免單一機關及地方政府遭遇專業技術與資源不足的問題，此制度於 2011 年 311 地震及 9 月紀伊半島大水災期間均有實際操作並確認可發揮成效，日本在堰塞湖處理權責分工之方式可作為我國未來法令研修時參考。

### (二) 堰塞湖警戒及撤離

臺灣堰塞湖疏散撤離工作由縣市政府負責執行，但在堰塞湖潰壩影響範圍分析技術，縣市政府因能力尚有不足，多由堰塞湖發生地點之轄管單位協助。疏散撤離範圍之訂定原應

由縣市政府依據潰壩分析結果自行研判，但縣市政府通常希望轄管單位能夠直接協助訂定疏散撤離範圍，因此負責協助潰壩影響範圍分析之轄管單位常以最極端（最危險）之情境進行潰壩影響範圍分析（最大影響範圍），此範圍常過於保守（範圍過大），在實際操作時可能遭遇執行不易的問題。

日本堰塞湖疏散撤離工作之執行亦由地方政府負責，但其作法與臺灣的差異在於中央僅協助提供潰壩影響範圍分析結果，疏散撤離範圍仍由地方政府自行訂定，因此潰壩模擬所採用之情境並非最極端之情境，而是提供地方政府潰壩可能影響之最小範圍，做為警戒區域訂定之參考，實際需疏散撤離之保全對象則由地方政府自行研判，此作法由雙方共同承擔責任，操作面上較無執行不易的問題。

### （三）堰塞湖緊急處置之差異

臺日兩國之堰塞湖緊急處置在經費投入之規模上差異甚大，日本在堰塞湖之緊急處置因經費十分充裕，其緊急工程除規格上較我國高出許多，對於施工安全及效率的要求亦極高，以臨時闢建之緊急溢流水道為例，臺灣常以施工機具直接於壩頂處開挖引流，藉由水流自然沖刷下切而形成溢流水道。日本則對於施工安全性的要求極高，嚴格規定溢流水道之開挖時需先以人工抽水方式將湖水位降低至一定高度後始可進行，以避免因開挖不當引致壩體發生劇烈破壞。

除此之外，為了提升施工安全與效率所使

用之機具及工法，包括在尚未確認天然壩及崩塌區安全狀況時採用之無人化施工機具、以直升機空運方式載運分解之施工機具、利用推進工法（鑽掘機）進行暗渠排水管之佈設、以及排水幫浦車、衛星通訊車、緊急照明車、投入式水位觀測設備等特殊機具設備均為臺灣未曾採用之工法與設備，若能引入將對於堰塞湖應變效率之提升有絕對之助益。

## 六、結論

臺灣過往較有系統地進行堰塞湖處置之案例，包括 1999 年 921 震後之草嶺及九份二山堰塞湖，2006 年臺東龍泉溪堰塞湖以及 2009 年莫拉克風災後之太麻里溪、士文溪及旗山溪堰塞湖，累積了許多實務經驗，同時建立了堰塞湖處理標準作業程序，歷次堰塞湖之處置雖均能成功化解危機，但近年受全球氣候變遷之影響，災害的規模屢屢超越歷史紀錄，針對大型堰塞湖之處置仍須以戒慎恐懼的心態預作整備。日本政府在堰塞湖處理雖過於保守與謹慎，但其講求安全與效率的程序及作法，值得我國仿效及學習，部分臺灣過往未曾採用之工法、機具與資材等，均應嘗試引進國內或研發應用，以強化堰塞湖防災應變與緊急處置能力。

臺灣現階段之堰塞湖處理仍以屬地主義區分權責，針對中小型堰塞湖之處置尚游刃有餘，但若遭逢較大規模且危險程度較高之堰塞湖案例，需整合各部會資源投入防救災工作時，建議現階段可採取委員會方式召集各業務





機關參與緊急調查及處理，以整合跨部會技術及資源，透過聯合高司演練方式建立長期合作機制與默契，未來在遭逢大規模堰塞湖事件時能依此模式共同處置應變，有效降低災害規模及損失。

有關緊急災害對策支援體系之建立，依據日本政府在創設 TEC-FORCE 體制後經歷之多次廣域、複合型大規模災害事件之應變經驗可知，日本國土交通省特有的任務編隊 (TEC-FORCE) 確能有效整合全國優勢資源，對於大

規模災害之應變提供迅速且有效率的支援協助，大幅解決了地方政府人力與資源不足的窘境。我國行政院組織改造後之環境資源部之組織架構包括林務、水保、水利、地質、氣象、及航遙測等防災單位，在功能上與已與日本 TEC-FORCE 之編組十分相近，建議未來可參照日本 TEC-FORCE 之組織架構、人員組訓、任務派遣及指揮體系，研擬規劃適用於我國防救災之緊急任務編組，以提升整體災害緊急應變效率。🌱



(圖片／高遠文化)