

# 從監測技術看國內防災科技之推展

莊旭楨

## 摘要

颱風、豪雨等天然災害固有人力難抗之威力，然若能掌握致災機理，配以「非工程措施」之『預警監測』，應仍可將其損害降低。

國內之「防災科技」研究計畫雖早已展開，但因客觀條件限制，計畫成果迄難落實普及應用；且因經濟活動之發展步調超越建設質量，「天災」之損害愈趨鉅大，其原因或為：國產監測技術與商品不易發展，本土化之防災研究同時受限。

本文以「水門洪災」闡釋監測防災之要素，繼而縷述「監測技術」於防災之應用事項、國內技術概況、產品市況與問題、研究落實應用之瓶頸，最後提出突破之契機，籲請官學研產重新省視，積極合作，加速本土化研發，以科技減免天災之損害。

## 一、前言

### 1. 天然災害日趨嚴酷

‘96年7月底，賀伯颱風來襲，板橋地區嚴重淹水，帶來空前之財產損失；同時，新中橫公路柔腸寸斷，更將『土石流』之災變景象，正式烙印在國人腦海。

‘97年8月中，中度颱風溫尼，再度重創北台灣；大湖山莊淹水、德行東路一家活埋及林肯大郡被土石流沖毀，造成二十餘人死亡之嚴重災情！

前述災害雖皆因颱風而起，然事後檢討，則包括山坡地違規利用等人為不當舉措，或異常積水未能有效防禦，更是災情擴大主因；尤其如賀伯災後不到四個月（同年11月10日），只因一夜豪雨，花蓮市區竟遭空前之淹水！

雖然天然災害確有人力難抗之威力，前述災害之發生，固不易完全防禦；惟若對常見災情長存警惕，兼從治本治標長期建設，應仍能將其損害降至最低。

### 2. 防災科技之緣起

政府從1981年11月起，即展開長期「防災科技研究」計畫，廣泛研究致災機理及系統性減災體制；嘗試掌握天然災害之災變模式，進而建立防災之理論基礎，並提出具體改善對策。

另一方面，防洪水利工程界亦有所謂「非工程措施」之概念，其中最直接者，係藉由水雨情監測系統之設置，即時掌握洪水動態，得以提早採取因應措施，從而降低洪峰與災情；以極小比例之「非工程」投資，即可降低硬體工程之防禦等級、減小工程規模，節約鉅額經費，其效益不言可喻。

本文即嘗試闡述「非工程措施」之監測技術，提出實務面體驗，供有關人員參酌，或可加速「防災科技」科研成果之落實。

## 二、科技防災可能性 - 以水門洪災釋例

### 1. 水門洪災之作業性因素

前述水門洪災發生後，綜合各方報導，抽水站釀災之原因（報導標題）如下：

- 閘門未關好/關不緊/無法操作
- 閘門已關閉/閘內水位急漲/太慢抽水
- 未及時關水門（閘外洪水灌入）
- 突發洪水，無人值班
- 水位偵測儀故障
- 機件遭淹沒/操作箱損壞
- 監控系統操作不順/主機失靈
- 監控電腦出狀況

稍作歸納，未能「提早察覺水位暴漲、及時作好水門操作」，似乎居相當關鍵因素。

一般抽水站之機械設施，日常操作事項較少，管理人亦多非高等技術人員，汛期開始之運轉試驗固難週全，監測儀器歷經承平期之未予留意，其功能特性是否良好如初更非其所能掌握，因此遭遇暴洪時，出現故障狀況即難避免。

### 1. 水門洪災之技術性因素

經查閱歷年來相關工程規範，可發現工程設計存在極可惋惜之現象：

- 系統規範著重於『圖控電腦』之軟體功能
- 感測與傳訊設備視為簡單零配件之組合
- 系統規範未考慮室外水邊儀器之耐候需求
- 系統設計未從管理人員之背景與習性著眼
- 系統工程之施設多附屬於土木或機械工程
- 監控系統之設計全委由水利土木顧問公司

現行抽水站監控設備之設計與施設，多附屬於土木或機電工程，顧問公司提出之規範，似皆直接套用「電腦科技公司」或儀器代理商提供之資料：大都著重於『圖控電腦系統』之軟體功能，而將感測與傳訊部份視為簡單零配件之組合，只粗略引用傳統工業儀錶之基本規格！—幾乎未對監測設備硬體之長期可靠性加以規範，亦未考慮系統之預警功能，更遑論局部故障時之應變機能。

工程以土木或機電標發包後，其中監控設備部份，通常皆再轉包；承包商基於現實考量，常以拼湊方式，各部件分別以勉強符合基本規範之

低價品湊合，驗收時因無法以禦洪條件試驗系統機能，往往僅做設備點交或檢視大概功能，即算通過；竣工後，系統功能之良窳，即很少有人再加考核。

概括而言，監控系統常設計於『頭重腳輕』之架構，並導致設備提供與施工者以資訊電腦為主體，多未能掌握現場水文特性及儀表之耐候需求；工程驗收後，監控系統長期運轉期間：

- 室內設備似乎"先進"，而
  - 現場感測儀器卻易故障或精度不足；
  - 系統功能似乎"俱全"，而
    - 基層管理員卻不會、不易或不敢操控
    - 出現狀況時不易立即發現與及時解決

### 1. 抽水站相關設施與致災要害

抽水站多用於防潮排洪，監控設備常只在汛期受重視，主要設施包括：

- 重力排放閘門/壓力排放閘門
- 抽水機組/撈污機組
- 備用動力或電力設備
- 保養及運轉試驗
- 中央監控系統（監測遙控操作檯）
- 監控電腦系統
- 閘門監控機組（室外閘門處）
- 水位監測傳訊機組（閘內/閘外/上游）

除了操作規則與管理督導，可歸屬人為因素外，其他機電監控設備，尤指後四類，其規格特性之良窳，故障率高低與操作功能之優劣，實為抽水站是否致災之要害！

此外，機械、電控、資訊與監測，實分屬不同層次，其中資訊與監測皆具軟體成份，可視為整個系統之靈魂；然而，國內之資訊專才，大都偏重於電腦，鮮少兼及野外監測之實務，不知『監測』設備與受監測之現場標的，存在複雜多變之互動關係，且其高溼環境及日夜溫差，更非其熟習之資訊設備之室內環境可比；若未能考慮監測之野外特性，往往疏忽緊急時之狀況，未能設計足夠之預警機能，難免於緊要關頭失靈。

### 1. 抽水站減災對策與核心減災設施

防洪工程投資鉅億，輔以監測系統之非工程措施，應能充分禦洪；惟若監測系統之核心設施，未臻妥善，則功效大折！以下為系統規劃設計時應特予重視之減災要項：

- 重視監控系統應用於水利之行業特性
  - 水利設施多在郊野水邊、環境條件惡劣
  - 感測器多設於戶外、易因傳訊電纜感雷受損
  - 基層操作人員多憚於資訊儀器之系統操作
  - 監測設備須精密可靠且又操作簡單
- 汛前確實做好試運轉及應變演練
  - 定期做設施安全性檢討與改善
  - 對設施之關鍵性與故障率分出維護等級
  - 管理人員加強與設備廠商之互動交流
- 採用專業級監測儀器與預警設備
  - 水位計以耐雷型數據式訊號傳入監控室
  - 感測設備與系統皆需能耐長時間斷電
  - 遙測警報機組能獨立對水位暴漲發出預警
  - 系統可經撥接電話或無線電對外傳出警訊
  - 免操作之智慧型監控功能以削減人為隔閡

## 三、監測技術於防災之應用

### 1. 防颱之動態監控

防汛單位在颱風來臨時，皆會設立防颱中心，對一般抽水站水門設施加強汛前檢修，並準備充足油料器材，防汛要員仍須隨時掌控颱風動向及水文情況；除了定時由氣象局提供資訊，若能主動獲取即時動態水情數據，或自設衛星雲圖接收系統（目前其價位已極平民化），可大幅提升颱洪之防護調度績效，減免災害之發生。

### 2. 暴雨成災之預防

台灣之水文特性日趨嚴峻，都市化面積急速擴大，更加劇暴雨之災情，區域性「一雨成災」之報導已非新聞；

於此，智慧型水位計或雨量計之預警與自動

測報，可有效預防或減免突發之洪災。

區域排水之集水區，包括灌溉渠道於進水口或排洪閘設置智慧型水位計，可於達到警戒水位，或未達警戒水位但上漲速率極快時，自動發訊通報管理人員，可及時關閉進水閘或開啟排洪閘，即可避免渠道溢流造成災害。

### 3. 土石流預警

颱風引進暴雨、除了在都會區與沿海造成淹水損失外，山坡地之災變與土石流，所造成之財產生命損害更為鉅大；

為此，潛在致災區設置「土石流預警系統」，當可發揮即時報警、及早逃災之功效。

雖然現行預警系統之普及性尚待加強，惟其他相關研究計畫，已有效展開，預期應可很快得到實用性之突破。

### 4. 橋樑建物安全監測

相對於颱洪災害之可針對性預防，橋樑與公共建物等因地震或老化，出現無法預期之瞬間災變，更是監測儀器可長期發揮功效之處。

於建物關鍵點，設置長期感測傳訊器，若能妥善配置相關遙測記錄與警報設施，即可自動依累積潛變程度，及早發出致災預警；發生災變後，並可立即通報，而防止災害之擴大。

此外，長期監測之數據，亦有助於促進工程技術，並提供理論研究之驗證。

### 5. 施工安全監測

捷運系統、高層建築等長期建造之工地，於基礎開挖影響範圍，設置足夠之監測儀器（包括數量與性能），即可將崩塌、損鄰等工程災變事故，降至最少。

營建工地之安全監測，包括沉陷、隆起、傾斜、斷裂等，雖然品項繁多，惟應用經驗亦相當充足，且不斷有所突破。

## 四、國內防災有關監測技術概況

## 1. 科技防災之監測事項

科技防災所需監測事項，皆為天然環境之現象，其監測現象包括持續性與突發性；同時，因天然地球物理與大氣科學現象，往往無法如實驗室之具備足夠已知條件，其變化發生之因素複雜，規律不一，測量不易，現象之因果關係亦不恆定，監測技術較室內者困難多多。現行主要監測事項如下：

### ● 河川水位與流量

河川水位為最簡單通俗之防災監測，然而其測值受到現場條件之影響；且水位與災害之警戒程度亦有變數。此外，流量與上下游之防洪容量設計有關，但天然河道之流量監測，至今仍難掌握準確。

### ● 累計雨量與降雨強度

降雨量為洪災之起源，其致災因素主要為連續降雨之累計雨量過大；另降雨強度過大亦為土石流之重要肇因。

雨量之監測雖然簡單，但台灣地區降雨時空分佈不均，地區性暴雨成災之機率極高；故雨量監測點之代表性，對暴雨之預警時效，有極大相關，尤其土石流發生地之降雨歷程，更非其他測點所可代用。

### ● 滑波與崩塌

滑波與崩塌雖亦常在連續豪雨之後發生，然其時間關連性實與地質條件有關；且其致災潛勢存在累積效果，雨後再遇地震，亦可能在晴天發生災變。因而，除於颱風期間警戒外，對有關滑波之監測，更須即時與自動化。

### ● 沈陷與傾斜

沈陷與傾斜之監測主要用於大型建物。高層建物或捷運工程於深開挖期間，須監測鄰房或開挖面各側地層，以防災變；此部份之監測，除須即時與自動化外，其潛勢之掌握與預警，須有較多之測點。

高架路或橋樑則須做長期之監測。

### ● 建物應力應變

橋樑或水壩設置之安全監測系統，包含較多應力應變之監測，以在建物老化不堪負荷之前，及時發現弱點並作補修，以避免發生災變。此外，深開挖之連續壁支撐等設施，其應力之監測亦為重要環節。

### ● 其他地工監測

其他尚有多項防災有關知事項，如加速度、振動、土壤含水量、地下水位、水壓、土壓等。

## 2. 監測設備之需求特徵

科技防災所需之監測，皆設置於郊野或水邊，平時無人照顧，遇有狀況時又須自動即時發揮功能，因此，其需求特性須強化以下各項：

### ● 野外耐候性

防災之監測設備，通常設置於野外，其環境溫溼度變化極大，此為與一般工業儀表最大之差異；該郊野測點受雷擊之機率亦遠較市區嚴重，因而耐候性與耐雷性皆為其必要特性。

### ● 長期穩定

防災之監測設備，通常須使用達十至數十年，感測材料或者劣化、或者現場溫溼度造成訊號飄移，皆會影響監測之正確性；因此，除定期檢測更新外，感測原理與儀器類型之選擇，亦應特別重視。

### ● 精密靈敏不誤報

監測之精密度與靈敏度為儀器之主要指標，然而靈敏卻無智慧型功能時，極易產生誤報，導致受到使用者排斥。因此，『智慧化預警功能』應為監測設備切實發揮功效之關鍵。

### ● 低價多功能

低價為普及化要件之一。反之，若產品能夠普及，其售價亦將因量產而可降低；但若產品性能不佳，再低價亦未必能普及。

### ● 易操作免保養

精密或多功能之監測設備，往往須做參數之設定；若設定方法須高度專業素養，即難於普遍應用。此外，監測設備平時無異常時，使用者多疏於操作，而至緊要時手足失措。因此，監測設備必須讓使用者一看即可操作。

### 3. 監測之方法或技術

所有防災之監測，皆始於感測，而絕大多數感測設備皆自國外進口；然而同樣規格，不同品牌間產品可靠特性差異不小，且國內欠缺相關檢測機構，若採購規範只臚列各國技術標準名稱，亦未能實施檢測、或要求廠商承擔長期操作之責任，則工程功效之發揮程度，即難以掌握。

以下為須深入評析之規範環節：

#### ● 感測

感測為監測之基礎與關鍵，實務上須配合現場條件，選擇適用之感測方法與機種。目前，新型材料與方法仍不斷出現，顯現感測技術仍在「精益求精」階段。

此外，隨著電子半導體、矽微加工與數位傳訊等科技之一日千里，數位式智慧型之感測設備應會很快得以普及。

#### ● 傳訊

傳訊主要指室外感測器訊號傳送至室內之監控系統。由於工業用途佔有傳訊式儀錶之絕大比例，因此 DC 4~20 mA 之傳統傳訊規格仍為業界主流；雖然相關傳訊後訊號數值化之精度不斷提升，但類比傳訊之瓶頸，仍制約著防災監測之精密化需求。

對此，先進國家亦不斷有數位式之改良版規範提出，諸如 RS-485、SDI-12、FSK 等，皆可大幅提升感測訊號之傳訊效能。此外，無線式傳訊之日益普及，亦提供了有效之改善。

#### ● 記錄

記錄可分為供研究分析用、或僅供事故查核用；其型式亦逐漸轉往數位化及電腦化。

供研究分析者，常為自動定時記錄、可轉存

輸入電腦磁碟，亦常單獨設於野外現場，即所謂「Data Logger」；惟若並接傳輸設備供即時監測時，亦可發揮防災預警功能。

供事故查核用者，通常定時記錄於紙卷或連續報表紙上，除了可供直接查閱有關時段之系統資訊，並可預防機組故障時，所有記錄消失之風險。

#### ● 分析處理

分析係讀取定時記錄、轉存於電腦磁碟之資料，進行相關統計分析，以掌握天災之歷程與「致災」機理，可謂防災科研之核心。

現今電腦設備日進千里，各種複雜之分析運算，皆能快速出結果。然而，若感測之品質不佳或監測設備之精度不足，則「垃圾進、垃圾出」，分析處理之數據或結論，即失去效用，甚至會有誤導之風險。

#### ● 通信

通信主要指遠距離監測站之數據，經由電信線路及數據機，傳送至中心站監控系統。

目前因資訊通訊之發達，有關監測資料之傳輸，已為極簡單之事；然而，以電信線路作通信媒體，往往在防颱期間故障，因此無線式傳輸亦有其必要性。

此外，若所有監測站皆只集中傳輸至中心站時，萬一中心站設備或其通信媒體故障，則所有監測站之資訊將全部斷失，對防颱作業，影響十分重大。

因此，另有一種以語音測報之方式，可作為第二種遠距之監測方法。其方式為：

在監測站設置撥接電話及語音測報機，有關管理人員即可在任何地方、撥接至該電話，即可隨時聽到該監測站之動態資訊，不受中心站之時空限制。且若個別測站之線路故障，尚可測聽其前後站資訊，作為參考代用。

### 4. 監測技術本土化之潛力

雖然感測器絕大多數感測設備皆自國外進口，但感測器訊號之處理傳輸，則台灣具有不錯之

應用技術；同時，個別領域中，仍不乏中小企業已長期投入，發展利基性本土化產品；只要時機成熟，即能擴大範圍，出現更多物美價廉之本土化監測設備。

國內發展之潛力概括如下：

- 台灣特色之中小企業活力
- 資訊電腦之迅速發展
- 防災科技之專業已建立
- 政府防災預算之投入增多

## 五、國內防災科技設備之市況與問題

### 1. 系統為主，缺普及型商品

目前國內防災科研與工程應用單位，大多尚能投入監測系統之硬體組合與軟體研發，惟其成果幾乎皆為專案工程，耗費大量人力物力，卻又難以移植應用於其他工程；因研發投入多以工程應用為主，可直接移植應用之工程案數亦不多，故觸及硬體產製之深度有限，欲推廣應用，落實普及，著實不易。

防災科技之研究成果，欲求普及應用，必須進一步做到商品化、低價、平易使用。然而市場不明情況下，難以刺激持續之研發投入，形成惡性循環。

近年來資訊電子行業蓬勃發展，雖然台灣研製且產量佔世界前茅之資訊電子產品不少，然而防災用之監測設備與「資訊電腦」之產品特性有別，其與工業用之監測系統亦存在使用環境之差異。需求數量天壤之別，應用技術卻又相通，在資源與人才排擠效應下，防災科技行業中，將本土化專業監測設備商品化之環境相對極艱困。

### 2. 進口為主，缺本土化研發

因國內市場較小，未能提供一般儀器商建立研發團隊之空間，且防災科技深具本土特性，相關監測儀器之實用性能尤須長期試誤，在避免承擔失敗責任之制約下，直接進口國外現成設備，似為常見之最佳決策！

亦因市場小，行業冷門，不只專業研發公司

不易常存，工程顧問機構內之機電人員，易多存過客心態；即如工研院，相關專業人員多經其引入門，隨即跳槽至資訊行業！人才不易匯集，技術更難以深入與生根。

因多直接進口國外現成設備，對本土災害特性較未能迅速深入掌握，防災研究成果之累積質量不足，即難免實用化之不易促進！

### 3. 應付為主，缺實用化之貫徹

另以一般民間大樓建築之安全監測為例，雖然明知深開挖之施工監測，除法令要求外，實亦深具保險之效用，然而多數業主卻能省則省。

至於公家機構之採購，一方面受制於僵硬之法律，常「為避免圖利他人之責」，較少勇於採用國產創新產品、設計其較優規範；另一方面，「多作多錯」之風氣，亦造成多數承辦官員「交差了事」之心態。此外，絕大多數儀器產品都由貿易商代理，長期來已造就相關行業人員之使用習慣，甚至形成壟斷或寡佔，在尚屬封閉之採購環境下，主辦人若缺乏試誤失敗之承擔，本土化發展之機會，即愈形稀少。

### 4. 公共投資為主，缺普及化之機制

基於防災事務仍由政府主導，相關建設存在如下困境：

- 監測設備不具直接生產性，平常不受重視
  - 監測設備常附於土木工程發包，品質難保證
  - 程度較佳之專技人員，不願長期管理操作
- 然而，以法令要求民間設置者，至今仍常雷大雨小；在預算分配侷限下，亦難由政府出資，全面普及設置；欠缺民間之主動需求，且被動要求亦可觀望時，自然不容易有廠商願投入本土化研發工作。

## 六、防災研究落實應用之瓶頸

### 1. 「防災科技研究計畫」之成效檢討

十五年來，國科會推動「防災科技研究」計畫，雖獲得可觀之理論成果，惟仍與規劃目標存

在差距，其原因經歸納如下：

- 成果轉移管道待建立
- 研究成效評估不易
- 學界擴大參與之意願不高
- 機關間之聯繫待加強
- 推動與執行受限

### 1. 技術角度之評析

防災科技少量多樣又複雜，儀器商願配合做研發者極少；因此，研究計畫主持人未敢設定本土化之目標，研發成果因而皆停留在實驗室層次。同時，實驗室試驗之數據若無現場環境之驗證，移植至現場應用時亦將頻出狀況。此狀況可歸納如下：

- 學術研究欠缺儀器技術(硬體)之搭配
- 研究項目間之銜接整合不易
- 研究引用之基本資料深度不足
- 研究成果未轉化為商品，不易落實至實用化

### 1. 社會文化之侷限

防災研究必須設置精密儀器於野外現場，然若受到人為干擾或破壞，辛苦蒐集之數據即有失真之虞。事況如下：

- 民眾視公共防災由政府全部負責、事不關己
- 民眾之危機意識不足，較少防範未然
- 公共設施若影響個人私利，輒受破壞

## 七、突破之契機

### 1. 災後增共識

特大災害之接連發生，喚起了大眾之防災意識，關於市區洪災、土石流、山坡地滑波等概念，已成為平民百姓之話題；除了政府加大經費投入，民眾亦普遍理解了天災因人為開發而加劇之事實。

同時，若公共設施釀災，不論管理機構有無疏失，民眾之抗爭力度日益高漲，亦迫使政府正視防災之重要性。

### 2. 執法氣勢漲

因個案災變之鉅大震撼，輿論之同聲探究，有關山坡地等公共安全法令之從嚴立法，其阻力已不敢公開。同時，諸如台北市「安全帽」之事例，已展示落實執法之可行；再如環保法令之逐項落實（空污費之徵收等），亦日漸成為現代社會之常軌。

政府依法要求民間設置防災設施、或參與防災設施之維護，亦應可順理成章而易推動落實。

公共安全法令之落實，有效刺激市場需求，即可促發相關廠商積極投入，研製本土化之平價商品。

### 3. 捷運自主見成效

台北木柵捷運之機電監控系統，原受外商專利壟斷之苦；而在外國承包商撤離後，業主不但可維持日常營運，且陸續修復原已停擺之機組，展現可擺脫對國外廠商依賴之實力。為國內監控科技之獨立自主，樹立可喜典範；

其他國人引進國外高科技，而後自主改良、發揚光大之案例，亦時有所聞，顯現國人對此類科技研發，具備雄厚之潛力。

### 4. 高鐵現誘因

高鐵工程之 BOT 建設模式已經開動，基於建設成本與營運績效之考量，技術本土化將為為必要之方向與做法；因其採購作業可跳脫傳統公共工程之弊病，有關監測設備之商機，相對於現行市場需求，已具備凝聚國內技術資源之規模，足以帶動國內發展、替代進口之動力。

### 5. 「營建自動化」之延伸銜接

政府推動「產業自動化」迄今，在「營建自動化」方面，亦已累積多項研發成果，其中不乏有關監測之實用技術；配合前述各項契機，應有機會順勢發展實用化、普及化之防災科技商品，從而啟動良性循環。

### 6. 防災研究計畫之開擴調整

繼八十六年首屆土石流大會後，國內有關防災研究之推展普及行動愈趨蓬勃；國科會繼三期十五年「防災科技研究」計畫之後，續推「防災國家型科技計畫」擴大方案。此外，農委會亦開擴其研究經費運用之思路：另外補助平價化土石流預警系統之研發，期有效降低普設防災預警設施之預算限制；且配合法令增修，要求「潛在致災地區」之開發者，自行設置防災預警設施，以提高居民之安全保障。

防災科技之研究成果，落實於普及化商品；普遍設置於災害發生機率較高之潛在災區，則有效減災防災之成果，指日可待。

## 八、結語

筆者雖非土木出身，亦未參與防災科研計畫，但以系出電機，從事水利監測技術本土化研發工作十餘年，體驗多端。深感以監測技術減災之可能性，乃不揣淺薄，謹以此文，期拋磚引玉，盼廣獲共鳴，加強「監測技術」之應用與商品化研發之投入，供全民早享「防災科技」成果，免遭天災意外之害。

本文作者：

莊旭楨 先生

231 台北縣新店市民權路 42 巷 59 弄 4 號 5 樓

TEL：(02)2910-3055 FAX：(02) 2910-3252

E-Mail：hycom@ms1.hinet.net