

土石流防災與應變作業

王晉倫¹

摘要

土石流防治工作過去大多以工程構造物以達到減少土石流災害的目的，近年來由於災害防救已逐漸成為政府的重點施政項目之一，因此不少專家學者提出以事前防災措施配合各項整治措施做為土石流防災工作推動之重要架構，因此水土保持局近年來已推動各項土石流防災監測措施並配合土石流防災避難管理為土石流防災的先期工作，期望能於第一時間針對土石流潛勢地區先行對當地民眾提出警告，以減少居民生命財產的安全。本文主要針對目前所採取之各項土石流防災與監測系統發展現況及自動化應變作業進行說明，包括應用中央氣象局所提供之十分鐘雨量資料進行即時分析之土石流警戒分析模組、於現場架設各項土石流監測儀器之土石流觀測系統、標準作業程序化之各項應變中心作業與防災資訊即時公開之土石流防災應變系統 (<http://fema.swcb.gov.tw>) 及各項土石流防災科技計畫研發成果，同時針對現行所推動之整體性土石流防災政策與後續推動展望進行說明，未來期能結合學界及相關研究機構，發展適合本土環境之多元化土石流監測系統，期以各項具體之事前防災措施，達到減災、消災及避災之具體目標。

¹行政院農業委員會水土保持局監測管理組坡地監測科科長

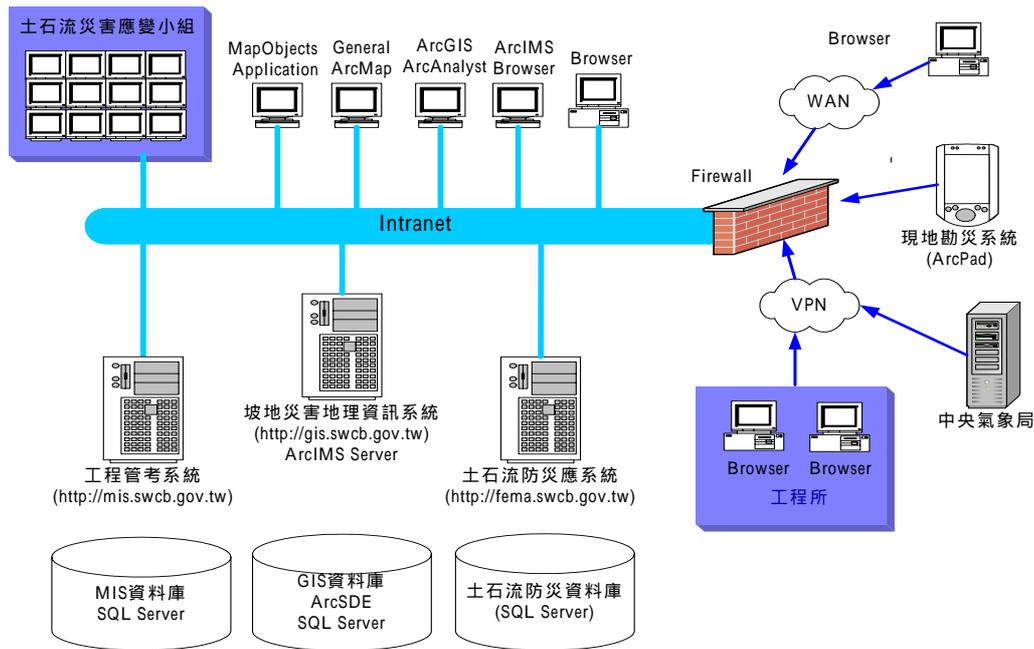
壹、前言

台灣由於先天地質條件不佳再加上颱風地震等災害頻繁，故每逢豪雨極易引發土石流災害，許多產業經濟與交通運輸都受土石流影響，居民的生命財產亦受到威脅，民國 79 年歐菲利颱風的侵襲，在花蓮縣引發多處土石流，釀成重大災情後，土石流災害才首度獲得產、官、學界的高度重視，民國 85 年賀伯颱風造成中橫公路沿線數十處的土石流災害，加上九二一地震重創中部地區七縣市以來，以及近期象神颱風、桃芝颱風、納莉颱風等的侵襲，使得台灣地區土石流發生次數較為頻繁，因此民眾也只稍聽到豪雨特報或颱風警報便會覺得惶恐不安；因此，建立一套土石流防災應變系統，提供各級防災單位足夠的土石流警戒資訊顯得格外重要。

土石流是一種水與泥砂、土石充分混和而成之流動體，外型與一般常見之混凝土砂漿極為相似，因此可喻為「天然預拌混凝土」，土石流大多發生山區野溪中，沿溪谷奔瀉而下，由於流動時造成兩岸土石鬆動，再加上本身強大的衝擊力，因此常造成下游及兩岸居民重大災害，當降雨多、土石堆積多及坡度陡等「三多」條件一成立，土石流即可能形成，和自然界許多現象一樣，土石流發生前也會有許多徵兆，並可由這些徵兆研判土石流即將來臨，並預先做好相關的因應措施。為此，加強各項事前防災措施已成為土石流防災之重點工作，尤其是土石流監測工作，期能藉由瞭解土石流發生前之各種徵兆，掌握土石流發生時間與運動現象，提供各級防災單位早期的警戒資訊，並以網際網路等方將即時資訊進行公開，期以事前防範措施達到減災、消災及避災之具體目標，以減少土石流發生時人民生命財產之損失。

貳、應變管理系統整體架構

資訊化及空間化土石流災害應變管理模式是水土保持局近年來持續推動的工作，希望藉由資訊系統輔助可以更有效率的掌控所有可能發生的土石流災害或者降低土石流災害所造成的損失。應變管理系統架構(圖一)主要由軟體系統、硬體設備、高速網路設備所構成。



圖一 土石流災害應變管理系統架構

(一) 作業軟體系統

土石流災害應變管理系統是由四個子系統所構成之整合型系統，於不同災害管理階段負責不同任務(表一)。

表一 土石流災害應變管理各子系統任務

系統名稱	減災	整備	應變	復原	任務
坡地災害地理資訊系統 (http://gis.fcu.edu.tw)	◎	◎	◎	◎	提供各災害階段需要的地圖資訊
土石流防災應變系統 (http://fema.swcb.gov.tw)		◎	◎		提供氣象資訊、土石流警戒訊息，並作為災害通報及管理平台
工程管考系統 (http://mis.swcb.gov.tw)			◎	◎	對於列入復建工程進行控管，掌握復建進度
現地勘災系統			◎	◎	提供勘災人員前往災區實地勘查災區情形，並且無線傳輸方式將災情傳送回應變小組

(二) 硬體設備

- (1)網路安全設備：為提昇系統安全性，除加強內部網路資訊安全宣導外，亦購置防火牆(Firewall)防範駭客入侵及購置虛擬私人網路(Virtual Private Network, VPN)設備確保與工程所間資訊傳遞安全性。
- (2)資訊展示設備：為了在災害應變階段同時接收獲取不同的災情資訊，水土保持局購置 4X3 大型電視牆，可同時針對 12 種不同主題進行監控，對於災情資訊掌握上有著極大的助益。



圖二 4X3 電視牆展示畫面

(3) 自動化設備：為了提昇訊息傳遞的效率，購置自動傳真伺服器(圖三-a) 另申請中華電信簡訊服務(圖三-b)，可於災時以傳真或簡訊方式同時發送大量訊息，節省人工傳送的時間。



(a) 傳真伺服器



(b) 簡訊發送器

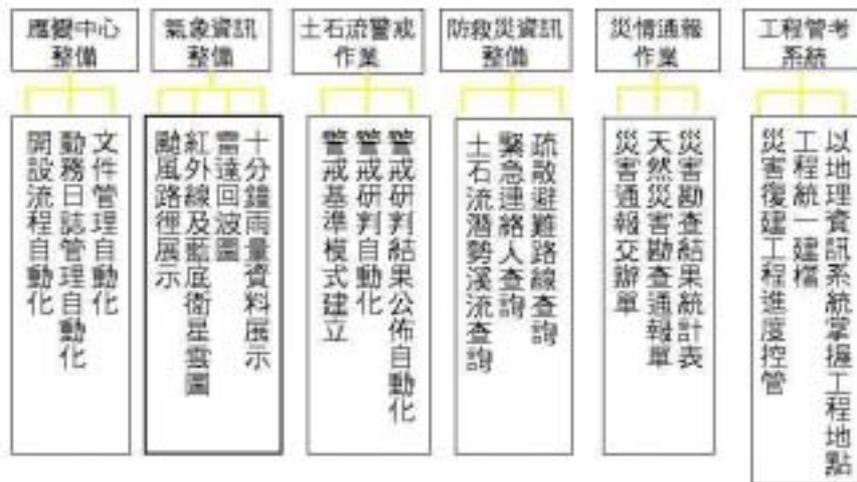
圖三 自動化設備

(三) 高速網路設備

為避免災情資訊傳遞因網路壅塞而受到影響，水土保持局已提昇對外網路頻寬，目前以 T1 專線連接至 GSN 網路，並與中央氣象局以 512K 專線連接獲取即時氣象資料。

參、土石流防災應變系統發展現況與應用情形

土石流防災應變系統，主要為提供水土保持局土石流災害應變小組於颱風豪雨來臨時，能夠依非接觸型監測方法採用中央氣象局即時雨量資料研判土石流發生可能性，並適時發佈土石流警戒訊息，同時提供為各級防災單位進行疏散命令下達之依據，該系統主要利用地理資訊系統(GIS, Geographic Information Systems)與網際網路之技術，是一套結合空間與屬性資訊，以提供展示、儲存、管理及分析之決策支援系統。它不但可以進行多元化的資料展示，亦可以充分提供管理單位多方面的資訊，以作為防災政策研擬之參考依據，並提供管理者更綜觀的防災管理規劃；該系統可分區為應變中心整備、氣象資訊整備、土石流警戒作業、防救災資訊整備、災情通報作業、工程管考作業等六大功能(圖四)。



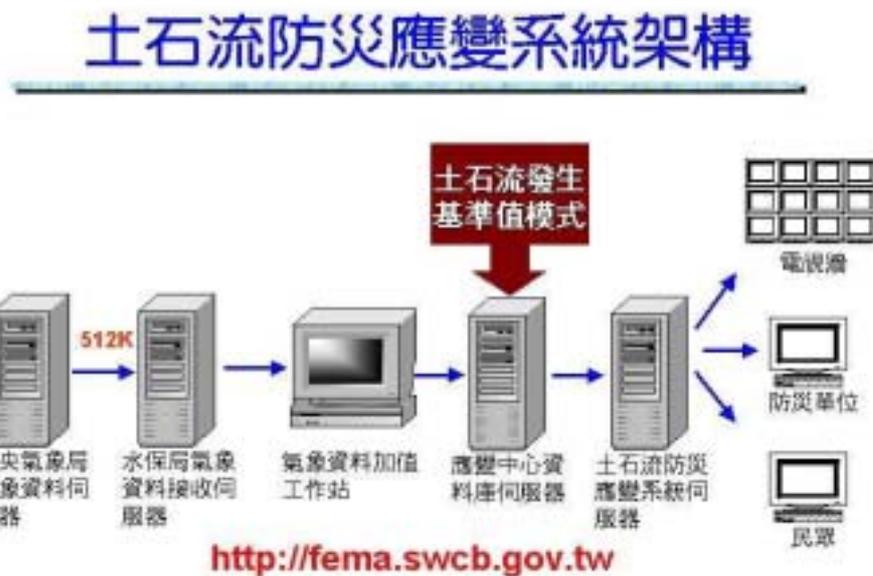
圖四：土石流防災應變系統功能架構圖

(一) 系統架構

土石流防災應變系統採用多階層架構規劃，以提昇系統效率及穩定性。依據目前土石流防災應變系統硬體規劃架構，可區分中央氣象局、水土保持局土石流災害應變小組及使用者三大部分。

中央氣象局主要負責提供各種氣象資料，如颱風預報資料、各類型衛星雲圖及十分鐘即時雨量資料，目前水土保持局土石流災害應變小組與中央氣象局間以 512K 專線方式連接，由氣象局端氣象資料伺服器主動將即時氣象資料傳送到水土保持局土石流應變小組端之雨量接收伺服器，水土保持局並將氣象資料加值處理後儲存於資料庫中，並透過土石流發生警戒基準值模式演算後，獲得各地區土石流警戒參考狀態。

土石流防災應變系統的核心工作分別有雨量加值工作站、土石流警戒分析工作站及土石流資訊伺服器三部電腦所構成，雨量加值工作站主要針對氣象局颱風預報單、雨量站十分鐘即時雨量及衛星雲圖三種資料做加值處理；土石流警戒分析工作站主要針對氣象局雨量站資料進行分析，並計算出各鄉鎮累積雨量及降雨強度等雨量資料後，透過土石流警戒臨界值分析模式加以計算以評估各地土石流警戒狀況；土石流資訊伺服器中架設有土石流防災應變系統網站，可將雨量加值工作站及土石流警戒分析工作站所處理後的結果公佈到網際網路上以提供民眾或其他防救災應變中心獲取即時土石流警戒與災情狀況，以上系統傳輸架構如圖五。



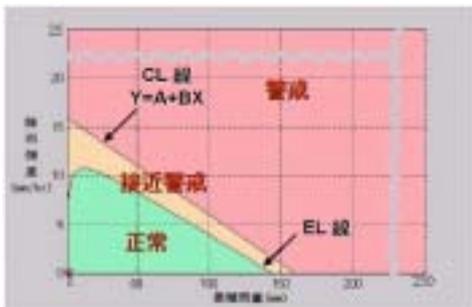
圖五 土石流防災應變系統傳輸架構圖

(二) 土石流警戒分析模組

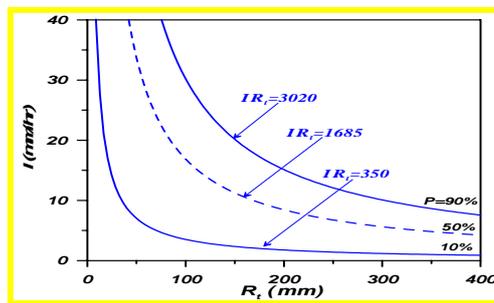
中央氣象局已於全省架設四百餘座雨量站，另於重建區內已選定土石流災害嚴重地區增設 37 座雨量站，另該項資料亦且可透過專線將十分鐘雨量資料即時傳輸至水土保持局，為此，水土保持局已於 89 年 12 月開始辦理「土石流警戒分區與發生基準值之研究評估」，期利用十分鐘即時雨量資料配合土石流警戒分區之劃定與基準值之訂定，以非接觸性之土石流觀測方式，進行大區域土石流警戒之觀測。

該項計畫，主要以重建區為範圍，將過去委託調查完成土石流潛勢溪流，針對各土石流潛勢溪流之崩塌率、有效集水區之坡面坡度、溪床坡度及岩性等基本資料，依所訂之配分予以評分，並劃分為八大警戒分區，再依曾經發生土石流之歷史雨量資料進行統計分析，並利用中央氣象局即時雨量資料推算各土石流潛勢溪流所在地之降雨強度及累積雨量，訂定各分區之土石流發生臨界雨量線(CL)及避難雨量線(EL)，另為應用方便，該計畫業依研究成果於每一鄉鎮選定警戒值最低者為該鄉鎮之代表警戒值；如以臨界雨量線(CL)與有效累積雨量與有效降雨強度之交點做為警戒基準值，警戒基準值累積雨量約位於 150 公厘至 455 公厘間，

降雨強度界於 15 至 40 mm/hr 間，土石流警戒分析模式示意圖詳如圖六，另並於九十二年度開始朝向機率預測模式發展(圖六之一)。



圖六 土石流警戒分析模式示意圖



圖六之一 機率警戒分析示意圖

(三) 應變小組自動化作業模組

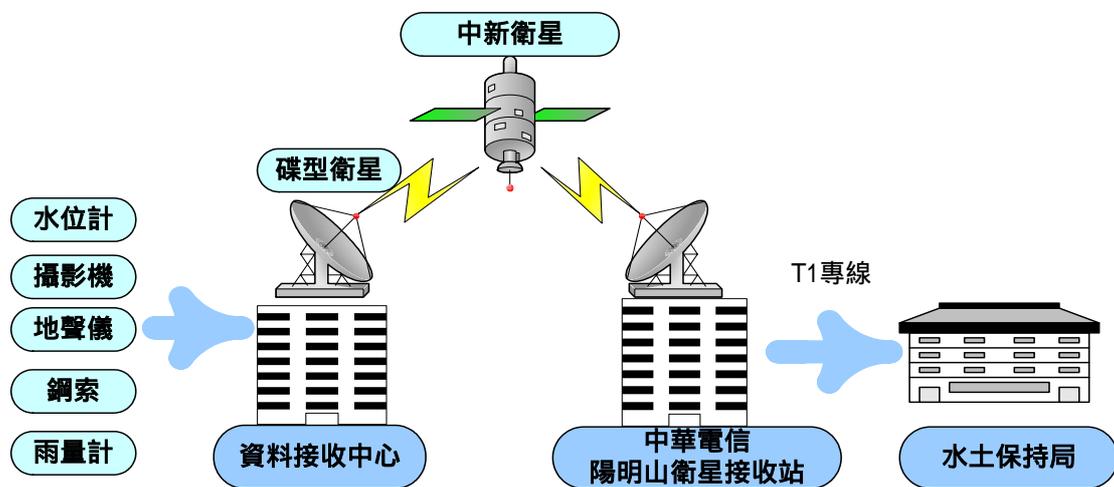
土石流災害應變小組自動化作業分為應變小組及災情通報兩大單元，應變小組僅提供內部應變小組使用，其功能可細分為應變小組管理、輪值管理、災情通報管制系統、災情通報管理系統、簡訊發送系統、傳真發送系統及電子報發送系統等；應變小組管理提供應變小組開設與查詢、警戒區域設定、勤務日誌管理與查詢、通報統計表等功能。輪值管理主要提供應變小組輪值人員登錄、聯絡資料查詢與維護，以及應變小組輪值表之設定。

災情通報管制系統主要為各項災情之交辦、移案作業。災情報告管理系統為應變小組成立後之各災情報告、防救災會報作業。簡訊發送系統、傳真發送系統、電子報發送系統主要提供各項訊息之發送作業與查詢功能，目前災情通報目前僅提供水土保持局人員使用，內容包括代辦工作清單、輪值人員登錄、輪值人員基本資料維護、災害查報單、天然災害勘查統計表及災情資料統計表等；代辦工作清單詳細列出水土保持局所屬各工程所尚未辦理之事項，可讓工作人員清楚各未辦事項之優先順序，以便即時處理，輪值人員登錄主要提供應變小組成立後，各緊急處理小組人員輪值登錄作業，另輪值人員基本資料維護可提供各輪值人員聯絡電話查詢。災害查報單主要提供勘查人員於災情勘查後之填表作業，將資料詳細紀錄於資料庫，以利事後之查詢與統計作業。天然災害勘查統計表與災情資料統計圖分別以圖表的方式列出各行政區之災情統計，可將各地區之災情分布一覽無遺。

(四) 土石流觀測示範站

蒐集土石流現地資料工作時克不容緩，因為無法蒐集到足夠的資料就無法使土石流研究順利進行另為驗證土石流警戒基準值之準確性，且土石流研究如果要有突破性發展，就必需如同孫子兵法所言：知己知彼百戰百勝，想要掌握土石流就必需先瞭解土石流發生時的環境因素著手，為此，水土保持局於 90 年度已先行辦理土石流觀測示範站架站先期評估計畫，該計畫已選定過去所建立 18 站土石流

觀測示範站地點及桃芝、納莉颱風所產生之新興災害地點共計 41 處，就集水區整治情形、災害演變情形及通訊傳輸之可行性進行評估後，已選定南投縣國姓鄉九份二山、水里鄉上安、郡坑地區、信義鄉豐丘地區、神木村及苗栗縣草蘭鎮白布帆、台北縣瑞芳鎮大粗坑、花蓮縣鳳義坑、台東縣卑南鄉射馬干社區及雲林縣古坑鄉華山地區等十處進行土石流觀測示範站之架設，架設儀器包含攝影機、鋼索檢知器、地聲、水位計及雨量計等儀器，期確實掌握土石流發生之現象與時間，做為土石流警戒基準值調整之參考數據，目前該系統為克服偏遠山區之通訊問題，已採用衛星傳輸架構(VSAT)，並將現地影像資料已整合於土石流防災應變系統，期透過網際網路方式提供各級防災單位現場訊息，並於民國 91 年陸續正式啟用，歷經多次颱風及豪雨的考驗，充份驗證新的通訊技術可以排除惡劣的天氣環境，將資料傳送回到水土保持局防災資料庫，也重新開啟了土石流研究的新契機，92 年度將進行行動觀測站之研究與測試。

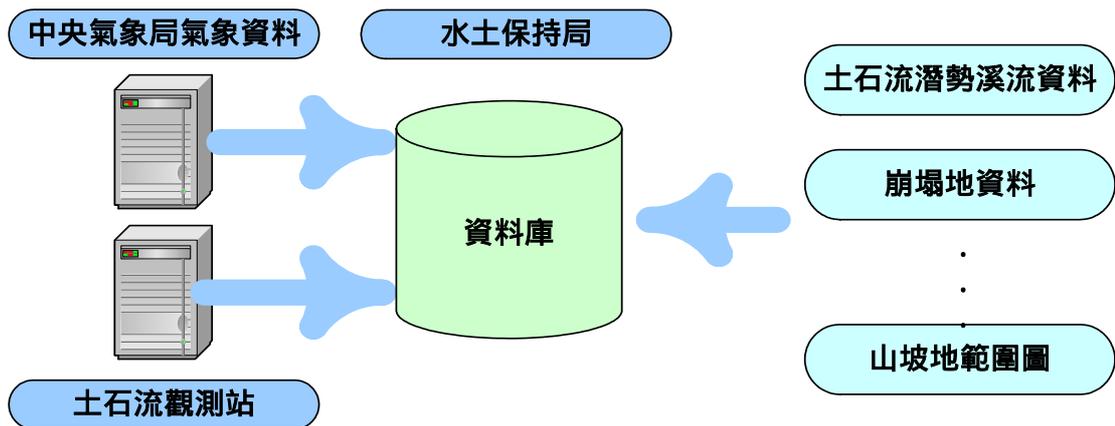


圖七 土石流觀測站資料傳輸架構圖

肆、土石流資訊 E 化及 M 化

近年來網際網路技術蓬勃發展，土石流資訊亦由傳統管理方法開始導入 e 化管理概念，e 化概念不僅於將現有資料數值化而已，更重要的是要建立建全的資料儲存管理及流通機制。因此水土保持局於民國 90 年著手規劃建立坡地災害地理資料庫，將各種坡地災害資料(如土石流潛勢溪流、崩塌地、山坡地地形圖等資料)集中管理，避免造成各單位間資料版本上管理問題，同時透過網際網路地理資訊系統提供民眾及公部門上網查詢坡地災害資料。

同時水土保持局為有效提昇土石流災害管理效能，開始著手規劃建立 e 化土石流資訊管理平台，一方面與中央氣象局透過專線連接取得即時氣象資訊，並規劃建置土石流觀測站開始著手進行土石流觀測及資料蒐集工作，另一方面積極委託學術單位進行土石流警戒模式研究，以全自動系統蒐集、分析、儲存及展示各種土石流資訊。



圖八 水土保持局資料蒐集示意圖

e化後的土石流資訊管理為水土保持局帶來極大的效益，一方面提供水土保持局全方位掌控所有的土石流情資，並配合自動化簡訊系統及傳真系統，可隨時將土石流訊息同時傳送至各單位；另一方面，所有的土石流資訊集中儲存於資料庫，因此透過際網路任何人皆可以從網站上得到最新的土石流訊息。

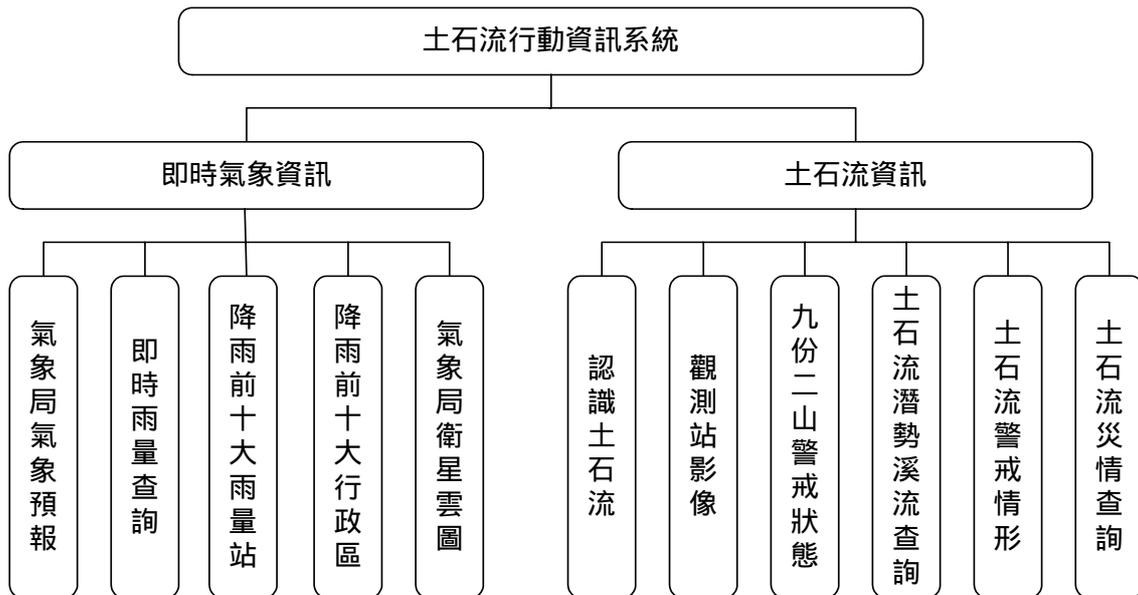
現階段土石流資訊管理已建立e化災害管理的良好典範，e化後可以讓所有人在任何地方使用瀏覽器得到土石流訊息，但我們不禁會思考這樣的方式足夠了嗎？當身處辦公室之外想要找一部可以上網的電腦何其困難，因此，m化的概念開始萌芽。

但何謂m化，它可以帶來什麼效益呢？m化指的就是行動化(Mobile)，藉由行動通訊技術讓需要得到資訊的人可以真正隨時隨地得到訊息，不受空間的限制。土石流資訊e化及m化後最大的效益是將土石流資訊提供網絡架構得更為完整，在辦公室時可以利用電腦上網得到土石流訊息，不在辦公室時則可利用行動通訊設備來取得土石流訊息。

伍、新一代行動上網技術-i-mode

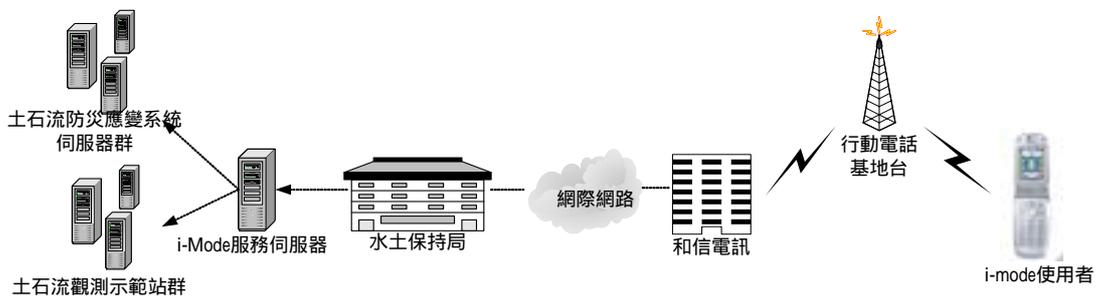
國內行動電話已逐漸普及，行動電話已成為民眾生活不可獲缺的隨身配備。同時在民營電信積極推展i-mode服務下，使得國內擁有了相當良好行動上網平台，同時也促使水土保持局提出m化的土石流行動資訊系統的想法，希望民眾在使用行動電話同時，也能夠隨時掌握土石流訊息。

水土保持局所提供的土石流行動資訊系統主要傳達的訊息包含中央氣象局颱風動態、衛星雲圖、雨量資料及每日定時發佈的氣象預報資料，提供民眾瞭解未來幾天的天氣狀況，以便民眾安排外出行程。另一方面，傳達土石流相關訊息，包括教導民眾關於土石流正確知識、是否已發佈土石流警戒、土石流觀測站即時影像及土石流潛勢溪流調查資料。

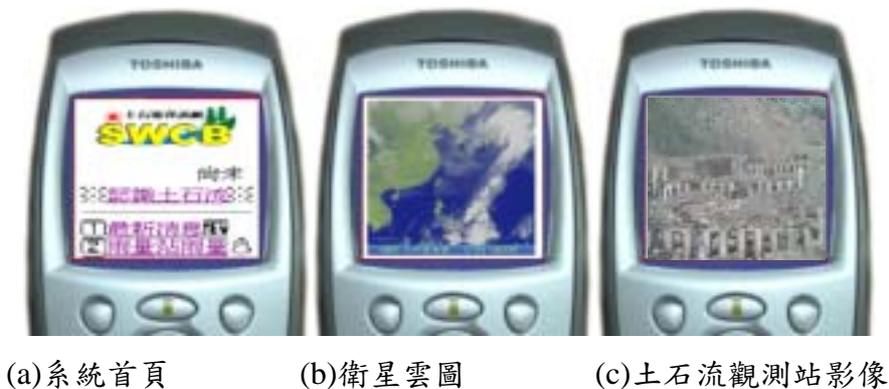


圖九 土石流行動資訊系統功能架構圖

系統整體架構如附圖九所示，使用者僅需要具備一台 i-mode 行動電話，即可隨時隨地透過通訊業者所架設的行動電話基地台將資料請求傳送回到水土保持局 i-mode 服務伺服器，當 i-mode 服務伺服器接收使用者資料請求時立即向後端伺服器群查詢資料後，將資料回送至使用者行動電話上(圖十)。



圖十 土石流行動資訊系統架構圖



(a)系統首頁

(b)衛星雲圖

(c)土石流觀測站影像

圖十一 土石流行動資訊系統畫面

陸、土石流防災與監測工作後續發展方向

(一) 土石流防災資訊將朝向 5S/3C 方向前進

目前土石流防災應變系統與各項應變作業，為結合新科技與新想法，將整合衛星定位系統（Global Positioning System；GPS）、地理資訊系統（Geographic Information System；GIS）、遙感探測處理系統（Remote Sensing；RS）、數值影像系統（Digital Photographic System；DPS）、專家系統（Expert System；ES），並整合資訊(Computer)、通訊(Communication)及消費電子(Consumer Electronics)等新科技產品，在災前整備部分將利用遙感探測處理系統、數值影像系統、地理資訊系統持續進行土石流潛在地點的調查與後續演變觀測，並利用地理資訊系統進行數化與建檔，同時製作圖冊並運用網際網路地理資訊系統進行防災資訊公開，在災情通報部分，將利用衛星定位系統，結合 PDA 等消費電子產品，運用 GPRS 等新一代通訊方式，即時將災情影像回傳，並利用最新資訊及通訊方式將土石流觀測站所回傳現地影像及防災資訊除由網際網路方式進行資料展示外，將再藉由手機上網或行動上網等無線上網方式提供各界進行決策參考專，最後將整併各項防災資訊建構土石流防災知識庫，期建立專家系統，將土石流防災應變資料轉為資訊再轉為知識管理系統，有效將各項經驗保留，以利日後查詢與分享。

(二) 推動全方位監測制度：

目前土石流防災已初步擬訂三級化監測制度，並已落實實施：

1. 長期監測—土石流潛勢溪流及崩塌地定期監測：

目前水土保持局已完成土石流潛勢溪流調查計 1,420 條，崩塌地調查計 40,266 公頃，因以上潛在危險地點常因地文條件及保全對象遷移而造成危險度變化，為此，水土保持局將定期針對以上各潛在危險地點以新興遙測與現調方式進行演變趨勢觀測，包含定期空拍判釋與危險區影響範圍判定，期掌握危險區動態變動資料並定期監測，並辦理土石流防災宣導、土石流防災演練及土石流防災雙向溝通座談會，期由心理層面著手，提昇自主防災意識。

2. 中期監測—颱風路徑與降雨中心分析：

本項工作期將以往颱風路徑、降雨中心及災害情形進行建檔，當最新颱風來臨時，即參考中央氣象局所提供可能行經路徑資料預測降雨中心，並參考所建立資料庫，針對可能受災範圍提出警戒通報，期能於颱風來臨前 48-72 小時，進行警戒通知，以增加應變時間，為達到本項工作，水土保持局已於九十二年度科技計畫項下開始研究辦理。

3. 短期監測—土石流警戒基準值訂定與土石流觀測站建置

配合土石流警戒基準值訂定與現地土石流觀測，期能掌握土石流可能發生之各項徵兆，包含由降雨因子出發所訂定之土石流警戒基準值、量測土砂阻塞路量堆積造成流量減少之水位計、土石流發生時土石撞擊之地聲檢知器，土

石流動時可感應之鋼索檢知器及土石崩落之次聲等資訊，期能於颱風來臨前 12-24 小時之應變時間。

七、結語

水土保持局目前已整合土石流潛勢溪流調查成果、土石流警戒值訂定成果、土石流防災疏散路線訂定成果及土石流觀測示範站所回傳之現地影像與資訊並透過中央氣象局所提供之即時雨量資訊進行警戒分析，並以系統化及標準化方式，將土石流災害應變小組之開設程序、災害通報程序、災情回傳程序及應變小組開設時之各項應變經驗累積，並朝向知識管理方向前進，該系統為國內第一套網際網路版土石流防災應變系統，未來仍需在產、官、學界努力下，與中央氣象局、國科會等單位合作，並加快研究腳步與應用推廣，共同與各級政府建構完成坡地防災技術體系，期減少土石流災害來臨時之生命財產損失。