

土石流防災應變系統與監測工作推動展望

The Prospect of Debris Flow Disaster Response System and Monitoring Technology

吳輝龍

行政院農業委員會水土保持局 局長

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與未來展望進行說明，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、整合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。

一、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。

二、土石流發生之可能徵兆

依據各項文獻指出，一般土石流發生時，有溪水混濁、流量變大或變小、水流聲變得尖銳及上游處有火花發生……等多項徵兆產生，該項特徵如表一所示。為此可利用土石流發生前或發生時的現象以各種先進之儀器，進行土石流發生時各項資訊的蒐集與現象之觀測，期能避免土石流發生時造成人民生命財產損失。目前土石流觀測系統主要可分為非接觸性及非接

觸性兩種觀測方式：

(一) 非接觸型監測系統

本項係採用與土石流可能發生有密切相關之因子，做為預警指標，並即時將相關資料回傳土石流防災應變中心進行研判，目前均採用降雨參數為警戒指標，本方式亦可稱為事前型之監測方式，其所能提供之應變時間較長，惟準確性較不高。

(二) 非接觸型監測系統

本項係採用與土石流可能發生有密切相關之因子，做為預警指標，並即時將相關資料回傳土石流防災應變中心進行研判，目前均採用降雨參數為警戒指標，本方式亦可稱為事前型之監測方式，其所能提供之應變時間較長，惟準確性較不高。

表一、土石流發生之徵兆

時間點	徵兆	原因
	1.附近有山崩或土石流發生	因其他的坡地斜面或許也不安全
	2.野溪流量突然增加	因為上游地帶有豪雨
	3.有異常的山鳴	因山崩的預兆或山崩已發生
	4.泉水停止	因斜面變形、水路閉塞
	5.溪水中帶有流木	因發生山崩或溪岸沖蝕
	6.溪水異常混濁	因發生山崩或溪岸沖蝕
	7.溪流中有石頭之摩擦聲音	因溪流流量增大
	8.有怪臭味	因上游發生山崩，為上游腐植層之臭味
	9.有樹木裂開之聲音	因上游已發生土石流
	10.動物有異常行為	因人沒有辦法感受到的異常事發生
	11.溪水流量急劇減少	因上游之野溪閉塞
	12.有「GO」的聲音	因土石流發生
	13.見到像雷光的閃電	因土石流發生
	14.有水柱	因土石流發生
幾小時前		必定發生
一小時前		發生可能性高
幾分鐘前		有發生可能
發生土石流		

(三) 接觸型監測系統

本項係以土石流發生後之各種徵兆及其流動時所產生的特性進行觀測與比較，常用者如利用鋼索檢知器架設於防砂壩溢洪口或橫跟河道兩岸，當土石流流過時會扯斷鋼索因而發出警訊，此外，由於土石流發生時會有巨礫撞擊河床而傳出「go」的聲響，並且河道兩側附近之地表亦會產生震動（此種因土石流造成之地表震動又可稱為土石流地聲），即可利用次聲探測器量得土石流發生時空氣中的聲音，並以地聲檢知器量測土石流地聲訊號。本方式亦可稱為事發型之監測方式，其準確性較高，惟所提供之應變時間較短。

三、土石流防災應變系統

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

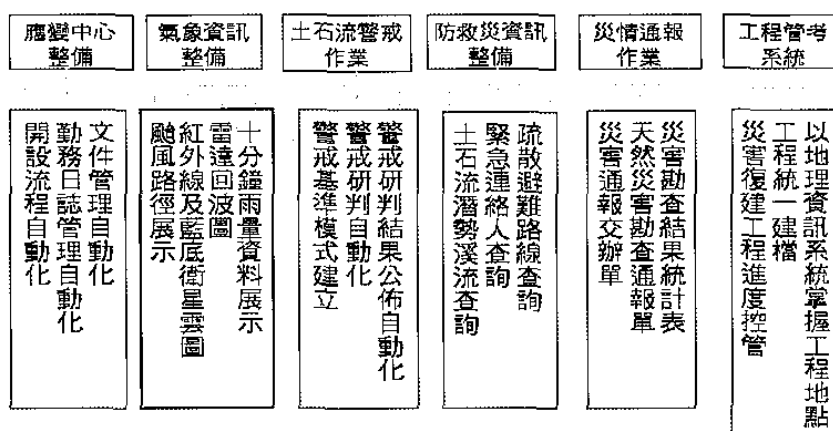
（GIS, Geographic Information Systems）與網際網路之技術，是一套結合空間與屬性資訊，以提供展示、儲存、管理及分析之決策支援系

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、災情通報作業及工程管考作業等六大功能（詳附圖一）。

(一) 系統架構

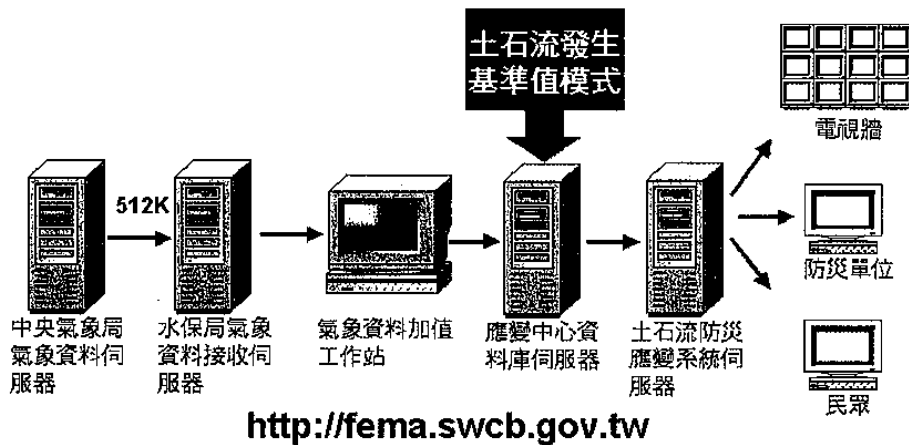
土石流防災應變系統採用多階層架構規劃，以提昇系統效率及穩定性。依據目前土石流防災應變系統硬體規劃架構，可區分中央氣象局、水土保持局土石流災害應變小組及使用者三大部分。

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。



附圖一：土石流防災應變系統功能架構圖

土石流防災應變系統架構



附圖二：土石流防災應變系統傳輸架構圖

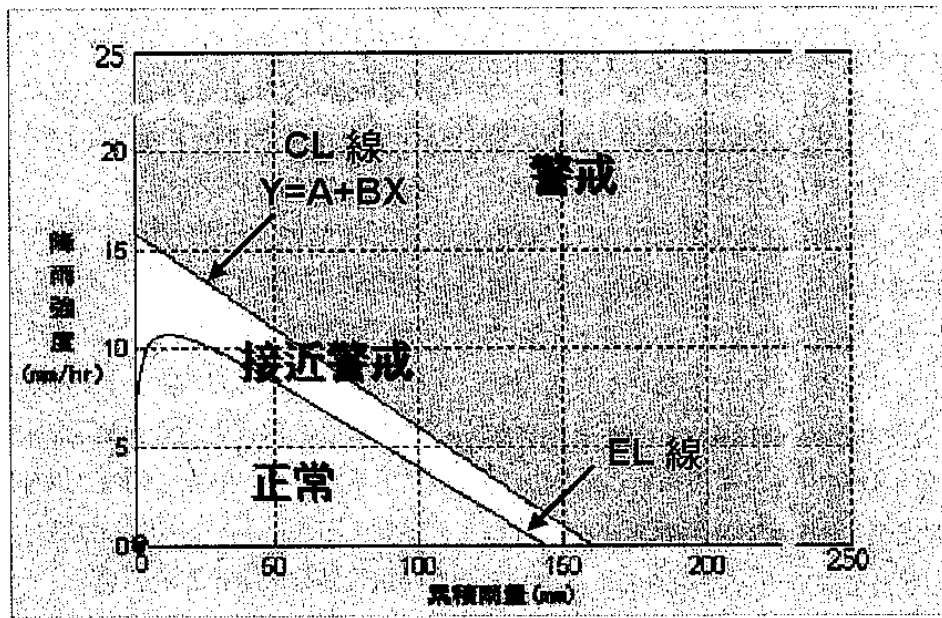
土石流防災應變系統的核心工作分別有雨量加值工作站、土石流警戒分析工作站及土石流資訊伺服器三部電腦所構成，雨量加值工作站主要針對氣象局颱風預報單、雨量站十分鐘即時雨量及衛星雲圖三種資料做加值處理；土石流警戒分析工作站主要針對氣象局雨量站資料進行分析，並計算出各鄉鎮累積雨量及降雨強度等雨量資料後，透過土石流警戒臨界值分析模式加以計算以評估各地土石流警戒狀況；土石流資訊伺服器中架設有土石流防災應變系統網站，可將雨量加值工作站及土石流警戒分析工作站所處理後的結果公佈到國際網路上以提供民眾或其他防救災應變中心獲最即時土石流警戒與災情狀況，以上系統傳輸架構如附圖二。

（二）土石流警戒分析模組

中央氣象局已於全省架設三百餘座雨量站，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 921 震災後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附圖三，另並於九十二年度開始朝向機率預測模式發展。

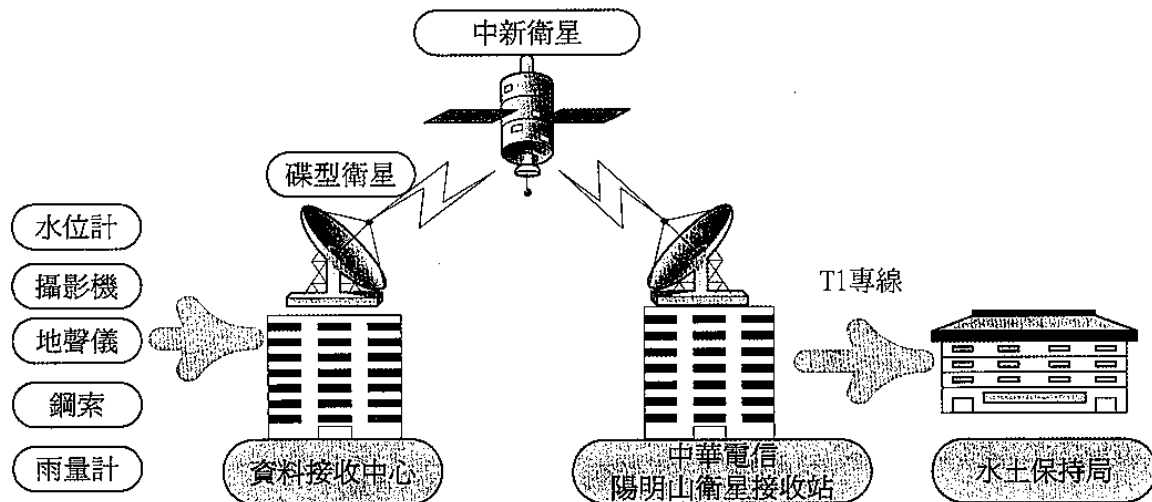


附圖三：土石流警戒分析模式示意圖

(三) 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，也重新開啓了土石流研究的新契機。



附圖四 土石流觀測站資料傳輸架構圖

四、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。

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，因此透過網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東立 e 化災害管理的良好典範，e 化後可以讓所有人在任何地

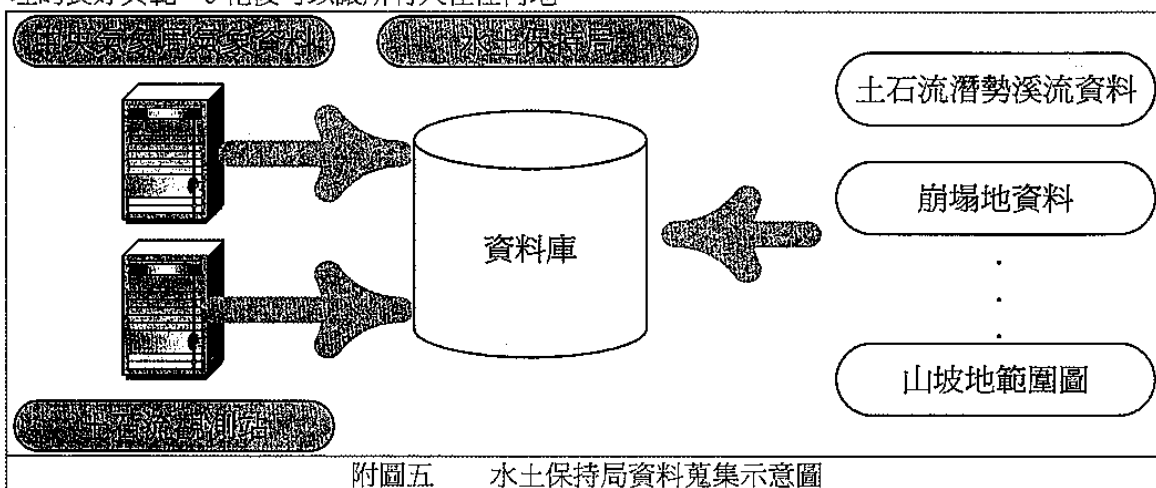
方使用瀏覽器得到土石流訊息，但我們不禁會思考這樣的方式足夠了嗎？當身處辦公室之外想要找一部可以上網的電腦何其困難，因此，m 化的概念開始萌芽。

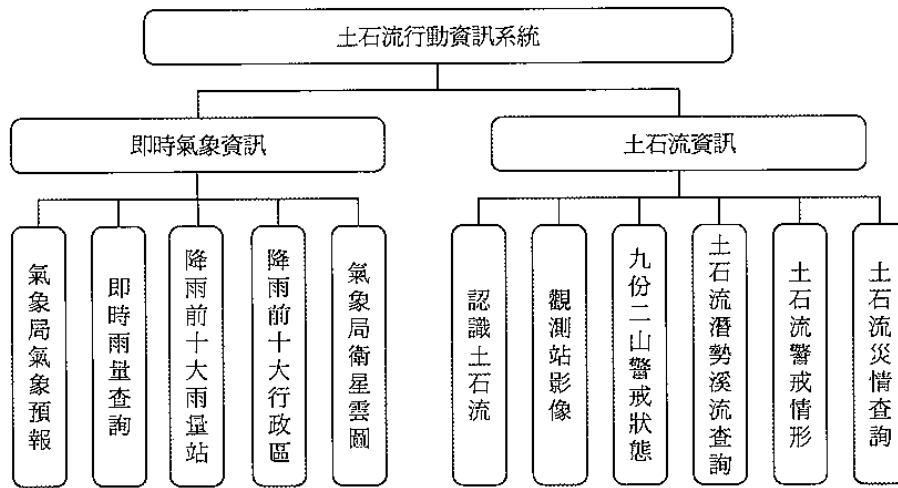
但何謂 m 化，它可以帶來什麼效益呢？m 化指的就是行動化(Mobile)，藉由行動通訊技術讓需要得到資訊的人可以真正隨時隨地得到訊息，不受空間的限制。土石流資訊 e 化及 m 化後最大的效益是將土石流資訊提供網絡架構得更為完整，在辦公室時可以利用電腦上網得到土石流訊息，不在辦公室時則可利用行動通訊設備來取得土石流訊息。

五、新一代行動上網技術-i-mode

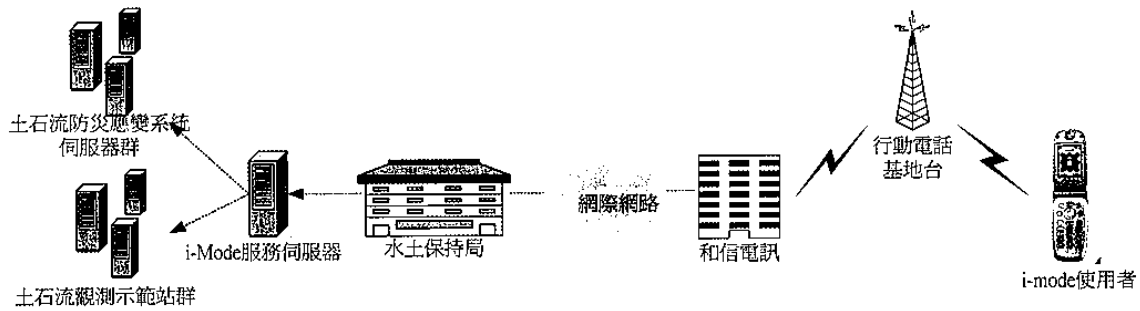
國內行動電話已逐漸普及，行動電話已成為民眾生活不可獲缺的隨身配備。同時在民營電信積極推展 i-mode 服務下，使得國內擁有了相當良好行動上網平台，同時也促使水土保持局提出 m 化的土石流行動資訊系統的想法，希望民眾在使用行動電話同時，也能夠隨時掌握土石流訊息。

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。

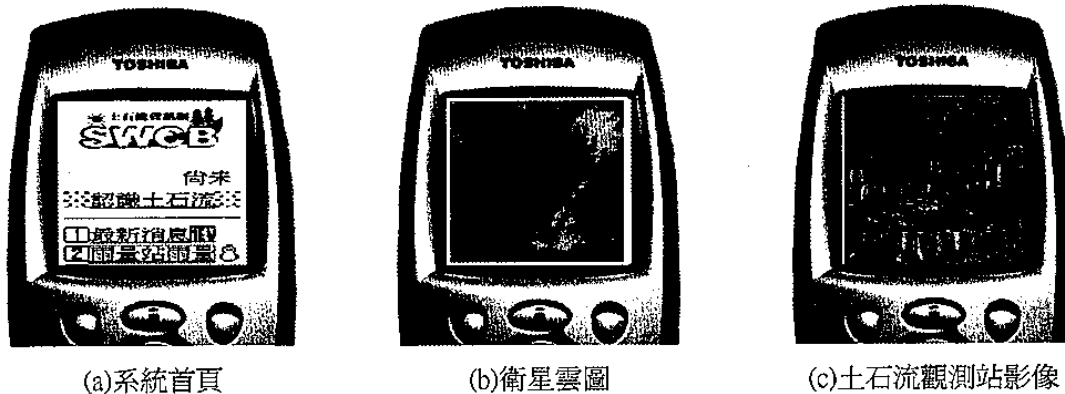




附圖六 土石流行動資訊系統功能架構圖



附圖七 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

附圖八 土石流行動資訊系統畫面

系統整體架構如附圖七所示，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(附圖八)。

六、土石流防災與監測工作後續發展期待

(一) 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場地定期監測：

目前水土保持局已完成土石流潛勢溪流調查計 1,420 條，崩場地調查計 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，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、量測土砂阻塞流量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。

(二) 通訊與網路系統穩定性如何提昇

目前已利用專線將中央氣象局雨量資訊傳輸至土石流防災應系統且利用衛星通訊方式將土石流現場觀測資料回傳，並整合至土石流防災應變系統，惟因各項傳輸設備間所涉及之軟、硬體設備相當多，如遇相當惡劣環境時恐將面對停電、斷訊與機器損毀之問題，雖水土保持局土石流災害應變小組已設有發電設備，且土石流防災應變系統目前已於中華電信黎明機房建立地備援與主機代管事宜，未來仍將持續吸收科技新知以尋求更穩定之傳輸方

式。

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，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。