

◎ 水土保持技師公會

水土保持技術

論文下載網址: <http://swct.mdu.edu.tw>

坡地防災預警技術(四)－坡地災害監測分析與預警

蘇苗彬*

國立中興大學土木工程學系 教授

四、坡地災害監測分析與預警

部份摘錄自“梨山地滑整治監測與預警系統設置”，(民 83.6.2)在台灣省坡地災害防治技術小組第十五次委員會的專題演講稿

監測系統為地滑地調查工作的一部份，亦即為對地滑地現況及將來變化直接掌握的唯一手段，由現地調查分析之研判，在現地適當地點，佈置各式的儀器或設施，以人工或自動資料蒐集系統來掌握現地的變化。其實施與功能通常可分三個不同之階段，可以於工程之“施工前”，預先佈置，掌握現地之狀況與變化，而於工程之“施工中”，持續之監測，可以保障工程之品質與影響，且於工程“完工後”，長期的監測，除了確保工程之預期效能外，並可評估工程之完善與否。

預警系統，為一監測系統的延伸，以監測某項或多項自然或人為環境的變異，推測可能引發的災害，而預先發出警告的系統。然其組成，可依其功能的需求，分為多種不同之層次。一般而言，預警系統之基礎，為現地設置的監測系統。

(一)監測系統的組成

地滑地的監測系統規劃，通常考慮在整治之前，先針對現地佈置必要的監測系統，如若設置及觀測得當，可以於三個階段：包括施工前，施工中，及完工後發揮其功能，一個地滑地的監測

系統應依照現地現況及其可能變化作成規劃，通常可以為下列項目的組合：

- 1.降雨量：降雨通常為地滑趨動的主要因子，亦為監測及預警的要項，可由區域內之地形、地質情況，綜合降雨量判定其對引致地滑再發生的影響，預先設定危險降雨的範圍。
- 2.地下水位：邊坡內之地下水位，或地下孔隙水壓力直接反應出其受靜水壓力或滲流應力狀態的改變，亦影響其現況的安全，監測邊坡地內下水位變化，可隨時配合其他條件，由程式計算得其安全係數，並預估後續的變化。
- 3.邊坡表面之移動量：邊坡表面的移動，為地滑、崩塌最直接的表徵，對地面的移動或傾斜量的監測，可視為大規模變化的前兆與預警，唯地表變化的發生可能離大規模滑動時間距離很短，無法充分反應。
- 4.邊坡地層內的移動：地層內移動的量測，通常可以更正確的描述整體移動的量與範圍，且更早出現警示，提供較長及完整的反應，但地層內的監測需要設置鑽孔等，花費較高。
- 5.結構物變形：滑動區域內，結構物的變形量，往往可以反應出地層的變形，對於結構物受力狀態及變形量的量測，同時可以反應出結構物本身安定及安全，亦為監測中的一個要項。
- 6.應力變化：邊坡內亦可於適當位置設置應力變化的監測系統，通常內部應力的變化，造

*通訊作者，電話：04-22872221 轉 234；傳真：04-22862857

E-mail address: mbsu@dragon.nchu.edu.tw

成應變，才形成變形與滑動，故經過分析檢討後，可於邊坡受力集中之地點，及各種擋土設施上，作應力變化的量測，可推估其受力變化的情形，預知可能發生的地滑或崩坍，提供較長的反應時間。

- 7.其他：其他如地震力的量測，區域載重情況，坡面地下水滲出量等等，亦可以協助判定邊坡的現況穩定情形。

針對以上要項在地滑地監測中可選用的各種儀器，大致如表1中的說明與應注意事項。

在整體監測系統的規劃考量上，依日本高速公路調查會報告中，所述在不同階段的要點大致列表如表1中所示，揭示不同目的所應有的觀測項目與方法。

唯特別注意到崩塌地處理需進行的監測作

業，依其崩塌類型而定。在山崩的問題，以地表變形、地震力監測為主，而地滑及潛移，則以地表及地層內部位移及傾斜為要項，土石流的監測則以地表逕流量及土砂堆積變化為主，沖蝕則受降雨，表面沖蝕量等影響，應依工作之需要構組成適當的監測系統。

適當佈置之監測系統，如加以自動化規劃，可設計成一完整之自動資料蒐集系統，其要件為各感應零件及記錄部份，需得為電子式自動記錄，配合電腦系統，則可以完全由電腦控制自動蒐集與記錄，不需人力操作，提供更佳之資料整理與應用。

自動資料蒐集系統，可以再配合有線電話或無線電話，作成自動資料傳送系統，現地資料蒐集儲存於現地主要控制電腦後，由安裝完成自動撥號機及解碼器，利用通訊，可傳送至城市內各

表1 規劃地滑監測系統之要點(高速公路調查會，1988)

狀 況	調查、規劃	施工、維護	緊急對策
目的	- 判斷危險度 - 確認地滑機制及動態	安全管理	- 監測地滑活動 - 判斷應急對策 - 工事的必要性 - 重新評估工程規劃
觀測項目及計測器材	<判斷危險度> - 地表變動：管式傾斜儀、伸縮計 <確認地滑機制及動態> - 地表變動：管式傾斜儀、伸縮計 - 地下變動：孔內傾斜儀、孔內伸縮計、管式應變計 - 地下水位：水位計 - 氣象：雨量計	- 地表變動：管式傾斜儀、伸縮計、光波測量(觀測樁) - 地下變動：孔內傾斜儀、孔內伸縮計 - 地下水位：水位計 - 氣象：雨量計 - 流量：流量計或量水堰	- 地表變動：伸縮計、丁形樁、光波測量 - 地下變動：孔內伸縮計(既設) - 地下水位：水位計(既設)
配置	- 管式傾斜儀：傾斜變動最大之處 - 伸縮計：跨越張力裂隙之處 - 孔內傾斜儀、孔內伸縮計、管式應變計、水位計：網狀佈置 - 雨量計：地滑區附近	- 管式傾斜儀、伸縮計、孔內傾斜儀、孔內伸縮計：1個 - 活動滑動體內設1~3組 - 地下水位計：1個活動滑動體內設1組 - 雨量計：地滑區附近	伸縮計、丁形樁：跨越張力裂隙
觀測期間及頻率	1年 1~4次/月	- 工事開始至完工後適當的期間 - 手動觀測：1~2次/月 - 自動觀測：2~4次/月 - 但超過管理基準時則應提高觀測頻率	1次/10分~1日

機構的辦公室，如此就可以在機構的辦公室內直接掌握現地的狀況，不受天候、人員工作時間等的限制，對於防災工作，尤為重要與適切。

工程人員於接受到傳送系統送來現地監測之結果時，可據以判斷現地的情況，災害是否屬緊急，而研定處置的對策，比如於現地發出緊急避難的警告，或是應該加強戒備地滑、落石等各種不同層次的警戒。

唯考慮人為的研判與操作，難免受限於各人之判定能力及工作時間，理想的方式為構組成一完整之自動分析與研判之電腦軟體系統，可以直接由接受到的資料，配合預先設立的資料庫，綜合分析研判災情，作出處置的指令，再藉由硬體的設置，如廣播系統，即可發出緊急災害的警告，其中最重要的為如何配合現地情況，建立一完善的自動分析研判的電腦軟體系統，來作為預警系統的大腦。

(二)變化分析與機制研判

監測系統所觀測到的結果，需要經過研判才能變成有用的資訊，而分析研判的過程，則需要事先對現地有足夠的了解，預先建立足以描述地滑地特性的機制，才能有效利用監測的結果，供作預警及判定之用。以下列出幾個需深入檢討分析的項目，以闡述分析與研判的工作重點。

1.降雨、地下水位變化及移動量的相關性分析：

這是地滑地變化分析最基本的項目。

2.地下水位變化空間分佈：

區域的地下水位變化特性，可由觀測井的讀數來研判，通常地下水位變化並非等量，受地層分佈影響極大，這是決定地滑發生的關鍵所在，由地下水位變化的空間分佈特性，可以推求供描述區域水文地質特性的概念模式，進而提供穩定分析及預警研判之用，為系統有效成功的要項。

3.地層滑動量的空間分佈：

藉由觀測得之地層滑動量的空間分佈作圖，可以研判其滑動的位置，主要方向及可能影響範圍等，如再輔以各剖面之地質資料，可資提供作機制的研判，各滑動體的區分，是否合理，將來是否會有變化，亦應一併考慮。

4.區域內結構物的變化：

滑動區域內各式結構物為亟需直接保護的對象，其後續變化及可堪使用的程度或者復舊工作，都是整治工程中不可遺漏的重要環節與指標。如何建立結構物與地層的互制作用機制及結構物的安全評估，是必需的工作項目。

5.地滑發生的滑動面：

滑動面所在位置為機制研判重要的項目，這變化在機制的研判及將來的排水設計影響很大，應有足夠的調查與觀測資料來描述。

6.排水及擋土效果評估：

監測系統的一個很主要的功能在於工程成效的評定，所設計的工程是否如規劃設計發揮其功能，應藉由監測來作評估，同時對排水及擋土施行監測，亦可提供安全預警之功效，故其安定評估及系統的後續利用應有完整的規劃。

7.長期整體安全監測及預警系統的考量。

(三)預警系統

大致而言，地滑的預警系統應能做到地滑的預測與地滑的預報。地滑預測主要指推測地滑發生可能的範圍；地滑預報主要為推測可能發生大規模移動的時間。

地滑預測應包括：(1)可能發生地滑的區域、和地點(2)可能發生地滑的基本類型(3)可能發生地滑的規模，及(4)可能發生地滑的基本特性，如運動方式、滑動速度等。

一般而言，地滑預測只要經由詳細的調查與分析建立第四節中所述的各項模式，應可作出適當的判斷。而最困難的是如何預測發生破壞的時間，地滑的大規模運動，有如地震的發生，會有部份的徵兆，但準確的預報仍屬急需研究建立的領域，必得配合模式推估及現場實際監測結合分析，作適當的判斷。

在地滑破壞之前，常可見到如下之徵兆(劉光代，1988；渡正亮與小橋澄治，1987)：

- 1.邊坡上緣之張力裂隙互相連通，且裂隙寬度與錯距不斷增大。
- 2.滑動體趾部出現隆起、放射狀壓力裂隙、小規模塌方等。
- 3.趾部突然出現湧泉，或是已有之泉水變濁或乾涸等。
- 4.地體震動、地鳴、沒颶風但樹木的枝葉卻沙沙作響、電桿搖動等。
- 5.動物異常反應等。

以上所述各種前兆一般多與不正常的集中降雨有關。

綜合言之，預警系統以監測系統為主體，除硬體之設備外需再配合許多其他的附屬工作，分述如下：

- 1.調查與試驗：除了針對現況所進行完成之工作外，得針對本地區地滑地進行設置預警系統所需之現場調查與試驗工作。
- 2.分析與規劃：邊坡穩定的分析為設置預警系統主要的準備工作，先研判其範圍、深度等，才能規劃適當的監測項目及位置。
- 3.模式建立：各部份研判模式為預警系統的核心，需得配合建立許多研判模式，就梨山地區之特性，建立如降雨、地下水變化、各種變形量與應力改變等與地滑趨勢的相關性。模式應經建立、測試後方才形成可用之預警系統，其中可能得借助部份專家系統的建立，為最主要的軟體研究發展的部份，亦是預警與監測最主要的差別。

除上述各項以外，硬體本身當然也是很重要的部份，如何從國內外各儀器設備製造廠商之產品，選擇適合本地區的設備及合乎本預警系統的需求，由於國內經驗較少，應有專業人員進行整體系統的籌組。

(四)預報與緊急處理措施

有了預警系統來監督梨山坡地的安全外，行政管理仍是安全考量不可或缺的手段，在民國79年10月，內政部頒佈實施之山地開發建築管理辦法中，規定了山坡地有下列地質情形之一者，不得開發建築：

- 1.坡度陡峭者。
- 2.地質結構不良、地層破碎、斷層或順向坡有滑動之虞者。
- 3.現有礦場、廢土堆、坑道及其周圍有危害安全之虞者。
- 4.有崩塌或洪患之虞者。
- 5.有向源侵蝕之虞者。

地滑的防治工程，從施工至完工，通常須花費一段時間，這期間必需要有一管理基準來監測邊坡的活動性，甚至於完工後瞭解其有效性，以保障工程人員及附近居民生命財產的安全。並且在地滑防治工程施工或維護管理階段，隨時掌握所發生之微小變動及徵兆。因此，應儘速透過現場水文地質調查、概念模式建立等手段，建立各種儀器觀測數據的分析方法與及預測預報的準則，以作為制定管理基準之依據。

建立預測的準則後，應訂立管理權責單位及工作項目，及各組織之資訊連絡系統。

在地滑危險範圍外，亦應再尋求較穩定之區域，以供設置臨時避難場所之用。

在實際整治工程推動之初，應參照先前調整監測的結果，再度慎重考量緊急處置措施及避難場所選定，如有必要應進行必要的監測作業，不斷依現況變化修正必要的措施。

(五)結語

5.1 監測結果

依梨山地滑地區設置之自動監測站所觀測到歷年的資料，可觀察現地地下水變動之情形以及其他相關數據，依照監測數據繪製成關係圖形，將降雨強度、地下水水位與地表伸縮計等變動量關係提出說明，以提供安全的評定及治理的成效，就變化較明顯部份說明如下：

由B5監測數據關係圖(圖1)了解此區排水工程確實大幅度的降低地下水水位，集水井的施工使地下水水位約降低15公尺，而排水廊道之施作更加速了水位消退之能力，水位下降約28公尺，目前水位變化量極小，所以整體評估此區地下水水位已因排水工程而受控制。

5.2 監測數據分析

如圖2中所示，在分析降雨與地下水水位之關係時，以時間序列的自我迴歸移動平均模式(ARIMA)分析方法對降雨與地下水水位建立合理之轉換函數，並在多場暴雨之轉換函數中挑選出最具代表性之轉換函數，且藉由對不同場次降雨之模擬，對轉換函數加以驗證，求得降雨與地下水水位之關係函數。

綜合總權重分數整體研判之流程可以分為以下四個階段，如圖3所示：

第一步驟：

由雨量觀察，若雨量達注意的基準值時，確認監測系統運作正常，開始進入第二步觀察。

第二步驟：

進行地下水水位觀察，若有某一監測站地下水水位到達警戒，且持續水位上升時，確認系統運作正常，由工程所應變中心隨時注意現場狀況，並進入第三步觀察。

第三步驟：

進行地表伸縮計觀察，若有某一監測站的應變速率達警戒時，工程所應變中心需24小時監控監測數據，並觀察應變速率是否持續3小時，若持續3小時以上，馬上計算福祐法的Tr值是否小於5小時，並進入第四步觀察。

第四步驟：

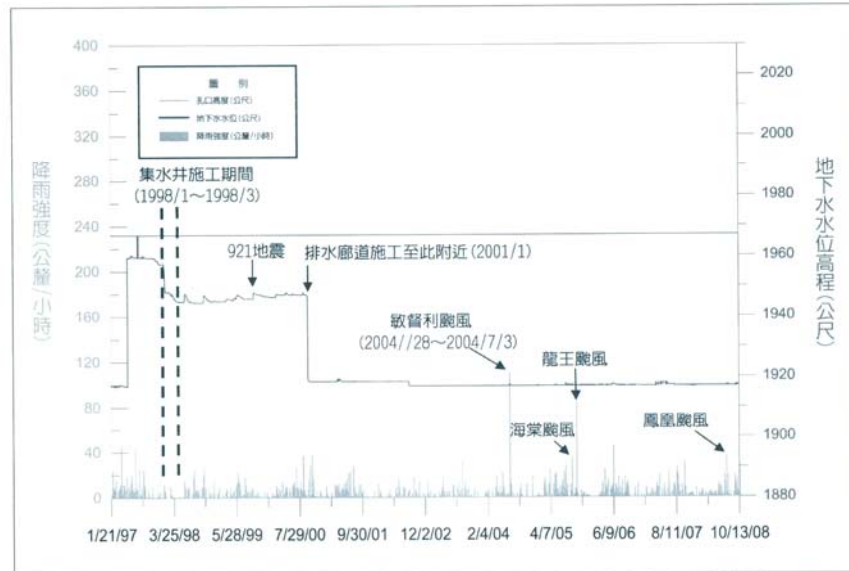


圖 1 B5 監測站降雨強度、地下水水位及地表伸縮計變動量之關係圖

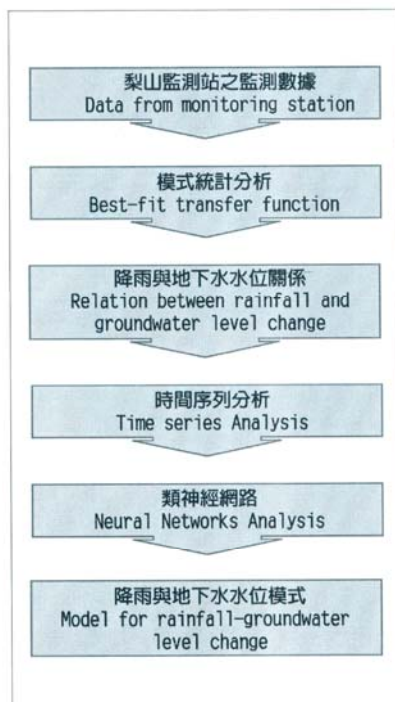


圖 2 資料分析的過程

進行總權重的計算，工程所應變中心需 24 小時監控所有監測數據加總權之總分，觀察是否達警戒或疏散，若達警戒值則立刻通知現地村長或警察單位有此依情況發生，需隨時注意現地狀況，但毋須通知民眾。但若第三步驟與第四步驟都達疏散標準，則應立刻通知現地民眾疏散至梨山國小避難。

5.3 監測即時顯示系統

梨山地滑地區的自動監測系統已整合成爲一套完整的監測管理與具預警功能的系統，電腦將自動接收梨山地滑區內各自動監測站回傳的地下水水位、雨量、地表傾斜量等資料，進行即時基準值研判分析，由電腦研判後提供現況安全狀況的評估，再利用即時監測網頁來顯示目前各區域的安全狀況(如圖 4)。

●梨山地滑區簡介網頁

將梨山地滑區資料整體架設於水土保持局第二工程所，除了可將梨山資料庫、監測資料查詢、即時顯示系統、梨山地滑區介紹等納入網站管理外，並與水保局本局互相連結，成爲水保局治山防災之一部分，展示成果與宣導之功能，讓大眾了解梨山地區目前之狀況與政府努力推動觀光事業之成果(如圖 5 及圖 6)。

●即時監測網路系統

將原本的梨山地滑區即時顯示系統加以網路

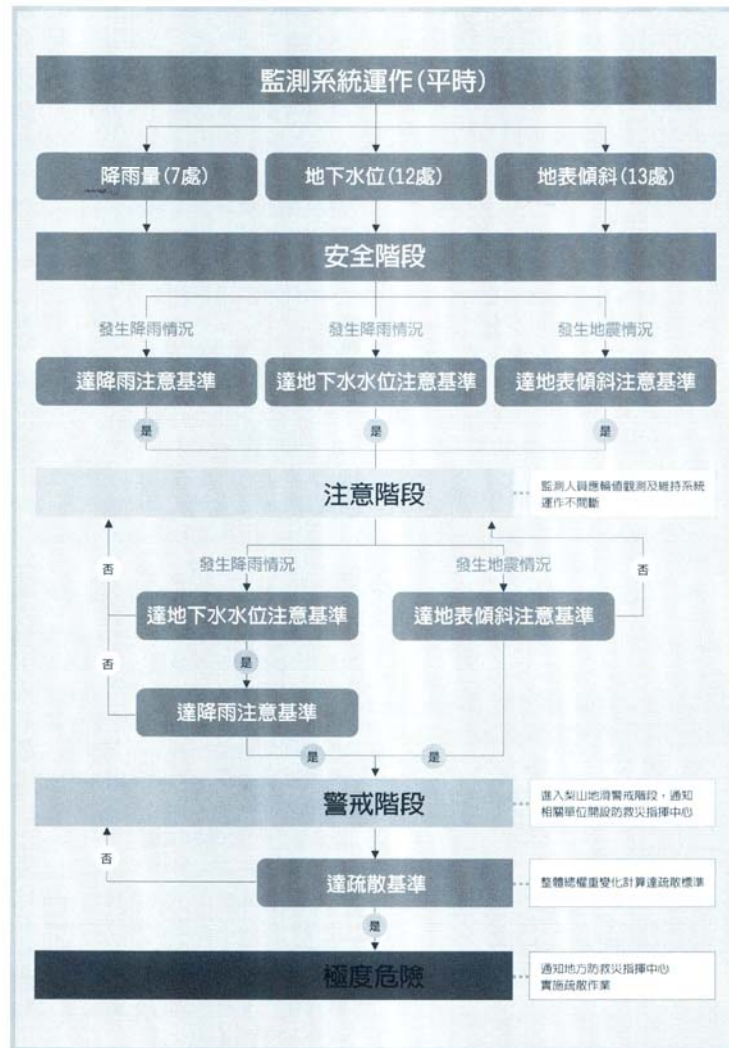


圖 3 預警研判的流程

化，透過即時資料之傳輸，系統可直接研判梨山之地下水水位、雨量等監測儀器處於安全、注意、警戒、疏散之等級，藉由燈號顯示與網路之快速瀏覽功能，能簡單與即時的了解梨山目前之狀況(如圖 7 及圖 8)。

(六) 結語

針對以上所述，監測與預警系統設置的工作，可依下列方式進行，大致內容如下：

(1) 準備階段，包括：

1. 過去資料整理，研判與現場踏勘、擬定草案。
2. 儀器適用性篩選，採購部份主要組件進行測試。
3. 地區安定性的分析、探討，擬定最佳的監測項目與位置。
4. 建立各種分析模式，包括各監測項目與安定

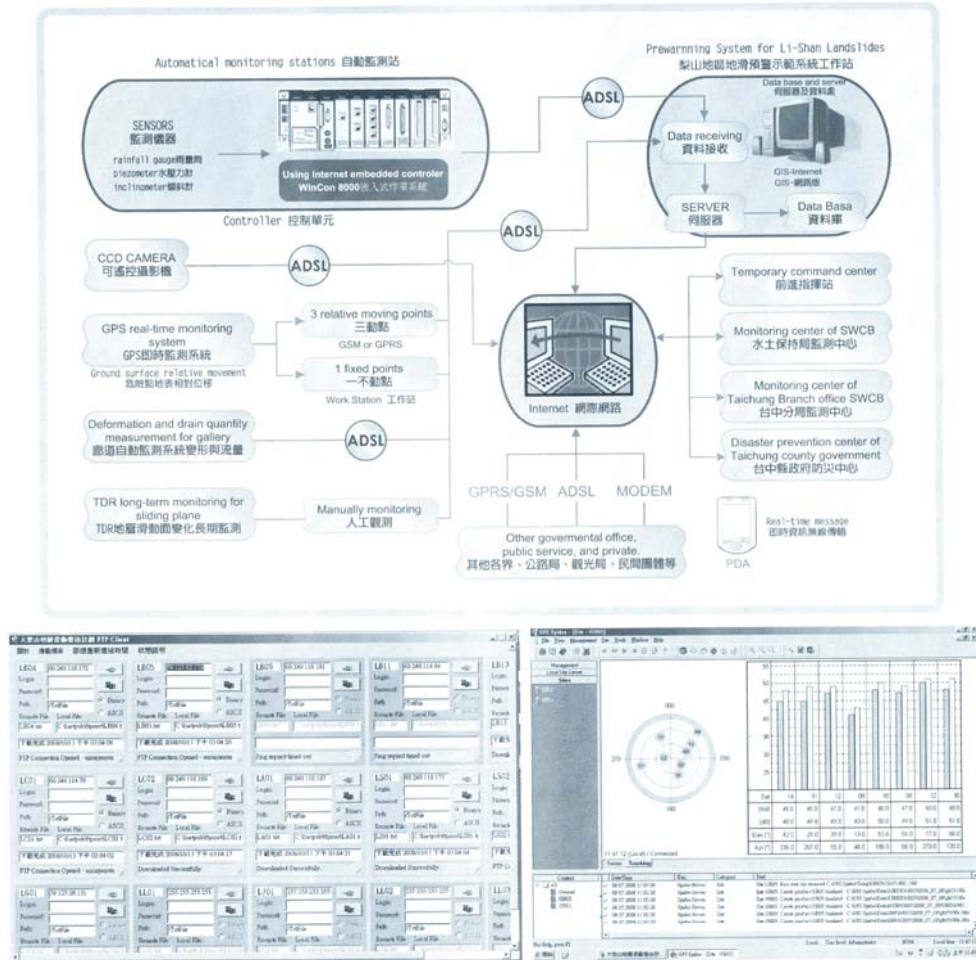


圖 4 即時顯示系統的架構與監測畫面



圖 5 台中分局之業務介紹、相關照片與觀光導覽等網頁



圖 6 梨山地滑區網頁導覽首頁



圖 7 梨山地滑區即時監測網路展示系統

之間的相關性。

5. 建立自動資料蒐集與傳輸系統，並完成測試。

(2) 實施階段，包括：

1. 整體監測項目及位置的確定。
2. 現場鑽孔、佈置及儀器實際的設置、安裝與測試。
3. 分析模式與觀測項目，軟硬體之間的連接與測試。
4. 整體預警系統建立與測試，開始進行監測。
5. 長期監測，提供預警功能，並作必要之修正。
6. 擬定預警及緊急反應計畫，並作必要之演練。



圖 8 梨山地滑區即時監測數據顯示