

與會報導

地工技術分享餐會—李錫堤教授

近年地工先進陸續結束公職或任職，期望藉由「地工技術分享餐會」，讓地工先進累積的寶貴工程技術與研究成果得以分享，並透過聯誼交流達到經驗之傳承

時 間：中華民國 106 年 8 月 25 日（星期五）下午 5:30~9:00

地 點：彭園餐廳（臺北市忠孝東路五段 297 號 5 樓，近捷運永春站）

主持人：董家鈞 教授（國立中央大學應用地質研究所）

主講人：李錫堤 教授（國立中央大學應用地質研究所）

講 題：「區域性山崩災害製圖」與「山崩與地滑地質敏感區」

張瓊文* 勞薇婷* 整理

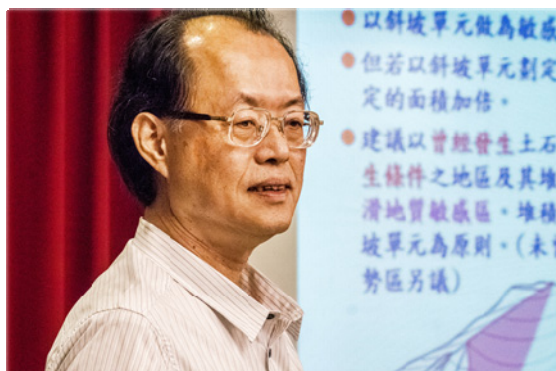
主持人：董家鈞教授

李錫堤教授是民國 64 年台大地質系畢業，民國 66 年台大地質系碩士班畢業後，進入中興工程顧問公司任職。民國 80 年 1 月離開中興公司，同年 2 月進入中央大學任教並籌備應用地質研究所，民國 80 年 8 月應用地質研究所正式成立，李教授擔任第一任所長。

李教授過去有兩項重要的工作，跟臺灣的發展有非常高的關連性，第一項是民國 66 年到 75 年負責翡翠水庫工程定案研究、基本設計及施工監造中的地質暨層縫處理工作；第二項是民國 78 年到 80 年負責雪山隧道路線評選及基本設計中的地質與地工調查設計。因為他的傑出貢獻，在民國 73 年獲得中國工程師學會的優秀青年獎，也因為學術上的傑出表現，在民國 105 年獲得科技部的傑出研究獎，這是非常重要的獎項。也在屆齡退休的當年度，獲得地質學會的地質貢獻獎，這是非常不容易的。

李教授對臺灣工程地質的貢獻相信大家都非常清楚，以下條列幾項重要的工作。首先，李教授的碩士論文是研究南橫公路的地層及地質構造，其中南橫公路的禮觀層是由他所命名。另外，何春蓀老師有一本「臺灣地質概論」是臺灣重要的地質文獻，書中收錄了李教授的碩士論文，可以確定李教授在地質方面的學養非常好。

李教授的博士論文是臺灣的大地應力分析，他在剛進中央大學工作時，帶領多名學



照片一 李錫堤教授分享講座

生做出不少相關的碩士論文。他在民國 80 年開始於中央大學任教後，即開設地理資訊系統(GIS)及遙感探測的課程，當時這兩項技術都還在起步階段，這說明李教授是非常勇於接受新資訊的人。當時我在交通大學，民國 81 年念博士班時，也僅有一名測量領域的教授開設地理資訊系統(GIS)課程，那是第一年在交大開始有地理資訊系統(GIS)的課程，但是李教授已經開始在教了。李教授到了中央大學以後，透過自行進修，開始教授地質統計學，他認為地質學對土木工程的貢獻需要量化。

李教授在學術生涯中還有幾個重要的研究方向，一為地震危害度分析，這是延續他在工程顧問公司的做過的工作，到目前為止，李教授在地震危害度分析方面還是臺灣最具有權威的人。另一方面為山崩研究，在中央地質調查所長期的支持下，李教授做了非常深入且紮實的一系列研究，他認為自己作山崩危害度分析是很自然的，因為他教授

* 國立中央大學應用地質研究所

地理資訊系統(GIS)、遙感探測、地質統計學，這些基礎知識到最後彙整起來就是支持他可以把山崩研究做好的重要條件。最後，李教授是全世界第一個開設地震地質學課程的人，他在進中央大學任教前，已經在台大地質系及中大地物所開設地震地質學，當時陳正興教授從第一堂課聽到最後一堂課，而林銘郎教授則是選修了這堂課。現在很多加州名校都有開設地震地質學這堂課，李教授可說是開創先河。我們現在用最熱烈的掌聲歡迎李教授。

主持人：李錫堤教授

山崩災害製圖

謝謝董事長、江淮兄給我這個機會，也謝謝董教授的介紹，今天主要是分享餐會，所以桌上紅酒大家請先開始享用。今天演講分為兩個部分，第一部分是區域性山崩災害的製圖，第二部分是山崩與地滑地質敏感區的經驗交流。

第一部分主要以 2011 年我在地工技術 129 期所發表論文為基礎，共同作者為中央地質調查所環工組費立沅組長。首先要感謝中央地質調查所過去連續 10 幾年來支持山崩方面的計畫，讓我的研究團隊在這方面的技術能成熟並且逐年進展。過去各國的山崩潛感分析都僅限於小區域，無法做到很廣，一個地方所訓練的模型，難以應用在其他地區。而我所要強調的第一是廣域性，而且不僅是作潛感分析而是要做到災害(hazard)分析。這部分研究曾跟地調所環工組費立沅組長一起在國際工程地質學會年會發表，並以專書的方式出版。

地震或山崩、洪水危害度分析，都屬於天然災害分析，天然災害分析有一定的層次，要作天然災害分析首先一定要有時間序列資料，要先建立時間序列資料，從這些資料可以知道哪裡曾經發生過、哪裡常常發生或哪裡發生災害較大。有了資料之後，初步可以做潛感分析(susceptibility)，潛感分析只是將一個地區發生災害的可能性分為若干相對的等級，並沒有機率值(probability)，若要進行災害分析(hazard analysis)或風險

分析(risk analysis)就需要有機率值；災害分析要計算一個地區在特定時間內發生某種程度災害的發生機率；風險分析是災害分析的進一步，須計算特定時距某災害機率下的災損。山崩災害的分析方法（投影片一），較為人知者為邊坡穩定分析，是屬於特定地點的山崩穩定分析；山崩潛感分析是屬於區域性分析，將一個地區發生山崩的可能性分為若干相對等級；而山崩災害分析就進一步要計算特定時間內發生崩塌的機率；山崩風險分析則是分析特定時間內可能發生山崩災害規模下造成災損的額度。

過去 30 年來，有了地理資訊系統(GIS)及數值地形模型(DEM)之後，臺灣及國際間產生了不少山崩潛感分析的碩博論文，大家開始建立各種因子圖層及山崩潛感模型，並繪製山崩潛感圖。早期使用定性分析方法，電腦軟硬體發展成熟後多採定量方法，定量法又分為統計法、人工智慧及無限邊坡法。以往的山崩潛感分析有許多必須解決的問題，首先，最嚴重的問題是同一地點以不同的山崩目錄去建立模型，所產製的山崩潛感圖是不一樣的。如投影片二，瑞里地震的誘發山崩潛感圖，在瑞里地震的震央附近會有一片紅色的高潛感區；集集地震的誘發山崩潛感圖，在桶頭附近也有紅色的高潛感區，因為在那裡有個子地震；桃芝颱風的誘發山崩潛感圖，高潛感區的分布就平均一點。大家可否記得在集集地震之前的地震危害度圖，苗栗發生過大地震，苗栗就一處高區；嘉南發生過大地震，嘉南就一處高區，中部只是中震區，這就是資料紀錄時間不夠長所造成的問題。過去的山崩潛感分析常以某一批航空照片的山崩去訓練模型，會出現高潛感值集中在山崩較多的地方。雖然國外也有使用多期山崩目錄建模者，但多期所涵蓋的時間要多長呢？時間不夠還是不行的，就像地震危害度分析一樣，過去用幾十年不到百年的資料去建，那還是不夠，還沒有辦法涵蓋一個週期。

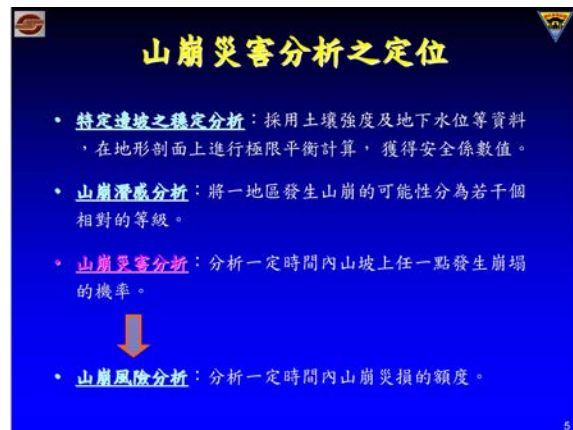
第二，山崩有許多類型，如墜落、翻倒型、淺層滑動、深層滑動、流動型、潰散型，

各有不同的崩塌因素，未區別山崩類型去建立模型，會降低模型的準確性，應依不同山崩類型各自建立山崩潛感模型。第三，潛感等級只是相對的等級，缺乏物理意義，僅代表潛感值高一點的比較容易發生山崩。在不同地方所建立的模型，其高潛感值所代表的災害狀況並不一樣。藉由地震危害度分析的研究經驗，地震危害度分析所產製的地震災害圖，主要是呈現最大地動加速度(PGA)的等值線分布，也可呈現 3 秒、1 秒、0.3 秒的譜加速度或震度的等值線，要有個參數出來，這參數叫做災害度(hazard level)，要能分出災害等級，才能製作災害圖。如果沒有這個觀念就無法將潛感分析升級到災害分析，要有定量的災害度觀念，才有辦法製作災害圖。

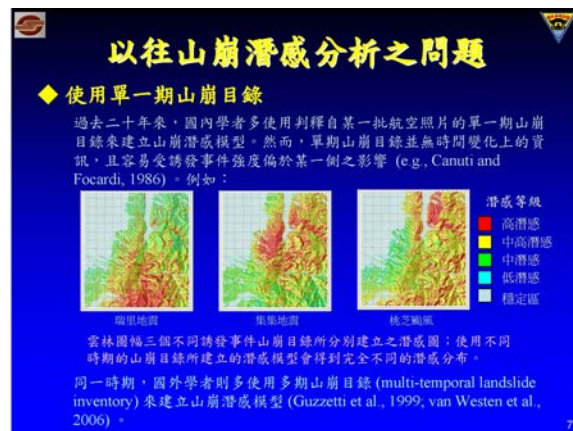
第四、過去山崩潛感分析大多侷限於小區域，因區域地形地質異質性(heterogeneity)問題，一區域建立之潛感模型雖可以解釋該地區之山崩，但卻無法預估另一區域之山崩分布。第五、由投影片三所示，賀伯颱風的誘發山崩分布在河岸邊，集集地震誘發的山崩靠近稜線，不同的誘發原因，山崩分布位置是不一樣的。也就是說，地震誘發的山崩比較靠近稜線，颱風誘發的山崩分布則相反。不同的誘發原因要分別建立模型，做預測時也是要用分別的模型去預測，若是混在一起那就做不好。

針對上面所說的山崩潛感分析面臨的問題，我們也提出了相對應的解決辦法。由單一期山崩目錄建模所造成的偏差，有兩個解決辦法，一為國際上通用的多期山崩目錄，不能只用一期要用很多年的山崩目錄去作潛感分析工作。我們在十幾年前，也就是 2003 年開始試作地調所的山崩潛感分析，那時的目標是要製作全國兩萬五千分之一的山崩潛感圖，當年做得好的國家都是用多年期山崩目錄，臺灣山崩目錄那麼少，哪找得到多年期山崩目錄，因此想出另外一個辦法，就是使用事件型山崩潛感分析，這也是被逼出來的，現在發現這是最好的方法。

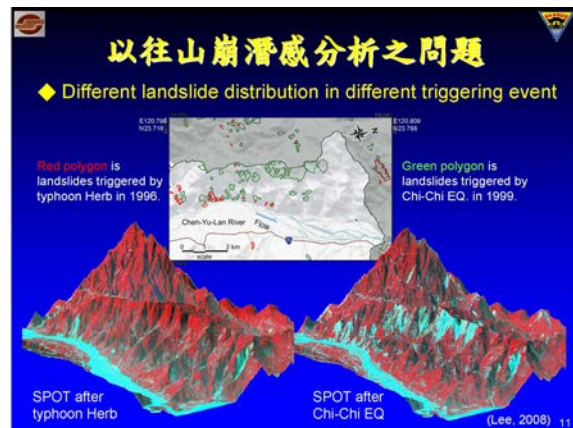
有關異質性區域的山崩潛感模型建立，



投影片一 山崩災害分析之定位



投影片二 雲林圖幅不同誘發事件山崩潛感圖之比較



投影片三 陳有蘭溪西岸賀伯颱風與集集地震誘發山崩分布位置比較圖

要產製全國兩萬五千分之一的山崩潛感圖，不可能全臺灣只建立一個模型，要做到較大比例尺就要考慮到各區域的地形地質都有變化的，是異質性的區域，所以要想辦法找到均勻區，假設均勻區內的各個地點具有相近的山崩發生特性。每個均勻區建立一個模型，並以此去預測或製圖。我們的均勻區是

以地形高度、坡度、坡向等各種地形地質因子，以遙測影像的分類方法做自動分類，經自動分類後再做評估，將全臺灣的地形地質均勻區繪製出來。整體構想是在每個均勻區可以建一個山崩潛感模型，再由這些模型來做製圖或預測。地調所計畫後來是以流域去分別建模，同樣的均勻區在每個流域都有一個模型。

我們所使用的災害度是崩壞比，崩壞比也就等於崩塌的密度，就是 100 格內崩幾格的意思。崩壞比最早是美國地質調查所研究員 Jibson 在地震誘發山崩研究中使用，在他的誘發山崩機率與永久位移值(Newmark displacement)圖中，將崩壞比稱為崩塌機率(probability of failure)，崩壞比是一種崩壞的機率，所以稱為崩塌機率或山崩機率。

歸納一下對於山崩潛感分析困境的解決辦法，第一要分均勻區，第二要採用事件型山崩潛感模型，第三、不同山崩類型要分開建立模型、不同誘發原因也要分開建立模型，第四、災害製圖應基於山崩機率也就是崩壞比。

山崩潛感分析有幾種常用的方法，例如羅吉斯回歸、判別分析、類神經網路或者是無限邊坡法的永久位移值(Newmark displacement)。我們在地調所過去的研究中，最早是選用判別分析，後來是用羅吉斯回歸。其中還有一項關鍵技術是雨量內插方法，以石門水庫集水區為例，面積約 700 多平方公里，雨量站不到 10 站，可能 100 多平方公里才 1 站，然而分析網格是 10 公尺見方的網格，如果採用徐昇式法則 100 多平方公里都同一個雨量值，雨量因子會在統計分析中會被模糊掉，因此需要高精度的雨量內插方法。好的內插方法不能僅用克利金法，而要用多變量地質統計學去聯合其他變數做聯合內插。目前發現最好的輔助變數是地形高度，地勢高的地方降得多、平地降得少；一個氣團從海面上過來，遇到地形拔高，氣團就跟著抬升，抬升就提早碰到露點而降下比較多的雨，故地形高度與降雨量相關性高。其他可以用的輔助變數尚包括坡度及坡

向；坡向與迎風面有關，坡度陡峭地區雨量也會比較大。僅以一般克利金法內插所得之雨量等值線很單調平滑，使用多變量地質統計學方法則可使雨量等值線呈現細緻的變化，每 10 公尺格點雨量值都不一樣。

本次報告選用的研究區是石門水庫集水區，由於要以比例尺兩萬五千分之一製圖，製圖平面精度要求為 12.5 公尺，且地調所的地質圖幅比例尺為五萬分之一，以這些條件評估後，採用 5 公尺的數值地形經去除雜訊處理後減幅成 10 公尺的數值地形，以 10 公尺網格產出兩萬五千分之一的山崩機率圖。

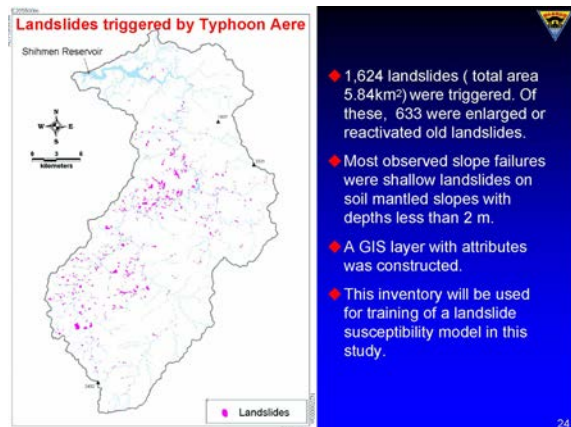
在山崩目錄的圈繪方面，可自動萃取衛星影像中色調明亮者，不過有許多明亮的地區並非山崩，通常會從色調、外型及圖徵來判定是否為山崩。目前 SPOT 影像的解析度已經接近航照影像，面積 0.1 公頃以上的山崩不易被漏判，很適合用來萃取山崩以提供山崩潛感分析建立模型。由事件前及事件後山崩目錄的差異，可以得到事件誘發山崩目錄，投影片四為艾利颱風誘發的山崩目錄。

要建立山崩潛感模型，首先要有山崩資料，之後要挑選合適的地形地質因子，若以坡度因子來做說明（投影片五），有了坡度圖及山崩位置，就可以將坡度圖分為山崩組與非山崩組，我們可以去畫兩組的次數百分比分布圖，如果兩組的分布曲線重疊在一起，那麼這個因子對山崩而言並沒有鑑別性，屬於無效的因子，兩組分布曲線分得越開越好，判別子數值越大越好；P-P 圖是檢查資料是否為常態分布；另外是崩壞比曲線，觀察是否坡度越大崩得越多；還有一個更定量的方法是成功率曲線(success rate curve)，可得知因子解釋山崩的能力，整個圖的面積是 1，曲線下面積越大代表該因子解釋山崩能力越好。以上是挑選好的山崩潛感因子的重要方法。

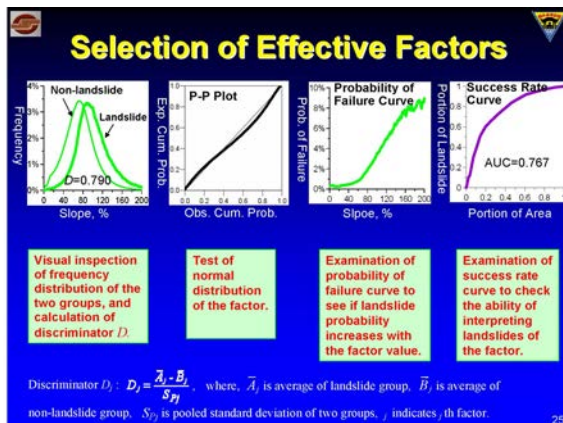
以石門水庫集水區為例，所選出的因子包括坡度、坡向、坡度粗糙度、相對坡高、全坡高、剖面曲率、植生指數、濕度指數、斷層距及兩個雨量因子。

我們採用羅吉斯回歸求取各地質地形變

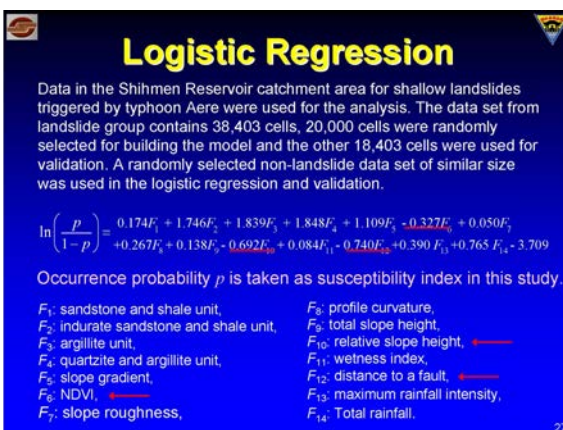
數 $F_1 \sim F_{14}$ 的係數（投影片六），方程式左側 p 為機率值，有山崩者為 1，無山崩者為 0，我們有數十萬個格點共同來推求各變數的係數，這就是所謂的山崩潛感模型。有了係數之後，只要把各格點的因子值代回，就可以求得各格點的機率值，機率值越接近 1 是越容易崩的。將此機率值當作山崩潛感值，可



投影片四 石門水庫集水區艾利颱風誘發山崩目錄



投影片五 石門水庫集水區艾利颱風誘發山崩之坡度因子分析圖

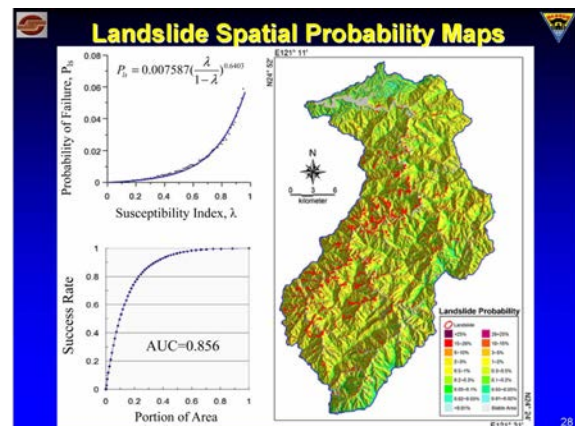


投影片六 石門水庫集水區艾利颱風山崩潛感模型

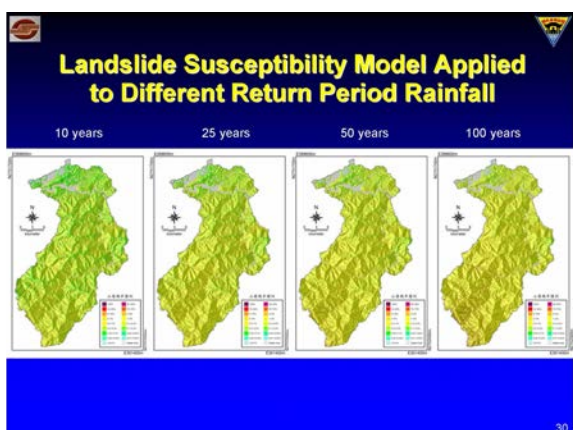
將潛感值與崩壞比的關係，以適當的方程式擬合，經由擬合方程式，各格點潛感值均可推算出崩壞比，也就是山崩的空間機率值，由這些機率值可以分級製圖，越紅者機率越高，可套疊山崩進行比較，如投影片七。

評估山崩潛感模型的優劣，可以透過成功率曲線進行評估，成功率曲線下面積(AUC)越大，模型越優良，例如大漢溪流域的艾利颱風山崩潛感模型的成功率曲線下面積為 0.856 即為好至極好的等級（投影片七）。另外，還要以其他颱風事件對模型做驗證，這裡用的是隔年的馬莎颱風，成功率曲線下面積 0.70 算是還可以。模型中有雨量因子，所以可以代入不同重現期距雨量，可以得到相對應的山崩機率圖，越紅者機率越高（投影片八）。

中央地質調查所先有三年的山崩潛感分析試作計畫後，接下來七年完成全臺灣兩萬



投影片七 石門水庫集水區艾利颱風山崩潛感模型崩壞比擬合曲線及成功率曲線暨山崩機率圖



投影片八 石門水庫集水區四種重現期距降雨量山崩機率圖

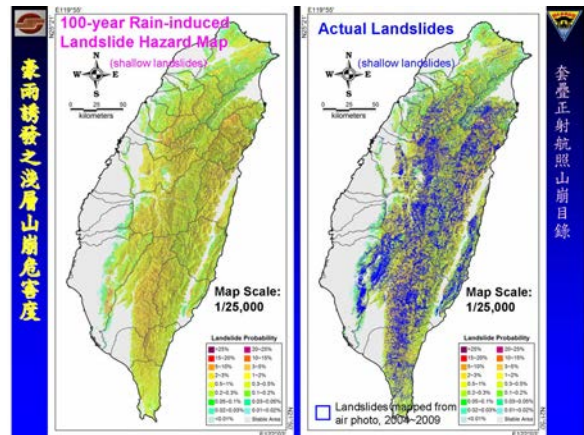
五千分之一的百年重現期距雨量山崩機率圖（投影片九），將此機率圖套疊航照影像所數化的山崩，可以看到機率圖中比較紅的部分都被山崩蓋住了，由此可見，實際的山崩確實都發生在山崩機率比較高的地區。

以上的山崩潛感模型僅適用於淺層山崩或稱為岩屑崩滑，為山崩災害製圖之需，我們也進行不同重現期距雨量分布之空間推估。所採用的重現期距 100 年雨量資料取自「集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估」計畫報告(中興工程顧問社，2010)，在同為地調所易淹水計畫之下，中興社蒐集了非常完整的雨量資料，包括氣象局及水利署的雨量站資料。

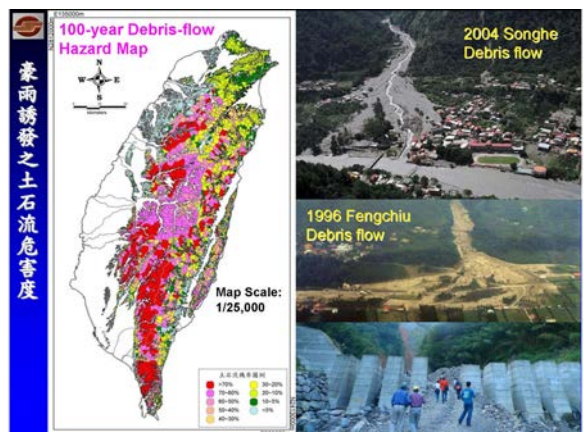
另外，不同山崩類型的山崩潛感模型應該分別建立，以土石流的潛感模型為例，分析方法與山崩潛感模型類似，要找出某事件哪些溪流發生土石流、哪些沒有發生，找出跟土石流有關的溪流地形地質因子，之後建立模型並製圖。投影片十為百年重現期距雨量土石流發生機率圖。深層滑動的發生深受構造及水文地質的影響，其潛感分析無法做到機率，我們在地調所的計畫中是用專家評估的方式，將既有的深層滑動分為高潛勢、中潛勢及低潛勢。順向坡也是根據一些準則將順向坡分為高潛勢、中潛勢及低潛勢。地震誘發山崩的潛感分析跟豪雨誘發山崩潛感分析是一樣的，只是促崩因子不一樣，地震誘發山崩是以愛氏震度作為促崩因子。如投影片十一，475 年重現期距也就是 50 年內發生機率 10% 的重現期距，最後要做出 475 年愛氏震度的山崩災害圖，把 475 年預估的震度代入山崩潛感模型中，即可得到重現期距 475 年的山崩機率分布。而 2475 年重現期距也就是 50 年內發生機率 2% 的重現期距。

這些研究有何用途呢？代入不同的地震事件或預估的颱風降雨就能預測可能發生山崩的位置；其次可以用來製作某個重現期距的震度或雨量之下的山崩機率分布圖，以供防災決策參考。由於每個網格都有崩塌機

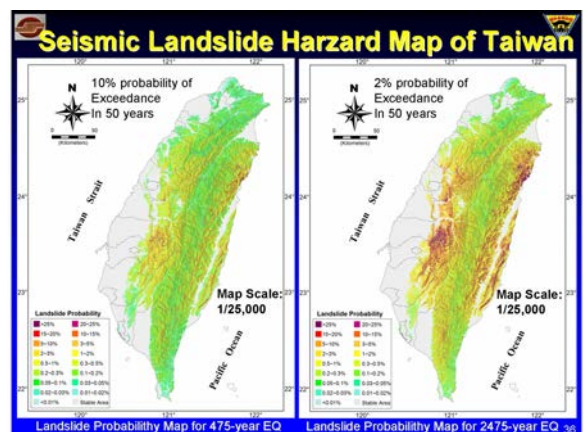
率，機率圖可換算成山崩面積，配合預估的山崩深度，就可以得到山崩的體積，進而推算有多少土方量會被沖刷到河道中，再去作河道演算，推估沈積物的運移。



投影片九 臺灣地區100年重現期距降雨量山崩機率圖暨套疊正射航照山崩目錄圖



投影片十 臺灣地區100年重現期距降雨量土石流發生機率圖



投影片十一 臺灣地區重現期距475年及2475年地震誘發山崩機率圖

山崩與地滑地質敏感區

第二部分是山崩與地質地滑敏感區，首先感謝中央地質調查所的支持，這是地調所最熟悉的議題，還由環工組陳課長帶領四位同仁一起來捧場，真是十分感謝。首先簡要介紹地質法的重要條文，在地質法中第八條及第九條提到基地地質調查及地質安全評估，第十條提到哪些技師可以做些簽證，第十一條提到這些送審的規定等。地質法之下有好幾個子法，其中有一個子法是「地質敏感區劃定變更及廢止辦法」，地質調查所正是依據這個辦法劃設及公告地質敏感區。地質敏感區共有五類，今天的重點是談山崩與地滑地質敏感區。

山崩與地質地滑敏感區有三個劃設重點，一、曾經發生土石崩塌地區，二、有山崩或地滑發生條件之地區，三、前兩項加上它的影響範圍，如堆積範圍或擴大範圍。

有關地質敏感區的基地地質調查地質安全評估作業準則中，比較關鍵的條文包括：第二條及第三條對區域調查及細部調查的規定；第四條及第五條對於調查報告的相關規定；第十六條是區域調查及細部調查之調查項目的規定，細部調查區是指基地與地質敏感區交集的部分，區域調查大概是基地周邊再外擴 2 公里的範圍，並與地質敏感區有交疊的部分；第十七條對於地質調查方法及內容有更詳細的規定，包括應利用航空照片或衛星影像或現階既有資料來做判讀判釋；地質鑽探孔數應按照面積大小等細部規定，並規定在某些狀況要增加鑽探數量，或者輔以地球物理探測等；第十八條是對報告書及附圖的規範，包括區域地質調查比例尺多少、細部調查比例尺多少及岩心柱狀圖比例尺不得小於一百分之一等。除了地質調查之外，第十九條概略規範地質安全評估的內容。

對於報告書的審查也有相關規定，早先規定在土地開發審查流程中，先遭遇的機構先審，後來又修正為每一個機關都要審。也就是說，地質敏感區基地地質調查及地質安全評估報告，水保審查要附、環評報告也要附，水保要審、環評也要審，土地開發相關

審查機關都要審，不過先審可供後續參考。另外，先前對於審查者的規定蠻多的，後來也都取消掉。送審的地質調查報告書格式及內容應參考「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊」，這個手冊內容詳盡，大概有一百多頁。

過去幾年中央地質調查所花了不少時間進行地質敏感區的劃設及公告，最早劃設的山崩與地質地滑敏感區的劃設應該是南投廬山地區，隨後台北市也完成劃設，也就是在 2014 年初，廬山地區及台北市都完成劃設，廬山地區隨即就公告，台北市則因經濟部仍有意見，所以延後到 2015 年 8 月才公告，目前台灣本島地區各縣市都已經完成公告。

現階段山崩與地滑地質敏感區的劃設流程，主要是根據 2014 年第九次地質敏感區審議會決議的辦法去劃，劃些什麼呢？第一是曾經發生過土石崩塌區，第二是有發生山崩或地滑條件地區，另外就是緩衝地區，目前所公告者都是根據這個流程所劃的。所有過去曾經發生過土石崩塌的地區，也就是中央地質調查所建立的各年期山崩目錄，由這些山崩目錄的聯集，可知道近 20 年內那些地方有崩塌過。曾經崩塌的地區在面積門檻值 625 平方公尺以上者，通通劃入地質敏感區。有發生山崩或地滑條件的地區，目前只納入順向坡一項，山崩潛感分析及山崩災害分析的結果，目前都還沒有涵蓋進去，目前各界討論比較多、意見比較多的可能是這點。影響範圍的部分，目前只用地理資訊系統對山崩目錄聯集與順向坡以環域方式外擴 5 公尺當作影響範圍。然而出圖比例尺是二萬五千分之一，內政部規定的二萬五千分之一地質圖的精度，就半條筆寬，為 12.5 公尺，因此 5 公尺環域是比較沒有意義，未來在通盤檢討時需再加以改進。中央地質調查所當初是在政策要求之下盡快公告第一版山崩與地滑地質敏感區，在第一版公告的同時，已經開始研擬下階段版本的改進方案。由投影片十二可知，現階段曾經發生土石崩塌地區為多年期山崩目錄，有發生條件地區僅有順向坡，其中部分山崩目錄的圈繪範圍

已涵蓋堆積區，隱含了影響範圍。在 2015 年至 2017 年，中央地質調查所已經召開過四次專家會議，各有它的主題，投影片十三中藍字項目是現階段山崩與地滑地質敏感區已經納入者，另外粉紅字項目是下階段劃定要考慮的。未來下階段的版本，主要關切的議題包括：劃設門檻值的檢討、山崩堆積和擴大的影響範圍、有發生山崩與地滑條件的地區，應可考慮納入山崩災害分析成果、有發生條件地區的堆積範圍，也要考慮進去，包括落石區還有堆積範圍、岩屑崩滑高潛感區及堆積範圍、順向坡的堆積範圍。另外還有大規模重力變形區、老崩塌地及其堆積範圍，也都是未來有發生條件的地區，都考慮納入山崩與地滑地質敏感區的劃定範圍。未來最小門檻值可能會有一些改變，2015 年委託中央大學進行研究，經由多年期的山崩目錄的套疊，我們發現有些山崩、有些地點會重複發生，有些地點發生過一次後，以後幾十年都沒有再發生了。這是淺層滑動的特性，淺層滑動也稱為岩屑崩滑，岩屑崩滑就是岩盤面以上鬆散土石的滑動，鬆散土石滑動後露出岩盤，暫無材料可崩，所以就不再崩了。我們由嘉義縣市歷年山崩目錄統計資料研究結果，建議歷年山崩目錄中僅存在一年期且面積小於 0.1 公頃的岩屑崩滑地區，將來不建議納入山崩地滑地質敏感區。採用 0.1 公頃為面積門檻值還有其他依據，因為目前劃設用的多年期山崩目錄中由衛星影像所圈繪之山崩，受限於影像解析度，面積 0.1 公頃以下的山崩可能有較多缺漏。

現階段劃定原則概況			
課題	曾經發生土石崩塌地區	有山崩或地滑發生條件之地區	影響範圍
劃定對象	多年期山崩目錄 (早期)具發生差異之崩塌地形 (近期)崩塌揭露 (未來)具滑動地形特徵者	順向坡	崩塌堆積區 擴大影響區
劃定方式	多年期山崩目錄聯集範圍	符合水土保持法規範定義之順向坡坡面	崩塌堆積區：包含於山崩目錄範圍內 擴大影響區：以環域方式外擴5公尺
資料來源	1.航照判釋山崩目錄 2.衛星影像判釋山崩目錄 3.光達(LIDAR)數值地形判釋大範圍地表變形	集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫圖繪之順向坡	崩塌堆積區：航照判釋山崩目錄 擴大影響區：無
資料品質	1.數值航照山崩目錄可符合 1/25000 精度要求 2.衛星影像人工判釋山崩目錄勉強可達 1/25000 精度要求	區域性圖繪成果應再加強確認	擴大影響區以環域方式外擴5公尺並無依據

投影片十二 現階段山崩與地滑地質敏感區劃定原則

我們也進行了有關山崩擴大特性的統計研究，山崩的外圍可能向下坡擴大、向上坡方向擴大或者向四周擴大。分析民國 69 年到 104 年間山崩目錄的時空變化，找出山崩範圍有外擴者，依其在坡面上的外擴方向加以分類。經詳細查核後發現，山崩受到所處坡面地形及水文條件的限制，使可能擴大的範圍並沒有明顯的規律可循。不過，山崩擴大的最大範圍絕大多數會局限於坡面單元之內。在地形學上有所謂的斜坡單元，一個斜坡單元，就是從坡頂到坡腳、還有兩側，它有極限、轉彎的地點，就是一個斜坡單元。山崩的擴大，不管是哪個類型山崩，它常常都會侷限在某個斜坡單元裡面，在這個斜坡單元裡面，山崩有可能擴大到這個邊緣，因此初步建議以斜坡單元做為岩屑崩滑擴大範圍的劃定依據。什麼是一個斜坡單元呢？最簡單的概念是將一級河的源頭延伸至稜線，把集水區切割成兩半，各成為一個斜坡單元；或是將集水區分成一級河源頭區及河流兩側山坡三份，這是比較合理的劃設方式。

落石的潛勢評估在以往的地調所計畫中已經有一些評估準則，根據評估準則可將落石區分為高潛勢、中潛勢跟低潛勢。落石的堆積影響範圍也有不少經驗公式，其中 Ritchie(1963)、張石角(1986)及 Corominas (1996)是比較常被各界採用的經驗公式，可以估計落石的堆積範圍。

有關潛在的岩屑崩滑區，上半場已經介紹了我們在全臺灣分均勻區與流域按照一定的流程來做的山崩潛感模型，也介紹了事件

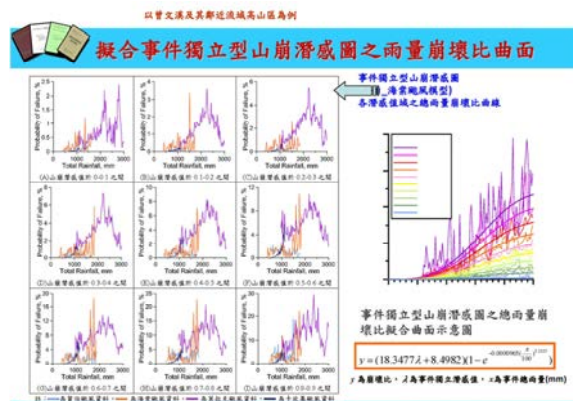
劃定原則重要議題				
山崩類型	曾經發生土石崩塌地區	有山崩或地滑發生條件之地區	影響範圍	影響範圍
	潛移區	影響範圍	潛移區	影響範圍
落石	多年期山崩目錄聯集範圍	堆積範圍：以斜坡單元為劃定對象	坡度55度以上且面積大於0.1公頃地區	潛在條件暫不列影響範圍
岩屑崩滑	多年期山崩目錄聯集範圍 *僅存在一年期且面積小於0.1公頃之山崩不納入	堆積範圍-山崩目錄已涵蓋 擴大範圍：以存在二年期(含)以上山崩之斜坡單元為劃定對象	山崩潛勢評估成果面積大於0.1公頃之高潛勢區	潛勢評估暫不列影響範圍
岩體滑動或地滑	多年期山崩目錄聯集範圍	堆積範圍-山崩目錄已涵蓋 擴大範圍：以斜坡單元為劃定對象	順向坡 潛在大规模崩塌區及老崩塌地	1.順向坡堆積範圍：高潛勢潛勢順向坡以視察角13度推估。 2.大规模潛在崩塌區及老崩塌地：以 Corominas, J. (1996) 經驗式推估 (早期山崩重力變形區不劃定堆積堆積影響範圍)。

藍字：現階段已納入
粉紅字：未來規劃納入

藍字：現階段已納入
粉紅字：未來規劃納入

投影片十三 下階段山崩與地滑地質敏感區劃定重要議題

型山崩潛感值跟崩壞比的關係。為了因應山崩與地滑地質敏感區對潛在崩塌的需求，我們也更加精進，進一步的建立了雨量、崩壞比還有潛感值三者之間的關係式，這個潛感值叫做基礎山崩潛感值，也就是說不考慮雨量的。不同的基礎潛感值域，分別利用多期真實的雨量事件建立雨量跟崩壞比的關係，例如在降雨量 2000 多公釐的情況下，基礎潛感值 0.8 到 0.9 地區，崩壞比可以最大可達 30%；但基礎潛感值 0 到 0.1 地區，崩壞比只有 2%~3%左右。將這些資料整合在一起，可以擬合一個方程式，經由這個方程式，各基礎山崩潛感值，代入不同雨量，會有不同的崩壞比，就可以得到山崩機率圖，在擬合一個方程式，如投影片十四，經由這個方程式，各基礎山崩潛感值，代入不同雨量，會有不同的崩壞比，就可得到山崩機率圖，如投影片十五，不同的顏色代表不同的山崩機



投影片十四 各基礎潛感值域事件總雨量與崩壞比關係（左）暨雨量崩壞比擬合曲面（右）

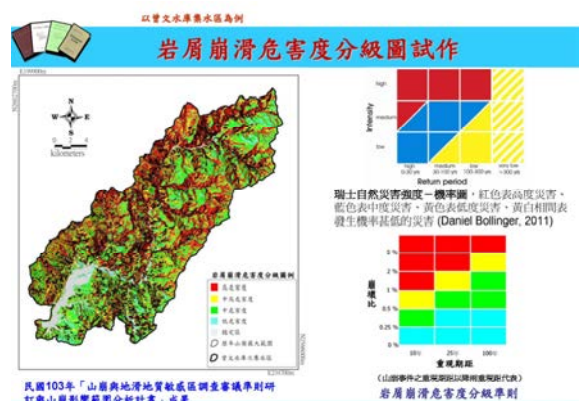


投影片十五 嘉義縣市基礎潛感圖（右上）及百年重現期距3日雨量等值線圖（右下）暨山崩機率圖（左）

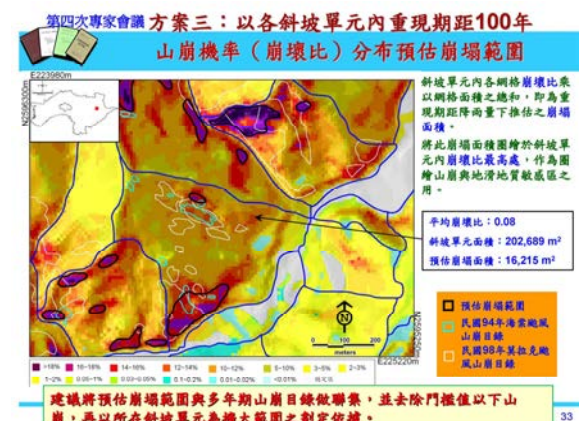
率。地質調查所參考瑞士經驗，嘗試把山崩機率進一步分成高中低的等級，最後僅將高危害度區作為具有發生條件地區納入劃定。

在第四次專家會議我們曾建議一個更具物理意義的方法（投影片十六），以斜坡單元為基礎，斜坡單元內每一個網格都有一個崩壞機率，將崩壞機率乘上網格面積，就可得到崩塌面積，因此可預估各斜坡單元可能會崩多少面積，將此面積分配在斜坡單元內最高機率的區位，這也就是未來在某種降雨狀況下最可能崩的地區。我們建議將這些區位與已經發生山崩地區聯集在一起劃設地質敏感區，並且考慮用斜坡單元做為擴大範圍。

有關順向坡的堆積範圍，最簡單的方法為抵達角(angle of reach) 做為崩塌移動性的指標，抵達角與崩塌的移動高度及移動距離相關，也與弱面摩擦角相關，弱面摩擦角如果 20 度，抵達角也大約 20 度。弱面摩擦



投影片十六 曾文水庫集水區岩屑崩滑危害度圖套疊歷年山崩目錄



投影片十七 百年重現期距降雨量下斜坡單元內預估崩塌範圍

角如果小的話，它可能就會堆得更平、更遠，這可以用來劃設堆積範圍。像地質敏感區這種全國經常性的劃設，劃設準則要盡量利用經驗式，不是每一個都去模擬、去計算的，利用經驗式會有明確的標準，讓一般人用，例如董家鈞教授的高徒黃國修，對圓弧易於理解接受。也有其他經驗式可供參考運形岩體滑動也提出過不錯的經驗式，這些都是可以利用的。

在山崩與地滑地質敏感區劃定的參據資料中，有一類為光達(LiDAR)數值地形判釋之大範圍地表變形，其中包含了一些大規模的山崩潛滑區。如投影片十七，我們如果到高山區去看，常看到這些岩層本來都很陡，可是淺的部分它都彎過來、變平。在野外沿著公路常看到岩層好像傾斜只有 20 至 30 度，可是走到河溝觀察到的新鮮岩盤傾角卻接近垂直。這類早期的山坡重力變形區，它滑動面還沒形成，如果去開發這些地區，移除坡腳、增加坡頂荷重、或是增加雨水滲入、排水不良等，它也有可能滑動，但是如果知道這地方有這個危險，不去破壞它、不去改變它，就不需要去考慮它會滑下來，也就是這個地區我們是建議不劃滑動堆積影響範圍的。綜合來說，具有發生山崩與地滑條件的地區，包括順向坡、大規模潛在崩塌區、落石潛勢區、岩屑崩滑高潛勢區，這些是未來考慮的方向，所劃定的地質敏感區可能是含有參據資料

的斜坡單元加上堆積影響範圍。

最後有一個建議，若要管理地質敏感區這些土地，以斜坡單元為管理單位是合理的，但是若以斜坡單元劃定地質敏感區，劃設面積會倍增又有擾民之嫌。我們綜合評估後再提出的一個建議，是以曾經發生過土石崩塌地區作為基礎，以有山崩或地滑發生條件地區及其堆積作為擴大範圍，這樣來劃定山崩與地滑地質敏感區。若有 100 年的山崩目錄，那大概就足以涵蓋區域內所有危險山坡地。不過，全國完整的山崩目錄頂多 10 幾年期，時間跨距最多約 35 年，因此必須將潛在可能崩塌的地區納入考慮。潛在可能崩塌地區在哪裡？那就是要先經過潛勢分析或是災害分析，得到高潛勢區的分布，再與已經發生的山崩整合在一起。已經發生山崩地區，若有擴大的可能性，往哪裡擴大？當然往高潛勢的地方擴大，所以我們將已發生的山崩與其周圍的高潛勢區聯合在一起，再把堆積區也考慮進去，這樣來劃地質敏感區。如此，曾經發生、具發生條件及擴大範圍就都涵蓋到了，而斜坡單元可以用來檢核劃定範圍的合理性，堆積區以外的敏感區範圍以不超過一個斜坡單元為原則。未曾發生山崩的斜坡單元，若有山崩高潛勢區另議。

我將今天的演講終止在給地質調查所的具體建議上，也可說是第二部分的主要結論，謝謝大家。



照片二 分享餐會後團體合照留念