

EGU 2009研討會 暨 奧地利水土保局工程參訪

【心得報告】



◎ 時間：2006年4月18日～4月25日

◎ 地點：奧地利 維也納

◎ 人員：財團法人中興工程顧問社

地工中心 鄭錦桐



EGU 2009 研討會暨奧地利水土保局工程參訪

【心得報告】

目錄

	頁碼
一、出差任務與宗旨	1
二、EGU 簡介	4
三、奧地利薩爾斯堡水土保持工程參訪心得	7
四、EGU 學術會議重要議題心得	9
4.1 豪雨預報之技術	9
4.2 淺層崩塌之預警系統發展	9
4.3 深層崩塌之監測	12
4.4 淺層崩塌臨界雨量研究	13
4.5 集水區土砂監測	17
4.6 以 LiDAR 技術監測坡地災害	19
4.7 地震災害評估議題	19
4.8 洪水氾濫災害推估	20
4.9 CO ₂ 地質封存與全球暖化議題	21
五、未來研發與技術服務案之心得	32
附件一 奧地利薩爾斯堡水保工程參訪	
附件二 EGU 發表文章與海報內容	



一、出差任務與宗旨

本次行程主要分為兩部分，第一部分 2009/4/18~20 與國內水保局長官以及專家學者共同參訪奧地利薩爾斯堡郡的水土保持工程；第二部分 2009/4/21~24 參加『歐洲地球科學聯盟(The European Geosciences Union, EGU)』研討會，並發表論文一篇。出差之行程如表 1 所示，出差任務之宗旨與目的說明如下：

- (1) 拜訪奧地利水土保局單位，建立水土保持實務與應用之交流機制。
- (2) 發表本社地調所技服案「豪雨誘發山崩之臨界雨量評估系統」，並與研究領域相關之學者充分討論。
- (3) 藉由會議與國外學者交流並學習技術與經驗。
- (4) 吸收國際上天然災害防災以及 CO₂ 地質封存技術與全球暖化議題，提升本社技術服務案之技術。
- (5) 邀請國外學者參加本社協辦之山崩國際研討會，「The Next Generation of Research on Earthquake-induced Landslides: An International Conference in Commemoration of the 10th Anniversary of the Chi-Chi Earthquake」，以及國內集集地震 10 週年相關研討會。
- (6) 本社近期承攬地質調查所、水土保持局與水利署等相關防災權責單位，藉由此會議拓展國際交流機會。



表 1 鄭錦桐博士出差於奧地利之 EGU 學術研討與水保參訪之行程規劃

日期		地點		工作內容
月	日	起	訖	
4	17(五)	台北	奧地利 維也納	路程
4	18(六)	奧地利 維也納	奧地利 薩爾斯堡	至奧地利水土保持整治示範地點，由奧地利區退休長官費必格博士(Dr. Fiebiger)接待。
4	19(日)	奧地利 薩爾斯堡	奧地利 薩爾斯堡	
4	20(一)	奧地利 薩爾斯堡	奧地利 維也納	由薩爾斯堡回程維也納
4	21(二) ~24(五) 共四天	奧地利 維也納	奧地利 維也納	<ul style="list-style-type: none"> ● 參加EGU會議。 ● 鄭錦桐博士個人發表一篇論文。 ● 認識國際學術界人士並進行交流。
4	25(六)~ 26(日)	奧地利 維也納	奧地利 維也納	<ul style="list-style-type: none"> ● 私人行程，拜訪友人。
4	27(一)~ 28(二)	奧地利 維也納	台北	回程



二、EGU 簡介

『歐洲地球科學聯盟(The European Geosciences Union, EGU)』與『美洲地球科學聯盟(American Geophysical Union, AGU)』為全球兩大地球科學研究團體，每年均分別有上萬名專家學者參與年度研討會，而其中 EGU 中天然災害方面主題研究論為，為全球數量最豐之研討會。
(<http://meetings.copernicus.org/egu2009/information/index.html>)

『歐洲地球科學聯盟(The European Geosciences Union, EGU)』為於 2002 年由『歐洲地球物理學會(the European Geophysical Society, EGS)』與『歐洲地球科學聯盟(the European Union of Geosciences, EUG)』兩學會合併而成。主要目的為以推動、創新與跨領域的組織，致力於地球及環境與太空等科學之發展，為目前歐洲最大型的地球科學聯盟。會中分為天文、氣象、地質、海洋、自然災害至教育等 20 餘種領域。今年(2009 年)發表之地球科學相關文章，12,977 較去年的 11,694 篇增加 1000 餘篇，參加之學者專家人數幾近 1 萬人，比去年成長 2000 人，各專家分別來自全球各地齊聚一堂。自然災害(Natural Hazards)防災議題，去年即多達 50 餘主題，今年更擴增至 60 餘主題，顯見全球學者對天然災害日益重視。

會議地點在奧地利首都維也納 (Vienna)。位於多瑙河之上，被下奧地利省所包圍。維也納是奧地利最大的城市和政治中心，人口約有 160 萬人。聯合國工業發展組織 (United Nations Industrial Development Organization)、石油輸出國組織 (Organization of Petroleum Exporting Countries) 和國際原子能機構 (International Atomic Energy Agency) 的總部以及許多其他國際機構均設於維也納。

於文章發表方面，計有來自美洲、歐洲、亞洲、非洲、澳等各國專家學

者，文章發表超過 1 萬餘篇，內容共分 20 多個地球科學領域如表 2 所示：

表 2 歐洲地球科學聯盟研討會的 20 領域

編號	領域名稱
1	Atmospheric Sciences
2	Biogeosciences
3	Climate: Past, Present, Future
4	Cryospheric Sciences
5	Energy, Resources and the Environment
6	Geochemistry, Mineralogy, Petrology & Volcanology
7	Geodesy
8	Geodynamics
9	Geomorphology
10	Geophysical Instrumentation
11	Hydrological Sciences
12	Magnetism, Palaeomagnetism, Rock Physics & Geomaterials
13	Natural Hazards
14	Nonlinear Processes in Geophysics
15	Ocean Sciences
16	Planetary and Solar System Sciences
17	Seismology
18	Soil System Sciences
19	Solar-Terrestrial Sciences
20	Stratigraphy, Sedimentology and Palaeontology
21	Tectonics and Structural Geology

Natural Hazards session，天然災害相關議程內容今年共分為 60 多個子議題，內容由氣象、山崩、火山、水文、地震海嘯、衛星遙測影像、地貌、地表災害管理至教育等領域。由於近年全球天然災害頻仍，相關災害之研究甚豐，該 session 發表文章幾達 1000 餘篇，為本次會議三大地球科學相關研究之一，足見世界各國專家學者對此議題之重視，詳見表 3 Natural Hazards session 分類。

表 3 2009 年 EGU 文章 Natural Hazards session 發表議題分類

編號	領域名稱
1	NH1 – Meteorological Hazards
2	NH2 – Hydrological Hazards
3	NH3 – Volcanic Hazards
4	NH4 – Landslide Hazards
5	NH5 – Earthquake Hazards
6	NH6 – Sea and Ocean Hazards
7	NH7 – Snow Avalanches and Glacial Hazards
8	NH8 – Biological Hazards
9	NH9 – Environmental and other Hazards (Heavy Metals, Karst, Radon, Space Weather)
10	NH10 – Natural Hazards and Society (Risk, Vulnerability, Reinsurance, Education, Communications, etc.)
11	NH11 – Multihazards (sessions bringing together > 1 hazard; not covered in other sessions)
12	NH12 – Co-listed sessions

我國參與本次研討會人員包括：

- (1)台灣大學：林美聆、陳文山、林銘郎、王國隆、衛強博士等人，
- (2)中央大學：李錫堤、董家鈞、陳瑞昇
- (3)建國大學：許懷後
- (4)成功大學：詹錢登、林慶偉、林琬婷、劉守恆、黃敏郎、叢金華、曾文孝、蔡元融等
- (5)屏科大：陳天健、江介倫等
- (6)台北科技大學
- (7)防災科技中心

國內超過 45 位專家學者與會發表論文。



三、奧地利薩爾斯堡水土保持工程參訪心得

奧地利聯邦野溪及雪崩防治局(The Federal Forest Technical Service of Torrent and Avalanche Control, 以下簡稱 **WLV**)創立於西元 1884 年, 現今隸屬於奧地利農林環境及水資源經營部 (Ministry of Agriculture, Forestry, Environment, and Water Management)轄下第四部門森林分部(Department IV Forestry)。本次參訪單位為其七分局中的薩爾斯堡(Salzburg)分局。行程由成大防災科技中心詹錢登教授協助安排, 前來接待台灣參訪團的學者為退休的 Salzburg 分局長 Dr. Gernot Fiebiger, 以及現任的 Tyrol 分局長 Dr. Christian Weber 與 Salzburg 分局長 Dr. Rudolf schmidf。在 2009 年 4 月 18~20 日三天內, 共參訪了四處水土保持相關工程, 詳細介紹見附件一, 參訪工程分別為:

- 1.Salzburg 省 Pillsteinbach 鎮 Faistenau 地區防砂壩;
- 2.Salzburg 省 Ebenau 鎮 Schwarzaubach 地區高地滯洪池;
- 3.Salzburg 省 Ebenau 鎮 Schwarzaubach 地區下游水力發電;
- 4.Salzburg 省 Hallein 鎮的邊坡防制工程。

參訪上述四處主要水土保持相關工程設施後, 主要心得如下:

(1)奧地利 WLV 會設立一協調機構, 扮演政府以及社區居民之溝通角色, 社區之各項防砂設施建設必須有民眾參與, 並負擔部分費用, 但比例不高約 5%左右, 該費用除作為建設費用外, 並將其列為後續經常性之維護管理費用, 符合使用者付費之社會正義與價值觀。同時也培養民眾防災意識, 讓民眾瞭解並愛護關心防砂設施的性能並即時提報水保相關單位, 值得國內學習參考。

(2)國內可以結合農村再造計畫, 並發揮綠色能源的特色, 可以一併將水土保



持或水利灌溉設施考慮小型水力發電發展之可能性。

- (3) 奧地利水土保持工程能兼顧生態值得國人學習，雖然過內近期推動自然生態工法，期能讓自然環境、地方特色景觀一併與水土保持工程整體規劃，但國內受限於地形與土砂災害特性之不同，故國內仍必須持續研發新工法有別於奧地利或其他國家，以符合兼顧生態之願景。
- (4) 奧地利 WLV 建議當地社區春天後進行清疏工作，不定期由社區內部居民提報清疏之需求，以防隔年災害發生，此方面之思維與經驗值得國內後續進行野溪清疏計畫借鏡與學習。
- (5) 奧地利 WLV 水土保持工程能因地制宜，並不斷思考新的工法，研發與創意的動力來自於社區人群與自然的和諧共融，很值得台灣坡地相關工程學習。



四、EGU 學術會議重要議題心得

EGU 會議中與本社技服案業務及研發案相關之主題心得包括：崩塌地土石流研究、整理如下：

4.1 豪雨預報之技術

因為坡地災害的誘發與雨量的強度有十分密切的相關性，所以坡地災害研究領域學者已紛紛投入經費增加雨量觀測的相關技術研發，尤其經常發生暴雨的國家特別重視，EGU 研討會中發現，各國積極投入卜勒雷達研究，以達到有效率的評估雨量。但是進行卜勒雷達應用前，首先必須先以既有之雨量站與量值與各雲層高度的雷達波反射訊號強度進行率定工作，待建立關係後始能推估空間中特定時間的雨量分布。

目前中央氣象局、經濟部水利署、農委會水土保持局及美國劇烈風暴實驗室所共同開發 QPESUM 系統以實質進入應用階段，台灣有潛力可以領先先進國家，主要是因為國內雨量站密度夠高。QPESUM 系統之研發尚有改進空間，目前國內可獲知該資訊的單位並不多，希望能夠資訊更開放，讓國內相關防災機構可分享雨量預報之成果，進行後續豪雨誘發天然防災相關研究。

4.2 淺層崩塌之預警系統發展

綜觀 EGU 研討會中有關豪雨誘發山崩之崩塌潛勢評估議題，主要以淺層崩塌地為主，而經整理可分為兩個主要方向，一為採統計學理，且以過往發生崩塌之案例為依據，對各影響或促崩因子進行統計分析，以篩選相關因子



及給定權重並評分的方式發展出評估模式；另一則以分析崩塌之物理特性及力學機制學理為基礎，找出促成崩塌產生之臨界條件方程式，輔以特定地區以往崩塌發生案例之數據加以驗證。針對不同的分析方法之優劣點整理如表4所示。

(1) 統計模式

多變量分析方法為目前進行淺層崩塌之預警分析方法最常見的方法，可分析廣域的崩塌潛勢問題。利用量化後之山崩空間位置，透過GIS萃取出山崩潛感因子與山崩災害空間的GIS圖層套疊後，利用多變量迴歸方法得到各山崩潛感因子之權重及山崩潛感值，最後繪製山崩潛感圖。多變量分析方法的統計模式較為複雜，資料類型要求較為嚴格，但其優點在於可以解決因子相依性的問題，對於給定因子的權重較為公正。然而多變量分析方法僅能找出一組因子的最佳線性組合來計算山崩潛勢值，而實際上是否另有一組非線性組合能求得更合理的山崩潛勢值，目前仍許多學術研究論文尚在討論解答中。

本次參加 EGU 研討會投稿的題目為「Development of Early Warning System for Rainfall-Triggered Landslide Hazard in Taiwan」屬於統計模式的一種，該文章內容屬於地調所技術服務案之部分成果。

」

(2) 專家評分法

專家評分法或地形判釋法是早期淺層崩塌之預警分析所使用的方法，以專家之經驗對地形判釋後直接劃分山崩潛感區域，或是依現地調查崩塌之情況，憑經驗賦予各引致崩塌之因子權重，再以線性疊加式得到山崩潛感值，不過其缺點是以人為的方式劃分潛感區或給定各因子之權重，帶有強烈的主觀意識，其分析結果並不客觀。

(3) 人工智慧方法

類神經網路方法是人工智慧方法較常用的一種，近年來被嘗試應用來進行淺層崩塌之預警分析，用過去已經發生崩塌災害之空間樣本，建立潛勢因子與崩塌空間分佈之關連性。由於類神經網路方法所獲得的神經元架構，無法得知各潛勢因子之權重大小關係，所以無法進一步探討潛勢因子影響崩塌發生與否之顯著狀況。

表 4 山崩潛勢分析常用方法比較表

分析方法	優點	缺點	適用性
統計法	<ol style="list-style-type: none"> 客觀且具理論基礎。 能綜合評斷各項因子影響獲致一組線性方程式。 分析結果穩定唯一且易歸納各年度計畫成果。 	<ol style="list-style-type: none"> 僅能找出一組因子的線性組合計算潛勢值，實際上是否另有一組非線性組合能求得更合理的山崩潛勢值，仍未可知。 統計法比以往定性法為複雜。 	<ol style="list-style-type: none"> 廣域分析時最常採用。 適用性佳。 成果容易整合。
專家評分法	<ol style="list-style-type: none"> 方便易操作。 評分項目中可納入不易量化的項目。 評分快速。 	<ol style="list-style-type: none"> 人為主觀。 評分結果因人而異。 成果不易整合。 	<ol style="list-style-type: none"> 小範圍使用。 適用性差。 成果不易整合。
人工智慧方法(類神經網路)	<ol style="list-style-type: none"> 訓練獲致最佳的網路結構，待訓練完成後可藉由神經元相互關係回想獲得較佳之分析成果。 具有高度非線性之學習能力，相較一般線性方程擬合結果佳。 	<ol style="list-style-type: none"> 試誤過程需消耗較多時間。不同隱藏層與神經元配置獲致成果不同。 相同隱藏層與神經元配置，每次分析獲得之結果亦略有不同。 運算過程為黑盒子，甚難拆解。 	<ol style="list-style-type: none"> 近年來，廣域分析時偶爾採用進行研究。 適用性尚可。 分析成果無法統整合併。
力學模式	<ol style="list-style-type: none"> 可將現地地工參數引入力學分析之模式，以安全係數描述邊坡之穩定。 對於較大比例尺之精準需求的分析時可以採用。 	<p>無法廣域的獲得地工參數，故無法獲得區域之整體趨勢。</p>	<p>適用於工程局局部區域的地質狀況。</p>

(4) 力學模式

在大地工程及相關領域進行的特定場址之邊坡穩定分析，多使用極限平衡法(Limit equilibrium method, LEM)做特定邊坡穩定分析或以地形為主因子，探討土壤水分飽和區域預測崩塌發生之力學模式。力學法中的無限邊坡



理論及 Newmark 位移法理論基礎雖佳，但因分析所需之工程性質參數(例如凝聚力、摩擦角等)、滑動深度、地下水位深度及土層深度等參數無法取得廣域的資料，所以成效不如使用統計方法及人工智慧方法。另外以力學機制建構之崩塌預測模式乃最理想化之發展過程，但以往崩塌發生案例並無法提供力學機制模式中過多之參數資料，會造成往後應用上之困難，且目前所能提供之崩塌資料大部分都為崩塌已發生後之資料，並非崩塌發生臨界之資料，對模式驗證將會產生偏差。

4.3 深層崩塌之監測

因為深層崩塌其移動方式屬於潛移，歷經大豪雨後移動量很小，但其超越臨界狀態後，可能發生大規模之災害性崩塌，所以對深層崩塌進行長期觀測(即監測)瞭解其發生機制，以及預警作用有其必要性。目前監測技術上，由 EGU 會場上之各國經驗可歸納包括地表位移動態觀測和深部位移動態觀測兩個方面。

- (1) 地表位移動態觀測：為了掌握滑坡表面各部分的動態變化，需要進行位移動態觀測，既觀測水平位移量及垂直方向(即高程)的位移量。觀測方法很多，因地制宜地使用簡易的觀測方法和精密觀測方法。簡易觀測方法即用木樁在裂縫兩側直接測量位移數值；精密的方法即採用觀測網(方格網)用經緯儀測量各觀測樁的平面位移和用水平儀測量其高程變化，或採用現代科技，研討會中各國專家漸漸大量採用如光纖、Zipit Wireless、地面 LiDAR 三維地形掃描等技術進行坡地監測。目前國內已有部分計畫採用上述高科技進行坡地監測技術，顯示國內坡地監測研究技術仍相當先進。
- (2) 深部位移動態觀測：為了全面地掌握滑坡體各個部位的位移動態情況，除了地表位移動態觀測外，還需進行深部位移動態觀測。其方法主要有以下幾種：



- (a) 傾斜儀法：用鑽孔打穿滑動面直到穩定地層，下入套管。然後，在不同時間將傾斜儀放入鑽孔，測定不同深度上鑽孔壁斜度的變化，換算成不同深度的位移。
- (b) 放射性同位素法：將放射性同位素（一般用鈷 60）放在不同深度的地層中，然後在地表接收它的位移情況，藉以測定深部地層的位移量。
- (c) 電阻絲片法：在鑽孔中放入貼有很多電阻絲片的靈敏度較高的薄金屬管或塑膠管，在地面上用應變儀測定其電阻值變化，即可反映不同深度的位移量。
- (d) 金屬球法：在鑽孔中投入金屬球，對球體通電後，量測電場強度，即可確定金屬球移動位置。
- (e) 水文地質觀測：即每隔一定時間或豪雨期間，監測地下水水位面變化，瞭解地下水流動情況，監測異常情形。
- (f) 光纖技術：利用光學特性，以光纖感應地層位移量狀況，可以進行崩塌地的監測工作。

EGU 會場上有許多專家探討豪雨誘發深層崩塌之議題，大規模潛在深層崩塌於豪雨期間的地表或是深部的位移資訊皆十分珍貴，目前採用無限通訊技術來建構大範圍之深層崩塌地的監測系統是國際趨勢，國內地質調查所近三年已有許多項計畫正在監測大型崩塌地，目的在逐步瞭解十分複雜的崩塌機制問題，本社亦參與部分地調所計畫，期望後續累積之監測資料，能釐清豪雨、地下水位、地質特性間影響崩塌發生之機制。

4.4 淺層崩塌臨界雨量研究

此議題主要探討崩塌地發生之雨量臨界值，豪雨來臨時可發佈山崩災害警戒。豪雨誘發坡地崩塌的型態以淺層崩壞為主，通常淺層崩塌發生前，無



明顯的地表變形特徵，常為一瞬間發生破壞，相較於深層崩塌而言，無邊坡地盤潛移之滑動，所以無法藉由邊坡的變形觀測提出預警，是故利用過去歷史之降雨量與淺層崩塌紀錄，評估引致邊坡淺層崩壞的臨界雨量。

早期學者在建構臨界降雨模式時，大多利用發生破壞時的雨量紀錄來分析，期能對破壞的發生時間進行預測。如美國學者Canon 和Ellen(1985)以舊金山灣區6次的降雨量與災害紀錄，建立該地區防災警報發布的依據，利用降雨時雨量的時間分佈情形，找出引致破壞該時的降雨型態，對於受雨引致之破壞的發生時間能進行預測。然如此的分析忽略了個別區域的個體差異，使得分析精度有所限制，並無法指出破壞確實可能發生的地點，對於防災避險的目標達成有所不足。故近年來相關的研究，大都希望能利用地文因子對邊坡進行分類，以提升模式精度，使能對災害可能發生的時間與地點作更完整的推測。

一般說來，長期與短期的降雨指標，對災害發生的作用意義有所不同，故相關的臨界降雨模式，常以兩指標來建構，今將EGU研討會所發表文章依各研究所選用的雨量指標組合，歸納以下數類：

- (1) 降雨強度與降雨延時；
- (2) 降雨強度與累積雨量；
- (3) 累積雨量與降雨延時；

此外，日本學者Okada(1994)利用多變數迴歸法，將地文因子與降雨因子結合，以建立邊破崩壞的雨量預警模式。日本學者Kazumasa 等人(2000)採用判別函數分析，建立雨量因子、地文因子與崩壞發生間的關係，並以長期降雨指標(半衰期72小時)與短期降雨指標(半衰期1.5小時)建立個別邊坡的臨界降雨線(日本建設省亦建議此法)。

傳統臨界降雨線(指僅用雨量因子建構)是由崩壞資料與其對應之雨量資

料所組成，藉以獲得導致崩壞之降雨特性，並釐清其與未發生崩壞的降雨之間的差異。Kazumasa 等人(2000)對於未發生崩壞雨場取出現尖峰時雨量的時間對應的二因子繪入二維座標區域；而發生崩壞之雨場則取發生崩壞時對應的二因子繪入，然對於未知發生崩壞時間之雨場亦取至出現尖峰雨量的時間（基於許多崩壞常發生於尖峰雨量出現時），所繪製之臨界降雨線如圖1所示。

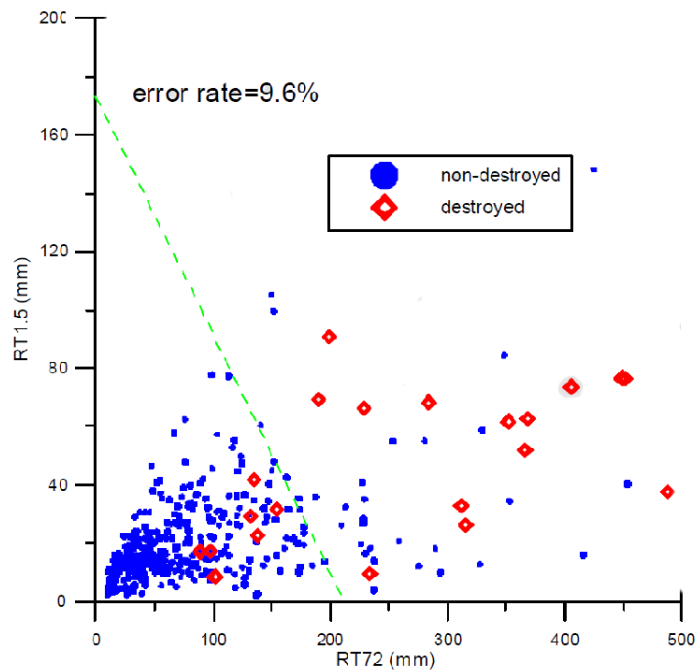


圖1 臨界降雨線示意圖

對於一個淺層山崩的發生，可能與崩壞發生數日前之降雨有關，是故於計算長期雨量指標時，對於前期之降雨也要一併考量，但由於雨場切割是不連續的，單純的把雨量累加起來是不切實際的。依日常經驗判斷，時間距離愈遠之降雨其對於崩壞之促成的效應該是愈小的，是故有效累積的觀念就是提出依時衰減，如此方能符合其物理意義。關於前期與當期降雨處理以及有效累積觀念整理如下：

- (1)謝明霖(2002)將降雨分成前場與本次，前場雨量以降雨發生時前 t 日之日雨量，半衰期為一日，而本次之降雨則不予衰減。

(2) 范正成等人(1999, 2000, 2001)以任意時間之時雨量，加上其之前的各小時雨量影響，乘以一衰減係數(α)後，累加得有效累積雨量。

(3) 曾志豪(2004)以時雨量，加上其前各時雨量，並以半衰期72小時及1.5小時為考量，瀨頭雨量站於賀伯颱風前後之各時段之總有效累積雨量，如圖2表示。

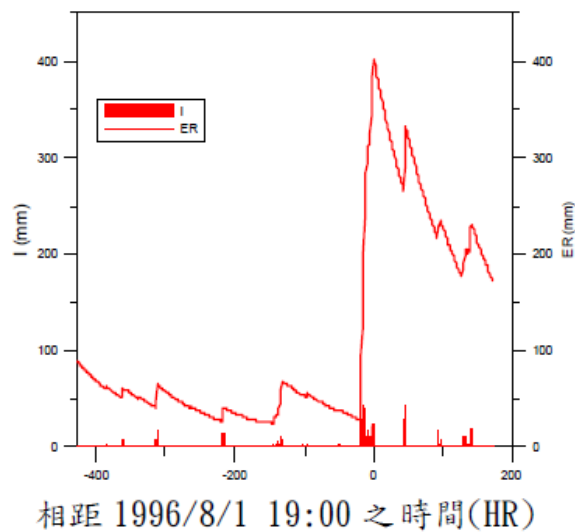


圖2 瀨頭雨量站賀伯颱風前後總有效累積雨量(半衰期72 小時)
(I 為時間雨量，ER 為總有效累積雨量)

由EGU研討會發表之文章，臨界降雨量模式大致可歸納出幾個探討議題重點，如圖3所示，為吾人將來在研究此議題時可關注之研發重點。

- (1) 崩壞與未破壞點位overlap之處很多，原因為何？對模式之準確率建立影響為何？又有無改善之道？
- (2) 臨界降雨量線的制定該如何做？於圖3上特地將許多線條畫出，這些線或皆可作為臨界降雨量線，也可能都不可用，如何有效與規則地獲得一可分辨崩壞與否參考之用的臨界降雨量線是有必要的。
- (3) 崩壞時間假定的合理性與模式選用的雨量因子組合是否最好？

(4) 模式是否兼顧合理性與操作性之可行性？

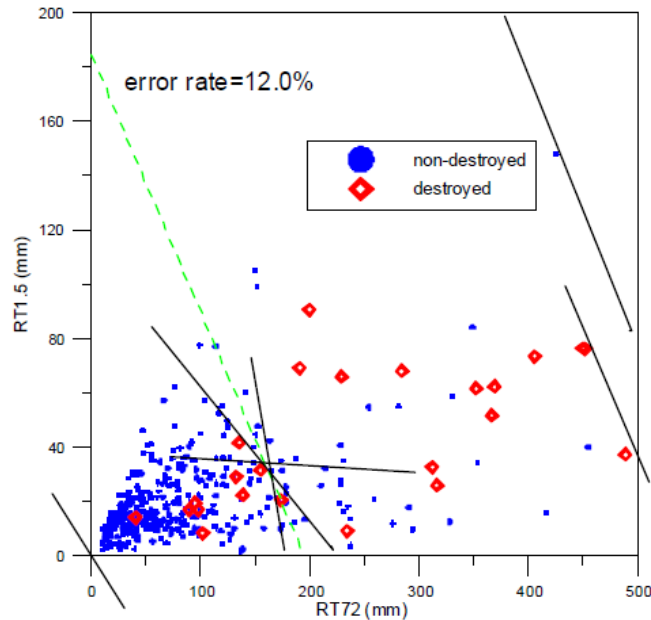


圖3 臨界降雨模式建構可能遭遇問題示意圖

4.5 集水區土砂監測

大部分集水區之泥砂在降雨初期就被暴雨帶至河川中，至降雨的中期至末期，整個河川中的含砂量已減低很多，為了了解整個暴雨時期含砂量的變化情形，逐時的含砂量量測是有其必要性的。使用流量－輸砂量率定曲線推估輸砂量，將可能產生嚴重高估或低估的情形，本次研討會多篇文章建議應量測逐時之流量及輸砂量，以提升輸砂量推估之準確性。但以台灣山區地形險峻，經常發生土砂災害的狀況下，於野溪進行逐時量測具有一定的困難度，原因在於監測設備於野溪中其耐候性、通訊設備的限制，相對於其他國家而言監測土砂之難度更高，因此研發有效量測野溪含砂量的手段是一重要課題。



有學者應用低放射性元素銫 137 技術推估集水區土砂量，研討會中有學者指出經由實測資料率定及驗證 HSPF(Hydrological Simulation Program -Fortran)模式之參數，可推估集水區暴雨期間之產砂量。由於 HSPF 模式需要輸入眾多參數和大量的現場實測資料，在暴雨期間現場實測之工作，危險性高且費時費力不易進行，因此建議可利用放射性核種銫 137 之方法，並藉由採樣工作，推估過去幾十年之平均土壤沖蝕量。

銫 137 由大氣中到達地表主要是經由降雨，僅有少部份是隨乾落塵而下，而其減少主要是因放射性同位素的自然衰退所造成，極小部份則累積於生物體中。銫 137 降落於地表的總量與大氣中銫 137 的含量和降雨型態有關，在大區域中銫 137 分布量的多寡主要受降雨量所左右，並假設銫 137 於小區域內的降落量為均勻分布。

銫-137 核種可以當成土壤中一良好的追蹤劑，並可以追蹤過去幾十年(約 30 年)土壤沖蝕的情形，使用此一技術可知道該區域土壤沖蝕速率，與空間中土壤分布的情形，它有幾項比其他推估土壤沖蝕技術的優點：

- (a)測量出來的土壤沖蝕率可以代表該區土壤沖蝕的總過程。
- (b)研究地區可以在不受干擾下完成採樣調查。
- (c)測量出來的土壤沖蝕率可以代表該區域長時間(約 30 年)的土壤沖蝕平均值。
- (d)可以提供空間中土壤沖蝕分布與土壤沖蝕速率定量測量。
- (e)可以避免長時期的監測，減少人力、物力的消耗。

該方面之技術值得研究，並應用於本社之石門水庫或相關集水區監測管理計畫。



4.6 以 LiDAR 技術監測坡地災害

2004 年日本新瀉地震(Niigata earthquake)也類似台灣集集大地震後嚴重之的崩塌與土石流情形發生，利用 LiDAR 技術可快速獲得高精度的數值地形資訊，可以監測地表於地震後即時，以及一段時間後的高程變化差異。過去多以衛星影像擷取二維的土砂災害空間分布資訊，但是對於垂直高程無法有效的推估，EGU 研討會中各國家對於廣泛面積的地表變形監測，目前積極採用 LiDAR 技術進行有效的地表高程變化資訊的萃取。研究上可以搭配數值模擬技術，驗證相關分析輸入之參數，對細部的地表變形資訊提出具體的論證與災害預測，可有效進行土砂災害防災工作之規劃。

4.7 地震災害評估議題

GEM(Global Earthquake Model)是由歐盟發起的組織，其具公共/私營部門夥伴關係色彩的機構，並經過為了經濟合作與發展目的而成立的全球科學論壇組織(OECD-GSF)所認可。GEM 的目標期能用統一的、獨立的標準來計算和交流全球地震風險分析成果。由於目前受到來自學術界、政府和工業界的支持與認可，GEM 期望積極貢獻專業並持續達成減少全世界地震風險之目標。GEM 目標要完成全世界開放的震源模式，並陸續提供某國家或一區域進行地震風險評估工作需求之震源模型，該震源模型能廣泛地囊跨科學性並兼具獨立性，且將其用於地震危害、風險和社會經濟影響的應用分析中。這次 EGU 研討會中有學者與巨災風險評估的業者大力推廣 GEM 的精神與概念，顯示目前巨災風險的需求已由美國經濟為主，慢慢受到歐盟的重視了，歐盟積極投入有關於歷史記載的地震災害事件目錄蒐集、歐盟領土的強地動衰減式研究、震源模型的區分與相關研究，有上述之基礎研究後，將參考美



國經驗先完成歐陸的地震危害度分析與地震風險分析，並將地震風險分析之合作機制擴展到亞洲以及中亞及東南亞區域。GEM 網站詳見 <http://www.globalquakemodel.org/>。經觀察參與 NH-Natural Hazards 議題有關地震損失評估之專家多數屬於巨災保險業務相關之業者為主，此顯示地震災害與風險分析需求已漸漸受到經濟學者之重視，值得國內重視。

4.8 洪水氾濫災害推估

傳統決定堤防安全的方法，採用特定風暴下的洪水高度為設計洪水，並預留 3 英尺為安全係數。近年來在洪患平原，採用美國兵工團(USACE)定義的風險分析流程風險決定堤防以及防洪相關結構物的尺寸，並採用一系列的曲線去計算年期望損失(Expected Annual Damage, EAD)。使用風險分析決定特定重現期的洪水高度非新觀念，但是進一步評估防洪結構物的工程與經濟性能(性能設計概念 performance-based design)是新趨勢，以實際工程能發揮效用為考量，避免過度投入成本且過度保守。美國國科會已經發表報告探討如何改進當下風險分析的流程，其中有建議改進當下評估防洪結構物性能的方法，必須考慮分析參數的空間變異性。技術上採用 Monte Carlo-style stochastic 模擬方法，使用 HEC-1 與 HEC-RAS 軟體以及高精度數值地形(DTM)，評估氾濫平原之年超越機率(Annual exceedance probability, AEP)。分析過程中參數不確定包括 Natural variability 與 Knowledge uncertainty，將不確定性的參數狀況透過 Monte Carlo-style stochastic 模擬方法，採用水文及水理模型，可以量化產製空間中洪水淹沒機率與年超越機率圖。而特定重現期距的洪水淹沒範圍非單一條線，而是包含參數不確定性分析成果必須有一個區間瞭解各機率可能性的區間。

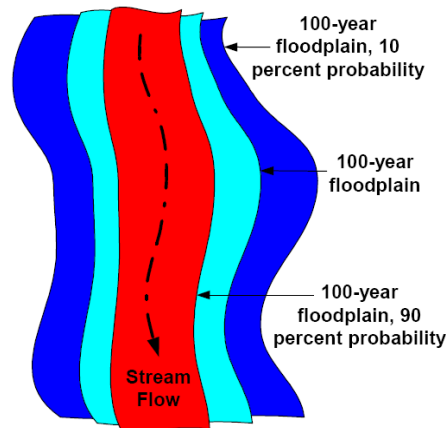


Figure 2. A flood probability map for the 100-year floodplain.

圖 4 相同重現期距的淹水分析仍具有不確定性

土石流模擬目前特定重現期距是否應該隱含不確定性，可以針對此課題類似水文水理分析之思維，進行個案坦討。

4.9 CO₂ 地質封存與全球暖化議題

4.9.1 國內外全球暖化與 CO₂ 減量要求

「溫室效應」為全球性的議題，我國雖非聯合國成員，但為世界公民的一員，有責任也有義務面對此一議題，深入研究並尋求解決之道。目前本社與中興公司共同承攬台電CO₂地質封存之技術服務案，藉EGU會議蒐集資料並瞭解國際發展趨勢。

二氧化碳是造成溫室效應之最主要氣體，其含量佔溫室氣體的比例大約為55%；工業革命尚未展開前，全球二氧化碳濃度約為0.028%，現在則已超過0.037%，全球溫度則上升0.74°C，造成全球各地氣候異常、生態平衡破壞、天災規模擴大且頻率增高。根據國際能源總署統計，2004年台灣二氧化碳總排放量約佔全世界1%，世界排名第21，而人均年排放量約11.25公噸，世界排名第18，為世界二氧化碳排放大國。抑制全球溫室氣體排放的「京都議定書」要求工業國家在2012年時，應將溫室氣體排放總量減至比1990年時少5.2%，



未遵守規範國家，即便為非簽約國(如台灣)，也可能受貿易制裁，近年聯合國甚至醞釀未來以碳稅來經濟制裁二氧化碳排放過高之國家。依據中央研究院經濟研究所之研究(中研院第1057期週報)指出，倘2012年之後，國際要求台灣達到溫室氣體減量的目標為25%，則整體產業物價的上漲率將高達2.26%，且經濟成長率將減少1.57%，對台灣經濟的影響將極為嚴重。立法院永續會亦提出「在2015年回歸2005年之排放水準，並於2025年回歸2000年水準」，期望能於一定時程內達成特定的減量目標，若能及早先行減量，可望減輕經濟衝擊。



4.9.2 CO₂地質封存方式

世界氣象組織(WMO)和聯合國環境規劃署(UNEP)於1988年共同創立了「政府間氣候變遷小組」(IPCC)。其職責包括：

- (1)評估有關氣候變化和影響以及有關減緩和適應氣候變化方案的現有科學資訊和社會經濟資訊；
- (2)根據要求，向聯合國氣候變化框架公約(UNFCCC)締約國大會(COP)提供科學、技術、社會經濟諮詢。

自1990年起，IPCC針對CO₂地質封存(CCS, Carbon-dioxide Capture and Sequestration)已經編寫了一系列評估報告、特別報告、技術報告、方法論等，這些著作均得到了政策制定者、科學家和其他專家的廣泛採用而成為許多政府參照的標準文獻。所謂CCS技術主要是在能源或經濟生產過程，利用燃燒前或後之捕捉技術將二氧化碳分離出來，經過純化及壓縮後輸送至特定地點進行封存或再利用的處理過程與相關技術。目前國際所提出大規模、可行的二氧化碳封存方式可分為：地質封存、礦化封存及海洋封存三大類。其中地質封存是國際間公認技術可行性最高的方法，能解決迫切的二氧化碳減量壓力。

二氧化碳安全封存延時至少需達千年以上，一般地質封存方式包括：深層鹽水層封存、枯竭油氣儲集層封存、油氣田進階增產之注氣封存(EOR, Enhanced Oil Recovery)、難開採煤層吸附封存等。這些地質封存方式能儲存大量二氧化碳，符合自然生態循環及兼具技術與經濟可行性。根據IPCC(2005)所整理之全球二氧化碳地質封存潛能評估結果，舊油氣田的潛在封存容量約為6,750~9,000億噸，難開採煤層約為150~2,000億噸，而深層鹽水層則約為10,000~100,000億噸，顯示深層鹽水層具有龐大的封存潛能，且受區域性構造限制較小。



4.9.3 國際上主要已發展 CCS 的國家

目前國際二氧化碳地質封存研究發展情況整理如后：

◆ 美國

- (1) 1990 年起美國德州經濟地質局著手建立舊油氣田及深層鹽水層可供電廠封存二氧化碳之地質資料庫。
- (2) GEOSEQ 計畫，調查加州之封存能力及地點，估計全州有 22×10^9 噸的二氧化碳封存量(其中以地下含水層最大，油田次之，氣田居末)。
- (3) Battelle Memorial Lab. 研究美國中西部之 Mt. Simon Sandstone Formation 之封存能力，估計其潛能約為 $9 \times 10^9 \sim 43 \times 10^9$ 噸。
- (4) USGS 評估全美煤層之封存潛能，估計約 8×10^9 噸。

◆ 加拿大

- (1) 加拿大 Alberta 地調所已完成對西加拿大的沉積盆地進行二氧化碳地下封存之可行性評估以及固定排放源(如電廠、煉油廠)廠址分佈調查。
- (2) 2003 年 Geological Survey of Canada 為發電廠調查評估利用 Alberta 及 Saskatchewan 之油氣田進行二氧化碳地下封存之可行性。

◆ 歐洲

- (1) 由 British Geological Survey 領導之團隊，於 1990 年代初開始進行研究，重點為全歐電廠二氧化碳排放量及地下封存潛能，主要封存區域位於北海，英國及挪威海域之大陸棚。
- (2) GESTCO 計畫(2000)針對比利時、丹麥、法國、德國、英國、荷蘭、挪威、希臘等國 12 個目標場址詳細研究儲存二氧化碳潛能，已於 2003 年完成。

◆ 澳洲

GEODISC 計畫已篩選出 65 個深層鹽水層場址具封存二氧化碳之潛能，保守估計之容量約 740×10^9 噸。

◆ 日本

(1) 配合國際推動之「地球再生計畫」，設立了「財團法人地球環境產業技術研究機構(RITE)」，進行相關議題的研究與推動。該機構長期接受日本經濟產業省的委託與經費補助，主導進行了一系列與二氧化碳捕獲及封存(CCS)相關技術的研發。

(2) 根據 RITE 先期的研究成果指出，若以地質條件考慮封存潛能，日本境內適合作為二氧化碳封存之用的地質類別可概分為「A 類」與「B 類」，概念示意圖如圖 5 所示。粗估兩類合計封存儲量約 1461 億噸。

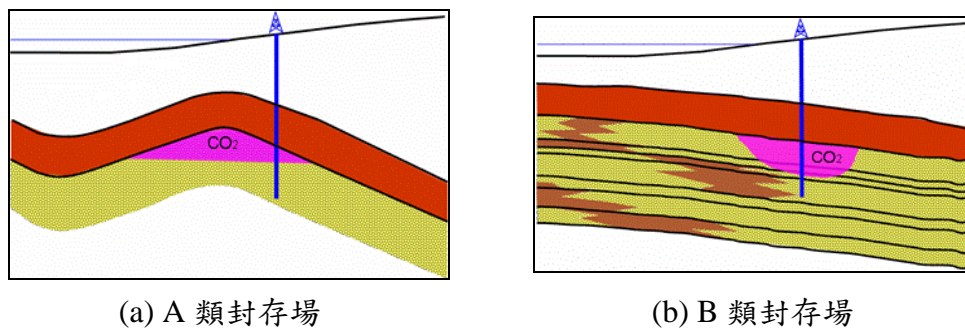


圖 5 日本地下封存場址地質型態分類 (RITE,2002)

根據 IPCC 2005 年特別報告，目前全世界有執行二氧化碳地下封存計畫的國家，不論是預計商轉或是研究封存潛能性質的場址其位置分布如圖 6 所示。顯示大多數的封存計畫均集中在北美洲（如美國、加拿大）及歐洲為主要國家，少數分布於南美洲、非洲、澳洲、中國大陸、及日本等國，而大多數的計畫都是為了能增產油氣量或是強化煤層甲烷氣回收(ECBM, Enhanced

Coal Bed Methane)為主。

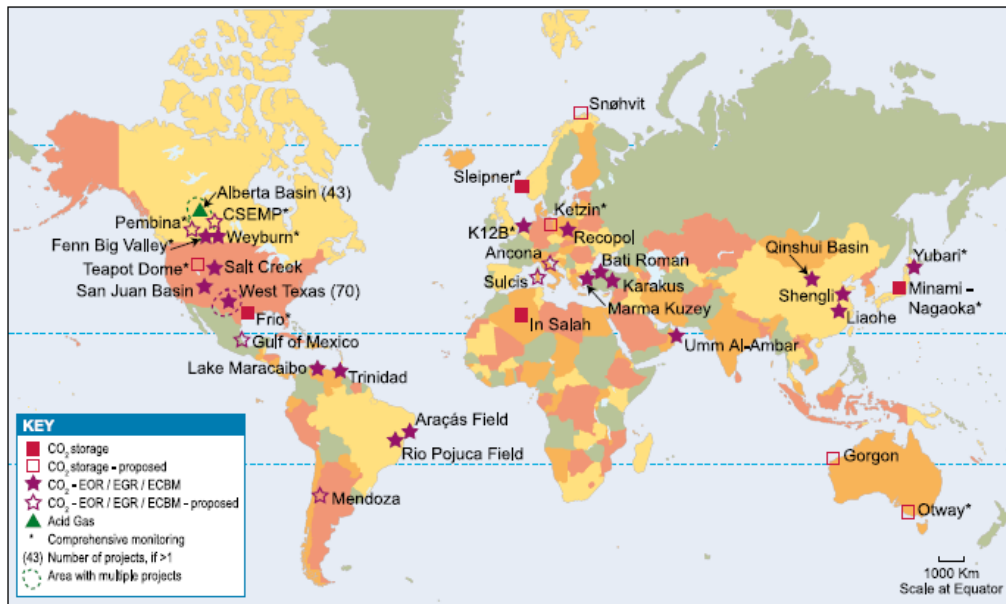


圖 6 國際地質封存場址案例現況 (IPCC, 2005)

目前二氧化碳的捕獲與封存技術的成熟度比較結果整理如表 5，表中顯示除海洋封存與礦化封存技術仍處於研究階段外，其餘之油氣進階增產、舊油氣田、深層鹽水層及強化煤層氣採收率等地質封存方式均已屬可行甚至為成熟市場的階段，故二氧化碳地質封存技術確實是可行的方法。



表 5 CCS 技術目前成熟度比較表(IPCC, 2005)

CCS 組成	CCS 技術	研究階段	示範階段	特定條件下可行	成熟市場
捕獲	燃燒後			○	
	燃燒前			○	
	氧燃料燃燒		○		
	工業分離 (天然氣加工、氨水生產)				○
運輸	管線運輸				○
	船運			○	
地質封存	強化採油(EOR)				○*
	天然氣或石油層			○	
	深層鹽水層構造			○	
	提高煤層氣採收率		○		
海洋封存	直接注入(溶解型)	○			
	直接注入(湖泊型)	○			
碳酸鹽礦石	天然碳酸鹽礦石	○			
	廢棄物料		○		
CO ₂ 的工業利用	—				○

註：○代表組成部分技術目前的最高成熟度

*：對於 EOR 的 CO₂ 注入是一項成熟的市場技術，但是當這項技術用於 CO₂ 封存時，其僅是“在特定條件下經濟可行”

4.9.4 我國執行 CCS 之進度

我國雖非聯合國會員國，但亦為地球村之一員，為善盡保護地球環境的責任與防範國際政治或貿易之不利影響，向來恪遵國際環境公約的規範。我國於 1992 年 5 月因應聯合國「氣候變化綱要公約」及其他國際協定，行政院成立跨部會之「全球環境變遷工作小組」，此為部長層級推動之事務工作；1994 年 8 月行政院將此小組擴編，提升為「全球環境變遷政策指導小組」，



其下所設之工作分組包括「氣候變化綱要公約工作分組」。1997年8月原政策指導小組擴升為「國家永續發展委員會」以因應全球永續發展議題並統合國內永續發展相關事務，委員會下設有「大氣保護與能源工作分組」，此工作分組負責「蒙特婁議定書」及「氣候變化綱要公約」所涉及的相關事務。

我國目前對二氧化碳減排面臨極大的困境，其一我國的能源約有80%仰賴進口的石油及煤炭，產業結構屬高能源依賴，在既有的產業能源使用架構下，同時面臨二氧化碳排放減量與保有產業生存競爭力的雙重壓力；其二估算我國台灣地區的二氧化碳人均排放量，從1990年的5.57公噸，1995年的7.59公噸，2000年的9.83公噸到2004年的11.25公噸，年平均成長率高達7.5%，這顯示我國經濟尚在新興發展階段；若我國要在2010年將二氧化碳排放量減至1990年的水準，減量的幅度將高達227%，如此將對我國的經濟穩定發展產生莫大的衝擊；其三我國地窄人稠，高山及山坡地佔總面積的74%，多數人口及工廠集中於26%的平原區，各項「環境負荷」指數極高。

雖然面對重重困境，我國因應「京都議定書」之發展，於1998年5月召開「全國能源會議」，探討「氣候變化綱要公約」發展趨勢及因應對策、能源政策與能源結構調整、產業政策與產業結構調整、能源效率提升與能源科技發展、能源策略工具等相關議題；展現我國因應「氣候變化綱要公約」的立場及規劃減量目標的策略。國內目前進行二氧化碳地質封存之相關研究較少，僅有部分學者或研究單位進行書面或試驗室研究發展，積極推動二氧化碳地下封存研究及先導試驗，建立本國二氧化碳封存所需相關地質參數、灌注操作與監測經驗，成為目前當務之急。

有關地下封存灌注實際操作，目前僅台灣中油公司曾於鐵砧山儲氣構造進行天然氣地下灌注試驗。鐵砧山礦區於1965年正式開發，天然氣累計產量約242億立方公尺，是台灣最大的油氣田，歷經30餘年生產，蘊藏量已漸枯



竭。民國 84 年為配合台灣中油公司液化天然氣(LNG)第三期擴建輸儲計畫天然氣量逐漸增加之需求，經可行性評估後，決定利用該氣田規劃做為地下儲氣窖，就近調節供應北部天然氣發電廠之大量用氣需要，遂設立儲氣窖注產氣井計 6 口，注氣/升壓兩用壓縮機 2 部，最大產氣量每日 390 萬立方公尺，最大注氣量每日 262 萬立方公尺。鐵砧山儲氣窖之主要功能為當永安廠 LNG 存量持續偏高時，即注墊底氣使儲氣窖能正常運作，當永安廠 LNG 存量持續偏低時，再生產氣。經多年運轉，注、產操作符合預期，其中歷經 921 地震後亦未有洩漏現象，顯示將天然氣注入地層中保存並無安全顧慮。目前台灣中油公司仍持續進行監測工作，此項經驗與技術對於二氧化碳地下封存之效果與信心，有實質助益。

因火力發電為國內主要的電力來源，故能源發電占 CO₂ 排放總量達國內近六成，因此，台電及民營之燃油煤電廠在未來國際與國內的相關溫室氣體減量法規上，將面臨重大壓力。而地質封存技術必須整合產官學界的研發力量，參考國際經驗並共同面對困難而解決之。目前國內已投入 CCS 研究的團隊包括工研院能環所，其接受能源局委託研究，以及中興工程顧問公司與中興社接受台電委託研究。兩研究團隊的研究區域目標不同，中研院能環所主要是以長期性國內的場址為主，而中興工程團隊主要目標解決台電公司火力發電生產之 CO₂。目前中興工程團隊執行之計畫係針對二氧化碳地質封存構造分析與場址評選技術進行國際案例研究並深入探討，藉由國內各項地質資料的蒐集、分析、彙整成 3D 地質資料庫系統，再經由專業的地質整合判斷與系統性的評分程序，規劃出我國具有二氧化碳地質封存潛能的候選封存場地與先導試驗場址，以利於後續計畫階段進行現地相關試驗、分析與電腦模擬等工作。

4.9.5 EGU 會議上之 CCS 主要議題

綜觀國內目前發展 CCS 技術之情勢與進展，經本次參加 EGU 研討會後，茲舉數篇有關 CCS 技術發展之國外論文整理如下：

- (1)由 NIS Naftagas Development Geology，Tatjana Grbovic 所發表之”Geological model of the Zrenjanin oil reservoir”，探討以油田作為地質封存場址的可能性，並建立地質模型，其想法與本社目前執行計畫之概念近似。
- (2)由 NIS-Naftagas Geophysical Institute Belgrade Serbia，V Nicic Jorovic 所發表之”Reservoir characterization of the underground gas storage Banatski Dvor”。內容如下：以三維震測資料對比鑽井結果以整體評估封存地層之精確構造及儲集參數。過程以孔內彈性 P 波、S 波、及電井測等方法相互逆推整合，以獲得儲集構造模型並推求儲集地層之孔隙率、滲透率、孔隙水飽和度、地層頁岩體積含量等，這對於儲集量評估的精確性提升有顯著的幫助。
- (3)由 NIS-Naftagas Geophysical Institute，S. Antic 所發表之”3D seismic imaging, example of 3D area in the middle of Banat”。內容如下：運用 GeoDepth 系統以及依循 CMP、RMS、PSTM 之標準化資料處理程序，最後將三維震測速度 PSDM 模型來協助定義地下地質與地體構造。此對於探查目標為地下 2000~3000 公尺之構造可達較為理想的解釋。
- (4)由 Department of Engineering Geology and Hydrogeology, RWTH Aachen University, Aachen, Germany，T. Kempka 所發表之”Competitiveness and potentials of UCG-CCS on the European energy market”。內容探討將地下煤層予以氣化之技術(underground coal gasification, UCG)所產出之合成氣體可提供複循環火力電廠之



燃料，而電廠燃燒後的廢氣亦可將 CO₂ 予以收集再注入至原煤層地層中，以此達到 CO₂ 減量(CCS)之目的。本文並討論此方法在歐洲發電工業中的可行性與經濟性。

- (5) 由 CESI RICERCA SpA – Environment and Sustainable Development Department, R Guandalini 所發表之” A methodology for the geological and numerical modelling of CO₂ storage in deep saline formations ”。內容如下：為了在義大利找尋適合的 CO₂ 地下封存場址，該國政府遂成立專責機構進行 CCS 相關研究。首先蒐集 6800 個鑽井地質資料建置於 GIS 資料庫中，並且從中整理出不同地區所適合的蓋岩層及儲集層，以及孔隙率、滲透率、地下水含鹽度、地溫梯度、地層壓力、地層電阻性、地球化學性質等基本資料；其次建立封存場址的數值分析模型並且考慮溶解及礦化作用封存的角度來計算場址的封存量，並且做長期的風險評估預測。所使用的分析模式包含了地下水流體動力模式、地球化學模式、並且與大地力學模式相結合，最後將整合分析結果提供大眾參考以增加民意接受度。



五、未來研發與技術服務案之心得

1. 過去以美國為主的天然災害研究趨勢逐漸在歐盟的極力整合研究下，展現出十分驚人的實力。過去歐洲的研究出版多屬於非英語系期刊，無法直接讓台灣地區學界接觸其成果。由歐洲近期的新出版期刊的驚人發表成果量與被引用次數，可以發現歐洲的研究是國內研發重要的參考資料。
2. 台灣地區 QPESUM 系統預估降雨量之技術極具潛力，對於其資料之特性與使用之限制，必須進一步研討，對於本社承攬豪雨誘發土砂災害之研究極為重要。
3. 與台灣地區有類似天然災害類型的義大利、奧地利更是值得深入研究參考的國家，尤其是其政府部門對防災的研究工作重視，更值得吾進一步接觸瞭解。另外，德國在地質學、地球物理、地震學研究也具有極高水準；法國應用衛星遙測技術於天然災害相關研究已有多多年，以及大尺度地體構造研究更是影響台灣深遠。總之，EGU 會議確實讓國內的資源交流又多了一扇窗。
4. 雖然 EGU 舉辦國奧地利是德語系國家，但是舉辦官方語言為英文，與會人數超過一萬人以上，場面盛大。打破地球科學類學術研討會在非英語系國家舉辦的紀錄，頗值得亞洲國家參考。
5. 台灣過去重視美國與日本的發展，但藉由 EGU 的研討會讓國內的研究觸角更加延伸。
6. 由 EGU 會議的內容發現，目前以歐陸為主體的天然災害相關計畫陸續萌芽中，其國家級計畫之內容不亞於美國 USGS，值得上網進一步瞭解計畫內容作為國內相關國家級計畫之參酌。



7. 本次研討會認識許多歐洲學者天然災害研究成果，並持續以 email 聯繫索取其國家級計畫的研究綱要與初步成果，期望經有系統之整理後，能提供國內政府相關防災業務單位參考，如水保局、地調所、水利署等政府機構。會議中，義大利學者對於本社在台灣的山崩與土石流研究十分有興趣，並表示有興趣將於集集地震十週年研討會來台灣訪問。
8. GEM (Global Earthquake Model)的推行值得注意。經瞭解，其發起之國家為德國，其對於地震危害度的作法已與美國加州幾乎有同樣的思維，並有企圖心經成果應用推廣至地震災害保險與地震災害管理。GEM 未來將陸續於世界各地區建立地震災害模型，其整合的研究能量將不亞於美國。本社目前進行地震危害度分析研究可以考慮延伸與歐洲 GEM 交流，進一步瞭解歐洲於地震危害度分析研究於工程界設計地震之研發議題重點。
9. 全球暖化議題討論氣氛熱烈，因為國際上歐盟在節能減碳議題特別重視，所以會議中將 CO₂ 地質封存(CCS)議題列為重點之一。預期 CCS 之議題應該會以歐盟推展之進度較快，值得國內相關單位注意蒐集其相關資訊。EGU 會場上有認識一些專家，後續可以持續以 email 向其諮詢 CCS 於歐洲之發展情形，以利本社提供國內台電及能源局地一手資訊，供其擬定策略之參考。
10. 天然災害的潛勢分析與模擬，必須輸入現地調查之參數，由 EGU 之研討會中顯示，未來國內進行土石流、山崩以及淹水潛勢之分析，更必須進一步進行分析之參數不確定性研究，以及進行相關調查以降低不確定性之研究。