

## 活動斷層三維構造模型建置及提升地震應變作業之研究

林義凱、陳文山、楊耿明、吳逸民、柯明淳、柯孝勳

國家災害防救科技中心

### 摘要

為提升臺灣地區對於地震災害評估之精度，本研究預期整合災防科技中心、臺灣大學與成功大學等團隊對於地下地質研究之成果，初步以新竹地區為先期示範區域，建置活動斷層地下三維模型，以供地震防災使用。在模型建置方面，將優先建置二維構造地質剖面資料，配合地震重定位分析資料、野外露頭調查、地質鑽探及地球物理調查成果，逐步建置三維地下構造模型。於模型建置完成後，以較精細的地下三維斷層構造分布，取得斷層於地表下面之分段點、分段面積與地表投影之範圍，建立新竹地區之活動斷層若發生錯動將可能引發之地震規模，並於地震災害區域強化作業時，各項災損評估之精度提升之用；於地震發生後的應變作業時，也可有效提醒餘震發生之區域，藉以降低地震所帶來之災害損失。

## 一、 簡介

由於近年來許多研究成果的展示及模型演算技術的精進，已漸由二維進化至三維展現技術，但臺灣對於地下地質構造的三維資料仍未建置完成一套完整的模型，因此在地震防災、測報與評估工作上尚缺乏有效且快速的協助。為有效提升中央災害應變中心於地震應變作業之進行，並提升對於地震災害整備之能力，國家災害防救科技中心(以下簡稱災防科技中心)將現有成果，包括野外調查資料、地質鑽探岩心、地球物理探測成果與歷史地震紀錄等，並整合中央地質調查所、臺灣中國石油公司等單位已完成的地質調查或地球物理探測資料，建立臺灣地區各活動斷層的地下三維構造資料，初步將優先建置新竹地區之模型，除強化震前災害風險管理、提升震中災損評估等防災需求外，於未來更可提供中央地質調查所進行活動斷層敏感區劃定的參考資料。未來希望藉由此地下三維地質構造資料庫之建立，能應用於臺灣地區地下地質構造推論使用，另於災害發生前之整備階段也能透過精準之地下三維斷層構造資料，評估各地區面臨地震時所可能造成的損害，藉以加強相關之地震防護力。

## 二、 研究方法與模型建置流程

研究方法主要利用聯合震源定位法（Joint Hypocenter Determination）與平衡剖面法（Balance Cross Section）。經整合各相關單位之地質調查成果，據此繪製二維平衡剖面；再利用三維建模軟體並配合歷史地震重定位資料，進行三維立體模型建置。

### （一）聯合震源定位法（Joint Hypocenter Determination）

聯合震源定位法（Joint Hypocenter Determination, JHD；Dewey, 1971；Frohlich, 1979；Pujol, 1988），係對整組地震走時之剩餘值平方極小化，同時求取各測站及歷史地震震源之修正值。由於此方法是求取震源參數，故對於地震之相對位置關係可獲得大幅改進。而隨著地震波層析影像技術（Seismic Tomography）之發展，三維速度模型定位法（3DLOC）也用於地震定位之改進，由地震波掃瞄可求得地震的震源參數及地下速度構造(subsurface velocity structure; Aki and Lee, 1976；Crosson, 1976；Ellsworth, 1977；Roecker, 1981；Thurber, 1983)。然地震定位之精確度主要取決於地下速度構造的解析度，三維速度構造係將速度模型定位程式優化改良並導入聯合震源定位法（JHD）之測站修正值概念做定位分析（Wu et al., 2003）。此分析係將地底速度構造假設為一維層狀或三維網狀的格點，計算出各格點中的地震波速

數值，建立三維速度構造模型以利與三維地質模型進行比對。

## (二) 平衡剖面法 (Balance Cross Section)

平衡剖面法 (Balance Cross Section) 為目前一種迅速且直觀的方法，能確認剖面建置的合理性，且對於地下斷層形貌建置與構造演化史的討論均有相當幫助。首先應確認剖面沿線之各種地質資料，將各地層邊界與斷層傾角等參數界定清楚，並配合鑽井或地球物理等資料進行剖面建置，且於剖面建置過程中須遵守以下幾點理論基礎：(1) 薄皮理論；(2) 褶皺急折帶理論；(3) 斷層彎曲褶皺。符合上述各理論基礎完成之剖面，應屬合理之剖面，方可繼續模型建置作業。

## (三) 模型建置流程

模型建置流程首先收集欲建置模型區域相關之地質與地球物理探測資料，進行資料彙整、分析與討論。若有資料不足或欠缺處，另於現地進行野外補充調查，建立完整資料系統。接著進行地下構造剖面建立模式之整合，由於台灣地區位屬板塊碰撞帶上，造成台灣島地質環境複雜，地下資料仍須透過鑽井岩心以及震測等地球物理探測方式取得資料，除將整合地質圖、震測剖面與鑽井資料，並結合歷史地震定位資料，建置活動斷層構造剖面圖，並同時以平衡剖面法檢視剖面之合理性。最後將著手建置活動斷層三維地下構造模型，然模型建

置與資料呈現方式可利用現行已廣泛應用之三維繪圖軟體進行地下構造模型建置，並套用地震定位等資料檢核三維地下模型合理性。

### 三、 模型建置成果與應用

本研究初步評估於新竹地區內共 5 條潛在活動性較高之斷層(圖 1、圖 2)，分別為湖口斷層、新竹斷層、新城斷層、斗煥坪斷層、獅潭斷層(紙湖斷層)，茲將各斷層評估結果詳述如下(地震斷層參數彙整詳表 1)：

湖口斷層，依地調所 2012 年出版之活動斷層分布圖由新竹縣湖口向東延伸至桃園縣平鎮，斷層長度約 21 公里。然由三維模型研判，其斷層長度約為 15 公里，可能引發之地震規模  $M_w=6.43$ ；斷層面積約為 171 平方公里，可能引發地震規模  $M_w=6.26$ 。

新竹斷層，走向呈東北東走向，且斷層長度約 9 公里。然由三維模型研判，新竹斷層長度約為 28 公里，可能引發之地震規模  $M_w=6.76$ ；斷層面積約 135 平方公里，可能引發地震規模  $M_w=6.16$ 。

新城斷層，由新竹縣芎林鄉頭前溪北岸向西南延伸至苗栗縣頭份中港溪，長約 22 公里。然由三維模型研判，新城斷層錯動面積約 225 平方公里，可能引發之地震規模  $M_w=6.39$ ；若依地表地質特性與斷層面幾何形貌，可將斷層概分為 2 段，其斷層北段長度為 11 公里，

斷層南段則為 17 公里，依照單一性帶狀的面積推算，其斷層北段面積約為 88 平方公里，可能引致的地震規模為  $M_w=5.9$ ；斷層南段面積為 137 平方公里，可能引致的地震規模為  $M_w=6.17$ 。

斗煥坪斷層，依地調所資料顯示屬存疑性活動斷層，位於竹東台地南緣，由苗栗縣頭份鎮斗煥坪向東延伸至新竹縣北埔鎮社寮，長約 10 公里。然經由三維模型研判斷層長度可能約 28 公里，可能引發之地震規模  $M_w=6.76$ ；斷層面面積約 364 平方公里，可能引發最大地震規模  $M_w=6.6$ 。

獅潭斷層，呈北北東走向，斷層面向西傾斜約 72~85 度。斷層位在苗栗縣獅潭鄉紙湖東方，由大東勢向北延伸，經小東勢、圳頭、北寮、紙寮至上十股，長約 15 公里（大塚彌之助，1936）。然經由三維模型研判斷層長度可能長達 19 公里，可能引發之地震規模  $M_w=6.56$ ，斷層面面積約 364 平方公里，可能引發地震規模  $M_w=6.6$ 。

由於既有之地震應變簡報僅提供二維地質剖面相關資訊，未提供地下三維構造分布之空間資訊，故本研究可提供應變簡報之版型更新。並在地震發生後第一時間提供相關地下三維之地質資訊，以利後續餘震發生位置之研判。亦可利用三維模型空間展示之特性，讓震央位置與地下斷層之關聯性更可清楚明瞭（圖 3）。



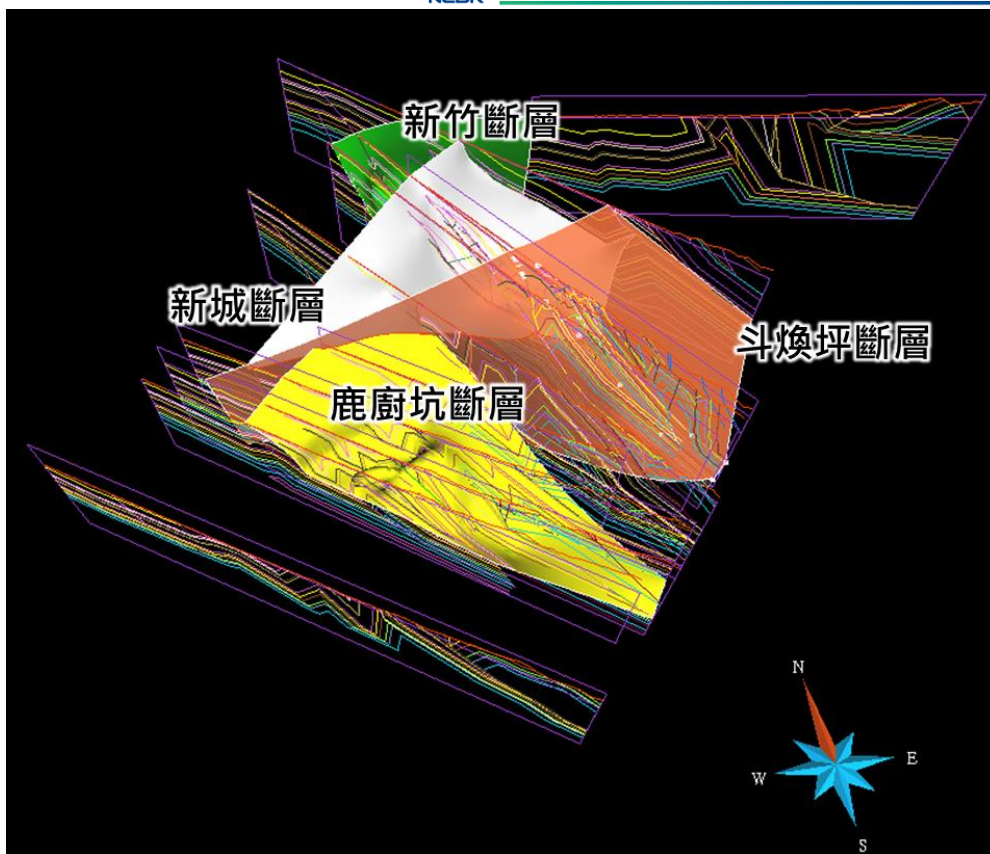


圖 1、三維模型成果(新竹、新城、鹿廚坑、斗煥坪斷層)

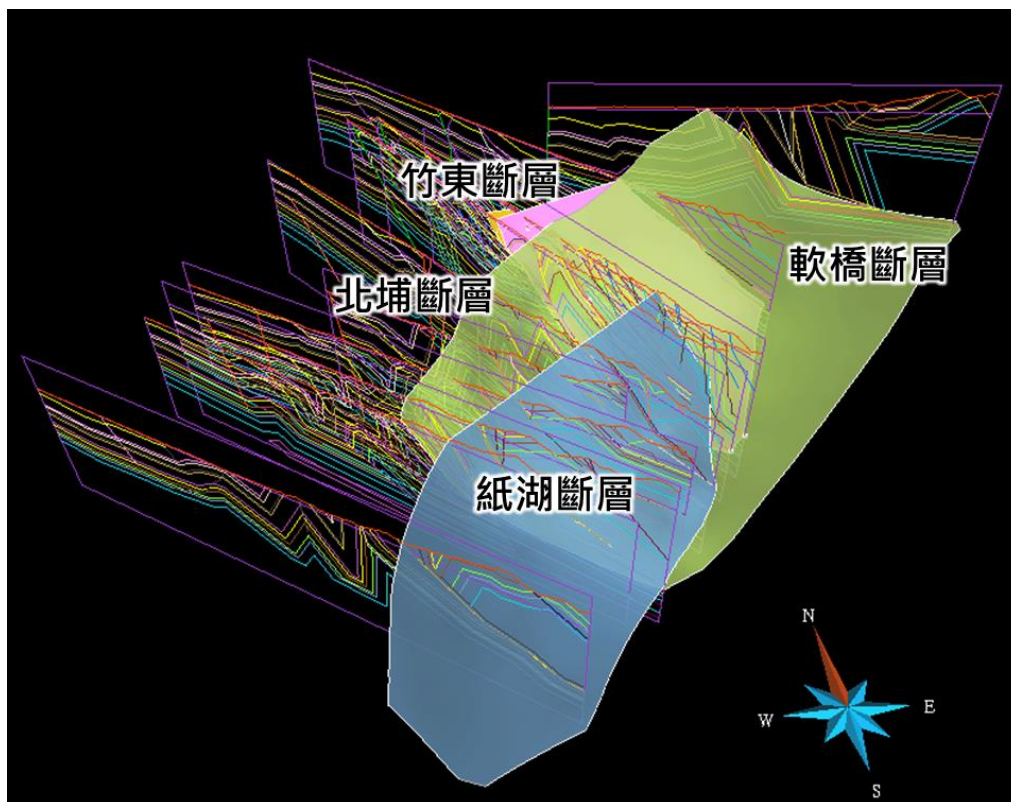


圖 2、三維模型成果(竹東、北埔、軟橋、紙湖斷層)

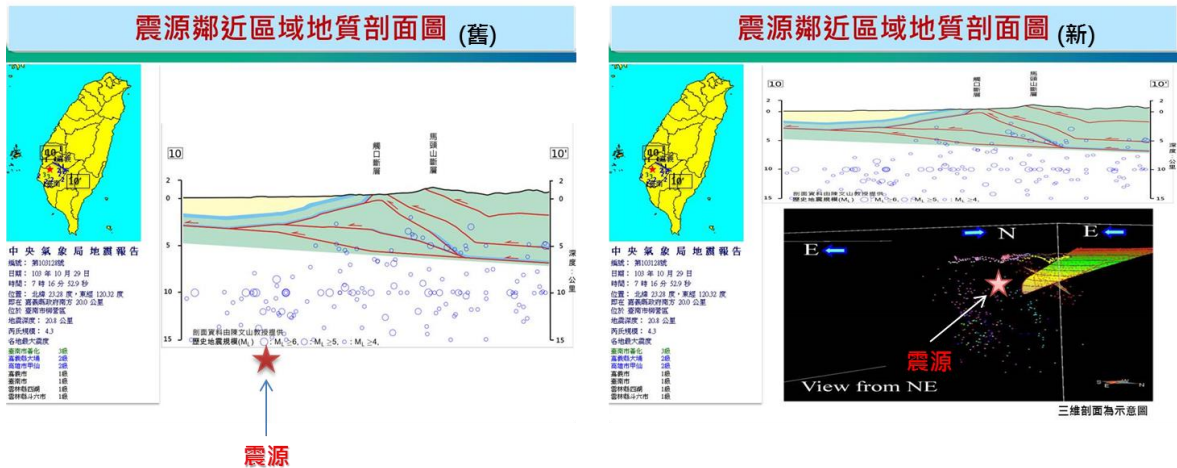


圖 3、地震應變簡報版型修改示意圖

表 1 各斷層參數表 (\*: 由本計畫建置之三維模型所得斷層參數)

斷層名稱	斷層長度 (km)	依斷層長度推估地震規模 (M <sub>w</sub> ) (km)	斷層面積 (km <sup>2</sup> )	依斷層面積推估地震規模 (M <sub>w</sub> ) (km <sup>2</sup> )
湖口	21	6.61	189	6.31
	15*	6.43*	171*	6.26*
新竹	9	6.16	81	5.93
	28*	6.76*	135*	6.16*
新城	22	6.63	364	6.6
	28*	6.72*	225*	6.39*
斗煥坪	10	6.22	130	6.14
	28*	6.76*	364*	6.6*
獅潭 (紙湖)	15	6.43	210	6.35
	19*	6.56*	364*	6.6*



#### 四、 結論

經由建置完成之活動斷層地下三維模型與資料庫，於科技應用層面，可針對該地區於地震發生可即時提供地震評析、展示相關地質資料及對於後續餘震評估等，均能提供有效助益。於學術研究方面，經由召開專家會議及建立之資料交換平台與資料庫，針對產官學界之資料共享，將提供具不同專業背景人員相互討論交流的管道，或可提供新的研究方向，並於學術研究發展可提供正向幫助。

由本模擬成果，可對於地震發生後之應變作業提供一完整的三維模型，以利於研判後續餘震位置並可立即推估可能錯動之斷層及地表可能錯動範圍，以利災後救援。

未來可利用近年來發展之地表變形-三角剪切帶變形模式，進行活動斷層近地表變形之模擬，藉以評估可能發生變形或破裂之地表區域範圍，並提升評估之精度。

## 參考文獻

1. 大塚彌之助 (1936) 昭和 10 年 4 月 21 日臺灣中部地方發生之地震所伴生之地震斷層，附地震斷層之諸特徵。東京大學地震研究所彙報別冊，第三號，22-74 頁。(日文)
2. Dewey, J. W. (1971). Seismicity studies with the method of joint hypocenter determination. Ph. D. Thesis, University of California at Berkeley, 166pp.
3. Frohlich, C. (1979). An efficient method for joint hypocenter determination for large groups of earthquakes. *Comp. Geosci.*, 5, 387-389.
4. Pujol, J. (1988). Comments on the joint determination of hypocenters and station corrections. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78, 1179-1189.
5. Aki, K., and W. H. K. Lee (1976). Determination of three-dimensional velocity anomalies under a seismic array using first P arrival times from local earthquakes, 1, a homogeneous initial model. *J. Geophys. Res.*, 81, 4381-4339.
6. Crosson, R. S. (1976). Crustal structure modeling of earthquake data, 1, simultaneous least squares estimation of hypocenter and velocity parameter. *J. Geophys. Res.*, 81, 3036-3046.
7. Ellsworth, W. L. (1977). Three-dimensional structure of the crust and mantle beneath the island of Hawaii. Ph. D. thesis, Mass. Inst. Of Technol., Cambridge, 327 pp.
8. Roecker, S. W. (1981). Seismicity and tectonics of the Pamir-Hindu Kush region of central Asia. Ph. D. thesis, Mass. Inst. Of Technol., Cambridge, 294 pp..
9. Thurber, C. H. (1983). Earthquake locations and three-dimensional crustal structure in the Coyote Lake area, central California. *J. Geophys. Res.*, 88, 8226-8236.
10. Wu, Y. M., C. H. Chang, N. C. Hsiao, and F. T. Wu (2003). Relocation of the 1998 Rueyli, Taiwan, earthquake sequence using three-dimensions velocity structure with stations corrections. *TAO*, 14, 421-430