

宜蘭地區地震帶與震源參數之評估

黃宏謀¹ 許智豪² 陳國誠³

1. 國立宜蘭大學建築與永續規劃研究所教授兼工學院院長
2. 國立宜蘭大學建築與永續規劃研究所研究生
3. 中央研究院地球科學研究所副研究員

摘 要

本研究之目的為探討宜蘭地區的地震活動情形，定出可能的地震帶與震源參數。本研究根據宜蘭地區 1900-2005 年間震源深度淺於 35 公里地震震央分佈的狀況，決定出可能影響宜蘭地區之五個地震帶，分別為沖繩海槽地震 A 段、沖繩海槽地震帶 B 段、蘇澳地震帶、蘇澳花蓮近海地震帶及蘇澳花蓮外海地震帶。本研究也訂定斷層參數，包括斷層種類、斷層長度及斷層開裂方位角。在防災應變策略上，通常會用最大的地震來進行災損境況模擬，因此本研究利用斷層總長度來求得在此地震帶可能發生的最大震矩規模與芮氏規模，並且利用歷史地震來決定震源深度。本研究也說明當震源為線震源或點震源時，地表振動強度計算的方法，並舉一個例子說明計算的過程。本研究之成果將可利用來進行災損境況模擬，評估建築物可能受到的損害，進而估計可能的人員的傷亡與經濟損失。這些成果可以用來訂定出有效的防災與減災的對策。

關鍵詞：斷層、地震帶、震源參數、地表振動強度

Assessment of Seismic Source Zones and Related Source Parameters in the Ilan Area, Taiwan

Howard Hwang¹ Chih Hao Hsu² Kou Cheng Chen³

1. Professor, Graduate Institute of Architecture and Sustainable Planning and Dean, College of Engineering, National Ilan University

2. Graduate Student, Graduate Institute of Architecture and Sustainable Planning, National Ilan University

3. Associate Research Fellow, Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Abstract

In this study, we determine seismic source zones and source parameters in the Yi-lan area. First, we investigate seismic activity around the Yi-lan area based on the seismic data in the time period of 1900 to 2005. From the distribution of epicenters, we identify five seismic source zones, which include Okinawa trough seismic zone section A, Okinawa trough seismic zone section B, Suao seismic zone, Sauao-Hualien near shore seismic zone and Sauao-Hualien sea seismic zone. We consider these seismic zones as line faults and determine fault parameters, such as fault types, fault length and fault azimuth. In seismic hazards mitigation strategy, we usually use a maximum earthquake to perform scenario simulation. In this study, we determine the moment magnitude and Richter magnitude based on the total length of a fault; we also determine the focal depth from the history earthquake. Given the occurrence of an earthquake, we estimate the intensity of ground shaking at a site based on an appropriate attenuation relation and a site modification factor. The results of this study can be used to perform simulation of seismic disaster scenario, including evaluation of damage to buildings and estimation of casualties and economic losses. These results then can be used to implement a strategy for seismic disaster reduction.

Keywords : fault, seismic zone, source parameter, ground shaking

一、前言

台灣地區受到菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的擠壓與隱沒作用以及沖繩海槽的擴張作用，台灣東部陸地與外海地震發生非常頻繁，尤其以宜蘭到花蓮地區最為活躍。若有強烈地震發生，宜蘭縣建築物可能遭受到損壞，進而導致人員傷亡與經濟損失。為減低地震對社會與經濟的衝擊，我們必須了解地震活動的情形，進行地震災害的境況模擬，以便訂出有效的防災與減災的對策。本研究之目的為探討宜蘭地區之地震活動情形，定出可能的地震帶與震源參數。本研究之成果可用來進行災損境況模擬，評估建築物可能受到的損害，進而估計可能的人員的傷亡與經濟損失。這些成果可以用來訂定出有效的防災與減災的對策。

二、台灣地區之板塊構造與活斷層之分布

臺灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的碰撞帶上（圖 1）。菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊碰撞的縫合帶就是台東縱谷。臺灣若以此台東縱谷為分界，縱谷以東為東部海岸山脈（屬於菲律賓海板塊前緣的呂宋島弧），縱谷以西為中央山脈及西部麓山帶（屬於歐亞大陸板塊邊緣）。在臺灣花蓮的外海地區，菲律賓海板塊向西北隱沒到歐亞大陸板塊下，形成從地表延伸到地底深處的隱沒帶。在臺灣東南部地區，歐亞大陸板塊則向東隱沒到菲律賓海板塊下。目前菲律賓海板塊每年約以 7~8 公分的速度繼續往西北方向推進，與歐亞大陸板塊相互擠壓，造成臺灣島上山脈陡峭與斷層廣泛分佈（Yu et al., 1997）。

由於板塊之碰撞擠壓，岩層受應力發生破裂而形成斷層，斷層面兩側的岩盤若發生錯動，就引發地震。然而並非所有的斷層皆是活斷層，林啓文等（2000）將臺灣地區更新世晚期（距今約 100,000 年）以來曾經活動過，未來可能再度活動的斷層判定為活斷層，並依據斷層的活動年代將活斷層分為三類，第一類活斷層為全新世活斷層（10,000 年）以來曾發生錯移的斷層，第二類活斷層為更新世晚

期（距今約 100,000 年內）內曾發生錯動的斷層，第三類存疑性活斷層為斷層資料尚未充足而無法歸類，且對斷層的存在性、活動時代、及再活動性有存疑者。

經濟部中央地質調查所（張徽正等，1998）回顧臺灣地區過去文獻中有關活斷層之研究成果，選擇以日本活斷層研究會（1992）與石再添等（1982）建立的活動斷層地形特徵準則，判斷活動斷層的存在與否，並且利用活動斷層地形特徵準則分析活動斷層的確實度。中央地質調查所將研究成果編繪成一張五十萬分之一台灣地區活動斷層分佈圖。此圖公佈後，中央地質調查所繼續進行地表地質調查、地形分析和淺層震測等斷層查核工作，更新活動斷層的調查資料，調整部份活動斷層之分類等級，更新後的資料刊印於第二版之臺灣活動斷層概論（林啓文等，2000）。報告中列出臺灣地區活斷層總數共 42 條（圖 2），第一類活動斷層 12 條、第二類活動斷層 11 條以及存疑性活動斷層 19 條。

國立中央大學應用地質研究所（1997）依據國內研究活斷層之相關文獻，進行大地構造研究及遙感與航照分析，經由野外細部的調查探勘，並參考學者過去的研究，找出活斷層可能的位置。研究結果認為臺灣活斷層總數共 55 條，但無說明各活動斷層之特性。國立中央大學將研究成果繪製成比例尺為五十萬分之一的臺灣活斷層分布圖，並提供斷層之 TM 二度分帶座標值以便使用者套疊應用（圖 3）。

針對宜蘭地區而言，中央地質調查所因宜蘭地區之斷層帶並未特別明顯，故未訂定出宜蘭地區之斷層帶，而國立中央大學應用地質研究所於臺灣活斷層分佈圖中訂定了宜蘭地區相關之斷層帶，包括宜蘭斷層、礁溪斷層、牛鬥斷層、四季斷層、羅東地震密集帶及南澳地震群。

三、宜蘭地區之地震帶與震源參數

宜蘭地區地震發生頻繁。圖 4 顯示宜蘭地區 1900 年至 2005 年間震源深度淺於 35 公里地震震央分佈的狀況。大星號表示規模大於 7.0 的地震，中星號表示規模介於 6.0 ~ 6.9 的地震，小星號表示規

模介於 5.0 ~ 5.9 的地震，小黑圓圈則表示規模介於 2.0 ~ 4.9 的地震，空心星號和紅色星號分別表示 1900 年至 1972 年期間和 1973 年至 2005 年期間的地震分佈。從這些地震震央分佈的情形，本研究定出五個可能影響宜蘭地區之地震帶，分別為沖繩海槽地震 A 段、沖繩海槽地震帶 B 段、蘇澳地震帶、蘇澳花蓮近海地震帶及蘇澳花蓮外海地震帶。宜蘭縣行政區域（鄉、鎮及市）與地震帶的關係如圖 5 所示。

3.1 沖繩海槽地震帶 A 段

從圖 4 可以很明顯的看出蘭陽平原至沖繩海槽形成顯著的地震帶，本研究將此地震帶稱為沖繩海槽地震帶。由於沖繩海槽的擴張作用，此地震帶的震源機制主要為正斷層型態 (Wang et al., 2000)。沖繩海槽地震帶從蘭陽平原沿東北方向至龜山島附近後轉為平緩的水平走向延伸到宜蘭外海。因為有些地震損失評估的軟體例如國家地震工程研究中心所發展的台灣地震損失評估系統 (TELES) (葉錦勳, 2003)，模擬地震採用線震源時，線震源只能是直線，故本研究將此地震帶分為兩段，蘭陽平原到龜山島附近為沖繩海槽地震帶 A 段，龜山島附近至宜蘭外海為沖繩海槽地震帶 B 段。

根據 Wells 和 Coppersmith (1994) 的研究結果，震矩規模與正斷層長度之關係式如下：

$$M_w = 4.86 + 1.32 \cdot \log(L) \quad (1)$$

其中 M_w 為震矩規模， L 為斷層的長度(公里)。在防災應變策略上，通常會用最大的地震來進行災損境況模擬，因此本研究利用斷層總長度來求得在此地震帶可能發生的最大震矩規模。本研究利用 GIS 工具量得沖繩海槽地震帶 A 段的斷層長度為 35 公里，利用式 (1)，可求得沖繩海槽地震帶 A 段的震矩規模 M_w 如下：

$$M_w = 4.86 + 1.32 \log(35) = 6.9$$

本研究同時欲求得芮氏規模。吳逸民等 (2000) 利用台灣地震資料，迴歸得到芮氏規模 M_L 與震矩規模 M_w 之關係式如下：

$$M_L = 4.533 \ln(M_w) - 2.091 \quad (2)$$

根據式 (2)，當震矩規模 M_w 為 6.9 時，可求得芮

氏規模 M_L 如下：

$$M_L = 4.533 \ln(6.9) - 2.091 = 6.7$$

1986 年 1 月 16 日在沖繩海槽地震帶上發生芮氏規模 6.1 的地震，其震源深度為 10.22 公里，故本研究將震源深度設為 10 公里。從圖 4 上沖繩海槽地震帶 A 段的方向，求得斷層開裂方位角為 60 度。

3.2 沖繩海槽地震帶 B 段

龜山島附近至宜蘭外海為沖繩海槽地震帶 B 段 (圖 4)。此斷層長度為 50 公里，利用式 (1) 求得震矩規模 M_w 為 7.1，根據式 (2) 求得芮氏規模 M_L 為 6.8。如同沖繩海槽地震帶 A 段，本研究也將此地震帶之震源深度設為 10 公里。根據圖 4 上沖繩海槽地震帶 B 段的方向，求得斷層開裂方位角為 90 度。

3.3 蘇澳地震帶

在蘇澳附近地區有一明顯的地震帶，本研究將它稱為蘇澳地震帶 (圖 4)。2005 年 3 月 6 日連續發生兩次地震規模分別 5.9 和 6.0 的地震，就在這個地震帶上。根據中央研究院地球科學研究所的台灣寬頻地震觀測網 (BATS) 所推求的震源機制解，此地震帶的震源機制主要為平移斷層型態。根據 Wells 和 Coppersmith (1994) 研究的結果，震矩規模與平移斷層長度之關係式如下所示：

$$M_w = 5.16 + 1.21 \cdot \log(L) \quad (3)$$

蘇澳地震帶斷層長度約為 10 公里，利用式 (3) 求得震矩規模 M_w 為 6.3。根據式 (2) 求得芮氏規模 M_L 為 6.2。2005 年 3 月 6 日連續發生兩次地震，其震源深度為 6.4 與 7.0 公里，故本研究將此地震帶之震源深度設為 7 公里。根據圖 4 上蘇澳地震帶的方向，求得斷層開裂方位角為 60 度。

3.4 蘇澳花蓮近海地震帶

蘇澳與花蓮海域地區地震相當頻繁，在蘇澳與花蓮近海地區形成顯著的地震帶，本研究將此地震帶稱為蘇澳花蓮近海地震帶 (圖 4)。因蘇澳花蓮近海地震帶受到菲律賓板塊與歐亞大陸板塊的影響，故此地震帶的震源機制主要為逆斷層型態。根據 Wells 和 Coppersmith (1994) 研究結果，震矩規模與逆斷層長度之關係式如下所示：

$$M_w = 5.0 + 1.22 \cdot \log(L) \quad (4)$$

蘇澳花蓮近海地震帶斷層長度為 100 公里，利用式 (4)，可求得震矩規模 M_w 為 7.4。根據式 (2) 求得芮氏規模 M_L 為 7.0。2001 年 6 月 14 日在蘇澳花蓮近海地震帶上發生芮氏規模 6.2 的地震，其震源深度為 10.4 公里，故本研究將此地震帶之震源深度設為 10 公里。根據圖 4 上蘇澳花蓮近海地震帶的方向，求得斷層開裂方位角為 25 度。

3.5 蘇澳花蓮外海地震帶

蘇澳與花蓮外海地區也形成一顯著的地震帶，本研究將此地震帶稱為蘇澳花蓮外海地震帶 (圖 4)。根據蘇澳花蓮外海地震帶斷層長度為 55 公里，利用式 (4)，可求得震矩規模 M_w 為 7.1，根據式 (2) 求得芮氏規模 M_L 為 6.8。如同蘇澳花蓮近海地震帶，本研究也將此地震帶之震源深度設為 10 公里。如圖 4 所示，蘇澳花蓮外海地震帶斷層開裂方位角為 125 度。本研究將對影響宜蘭地區的五個地震帶之震源參數做一總結如表 1 所示，其中震央位置為斷層長度之中央位置。

四、地表振動強度之計算

當一個地震發生本研究利用地表振動衰減公式與場址效應修正係數，來計算場址受到地震所產生之地表振動強度。簡文郁 (2001) 建議的台灣地區不分地盤條件的地表振動衰減公式如下所示：

$$y(g) = A_0 e^{aM_L} [R + b e^{cM_L}]^{-d} \quad (5)$$

其中 y 為地表振動強度，可表示最大地表加速度 (PGA)、短週期譜加速度 ($Sa_{0.3}$) 與長週期譜加速度 ($Sa_{1.0}$)， M_L 為芮氏規模， R 為場址至震源的距離 (公里)，當震源為線震源時， R 為場址至斷層線的最短距離，當震源為點震源時， R 為震源距離。當 y 為一般地盤之最大地表加速度 A 時，迴歸係數 A_0 為 0.0036944， a 為 1.7537666， b 為 0.1221955， c 為 0.7831508， d 為 2.0564446。簡文郁 (2001) 在推導地表振動衰減公式的過程中，係以不分地盤種類的條件下之測站資料來推導地表振動衰減公式，因此式 (5) 代表一般地盤之地表振動衰減強度。

因場址有不同的地盤種類，建築物耐震規範及解說將台灣地區 (台北盆地除外) 之地盤分為三類，第一類地盤為堅硬地盤，第二類地盤為普通地盤，第三類地盤為微軟弱地盤，若要估算不同地盤種類之地表振動強度，則需考慮該場址所在地盤特性對地震波造成的影響，所以將式 (5) 求得地表振動推估值乘以場址效應修正係數，才能得到地震發生後該場址的地表振動強度。場址效應修正係數除了與地盤種類有關外，它又與場址之地振動強度有密切的關係。在不同地盤種類條件下，葉錦勳等 (2004) 建議的含地盤效應之最大地表加速度 PGA 與 A 值 (以 g 為單位) 之對應關係如表 2 所示。葉錦勳等 (2004) 認為 A 在 0.1g 至 0.8g 之間， A 與 PGA 呈線性關係，當式 (5) 求得之 A 值與表 2 所列的值不同時，可利用線性內插的方式來計算含地盤效應之地表振動強度。

本研究以宜蘭縣育才國小為例來說明場址地表振動強度的計算流程。地震之震源選定為沖繩海槽地震帶 A 段，其芮氏規模 M_L 為 6.7，震源深度為 10 公里，本研究將沖繩海槽地震帶 A 段考慮為線震源。利用 GIS 軟體中量測工具可得震央最短距離為 6.5 公里，故場址至斷層線的最短距離 R 為 11.9 公里。利用 (式 5)，模擬地震在育才國小場址所引起的最大地表振動強度 A 如下：

$$A = 0.0036944 e^{1.7537666(6.7)} [11.9 + 0.1221955 e^{0.7831508(6.7)}]^{-2.0564446}$$

$$A = 0.311g$$

根據育才國小鑽探資料，該校場址係屬於第三類地盤，利用表 2 內第三類地盤的 PGA 修正值，以線性內插的方式，求得含地盤效應在育才國小場址之地表振動強度如下：

$$PGA = 0.2372 + (0.4279 - 0.2372) / 0.2 \times (0.311 - 0.2) = 0.343g$$

五、結論

台灣地區受到菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的擠壓與隱沒作用以及沖繩海槽的擴張作用，宜蘭地區地震發生頻繁。本研究根據宜蘭地區 1900-2005 年間震源深度淺於 35 公里地震震央分佈

的狀況，決定出可能影響宜蘭地區之五個地震帶，分別為沖繩海槽地震 A 段、沖繩海槽地震帶 B 段、蘇澳地震帶、蘇澳花蓮近海地震帶及蘇澳花蓮外海地震帶。本研究也訂定斷層參數，包括斷層種類、斷層長度以及斷層開裂方位角。本研究利用斷層總長度來求得地震帶可能發生的最大震矩規模與芮氏規模，並且利用歷史地震來決定震源深度。本研究之成果可用來進行災損境況模擬，評估建築物可能受到的損害，進而估計可能的人員的傷亡與經濟損失，這些成果可以用來訂定出有效的防災與減災的對策。

致謝

本研究承蒙國家科學委員會第 NSC94-2625-Z-197-001 及 NSC 95-2625-Z-197-001 號研究計畫之經費資助，特此致謝。在本研究期間國立宜蘭大學土木工程學系趙紹錚教授提供許多寶貴的意見與建議，特此感謝。

參考文獻

- [1] 林啓文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正，“台灣活動斷層概論-五十萬分之一台灣活動斷層分佈圖說明書-第二版”，特刊第十三號，經濟部中央地質調查所，2000。
- [2] 張徽正、林啓文、陳勉銘、盧詩丁，“台灣活動斷層概論”，特刊第十號，經濟部中央地質調查所，1998。
- [3] 日本活斷層研究會，“日本的活斷層圖”，東京大學出版會，1992。
- [4] 石再添、張瑞津、楊貴三，“活斷層研究的概觀”，中國地理學會會刊，第 10 期，1982，第 50-57 頁。
- [5] 國立中央大學應用地質研究所，“臺灣活斷層分佈圖”，網址：
<http://140.115.123.30/gis/eq/twactft/loc.htm>，1997。
- [6] 葉錦勳，“台灣地震損失評估系統－TELES”，研究報告 NCREE-03-002，國家地震工程研究中心，2003。
- [7] 吳逸民、張建興、辛在勤、簡文郁，“速報系統中強地動極值之推求”，第八屆台灣地區地球物理研討會論文集，2000。
- [8] 簡文郁，“考慮特徵地震與場址效應的地震危害度分析”，研究報告 NCREE-01-036，國家地震工程研究中心，2001。
- [9] 葉錦勳、簡文郁、鍾立來，“台灣震災早期評估系統之研發與應用”，〈中國土木水利工程學刊〉，第十六卷，第四期，2004，第 609-620 頁。
- [10] Wang, C. M., L. Yang, C.P. Chou, Y.C. Chang and C.S. Lee, “Westward Extension of the Okinawa Trough at its Western End in the Northern Taiwan Area: Bathymetric and Seismological Evidence,” *Terrestrial, Atmospheric and oceanic Sciences (TAO)*, Vol.11, 2000, pp. 459-480.
- [11] Wells, D. L. and K. J. Coppersmith, “New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.84, 1994, pp. 974-1002.
- [12] Yu, S. B., H. Y. Chen and L. C. Kuo, “Velocity Field of GPS Stations in the Taiwan Area” *Tectonophysics*, Vol. 274, 1997, pp. 41-59.

宜蘭地區地震帶與震源參數之評估

表 1 宜蘭地區地震帶之震源參數

震源	斷層種類	斷層長度 (Km)	斷層開裂 方位角 (°)	震央位置		震矩 規模 (M_w)	芮氏 規模 (M_L)	震源 深度 (Km)
				經度(°)	緯度(°)			
沖繩海槽地震帶 A 段	正斷層	35	60	121.869	24.742	6.9	6.7	10
沖繩海槽地震帶 B 段	正斷層	50	90	122.266	24.820	7.1	6.8	10
蘇澳地震帶	平移斷層	10	60	121.799	24.649	6.3	6.2	7
蘇澳花蓮近海地 震帶	逆斷層	100	25	121.652	24.015	7.4	7.0	10
蘇澳花蓮外海地 震帶	逆斷層	55	125	122.03	24.367	7.1	6.8	10

表 2 最大地表加速度 (PGA) 與 A 值之對應關係表 (葉錦勳等, 2004)

土壤種類	PGA (g)				
	A = 0.05	A = 0.1	A = 0.2	A = 0.4	A = 0.8
第一類地盤	0.045	0.0973	0.1976	0.3982	0.7994
第二類地盤	0.0564	0.1025	0.2022	0.4017	0.8006
第三類地盤	0.0746	0.1419	0.2372	0.4279	0.8093

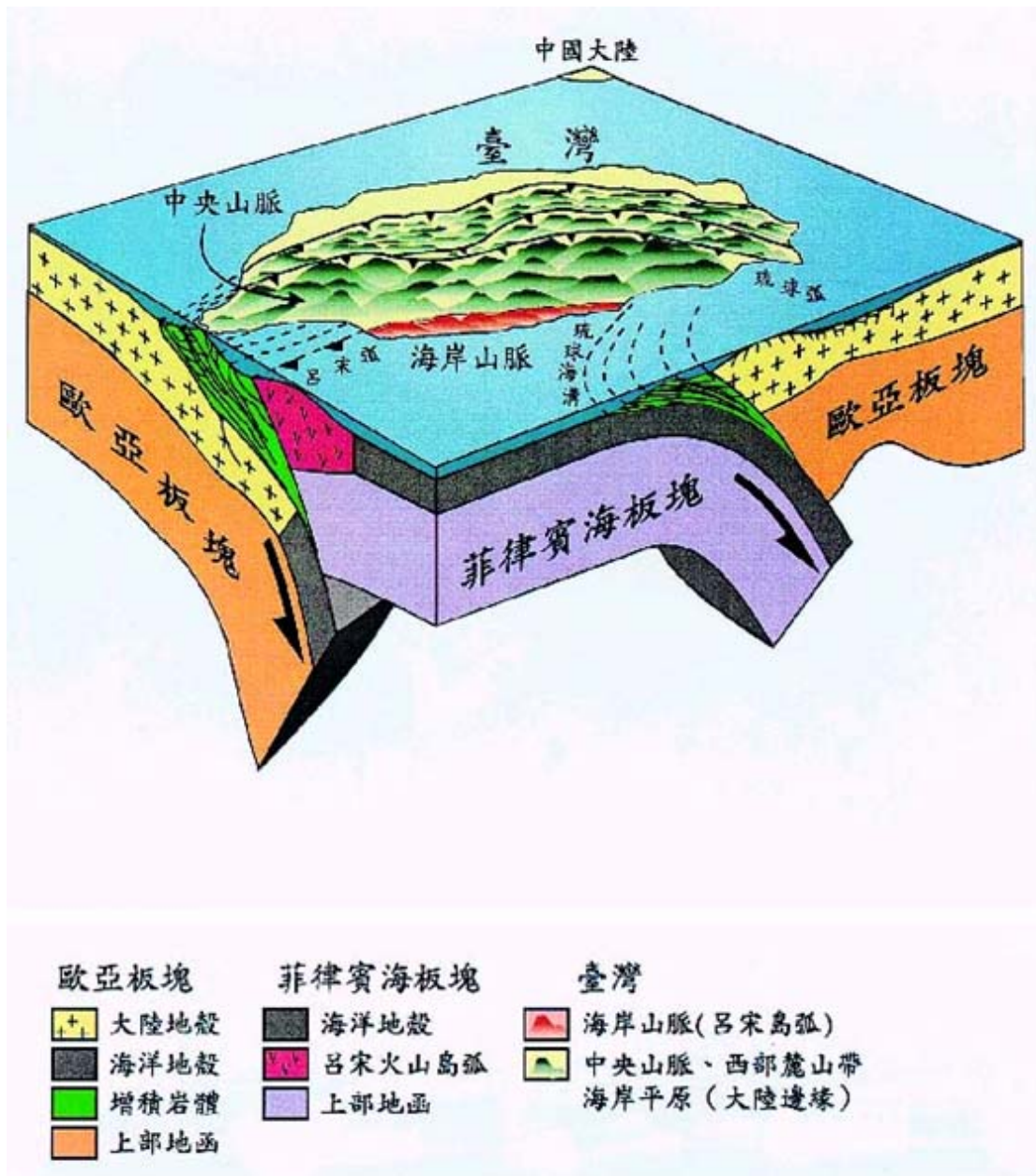


圖 1 台灣地區之板塊構造立體圖 (取自 Angelier, 1986)

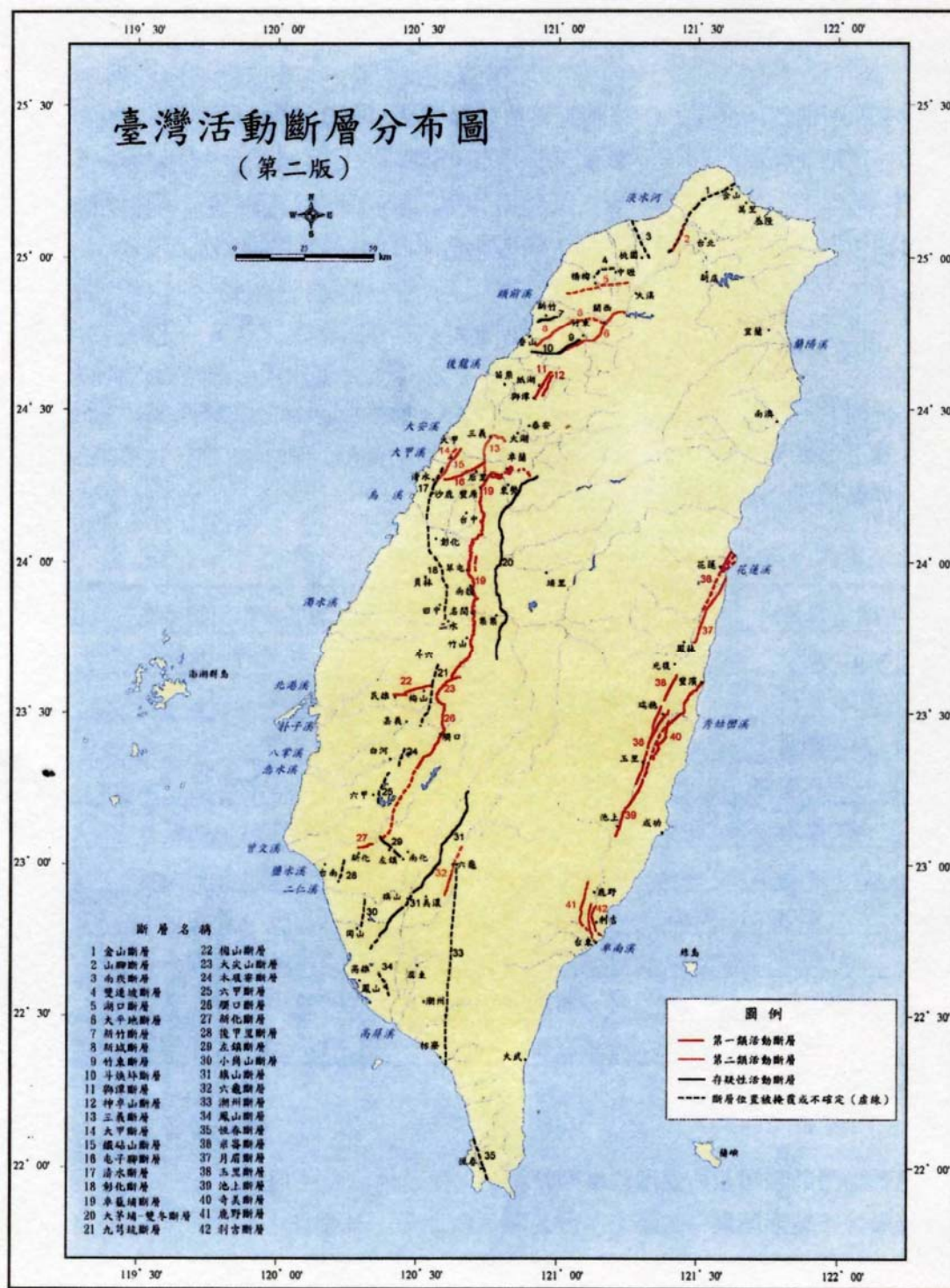
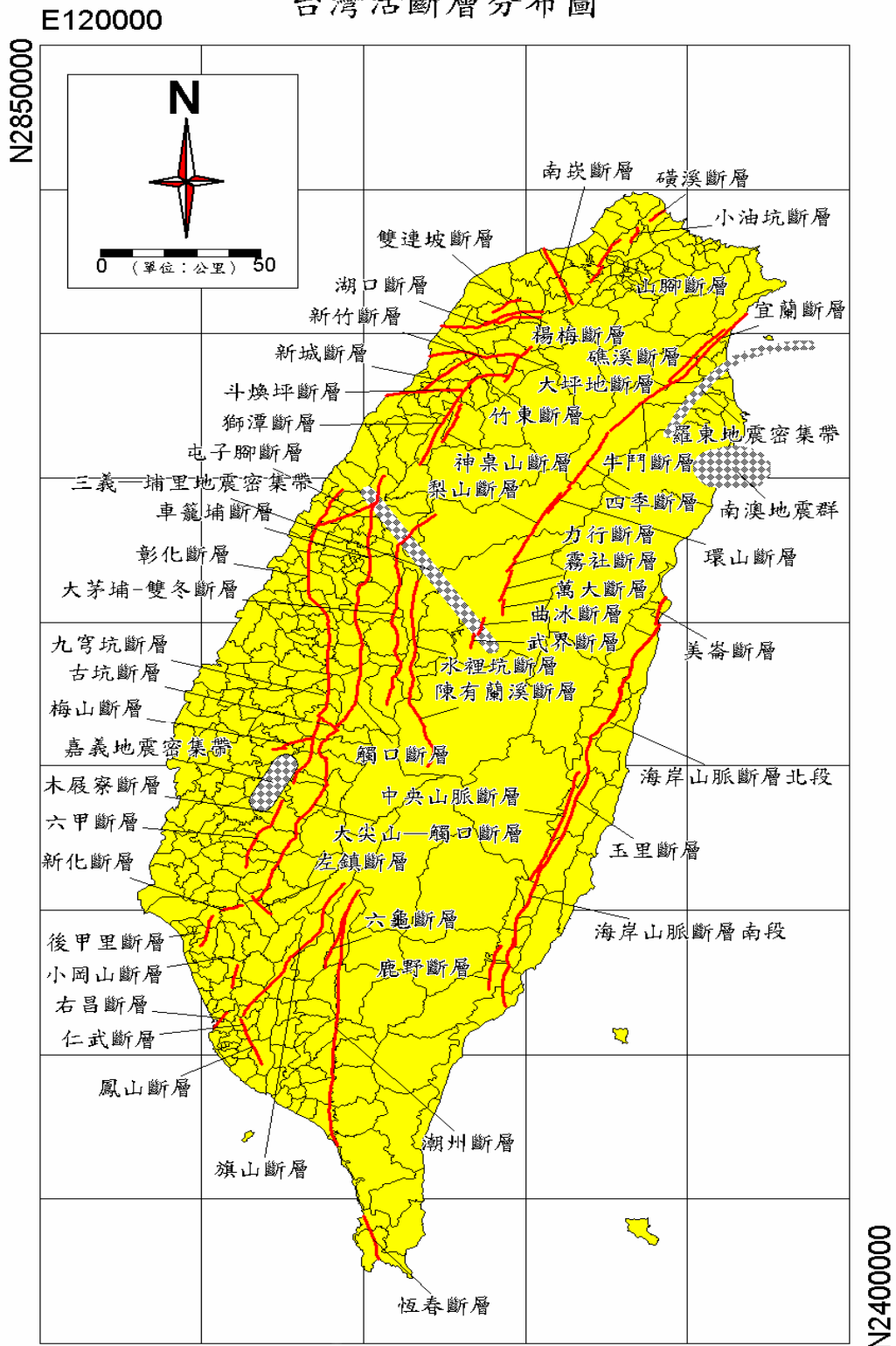


圖 2 經濟部中央地質調查所台灣活動斷層分布圖 (林啓文等, 2000)

台灣活斷層分布圖



國立中央大學應用地質研究所
工程地質與防災科技研究室整理
(台灣省教育廳經費補助)

圖 3 臺灣活斷層分佈圖 (取自中央大學應用地質研究所, 1997)

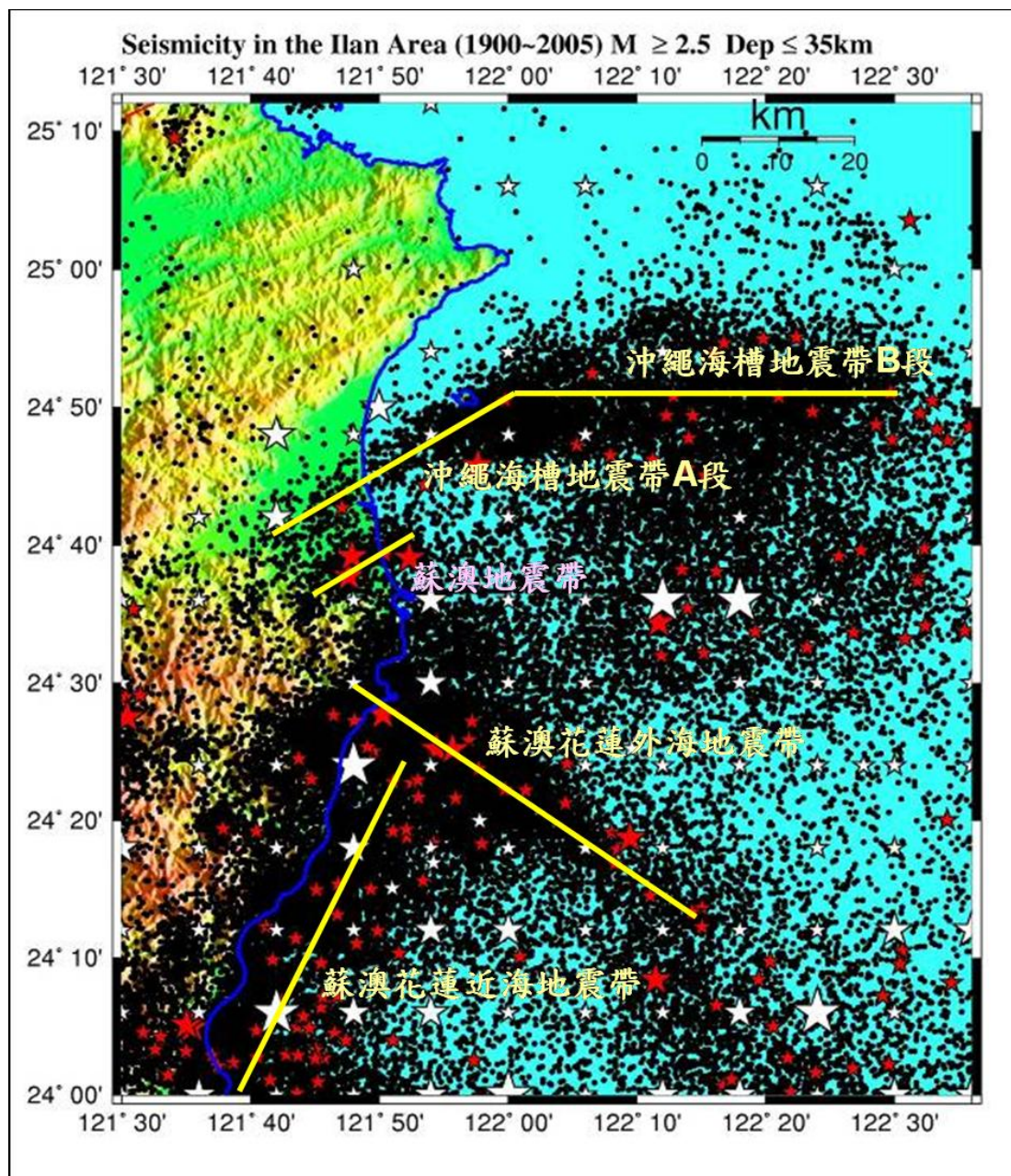


圖 4 影響宜蘭地區之地震帶

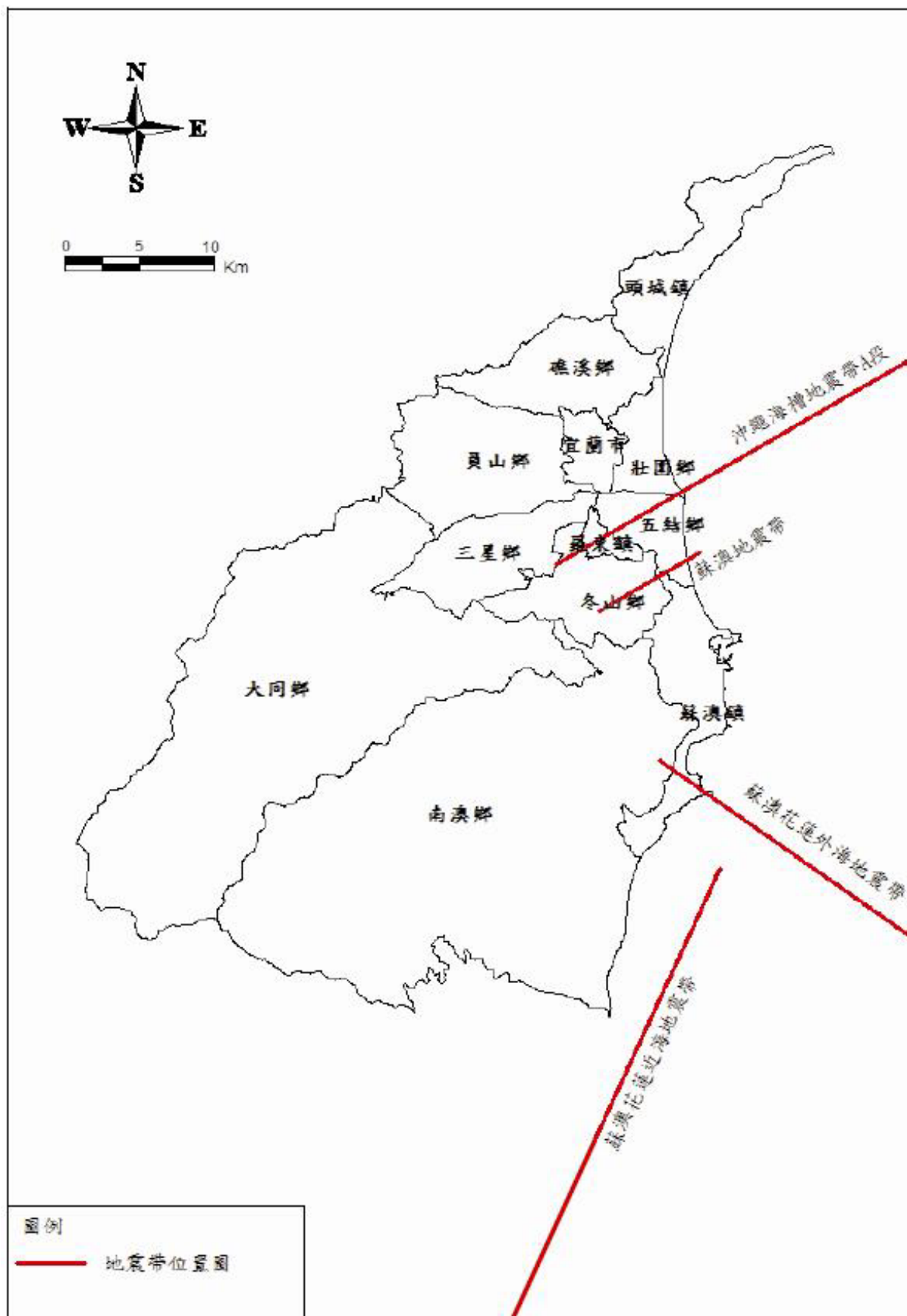


圖 5 宜蘭縣行政區域與地震帶的關係圖