NCDR
國家災害防救科技中心

The Seismic Zones of Taiwan

臺灣地震帶

03 章
資料來源與研究方法

3.1 資料來源

地震是地殼活動的一種現象，地震分布、震源機制以及震波速度構造等物理特性可以反映現今的地殼結構與地質構造。本研究利用震波層析成像法，包括 Vp、Vs、Vp/Vs 值、Vp 與 Vs 異常擾動值，來建立地殼三維構造模型。同時，透過地震分布與震源機制分析，建立臺灣及鄰近海域的地震帶，並探討其與大地構造的關係。

本研究使用的地震資料來自中央氣象署即時地震網（CWASN）、自由場強震站（TSMIP）以及日本氣象廳地震網（JMA）的資料，並選用 1990~2020 年間的地震。地震資料的處理，使用吳逸民等（Wu et al., 2008）提出的走時資訊重定位法，以及採用黃信樺等（Huang et al., 2014）的震波層析成像模式。值得注意是，臺灣島內地震定位的經度、緯度與深度的誤差分別為 3.1±2.7、1.3±1.6、4.6±3.9 公里（Wu et al., 2013）。

由於臺灣北部（桃園至雙北市）、海峽與西南海域的地震數量較少，導致地殼速度構造的解析不足，因此本研究將不針對這些區域作討論。另外，臺灣東部海域的地震資料，結合了日本氣象廳地震網（JMA）資訊，所以討論範圍侷限在東部離岸約 50 公里以內。

為了探討不同深度的地殼構造與地震帶分布，本研究以垂直與水平的震波層析成像剖面做為討論基礎。剖面深度與方位受區域地質構造的影響，例如東北與東南海域存在琉球隱沒帶與馬尼拉隱沒帶，其震源深度可達到 150 公里以下，因此這兩區域垂直剖面深度分別設定為 150 公里（E—E` 剖面）與 100 公里（S—S` 剖面）。而臺灣中北部的剖面深度僅設定為 30 公里（N—N` 剖面），臺灣全島的水平剖面深度設定為 60 公里。儘管本研究利用各種地質資料來解釋不同深度的地質構造，但獲得的地質資訊如地表地質調查、鑽井與地球物理探勘，僅限於深度約 <8 公里範圍。此外，由於地震資料解析度的限制，在解釋地殼地質構造時，隨著深度增加，準確性逐漸降低。

3.2 震波層析成像剖面

本研究旨在劃定與討論各地質構造區的孕震帶及其特性，透過震波層析成像法對臺灣與鄰近海域的地殼構造進行分析。北部至中部區域（桃園至雲林）在垂直地質構造帶走向，共

截切 15 條震波層析成像的地殼構造剖面（N1 至 N10 剖面走向 N70° W，N11 至 N15 剖面走向 E—W）；每個剖面的間距 10 公里，南北寬各 5 公里，之間的地震投影至對應的剖面。由於中下部地殼較少地震，因而剖面深度限於 30 公里（**圖 3–1**）。

中至南部區域（彰化至恆春半島）共計 14 條震波層析成像地質構造剖面（S1 至 S14 剖面走向 E—W；**圖 3–2**），每個剖面間距 10 公里。由於南側的剖面跨越馬尼拉隱沒帶，地震深度較深，因此剖面深度設定為 100 公里。另外，依平行山脈（地質構造帶）的走向共截切 12 條震波層析成像剖面（W1 至 W12 剖面走向 N20° E；**圖 3–3**），剖面長度達 430 公里，深度為 100 公里。在東北部陸域至海域之間，垂直琉球海溝走向截切 6 條震波層析成像剖面（E1 至 E6 剖面走向 N15° E；**圖 3–4**），剖面長度 250~280 公里，深度設定為 150 公里。

除了完成垂直震波層析成像剖面之外，本研究還依據深度截切水平的震波層析成像剖面。目的為了解孕震帶（seismogenic or seismic zone；或稱地震帶）的空間關係，同時也透過 SKUA–GOCAD™ 軟體，依據垂直與水平剖面來建置孕震帶與地殼的三維構造模型。

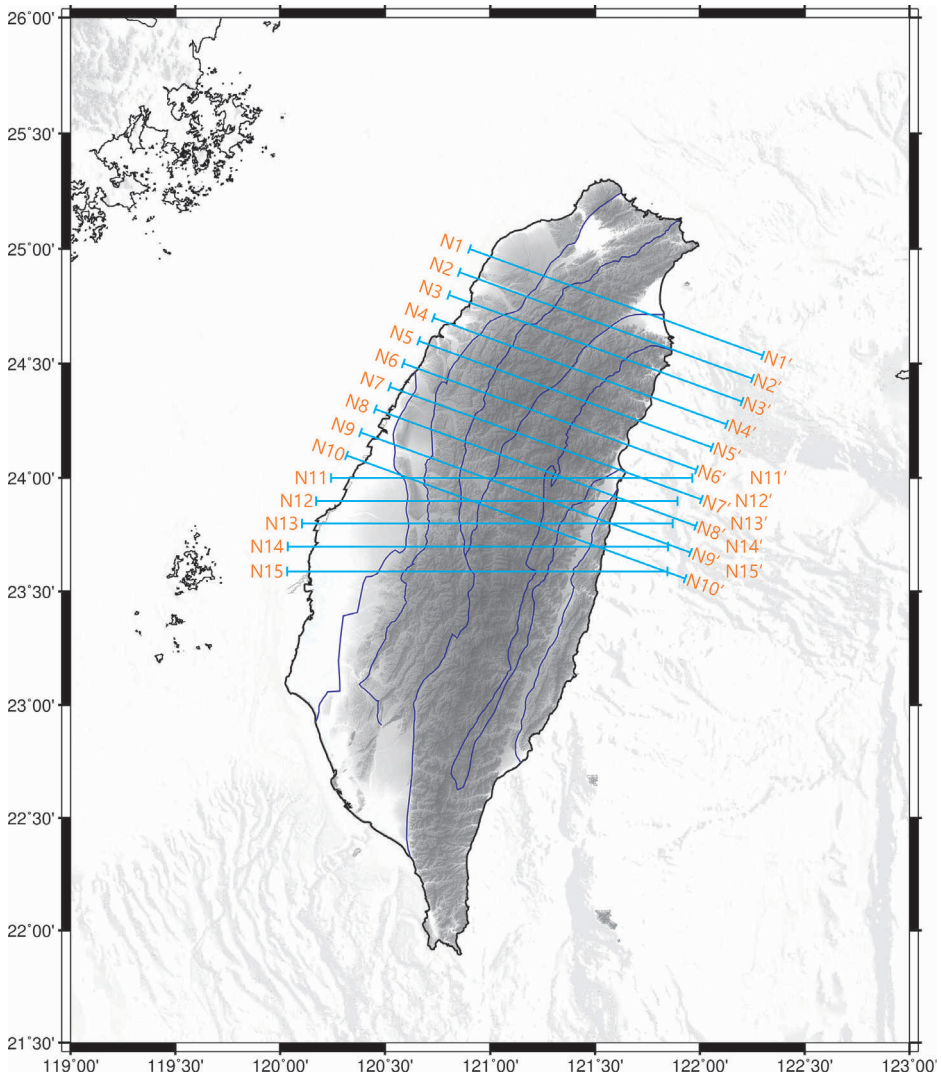


圖 3–1、中北部（桃園至雲林），15 條震波層析成像剖面位置。

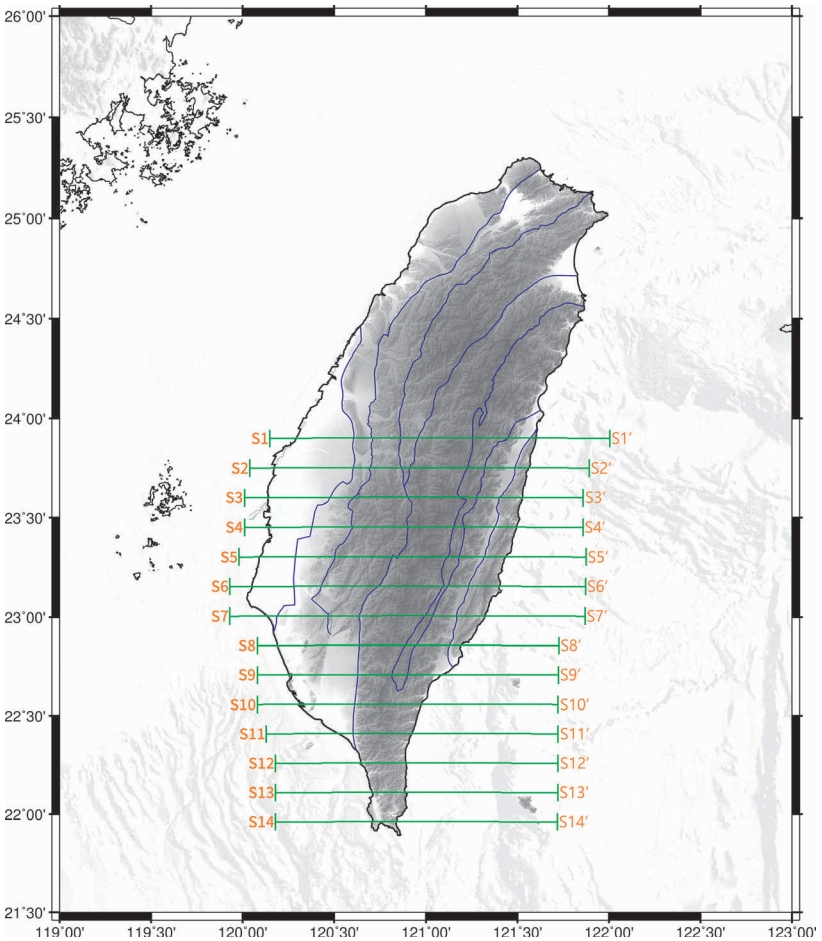


圖 3–2、西南部（彰化至恆春半島），14 條震波層析成像剖面位置。

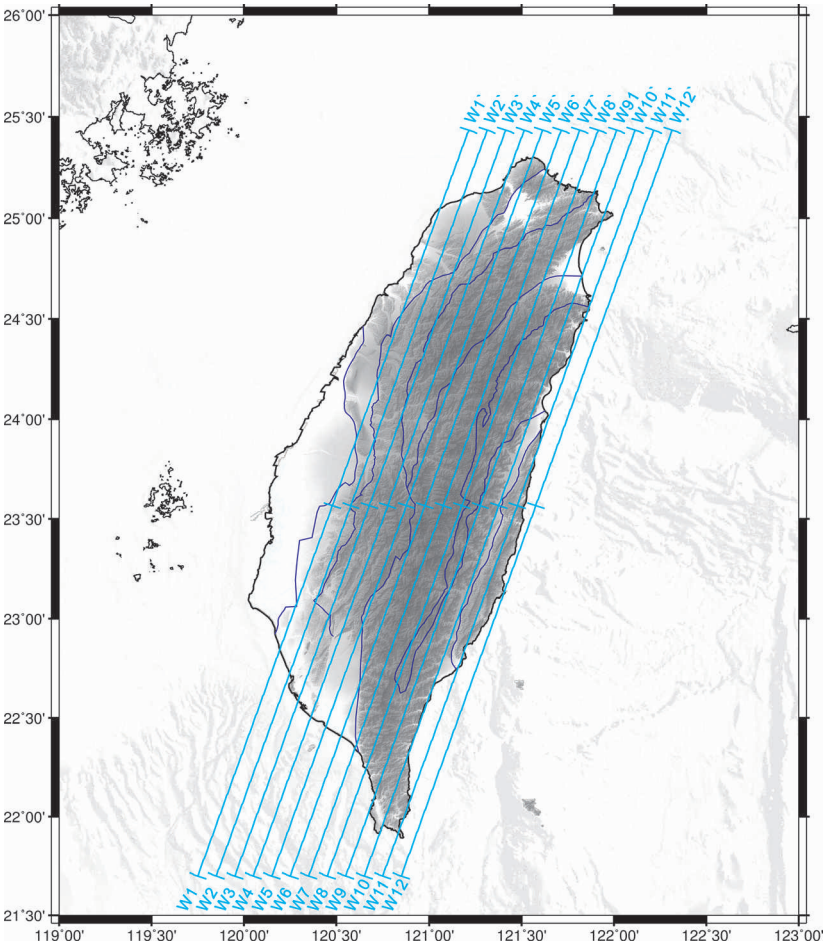


圖 3–3、平行地質構造帶走向（N20°E），12 條震波層析成像剖面位置。

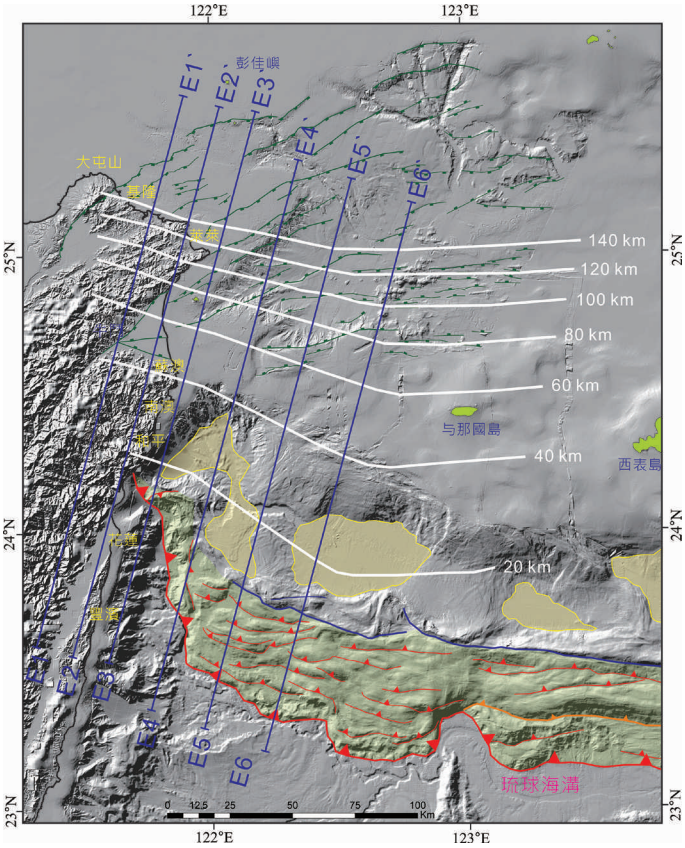


圖 3–4、臺灣東北部與海域，垂直琉球海溝走向（N15°E），6 條震波層析成像剖面位置。

3.3 地震頻率分析

本研究透過地質構造與震波層析成像剖面，以及利用 1990~2020 年地震資料分析，首先建立了臺灣的三維孕震帶（亦稱地震帶）。並針對各孕震帶在觀測期間的地震頻率（每月與每日地震數）、地震熱點以及地震個數進行分析。目的為瞭解各地震帶在地震發生時序上的特性，以及地震發生熱點或分布密度與地質構造的關係。

地震頻率分析是為了瞭解各地震帶的地震活動特性，尤其針對發生中大規模地震 (>M_L 6.0) 的頻率，或探討地震頻率高低與地質構造的關係。然而，30 年的觀測時間實在太過於短暫，是無法完整呈現地震帶的活動特性。儘管如此，本研究仍然試圖透過時序分析，藉由有限的資料來探討地震帶在震間或震後的變化特性。此目的乃是為了了解地震頻率與斷層（或構造）活動性的關係，例如震間具高頻率地震的斷層是否呈現潛移狀態？低頻率地震的斷層是否呈現鎖定狀態？此外，本研究探討 921 集集地震對其它地震帶的地震頻率影響，其影響的時間為何（震後時期，post–seismic period）？儘管觀測時間相對短暫，目前分析結果僅是觀察各地震帶的頻率變化現象，尚無法解釋成因。

另外，本研究也利用地震熱點圖、地震個數圖以及地震分布密度（個數 / 公里 ^{3}）來了解地震帶的特性。其代表在觀測期中地震帶是否具有好發地震特性，或發生中大規模的地震事件時，因為大量餘震也會造成地震密度增加。經過本研究的觀察，當密度大於 0.8 個數 / 公里 ^{3} 時，表示此地震帶在觀測期中具有地震好發的特性，或受到中大規模地震的餘震所致。地震熱點圖與地震個數圖的統計亦可以展示臺灣陸域與鄰近海域在不同深度的地震空間分布。

3.4 地質構造剖面

本研究首先運用地質與地震資料，對各地質構造區的地震帶進行初步的討論。為了更全面性了解地質結構，本研究事前建立了 11 條垂直山脈 (構造線) 走向的地質剖面 (西北 ─ 東南至西 ─ 東走向)，同時還包括 2 條垂直琉球海溝走向的地質剖面 (圖 3–5)。這些地質構造剖面在後續章節中將被用來探討孕震構造 (帶)，並展示各地質構造區在淺部地殼的構造 (深度 <10 公里)。另外，本研究還利用震波速度構造 (Huang et al., 2014) 來解釋各剖面的中下部地殼的構造 (深度 >10 公里)。

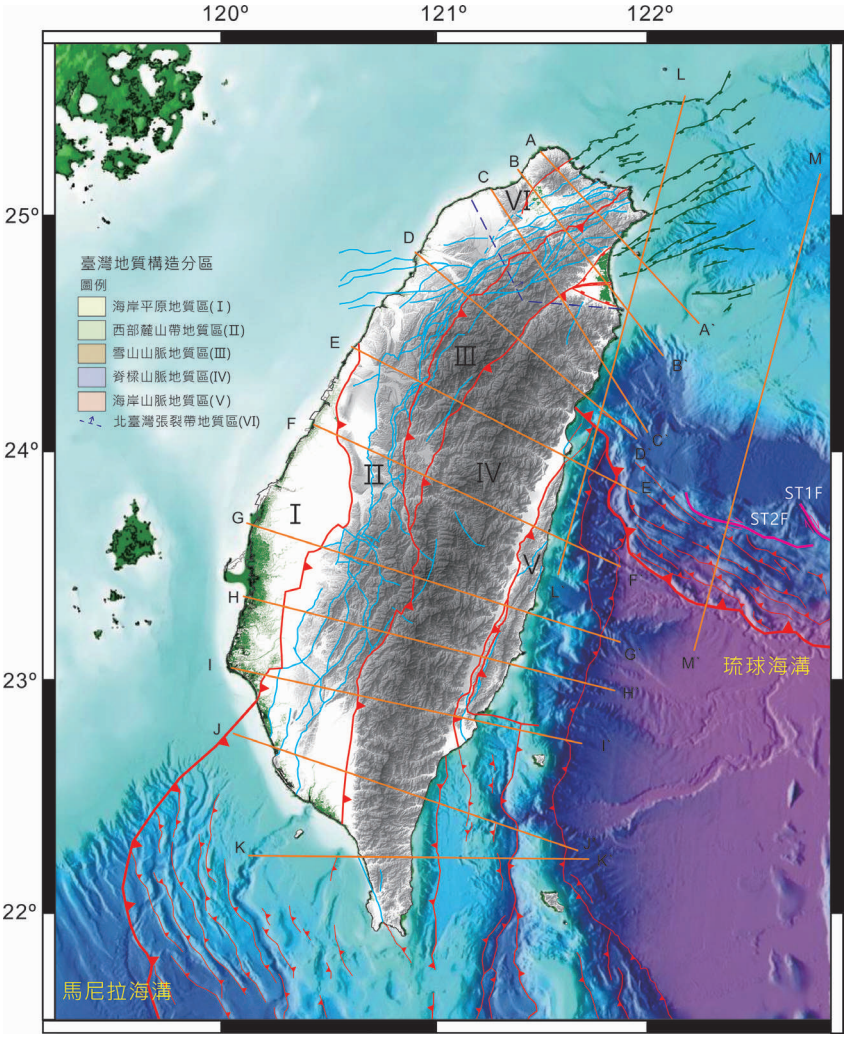


圖 3–5、13 條地質剖面位置圖。

A、B、C 剖面 (圖 3–6，圖 3–7，圖 3–8) 位在北部張裂帶，橫跨大屯火山群、林口台地、台北盆地、西部麓山帶、雪山山脈、蘭陽盆地至東北海域。D、E、F 剖面 (圖 3–9，圖 3–10，圖 3–11) 位於中北部，涵蓋桃竹苗與中彰投西部麓山帶、雪山山脈、北段脊梁山脈、北段海岸山脈至東部外海。G、H、I 剖面 (圖 3–12，圖 3–13，圖 3–14) 位於西南部，貫穿雲嘉南西部麓山帶、南段脊梁山脈、南段海岸山脈至東部外海。J、K 剖面 (圖 3–15，圖 3–16) 位在南部，橫跨高屏西部麓山帶、南段脊梁山脈、北呂宋海槽、北呂宋火山弧 (綠島 ─ 蘭嶼)。L、M 剖面 (圖 3–17，圖 3–18) 位於東北海域，截切琉球海溝、琉球增積岩體、弧前盆地至沖繩海槽。

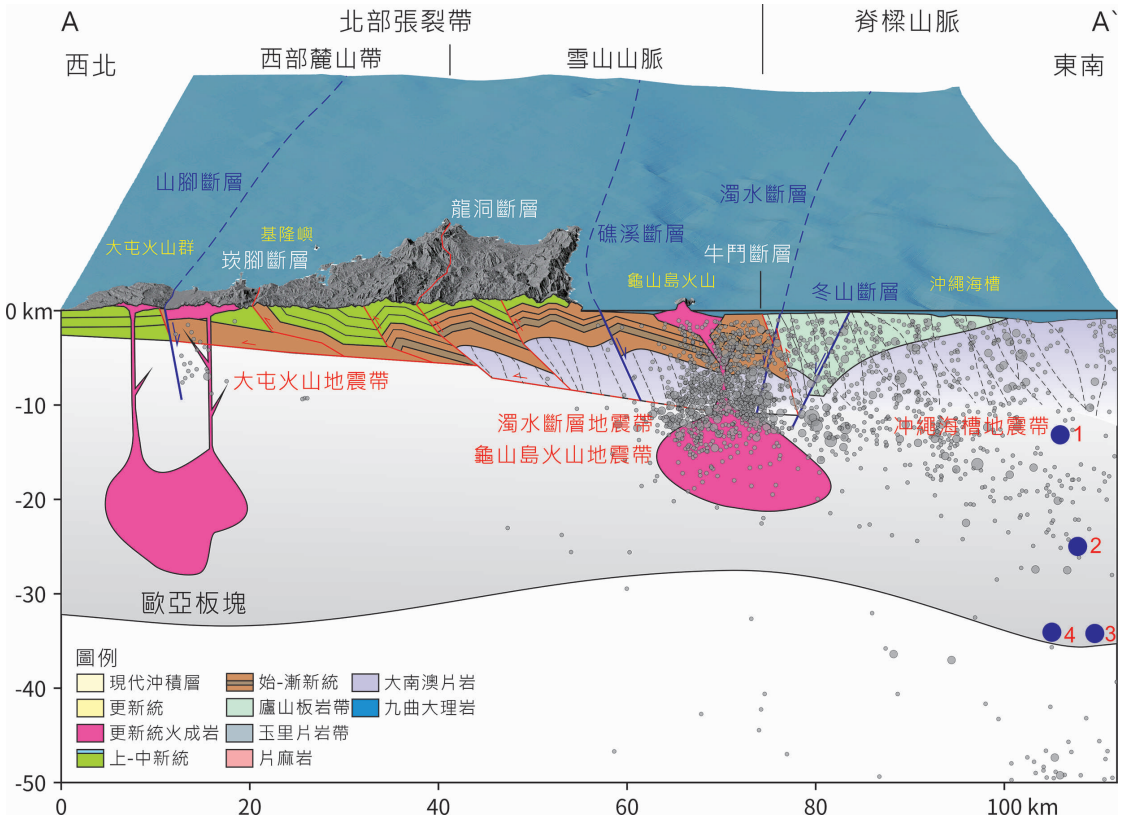


圖 3–6、A–A’地質剖面；北部張裂帶（大屯火山群 – 西部麓山帶 – 雪山山脈 – 沖繩海槽 – 龜山島火山弧）– 脊樑山脈。1：1922/09/02 蘇澳地震（M_L 7.2），2：1963/02/13 蘇澳地震（M_L 7.1），3:1922/09/15 蘇澳地震（M_L 7.0），4:1967/10/25 蘇澳東方地震（M_L 6.6）。

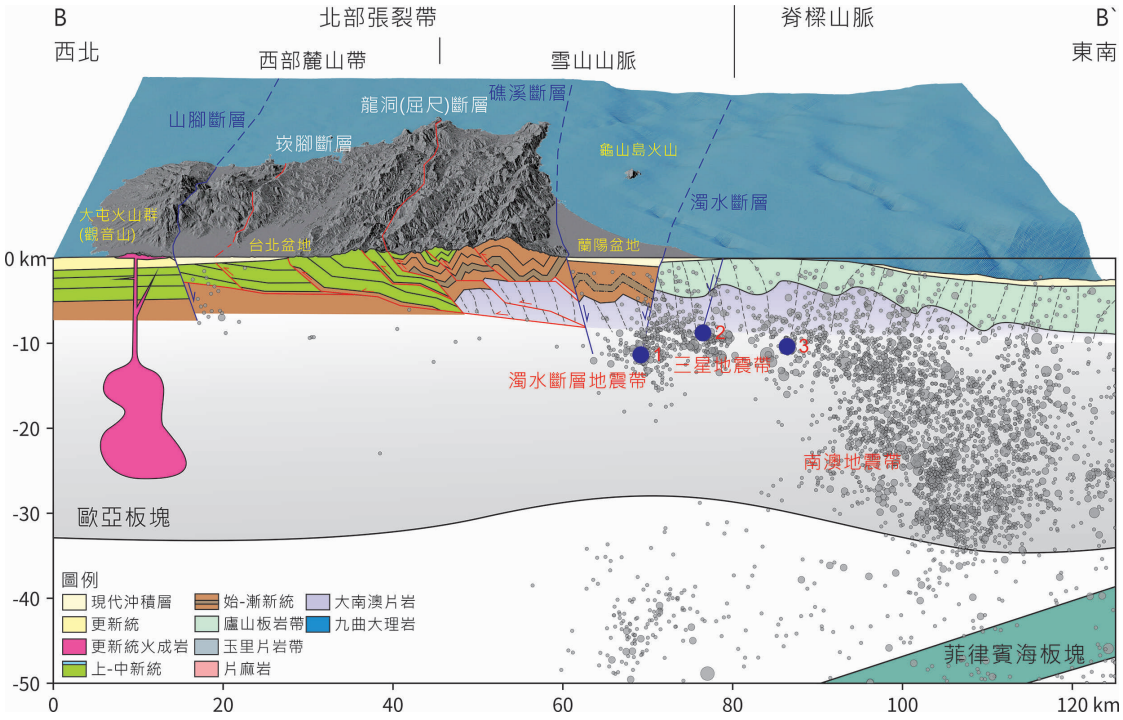


圖 3–7、B–B’地質剖面；北部張裂帶（觀音山火山 – 台北盆地 – 西部麓山帶 – 雪山山脈 – 沖繩海槽 – 蘭陽盆地）– 脊樑山脈。1：1986/01/16 宜蘭地震（M_L 6.1），2：2002/05/15 蘇澳地震（M_L 6.2），3：1918/03/27 蘇澳外海地震（M_L 6.0）。

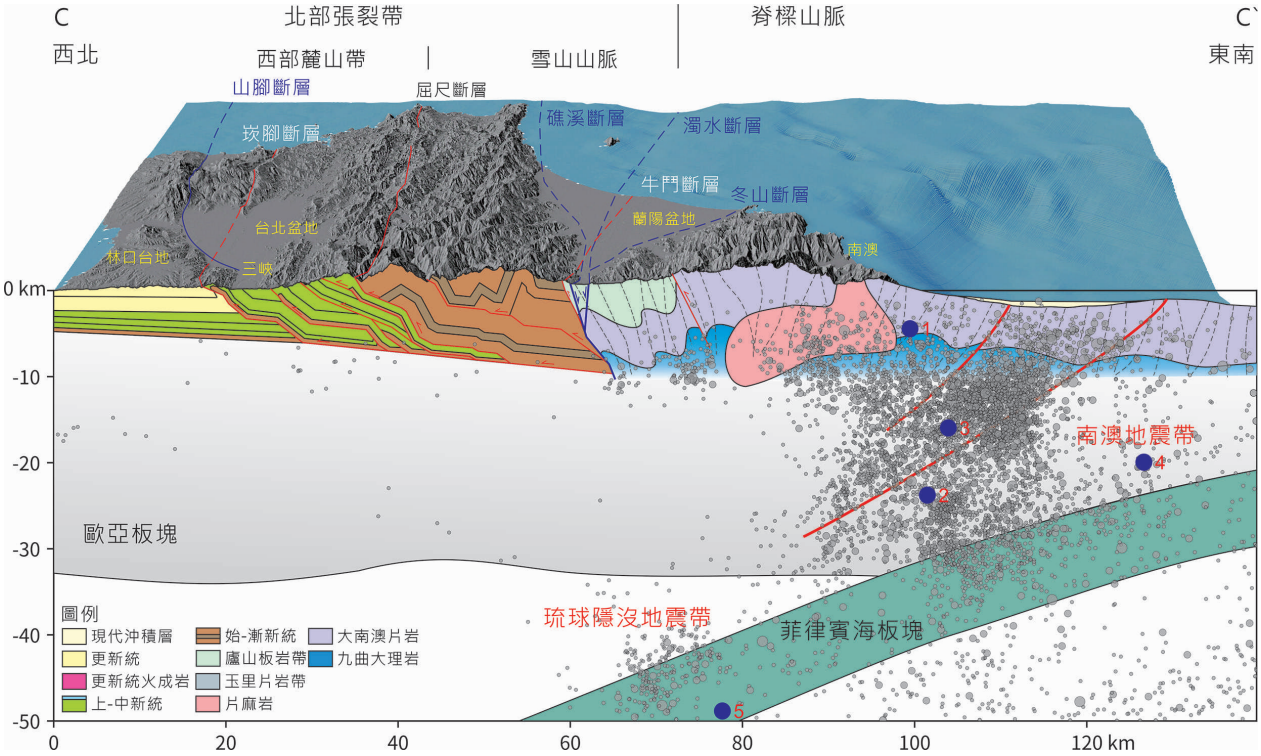


圖 3–8、C–C’地質剖面；北部張裂帶（林口台地 – 西部麓山帶 – 雪山山脈）– 脊樑山脈。西部麓山帶與雪山山脈地質構造剖面引自 Suppe（1980）。1：1994/06/05 南澳地震（M_L 6.5），2：2019/08/08 宜蘭地震（M_L 6.2），3：2001/06/14 南澳地震（M_L 6.3），4：1910/11/14 花蓮外海地震（M_L 6.5），5：1995/06/25 牛鬥地震（M_L 6.5）。

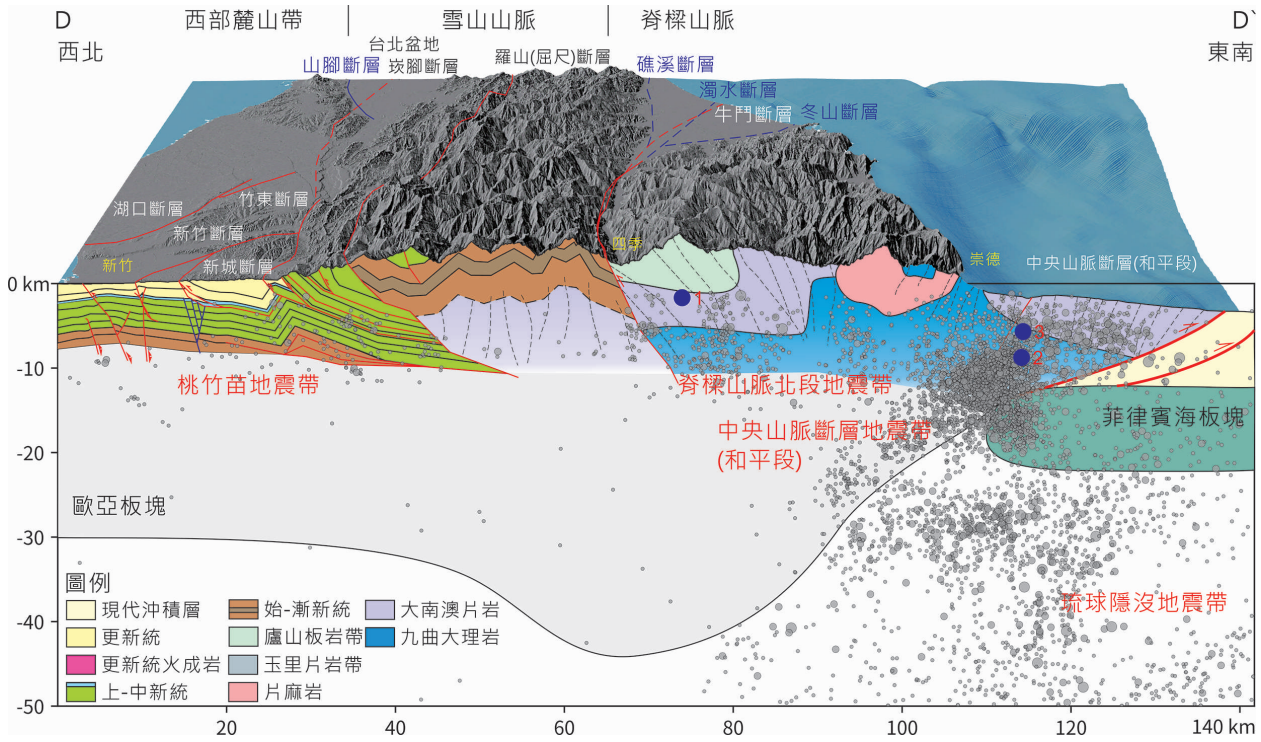


圖 3–9、D–D’地質剖面；西部麓山帶 – 雪山山脈 – 脊樑山脈。西部麓山帶地質構造剖面引自楊耿明等（2002）。1：1983/05/10 太平山地震（M_L 6.0），2：2018/02/04 花蓮地震（M_L 6.0），3：2018/02/06 花蓮地震（M_L 6.2）。

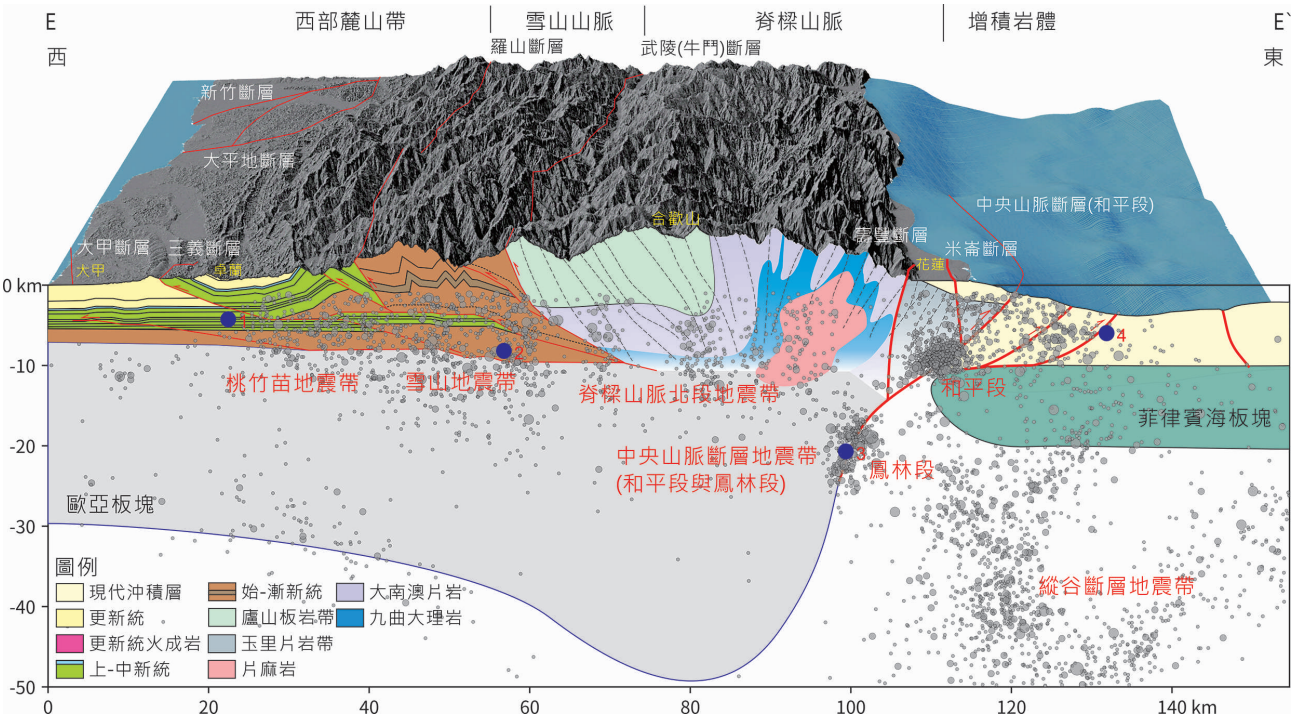


圖 3–10、E–E'地質剖面；西部麓山帶 – 雪山山脈 – 脊樑山脈 – 琉球隱沒帶增積岩體。西部麓山帶與雪山山脈地質構造剖面引自 Yue et al., 2005。1：1935/04/21 台中新竹地震 (M_L 6.9)，2：1999/09/21 埔里地震 (M_L 6.1)，3：2018/02/06 花蓮地震 (M_L 6.2)，4：1951/10/22 花蓮地震 (M_L 7.1)。

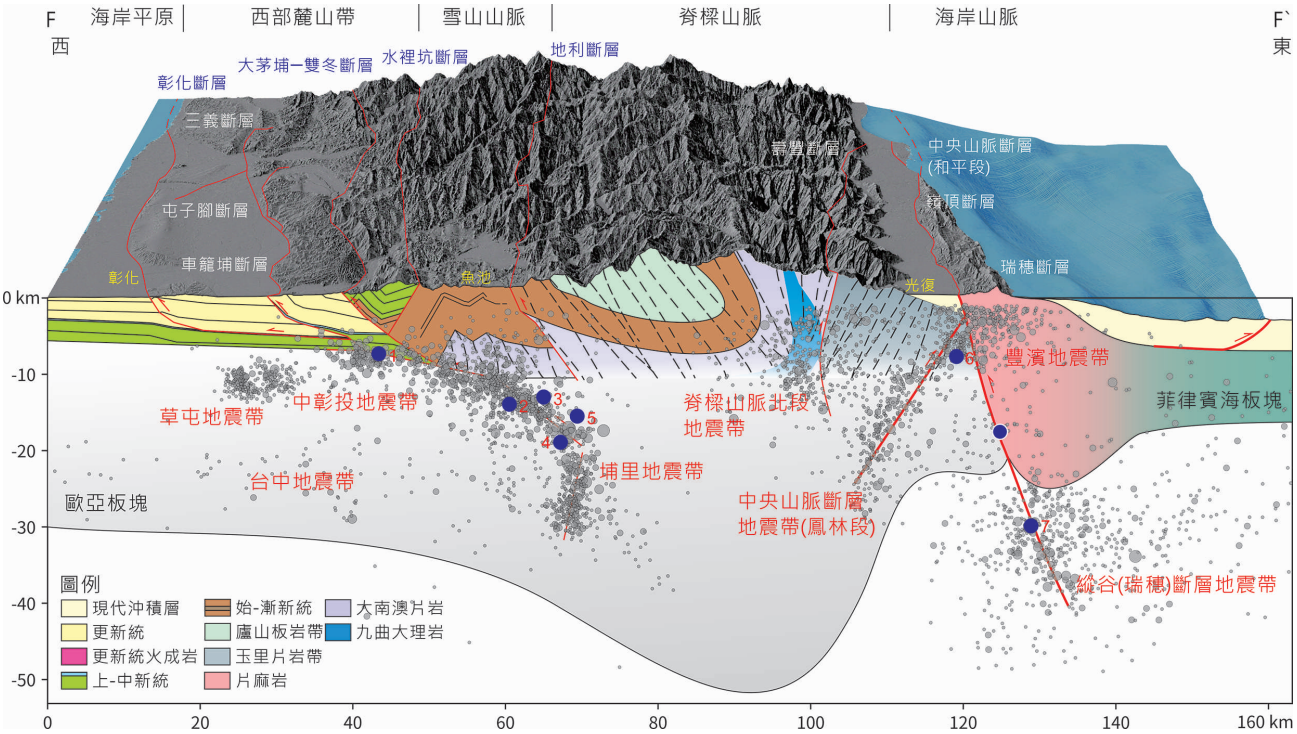


圖 3–11、F–F'地質剖面；海岸平原 – 西部麓山帶 – 雪山山脈 – 脊樑山脈 – 花東縱谷（縱谷斷層）– 海岸山脈。西部麓山帶與雪山山脈地質構造剖面引自 Yue et al., 2005。1：1999/09/21 集集地震 (M_L 7.3)，2：2013/06/02 南投地震 (M_L 6.5)，3：1999/10/26 南投魚池地震 (M_L 6.5)，4：2013/03/27 南投仁愛地震 (M_L 6.2)，5：2000/06/11 日月潭地震 (M_L 6.7)，6：2022/06/20 光復地震 (M_L 6.8)，7：2009/10/04 花蓮地震 (M_L 6.2)。

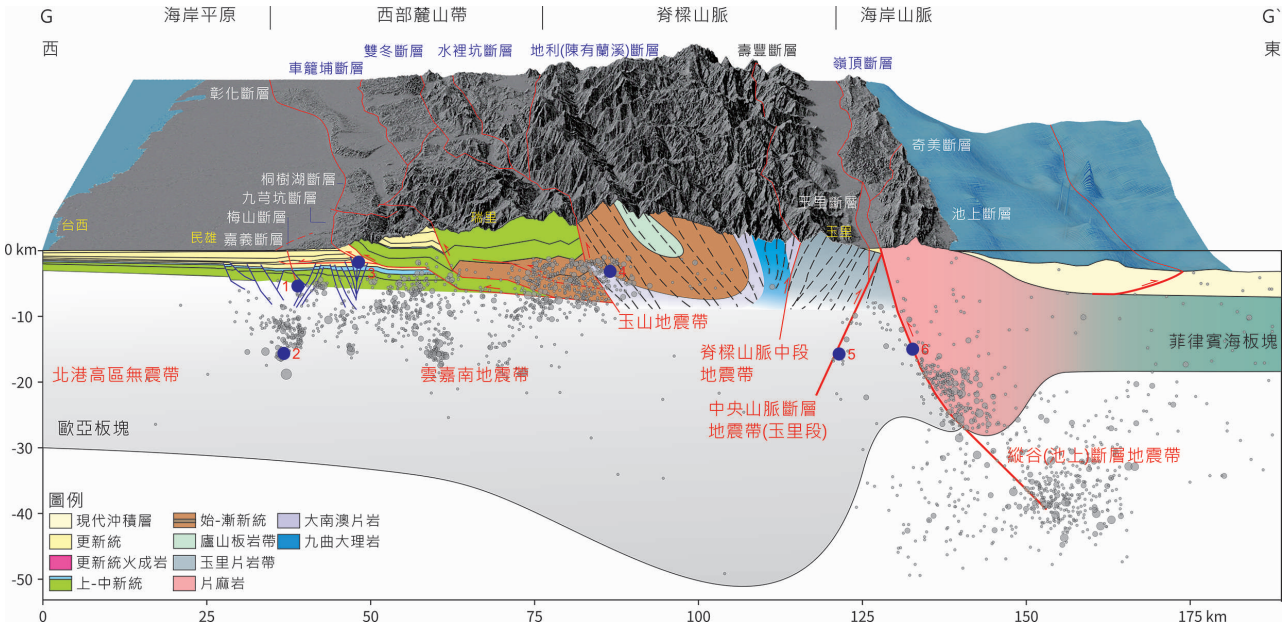


圖 3–12、G–G'地質剖面；海岸平原 – 西部麓山帶 – 脊樑山脈 – 花東縱谷（縱谷斷層）– 海岸山脈。西部麓山帶地質構造剖面引自 Yang et al., 2006。1：1906/03/17 梅山地震（M_L 6.7），2：1999/09/22 嘉義地震（M_L 6.4），3：1998/07/17 瑞里地震（M_L 6.2），4：2000/07/29 玉山地震（M_L 6.1），5：2020/09/19 卓溪地震（M_L 6.0），6：1951/11/25 玉里地震（M_L 7.0）。

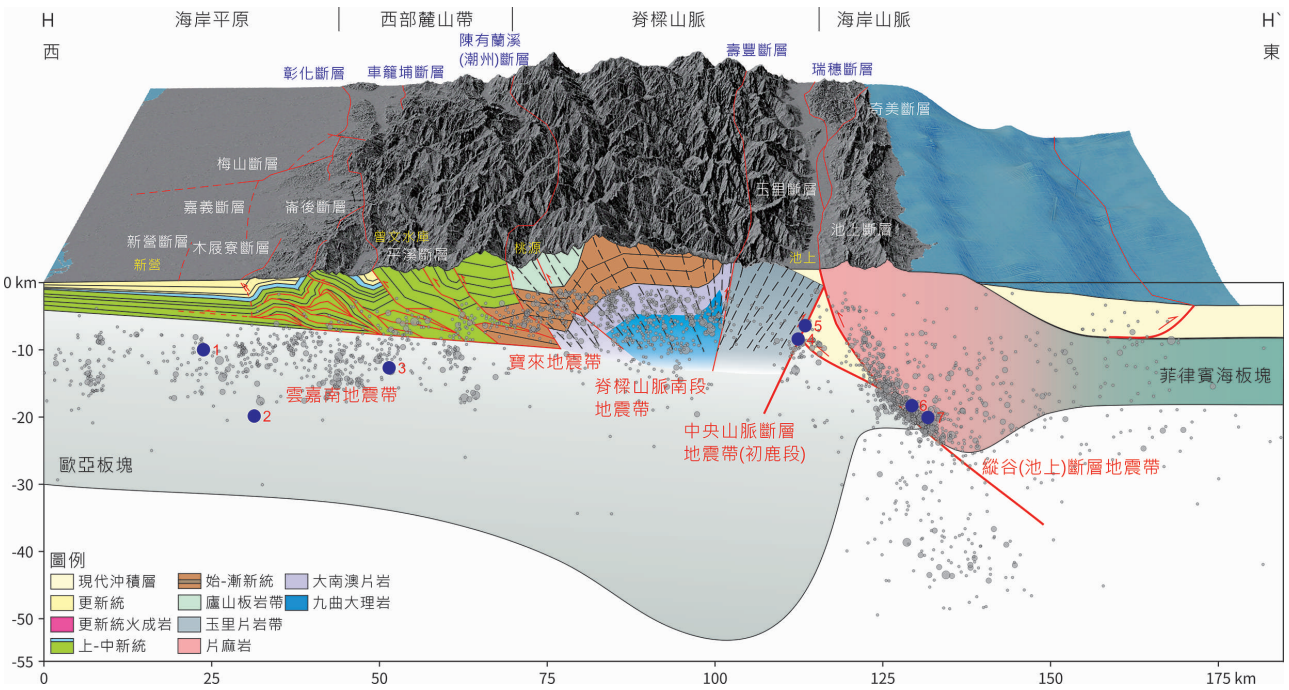


圖 3–13、H–H'地質剖面；海岸平原 – 西部麓山帶 – 脊樑山脈 – 花東縱谷（縱谷斷層）– 海岸山脈。西部麓山帶地質構造剖面引自 Suppe, 1980。1：1927/08/25 新營地震（M_L 6.5），2：1930/12/08 新營地震（M_L 6.3），3：1964/01/18 白河地震（M_L 6.3），4：2022/09/17 關山地震（M_L 6.6），5：2022/09/18 池上地震（M_L 6.8），6：2003/12/10 成功地震（M_L 6.4），7：1937/12/08 成功地震（M_L 6.9）。

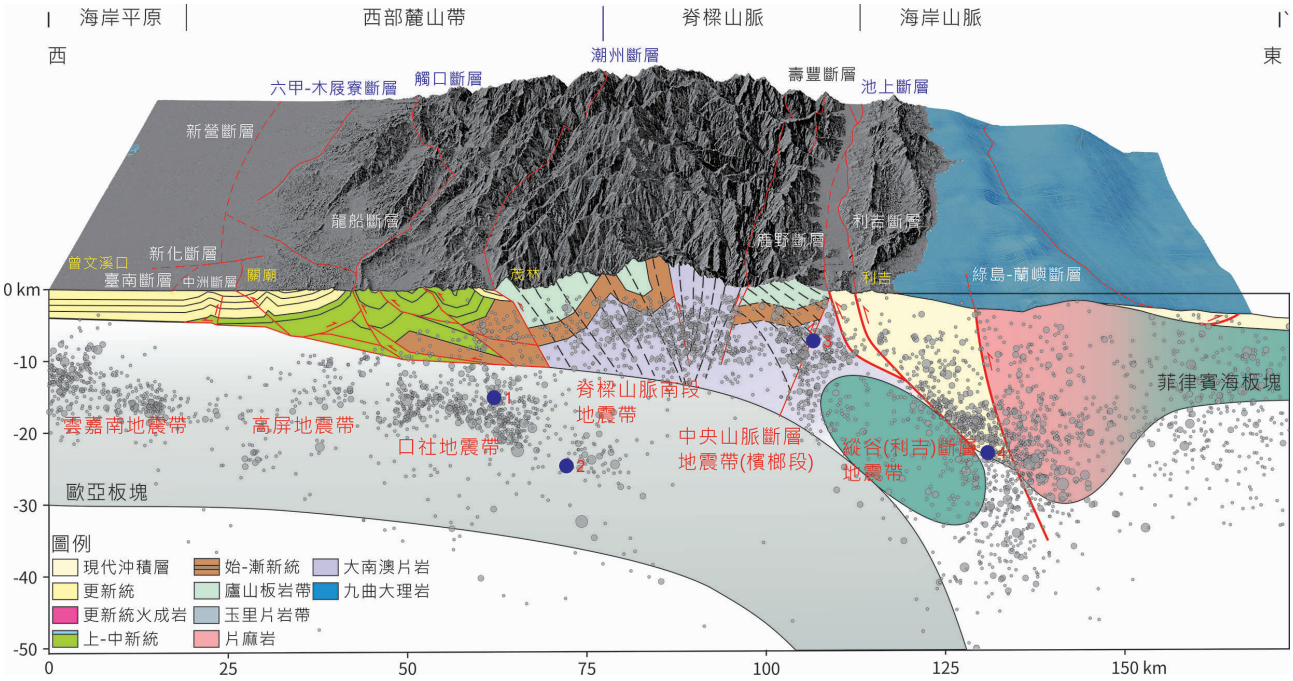


圖 3–14、I–I'地質剖面；海岸平原－西部麓山帶－脊梁山脈－北呂宋海槽－北呂宋火山弧（綠島）。西部麓山帶地質構造剖面引自陳文山等，2011。1：2016/02/06 美濃地震 (M_L 6.6)，2：2010/03/04 甲仙地震 (M_L 6.4)，3：2006/04/01 台東地震 (M_L 6.2)，4：2006/04/16 台東地震 (M_L 6.0)。

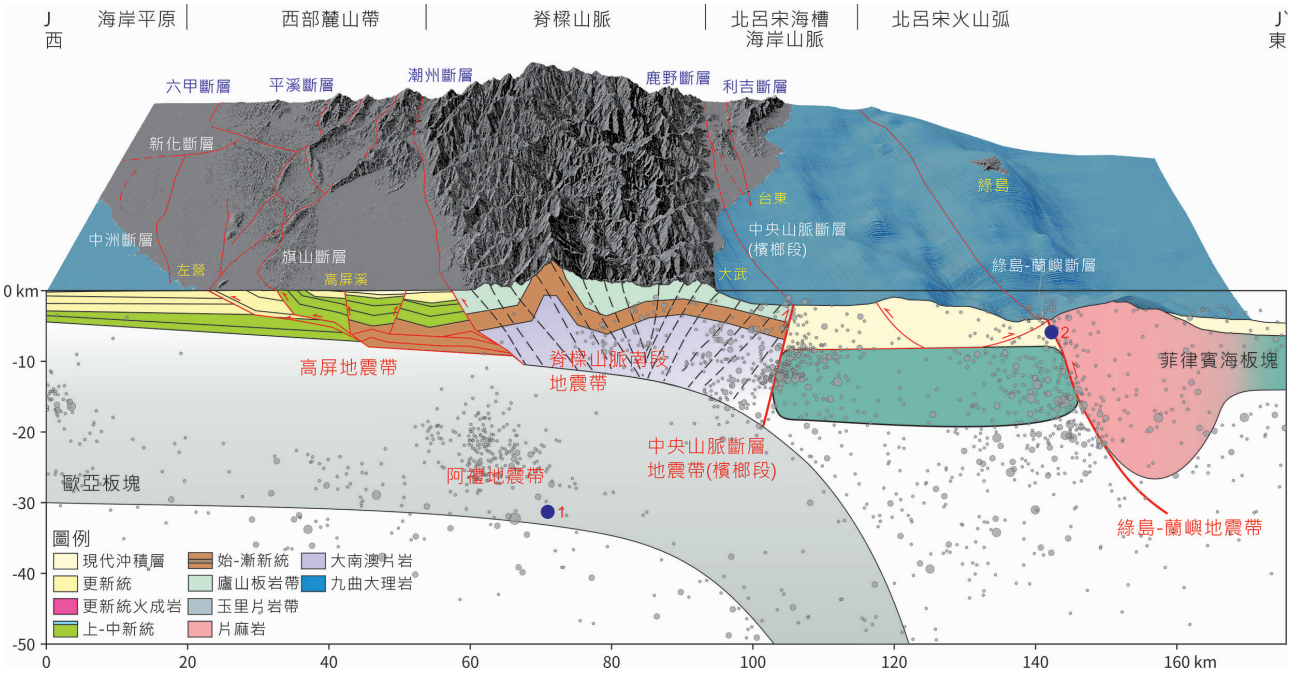


圖 3–15、J–J'地質剖面；海岸平原－西部麓山帶－脊梁山脈－北呂宋海槽－北呂宋火山弧（綠島－蘭嶼）。1：2012/02/26 霧台地震 (M_L 6.4)，2：1978/07/23 蘭嶼地震 (M_L 7.1)。

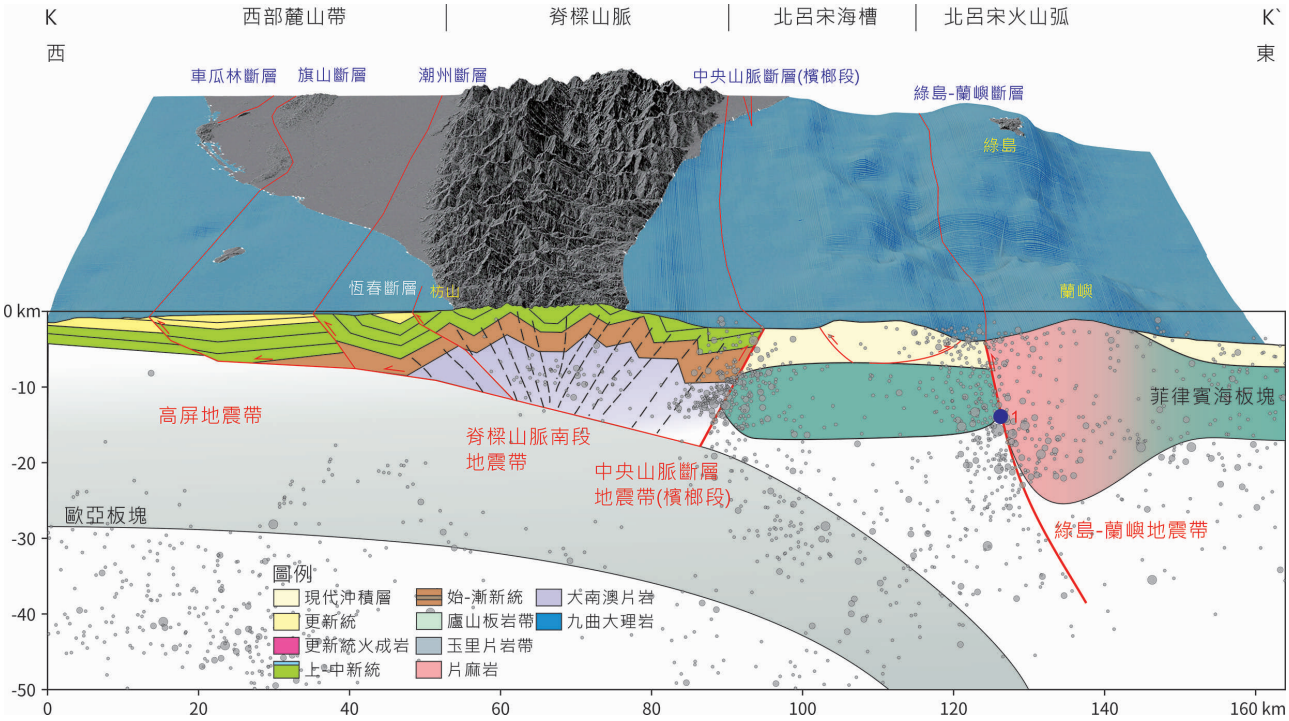


圖 3–16、K–K'地質剖面；西部麓山帶 – 脊梁山脈 – 北呂宋海槽 – 北呂宋火山弧（蘭嶼）。1：2002/08/29 蘭嶼地震 (M_L 6.0)。

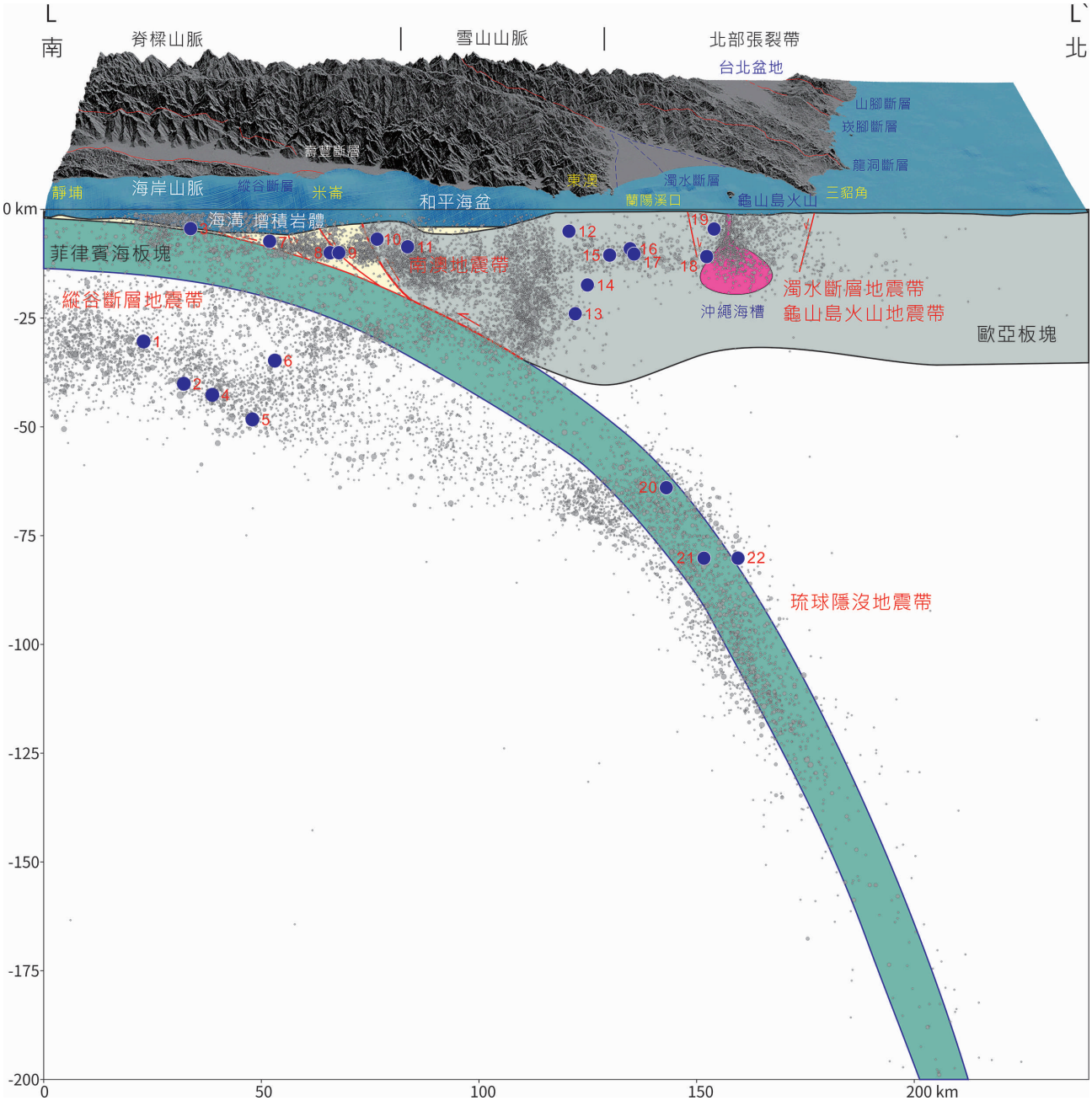


圖 3–17、L–L’地質剖面；琉球海溝－增積岩體－弧前盆地（和平盆地）－沖繩海槽、龜山島火山。1：2009/10/04 花蓮地震（M_L 6.2），2：2015/03/23 花蓮地震（M_L 6.2），3：1990/12/14 花蓮地震（M_L 6.0），4：2009/12/19 花蓮地震（M_L 6.8），5：2010/11/21 花蓮地震（M_L 6.1），6：1903/06/07 花蓮地震（M_L 6.1），7：1951/10/22 花蓮地震（M_L 7.1），8：1913/01/08 花蓮地震（M_L 6.2），9：1912/12/25 花蓮地震（M_L 6.4），10：2018/02/06 花蓮地震（M_L 6.2），11：2018/02/04 花蓮地震（M_L 6.0），12：1994/06/05 南澳地震（M_L 6.5），13：2019/08/08 宜蘭地震（M_L 6.2），14：2001/06/14 南澳地震（M_L 6.3），15：1918/03/27 蘇澳外海地震（M_L 6.0），16：2002/05/15 蘇澳地震（M_L 6.2），17：1901/06/07 宜蘭地震（M_L 6.4），18：1986/01/16 宜蘭地震（M_L 6.1），19：1934/08/11 宜蘭地震（M_L 6.3），20：2005/06/02 宜蘭地震（M_L 6.0），21：2016/05/12 宜蘭地震（M_L 6.1），21：2020/12/10 宜蘭地震（M_L 6.6）。

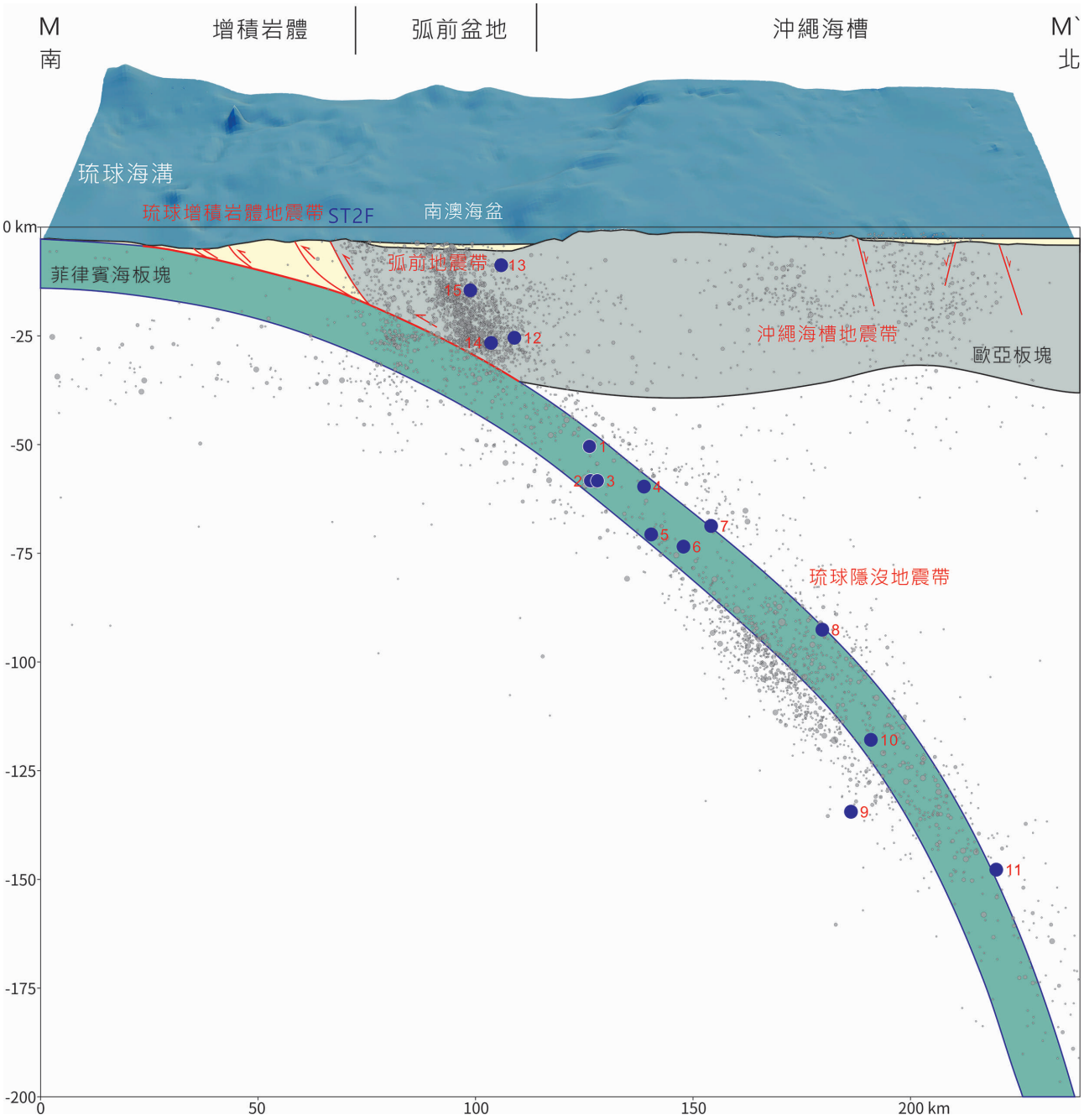


圖 3–18、M–M'地質剖面；琉球海溝－增積岩體－弧前盆地（南澳盆地）－沖繩海槽。ST2F：弧前斷層西段。1：2007/09/07 東部外海地震（M_L 6.6），2：2020/07/26 東部外海地震（M_L 6.2），3：2020/06/14 東部外海地震（M_L 6.1），4：1999/06/04 宜蘭外海地震（M_L 6.2），5：2001/06/13 宜蘭外海地震（M_L 6.3），6：2012/06/10 東部外海地震（M_L 6.6），7：1996/07/30 南澳外海地震（M_L 6.1），8：1997/07/15 蘇澳外海地震（M_L 6.1），9：1959/04/27 宜蘭深震（M_L 7.2），10：1994/02/02 東北外海地震（M_L 6.1），11：1997/10/12 南澳外海地震（M_L 6.1），12：2015/04/20 花蓮地震（M_L 6.0），13：2015/04/20 花蓮外海地震（M_L 6.4），14：2015/04/20 花蓮地震（M_L 6.0），15：1994/05/24 花蓮外海地震（M_L 6.6）。