

雪山山脈北段之地殼變形 Crustal deformation of the northern Hsuehshan Range, Taiwan

黃正彥^{1,2}；陳鶴欽^{1,3}；饒瑞鈞¹

Cheng-Yen Huang ; He-Chin Chen ; Ruey-Juin Rau

1 國立成功大學地球科學系

2 白河地政事務所

3 內政部國土測繪中心

關鍵詞: 雪山山脈、地殼變形、精密水準測量

Key words: Hsuehshan Range, Crustal deformation, Precise Leveling Observations

台灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的交界處，為一個同時存在隱沒作用及碰撞作用的地體構造環境。因兩大板塊隱沒與碰撞，造就了強烈的地殼變形及頻繁的地震活動。一般對於台灣北部地區碰撞造山活動的看法，多認為現在處於碰撞晚期，因隱沒方向反轉，山脈不再增長，反而正在塌陷。惟此區域無相關大地測量資料予以佐證山脈是否增長或塌陷，本研究搜集2001-2002年及2007年內政部一等一級及一等二級精密水準測量資料，擷取通過台灣北部及雪山山脈之4條精密水準測線資料，並結合GPS資料成果，以分析此區域垂直地殼變形。並進一步探討雪山山脈北段地區的地表變形是呈現碰撞後期下陷?或者受台灣東北部側向壓力作用擠壓，而持續抬昇?由初步計算結果顯示：1.測線之高程變化量(年抬昇率)，有由北往南逐漸增加的趨勢 (-3.42~28.35 mm/yr)，顯示愈往北受擠壓作用影響愈小。2.東西向之金山－宜蘭測線 (-2.71~8.85 mm/yr) 及竹園－棲蘭測線 (-1.44~28.35 mm/yr) 其高程變化量(年抬昇率)由西向東逐漸增加，顯示其與地形變化呈正相關。3.由整體測線高程變化量(年抬昇率)研判，此區域為呈抬昇狀態。

雪山山脈北段之地殼變形 Crustal deformation of the northern Hsuehshan Range, Taiwan

黃正彥 饒瑞鈞
Cheng Yen Huang Ruey Juin Rau

國立成功大學地球科學研究所
Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

摘要

本研究搜集2001-2002年及2007年內政部一等一級及一等二級精密水準測量資料、聯取遠端台灣北部及雪山山脈之3條水準測線資料，以分析此區域之地殼變形。同時也結合內政部1995年~2005年GPS觀測資料或建立二維斷層模型。由研究結果顯示：1.水準測線相對水準基準K999之年變化率：基隆-頭城測線在-5.61 mm/yr到2.02 mm/yr之間；關渡-二城測線在-2.70 mm/yr到8.85 mm/yr之間；竹圍-樟樹測線在-4.91 mm/yr到28.35 mm/yr之間，顯示其年變化率，由西向東增加，與地形起伏成正相關。2.由精密水準測量成果顯示雪山山脈呈現抬升狀態，並為由北向南增加之趨勢，故推斷此區域地殼作用仍持續進行，惟在此段抬升速率較小。3.由二維斷層模型顯示，GPS水平速度分量在A-A'剖面（沿關渡-二城測線）約-5 mm/yr到5 mm/yr，在B-B'剖面（沿竹圍-樟樹測線）約5 mm/yr到15 mm/yr，顯示其水平變形不顯著。4.在斷層之活動性方面，在水準測線穿越的幾個主要斷層中，以基武斷層、石碇斷層兩段有較明顯之垂直變化。在二維斷層模型中，基武斷層滑移速率分別為4.6 mm/yr及12.6 mm/yr，石碇斷層為2.2 mm/yr，石碇斷層兩段為21.0 mm/yr，顯示其仍持續活動；而金瓜寮斷層、石碇斷層北段及牛鬥斷層滑移速率皆為0 mm/yr，顯示其已不再活動，或其活動較不顯著。

前言

台灣的造山運動，可依碰撞帶分為四個不同演化時期 (Lallemand and Tsien, 1997; Huang et al., 2000; Huang et al., 2006)。由南向北依序為海洋板塊隱沒 (台灣南部海盆)、初期碰撞 (台灣南部)、活躍碰撞 (台灣中部) 及碰撞後期 (台灣北部)。在這一系列碰撞過程中，兩地殼的加壓與應力的持續累積造成地殼變形持續進行中。

Teng (1990, 1996) 研究指出當碰撞帶向南遷移時，琉球島弧向北隱沒的菲律賓板塊隨之西進，插入碰撞山脈後方的下方，造成隱沒作用的反轉。隨著隱沒的反轉，隱沒帶上方的山脈出現琉球島弧的火山作用，而山脈失去了碰撞的支撐則開始坍塌下陷。山脈的中央構造區成一對分岔地，如今碰撞帶運動仍在進行，並不斷地向南傳遞，但在台灣的東北部，隱沒作用已經成轉，碰撞運動停止。原本碰撞帶所推擠的山脈正在坍塌。

Kao et al. (1998) 歸納出在琉球隱沒帶南端至台灣碰撞帶之間5個主要發震構造，其中位於板塊界面地帶之下、逆走地帶之上的兩側向壓縮地帶。此發震構造被認為所有地震P軸與隱沒板塊的側向一致，可能與板塊側向隱沒所導致側向壓力分量有關；Kao and Rau (1999) 研究顯示，最西邊的側向壓縮地帶（即台灣東北部正下方）的地震有集中發生於上下兩面的情形。此構造的存在明顯表示此區域的碰撞作用並非侷限於地表，而包含了深部地殼，甚至上地殼的岩石圈範圍。其側向應力的作用，對北部之持續碰撞作用，促成地表抬升。

然而上述兩種理論並無相關大地測量資料予以驗證；北部地區之山脈因碰撞運動停止而開始坍塌亦或受東北部側向壓力作用所導致，而持續抬升？本研究搜集2001-2002年及2007年內政部一等一級及一等二級精密水準測量資料、聯取遠端台灣北部及雪山山脈之3條精密水準測線資料，以分析此區域地殼變形之態勢為何？同時也結合內政部1995年~2005年GPS觀測資料或建立二維斷層模型，以探討之區域斷層之活動性。

資料及研究方法

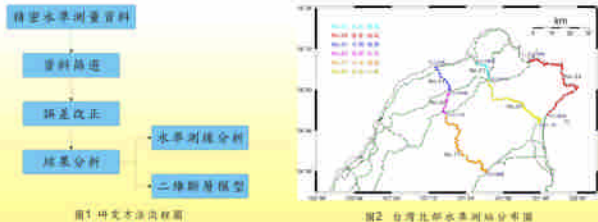


圖1 研究方法流程圖

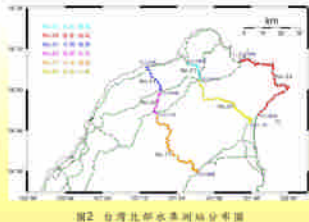


圖2 台灣北部水準測站分布圖

研究結果

基隆-頭城測線



圖3 基隆-頭城測線高程變化圖
圖上層為測站位置及水準測線中間為沿測線之地形剖面
圖下層為相對K999高程變化量

關渡-二城測線



圖4 關渡-二城測線高程變化圖
圖上層為測站位置及水準測線中間為沿測線之地形剖面
圖下層為相對K999高程變化量

竹圍-樟樹測線



圖5 竹圍-樟樹測線高程變化圖
圖上層為測站位置及水準測線中間為沿測線之地形剖面
圖下層為相對K999高程變化量

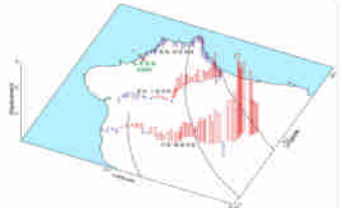


圖6 各測線相對水準點K999之年變化率，紅色線表示抬升，藍色線表示下沉。

整合內政部一等水準點之三條測線，並將各測站2001-2007年間之高程變化率，皆相對於水準點K999，可得如圖6之柱狀圖。各測線垂直方向之年變化率分別為：基隆-頭城測線在-5.61 mm/yr到2.02 mm/yr之間；關渡-二城測線在-2.70 mm/yr到8.85 mm/yr之間；竹圍-樟樹測線在-4.91 mm/yr到28.35 mm/yr之間。

由上圖顯示，基隆-頭城測線呈現下陷的狀態；而關渡-二城測線，除在麓山帶有下陷之情形，在雪山山脈則呈現抬升的狀態；而在竹圍-樟樹測線，除海岸平原呈現下陷外，在麓山帶及雪山山脈帶，亦呈現抬升之狀態。

二維斷層模型

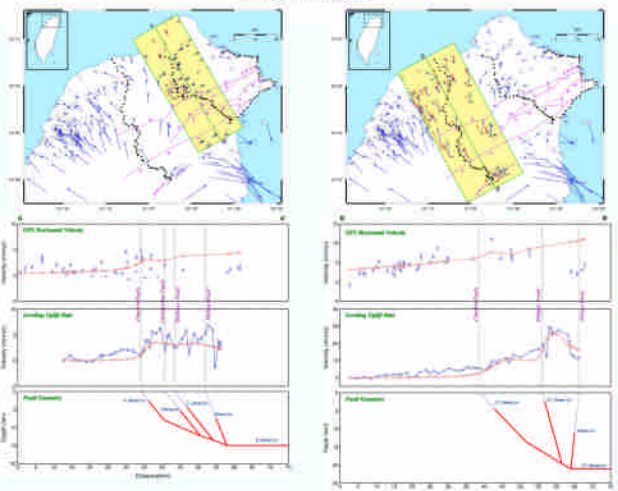


圖7 A-A'剖面之二維斷層模型。由上而下分別為剖面位置、GPS水平速度分量、精密水準測線年變化率及斷層滑移率分布。藍色圓圈為觀測值，紅色圓圈為計算值。藍色虛線為斷層固定位置，紅色實線為斷層滑移段，黑色虛線為斷層投影位置。

圖8 B-B'剖面之二維斷層模型。由上而下分別為剖面位置、GPS水平速度分量、精密水準測線年變化率及斷層滑移率分布。藍色圓圈為觀測值，紅色圓圈為計算值。藍色虛線為斷層固定位置，紅色實線為斷層滑移段，黑色虛線為斷層投影位置。

結論

1. 本研究區域內之一等水準測線相對水準點K999之年變化率，由北向南分別為：基隆-頭城測線在-5.61 mm/yr到2.02 mm/yr之間；關渡-二城測線在-2.70 mm/yr到8.85 mm/yr之間；竹圍-樟樹測線在-4.91 mm/yr到28.35 mm/yr之間。由精密水準測量資料結果顯示，雪山山脈北段呈現抬升狀態，推測係因花蓮外海的側向應力的作用，對北部之持續碰撞作用，促成地表抬升。又距離碰撞帶越近，其抬升量較高，距離越遠，其抬升量漸漸變小，而位於台灣東北部海岸地區之基隆-頭城測線，同時受到物質側向伸張及弧後伸展之作用力影響，則呈現下陷之狀態。整體而言，本研究區域內三條測線之垂直方向年變化率呈現由北向南逐漸增加之趨勢。
2. 本研究區域內之水準測線相對水準點K999之年變化率皆呈現由西向東增加之現象，與地形起伏之趨勢一致，顯示其抬升量與地形呈正相關性。
3. 由二維斷層模型中，A-A'剖面（沿關渡-二城測線）之GPS水平速度分量，在0.2-4.7 mm/yr之間；滑脫面滑移速率為6.8 mm/yr。在B-B'剖面（沿竹圍-樟樹測線），GPS水平速度分量，在-0.8 mm/yr至11.1 mm/yr之間；滑脫面滑移速率為33.6 mm/yr，顯示此二剖面之水平變形較不顯著，而滑脫面滑移速率由北向南增加，故推斷此區域地殼作用仍持續進行，惟在此段抬升速率較小，而愈往中南段，則呈現活躍碰撞。
4. 在斷層之活動性方面，在水準測線穿越的幾個主要斷層中，以基武斷層、石碇斷層、石碇斷層兩段有較明顯之垂直變化。在二維斷層模型中，基武斷層滑移速率分別為4.6 mm/yr及12.6 mm/yr，石碇斷層為2.2 mm/yr，石碇斷層兩段為21.0 mm/yr，顯示其仍持續活動；而金瓜寮斷層、石碇斷層北段及牛鬥斷層滑移速率皆為0 mm/yr，顯示其已不再活動，或其活動較不顯著。