

台灣南部恆春半島地殼變形初步研究

A Preliminary Study on Crustal Deformation in Hengchun Peninsula, Southern Taiwan

陳建良¹ 林啟文¹ 陳文山²
Chien-Liang Chen¹, Chii-Wen Lin¹, Wen-Shan Chen²

ABSTRACT

Previous studies on active tectonics study in the Hengchun Peninsula focused on the Holocene absolute uplift rate of the peninsula. However there is comparatively few study concerning the reactivation on the Hengchun fault, suspect active a reverse-slip fault in the southern Hengchun Peninsula. Therefore, GPS measurement and precise leveling survey in Hengchun peninsula were concluded in 2003-2004 for unraveling the relative movement around the fault as well as the crustal deformation in the peninsula. Results from GPS measurement show that the horizontal slip rate ranges from 4 to 6 mm/year toward W to WNW, and the rate is no significant difference in both sides of the Hengchun fault, although the average slip direction on the hanging wall is 10 degrees more deflected toward north compared the footwall. Besides, combination of the previous data and the present study, the slip pattern on both sides of the Hengchun fault has no significant change during the last decade, and it might be even less active compared to the other active faults in Taiwan. The relative uplift rate obtained from precise leveling measurement also shows that there is no significant difference in both sides of the Hengchun fault. However, the northern part of the West Hengchun tableland has 10 mm/year of uplifting more than the other areas in the peninsula. We suggest that a reverse-slip fault might exist in its western side to cause the continuous tilting in the tableland.

前言

恆春半島位於中央山脈的南端，構造特性上可以視為早期中央山脈板岩帶的雛型，為南中國海板塊向東隱沒至菲律賓海板塊時形成的增積岩體（陳文山

1.經濟部中央地質調查所（Central Geological Survey, MOEA）

2.國立臺灣大學地質科學系（Department of Geosciences, National Taiwan University）

等，1985；Lundberg *et al.*, 1992)。恆春斷層（六角兵吉與牧山鶴彥，1934）為中央山脈的西側邊界，中央山脈沿此斷層向西逆衝於恆春西台地與恆春谷地之上。在經濟部中央地質調查所的42條活動斷層中，恆春斷層列為存疑性的活動斷層（林啓文等，2000）。

根據以往的調查結果，並未有發現恆春斷層的野外露頭，大多由地形與地表調查研判斷層的可能位置（石崎和彥，1942；詹新甫，1974；陳文山等，1985；楊貴三，1986；宋國城，1991），顏滄波與吳慶餘（1986）由斷層兩側岩性、地形與抬升速率等資料研判，恆春斷層在更新世以來似乎仍有活動跡象，而陳于高（1993）從斷層兩側海階沉積物的碳14定年結果，也認為斷層仍十分的活躍，因此本研究藉由定位精度達公厘等級的大地測量方法，運用近期在恆春半島的GPS測量與水準測量資料，藉以評估恆春半島地區短期的地殼變動速率。

地形與地質概述

在地形上，恆春半島由西至東可以分成恆春西台地、恆春谷地與中央山脈（圖一A）。恆春西台地是一個向東傾斜的豬背嶺地形，台地的坡度約與岩層的傾斜相同（圖一B）；中央平坦的恆春谷地，中淺層是由沖積層所構成；位於東側的中央山脈則形成較高的山嶺，主要由晚中新統深海相濁流岩與淺海相三角洲所構造，但岩層並未變質（陳文山等，1985；宋國城，1991）。恆春谷地與中央山脈的交界處則是恆春斷層的可能位置（圖一C），而由北至南此交界似構成一近乎的線形，北段由海口村至四重溪有一約呈北西30度走向的階地崖，中段由四重溪至恆春鎮東門鎮南宮就沒有清晰的線形，南段由鎮南宮路至南灣只在赤牛嶺西側山麓下似有一線形崖，線形崖的出現似與出露地層的岩性有關。

恆春半島曾經許多地質學者進行區域地質調查（六角兵吉與牧山鶴彥，1934；詹新甫，1975；Yen, 1984；陳文山等，1985；宋國城，1991）。本研究採陳文山等（1985）的地層劃分，出露的地層包括樂水層、石門層、里龍山層、馬鞍山層、墾丁層、恆春石灰岩、隆起珊瑚礁、階地堆積層與現代沖積層（圖二）。樂水層出露於恆春半島東側海岸，岩性以厚層砂岩與砂頁岩為主。石門層分布於恆春斷層上盤的中央山脈，岩性以砂頁岩互層與頁岩為主。里龍山層以厚層砂岩為主，偶夾砂頁岩互層或礫岩，分布於恆春斷層上盤的中央山脈地區，與部分石門層呈同時異相關係。馬鞍山層出露於恆春斷層兩側，下段為砂頁岩互層，上段為泥質砂岩，與上覆的地層皆呈交角不整合接觸，如上覆的墾丁層

與赤牛嶺石灰岩（恆春石灰岩）。墾丁層爲一混雜無沉積層序的岩層，以泥岩爲主，夾雜大小不一且具不同岩性的岩塊，形成時代爲中新世晚期至更新世，其成因是更新世晚期弧陸碰撞過程位於碰撞帶混同層物質被推擠到增積岩體上堆積的傾瀉層。恆春石灰岩是泛指露於恆春地區台地上的石灰岩，局部夾粉砂岩與泥岩凸鏡體；與下伏的墾丁層與馬鞍山層皆爲交角不整合接觸，而與其上覆鵝鑾鼻層與太平層爲整合接觸；陳文山等（1990）進一步將恆春西台地的石灰岩分爲蟳廣嘴石灰岩、萬里桐石灰岩與關山石灰岩。四溝層分布於恆春西台地，主要爲泥質砂岩偶夾頁岩與砂岩。太平層爲分布於恆春西台地的砂礫層，鵝鑾鼻地區的砂礫層則爲鵝鑾鼻砂礫層。隆起珊瑚礁分布於恆春半島海拔0-20公尺的沿岸，年代約700~8000年前之間。階地堆積層，由砂礫等組成，主要分布在四重溪與保力溪。

恆春半島上由西至東的斷層構造包括恆春斷層、大梅斷層與滿州斷層，其中恆春斷層是一向東傾斜的逆移斷層，中新統逆衝於上一更新統之上。後兩者斷層雖亦爲逆移斷層，但斷距不大。以往未有文獻記載恆春斷層的地表露頭，但部分露頭似可以說明斷層的可能位置（陳文山等，2004）。例如在網紗溪溪谷，可以見到萬里桐石灰岩的鈣質砂岩向西傾斜（圖三 A），但其西側鈣質砂岩則是受褶皺與斷層作用（圖三 B），該處已接近台26省道；此外，在恆春鎮東門南方，可以觀察到受擾動的石灰岩覆蓋於墾丁層之上（圖三 C）。上述的露頭雖無法指出斷層的確切位置，但研判斷層的前緣已延伸至恆春谷地，而前述中央山脈與恆春谷地的線形特徵，可能受控於岩性的差異侵蝕所造成，可能真正斷層的位置還位在線形崖西側的谷地中。陳文山等（2004）曾由萬里桐石灰岩在中央山脈與恆春西台地的分布，以及恆春西台地向東傾斜的角度，來估算西台地的萬里桐石灰岩向東延伸至恆春谷地之下的可能深度，估計恆春斷層的斷距約200公尺，而對於恆春斷層的特性、活動週期與斷層位移速率，至目前爲止仍未有明確的資料。

大地測量

本研究的觀測數據，總計使用52個 GPS 測量監測點及82個水準測量監測點，部份點位爲 GPS 測量與水準測量共用，分別使用2003年3月、2004年2月 GPS 測量資料，以及2003年3月、2004年3月精密水準測量資料。GPS 測量的監測點位涵蓋整個恆春半島（圖四 A），並在靠近斷層處加密點位，測量所獲取的

觀測結果，可以充分瞭解整個恆春半島的地表變形特性。水準測線以橫跨恆春斷層為主，一條由山海向東至佳樂水（G662-G3113），測線長18 公里，共34個點位；另一條自白砂至鵝鑾鼻（G661-Q012），測線長18 公里，共39個點位，並在恆春谷地加設一條5公里副線，共9個點位（圖四 A）。水準測量採用內政部一等水準測量的精度規範（內政部，2001），使用高精度精密電子水準儀，以後視—前視—前視—後視（BFFB）的方式施測，觀測站兩次前、後視高程差之較差小於0.34 公厘，相鄰監測點來回閉合差小於 $2.5\sqrt{k}$ 公厘（ k 為測段長度，單位公里），過程並實施視準軸誤差、大氣折射誤差、地球曲率誤差及水準尺上下溫度等誤差改正。GPS 測量時，同一測段內所有點位同步且持續接收衛星訊號6 小時以上，同時每一監測點重複施測兩次以上，程式計算以 Bernese 4.2軟體配合精密星曆實施整網平差。

GPS測量結果

GPS 測量在鉛直方向的定位精度較差，因此測量資料僅用於水平方向的位移分析。水平位移分析結果係假設澎湖白砂追蹤站（S01R）為固定點，監測點網形平差時以固定點 S01R 組成每一測段的觀測基線向量，再結合各個測段觀測基線向量組成網形實施整體平差。也就是說，追蹤站 S01R 須與每個測段同時實施觀測，S01R 的觀測品質在整體平差過程顯得相當重要。最後的結果由 Bernese 軟體自動化算為年位移量（mm/yr）。由於位移圖須取得同一監測點不同年度的兩次測量結果，因此位移結果與分布圖略有差異，表一為恆春半島各監測點計算後的結果。

就整個恆春半島的位移資料分析（圖四 B），位移方向約向西北西，平均位移量約40~60公厘/年。將資料對照主要構造線（表一），並將位移向量分解為平行斷層與垂直斷層方向顯示，恆春斷層下盤與上盤的位移量並未有明顯差異（圖五 A），但上盤的位移方向則較下盤略向北偏10度；而由平行恆春斷層的位移分量顯示（圖五 B），上盤的位移量略大於下盤，可能指示恆春斷層具有左移分量。此外，就滿州斷層兩側的位移資料顯示（表一、圖四），斷層上盤相對於下盤位移資料未有明顯的差異；半島北側的潮州斷層兩側位移方向均向西、且位移量並未有明顯的差異。因此，就 GPS 的水平位移資料而言，恆春半島上的主要斷層包括恆春斷層、潮州斷層與滿州斷層，並未有明顯的斷層活動現象。

利用位移資料將本區進行等值分析（圖六）顯示，水平位移量較大地區位於緊鄰恆春斷層上盤的獅子與車城一帶，位移量約60公厘/年，且呈現恆春半島愈往東側其水平位移量愈小，但差值僅約20公厘/年。

精密水準測量結果

水準測量資料用於分析本區鉛直方向的位移，測線分為兩條。北測線由山海至佳樂水，地形剖面（圖七）顯示地勢由西側的恆春西台地向東至恆春谷地變為平坦，恆春斷層約位於恆春谷地的東緣，由此向東通過中央山脈較高的地勢，再漸降至佳樂水海邊。由2003~2004年的測量結果（圖七、表二），是以最西側的監測點（位於恆春西台地的西端）為基準不動點，可以發現整個剖面相對於基準點均為下降現象，換言之，恆春西台地是抬升速率最大的位置，而且恆春西台地的向東傾斜趨勢一直持續；再者，由斷層附近的監測點（G667至Q052）的值相近，可以發現恆春斷層兩側過去一年間抬升量並未有明顯差異，但與更東側的監測點比較，斷層附近的監測點似有相對抬升的趨勢（約2~5公厘）；此外本測線中有一監測點（G669）相對兩側明顯下降10公厘，是否是構造因素或受局部地形影響，以僅一年的測量結果無法加以研判。

南測線由白砂至鵝鑾鼻，地形剖面（圖八）顯示除了西側的恆春西台地為緩向東傾斜外，至恆春谷地後大致沿海岸公路因此極為平坦。由2003~2004年的測量結果（圖八、表三），也是以最西側的監測點（位於恆春西台地的西端）為基準不動點，圖中可以發現整個剖面相對於基準點的變化量均在4公厘以內，並未有明顯的抬升與下降現象，換言之，恆春斷層的兩側過去一年間沒有明顯的相對位移。本測線中亦有一監測點（G637）相對兩側明顯下降10公厘，目前亦無法加以研判其原因。

由水準測量的結果顯示，恆春斷層兩側並未有明顯的抬升現象，而恆春西台地的北部可能是恆春半島相對抬升量最大的地區。

討論

有關抬升速率研究方面，利用珊瑚礁與海階沉積物的定年進行迴歸分析的結果顯示，恆春半島全新世以來的抬升速率在1.8~6.1公厘/年不等（Konishi *et al.*, 1968；Lin, 1969；Peng *et al.*, 1977；石再添等，1989；Wang and Burnett, 1990）。陳于高（1993）由珊瑚礁的碳14定年及海水階面高度計算出，全新世以來恆春斷層上盤的抬升速率約4.0~5.0 公厘/年，下盤的抬升速率約為2.0~4.0公厘/年，

此值代表長期的、相對於平均海水面的絕對抬升速率。本研究的精密水準測量結果則是代表相對抬升速率，以2003~2004年恆春斷層兩側的抬升速率比較，斷層上盤並未明顯大於下盤；但值得注意的是，由於恆春斷層至今尚未發現斷層露頭，一般認為恆春斷層應在丘陵西緣，（即恆春西台地北段水準測線的測量成果（圖七）中紅色虛線處），然而根據水準測量結果顯示，水準點 G670、Q052 二側高程變化量不大；但在綠色虛線處，點號 G669、G670的高程變化量相差量達到10公厘，然而 G668至 G669的水準測量往返閉合差為1.42公厘，G669至 G670的往返閉合差為0.31公厘，已排除可能因水準測量觀測誤差而產生的不正常位移現象，顯示若 G669與 G670的高程差全因恆春斷層活動所引起，研判 G669與 G670間應為恆春斷層較可能通過的位置。也就是說，恆春斷層活動度較大處應在更西側的恆春谷地內。日後假使觀測時間能再拉長，將可獲得較多證據判別恆春斷層通過確切位置，但是整體而言，北段水準測線恆春谷地西側的高程變化，相對於恆春半島整體的抬升速率仍大於10公厘，顯示恆春西台地的傾斜作用仍持續中。

在水平的位移特性方面，本研究的 GPS 測量資料分析結果顯示，恆春斷層下盤的位移量與上盤差異很小，僅在位移方向有約10度的差異，而這僅僅是2003至2004年的資料，因此作者將此資料與更早的資料進行比較。依據余水倍等（Yu *et al.*, 1997）在恆春半島上的3個 GPS 測量點1990至1995年的資料分析結果，其中位於恆春斷層上盤的2個點位（S041、S042，圖二）其位移方位角292度，位移量43公厘/年，而位於斷層下盤的監測點（S021）其位移方位角276度，位移量47公厘/年，均與本研究的結果差異不大。因此，恆春斷層兩側在過去的十幾年間，水平方向的位移方向與位移量都沒有明顯的變化，意謂著斷層兩側地塊的相對活動性不大。

由前述的抬升速率研究顯示，恆春半島屬於整體抬升的構造環境，而恆春西台地應是在萬里桐石灰岩沉積後才發生傾動現象（陳文山等，2004）；本研究進一步指示恆春西台地的北部存在較高的抬升速率，此種現象可能與恆春西台地北部與南部間存在一構造面所致，而其東側恆春谷地（恆春斷層的下盤）是屬於相對沉降的構造環境。從恆春半島南側海域反射震測顯示，恆春半島南延至巴士海峽形成一條南北走向的凸起山脊；震測剖面顯示山脊西側由一系列向西逆衝的逆移斷層，為現今台灣造山帶最南端的構造，也代表西部褶皺—逆衝斷層帶形成初期的大地構造雛型（Reed *et al.*, 1992; Yu and Lu, 1995）。由大地構造以及本研究指示的恆春西台地的持續傾動，研判在恆春半島西側海域中應存在一逆移斷層，造成恆春西台地的傾斜，以及恆春谷地的相對沉陷。

結論

本研究以2003~2004年的大地測量資料分析恆春半島的地殼變形，由 GPS 測量結果顯示恆春半島的水平位移速率約40~60公厘/年，恆春斷層兩側位移量並未有明顯的差異，且均朝向西北西方向位移，但斷層上盤的位移方向相較下盤略偏北約10度。比較以往的資料顯示，恆春半島的位移型態在過去十年並未有明顯的改變。由水準測量結果顯示，恆春斷層上盤的抬升速率並未明顯大於下盤，但恆春西台地北段相對於恆春半島整體的抬升速率大於10公厘，顯示恆春西台地的傾斜作用仍持續進行中，研判在恆春半島西側海域中應存在一逆移斷層，造成恆春西台地的傾斜，以及恆春谷地的相對沉陷。

誌謝

本研究為經濟部中央地質調查所施政計畫成果，撰稿期間蒙本所侯進雄科長在 GPS 解算上之協助，劉彥求先生與鍾令和先生協助野外調查，台大地質系楊昭男教授及另一位未具名的審稿人提供許多寶貴意見，作者敬致謝忱。

參考文獻

- 六角兵吉、牧山鶴彥（1934）高雄州恆春油田調查報告。台灣總督府殖產局出版。第660號。
- 石再添、蔡文彩、許民陽、目崎茂和、木庭元晴（1989）墾丁國家公園地區的珊瑚礁定年及地形研究。墾丁國家公園管理處，保育研究報告，第57號。
- 石崎和彥（1942）西恆春台地附近地質學的觀察：台灣地學紀事，第 13 卷，2-3 號，46-64 頁。
- 宋國城（1991）台灣地質圖說明書－恆春半島。經濟部中央地質調查所，共 77 頁。
- 林啓文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）臺灣活動斷層概論。第二版，經濟部中央地質調查所，共 122 頁。
- 陳于高（1993）晚更新世以來南台灣地區海水面變化與新構造運動研究。國立台灣大學地質學研究所博士論文，共 158 頁。
- 陳文山、鄭穎敏與黃奇瑜（1985）台灣南部恆春半島之地質。地質，6 卷 2 期，21-38 頁。
- 陳文山、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青（2004）恆春斷層條帶地質圖說明書。經濟部中央地質調查所地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－槽溝開挖與古地震研究計畫

(3/5), 共 38 頁。

楊貴三 (1986) 台灣活斷層的地形學研究—特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共 173 頁。

詹新甫 (1974) 恆春半島之地層與構造並申論中新世傾瀉層。台灣省地質調查所彙刊，第 24 號，99-108 頁。

內政部 (2001) 一等水準測量作業規範。內政部，台北。

顏滄波、吳慶餘 (1986) 恆春半島南部之上新世及上覆地層。地質，7 卷 1 期，1-10 頁。

Konishi, K., Omura, A., and Kimura, T. (1968) ^{234}U - ^{230}Th dating of some late Quaternary coralline limestone from southern Taiwan (Formosa): *Geol. Paleont. Southeastern Asia*, Vol.5, 211-224.

Lin, C.C. (1969) Holocene geology of Taiwan: *ACTA Geologica Taiwanica*, no.13, p.83-126.

Lundberg, N.D. L. Read, C.S. Lui and J. Lieske, J. (1992) Structural controls on orogenic sedimentation, submarine Taiwan accretionary collision: *ACTA Geologica Taiwanica*, no.30, 131-140.

Peng, T.H., Li, Y.H. and Wu, F.T. (1977) Tectonic uplift rates of the Taiwan Island since the early Holocene: *Mem. Geol. Soc. China*, no.2, 57-69.

Reed, D.L., Lunberg, N., Liu, C.H. and Kuo, B.Y. (1992) Structural relations along the margins of the offshore Taiwan accretionary wedge: implications for accretion and crustal kinematics: *ACTA Geologica Taiwanica*, no.30, 105-122.

Wang, C.H. and Burnett, W.C. (1990) Holocene mean uplift rates across an active-collision boundary in Taiwan: *Science*, 248, 204-206.

Yu, H.S., and Lu, J.C. (1995) Development of the shale diapir-controlled Fangliao Canyon on the continental slope off southwestern Taiwan: *Jour. Southeast Asian Ear. Sci.*, Vol.11, no.4, 265-276.

Yu, S.B., Chen, H.Y. and Kuo, L.C. (1997) Velocity field of GPS station in the Taiwan area: *Tectonophysics*, 274, 41-59.

表一 恆春半島地區 2003~2004 年 GPS 測量結果

Table 1 Results of GPS measurement of Hengchun Peninsula during 2003 to 2004.

point number	name of point	N_TWD67 (二度分帶座標)	E_TWD67 (二度分帶座標)	slip direction (Azimuth in degree)	displacement (mm)
恆春斷層下盤(In footwall of the Hengchun fault)					
G702	射寮國小	2439991.651	219416.753	270.5	51.6
G703	保力國小	2439961.168	220990.314	279.0	51.2
G705	大平國小	2436308.841	220315.793	271.8	49.1
G706	山海國小	2432011.252	219761.252	277.0	56.7
G708	龍泉國小	2430417.990	221819.733	272.8	45.2
G709	水泉國小	2427285.198	221467.204	279.2	51.2
恆春斷層上盤(In hanging wall of the Hengchun fault)					
G643	墾丁國小	2427447.871	228649.553	283.9	44.5
G691	枋山國小	2463300.633	213403.583	278.8	44.7
G692	明明牧場	2464550.349	219747.580	271.1	61.2
G693	楓港國小	2454864.608	217496.802	277.2	53.2
G694	丹路國小	2456360.189	223573.501	283.6	48.0
G695	草埔國小	2459752.187	228894.083	277.1	53.3
G696	安朔國小	2466280.766	236417.306	289.5	46.1
G698	溫泉國小	2444365.359	223260.019	277.3	61.6
G699	石門國小	2447694.778	225753.300	289.4	57.1
G700	牡丹國小	2453247.147	232458.516	284.5	48.8
G701	旭海分校	2454703.584	236610.821	286.7	48.5
G704	保力林場	2441632.913	224772.948	287.1	54.0
G707	生態農場	2432899.899	224380.141	282.5	50.7
G713	高士國小	2447643.551	233353.318	295.5	51.4
滿州斷層上盤(In hanging wall of the Manjhou fault)					
G689	海邊停車場	2432540.620	233312.896	292.5	42.0
G710	永港國小	2434352.733	230332.505	290.1	48.9
G711	滿州國小	2435939.000	232443.345	289.8	42.2
G712	長樂國小	2442060.795	231490.270	287.0	49.1
G714	九棚國小	2446047.968	236160.215	295.5	48.9
潮州斷層下盤(In footwall of the Chaochou fault)					
G622	力里國小	2481191.141	210911.172	275.0	46.9
潮州斷層上盤(In hanging wall of the Chaochou fault)					
G621	南和國小	2482047.893	212387.497	277.9	49.4
G624	僑德國小	2474059.022	208055.315	273.8	49.0
G625	古華國小	2473741.514	210618.765	270.5	47.5
G626	古華分校	2474672.111	214531.384	277.2	44.7

表二 恆春半島地區山海至佳樂水（北）測線 2003~2004 年精密水準測量結果

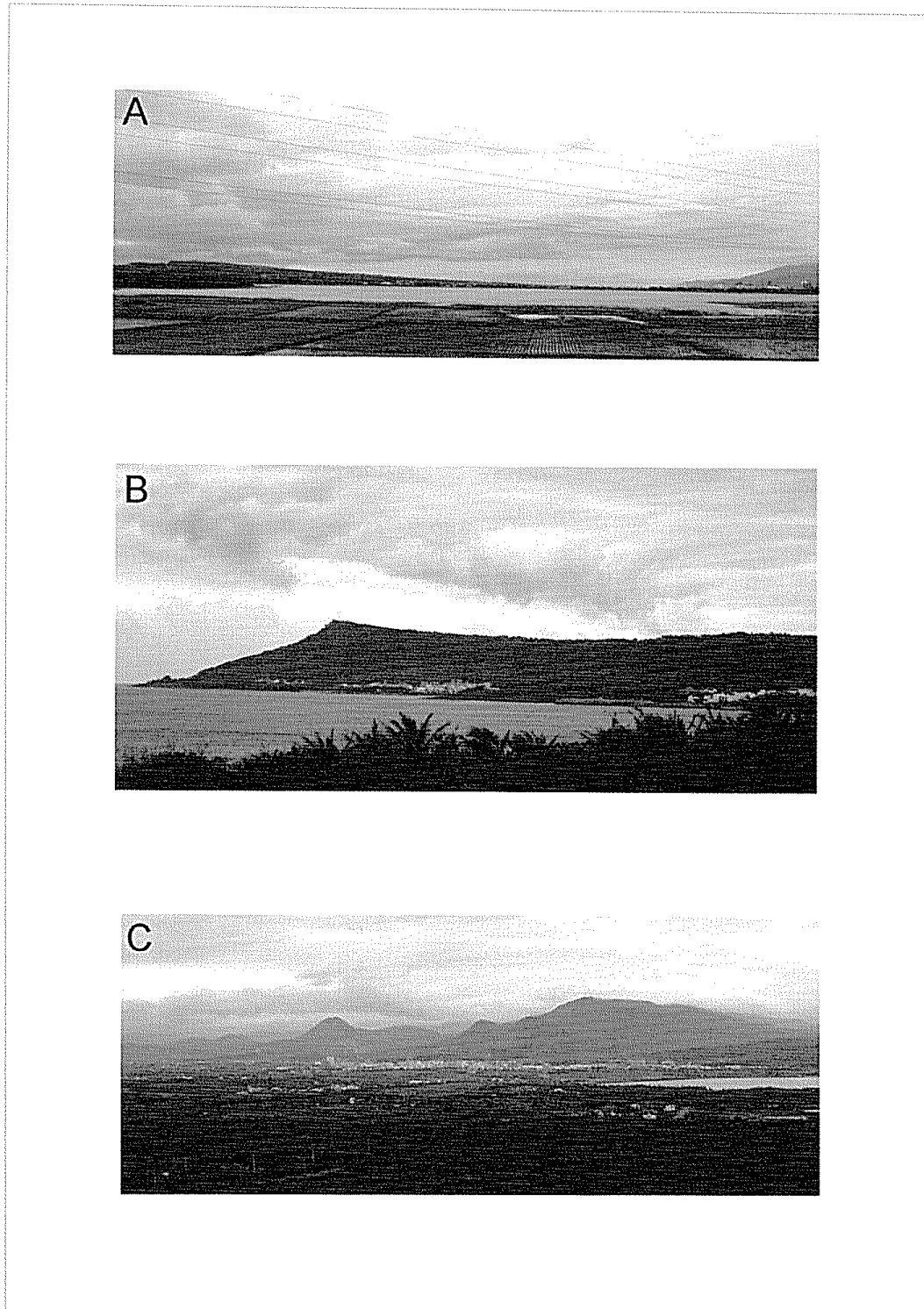
Table 2 Results of northern section of precise leveling measurement in Hengchun Peninsula during 2003 to 2004.

Point Number	Name of measuring point	Elevation in 2003 (mm)	Elevation in 2004 (mm)	Variation in elevation (mm)	Spacing of measuring point (m)
G662	大草原	100,000.00	100,000.00	0.00	0.00
G663	下糠林坪	85,481.89	85,476.52	-5.37	344.46
G664	鐵皮屋	64,280.91	64,274.34	-6.57	467.81
G665	濫墾山地告示牌	42,020.38	42,011.43	-8.95	765.92
G666	德和社區	38,807.42	38,797.81	-9.61	381.50
G667	三王壇	38,420.37	38,409.66	-10.71	536.29
G668	好品牛肉麵	40,911.12	40,901.17	-9.95	355.84
G669	恆春國小	44,797.50	44,778.31	-19.19	1,157.47
G670	恆春鎮公所	46,049.69	46,040.34	-9.35	467.31
Q052	安生墓園	51,871.38	51,861.23	-10.15	737.76
G671	墾丁公園牌樓	65,271.42	65,267.45	-3.97	365.18
G672	造產橋	66,407.66	66,400.16	-7.50	416.65
G673	滿州高幹 51	78,827.56	78,820.21	-7.35	320.91
G674	進誠橋	78,163.75	78,149.02	-14.45	255.14
G675	出火羊肉爐	80,560.84	80,551.99	-8.85	358.96
G676	墾丁福音中心	98,173.12	98,161.28	-11.84	805.45
G677	出火橋	103,518.06	103,503.78	-14.27	340.00
G678	放山雞	111,833.50	111,819.85	-13.65	357.95
G679	下坡彎道	125,338.78	125,327.98	-10.80	467.07
G680	義興畜養場	91,748.43	91,727.40	-21.03	671.67
G681	香香檳榔	71,621.15	71,608.01	-13.14	513.72
Q055	永靖西	65,397.70	65,385.27	-12.43	620.03
G682	大腳車隊	62,863.93	62,853.75	-10.18	346.10
G683	永靖社區	54,081.39	54,071.86	-9.53	774.275
G684	G684	42,069.85	42,062.80	-7.05	553.25
G685	港口橋	40,773.58	40,766.20	-7.38	558.32
G687	G687	36,130.20	36,121.68	-8.52	512.05
8788	福安宮	34,211.91	34,197.33	-14.58	701.29
Q024	公館	33,224.33	33,214.35	-9.98	536.21
G688	收費吊橋	27,379.40	27,368.78	-10.62	986.98
G689	海邊停車場	30,971.40	30,960.27	-11.13	558.82
G690	佳樂水	36,544.68	36,534.44	-10.24	1,001.28
G3113	佳樂水停車場	33,132.73	33,122.87	-9.86	726.77

表三 恆春半島地區白砂至鵝鑾鼻（南）測線 2003~2004 年精密水準測量結果

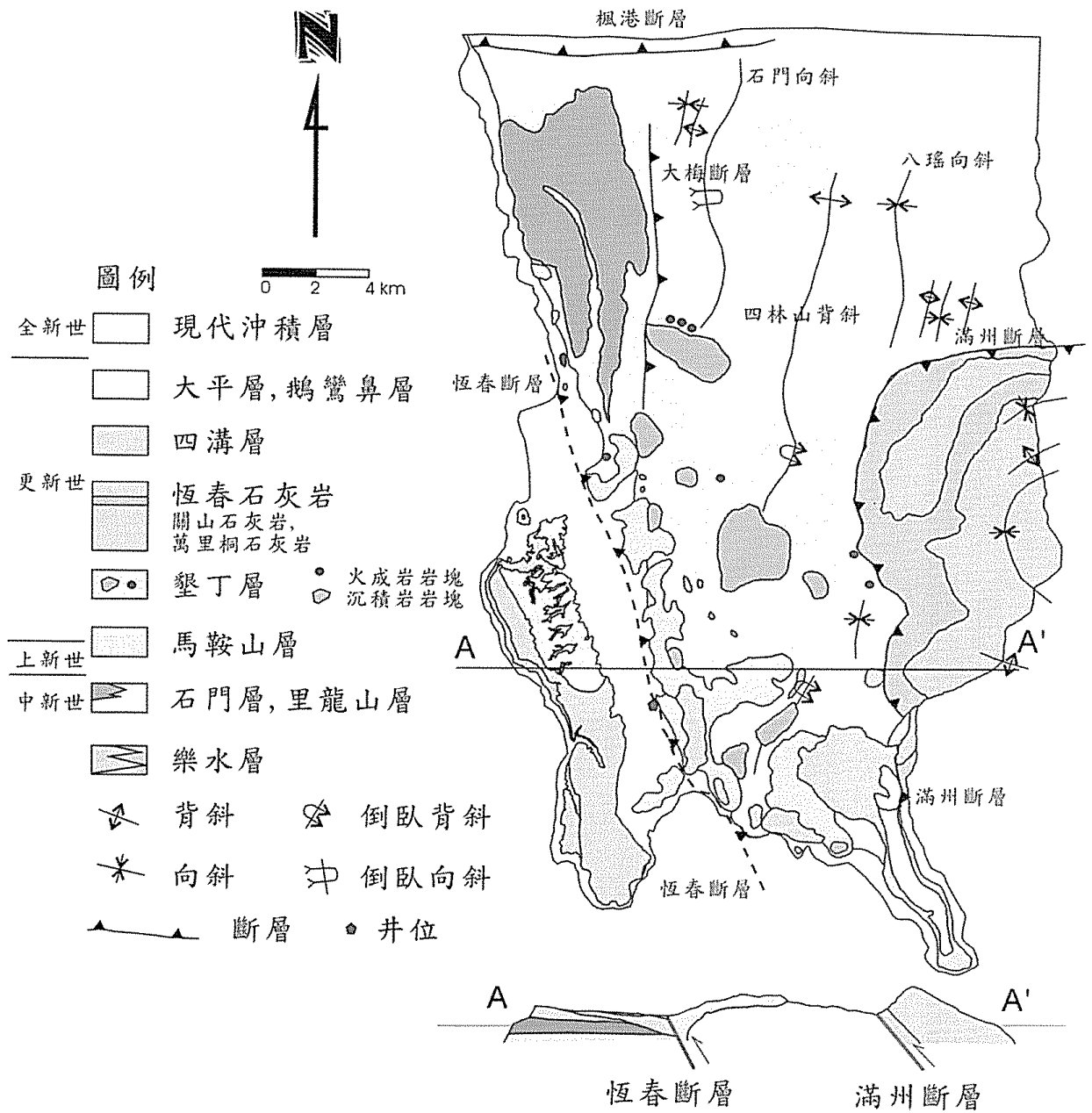
Table 3 Results of southern section of precise leveling measurement in Hengchun Peninsula during 2003 to 2004.

Point Number	Name of measuring point	Elevation in 2003 (mm)	Elevation in 2004 (mm)	Variation in elevation (mm)	Spacing of measuring point (m)
G661	西龍宮	100,000.00	100,000.00	0.00	0.00
G660	樹林	62,597.59	62,598.56	0.97	693.64
G659	樹林幹 78L32	42,537.81	42,541.24	3.43	646.49
G658	砂尾路	24,657.48	24,660.23	2.75	684.98
G657	T 字路口	19,197.27	19,198.38	1.12	858.47
G656	關山貓鼻頭路牌	12,558.10	12,562.30	4.20	551.89
G655	停車場路牌	5,369.14	5,369.35	0.21	599.50
G654	G654	8,560.37	8,563.60	3.23	544.10
Q012	永進社區	9,027.42	9,029.21	1.79	252.00
G633	核能三廠	9,860.09	9,860.56	0.47	514.91
G634	台 26 線 28K	10,778.78	10,781.24	2.46	545.38
G635	南灣停車場	-3,934.88	-3,934.37	0.51	398.01
Q013	南灣	-7,427.85	-7,427.31	0.55	199.70
G636	台 26 線 29K	-9,594.69	-9,593.84	0.85	405.65
G637	南灣度假飯店	3,762.40	3,752.53	-9.87	480.35
G638	潭仔灣	215.18	215.56	0.38	401.56
G639	南海岸露營區	-7,890.71	-7,887.86	2.84	490.31
Q014	遊客中心	5,697.65	5,701.61	3.96	415.21
G640	歡迎蒞臨墾丁牌	-2,853.32	-2,850.26	3.06	737.45
G641	夏都沙灘酒店	-4,546.06	-4,541.99	4.06	791.76
G642	麥當勞	-6,516.58	-6,512.73	3.86	405.55
Q015	墾丁警察隊	-7,132.29	-7,130.35	1.94	274.52
G643	墾丁國小	-1,167.62	-1,166.21	1.41	733.77
G644	星際碼頭	-1,478.86	-1,477.82	1.04	754.68
G645	遊覽車停放區	-2,040.91	-2,046.20	-5.29	529.39
Q016	大圓山	430.21	422.76	-7.45	303.82
G646	歐克山莊	371.88	368.23	-3.65	580.46
8783	船帆石	-9,447.99	-9,453.52	-5.53	501.55
G647	明君度假中心	-8,082.93	-8,087.21	-4.28	560.21
G648	瓊崖海棠	-5,777.32	-5,782.57	-5.25	509.29
Q017	本港	-6,673.62	-6,677.74	-4.12	622.61
G649	台 26 線 38K	151.44	141.55	-9.88	527.57
G650	台 26 線 38.5K	-2,929.66	-2,938.60	-8.94	497.01
T291	番仔寮	-8,411.92	-8,424.07	-12.15	481.64
G651	清涼賽車場	-7,389.20	-7,403.24	-14.04	609.68
G652	鵝鑾分校	-6,325.90	-6,340.39	-14.49	191.86
G653	瘋馬賽車場	-8,154.01	-8,154.01	0.00	287.60
8786	鵝鑾鼻停車場	-322.32	-317.26	5.06	400.95
Q019	鵝鑾鼻	20,828.69	20,840.54	11.86	665.96



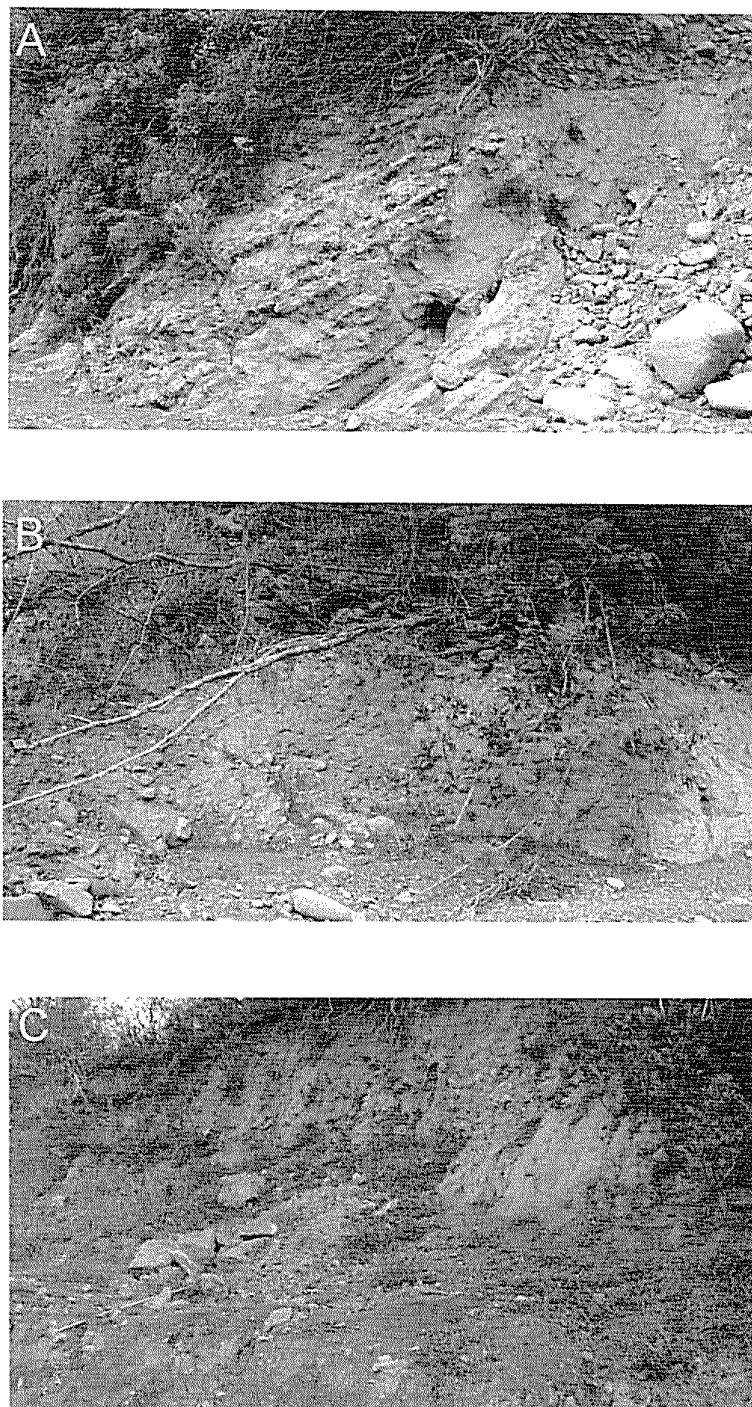
圖一 恆春半島的主要地貌。A：左側為恆春西台地，中央為恆春谷地，右側為中央山脈。B：恆春西台地，台地面向東（右側）傾斜。C：遠方為中央山脈，前方為恆春谷地，山麓前緣為恆春斷層的大略位置。

Fig.1 Major landscapes in the Hengchun Peninsula. A: From left to right there locates the West Hengchun tableland, the Hengchun valley and the Central Range. B: The West Hengchun tableland gently dips toward east (right). C: The Hengchun fault is located in between the Central Range (far) and the Hengchun Valley (near).



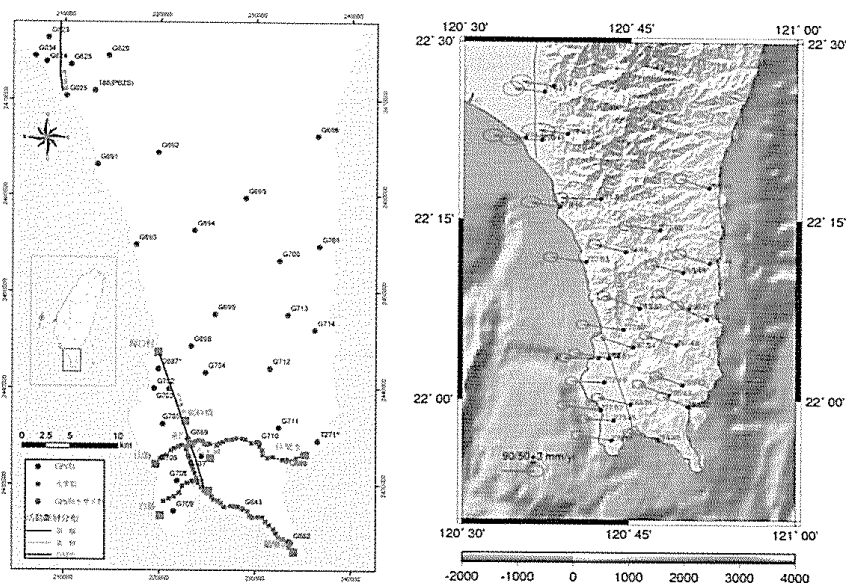
圖二 恆春半島地質圖(陳文山等, 1985)。

Fig.2 Geological map of Hengchun Peninsula (after Chen *et al.*, 1985)



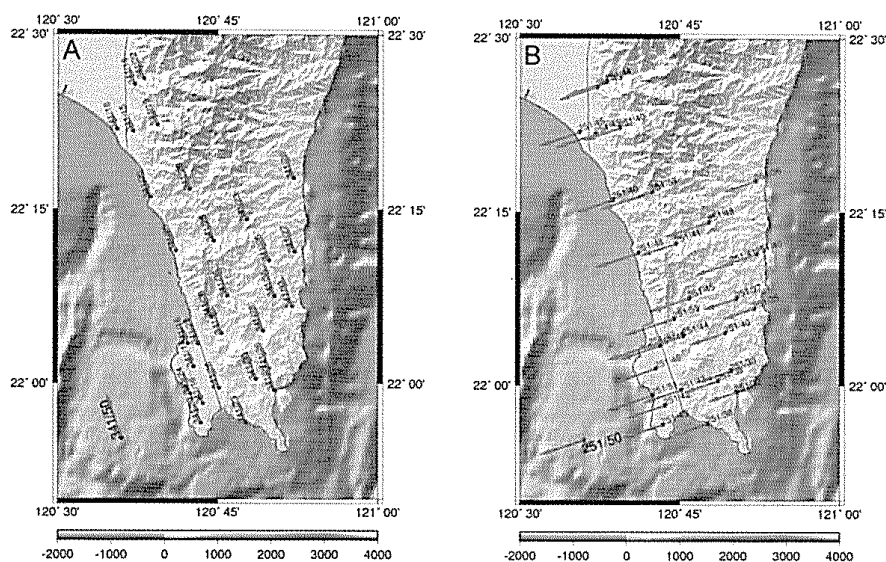
圖三 恆春斷層附近的一些露頭。網紗溪出露向西傾斜的石灰岩 (A)，在其西側石灰岩受擾動變形 (B)；在恆春鎮東方，石灰岩覆於墾丁層之上 (C)。

Fig.3 Some outcrops near the Hengchun fault. The west-dipping Pleistocene limestone in the Wongsha area (A). Away from the deformed limestone shows fractured and folded phenomena (B). The limestone overlies the highly deformed mudstones of the Kenting Formation, near Hengchun.



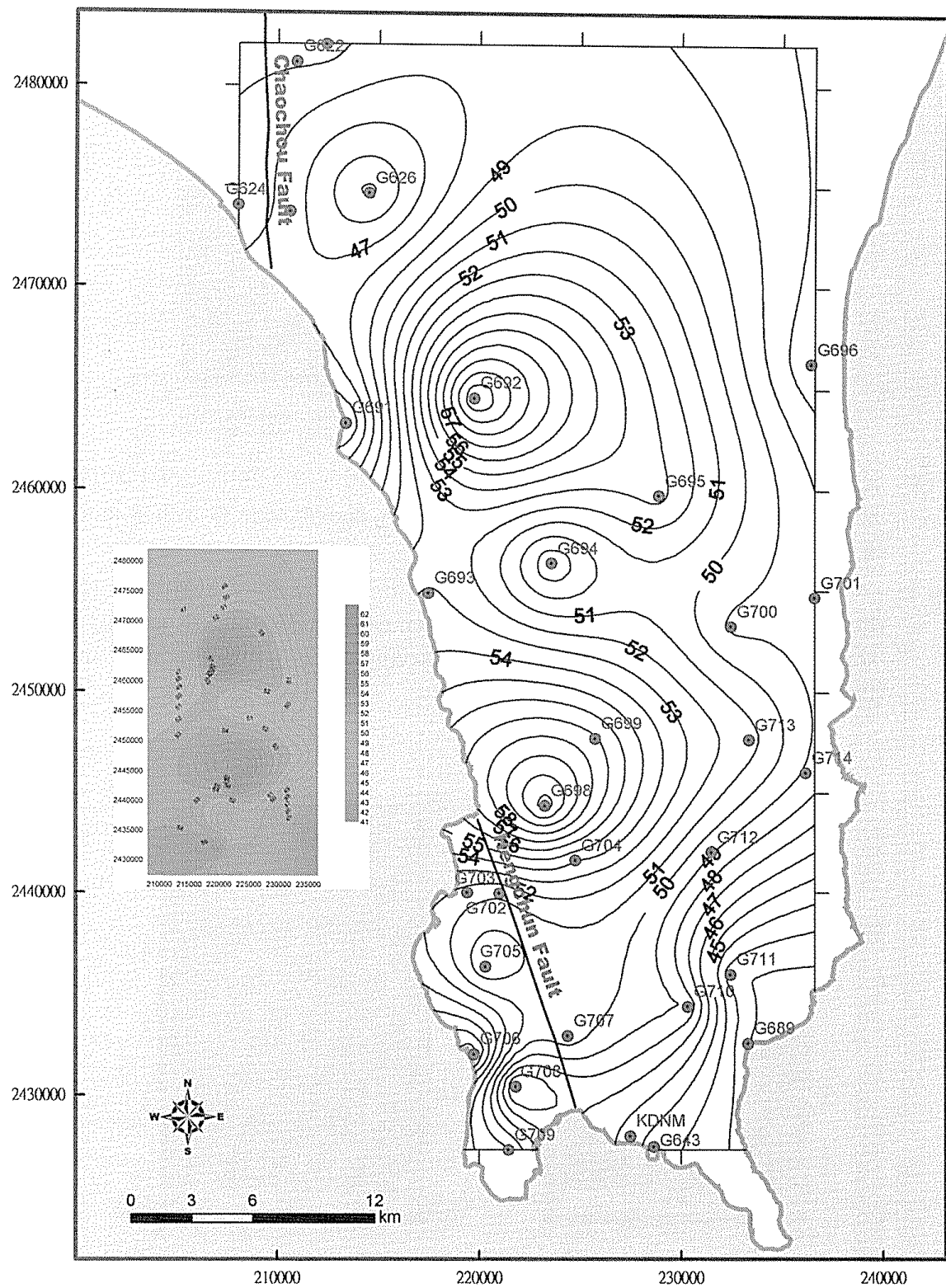
圖四 A：恆春半島 GPS 測量與水準測量監測點配置。B：2003~2004 年 GPS 測量水平位移分析結果，顯示相對於澎湖 S01R 監測點的位移方向與年平均位移量。

Fig.4 A: The locations of GPS stations and positions for precise leveling in Hengchun Peninsula. B: The results of GPS measurement in horizontal from 2003 to 2004, showing the slip direction and net displacement relative to the S01R located in Penghu Island.



圖五 2003~2004 年 GPS 測量結果水平位移分向量，平行於恆春斷層（A）與垂直於恆春斷層（B）。平行恆春斷層之水平位移速度分量。

Fig.5 Results of horizontal velocity fields of GPS measurement from 2003 to 2004. The velocity fields are measured parallel to (A) and perpendicular to (B) the Hengchun fault, respectively.



圖六 恆春半島地區水平方向位移等值分布圖。

Fig.6 The contour map of displacement in horizontal.

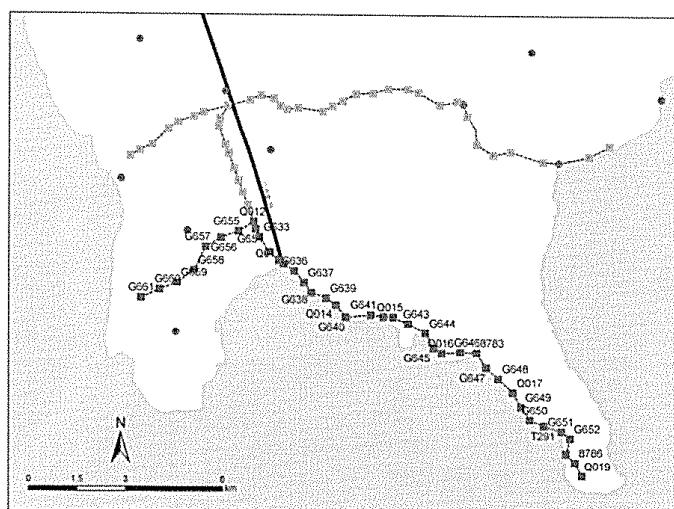
Figure 10 is a line graph showing Elevation Change (mm) versus Distance (km) for the 2003-2004 season. The y-axis represents Elevation Change (mm) ranging from -30 to 30. The x-axis represents Distance (km) ranging from -1 to 20. A vertical dashed line at approximately 4.5 km is labeled 'Fault'. The data points are connected by a line, showing a general downward trend in elevation change as distance increases. The data points are labeled with station IDs: G662, G663, G664, G665, G666, G667, G668, G669, G670, G671, G672, G673, G674, G675, G676, G677, G678, G679, G680, G681, G682, G683, G684, G685, G686, G687, G688, G689, G690, and G3113.

Figure 1 is a scatter plot showing the elevation of 30 stations in the Yangtze River Delta. The x-axis represents 'Distance(km)' from -1 to 20, and the y-axis represents 'Elevation(m)' from 0 to 150. The stations are marked with dots and labeled with codes. A vertical dashed line at approximately 4.5 km marks the transition from Heilongjiang to Henan province.

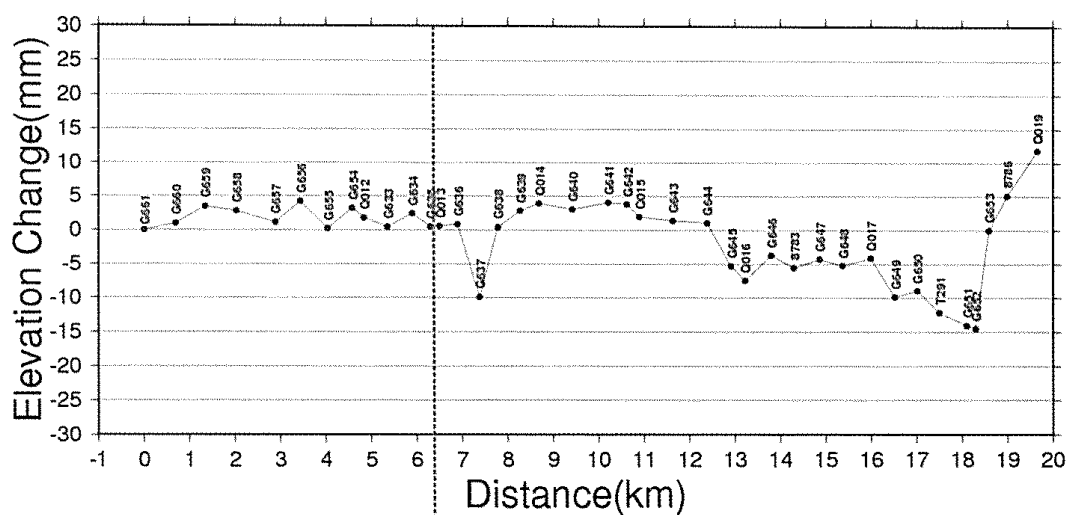
Station Code	Distance (km)	Elevation (m)
G662	0.2	120
G663	0.5	100
G664	1.0	60
G665	1.5	40
G666	2.0	30
G667	2.5	20
G668	3.0	10
G669	4.0	10
G670	4.5	10
G671	5.5	40
G672	6.0	60
G673	6.5	70
G674	7.0	80
G675	7.5	90
G676	8.0	100
G677	8.5	110
G678	9.0	120
G679	9.5	130
G680	10.0	140
G681	10.5	150
G682	11.0	160
G683	11.5	170
G684	12.0	180
G685	12.5	190
G686	13.0	200
G687	13.5	210
G688	14.0	220
G689	14.5	230
G690	15.0	240
G691	15.5	250
G692	16.0	260
G693	16.5	270
G694	17.0	280
G695	17.5	290
G696	18.0	300
G697	18.5	310
G698	19.0	320
G699	19.5	330
G700	20.0	340

圖七 2003~2004 年山海至佳樂水測線（北測線）水準測量結果。
Fig.7 Result of precise leveling of the northern section, from Sanhai to Chialeshui, during 2003 to 2004.

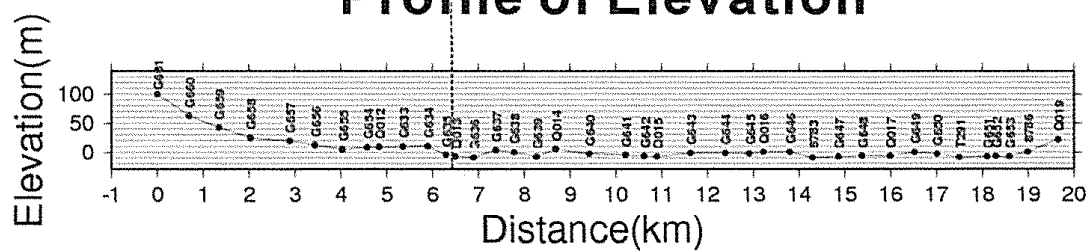
Location Map



Results of Leveling

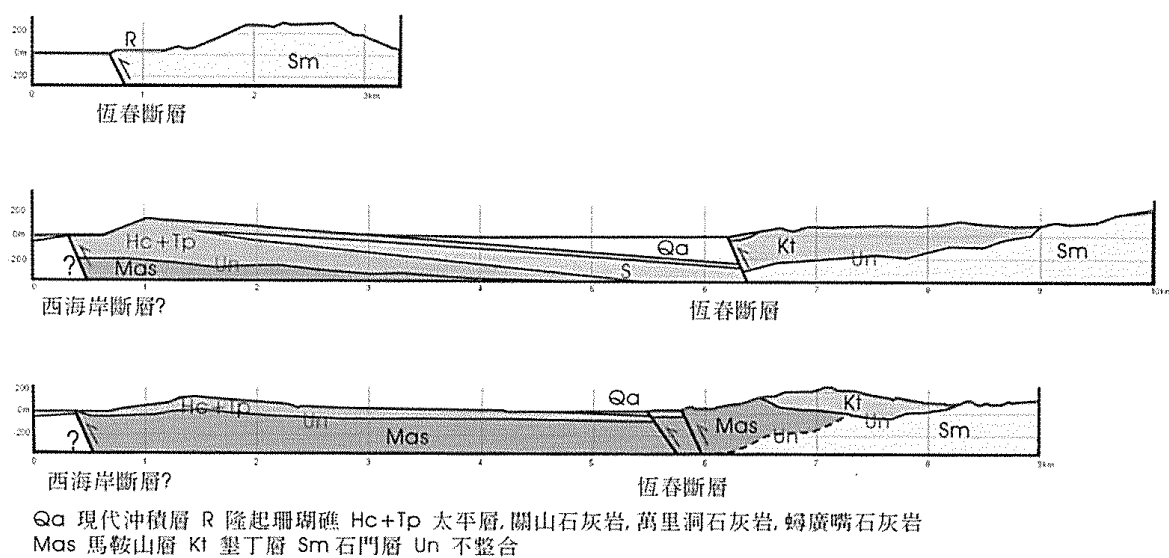


Profile of Elevation



圖八 2003~2004 年白砂至鵝鑾鼻測線（南測線）水準測量結果。

Fig.8 Results of precise leveling of the southern section, from Paisha to Erluanbi.



圖九 恆春半島的三個地質剖面，北剖面通過海口附近，中間剖面平行網紗溪，南剖面通過南灣。恆春西台地西側可能存在一逆移斷層。

Fig.9 Three geological cross section, from north to south, of the Hengchun Peninsula. There is probably a reverse-slip fault located in western side of the West Hengchun tableland.