

目次

表次.....	iii
圖次.....	iv
摘要.....	vi
第一章 前言	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的及研究重點	3
第三節 研究工作進度管制	5
第四節 成果檢查與品質管制	5
第五節 預期成果	6
第二章 GPS 衛星測量之誤差來源與資料處理	7
第一節 GPS資料的誤差來源	7
2.1.1 軌道誤差	7
2.1.2 衛星及接收儀時錶誤差	7
2.1.3 固定站坐標誤差	8
2.1.4 對流層延遲誤差	8
2.1.5 電離層延遲誤差	8
2.1.6 整數週波未定值求解誤差	9
2.1.7 跳週之影響	11
2.1.8 相位中心與多路徑	11
第二節 GPS 資料處理之過程	11
第三章 GPS衛星測量外業與觀測成果	15
第一節 外業觀測與平差	15
第二節 成果分析	20
第四章 位移量分析	33
第一節 固定參考站之位移量	35
第二節 監測點之位移量	37

第三節 點位精度的評估	
49	
第五章 網形平差及速度計算	53
第一節 單期基線網之平差	53
5.1.1 基線向量觀測方程式之組成	53
5.1.2 自由網平差	54
5.1.3 加權約制平差 (weighted constraint adjustment)	56
5.1.4 統計測試	56
5.1.5 單期基線網流程及使用法	58
第二節 多期基線網平差及速度計算	60
5.2.1 多期平差模式	60
第三節 程式測試成果	64
第六章 速度場內插模式建立	89
第一節 簡介	89
第二節 第二節 內插方法及流程	89
第三節 內插方法成果分析	92
6.3.1 資料來源	92
6.3.2 內插絕對及相對精度分析	100
6.3.3 內插程式使用說明	107
第七章 結論與建議	111
附錄	
附錄一 程式說明	113
附錄二 內政部土地測量局「基本控制點檢測作業規範」委託研究案期中報告審查 開會時間：八十九年十二月二十七日	116
附錄三 內政部土地測量局「基本控制點檢測作業規範」委託研究案期末報告審查 開會時間：九十年五月卅日下午二時	118
參考書目	121

表 次

表 2-1 最大垂直向電離層誤差 (單位 : m)	9
表 3-1 歷次觀測點號表, 剔除之點號以斜體字表示	18
表 3-2 M075 以 1999 年 DoY351 為基準的座標差比較表	21
表 3-3 中部地區 GPS 測點套合於內政部陽明山追蹤站座標一覽表	23
表 3-4 TWD97 座標一覽表	27
表 3-5 內政部公佈 921 地震後二等三角點與第六次觀測之 TWD97 座標差一覽	31
表 4-1 1999 年集集地震 15 個月內中部地區各連續觀測站相對於 S01R 之速度分量	37
表 4-2 重複觀測 2 次以上監測點各座標分量速度一覽表	41
表 5-1 單期平差結果 (第六次)(等權)	65
表 5-2 單期平差結果 (第六次)(非等權)	68
表 5-3 模擬基線網之參考時刻座標及速度資料	73
表 5-4 以模擬之多期資料解算得之參考時刻座標	74
表 5-5 以模擬之多期資料解算得之速度	75
表 5-6 解算得參考時刻座標及速度與其真值之差異統計表	76
表 5-7 實際多期資料解算得之參考時刻座標	77
表 5-8 實際多期資料解算得之速度	80
表 5-9 以實際資料解算得參考時刻座標及速度與其 Bernese 速度場之差異	85
表 5-10 以實際資料解算得參考時刻座標及速度與其 Bernese 速度場之差異統計	88
表 6-1 case1 內插之檢核點	92
表 6-2 case2 內插之檢核點	92
表 6-3 case3 內插之檢核點	92
表 6-4 測試內插程式之資料點	96
表 6-5 方法(1)以 Triangulate 建網格法測試結果	101
表 6-6 方法(1)以 surface 建網格法測試結果	102
表 6-7 方法(1)以 nearneighbor 建網格法測試結果	103
表 6-8 方法(2)高斯給權法測試結果	104
表 6-9 方法(2)Shepard 給權法測試結果	105
表 6-10 內插方法測試結果(5 種)	106

圖 次

圖 1-1 : 集集地震之同震水平與垂直位移, 箭頭表水平位移向量之大小與方向, 空心條線表抬昇, 實心條線表下陷。主震及兩較大餘震之震央以星形表示	2
圖 1-2 : 主震發生後, 鹿谷測站 (I007) 之東西向、南北向及垂直向分量隨時間之變化情形, 以指數及對數衰減函數對資料點之擬合線亦示於圖中	4
圖 2-1 : GPS 衛星資料之處理流程	14
圖 3-1 : 台灣中部 GPS 監測網, 小圓點表 GPS 測點, 大圓點為 GPS 連續觀測站	17
圖 4-1 : 中部地區連續觀測站相對於 S01R 之地殼移動狀態	36
圖 4-2 : 1999年12月至2000年12月中部地區水平速度場及95%可信度誤差橢圓	38
圖 4-3 : 為比較相對於車籠埔斷層兩側之測點速度, 選擇靠近斷層由南而北9對點(A區), 及東西向遠離斷層6對點(B區)之分布情形	39
圖 4-4 : 1999年12月至2000年12月近斷層9對基線之東西向平均速度	45
圖 4-5 : 1999年12月至2000年12月近斷層9對基線之南北向平均速度	46
圖 4-6 : 1999年12月至2000年12月遠斷層6對基線之東西向平均速度	47
圖 4-7 : 1999年12月至2000年12月遠斷層6對基線之南北向平均速度	48
圖 4-8 : 整個監測區域監測點相對於澎湖固定站 (S01R) 之變動情形, 橫座標為監測點數, 縱座標表示變動量	49
圖 4-9 : 由(4-3)及(4-4)式求得之各觀測點位相對於澎湖固定站S01R在此研究計畫期間之重現性散佈圖。橫座標為點位數, 縱座標為各基線分量之重複性值	52
圖 5-1 : 單期基線網平差流程圖	58
圖 5-2 : 第六次單期平差結果之殘差分佈圖(等權)	71
圖 5-3 : 模擬多期資料解算得之速度場	76
圖 5-4 : 實際多期資料解算得之速度場	83
圖 5-5 : Bernese 軟體解算得之速度場	84

圖 6-1 : 方法(1)之內插流程圖	90
圖 6-2 : 方法(2)之內插流程圖	90
圖 6-3 : 內插速度資料點位case1分佈圖 • 表資料點 表檢核點	93
圖 6-4 : 內插速度資料點位case2分佈圖 • 表資料點 表檢核點	94
圖 6-5 : 內插速度資料點位case3分佈圖 • 表資料點 表檢核點	95

摘要

關鍵詞：震後變形、GPS測量、網形平差、速度場估算及內差

1. 研究緣起

1999年9月21日凌晨台灣中部發生規模7.3的集集大地震，造成長達100 km的地面斷裂；此斷裂帶大致沿著已知的車籠埔斷層線。斷層兩側瞬間數公尺的巨大錯移量，導致斷層沿線附近建築物的損毀、人命傷亡及地形地物改變。地震後，內政部、中央研究院與中央地質調查所合作以高精度GPS測量方法迅速完成震央區附近大部分原有地殼變動基準點的重測。發現集集大地震使得台灣中部的大多數基本控制點座標都有巨大的變動量，而地震後震源區地殼應力的重新調整亦會造成顯著的震後變形，導致控制點的持續移位。為瞭解台灣中部地區在集集地震後之控制點變位情形，內政部土地測量局與中研院地球所合作於1999年12月中旬實施一次較廣泛的高精度GPS測量，並在其後一年內在中部地區實施4 – 6次高精度GPS觀測，以瞭解震後基本控制點之持續變動情形。

2. 研究方法及過程

GPS 測量外業觀測須採用大地型雙頻衛星接收儀，以採用同一廠牌同型儀器為原則。施測前應進行求心基座校準及儀器檢查，架設天線時應切實做好定心定平工作，並正確量取天線高。每一時段觀測時間最好超過 6 小時，並詳實記錄點位之透空度及附近之環境狀況。觀測的 GPS 資料，應用高精度 GPS 處理軟體 Bernese 作點位座標計算及網形平差。處理前應先小心核對各資料檔之日期、天線高及站名等是否與野外記簿一致，進行必要之修正。資料處理程序及選用之參數應前後一致，避免造成系統誤差，導致錯誤的變位分析結果。由各座標分量重複性比較分析可進行重算或剔除不良觀測量，而獲得精度較為一致的成果。Bernese 軟體中的 ADDNEQ 程式有進行平差及速度估算之功能，可針對此計畫歷次觀測成果，推算點位震後變形之速度量。同時將自行研發軟體進行平差計算及速度場的估算及內差，並選取具代表性的監測點與 ADDNEQ 計算結果作比較檢核，以測試程式的正確性。

第一章 前言

第一節 研究緣起與背景

台灣位於歐亞及菲律賓海兩大板塊交界處，由於板塊的隱沒與碰撞作用，台灣地區地震活動頻繁，地殼變動劇烈。近年快速發展的全球衛星定位系統 (GPS) 已成為地殼變形與地體動力學研究的利器。在不同地點同時接收 GPS 衛星發出的電碼與載波相位訊號，可精確定出各測點的相對位置。

1999 年 9 月 21 日凌晨台灣中部發生規模 7.3 的集集大地震，造成長達 100 km 的地面斷裂；此斷裂帶大致沿著已知的車籠埔斷層線。斷層兩側瞬間數公尺的巨大錯移量，導致斷層沿線附近建築物的損毀、人命傷亡及地形地物改變。地震後，中央研究院與中央地質調查所合作以高精度 GPS 測量方法迅速完成震央區附近大部分原有地殼變動基準點的重測；此外，為瞭解台灣中部地區在集集地震後之控制點變位情形，內政部土地測量局與中研院地球所合作於 1999 年 12 月中旬實施一次較廣泛的高精度 GPS 測量。

根據震前 0.2-2.7 年及震後 3 個月內在台灣中部施測的 GPS 資料估算集集地震之同震位移如圖 1-1 所示 (Yu et al., 2001)，獲知車籠埔斷層東側 (上盤) 的水平位移量達 1.1-9.1 m，呈西北至西北北方向。沿斷層走向位移量由南向北遞增，方向也有達 50° 之劇烈轉向。斷層下盤 (西側及豐原 - 東勢北側) 則有 0.2-1.5 m 朝東南至東南東方向的水平位移。換言之，GPS 觀測之車籠埔斷層兩側水平錯移量達 2.4-10.1 m。台灣地理中心的埔里虎子山原點朝 304° 方向移動 2.3 m，即使距斷層 70-90 km 外的台灣東部也有 10-35 cm 的顯著西北向位移。鄰近斷層的上下盤之間有 1.2-4.4 m 的垂直錯移量，東側抬昇。上盤抬昇量向東急遽減小，在埔里、日月潭及霧社地區已轉為下陷。斷層下盤都呈下陷現象，最大者位於斷層線附近達 0.3 m。

此外，為研究集集大地震之震後變形，自主震發生後兩天起即先後在震央區佈設 7 個臨時 GPS 連續觀測站，配合原有之固定站資料，探討震後變形型態與特性。初步分析主震後 100 天內之資料得知：上盤震後位移方向與同震位移相近，但同震位移較大的測站震後位移反而較小。下盤的震後位移均不顯著，最大者僅約 1 cm。鹿谷 (1007) 及霧社 (5936) 兩測站

在 100 天內之震後位移量分別為向西 12 cm 及 10 cm, 此外, 鹿谷繼續向上抬升約 12 cm (圖 1-2)。

內政部土地測量局有鑑於台灣地區地殼變動快速, 日益要求更高精度的土地測量已不能忽視此項引起基本控制點座標變動的因素; 遂有逐年分區規劃台灣地區基本控制點變位監測之研議。集集大地震使得台灣中部的大多數基本控制點座標都有巨大的變動量, 而地震後震源區地殼應力的重新調整亦會造成顯著的震後變形, 導致控制點的持續移位。因此, 土地測量局預定在地震後一年多的期間內在中部地區實施 4 - 6 次高精度 GPS 觀測, 以瞭解震後基本控制點之持續變動情形。

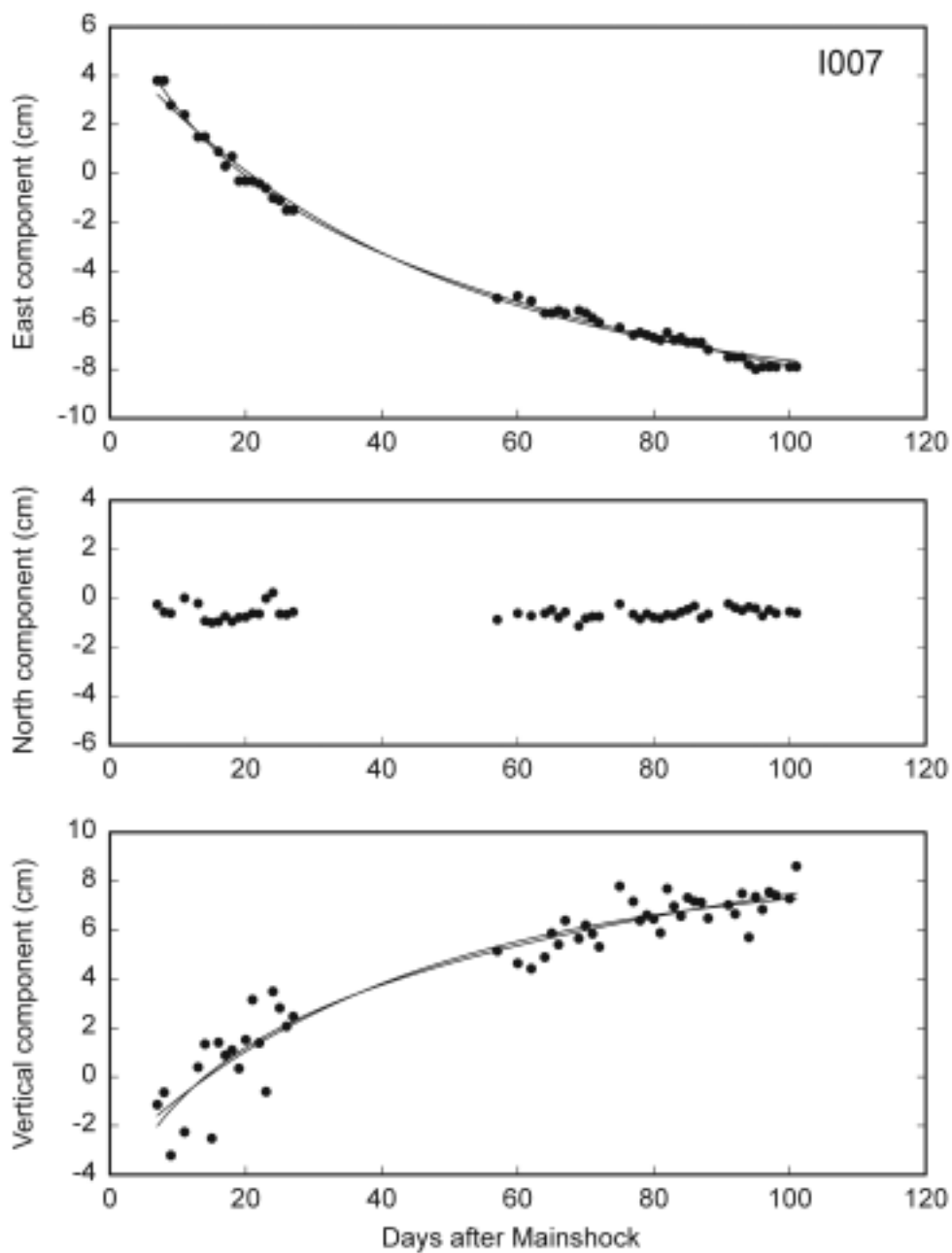
第二節 研究目的及研究重點

「台灣中部地區基本控制點變位監測」計畫之目的為協助土地測量局進行中部地區 GPS 監測網歷次觀測資料之處理計算與分析; 估算地殼運動速度場, 開發網形平差計算程式, 並建立一個速度場內插數學模式, 做為細部測量修正計算之依據。研究及施測地區涵蓋苗栗縣、台中縣市、彰化縣、雲林縣及南投縣, 預計檢測本區一、二等衛星控制點及中央地質調查所佈設點位計 94 點。內政部土地測量局將辦理 GPS 衛星測量外業, 並提供原始觀測資料 (Raw data), 由本計畫進行資料處理與分析。

本委託研究案應辦理項目包括:

1. 外業監測成果基線計算及網形平差。
2. 監測點位成果座標及變位情形 (含平面與垂直方向)。
3. 提供一可行之速度場內插模式。
4. 開發網形平差計算程式 (能分別計算速度場與網形平差)。
5. 成果統計及分析報告。
6. 期中及期末研究報告書編撰。

圖 1-2：主震發生後，鹿谷測站（1007）之東西向、南北向及垂直向分量隨時間之變化情形，以指數及對數衰減函數對資料點之擬合線亦示於圖中



第三節 研究工作進度管制

本計畫預定進度甘梯圖 (Gantt Chart) 編列如下(以虛線表示), 以為進度控制及檢討之依據。

計畫名稱：台灣中部地區基本控制點變位監測													
工作項目	月次												備註
	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月	第12月	
GPS 觀測資料之處理計算	-----												
網形平差程式設計與測試	-----												
撰寫期中報告					-----								
估算座標變化量與地殼運動速度場							-----						
建立速度場之內插數學模式						-----							
撰寫期末報告											-----		
預定進度 (累積數)	5	10	20	30	40	50	55	60	70	80	90	100	
說明：(1)工作項目請視計畫性質及需要自行訂定。預定進度以虛線表示其起訖日期，期中報告與期末報告必須明列於本表中。 (2)預定進度百分比一欄係為配合追蹤考核作業所需，累計百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：1.工作天數 2.經費之分配 3.工作量之比重 4.擬達成目標之具體數字。													

實際執行進度亦在同一圖中以實線表示，各項工作都符合進度要求。於八十九年十二月已完成另一次 GPS 野外觀測，「GPS 觀測資料之處理資料」、「估算座標變化量與地殼運動速度場」、「建立速度場之內插數學模式」各工作項目已依據新的 GPS 野外觀測資料，加以計算處理並更新。

第四節 成果檢查與品質管制

基本控制點變位監測須有完善的網形規劃、穩固的基準點、嚴謹的外業觀測程序及嚴密的資料處理與分析，始能獲得可靠的成果。有關本研究案之成果檢查與品質管制簡述如下：

1. **外業觀測**：GPS 測量外業須採用大地型雙頻衛星接收儀，以採用同一廠牌同型儀器為原則。施測前應進行求心基座校準及儀器檢查，架設天線時應切實做好定心定平工作，並正確量取天線高。每一時段觀測時間最好超過 6 小時，並詳實記錄點位之透空度及附近之環境狀況。
2. **GPS 資料處理**：處理計算前應先核對各資料檔之日期、天線高及站名等是否與野外記簿一致，進行必要之修正。資料處理程序及選用之參數應前後一致，避免造成系統誤差，導致錯誤的變位分析結果。由各基線分量重複性比較分析可進行重算或剔除不良觀測量，而獲得精度較為一致的成果。
3. **自行研發網形平差程式之檢核**：Bernese 軟體中的 ADDNEQ 程式也有進行平差及速度估算之功能，每次觀測成果將同時使用自行研發軟體及 ADDNEQ 程式進行平差計算，並比較其差異做為檢核；速度場的估算亦可加以評估。
4. **速度場內插模式及程式之檢核**：選取約 50 個監測點之歷次觀測成果，估算速度場並建立速度場內插模式；其餘的監測點可做為檢核點，比較由實測資料估算與內插模式估計之差異，做為內插模式準確度評估之依據。

第五節 預期成果

本計劃完成後預期可獲得下列具體成果：

1. 以較嚴密的修正方法與程序完成GPS觀測資料之處理與分析。
2. 根據基本控制點歷次重複GPS觀測資料，可估算集集大地震後之台灣中部地殼運動速度場；並與震前之速度場比較，以了解地殼應力釋放及調整之影響。
3. 建立台灣中部地殼運動速度場之內插數學模式，可為下級細部測量修正計算之參考。
4. 提供GPS觀測量網形平差及監測網內最佳內插速度之電腦程式。
5. 變位監測網所蒐集之GPS觀測資料亦為震後變形研究之素材。

第二章 GPS 衛星測量之誤差來源與資料處理

GPS 衛星測量資料常含有多項誤差，如軌道誤差、測站坐標誤差、衛星和接收儀時錶誤差、對流層延遲誤差、電離層延遲誤差、跳週 (cycle slip)、整數週波未定值 (integer cycle ambiguity)、雜訊、多路徑效應及相位中心偏差等項，其中有些可利用差分方法 (differential) 消除或降低，有些可用模式有效地修正，有些則須率定才能得知，有些則無法預測也無法修正，只能儘量避免發生。因此對於 GPS 衛星資料的解算，如何消除或減少各種誤差是一項重要的課題。

第一節 GPS資料的誤差來源

2.1.1 軌道誤差

由於在進行導航和定位時，GPS衛星的位置視為已知，所以在進行絕對定位時，衛星軌道的任何誤差，都會直接影響測站位置的精度，而在相對定位時，雖然軌道誤差的影響會減弱，但當基線較長且精度要求較高時，這種影響也不可忽視。為了有效控制軌道誤差，解決之道有：使用精密軌道資料如 IGS (International GPS Services)，或以區域性 (Regional) 追蹤站資料對軌道作微調 (Orbit relaxation)，或以全球追蹤站作軌道之推算 (Orbit determination)，再以此軌道資料作為計算之依據。而本所為改進衛星軌道誤差的影響，已自 1991 年 6 月起引用 SIO (Scripps Institution of Oceanography, U.C. San Diego) 所計算之精密星曆，1994 年以後則採用 IGS 整合數個軌道計算中心成果而公布之精密星曆。經實際驗證其軌道精度已達十公分或更好的等級。

2.1.2 衛星及接收儀時錶誤差

原始相位觀測量在經過二次差分後，接收儀時錶誤差已被消除了；而衛星的時錶誤差項，只有在長基線 (1000公里以上) 或追蹤站及接收儀時錶穩定性甚差時才會顯著。可是自1990年3月25日起美國對衛星實施SA (Selective Availability) 選擇性的降低衛星精度，即會使衛星的頻率穩定性降低，當其影響大時則衛星時錶誤差不能忽略，仍應保留在模式中加以考慮並推求。一般而言，時錶誤差在二次差時是可忽略的。

2.1.3 固定站站標誤差

一般固定站之絕對坐標常透過VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 或SLR (Satellite Laser Ranging) 觀測方式求得；或以加入IGS方式得知固定站之坐標；或者以單點定位、或由已知點相對定位方式推求測站之絕對坐標。而固定站間相對的精度及其絕對坐標皆會影響基線之求解，以VLBI定出之基線約可在0.01~0.02ppm之間，而IGS長期觀測所得的精度亦與VLBI相當；一般而言，絕對坐標之誤差可在5公分以內，對測區的基線求解影響應不會太大，反而是固定站間相對的誤差對測區之影響才會顯著；因此，若在無法取得精確的固定站絕對坐標，則可用虛擬距離作單點定位以取得10公尺精度之絕對坐標，再以相對定位方式求各點相對於固定站之坐標分量。

2.1.4 對流層延遲誤差

GPS電磁波經過對流層會產生延遲效應，而對流層屬於非色散性 (non-dispersive)，其影響量對 L_1 及 L_2 是相同的，吾人無法自觀測量直接消去此一影響量；只能利用差分方式降低其效應，或假設各站之效應是相同的，於差分方程式中捨棄之，即忽略其效應；或利用各種氣象模式，如Saastamoinen, Hopfield, Black, ... 等，使用地面觀測的氣象資料，或以海平面標準大氣 (15 °, 1013.25mb, 相對濕度 50 %) 來修正，或聯合氣象資料與附加參數，加以推求。對流層折射誤差在天頂方向大約2.3公尺，在仰角10度時其影響量約為20公尺，而對流層延遲可分為乾的部份及溼的部份；乾的部份約佔總延遲量的90% (Wells et al., 1986)。在經模式修正後，其中90%可獲得有效之修正，剩下的誤差，若能再配合其他氣象觀測，當可修正到最小，故修正後殘留的誤差對基線影響不大；若全不修正而忽略之，其影響水平坐標才約為 10^{-6} 左右；但對高程的影響則會有 $dh=dr/\cos Z_{\max}$ 之關係，若衛星可觀測最大天頂距取70° (截角為20°) 則天頂方向的誤差對高程約有3倍的影響 (Beutler et al., 1988)。本研究所採取的方法為：利用取自中央氣象局之氣象資料以獲得較準確的模式值，再配合附加參數法，即引入一個天頂尺度因子，以允許對流層因時間變化產生的天頂延遲。經實際驗證，即使在高差大的區域亦可獲得良好的成果。

2.1.5 電離層延遲誤差

由於GPS 電磁波經過電離層時會產生延遲現象，其延遲量大小，隨每日的、每年的、季節的、緯度的變化而變，也會隨地磁或太陽風大小而增減；且 L_1 、 L_2 的延遲大小並不相等，故吾人可利用雙頻觀測消除電離層對頻率的第一階效應。若係單頻觀測則可利用廣播的模式修正或使用測站間之差分法消除共同的電離層效應，在小區域差分後，大致上仍有1 ppm左右之誤差 (Wells et al., 1986)，然在大區域時則差分法效果不彰。若利用雙頻觀測所推求的全電子含量 (TEC) 來修正，應可得優於差分法之結果。其電離層影響量見表 2-1。

表 2-1 最大垂直向電離層誤差 (單位：m)

頻率	1 階影響量($1/f^2$)	2 階影響量($1/f^3$)	3 階影響量($1/f^4$)
L_1	32.5	0.036	0.002
L_2	53.5	0.076	0.007
L_3	0.0	0.026	0.006

2.1.6 整數週波未定值求解誤差

只要接收儀在觀測時段內維持"鎖定狀態" (Lock on) 則未定值始終保持為一整數常數，對不同的衛星則有不同的未定值。對未定值之處理方式為：以實數來推求，視為實數或選最接近之整數並固定之，或聯合"相位"和"電碼"觀測量推求 (Blewitt, 1989; Dong and Bock, 1989) 或搜尋最佳之整數解 (Gurtner et al., 1985) 或用時間差分法 (Between epoch difference) 消去未定值；各法皆有其長，在此不比較其優劣。在本研究中，採用 QIF (Quasi Ionosphere-Free) 進行 L_1 及 L_2 整數未定值 n_1 及 n_2 之搜尋，而 QIF 之作法就是將 L_1 和 L_2 作線性組合成無電離層效應之觀測量 L_3

$$L_3 = \rho + \beta_3 = \rho + \frac{c}{f_1^2 - f_2^2} (f_1 n_1 - f_2 n_2)$$

利用最小二乘法求解 L_1 及 L_2 之實數解未定值 b_1 及 b_2 並計算相應之 Ionosphere-free

bias $\tilde{\beta}_3$

$$\tilde{\beta}_3 = \frac{c}{f_1^2 - f_2^2} (f_1 b_1 - f_2 b_2)$$

此 bias $\tilde{\beta}_3$ 可表為所謂 “narrow - lane” 方式，整理後得

$$\begin{aligned} \tilde{b}_3 &= \frac{\tilde{\beta}_3}{\lambda_3} = \frac{\tilde{\beta}_3}{(c/(f_1 + f_2))} = \frac{f_1}{f_1 - f_2} b_1 - \frac{f_2}{f_1 - f_2} b_2 \\ &= \beta_1 b_1 + \beta_2 b_2 \end{aligned}$$

其中， $\lambda_3 = \frac{c}{f_1 + f_2} \approx 11cm$

可將 “正確” 的整數未定值代入上式中

$$b_3 = \beta_1 n_1 + \beta_2 n_2$$

並與實數解 \tilde{b}_3 作比較，兩者相減之差值當作判定指標

$$d_3 = |\tilde{b}_3 - b_3|$$

由於可能很多組 (n_1, n_2) 能滿足 d_3 之門檻值 (threshold)，這些 “可能的” 未定值解，將集中在一條很窄的帶中，此帶的線中心即

$$\beta_1 n_1 + \beta_2 n_2 = \tilde{b}_3$$

若能限制 (n_1, n_2) 的搜尋帶寬 (search range)，則唯一的正確解將可獲得。

實際上，在搜尋時，配合 wide-lane 搜尋即 (n_1, n_5) 將可大大地降低搜尋範圍，可有效地找到最佳的 (n_1, n_2) 。在搜尋時，為了有效控制電離層效應，在本軟體中採用 “每一衛星及測站在每一時刻” 皆有一電離層效應 $I_r^s(t_j)$ ，再沒有任何約制下即等於 Ionosphere - free 觀測。可是若吾人要求解整數未定值，則必須將 $I_r^s(t_j)$ 控制在公分間，通常實際作法就是引入一虛擬觀測作條件約制，

$$I_r^s(t_j) - I_{r,apr}^s(t_j) = 0$$

真正的 $I_{r,apr}^s$ 先驗值可自實求模型中獲得，一般經驗在大多數例子中 (基線在 500 km 以內)， $I_{r,apr}^s(t_j) = 0$ 就夠用了。由於每顆衛星每一時刻皆有一未知數，數量過於龐大，因此，利用預先消去法之技巧，把與時刻有關之 I 消去。對於基線若大於 500km 以上時，則先求得一個以球諧函數表示之電離層模型提供給 QIF 求解之條件約制量。再求得 L1 及 L2 之整數未定值 n_1 及 n_2 後，代入 Ionosphere - free 觀測方程式 L3 中，開始求解其餘各未知參數。

2.1.7 跳週之影響

接收儀在觀測期間，持續維持"鎖定狀態"則稱無跳週，但有時因多路徑效應，或電離層變化劇烈，或因間歇性阻擋電波進入接收儀，或都卜勒效應或SA，或訊雜比(SNR)太小；停電中斷，以致發生跳週；有些跳週值很大，有些很小只有數個週波而已，對跳週值之處理有些軟體在前處理(pre-processing)時作跳週偵測並補償；有些軟體每遇一次跳週則增加一未定值參數來求解；在本研究中採用先行作前處理，作跳週之偵測並補償；若不能補償則新增一未定值參數於後級處理中再和其他參數一併求解。若跳週值偵測不出；或補償錯誤則會對未定值及基線解造成負面的效果。所以有效地消除跳週乃是提高精度的基本要項；而消除跳週最好的方法則是事前選用穩定性高、品質好的接收儀進行觀測，並慎選測站環境避免多路徑效應及阻擋，同時作業人員應避免在天線附近；讓可能發生的跳週降到最低，剩下的才以多項式密合(fitting)或微分法(一次微分，二次微分)或三次差等方式進行偵測與補償(Wells et al., 1986)。

2.1.8 相位中心與多路徑

相位中心的移位只能以率定方式推求或天線觀測時每次皆固定同一方位，以降低其效應，雖然多路徑效應經長期(2~3天以上)觀測可以用模式加以推求，但最好的方法則是選擇一良好的測站環境才是上策，或選用能有效降低多路徑效應的天線。

第二節 GPS 資料處理之過程

GPS 資料的處理是採用 Bernese 4.2 版 GPS 軟體為之，此軟體是由瑞士伯恩大學天文研究所(Institute of Astronomy, University of Berne)所開發的。除一般性 GPS 處理功能外，另有計算軌道參數、極運動(Polar motion)參數、電離層模式推求、對流層折射附加參數與模擬 GPS 資料之功能[Rothacher and Mervart, 1996]。「土地測量局 GPS 監測網」之 GPS 衛星測量資料計算處理流程是以同時段觀測量一併求解，如圖 2-1 所示。在本研究中，對 GPS 資料之處理可分為前處理(Pre-Processing)與後處理(Post-Processing)。前處理之概略流程如下：

- (1) 將原始資料轉成 RINEX 格式，再轉成 Bernese 格式。

- (2) 自精密星曆中萃取出各衛星之時錶修正量以供後續處理之用。
- (3) 將精密星曆轉成表列型式，再組成 Bernese 格式之軌道。其中組軌道之原則：利用每天之精密星曆，組成 24 小時之軌道，包括 6 個刻卜勒軌道元素與 2 個 ROCK4/42 模式之太陽輻射參數。作為資料修編與後處理之用。
- (4) 進行電碼資料之檢查，剔除錯誤觀測量。
- (5) 利用電碼資料進行單點定位，計算測點坐標及接收儀時間誤差量，並將時間修正於相位資料中，以便接收儀之時間能準確至 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 秒左右。
- (6) 組成獨立的基線網一次差觀測量，即將所有測站依最短基線與最多觀測量之原則，組成線性獨立的一次差觀測量。
- (7) 利用精密星曆與衛星時錶資料進行資料之修編、跳週之補正(Cycle slip editing)、時錶差修正、錯誤觀測量或觀測量不能使用之標示(Mark)。對於跳週之處理，採自動偵測與補償。

而後處理之流程與採用的模式敘述如下：

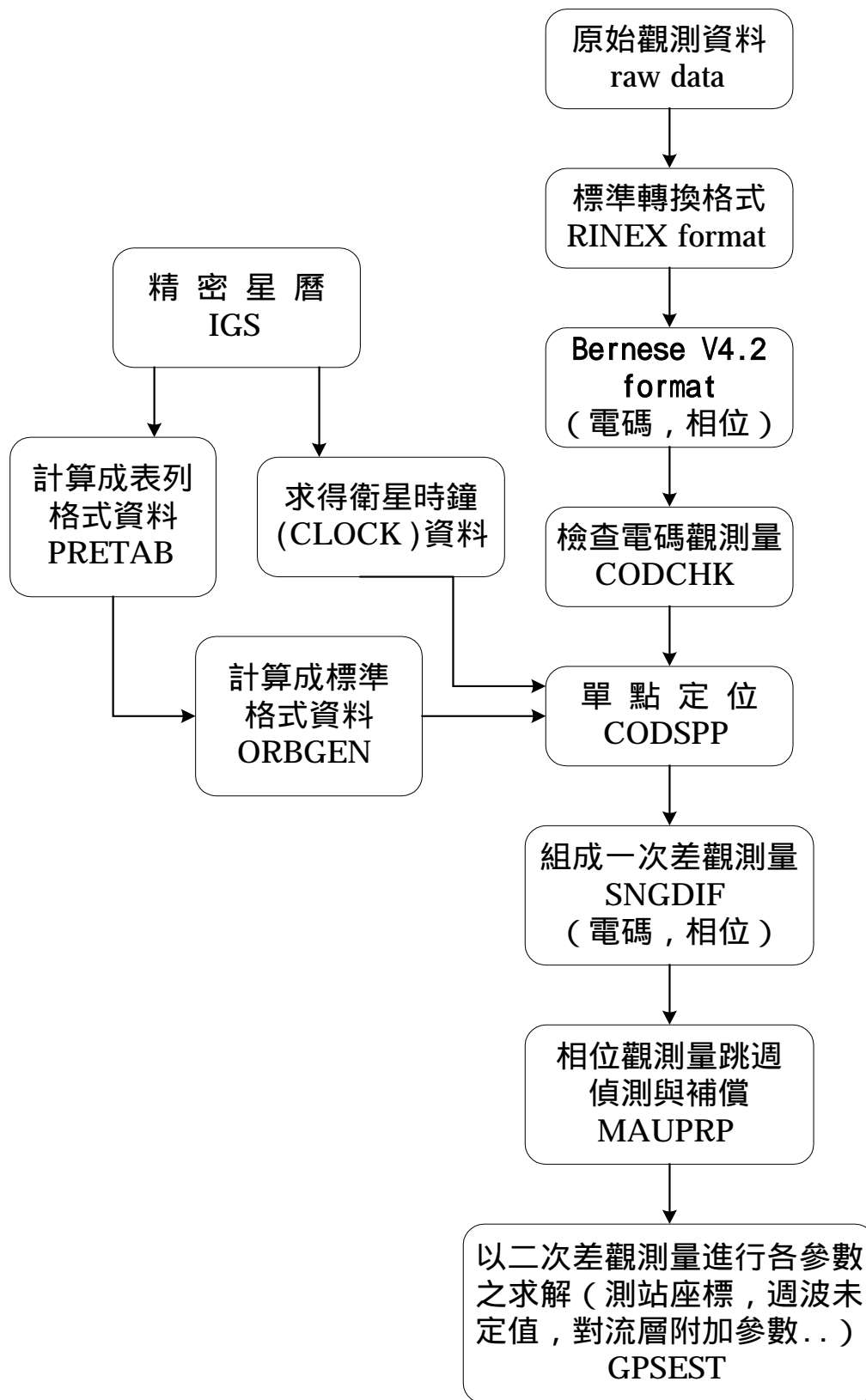
- (1) 軌道部份：採用 IGS 精密星曆。所有軌道參數視為已知，固定之而不加以求解。
- (2) 極運動改正：採用 IERS (International Earth Rotation Service) Bulitine B 公佈值，將 UTC 與 UT1 之差值加以修正之，並將坐標值由瞬間極之坐標系修正至 2000 平均極(CIO)坐標系上。
- (3) 引力位模式：採用 GEM-T 3(8×8)，其中； $C_{21} = -0.17 \times 10^{-9}$ ， $S_{21} = 1.19 \times 10^{-9}$ ， $GM = 398600.4415 \text{ km}^3 / \text{s}^2$ ，日、月引力及地球固體潮(Solid earth tide)也加以考慮。
- (4) 座標系以中研院地球所所佈設之澎湖固定站 S01R，其在 1997.1 年 ITRF97 的座標位置作為計算依據，其座標值為 $X = -2886619.3759\text{m}$ ， $Y = 5082945.0943\text{m}$ ， $Z = 2543377.5668\text{m}$ ，將來亦可透過 ADDNEQ 處理，將監測網固定於任何座標框架上，S01R 的座標，於參數求解時，採先驗權值(A Priori Information)方式，加權參數在估算中比重，亦即對 S01R 座標並不給予固定，而是在三個座標分量給予極大之等量權作為

約制，亦即利用先驗標準偏差 $\sigma_0=0.0001\text{m}$ 加以約制，俾便將來透過 ADDNEQ作調整或轉算。

- (5) 對流層折射修正：採用Saastamoinan模式以該月份海平面平均氣象值推算至測點，再加以修正；並利用附加參數，以各測站每2小時增加1個參數之方式，加以吸收殘留的對流層折射誤差。
- (6) 觀測資料選定仰角15度以上部份才用之於計算，此乃為避免在低仰角度觀測時伴隨的較大雜訊(Noise及multipath)所造成之影響。
- (7) 相位未定值求解之過程，乃先利用實數解求得一精確之坐標(或利用以前計算過之坐標值)，然後採用 QIF (Quasi Ionosphere-Free) 方法，求得 L_1 和 L_2 的整數週波未定值，再組成"ionosphere free" L_3 ，並將解得 L_1 和 L_2 的整數週波未定值代入無電離層效應之觀測方程式中(L_3)，開始求解其餘各未知參數。

吾人在計算測站坐標時，是採每天資料計算成一組坐標；再將每天坐標彙整，進一步分析坐標隨時間之變化。

圖 2-1 : GPS 衛星資料之處理流程



第三章 GPS衛星測量外業與觀測成果

第一節 外業觀測與平差

土地測量局GPS監測網共施測六次GPS衛星外業測量，其施測時段及所用儀器如下：

- (一) 1999年12月13日-1999年12月21日(DoY: 347-355)實施，使用TRIMBLE 4000 SSE/SSI型衛星測量儀同步施測，觀測時段為15小時，取樣間隔為15秒，記錄仰角10度以上之衛星資料。施測點數為95點，如圖3-1所示，並列於表3-1。
- (二) 2000年02月22日-2000年02月24日(DoY: 053-055)實施，使用TRIMBLE 4000 SSE型衛星測量儀同步施測，觀測時段為08:00-11:00計3小時，其中053、054於14:00-17:00，實施第二階段3小時觀測，取樣間隔為15秒，記錄仰角15度以上之衛星資料。施測點數為47點。
- (三) 2000年03月27日-2000年03月31日(DoY: 087-091)實施，使用儀器主要為TRIMBLE 4000 SSE型衛星測量儀，另有2-3部NOVATEL PDCSTD及LEICA SR9500型衛星測量儀混合使用，觀測時段除087為11:00-17:00計6小時，其餘皆為09:00-17:00計8小時，取樣間隔為5秒，記錄仰角15度以上之衛星資料。施測點數為44點。
- (四) 2000年04月25日-2000年04月28日(DoY: 116-119)、2000年05月01日-2000年05月05日(DoY: 122-126)實施，使用儀器為TRIMBLE 4000 SSE及NOVATEL PDCSTD型衛星測量儀，觀測時段為09:00-17:00計8小時，取樣間隔為15秒，記錄仰角15度以上之衛星資料。施測點數為84點。
- (五) 2000年07月10日-2000年07月20日(DoY: 192-202)實施，其中198未作業，使用儀器主要為TRIMBLE 4000 SSE型衛星測量儀，觀測時段為09:00-17:00計8小時，取樣間隔為15秒，記錄仰角15度以上之衛星資料。施測點數為57點。
- (六) 2000年12月4日-2000年12月15日(DoY: 339-350)實施，其中344、345未作業，使用儀器主要為TRIMBLE 4000 SSE/SSI型衛星測量儀，觀測時段為09:00-16:00計7小時，取樣間隔為15秒，記錄仰角15度以上之衛星資料。中研院地球所於11月29日-12月7日(DoY: 334-342)，亦配合實施觀測作業，觀測時段為09:00-22:00計13小

(七) 時，共計觀測G099、S164、S165、G098、S030、M525、AF22、6389、S038、M961、M509、M959、M487、AF04、AF06、M400等16點，其取樣間隔亦為15秒，記錄仰角15度以上之衛星資料。本次施測點數合計為90點。

中研院地球科學研究所為觀測中部地區地震後點位移情況，於該區域佈設PINT、I007、S167、S016、WUFN、5936、KZ0N等24小時連續觀測GPS參考站(見圖3-1)，以連續觀測地殼移動狀態，這些站所用儀器為Leica CRS1000，其GPS觀測資料取樣間隔為30秒。於土地測量局六次觀測時段，亦納進此7站連續觀測資料一起作計算。由震後該7個連續GPS參考站之觀測資料顯示，PINT的位移量較小且觀測較完整，其相對於澎湖連續參考站S01R之震後移位，從1999年12月16日-2000年12月31日期間的資料，推算PINT的平均年移動速度，經度、緯度、高程向分別為-3.9 mm/yr、-11.9 mm/yr、-9.5 mm/yr，而因此各次GPS觀測資料基線向量求解，及後續平差計算，皆以PINT站作為參考站，再由S01R連結至PINT，以推算中部地區各監測站相對於S01R的座標。

土地測量局GPS觀測資料中，有少部分測站同一天資料，分成二個檔案，應是斷電之緣故，資料處理過程若遇此情況，則以資料檔段少於1.5小時捨棄不用，資料檔大於1.5小時者，則將二個RINEX檔案接合成一檔案，進行處理，其次是部份測站由於遮蔽效應影響，跳週波嚴重，無法作資料編修及跳週補正，乃將該類測站刪除，不參予計算。此外亦有數站為未量儀器高，然其平面位置仍可使用，此類測站則納入計算。

表 3-1 歷次觀測點號表，剔除之點號以斜體字表示

第一次觀測點號(95 點)									
305K	5936	AF01	AF02	AF04	AF05	AF06	AF07	AF09	AF11
AF12	AF13	AF14	AF15	AF16	AF17	AF18	AF21	AF22	AF24
AF25	AF26	AF27	AF30	F28C	G037	G038	G039	G040	G041
G042	G044	G045	G090	G091	G098	G099	G102	G104	L140
M003	M007	M043	M044	M045	M049	M075	M081	M085	M089
M093	M300	M312	M314	M315	M324	M345	M360	M365	M395
M398	M400	M402	M408	M426	M428	M430	M479	M482	M486
M487	M493	M501	M509	M714	M805	M808	M906	M907	M908
M909	M910	M911	M916	M918	M959	M961	PINT	S016	S038
S094	S164	S165	S167	WUFN					

第二次觀測點號(47 點)									
5936	A001	M003	M043	M044	M049	M081	M085	M181	M309
M311	M314	M315	M324	M327	M349	M367	M374	M378	M386
M387	M395	M398	M408	M424	M436	M478	M482	M486	M514
M601	M802	M804	M806	M808	M810	M814	M906	PINT	S023
S358	S608	S802	<i>M075</i>	<i>M193</i>	<i>M269</i>	<i>S456</i>			

第三次觀測點號(44 點)									
5936	AF01	AF04	AF05	AF09	AF13	AF14	AF15	AF17	AF21
AF22	AF24	AF27	AF30	F28B	G040	G041	G044	G045	G090
G098	G099	G102	G103	M045	M049	M081	M093	M300	M400
M426	M436	M453	M507	M714	M808	M904	M906	M907	M910
M961	PINT	<i>M075</i>	<i>M322</i>						

第四次觀測點號(84 點)									
5936	AF01	AF05	AF09	AF11	AF13	AF14	AF15	AF16	AF17
AF18	AF21	AF22	AF24	AF25	AF26	AF27	AF28	AF30	G037
G039	G040	G041	G042	G044	G045	G090	G091	G098	G099
G102	G103	G104	M002	M003	M031	M043	M044	M045	M046
M049	M075	M081	M085	M089	M091	M092	M093	M300	M305
M312	M314	M315	M324	M326	M330	M365	M398	M402	M426
M428	M436	M453	479B	M482	M493	M498	M501	M507	M509
M714	M805	M808	M904	M906	M907	M908	M909	M910	M911
M916	M918	PINT	S020						

第五次觀測點號(57 點)									
5936	AF01	AF05	AF11	AF13	AF16	AF21	AF24	AF25	AF26
AF27	AF28	AF30	G037	G039	G040	G041	G042	G044	G090
G091	G098	G099	G102	G103	M003	M043	M044	M045	M075
M081	M085	M093	M300	M312	M324	M326	M330	M402	M426
M453	M479	M493	M501	M507	M509	M714	M805	M808	M904
M906	M907	M908	M911	M916	PINT	<i>M999</i>			

第六次觀測點號(90 點)									
6389	AF01	AF04	AF05	AF06	AF09	AF11	AF12	AF13	AF14
AF15	AF16	AF17	AF18	AF21	AF22	AF24	AF25	AF26	AF27
AF28	AF30	G039	G040	G041	G042	G044	G045	G090	G091
G098	G099	G102	G103	M003	M043	M044	M045	M049	M081
M085	M093	M300	M314	M315	M324	M326	M330	M345	M360
M365	M395	M398	M400	M402	M408	M426	M428	M436	M453
M482	M487	M493	M498	M501	M507	M509	M525	M601	M805
M808	M904	M906	M907	M908	M909	M910	M911	M916	M918
M959	M961	S01R	S030	S038	S164	S165	WUFN	M714	M322

GPS觀測資料之處理計算，乃按前述GPS資料處理流程，採用自動處理方式BPE(Bernese Processing Engine)作計算。唯需加以說明是前處理部份之一次差組成，考量具有不同型衛星測量儀混合施測，故先將同一型衛星測量儀先自組一次差觀測量，再將每一站與固定站PINT組成一次差觀測量，作資料編修及跳週波補正，再依三次差觀測量之權單位中誤差及跳週波、週波未定數、刪除觀測量數量及距離遠近等因子作判斷，選擇最佳站與固定站PINT組一次差觀測量。

各次觀測作業計算成果的基線解，以固定S01R站獨立作一簡易平差，以便於偵錯，現將計算過程及平差結果簡述如下。

(一) 第一次觀測總共觀測95個點，資料處理過程並無異常現象，成果亦相當好，平差過程剔除M479(3501 h)，平差結果南北向(N)、東西向(E)、幾何高(h)中誤差為

$$n=0.0027 \text{ m} \quad e=0.0055 \text{ m} \quad h=0.0129 \text{ m}$$

(二) 第二次觀測總共觀測47個點，資料處理過程，剔除三次差分解中誤差大且跳週波異常之M269(0541,0542)、M193(0542,0551)、S456(0551)等5筆資料，平差過程共計剔除M075(0531 NEh)及(0532 NEh)、M398(0542 NEh)、M482(0541 h)等10個觀測量，南北向(N)、東西向(E)、幾何高(h)中誤差為

$$n=0.0057 \text{ m} \quad e=0.0257 \text{ m} \quad h=0.0285 \text{ m}$$

(三) 第三次觀測總共觀測44個點，其中0891有一測站名稱AF28，但其座標與其它session AF28座標不同，應是擺錯點的關係，將其更名為F28B。資料處理過程，剔除三次差分解中誤差大且跳週波異常M075(0881)、M322(0911)等2筆資料，而M904(0881)、

AF13(0891)、G045(0901)無儀器高，此三筆資料高度亦無法使用，平差過程剔除M907(0871 NEh)，南北向(N)、東西向(E)、幾何高(h)中誤差為

$$\sigma_N=0.0054 \text{ m} \quad \sigma_E=0.0098 \text{ m} \quad \sigma_h=0.0153 \text{ m}$$

(四) 第四次觀測總共觀測84個點，資料處理過程中，剔除三次差分解中誤差大且跳週異常M394(1161)、M999(1231,1251)、M322(1241,1251)等五筆資料，G041儀器高有問題，平差過程剔除M324(1191 h)及(1261 h)、G041(125 h)、M482(1231 h)等4個觀測量，南北向(N)、東西向(E)、幾何高(h)中誤差為

$$\sigma_N=0.0065 \text{ m} \quad \sigma_E=0.0086 \text{ m} \quad \sigma_h=0.0189 \text{ m}$$

(五) 第五次觀測總共觀測54個點，資料處理過程，剔除三次差分解中誤差大且跳週異常而剔除M714(1931)、M075(1931)、M805(1931) M999(1941)等4筆資料，其中AF13(1961)儀器高不正確，平差過程剔除G091(1921 h)、AF13(1961 h)、G098(2021 h)、G099(2021 h)、M426(2021 h)、M493(1961 h)、M081(1951 h)等7個觀測量，南北向(N)、東西向(E)、幾何高(h)中誤差為

$$\sigma_N=0.0048 \text{ m} \quad \sigma_E=0.0063 \text{ m} \quad \sigma_h=0.0183 \text{ m}$$

(六) 第六次觀測總共觀測90個點，資料處理過程，剔除三次差分解中誤差大且跳週異常M714(3401,3411)、M322(3471,3481)等四筆資料，平差過程剔除M805(3401 h)，南北向(N)、東西向(E)、幾何高(h)中誤差為

$$\sigma_N=0.0043 \text{ m} \quad \sigma_E=0.0040 \text{ m} \quad \sigma_h=0.0123 \text{ m}$$

中誤差顯示觀測精度良好，多餘觀測數亦夠多，故上述觀測精度具代表性。

第二節 成果分析

為了解觀測時間長短對觀測精度之影響，吾人特將第六次觀測7小時資料截分二段，每段皆為4小時，上半段觀測時間UTC 01:00-5:00，下半段觀測時間UTC 04:00-08:00，此次觀測資料相當完整，除了DoY 350的M909觀測時間05:55-08:04，只分佈於下半段，

其餘各站資料均可截分二段，針對該二段觀測資料分別作基線計算及平差，其平差得座標分量中誤差如下：

上半段： $\sigma_N=0.0056$ m $\sigma_E=0.0078$ m $\sigma_H=0.0162$ m

下半段： $\sigma_N=0.0053$ m $\sigma_E=0.0044$ m $\sigma_H=0.0136$ m

由上資料顯示，二段4小時之觀測精度雖略遜於7小時之觀測精度，然其觀測精確度亦相當不錯，尤其下半段精度，更是與整段精度相當，因此若在觀測環境佳，且慎選觀測時段，觀測時間長度應可略為縮短。

歷次觀測中，總有某些測站有遮蔽影響，為了探討遮蔽效應對座標解算的影響，特選有遮蔽效應的M075於1999年DoY351、2000年DoY 088、117、126、193、337等六天資料解算其座標，並以1999年351的座標作為比較的基準，座標差如表3-2。南北向最大差值為2.8 cm差，東西向差最大差值為10.7 cm，高程向差扣掉儀器高有問題的088，最大差值為14.6 cm，因此遮蔽效應會使座標產生變動，並不適合作為監測站。

表3-2 M075以1999年DoY351為基準的座標差比較表

088	-6	-3	-640
Session (DoY)	DN (mm)	DE (mm)	DH (mm)
117	-28	-107	107
126	-9	-62	9
193	-12	-25	-22
337	-9	34	-146

整體而言，一、二、三、四次觀測之多餘觀測數較少，意即同一次觀測中多數測點無重複觀測。第一次觀測時間長度達15小時，且遮蔽效應影響較小，平面度精度約在3-6 mm，高程精度約在1.5 cm。第五、六次觀測，由於測點的篩選，使遮蔽效應影響變小，及觀測儀器的一致，使其精度提

高，平面度精度約在4-6 mm，高程精度約在1.2-1.8 cm，且幾乎所有測點均重複觀測，多餘觀測數較多，故平差後之中誤差頗能代表真正的觀測精度，觀測精度及可靠度明顯優於二、三、四次觀測。從6次平差結果，應可整合出所有點位座標，然考量點位有震後變形現象，因此僅摘錄第六次觀測點位座標，固定921地震後內政部公佈之陽明山衛星追蹤站座標 $X = -3024807.5839$ m， $Y = 4921747.0887$ m， $Z = 2696033.6610$ m，平差整理出各點位地心座標如表3-3及TWD97座標如表3-4。

表3-5為內政部公佈921地震後二等三角點與第六次觀測之TWD97座標差，由表內顯示縱座標平均差值為2.6公分、橫座標平均差值為5.7公分、高程平均差值為8.1公分，其中車龍埔斷層上盤之點位橫座標的差量約有10-16公分，此應是斷層上盤震後變形西移所造成的差量。

表 3-3 中部地區 GPS 測點套合於內政部陽明山追蹤站座標一覽表

點號	點名	X 座標 (m)	Y 座標 (m)	Z 座標 (m)
1	5936	-3013990.9892	4991076.2114	2580108.8957
2	6389	-3025397.7473	4978921.9566	2595033.3876
3	AF01	-2969730.7380	5028993.1417	2554903.8850
4	AF04	-2964912.7038	5026484.6161	2565291.1855
5	AF05	-2968794.0225	5022788.1604	2568030.5210
6	AF06	-2974838.3869	5020934.8820	2565243.4621
7	AF09	-2959334.1104	5021089.3583	2582070.2840
8	AF11	-2977559.4034	5017884.0996	2567648.4346
9	AF12	-2973307.2758	5020086.4587	2569015.2646
10	AF13	-2977518.4299	5015177.6192	2572920.7492
11	AF14	-2971161.2159	5015316.4267	2579834.2191
12	AF15	-2969720.6105	5011984.9527	2587838.6484
13	AF16	-2972867.4039	5013188.6164	2582002.4765
14	AF17	-2966909.2780	5010410.0783	2594153.7007
15	AF18	-2956326.8400	5013461.9612	2600130.2479
16	AF21	-2960329.0807	5011123.4216	2600192.8693
17	AF22	-2981560.7014	5012404.1614	2574395.7764
18	AF24	-2977896.2291	5010361.0615	2581891.3777
19	AF25	-2978213.7763	5005540.0556	2590807.9849
20	AF26	-2967143.5201	5006908.9896	2600760.5435
21	AF27	-2979173.2366	5007063.6369	2586840.7597
22	AF28	-2967500.1398	5017640.3034	2580012.5200
23	AF30	-2985105.6279	5014089.2286	2566511.3385
24	G039	-2979472.2703	5020643.0440	2560160.7466
25	G040	-2979097.9576	5026396.2231	2549425.4599

台灣中部地區基本控制點變位監測

26	G041	-2980756.2870	5022870.0043	2554353.3089
27	G042	-2987634.7961	5019958.2910	2553083.6345
28	G044	-2984812.2054	5016910.6533	2561425.0465
29	G045	-2976981.8299	5021424.9676	2561868.4014
30	G090	-2957175.8235	5007900.4562	2609820.3435
31	G091	-2957953.0843	5003854.0084	2616628.0717
32	G098	-2988200.9163	4991133.0034	2607933.0017
33	G099	-2989751.3967	4996555.9144	2595803.8526
34	G102	-2977371.7828	4997047.9505	2608654.0734
35	G103	-2972100.2057	5001988.3398	2604713.4681
36	KZON	-2977526.7765	5015224.6624	2572838.9000
37	M003	-2946794.4402	5040949.3551	2557779.8433
38	M043	-2987861.8068	5000514.2198	2591828.0516
39	M044	-2963264.4708	5013709.4848	2592354.1131
40	M045	-2964387.1416	5001517.1163	2614394.4970
41	M049	-2954704.4585	5026889.7110	2576133.9698
42	M081	-3001952.4102	4999644.1677	2575875.9981
43	M085	-2972598.4821	5019431.0664	2571131.0407
44	M093	-2963358.5384	5036605.5024	2547280.9999
45	M300	-2950379.3267	5027236.0207	2580363.0257
46	M314	-2978644.1975	5006654.9805	2588902.3266
47	M315	-2975667.5844	4998211.9662	2608725.2746
48	M324	-2975324.8649	5002520.5609	2600762.5206
49	M326	-2959703.4911	5009553.1923	2604022.9804
50	M330	-2980806.0046	4999010.0492	2601184.4794
51	M345	-2978053.3535	5005156.4245	2592554.1534
52	M360	-3001161.9304	5006178.7102	2565147.8607
53	M365	-2970554.6974	5017429.9738	2576730.7801

54	M395	-2965355.8133	5017012.3495	2583622.8161
55	M398	-2979661.8038	5015913.7847	2569531.4335
56	M400	-2989763.5199	5023368.1074	2546314.7871
57	M402	-2993057.2765	4998738.1063	2588970.6388
58	M408	-2994976.3677	5014330.2327	2556010.1510
59	M426	-2995331.5873	4999923.4958	2583334.7117
60	M428	-2962143.9926	5004323.8607	2611457.5480
61	M436	-2976335.4796	5010029.4843	2584590.2977
62	M453	-2953985.8842	5018193.0790	2593717.4796
63	M482	-2977424.8194	5014428.1788	2575043.2657
64	M487	-3021414.0722	4982754.7654	2591215.5398
65	M493	-2983490.2477	5020785.6422	2555679.6775
66	M498	-2982885.0808	5025855.9113	2547137.4527
67	M501	-2996141.9163	5004550.0995	2573662.8169
68	M507	-2997414.4568	5015683.9896	2550700.9423
69	M509	-2998530.2023	5010539.9386	2559868.4373
70	M525	-2977826.4109	4993207.9938	2616584.2243
71	M601	-2981060.2547	5010390.0615	2578718.2088
72	M805	-2970866.8910	5007380.3662	2595619.2454
73	M808	-2972679.9526	5009419.7563	2589505.3291
74	M904	-2961491.2440	5006255.6918	2608536.2465
75	M906	-2954998.5513	5012124.1325	2604192.0394
76	M907	-2969021.1072	5013802.6040	2585155.0884
77	M908	-2960276.2405	5021680.8628	2579862.8637
78	M909	-2953542.9891	5025953.2108	2579256.6707
79	M910	-2952364.5986	5029418.1086	2573878.6268
80	M911	-2954763.9329	5031323.3616	2567461.1809
81	M916	-2969918.2688	4999542.9714	2611881.8815

台灣中部地區基本控制點變位監測

82	M918	-2960625.9170	5024739.7745	2573552.6583
83	M959	-3018562.7738	4987710.7563	2581833.4225
84	M961	-3015164.7464	4992005.5823	2576714.9783
85	PINT	-2976963.4194	5025645.9289	2553711.1186
86	S016	-2981675.8263	5001238.6105	2596788.3188
87	S01R	-2886619.3785	5082945.0249	2543377.5671
88	S030	-2999727.1359	4986958.8447	2607737.9502
89	S038	-3021871.8049	5001300.4836	2554370.3270
90	S164	-2975521.2141	5011345.2069	2582568.2146
91	S165	-2975295.8599	5011458.0974	2582593.3683
92	S167	-2998222.4946	5002905.1920	2573906.7975
93	WUFN	-2975451.0567	5011352.5079	2582656.6004
94	YMSM	-3024807.5839	4921747.0887	2696033.6610

表 3-4 TWD97 座標一覽表

點號	點名	縱座標 (m)	橫座標 (m)	高程 (m)
1	5936	2656462.5045	262896.4032	1267.4351
2	6389	2671934.8767	278920.1626	3262.1741
3	AF01	2629491.6158	205437.3934	75.7830
4	AF04	2640863.7373	202599.5283	54.2920
5	AF05	2643841.7401	207829.9953	57.4710
6	AF06	2640676.4314	213966.3852	285.3460
7	AF09	2659240.4004	200596.4186	30.1560
8	AF11	2643366.5092	217868.7778	128.4930
9	AF12	2644738.3977	213091.8822	431.8210
10	AF13	2649134.5661	219227.4243	119.6450
11	AF14	2656732.8874	213706.9895	75.6740
12	AF15	2665507.7744	214187.8060	50.5150
13	AF16	2659097.8727	216265.2016	81.1970
14	AF17	2672414.1643	212589.4802	87.4360
15	AF18	2679026.7749	201946.9594	21.8200
16	AF21	2679060.5894	206582.0470	66.0740
17	AF22	2650602.2902	224121.5252	426.8200
18	AF24	2658928.6697	222031.8754	159.9870
19	AF25	2668687.5277	224786.7835	162.9950
20	AF26	2679620.4050	214593.6754	155.7370
21	AF27	2664331.5837	224824.5850	185.8380
22	AF28	2656852.4535	209373.5234	271.5160
23	AF30	2642070.3291	226291.1140	210.6160
24	G039	2635164.5335	218087.6137	162.6960
25	G040	2623431.2567	214804.1308	190.0790
26	G041	2628814.4955	218041.3120	171.8740

台灣中部地區基本控制點變位監測

27	G042	2627230.9137	225437.7890	585.7980
28	G044	2636502.3058	224586.7531	233.4970
29	G045	2636973.8248	215551.1899	305.5650
30	G090	2689639.3686	205538.9460	30.5770
31	G091	2697105.9347	208289.0525	23.1800
32	G098	2687258.4022	240766.3213	569.8620
33	G099	2673964.8515	239302.5957	561.1510
34	G102	2688124.1908	228439.3176	433.8960
35	G103	2683907.8658	221376.3520	226.5780
36	KDNM	2427973.5890	227485.4263	58.2230
37	KZON	2649041.6605	219210.3882	127.2880
38	M003	2632754.0950	179619.5632	36.4640
39	M043	2669348.1232	235646.2198	1149.6479
40	M044	2670383.2524	207767.3800	249.0520
41	M045	2694530.8251	215008.5240	255.1310
42	M049	2652765.3710	193640.9304	36.0160
43	M081	2652131.2973	248168.6861	578.4380
44	M085	2647047.9001	212821.9861	443.9210
45	M093	2621208.7647	196054.9593	49.1950
46	M300	2657413.8252	189755.2141	27.8410
47	M314	2666467.4698	224582.7026	459.8860
48	M315	2688139.6899	226379.8826	579.8840
49	M324	2679436.7603	223867.2372	524.1180
50	M326	2683237.5127	206854.8554	115.3380
51	M330	2679897.8424	230372.3764	504.1950
52	M345	2670449.0623	224848.1849	501.1380
53	M360	2640221.2297	244126.7121	978.9800
54	M365	2653288.3002	212099.3631	192.4110

55	M395	2660818.3003	207858.9168	251.5070
56	M398	2645333.3368	220686.2982	323.8290
57	M400	2619419.2450	225509.9376	1543.1180
58	M402	2666269.6560	241012.7120	1025.1290
59	M408	2630328.9735	234628.2094	781.7160
60	M426	2660233.0864	242350.9456	721.5360
61	M428	2691339.8969	211640.2380	203.2860
62	M436	2661836.3617	220865.4581	271.4190
63	M453	2672009.9140	197503.9061	29.1650
64	M482	2651354.3735	219534.2401	348.9060
65	M487	2667948.6255	273536.3304	2804.7539
66	M493	2630180.7563	221458.7121	343.8350
67	M498	2620738.7497	218330.3523	613.7600
68	M501	2649616.9138	240663.1191	794.2160
69	M507	2624497.6328	236020.6741	851.6650
70	M509	2634430.6346	239625.8989	1030.3840
71	M525	2696607.8803	230807.7884	908.7470
72	M601	2655357.3105	224729.5733	368.3130
73	M805	2673979.8147	217542.1407	150.5450
74	M808	2667304.4710	218045.5460	94.8490
75	M904	2688134.6976	210085.9618	212.7000
76	M906	2683481.7986	201497.4573	23.1420
77	M907	2662569.3168	212652.2131	57.8500
78	M908	2656820.4148	201099.3392	33.7630
79	M909	2656187.6877	193127.6552	30.5710
80	M910	2650313.8090	190333.0682	29.0670
81	M911	2643284.7626	191408.4911	38.8450
82	M916	2691765.2096	220765.6755	244.1420

台灣中部地區基本控制點變位監測

83	M918	2649916.5591	199823.7107	38.7180
84	M959	2658252.9115	268546.1991	1499.1630
85	M961	2652793.1623	263423.9013	1168.3409
86	PINT	2628055.2093	213361.8386	328.1470
87	S016	2674922.3113	229971.3316	854.1690
88	S01R	2617554.6343	106396.6928	49.8050
89	S030	2686110.9927	252792.8972	2633.3430
90	S038	2627747.7057	264382.3082	2574.5249
91	S164	2659701.3701	219489.1986	100.6320
92	S165	2659732.2014	219237.8829	94.4610
93	S167	2649977.1865	243292.9023	580.7190
94	WUFN	2659794.2498	219425.3509	109.6640

表 3-5 內政部公佈 921 地震後二等三角點與第六次觀測之 TWD97 座標差一覽表

點號	點名	縱座標差 (cm)	橫座標差 (cm)	高程差 (cm)
1	M400	5.70	-15.84	6.90
2	M498	-0.03	-5.77	2.60
3	M093	-0.93	4.33	-12.10
4	M507	4.98	-14.19	10.40
5	M493	-0.07	-5.39	-4.50
6	M408	5.35	-16.46	24.10
7	M003	-0.20	3.62	-8.00
8	M509	8.06	-14.21	19.70
9	M360	6.27	-15.99	9.40
10	M911	-0.64	3.81	-13.70
11	M398	-1.42	-2.58	-4.00
12	M085	-1.19	1.31	-3.90
13	M501	9.18	-12.19	5.10
14	M918	-1.89	1.47	-16.30
15	M910	-0.60	3.32	-4.10
16	M482	2.55	-6.09	-5.00
17	M081	6.13	-15.79	-4.30
18	M049	-0.70	1.64	-9.90
19	M961	3.23	-12.87	-2.21
20	M365	-0.58	-0.29	-7.20
21	M601	-2.75	-6.57	-19.00
22	M909	-0.73	2.12	-6.70
23	5936	6.55	-15.68	12.81
24	M908	0.28	2.32	-7.70
25	M300	-0.58	2.61	-5.80
26	M959	3.05	-12.29	-1.10

台灣中部地區基本控制點變位監測

27	M426	7.14	-10.24	-6.60
28	M395	-0.87	1.78	-7.30
29	M436	1.07	-2.69	-9.80
30	M907	-0.12	0.41	-11.60
31	M402	5.10	-12.40	4.30
32	M314	2.88	-2.74	-5.50
33	M808	0.00	-0.50	-7.40
34	M487	4.15	-4.36	8.49
35	M043	3.02	-6.62	-5.61
36	M044	-0.56	1.10	-8.70
37	M345	-7.57	-7.71	-19.50
38	6389	6.77	-6.14	2.21
39	M453	-1.20	2.71	-9.70
40	M805	0.07	1.17	-11.50
41	S016	-0.87	-9.94	-12.20
42	M324	-1.07	-4.18	-8.30
43	M330	3.14	-5.96	-6.20
44	M326	-1.03	3.24	-7.00
45	M906	-1.64	2.43	-9.00
46	S030	8.17	-0.28	-2.70
47	M904	-1.34	2.48	-8.10
48	M315	0.69	1.36	-5.10
49	M428	-0.81	2.10	-3.80
50	M916	-1.94	2.85	-5.00
51	M045	-1.39	3.30	-9.30

第四章、位移量分析

平差理論中逐次平差估計方式(Sequential Least-Squares Estimation)，可將數個獨立不相關的觀測量群，先以個別觀測量群組成子法方程式，再將各子法方程式加以堆疊得到整個法方程式，以求解完整的共同未知參數。其簡單理論如下，

二群獨立不相觀觀測量 L_1 、 L_2 ，其觀測方程式為

$$\begin{aligned} L_1 + E_1 &= A_1 X_c & \text{權矩陣} &: P_1 \\ L_2 + E_2 &= A_2 X_c & \text{權矩陣} &: P_2 \\ L_3 + \dots & & & \end{aligned} \quad (4-1)$$

其中 L_1 、 L_2 ：為觀測量矩陣

E_1 、 E_2 ：為觀測量改正數矩陣

A_1 、 A_2 ：為設計矩陣

X_c ：為共同待解參數

(4-1)式按最小二乘法理論，可推導其法方程式

$$[A_1^T P_1 A_1 + A_2^T P_2 A_2 + \dots] [X_c] = [A_1^T P_1 L_1 + A_2^T P_2 L_2 + \dots] \quad (4-2)$$

$$N_1 = A_1^T P_1 A_1, \quad N_2 = A_2^T P_2 A_2, \quad N_3 =$$

$$U_1 = A_1^T P_1 L_1, \quad U_2 = A_2^T P_2 L_2, \quad U_3 =$$

由(4-2)發現，吾人可將各獨立觀測量群，所組之子法方程式 N_1 、 U_1 、 N_2 、 U_2 等矩陣儲存，視需要再加以堆疊，求解待解共同參數 X_c ，如此便可將大型平差系統，拆成數個小型平差系統，這不僅可提高執行效率及便於偵錯，亦可透過儲存法方程式，方便於資料交換及資料儲存管理。

Bernese軟體中參數估計程式GPSEST，在參數求解過程中，可同時將各session觀測量所組成之法方程式，先消去一些將來不會再估計的參數，如對流層等參數後，將法方程式儲存，將來可透過ADDNEQ子程式(如式4-1,4-2)，將所儲存法方程式加以堆疊，視需要亦可以附加參數方式，引進須要參數，進行解算。茲將中部監測網站位速度估計方式簡述如下：

- (一) 將一次觀測(campaign)中的各天(session)資料，按2.2節GPS資料處理過程，約制於S01R求解座標等參數，在求解過程同時將法方程式中，的對流層參數消去後，再將各天的法方程式儲存。
- (二) 將同一次觀測各天的法方程式，透過ADDNEQ程式作法方程式堆疊，解算得各次觀測座標解(campaign solution)，此座標解相當於將各天的座標成果配合完整權係數矩陣，作一嚴密平差的結果，同時得到整次觀測法方程式並儲存之。
- (三) 利用各次觀測法方程式，透過ADDNEQ程式整合，再利用座標當虛擬觀測量，以附加參數方式，引進站位速度參數 V_k ，約制S01R的座標及速度以求解各站位的座標及速度。中部地區監測網之速度推算，僅使用第一、三、四、五、六次觀測資料，第二次觀測資料，因精度較差，則捨棄不用。

$$R_i = V_k(t_i - t_0) + K - L_i \quad (4-3)$$

R_i ：第*i*次觀測座標改正數

V_k ：第*k*測站站位速度

t_i ：第*i*次觀測時刻

t_0 ：參考時刻

L_i ：第*i*次觀測座標

K ：平差待估計的座標參數

第一節 固定參考站之位移量

PINT、I007、S167、S016、WUFN、5936、KZON、SUNM、YUSN等GPS固定站，為24小時連續觀測，觀測時間長，且各站透空度良好，可解算出這些站每天的精確座標，摘取與6次觀測約相同時間段，從1999年12月16日(DoY:350)-2000年12月31日(DoY:365)約一年資料，計算出每天的座標，雖然某些站之某些時間因設置時間較晚，或儀器、人為因素造成無觀測資料，然而由連續座標依然可看出這些站連續位移量(圖4-1)。約制S01R站的座標及速度，計算其它各站相對S01R各分量的速度及其中誤差，因這些站為24小時連續觀測，解算之每天座標非常精確，依此推算出之位移量亦應精準，足堪作為該區域變位之參考。由圖4-1、表4-1可發現震後該地區有向西及西北移動的趨勢，位於斷層上盤的I007、S167、S016、5936、SUNM向西約有9-12 cm之平均年移動量，5936、S167、SUNM、YUSN向北約有4-6 cm之平均年移動量，高程向I007、S167、SUNM約6-7 cm之平均年上升量。

圖4-1：中部地區連續觀測站相對於S01R之地殼移動狀態

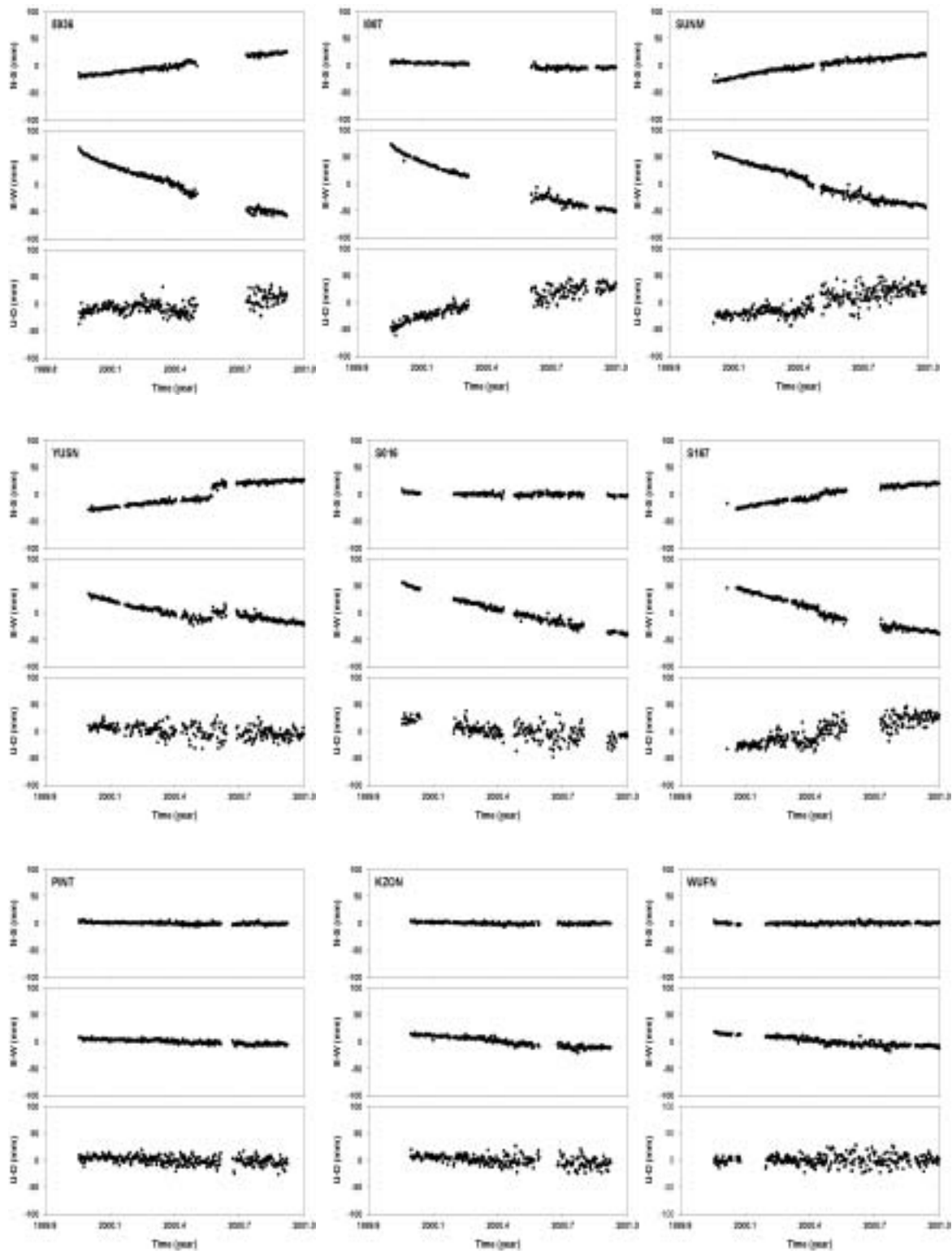


表 4-1 1999 年集集地震 15 個月內中部地區各連續觀測站相對於 S01R 之速度分量

點號	V_N (mm/yr)	V_E (mm/yr)	V_h (mm/yr)	V (mm/yr)	Azimuth (°)
5936	48.0±0.5	-121.0±1.0	25.7±2.3	-130.2±0.9	291.6
I007	-12.3±0.4	-111.1±1.1	70.3±1.7	-111.8±1.1	263.7
KZON	-3.5±0.4	-31.0±0.7	-15.9±1.7	-31.2±0.6	263.6
PINT	-3.9±0.3	-11.9±0.4	-9.5±1.4	-12.5±0.4	251.9
S016	-4.5±0.6	-89.8±1.0	-33.4±2.7	-89.9±1.0	267.1
S167	51.1±0.7	-91.8±1.1	65.2±2.3	-105.1±1.0	299.1
SUNM	49.0±0.6	-108.0±1.1	63.1±2.3	-118.6±1.0	294.4
WUFN	1.2±0.4	-26.1±0.7	1.3±1.8	-26.1±0.7	272.6
YUSN	64.9±1.1	-43.6±1.3	-16.2±1.9	-78.2±1.2	326.1

註: $V=(V_N^2+V_E^2)^{1/2}$

第二節 監測點之位移量

針對土地測量局第一、三、四、五、六等5次觀測平差的座標，亦約制S01R站，計算其他各站相對於S01R的南北向、東西向座標分量。選擇重複觀測2次以上點位座標分量參與速度計算，並利用座標改正數篩選不適用的座標分量後，推算出觀測2次以上點位之速度向量，列如表4-2，其水平速度及誤差橢圓如圖4-2。圖中顯示，車籠埔斷層東側(上盤)位移較明顯，南邊測點位移速度最大達13 cm，向北遞減為2 cm，而雙冬斷層東側則平均為8 cm。相對的車籠埔斷層西側(下盤)位移較不明顯，平均皆低於2cm。為比較斷層兩側之位移速度，選擇靠近斷層由南而北9對點(A區)，及東西向遠離斷層6對點(B區)，如圖4-3，分析其水平速度分量，並與連續觀測站之結果作比較。

- (1) 靠近斷層A區，東側由南而北有G042、G044、AF30、AF22、AF24、AF27、AF25、M324、M075等9點，西側由南而北有G040、G041、G039、AF11、AF16、M805、M808、G102、M714等9點，在斷層東側南北向分量，南邊平均約有4-6 cm的年北移量，往北則趨於緩和，東西向分量靠近南邊平均約有10-13 cm的年西移量，往北亦趨於緩和，與連續觀測站I007、S016移位類似。斷層西側南北向分量則無明顯變化，東西向分量靠近南邊平均約有2-3 cm的年西移量，往北則趨於緩和，與連續觀測站KZON、WUFN移位類似。各速度分量的變化情形如圖4-4、4-5所示。
- (2) 東西向遠離斷層B區，東側由南而北有M509、M501、M081、M426、M402、G099等6點，西側由南而北有M003、M911、M049、M300、M907、M044等6點，東側南北向平均約有3-7 cm的年北移量，東西向分量平均約有8-12 cm的年西移量，東側各測點位移現象與連續觀測站S167、5936相類似，左側各座標分量則無明顯位移，各速度分量如圖4-6、4-7所示。
- (3) 監測網六次觀測涵蓋時間約一年，因此各點位實際位移量即為年移動量。而歷次觀測平差後之平面精度第一、五次、六次為4-6 mm，第三、四次約為10 mm，第二次東西向則達25 mm，高程精度為10-20 mm，若以3倍中誤差計算，則不難發現第二次觀測及高程的精度，並不適合用於計算監測點位變動。而重覆觀測較完整且精確度較高的一、五次、六次，其觀測時間分別為1999年12月、2000年7月、2000年12月，由此三次觀測應可準確估算出該地區於集集大地震後約一年多期間的震後移位。

表 4-2 重複觀測 2 次以上監測點各座標分量速度一覽表

點號	次數	V_N (mm/yr)	V_E (mm/yr)	V (mm/yr)	方位角 ($^\circ$)	a (mm)	b (mm)	θ ($^\circ$)
6389	2	46.6±7.1	-44.8±8.3	64.7±7.7	316.1	7.0	8.5	70.9
AF01	5	-6.0±5.4	2.2±5.3	6.4±5.4	160.1	5.3	5.4	149.4
AF04	3	-18.1±6.3	-0.5±6.3	18.1±6.3	181.7	6.3	6.3	139.4
AF05	5	4.2±5.0	-0.9±5.2	4.3±5.0	348.4	5.0	5.2	90.0
AF06	2	2.3±6.7	-9.4±6.8	9.7±6.8	283.6	6.7	6.8	61.2
AF09	4	0.8±6.9	-3.1±6.8	3.2±6.8	284.0	6.7	7.0	139.0
AF11	4	1.7±5.4	-18.9±5.5	18.9±5.5	275.0	5.3	5.5	78.1
AF12	2	-4.5±7.6	-3.8±7.4	5.9±7.5	219.6	7.2	7.8	148.2
AF13	5	-4.2±6.3	-11.5±6.4	12.3±6.4	250.1	6.3	6.5	59.9
AF14	4	-6.8±5.7	-16.5±5.7	17.8±5.7	247.5	5.7	5.8	52.9
AF15	4	-5.1±6.1	-25.4±6.1	25.9±6.1	258.7	6.0	6.1	136.4
AF16	4	0.2±5.4	-18.8±5.5	18.8±5.5	270.5	5.4	5.5	58.5
AF17	4	2.6±8.0	2.3±7.9	3.5±8.0	40.8	7.7	8.3	140.0
AF18	3	-3.8±7.9	7.6±7.8	8.5±7.9	116.4	7.6	8.1	137.3
AF21	5	-13.4±7.0	11.5±7.3	17.6±7.2	139.3	6.9	7.5	59.1
AF22	4	23.3±5.3	-93.5±5.5	96.4±5.5	284.0	5.3	5.5	66.3
AF24	5	31.1±4.7	-41.8±4.9	52.1±4.8	306.7	4.7	4.9	82.3
AF25	4	5.4±5.7	-24.3±5.8	24.9±5.8	282.5	5.7	5.9	56.7
AF26	4	-0.2±6.2	-3.7±6.2	3.7±6.2	266.9	6.1	6.3	45.5
AF27	5	8.1±8.2	-35.6±8.3	36.5±8.3	282.8	8.0	8.4	125.6
AF28	3	-8.5±10.3	12.6±10.2	15.2±10.3	123.8	10.1	10.4	142.4
AF30	5	49.3±5.5	-142.2±5.7	150.5±5.7	289.1	5.5	5.7	81.9
G037	3	4.3±9.2	-25.9±9.8	26.3±9.8	279.5	9.2	9.8	80.9
G039	4	-9.4±5.6	-25.6±5.8	27.3±5.7	249.8	5.6	5.8	65.0

台灣中部地區基本控制點變位監測

G040	5	-0.3±5.3	-12.5±5.4	12.5±5.4	268.7	5.3	5.4	114.7
G041	5	0.1±5.3	-31.8±5.4	31.8±5.4	270.1	5.3	5.4	110.9
G042	4	19.2±6.2	-133.1±6.4	134.5±6.4	278.2	6.2	6.4	89.9
G044	5	67.2±5.6	-117.9±5.8	135.7±5.7	299.7	5.6	5.8	90.9
G045	4	4.7±5.4	-31.1±5.5	31.4±5.5	278.6	5.3	5.5	120.3
G090	5	-2.3±6.9	4.2±6.8	4.8±6.9	118.2	6.7	7.1	34.9
G091	4	-6.0±7.0	21.2±6.8	22.0±6.8	105.8	6.7	7.1	29.1
G098	5	-0.6±5.4	-32.1±5.7	32.1±5.7	268.9	5.2	5.9	62.6
G099	5	21.3±5.8	-79.2±6.3	82.0±6.3	285.1	5.6	6.4	64.8
G102	5	17.2±5.5	1.5±5.6	17.3±5.5	4.8	5.4	5.7	53.0
G103	4	2.0±8.9	-13.1±8.9	13.2±8.9	278.6	8.7	9.1	137.0
G104	2	2.5±22.5	-53.5±26.3	53.6±26.3	272.7	22.4	26.3	84.8
M003	4	-7.8±5.4	-6.6±5.4	10.2±5.4	220.2	5.3	5.5	126.5
M007	2	-9.5±8.0	-164.5±7.7	164.8±7.7	266.7	7.7	8.0	4.8
M043	4	18.3±5.9	-64.0±6.0	66.6±6.0	286.0	5.8	6.0	59.3
M044	4	-6.8±6.2	8.1±6.5	10.6±6.4	129.9	6.2	6.5	80.0
M045	5	-24.8±6.8	1.3±7.1	24.9±6.8	177.0	6.6	7.3	55.9
M049	4	5.0±6.1	4.1±6.0	6.5±6.1	39.3	6.0	6.1	149.9
M075	3	-14.5±25.6	-44.8±30.7	47.1±30.3	252.0	25.1	31.1	74.1
M081	5	35.7±5.5	-125.8±5.8	130.8±5.8	285.8	5.5	5.8	83.5
M085	4	-6.7±4.4	0.6±4.7	6.7±4.4	174.8	4.4	4.7	86.3
M093	5	-16.3±6.6	-3.3±6.3	16.6±6.5	191.6	6.3	6.6	177.9
M300	5	7.2±5.5	-8.9±5.9	11.5±5.7	309.0	5.5	5.9	97.2
M312	3	-4.7±9.3	-64.0±10.6	64.1±10.6	265.8	8.9	11.0	66.1
M314	3	20.8±6.0	-39.5±6.0	44.7±6.0	297.7	5.8	6.2	132.0
M315	3	12.8±8.2	-9.3±10.2	15.8±9.0	323.8	8.2	10.2	95.8
M324	4	6.8±5.5	-41.4±5.6	41.9±5.6	279.3	5.5	5.6	57.6

M326	3	-18.9±14.9	-14.7±14.9	23.9±14.9	218.0	14.7	15.1	140.7
M330	3	20.4±14.8	-30.3±16.3	36.5±15.8	304.0	14.7	16.4	78.7
M345	2	-78.1±7.8	-77.4±8.1	109.9±8.0	224.7	7.8	8.1	107.8
M360	2	39.9±9.1	-111.8±9.0	118.8±9.0	289.7	7.6	10.3	135.8
M365	3	-7.6±5.9	-3.4±6.0	8.4±5.9	204.2	5.9	6.0	117.6
M395	2	-4.3±4.6	-5.9±4.8	7.3±4.7	233.9	4.6	4.8	100.4
M398	3	-21.3±8.5	-35.3±9.3	41.3±9.1	238.9	8.4	9.4	108.0
M400	3	44.7±6.4	-117.4±6.7	125.6±6.6	290.8	6.3	6.7	110.2
M402	4	38.8±8.3	-95.6±8.8	103.2±8.8	292.1	8.0	9.1	119.9
M408	2	37.0±12.5	-117.3±15.8	123.0±15.5	287.5	12.2	16.0	104.3
M426	5	51.4±6.9	-91.9±7.7	105.3±7.5	299.2	6.9	7.7	102.6
M428	3	-8.8±7.5	-1.1±7.3	8.9±7.5	186.9	7.3	7.5	19.4
M436	3	26.9±13.5	-27.7±18.3	38.7±16.2	314.2	13.1	18.6	104.4
M453	4	-13.4±12.9	0.7±14.5	13.4±12.9	176.9	12.0	15.3	120.7
M479	2	-0.1±9.4	-71.7±10.4	71.7±10.4	269.9	8.9	10.8	59.1
M482	3	21.1±6.3	-56.7±7.5	60.5±7.4	290.4	6.2	7.5	102.1
M487	2	17.7±7.0	-64.3±7.7	66.7±7.7	285.4	6.9	7.8	69.3
M493	4	0.9±9.3	-62.9±11.2	62.9±11.2	270.8	9.1	11.4	106.0
M498	2	-6.8±11.8	-43.5±11.6	44.1±11.6	261.2	11.6	11.8	176.4
M501	4	70.2±5.7	-94.6±5.9	117.8±5.9	306.6	5.7	5.9	95.0
M507	4	37.2±10.8	-92.4±11.2	99.6±11.2	291.9	10.4	11.6	124.8
M509	4	49.4±5.6	-116.8±6.0	126.8±6.0	293.0	5.6	6.1	82.3
M714	4	-7.3±13.6	0.9±13.4	7.4±13.6	172.8	13.1	13.9	37.8
M805	4	-7.1±6.1	-18.1±6.1	19.5±6.1	248.7	6.0	6.2	51.8
M808	5	7.4±5.9	-13.1±6.3	15.0±6.2	299.4	5.8	6.3	77.4
M904	4	-28.0±12.7	4.4±12.5	28.3±12.7	171.0	12.2	12.9	144.9
M906	5	-12.3±5.5	0.0±5.6	12.3±5.5	180.0	5.5	5.6	78.8

台灣中部地區基本控制點變位監測

M907	5	3.0±5.4	-10.6±5.6	11.0±5.6	285.8	5.4	5.6	94.3
M908	3	4.7±16.1	-5.4±17.8	7.2±17.1	311.4	15.8	18.0	108.7
M909	3	-8.9±6.5	6.5±6.5	11.0±6.5	144.0	6.3	6.7	135.3
M910	4	-0.7±7.4	0.7±6.8	1.0±7.1	132.8	6.8	7.4	166.1
M911	4	1.5±5.8	10.8±5.6	10.9±5.7	82.1	5.6	5.8	171.1
M916	4	-6.7±5.6	4.2±6.1	7.9±5.7	147.6	5.5	6.1	69.6
M918	3	-14.7±5.8	-3.5±5.7	15.1±5.8	193.5	5.6	5.9	150.5
M959	2	17.7±7.0	-102.9±7.5	104.4±7.5	279.8	6.9	7.6	70.5
M961	3	12.2±7.5	-93.5±8.2	94.3±8.1	277.4	7.5	8.2	88.3
S030	2	62.4±6.6	-11.6±7.1	63.5±6.7	349.5	6.4	7.3	61.9
S038	2	47.2±7.6	-136.7±8.0	144.6±8.0	289.1	7.5	8.1	112.6
S164	2	-12.9±12.8	-19.9±12.0	23.7±12.2	236.9	11.9	12.9	160.6
S165	2	0.4±12.4	-15.2±11.6	15.2±11.6	271.4	11.5	12.5	158.3

註: $V=(V_N^2+V_E^2)^{1/2}$

圖 4-4 : 1999 年 12 月至 2000 年 12 月近斷層 9 對基線之東西向平均速度

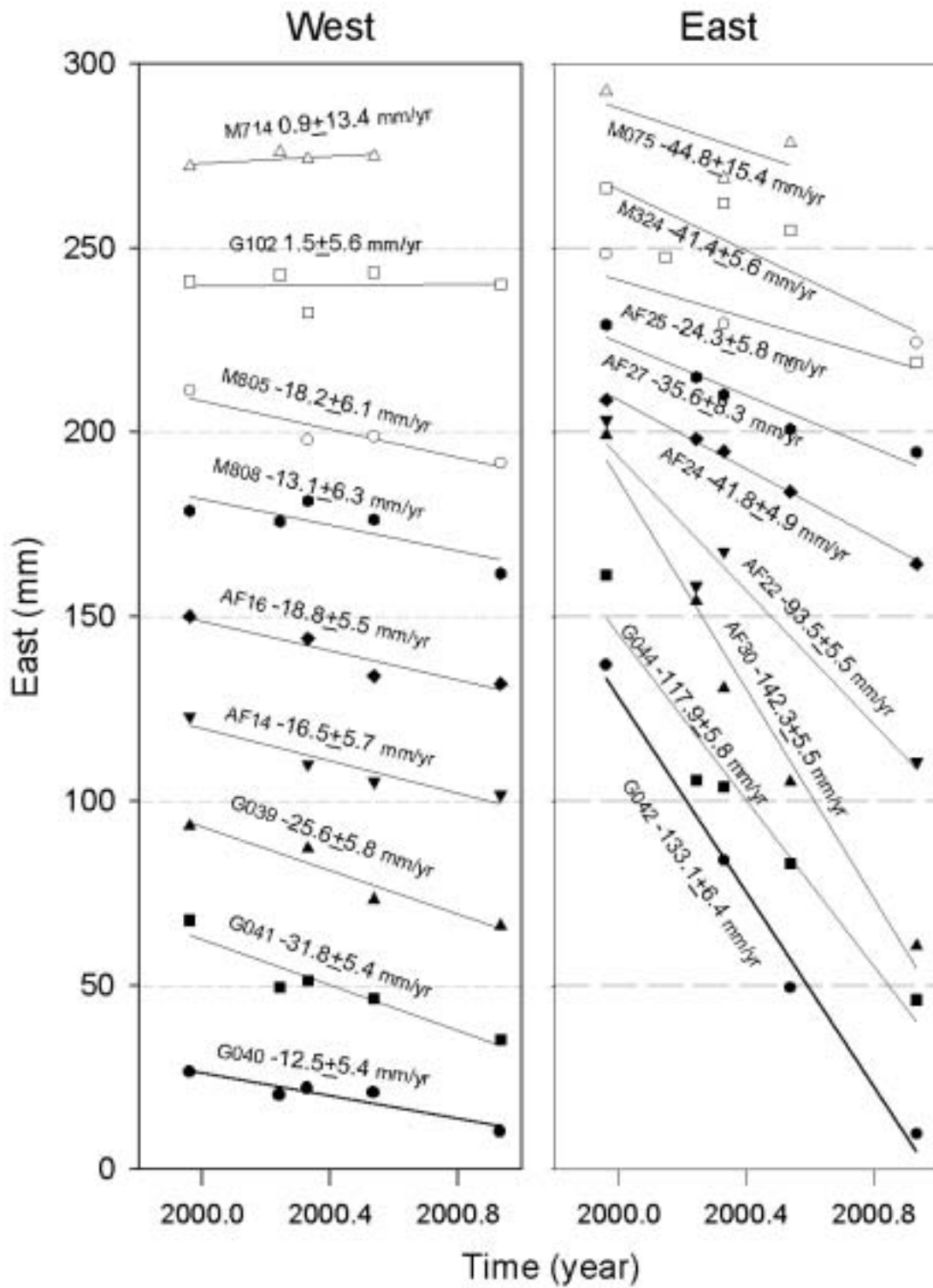


圖 4-5 : 1999 年 12 月至 2000 年 12 月近斷層 9 對基線之南北向平均年速度

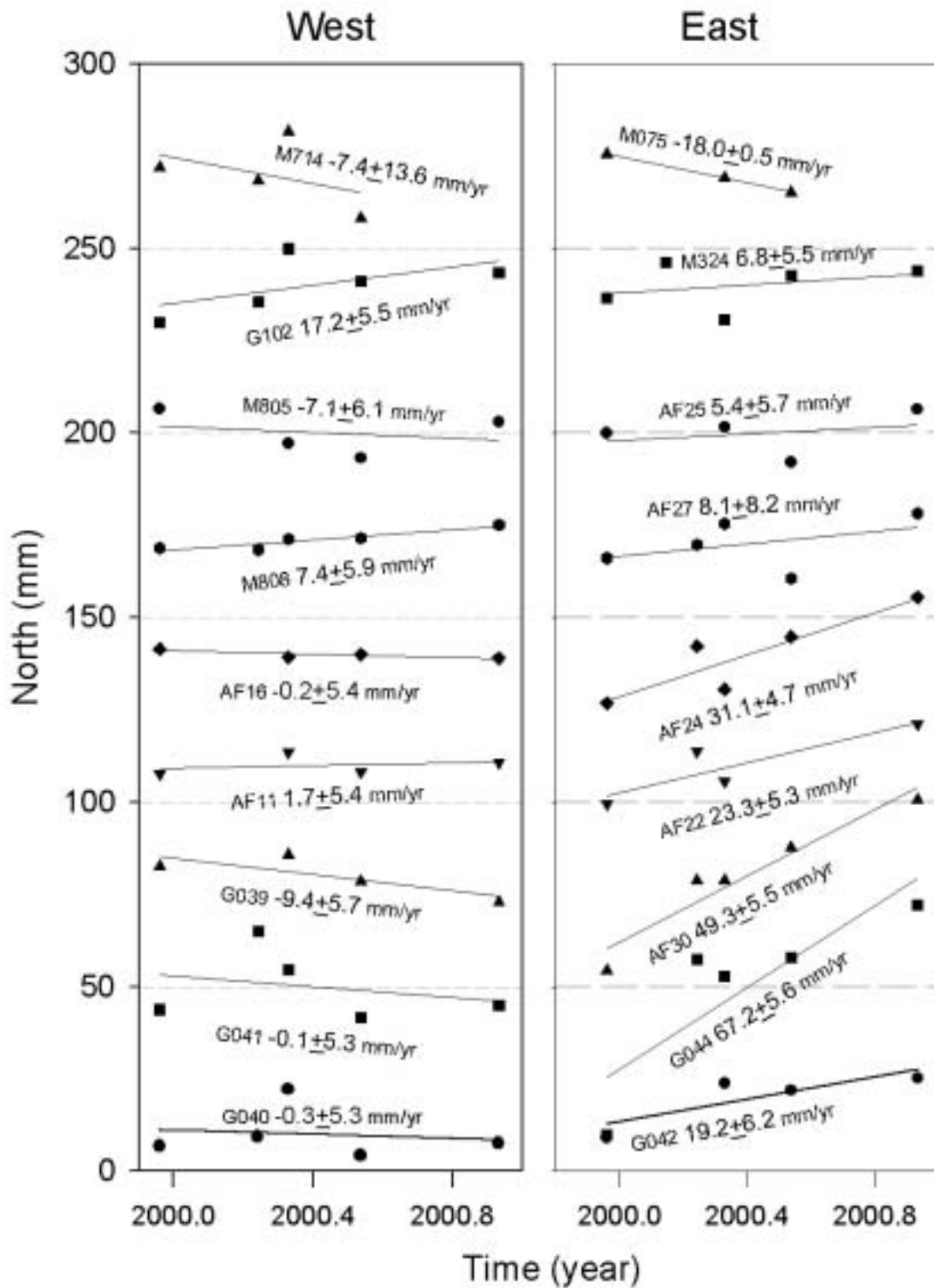


圖 4-6 : 1999 年 12 月至 2000 年 12 月遠斷層 6 對基線之東西向平均年速度

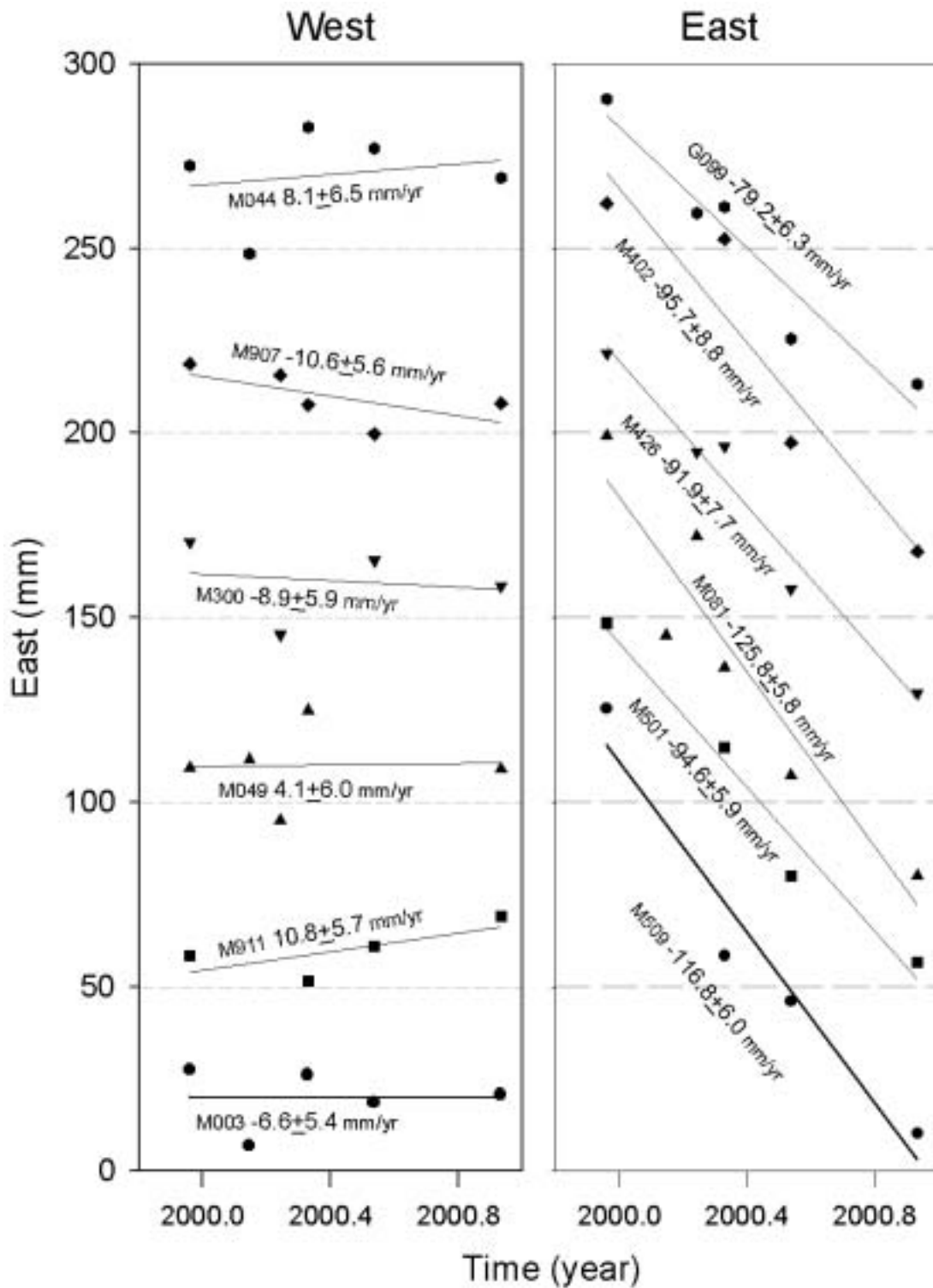
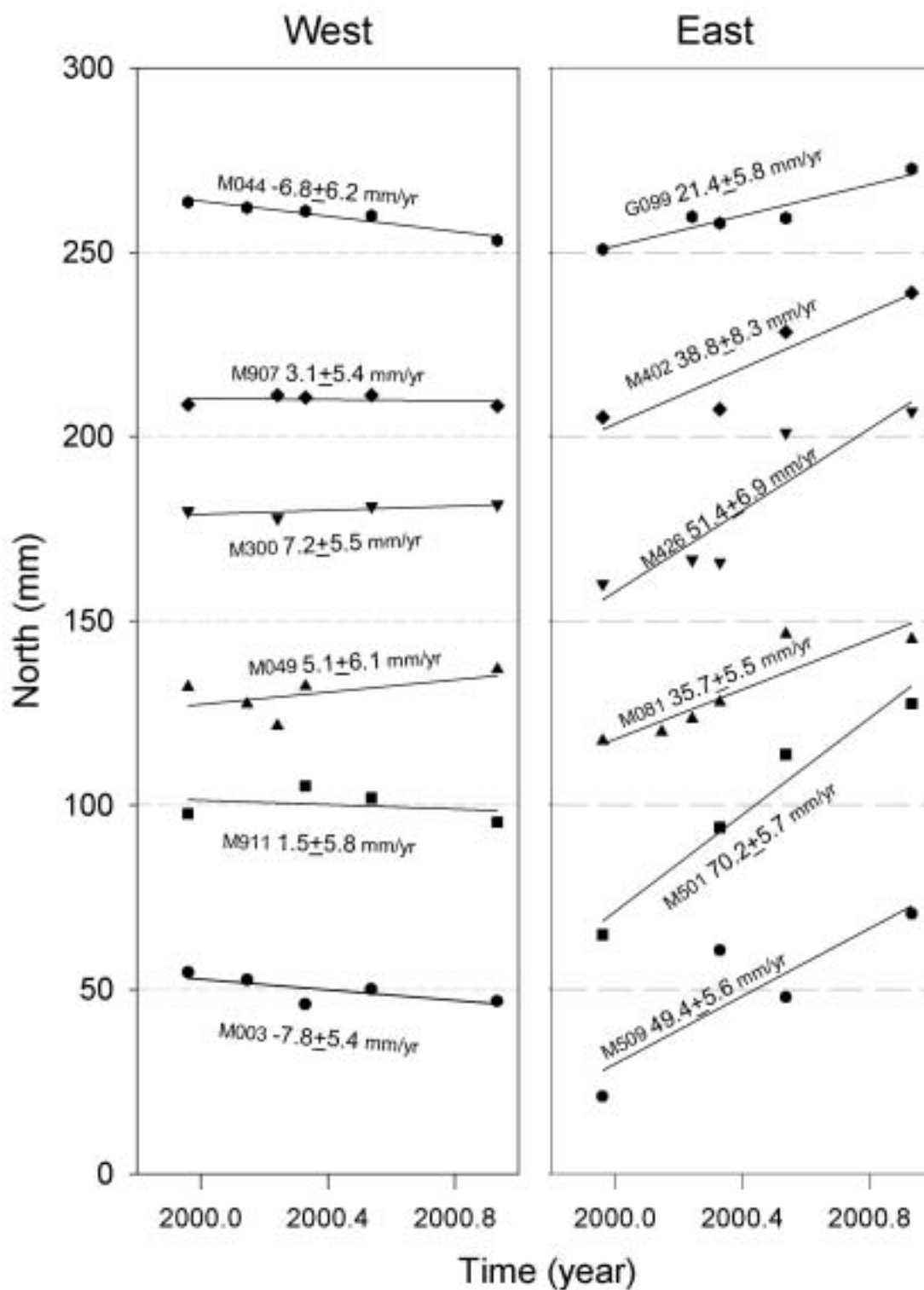


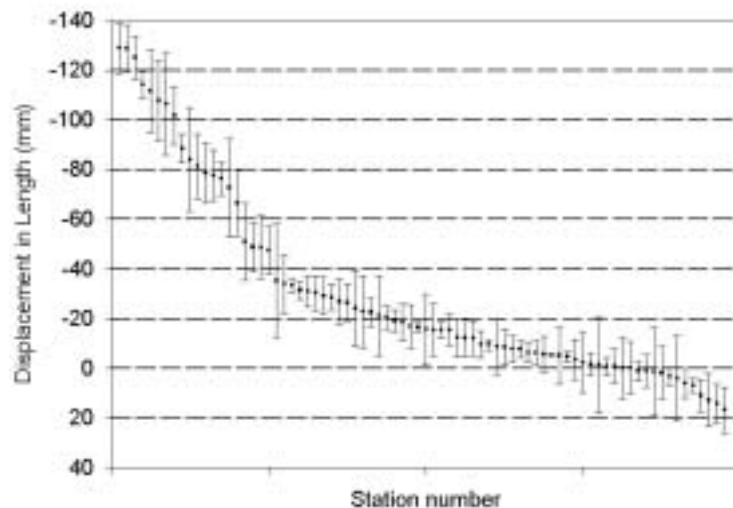
圖 4-7 : 1999 年 12 月至 2000 年 12 月遠斷層 6 對基線之南北向平均年速度



第三節 點位精度的評估

由於本研究案之監測點，仍處於 921 主震後快速震後變形區域，於 89 年 12 月至 90 年 12 月觀測期間分析計算 2 次以上之觀測點位，有 8 點位的變動量大於十公分之多（如圖 4-8）顯示本區域仍處於快速變動區域。因而針對點位精度的評估方法，將採行扣除線性變化後之殘差之中誤差為依據（Yu and Chen, 1994）。

圖 4-8：整個監測區域監測點相對於澎湖固定站（S01R）之變動情形，橫座標為監測點數，縱座標表示變動量



上圖中每一散佈點的誤差（error bar）大部份小於 6mm，且本研究區域內各測點相對於澎湖的基線長大多呈縮短現象。在 GPS 基線求解過程中，其後驗中誤差可以藉由誤差傳播原理求得。然而由於 GPS 量測特性，可提供大量的自由度，因此其求得的後驗中誤差有過於樂觀的現象，舉例來說 Willans et al., (1993) 便提到由 GPS 求解的後驗變方和標準偏差隱含了 8~11 倍的係數關係。由於 GPS 訊號因傳播介質的延遲、多路徑效應等因素而造成緩慢的系統誤差，無法藉由短時間（例如：數天）內的重複性表示出來。而本研究計劃歷時一年，且有六次以上的觀測，乃使用這六次觀測資料的散布情形來評估觀測精度。

假設在本計劃量測期間內，點位因地殼變動所造成的移位呈穩定的變化，經由這六次的觀測，每測點的點位成果可以一條隨時間的最佳化直線來密合。扣除線性變化

量後的資料點散布情形，可用以計算各分量之重現性。

本計劃每次觀測期間各觀測點間之基線分量(東西向，南北向，高程向，或基線長)的重現性 R 得以(4-4)式表示：

$$R = \left[\frac{\frac{n}{n-2} \sum_{i=1}^n \frac{(c_i - \hat{c}_i)^2}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \right]^{1/2} \quad (4-4)$$

其中：n 是觀測次數

c_i 是第 i 次觀測所預估而得該基線的分量或基線長

σ_i 是後驗變方

\hat{c}_i 是第 i 次觀測在密合直線上的估值，以(4-4)式求得

$$\hat{c}_i = c_0 + r \cdot t_i \quad (4-5)$$

其中 c_0 是該基線分量在 $t=0$ 時刻的估值

r 是該基線分量在密合直線上的斜率

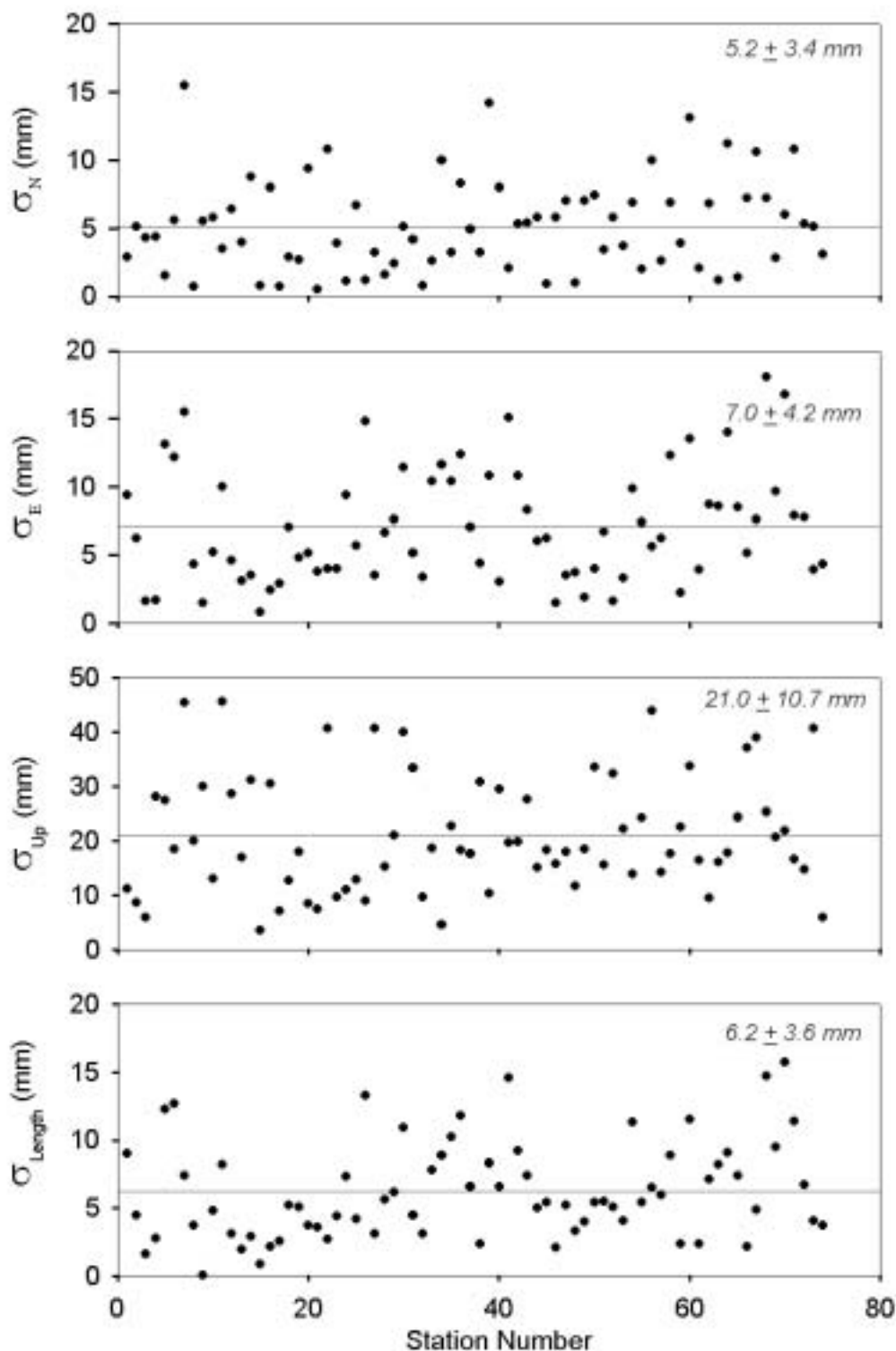
t_i 是觀測時刻

由(4-4)及(4-5)式可求得各觀測點位相對於澎湖固定站 S01R 在此研究計畫期間之重現性散佈圖如圖 4-9。

由圖 4-9 可以得知在南北向、東西向、高程向及基線長的平均重複性分別為 5.2 ± 3.4 mm、 7.0 ± 4.2 mm、 21.0 ± 10.7 mm、 6.2 ± 3.6 mm。水平分量(南北向、東西向、基線長

向)的重複性均小於 7 mm，而高程分量之誤差的散布約 3 倍於水平分量。此精度略差於 Yu and Chen (1994)之分析結果，其原因可能是觀測期間正值電離層變化高峰期、每時段平均觀測時間較短、及線性模式可能無法完整描述該地區震後的變形移位。

圖 4-9：由(4-3)及(4-4)式求得之各觀測點位相對澎湖固定站 S01R 在此研究計畫期間之重現性散佈圖。橫座標為點位數，縱座標為各基線分量之重複性值



第五章 GPS 基線網平差及速度計算

第一節 單期基線網之平差

5.1.1 基線向量觀測方程式之組成

GPS 測量結果透過 GPSurvey 軟體解算可得基線向量(包含座標差)，因此進行網形平差時基線向量之座標差即可組成三個觀測方程式。

$$\begin{aligned} V_{ij}^x + l_{ij}^x &= X_j - X_i \\ V_{ij}^y + l_{ij}^y &= Y_j - Y_i \\ V_{ij}^z + l_{ij}^z &= Z_j - Z_i \end{aligned} \quad (5-1)$$

上式可化作矩陣的型式

$$\begin{bmatrix} V_{ij}^x \\ V_{ij}^y \\ V_{ij}^z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_{ij}^x \\ l_{ij}^y \\ l_{ij}^z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix}, \quad P = \sigma_0^2 \Sigma_{ij}^{-1} \quad (5-2)$$

其中

i, j : 點位

l_{ij}^k : 基線座標分量

V_{ij}^k : 殘差

Σ_{ij} : 基線向量 l_{ij} 協變方矩陣

σ_0^2 : 先驗單位權變方

若有 f 個獨立基線向觀測量則數學模式為

$$V = AX - L, \quad \text{權矩陣} = P = \sigma_0^2 \Sigma^{-1} \quad (5-3)$$

V 及 L 為 $(3f) \times 1$ 之殘差及觀測向量， A 為 $(3f) \times u$ 之係數矩陣， X 為 $u \times 1$ 的未知數向量， Σ 為基線向量協變方矩陣， u 為座標分量數。

5.1.2 自由網平差

由(5-3)所組成的觀測方程式，求解時若無加權約制，即發生基準量不足，而這種基準量不足的情況稱之為秩虧(rank defect)，此系統之秩虧度為 3。基準量不足對於法方程式會造成奇異現象，就本 GPS 問題而言，克服基準量不足之方法之一為加入下列基準條件(Koch,1987) 得解：

$$S^T \hat{X} = 0 \quad (5-4)$$

其中 S 必須滿足

$$AS = 0 \quad (5-5)$$

S 為 uxr 之矩陣 (r 為秩不足數即 3)。(5-5) 式顯示 S 之行向量均為 A 之 null space 之元素。觀察 (5-5) 之形式，可選

$$S^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \cdots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & \cdots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & \cdots \end{bmatrix}_{3 \times 3p} = [I_3 \quad I_3 \quad \cdots \quad I_3] \quad (5-6)$$

p 為點數， I_3 為 3 階之單位矩陣

滿足(5-4)式之最小二乘 解(即 $V^T PV = \text{minimum}$)為(Koch,1987; Caspary,1988)

$$\begin{aligned} \hat{X}^+ &= (A^T PA + SS^T)^{-1} A^T PL \\ &= (N + SS^T)^{-1} U \end{aligned} \quad (5-7)$$

上式之 \hat{X}^+ 解具有下列兩特性按(Koch,1988;Caspary,1987)：

$$(X^+)^T X^+ = \|X^+\|^2 = \text{a minimum (minimum norm 解)} \quad (5-8)$$

且

$$\text{trace}(Q_{\hat{X}}) = \text{a minimum (minimum trace 解)} \quad (5-9)$$

後驗單位權變方為：

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n + 3 - u} \quad (5-10)$$

\hat{X}^+ 的後驗協變方矩陣為：

$$\begin{aligned} \hat{\Sigma}_{\hat{X}^+} &= \hat{\sigma}_0^2 (N + SS^T)^{-1} N (N + SS^T)^{-1} = \hat{\sigma}_0^2 Q_x \\ &= \hat{\sigma}_0^2 N^+ \end{aligned} \quad (5-11)$$

再者，由(5-4)可知

$$\begin{aligned} \sum x_i &= 0 \\ \sum y_i &= 0 \\ \sum z_i &= 0 \end{aligned} \quad (5-12)$$

即解出之座標之原點在本網之質心，因此 \hat{X}^+ (即座標) 不具有實質意義。但其殘差 V 為可估計函數(estimable function)，故基線之改正後觀測量可以唯一且無偏地估計出，即

$$\bar{l}_{ij}^s = l_{ij}^s + V_{ij}^s = \Delta X_{ij}^s, \quad s=1, 2, 3 \quad (5-13)$$

而各座標值可透過一已知點及改正後之基線向量求解其他座標值。

$$\text{令 } \Delta X_{lj} = X_j^+ - X_l^+$$

則

$$G_j = \Delta X_{lj} + G_l \quad (5-14)$$

G_l : 已知點之座標分量。

ΔX_{ij} : 待求點與固定點之差值 (即 (5-7) 之解)。

G_j : 待求點之座標分量。

X_l^+, X_j^+ : 由(5-7)解得之座標分量。

5.1.3 加權約制平差 (weighted constraint adjustment)

解決(5-3)式平差系統秩不足之另一方法為引入下列座標觀測方程式 (或稱加權約制方程式)

$$V_X + L_X = A_X X, \text{ 權矩陣} = P_X \quad (5-15)$$

以 L 和 L_X 組成之觀測方程式為：

$$V = \begin{bmatrix} V \\ V_X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ A_X \end{bmatrix} \hat{X}^a - \begin{bmatrix} L \\ L_X \end{bmatrix} = \bar{A}X - \bar{L}, \text{ 權矩陣} = \bar{P} = \begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & P_X \end{bmatrix} \quad (5-16)$$

令 $\bar{V}^T P \bar{V} = \text{minimum}$ ，則 \hat{X}^a 之解為：

$$\hat{X}^a = (A^T P A + A_X^T P_X A_X)^{-1} (A^T P L + A_X^T P_X L_X) \quad (5-17)$$

觀測量之改正數的加權平方和為：

$$\bar{V}^T P \bar{V} = V^T P V + V_X^T P_X V_X \quad (5-18)$$

令 $A_X^T P_X A_X = \bar{P}_X$ ，因(5-17)可改寫為

$$\hat{X}^a = (A^T P A + \bar{P}_X)^{-1} (A^T P L + A_X^T P_X L_X) \quad (5-19)$$

\bar{P}_X 矩陣中為一對角線矩陣，且只有被約制用的控制點上有非零值，其被約制用的控制點之權值若為零時表示此點為未知，若為無窮大時則表示此點固定(即平差後之值不變)。

後驗單位權變方為：

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\bar{V}^T P \bar{V}}{n - u + r} \quad (5-20)$$

n 為觀測數， u 為未知參數個數， r 為 3 倍約制點數。 \hat{X}^a 的後驗協變方矩陣為：

$$\hat{\Sigma}_{\hat{X}^a} = \hat{\sigma}_0^2 (A^T P A + \bar{P}_X)^{-1} \quad (5-21)$$

5.1.4 統計測試

本計劃對 GPS 網之觀測量進行兩種測試首先針對 (1) 整體測試(Global test)(2) 粗差測試(outlier test)。整體測試乃針對平差之數學及統計模式是否正確進行測試。

此測試之假說為：

零假說: $H_0 : \hat{\sigma}_0^2 = \sigma_0^2, \sigma_0^2$ is given

變通假說: $H_1 : \hat{\sigma}_0^2 \neq \sigma_0^2$

其中 σ_0^2 為先驗單位權變方，令測試子 T 為

$$T = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2} \quad (5-21)$$

$$\text{若 } -T_c(m; \alpha) < T < T_c(m; \alpha) \quad (5-22)$$

則表示平差模式無誤且無粗差，其中 $T_c(m; \alpha)$ 為在信心水平 $(1 - \alpha)$ 及自由度 m 之下 χ^2 之臨界值，否則表示有粗差或平差模式不對或兩者皆有。

若 $T \geq T_c(m; \alpha)$ ，則進行粗差偵測。其做法為將所有偵測出來的粗差中挑一個最大值，並判斷出為那條基線之後刪除，重新再做計算直到沒有粗差為止，在進行上述步驟時需先計算殘差之協變方矩陣 Σ_v 。其計算公式為：

1. 加權約制平差(參考(5-19)式)

$$\Sigma_v = \hat{\sigma}_0^2 (P^{-1} - A N^{-1} A^T) \quad (5-23)$$

2. 自由網平差(參考(5-7)式)

$$\Sigma_v = \hat{\sigma}_0^2 (P_1^{-1} - A_1 N_1^+ A_1^T) \quad (5-24)$$

若測試子 滿足

$$\tau = \frac{|v_i|}{\hat{\sigma}_{v_i}} > \tau_c \left(1 - \frac{\alpha}{n}; 1, d \right) \quad (5-25)$$

則相對於 v_i 之觀測為一粗差。(5-25)式中 i 為觀測站， n 為觀測數，信心水平為 $(1 - \alpha)$ ，自由度為 1 及 d 時之 τ_c 臨界值(計算方法見 Pope(1976))，而自由度 d 計算公式為：

$$d = \begin{cases} n+r-u, & \text{加權約制平差, } r=\text{約制數} \\ n+3-u, & \text{自由網平差} \end{cases} \quad (5-26)$$

5.1.5 單期基線網流程及使用法

圖 5-1：單期基線網平差流程圖

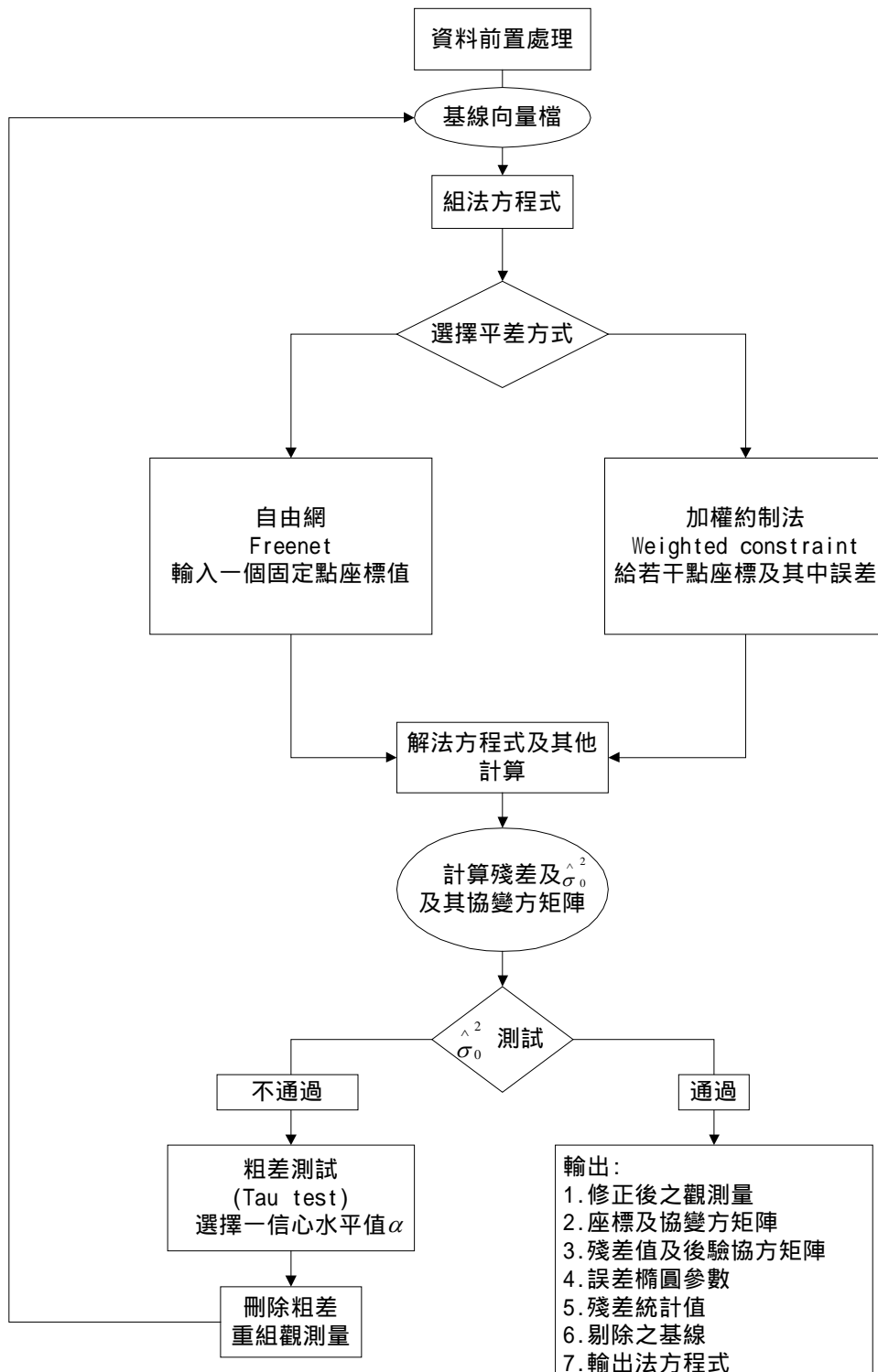


圖 5-1 的流程圖中輸出之法方程式為用以計算速度之用(見下解)。在使用網形平差程式前須先做資料之前處理，亦指將讀取 GPSurvey 輸出檔組成基線向量檔如圖 5-1 所示，及讀取其他相關資料如站名檔，檢查檔；檢查基線分量值是否有問題，座標及觀測時間檔等，以進行後續的平差作業。此前處理的程式為 fhandle.f90。使用方式如同前文所述之 command-line 的方式，即

```
fhandle -loutput file from Gpsurvey -Ooutput file
```

其中：

- l: output file from Gpsurvey.
- O: output file contain head file, adjustment baseline vector file, coordinate file, check file.

GPS 網型平差程式用法為

```
gpsnet -lvector.obs -Hheader_file -Oname [-F_fixed_stn_file -Mmodel -N]
```

其中：

- l file name of input vector observation. format:Fore Sight,back Sight,xyz_coordinates,baseline vectors covariance matrix
- H header file, contains number of points, number of observations and station names
- O "name" will be used as the prefix of the following output files:
 - name.crd: file of computed gravity values and standard deviations
 - name.res: file of residuals of observations and statistics
 - name.err: file of outlier observations (gross errors)
 - name.adj: adjusted baseline vectors
 - name.nor: normal equations (only when -N is specified)
 - name.ell: error ellipses parameter

OPTIONS

- F file of fixed stations. contains: station name, coordinates and std dev.

when choosing model=2, this option must be activated.

-M type of adjustment model. 1= free net, 2= minimum constraint or weighted constraint.[default: 1]

-N request output of normal equation

範例：(下兩指令可收集於一個批次檔中一次執行完畢)

fhandle_1 -l7thall01 -Oassign.obs

gpsnet -lassign.obs -Hhat.txt -Oassign_m1 -FAF01.txt -M2 -N

7thall01 file:GPSurvey 輸出檔。

assign.obs file:基線向量檔。

AF01.txt file：固定檔格式為站名、x、y、z 座標及座標中誤差，若為固定點則座標中誤差皆輸入零值。

hat.txt fire:觀測時間、未知點數、觀測量數及所有站名。

第二節 多期基線網平差及速度計算

5.2.1 多期平差模式

此模式中座標為時間之函數，即

$$X(t) = X_0 + E(t - t_0) \quad (5-27)$$

其中

X_0 ：參考時刻的座標

E ：速度

t_0 ：參考時刻

t ：該期之平均觀測時刻

如此，則(5-3)式觀測方程式可改寫為：

$$\begin{aligned} V &= A[X_0 + E(t - t_0)] - L \\ &= [A \quad A(t - t_0)] \begin{bmatrix} X_0 \\ E \end{bmatrix} - L \end{aligned} \quad (5-28)$$

若有 k 個期，則可組成聯合觀測方程式：

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & A_1(t_1 - t_0) \\ A_2 & A_2(t_2 - t_0) \\ \vdots & \vdots \\ A_k & A_k(t_k - t_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 \\ E \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_k \end{bmatrix},$$

$$\text{權矩陣 } \tilde{P} = \begin{bmatrix} p_1 & & & 0 \\ & p_2 & 0 & \\ & 0 & \ddots & \\ 0 & & & p_k \end{bmatrix} \quad (5-29)$$

其中 t_i 為期 i 之時間。上式可簡寫為：

$$\tilde{V} = \tilde{A}\tilde{X} - \tilde{L}$$

令 $\tilde{V}^T \tilde{P} \tilde{V} = a \text{ minimum}$ ，則可組成法方程式

$$\tilde{N} \begin{bmatrix} X_0 \\ E \end{bmatrix} = \tilde{U}$$

其中

$$\tilde{N} = \tilde{A}^T \tilde{P} \tilde{A}$$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} A_1^T & A_2^T & \cdots & \cdots & A_k^T \\ A_1^T(t_1 - t_0) & A_2^T(t_2 - t_0) & \cdots & \cdots & A_k^T(t_k - t_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 & & & 0 \\ & P_2 & & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & & & P_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 & A_1(t_1 - t_0) \\ A_2 & A_2(t_2 - t_0) \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ A_k & A_k(t_k - t_0) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^k A_i^T P_i A_i & \sum_{i=1}^k (t_i - t_0) A_i^T P_i A_i \\ \sum_{i=1}^k (t_i - t_0) A_i^T P_i A_i & \sum_{i=1}^k (t_i - t_0)^2 A_i^T P_i A_i \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \sum N_i & \sum \Delta t_i N_i \\ \sum \Delta t_i N_i & \sum \Delta t_i^2 N_i \end{bmatrix}, \quad \Delta t_i = t_i - t_0 \end{aligned} \quad (5-30)$$

又

$$\tilde{U} = \tilde{A}^T \tilde{P} \tilde{L} = \begin{bmatrix} \sum A_i^T P_i L_i \\ \sum \Delta t_i A_i^T P_i L_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum U_i \\ \sum \Delta t_i U_i \end{bmatrix} \quad (5-31)$$

因於單一期中，不考慮速度（即 $E = 0$ ）條件下之法方程式為

$$A_i^T P_i A_i X = A_i^T P_i L_i, \text{ 或 } N_i X = U_i \quad (5-32)$$

若保留 N_i , U_i 及 $L_i^T P_i L_i$ ，則可直接提供 (5-30), (5-31) 式使用。

然而秩不足問題仍存在，必須以 5.1 節之自由網或加權約制法解決。按 5.1 節之推導，自由網解為：

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_0^+ \\ E^+ \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \sum N_i & \sum \Delta t_i N_i \\ \sum \Delta t_i N_i & \sum \Delta t_i^2 N_i \end{bmatrix} + \tilde{S} \tilde{S}^T \right)^{-1} \begin{bmatrix} \sum U_i \\ \sum \Delta t_i U_i \end{bmatrix} \quad (5-33)$$

而加權約制的解為：

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_0^+ \\ \hat{E}^+ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum N_i + A_X^T P_X A_X & \sum \Delta t_i N_i \\ \sum \Delta t_i N_i & \sum \Delta t_i^2 N_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum U_i + A_X^T P_X L_X \\ \sum \Delta t_i U_i \end{bmatrix} \quad (5-34)$$

後驗單位權變方為

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{R}{d} \quad (5-35)$$

$$d = \begin{cases} \sum n_i + 3 - 2u, & \text{自由網解} \\ \sum n_i + r - 2u, & \text{加權約制} \end{cases} \quad (5-36)$$

$$R = \sum_{i=1}^K L_i^T P_i L_i + \Phi - \tilde{X}^T \tilde{U} \quad (5-37)$$

其中

$$\Phi = \begin{cases} 0, & \text{自由網} \\ L_X^T P_X L_X, & \text{加權約制} \end{cases}$$

其中 n_i 為第 i 期之觀測量數， r 為約制數， u 為座標分量總數。

上述所算出來的速度是在直角坐標系統上，可經下列轉換而得水平及上下速度分量：

$$e = \begin{bmatrix} \dot{X}_e \\ \dot{Y}_e \\ \dot{Z}_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \phi \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} \quad (5-38)$$

其中

\dot{X}_e : 南北方向速度 (北為正) 分量

\dot{Y}_e : 東西方向速度 (東為正) 分量

\dot{Z}_e : 上下方向速度 (上為正) 分量

\dot{X} : 地固座標之 X 速度分量

\dot{Y} : 地固座標之 Y 速度分量

\dot{Z} : 地固座標之 Z 速度分量

本計劃按上述理論設計一多期平差之 Fortran 程式, 稱為 addnorm, 其用法為:

```
addnorm -I The file which has all stations -Clist_of_norm -Oname [-Ffixed station
-Mmodel -Smjd0]
```

其中

-I The file which has all stations

-C list of files of the other epoch normal equation

-O output file containing local coordinates, standard deviations and velocities

-S reference epoch t0 in MJD

OPTIONS

-F file of fixed stations. contains: station name, coordinates and std dev. when choosing model=2, this option must be activated.

-M type of adjustment model. 1= free net, 2= minimum constraint or weighted constraint.

範例：

```
addnorm -Dallstat -Cadd -Otest_v1 -FAF01.txt -M2
```

allstat file：為輸入檔，其檔案的內容包未知點數（3 倍未知點）及所有站名。

add file：將所有法方程式之檔名以條例式例出。

test_v1：為輸出檔之主檔名，並產生副檔名為 .vel 及 .crd 之兩檔案。

其中 test_v1.vel 檔內容有站名、經度、緯度、高程、速度各分量及速度各分量之中誤差。

test_v1.crd 檔內容有站名、x、y、z 座標、直角坐標系統上之速度及座標中誤差。

AF01.txt：固定檔格式為站名、x、y、z 座標及座標中誤差，若為固定點則座標中誤差皆輸入零值。

第三節 程式測試成果

(1) 單期成果分析

成果分析時交大與中研院會進行交叉比較。中研院之平差計算，其權值的給定是以等權的方式，因此為能與中研院 Bernese 之計算成果相比較，單期之平差亦以等權的方式計算，所得之後驗單位權變方為 0.0151m，表示向量觀測之精度約為 1.5cm，結果如表 5-1。比較各座標之結果，X 座標最大值差 9mm，Y 座標最大值差 16mm，Z 座標最大值差 5mm。由圖 5-2 第六次單期平差結果之殘差分佈圖顯示，殘差值成常態分佈，且無粗差出現故資料品質良好。表 5-2 為非等權之成果，X 座標最大值差 19mm，Y 座標最大值差 30mm，Z 座標最大值差 13mm。

表 5-1 單期平差結果 (第六次)(等權)

站名	X 座標(m)	Y 座標(m)	Z 座標(m)	X 座標 中誤差 (m)	Y 座標 中誤差 (m)	Z 座標 中誤差 (m)
AF01	-2969730.717	5028993.165	2554903.907	0.018	0.018	0.018
AF05	-2968793.993	5022788.169	2568030.532	0.018	0.018	0.018
AF06	-2974838.367	5020934.891	2565243.462	0.018	0.018	0.018
AF09	-2959334.103	5021089.385	2582070.296	0.018	0.018	0.018
AF11	-2977559.370	5017884.121	2567648.447	0.015	0.015	0.015
AF12	-2973307.239	5020086.420	2569015.281	0.017	0.017	0.017
AF14	-2971161.207	5015316.458	2579834.233	0.015	0.015	0.015
AF15	-2969720.607	5011985.003	2587838.677	0.018	0.018	0.018
AF16	-2972867.391	5013188.636	2582002.489	0.016	0.016	0.016
AF18	-2956326.835	5013461.986	2600130.252	0.021	0.021	0.021
AF21	-2960329.070	5011123.448	2600192.874	0.022	0.022	0.022
AF22	-2981560.687	5012404.178	2574395.783	0.015	0.015	0.015
AF24	-2977896.209	5010361.076	2581891.380	0.017	0.017	0.017
AF25	-2978213.762	5005540.094	2590807.994	0.019	0.019	0.019
AF26	-2967143.512	5006909.028	2600760.555	0.020	0.020	0.020
AF27	-2979173.217	5007063.659	2586840.761	0.018	0.018	0.018
AF28	-2967500.125	5017640.325	2580012.537	0.014	0.014	0.014
AF30	-2985105.606	5014089.235	2566511.337	0.017	0.017	0.017
G039	-2979472.243	5020643.059	2560160.751	0.015	0.015	0.015
G040	-2979097.937	5026396.244	2549425.477	0.018	0.018	0.018
G041	-2980756.260	5022870.006	2554353.314	0.017	0.017	0.017
G042	-2987634.772	5019958.297	2553083.638	0.019	0.019	0.019

台灣中部地區基本控制點變位監測

G044	-2984812.176	5016910.654	2561425.042	0.016	0.016	0.016
G045	-2976981.799	5021424.986	2561868.413	0.017	0.017	0.017
G098	-2988200.894	4991133.004	2607932.998	0.016	0.016	0.016
G099	-2989751.381	4996555.927	2595803.855	0.015	0.015	0.015
G102	-2977371.776	4997048.006	2608654.098	0.020	0.020	0.020
G103	-2972100.196	5001988.378	2604713.485	0.020	0.020	0.020
M043	-2987861.776	5000514.213	2591828.039	0.019	0.019	0.019
M045	-2964387.141	5001517.165	2614394.519	0.025	0.025	0.025
M049	-2954704.435	5026889.737	2576133.989	0.020	0.020	0.020
M081	-3001952.393	4999644.185	2575876.002	0.020	0.020	0.020
M085	-2972598.462	5019431.077	2571131.059	0.015	0.015	0.015
M314	-2978644.193	5006655.022	2588902.338	0.015	0.015	0.015
M315	-2975667.582	4998212.025	2608725.299	0.021	0.021	0.021
M324	-2975324.851	5002520.593	2600762.533	0.019	0.019	0.019
M326	-2959703.490	5009553.231	2604022.994	0.026	0.026	0.026
M330	-2980805.990	4999010.081	2601184.488	0.018	0.018	0.018
M345	-2978053.308	5005156.451	2592554.159	0.020	0.020	0.020
M360	-3001161.900	5006178.723	2565147.850	0.017	0.017	0.017
M365	-2970554.681	5017429.992	2576730.801	0.017	0.017	0.017
M395	-2965355.802	5017012.370	2583622.829	0.015	0.015	0.015
M402	-2993057.241	4998738.098	2588970.629	0.020	0.020	0.020
M408	-2994976.348	5014330.234	2556010.144	0.017	0.017	0.017
M426	-2995331.563	4999923.512	2583334.724	0.019	0.019	0.019
M428	-2962144.001	5004323.912	2611457.569	0.026	0.026	0.026
M436	-2976335.466	5010029.506	2584590.305	0.017	0.017	0.017
M453	-2953985.886	5018193.118	2593717.501	0.021	0.021	0.021
M493	-2983490.216	5020785.678	2555679.681	0.017	0.017	0.017

M498	-2982885.055	5025855.924	2547137.466	0.020	0.020	0.020
M501	-2996141.911	5004550.122	2573662.828	0.018	0.018	0.018
M507	-2997414.421	5015683.976	2550700.937	0.017	0.017	0.017
M509	-2998530.186	5010539.965	2559868.442	0.016	0.016	0.016
M525	-2977826.407	4993208.036	2616584.242	0.018	0.018	0.018
M601	-2981060.233	5010390.080	2578718.215	0.018	0.018	0.018
M714	-2980872.968	4993710.194	2611297.362	0.023	0.023	0.023
M805	-2970866.844	5007380.335	2595619.222	0.020	0.020	0.020
M808	-2972679.946	5009419.799	2589505.344	0.017	0.017	0.017
M904	-2961491.241	5006255.731	2608536.262	0.027	0.027	0.027
M906	-2954998.552	5012124.165	2604192.047	0.024	0.024	0.024
M907	-2969021.100	5013802.634	2585155.091	0.016	0.016	0.016
M908	-2960276.227	5021680.900	2579862.883	0.019	0.019	0.019
M909	-2953542.972	5025953.235	2579256.688	0.022	0.022	0.022
M910	-2952364.572	5029418.144	2573878.650	0.022	0.022	0.022
M911	-2954763.911	5031323.393	2567461.194	0.020	0.020	0.020
M916	-2969918.270	4999543.032	2611881.904	0.022	0.022	0.022
M918	-2960625.882	5024739.791	2573552.670	0.017	0.017	0.017
M959	-3018562.772	4987710.812	2581833.443	0.022	0.022	0.022
M961	-3015164.736	4992005.621	2576714.994	0.024	0.024	0.024
PINT	-2976963.422	5025645.977	2553711.136	0.000	0.000	0.000
S038	-3021871.792	5001300.512	2554370.333	0.018	0.018	0.018
WUFN	-2975451.058	5011352.555	2582656.620	0.011	0.011	0.011

表 5-2 單期平差結果 (第六次) (非等權)

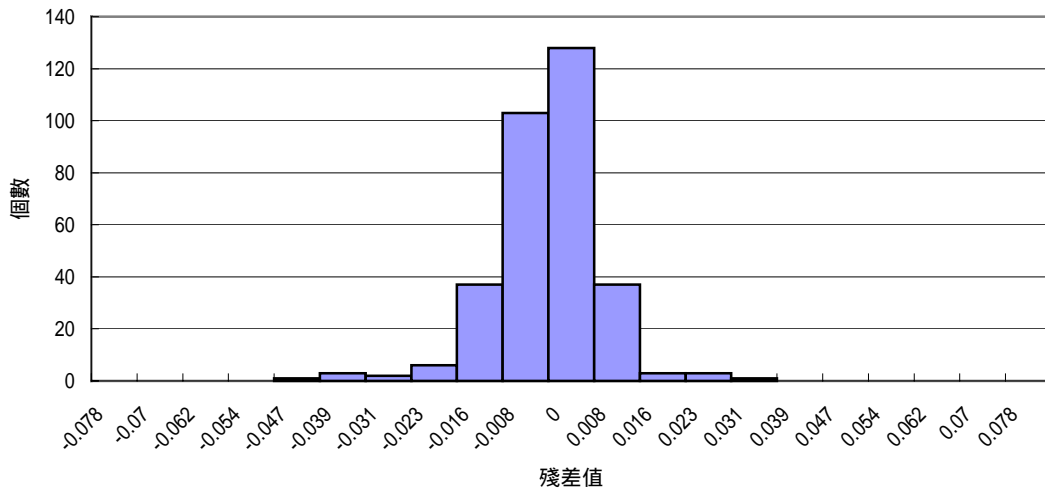
站名	X 座標(m)	Y 座標(m)	Z 座標(m)	X 座標 中誤差 (m)	Y 座標 中誤差 (m)	Z 座標 中誤差 (m)
AF01	-2969730.723	5028993.167	2554903.896	0.027	0.045	0.023
AF05	-2968793.998	5022788.170	2568030.528	0.019	0.032	0.017
AF06	-2974838.366	5020934.891	2565243.462	0.017	0.031	0.017
AF09	-2959334.106	5021089.387	2582070.294	0.017	0.029	0.015
AF11	-2977559.384	5017884.121	2567648.447	0.017	0.029	0.015
AF12	-2973307.253	5020086.458	2569015.289	0.022	0.036	0.019
AF14	-2971161.208	5015316.464	2579834.233	0.013	0.021	0.011
AF15	-2969720.606	5011984.989	2587838.671	0.022	0.037	0.020
AF16	-2972867.391	5013188.640	2582002.491	0.013	0.022	0.011
AF18	-2956326.837	5013461.982	2600130.253	0.023	0.040	0.022
AF21	-2960329.069	5011123.440	2600192.872	0.024	0.041	0.022
AF22	-2981560.680	5012404.172	2574395.778	0.013	0.022	0.011
AF24	-2977896.208	5010361.077	2581891.383	0.013	0.022	0.012
AF25	-2978213.761	5005540.093	2590807.995	0.023	0.038	0.020
AF26	-2967143.512	5006909.025	2600760.554	0.021	0.036	0.019
AF27	-2979173.215	5007063.654	2586840.757	0.030	0.049	0.027
AF28	-2967500.130	5017640.333	2580012.537	0.012	0.019	0.010
AF30	-2985105.591	5014089.222	2566511.329	0.018	0.030	0.016
G039	-2979472.225	5020643.048	2560160.746	0.019	0.031	0.016
G040	-2979097.941	5026396.247	2549425.471	0.027	0.045	0.024
G041	-2980756.254	5022870.003	2554353.308	0.027	0.045	0.024
G042	-2987634.757	5019958.290	2553083.633	0.040	0.066	0.035
G044	-2984812.156	5016910.634	2561425.039	0.021	0.036	0.019

G045	-2976981.796	5021424.978	2561868.409	0.020	0.033	0.018
G098	-2988200.891	4991133.006	2607933.000	0.017	0.028	0.015
G099	-2989751.376	4996555.925	2595803.855	0.016	0.024	0.013
G102	-2977371.769	4997047.997	2608654.094	0.024	0.039	0.022
G103	-2972100.194	5001988.374	2604713.483	0.021	0.035	0.019
M043	-2987861.774	5000514.213	2591828.041	0.022	0.035	0.019
M045	-2964387.135	5001517.155	2614394.513	0.026	0.044	0.024
M049	-2954704.440	5026889.737	2576133.983	0.023	0.039	0.020
M081	-3001952.385	4999644.169	2575875.990	0.032	0.053	0.028
M085	-2972598.467	5019431.082	2571131.058	0.016	0.026	0.013
M314	-2978644.191	5006655.018	2588902.338	0.018	0.030	0.016
M315	-2975667.577	4998212.017	2608725.296	0.025	0.043	0.024
M324	-2975324.846	5002520.587	2600762.531	0.021	0.034	0.019
M326	-2959703.489	5009553.223	2604022.992	0.026	0.044	0.024
M330	-2980805.985	4999010.077	2601184.488	0.019	0.031	0.017
M345	-2978053.306	5005156.449	2592554.159	0.025	0.043	0.023
M360	-3001161.886	5006178.717	2565147.850	0.035	0.057	0.029
M365	-2970554.684	5017429.999	2576730.802	0.016	0.028	0.015
M395	-2965355.805	5017012.378	2583622.831	0.014	0.023	0.012
M402	-2993057.240	4998738.087	2588970.626	0.037	0.063	0.035
M408	-2994976.335	5014330.234	2556010.144	0.035	0.058	0.030
M426	-2995331.569	4999923.499	2583334.720	0.039	0.065	0.035
M428	-2962143.995	5004323.902	2611457.564	0.026	0.045	0.025
M436	-2976335.466	5010029.505	2584590.302	0.021	0.035	0.019
M453	-2953985.883	5018193.112	2593717.494	0.021	0.036	0.019
M493	-2983490.205	5020785.668	2555679.672	0.032	0.054	0.029
M498	-2982885.058	5025855.929	2547137.463	0.031	0.051	0.027

台灣中部地區基本控制點變位監測

M501	-2996141.892	5004550.106	2573662.812	0.024	0.039	0.021
M507	-2997414.406	5015683.977	2550700.940	0.032	0.050	0.025
M509	-2998530.174	5010539.964	2559868.443	0.018	0.028	0.014
M525	-2977826.406	4993208.036	2616584.242	0.025	0.039	0.020
M601	-2981060.229	5010390.077	2578718.213	0.022	0.037	0.020
M714	-2980872.963	4993710.187	2611297.361	0.035	0.060	0.033
M805	-2970866.843	5007380.329	2595619.220	0.022	0.037	0.020
M808	-2972679.944	5009419.788	2589505.339	0.021	0.035	0.019
M904	-2961491.237	5006255.721	2608536.258	0.026	0.045	0.024
M906	-2954998.552	5012124.158	2604192.046	0.025	0.043	0.024
M907	-2969021.101	5013802.642	2585155.096	0.015	0.025	0.013
M908	-2960276.235	5021680.901	2579862.882	0.019	0.031	0.017
M909	-2953542.971	5025953.236	2579256.674	0.025	0.043	0.022
M910	-2952364.580	5029418.141	2573878.646	0.027	0.046	0.024
M911	-2954763.923	5031323.386	2567461.186	0.027	0.045	0.023
M916	-2969918.262	4999543.020	2611881.897	0.025	0.042	0.023
M918	-2960625.888	5024739.790	2573552.667	0.018	0.030	0.016
M959	-3018562.760	4987710.811	2581833.444	0.025	0.039	0.020
M961	-3015164.735	4992005.621	2576714.994	0.045	0.064	0.032
PINT	-2976963.422	5025645.977	2553711.136	0.000	0.000	0.000
S038	-3021871.791	5001300.512	2554370.333	0.036	0.048	0.024
WUJFN	-2975451.057	5011352.555	2582656.620	0.008	0.012	0.006

圖 5-2：第六次單期平差結果之殘差分佈圖(等權)



(2) 多期成果分析

1. 模擬資料之計算成果

為證明多期平差程式撰寫無誤，先以模擬之數據進行測試，再以實際資料第一、五、六次之觀測成果做速度計算。模擬數據製造依據之公式為：

$$X_i = X_0 + E_i(t_i - t_0)$$

E_i ：第 i 站模擬之速度，在此以 Bernese 速度計算成果為模擬之速度。

t_i ：第 i 次觀測時刻

t_0 ：參考時刻

X_i ：第 i 次觀測座標

X_0 ：參考時刻座標

此模擬基線網共有 20 站，是取自於圖 3-1 之部分點位。執行步驟說明如下：將各站之模擬速度及參考時刻座標代入上式可得多個觀測座標值，再由觀測座標值組成相對之基線向量，最後以不同的觀測時刻組成多個時期資料，本計劃之模擬測試資料共組成 7 個時期，每個時期間隔為 60 天。其模擬資料如表 5-3，各座標之標準差設定為 1 cm 乘上一個隨機變數，即基線分量精度為 1cm。基線分量之相關係數為 0.1 乘以一個隨機變數。模擬基線網之多期平差成果如表 5-4 及表 5-5，表 5-4 為以模擬數據解算得之參考時刻座標，表 5-5 為以模擬數據解算得之速度。由表 5-6 顯示所計算之參考時刻座標及速度與表 5-3 之資料其差異值皆在 mm 級，由此可證此多期平差模式撰寫無誤。圖 5-3 為以模擬之多期資料解算得之速度場。

表 5-3 模擬基線網之參考時刻座標及速度資料

編號	站名	X 座標	Y 座標	Z 座標	$V_x(m/yr)$	$V_y(m/yr)$	$V_z(m/yr)$
1	PINT	-2976963.420	5025645.980	2553711.132	0	0	0
2	AF05	-2968793.993	5022788.177	2568030.529	-0.013	0.003	0.015
3	AF11	-2977559.368	5017884.128	2567648.445	-0.018	0.047	0.031
4	AF16	-2972867.393	5013188.648	2582002.486	-0.004	0.023	0.016
5	AF21	-2960329.071	5011123.458	2600192.872	-0.041	0.019	0.01
6	AF26	-2967143.513	5006909.038	2600760.553	-0.031	0.037	0.028
7	G098	-2988200.893	4991133.012	2607932.996	0.006	0.028	0.015
8	G102	-2977371.777	4997048.016	2608654.095	-0.029	0.024	0.04
9	G103	-2972100.198	5001988.389	2604713.484	-0.01	-0.0085	0.013
10	M043	-2987861.775	5000514.222	2591828.037	0.038	0.039	0.032
11	M081	-3001952.393	4999644.193	2575876.001	0.074	0.101	0.067
12	M085	-2972598.461	5019431.084	2571131.056	-0.018	0.017	0.012
13	M093	-2963358.514	5036605.531	2547281.021	-0.009	0.0009	-0.006
14	M300	-2950379.307	5027236.046	2580363.039	-0.021	0.034	0.028
15	M330	-2980805.991	4999010.092	2601184.485	0.025	-0.005	0.017
16	M426	-2995331.563	4999923.520	2583334.723	0.042	0.09	0.089
17	M453	-2953985.887	5018193.128	2593717.499	-0.009	-0.016	-0.031
18	M501	-2996141.911	5004550.130	2573662.825	0.035	0.106	0.115
19	M908	-2960276.227	5021680.909	2579862.881	-0.016	0.009	0.017
20	S038	-3021871.791	5001300.518	2554370.331	0.088	0.096	0.075

表 5-4 以模擬之多期資料解算得之參考時刻座標

站名	X 座標	Y 座標	Z 座標	座標 中誤差 (m)	座標 中誤差 (m)	座標 中誤差 (m)
AF05	-2968793.992	5022788.177	2568030.527	0.0014	0.0014	0.0014
AF11	-2977559.368	5017884.127	2567648.446	0.0015	0.0015	0.0015
AF16	-2972867.392	5013188.648	2582002.486	0.0015	0.0015	0.0015
AF21	-2960329.071	5011123.457	2600192.872	0.0012	0.0012	0.0012
AF26	-2967143.510	5006909.038	2600760.552	0.0014	0.0014	0.0014
G098	-2988200.892	4991133.012	2607932.994	0.0015	0.0015	0.0015
G102	-2977371.774	4997048.016	2608654.095	0.0017	0.0017	0.0017
G103	-2972100.196	5001988.389	2604713.483	0.0017	0.0017	0.0017
M043	-2987861.773	5000514.221	2591828.035	0.0016	0.0016	0.0016
M081	-3001952.393	4999644.193	2575875.999	0.0015	0.0015	0.0015
M085	-2972598.459	5019431.086	2571131.056	0.0014	0.0014	0.0014
M093	-2963358.512	5036605.531	2547281.020	0.0015	0.0015	0.0015
M300	-2950379.304	5027236.045	2580363.038	0.0014	0.0014	0.0014
M330	-2980805.989	4999010.092	2601184.485	0.0017	0.0017	0.0017
M426	-2995331.563	4999923.520	2583334.724	0.0014	0.0014	0.0014
M453	-2953985.887	5018193.127	2593717.497	0.0014	0.0014	0.0014
M501	-2996141.910	5004550.129	2573662.824	0.0014	0.0014	0.0014
M908	-2960276.224	5021680.909	2579862.878	0.0016	0.0016	0.0016
PINT	-2976963.420	5025645.980	2553711.132	0.0000	0.0000	0.0000
S038	-3021871.791	5001300.517	2554370.331	0.0013	0.0013	0.0013

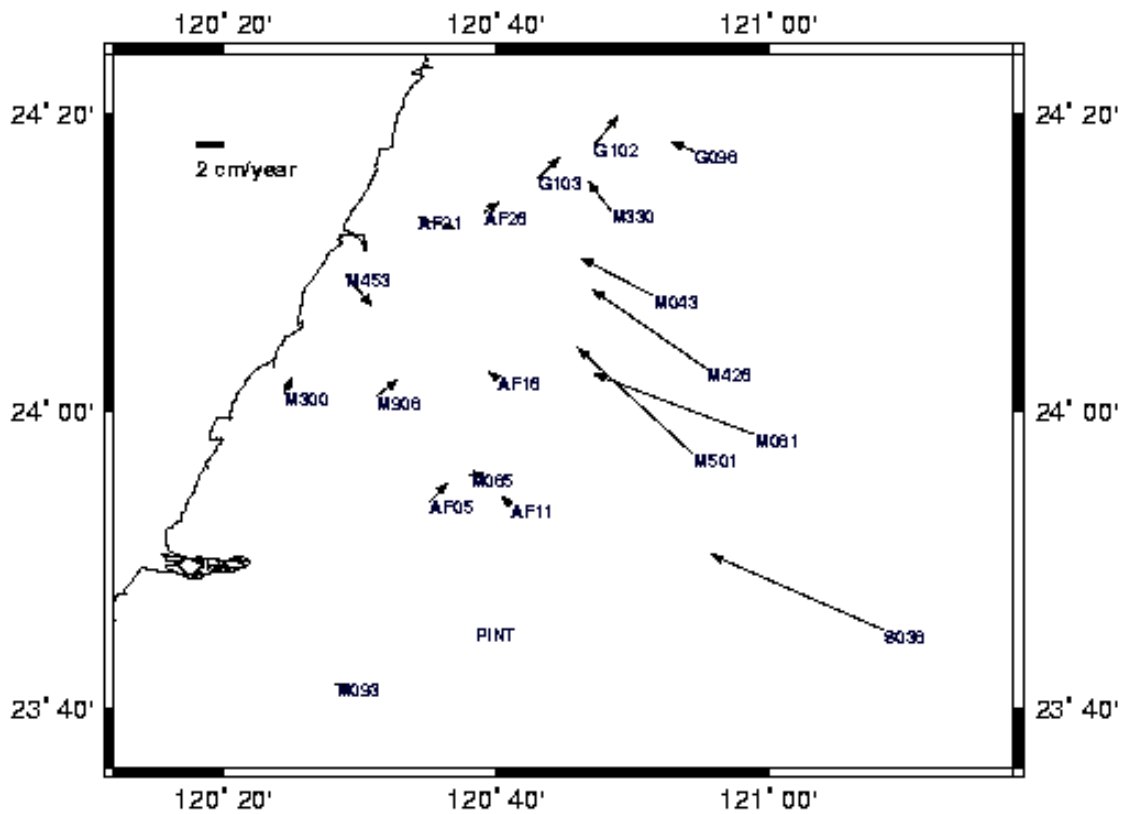
表 5-5 以模擬之多期資料解算得之速度

站名	V_N (m/year)	V_E (m/year)	V_U (m/year)	V_N 速度 中誤差 (m/year)	V_E 速度 中誤差 (m/year)	V_U 速度 中誤差 (m/year)
AF05	0.01311	0.01296	0.01776	0.0024	0.0024	0.0024
AF11	0.00628	-0.00618	0.05815	0.00239	0.00239	0.00239
AF16	0.00466	-0.00619	0.02949	0.00248	0.00248	0.00248
AF21	-0.00847	0.02614	0.03853	0.00189	0.00189	0.00189
AF26	0.00738	0.01059	0.05926	0.00251	0.00251	0.00251
G098	0.00655	-0.01596	0.02698	0.00241	0.00241	0.00241
G102	0.02016	0.01658	0.05063	0.00272	0.00272	0.00272
G103	0.01497	0.01545	0.00687	0.00318	0.00318	0.00318
M043	0.02649	-0.05068	0.02968	0.00254	0.00254	0.00254
M081	0.04286	-0.11358	0.07325	0.00236	0.00236	0.00236
M085	0.00128	0.01098	0.02724	0.00224	0.00224	0.00224
M093	-0.00653	0.01183	0.00331	0.0025	0.0025	0.0025
M300	0.01114	0.00546	0.05316	0.00221	0.00221	0.00221
M330	0.02086	-0.01592	-0.00819	0.00281	0.00281	0.00281
M426	0.05637	-0.08112	0.08682	0.00195	0.00195	0.00195
M453	-0.02234	0.01818	-0.01842	0.00212	0.00212	0.00212
M501	0.07577	-0.08186	0.11623	0.00234	0.00234	0.00234
M908	0.01268	0.01568	0.02477	0.00261	0.00261	0.00261
PINT	0	0	0	0	0	0
S038	0.05394	-0.12274	0.06339	0.00202	0.00202	0.00202

表 5-6 解算得參考時刻座標及速度與其真值之差異統計表

項目	最大值差值(m)	中誤差平均值(m)	均方根值
X 座標	0.0029	0.00133	0.00141
Y 座標	0.0015	0.00133	0.00141
Z 座標	0.003	0.00133	0.00141
X 速度分量	0.00638	0.00218	0.00230
Y 速度分量	0.00202	0.00218	0.00230
Z 速度分量	0.00466	0.00218	0.00230

圖 5-3 : 以模擬之多期資料解算得之速度場



2. 實際多期資料之計算結果

本計劃共有 6 個單期之外業觀測資料，其中以第一、五、六次之資料重覆觀測較完整且精度較高，因此便以這三次之單期成果解算速度場。由於解算速度時該點之觀測資料必須有兩次以上，若少於兩次則不列入速度場計算。表 5-7 為實際多期資料解算得之參考時刻座標，表 5-8 為實際多期資料解算得之速度。圖 5-4 為實際多期資料解算得之速度場，圖 5-5 為 Bernese 軟體解算得之速度場。由圖 5-4 及圖 5-5 可看出其速度與方向接近。表 5-9 為兩者之差的結果。有些點位仍有很大的差距，如表 5-10 之統計表中速度之最大差值於平面向為 3cm，而高程向達 9cm，其速度中誤差之平均值及 RMS 值約為 3cm，因此可能是點位被觀測的次數不同所造成。

表 5-7 實際多期資料解算得之參考時刻座標

站名	X 座標(m)	Y 座標(m)	Z 座標(m)	X 座標 中誤差 (mm)	Y 座標 中誤差 (mm)	Z 座標 中誤差 (mm)
AF01	-2969730.701	5028993.147	2554903.880	13.32	13.32	13.32
AF05	-2968794.001	5022788.145	2568030.487	37.21	37.21	37.21
AF09	-2959334.085	5021089.377	2582070.283	15.04	15.04	15.04
AF11	-2977559.341	5017884.032	2567648.396	15.77	15.77	15.77
AF14	-2971161.207	5015316.449	2579834.239	22.19	22.19	22.19
AF15	-2969720.623	5011984.991	2587838.660	15.72	15.72	15.72
AF16	-2972867.378	5013188.614	2582002.467	16.94	16.94	16.94
AF18	-2956326.814	5013462.002	2600130.254	21.67	21.67	21.67
AF21	-2960329.045	5011123.476	2600192.893	22.82	22.82	22.82
AF24	-2977896.245	5010361.077	2581891.356	7.90	7.90	7.90
AF25	-2978213.789	5005540.105	2590807.987	15.57	15.57	15.57
AF26	-2967143.492	5006908.984	2600760.528	18.48	18.48	18.48

台灣中部地區基本控制點變位監測

AF27	-2979173.237	5007063.661	2586840.722	30.72	30.72	30.72
AF28	-2967500.086	5017640.333	2580012.531	27.19	27.19	27.19
AF30	-2985105.671	5014089.146	2566511.262	30.91	30.91	30.91
G039	-2979472.262	5020643.051	2560160.759	11.10	11.10	11.10
G040	-2979097.964	5026396.277	2549425.478	14.21	14.21	14.21
G041	-2980756.293	5022870.026	2554353.314	11.19	11.19	11.19
G042	-2987634.824	5019958.193	2553083.588	15.83	15.83	15.83
G044	-2984812.233	5016910.572	2561424.969	15.54	15.54	15.54
G045	-2976981.817	5021424.963	2561868.397	11.47	11.47	11.47
G098	-2988200.894	4991132.973	2607932.979	24.56	24.56	24.56
G099	-2989751.429	4996555.912	2595803.831	18.98	18.98	18.98
G102	-2977371.730	4997047.928	2608654.036	22.18	22.18	22.18
G103	-2972100.167	5001988.362	2604713.442	28.47	28.47	28.47
M043	-2987861.831	5000514.235	2591828.048	16.76	16.76	16.76
M044	-2963264.474	5013709.549	2592354.141	13.20	13.20	13.20
M045	-2964387.082	5001517.089	2614394.488	25.42	25.42	25.42
M049	-2954704.457	5026889.779	2576133.989	25.09	25.09	25.09
M075	-2983224.541	4994710.397	2606739.737	25.43	25.43	25.43
M081	-3001952.440	4999644.112	2575875.957	17.54	17.54	17.54
M085	-2972598.478	5019431.074	2571131.030	34.08	34.08	34.08
M312	-2984379.604	4999808.859	2595856.781	16.05	16.05	16.05
M314	-2978644.226	5006655.029	2588902.330	14.16	14.16	14.16
M315	-2975667.549	4998211.950	2608725.250	19.08	19.08	19.08
M324	-2975324.882	5002520.559	2600762.513	14.52	14.52	14.52
M326	-2959703.483	5009553.238	2604022.990	41.15	41.15	41.15
M330	-2980805.999	4999010.088	2601184.460	28.04	28.04	28.04
M345	-2978053.435	5005156.500	2592554.283	14.34	14.34	14.34

M360	-3001161.954	5006178.654	2565147.805	18.47	18.47	18.47
M395	-2965355.781	5017012.347	2583622.805	18.91	18.91	18.91
M402	-2993057.295	4998738.059	2588970.589	18.66	18.66	18.66
M408	-2994976.387	5014330.138	2556010.085	17.62	17.62	17.62
M426	-2995331.607	4999923.451	2583334.655	17.14	17.14	17.14
M428	-2962143.954	5004323.854	2611457.541	29.15	29.15	29.15
M453	-2953985.854	5018193.136	2593717.528	34.91	34.91	34.91
M479	-2981616.078	5018449.382	2562619.029	10.67	10.67	10.67
M493	-2983490.282	5020785.679	2555679.698	12.03	12.03	12.03
M501	-2996141.931	5004550.050	2573662.739	17.97	17.97	17.97
M509	-2998530.238	5010539.897	2559868.385	17.33	17.33	17.33
M714	-2980872.919	4993710.081	2611297.313	24.37	24.37	24.37
M805	-2970866.895	5007380.411	2595619.220	25.57	25.57	25.57
M808	-2972679.977	5009419.812	2589505.337	15.61	15.61	15.61
M904	-2961491.168	5006255.659	2608536.239	41.06	41.06	41.06
M906	-2954998.529	5012124.163	2604192.053	19.27	19.27	19.27
M907	-2969021.089	5013802.620	2585155.084	12.50	12.50	12.50
M908	-2960276.214	5021680.880	2579862.850	19.36	19.36	19.36
M909	-2953542.968	5025953.245	2579256.686	20.70	20.70	20.70
M910	-2952364.577	5029418.150	2573878.635	28.83	28.83	28.83
M911	-2954763.941	5031323.470	2567461.221	32.13	32.13	32.13
M916	-2969918.203	4999542.936	2611881.862	22.36	22.36	22.36
M918	-2960625.949	5024739.897	2573552.725	28.82	28.82	28.82
M959	-3018562.804	4987710.739	2581833.405	26.70	26.70	26.70
PINT	-2976963.422	5025645.977	2553711.136	0.00	0.00	0.00
WUFN	-2975451.058	5011352.536	2582656.609	7.62	7.62	7.62

表 5-8 實際多期資料解算得之速度

站名	V _N (mm/year)	V _E (mm/year)	V _U (mm/year)	V _N 速度 中誤差 (mm/year)	V _E 速度 中誤差 (mm/year)	V _U 速度 中誤差 (mm/year)
AF01	2.58	8.75	28.65	23.77	23.77	23.77
AF05	29.37	-23.57	59.43	49.27	49.27	49.27
AF09	3.66	11.22	31.08	23.69	23.69	23.69
AF11	6.86	-24.26	131.25	23.18	23.18	23.18
AF14	-6.37	-11.47	26.74	28.23	28.23	28.23
AF15	18.24	-19.24	20.49	24.83	24.83	24.83
AF16	10.92	-3.7	45.87	24.83	24.83	24.83
AF18	1.81	28.34	6.29	32.25	32.25	32.25
AF21	-9.59	37.74	-8.18	34.71	34.71	34.71
AF24	40.16	-38.82	17.36	17.92	17.92	17.92
AF25	17.73	-23.06	-7.87	25.97	25.97	25.97
AF26	9.27	-3.8	62.2	28.27	28.27	28.27
AF27	51.17	-22.5	20.09	50.04	50.04	50.04
AF28	-0.53	35.83	33.88	35.31	35.31	35.31
AF30	76.13	-114.91	81.12	42.92	42.92	42.92
G039	1.15	-24.22	16.08	18.28	18.28	18.28
G040	8.52	-3.45	-41.1	21.97	21.97	21.97
G041	11.73	-23.13	-34.71	19.78	19.78	19.78
G042	30.24	-119.85	101.82	26.01	26.01	26.01
G044	80.45	-105.21	85.71	25.94	25.94	25.94
G045	12.19	-31.05	37.74	19.94	19.94	19.94
G098	7.57	-27.08	52.01	31.16	31.16	31.16
G099	30.44	-56.78	16.53	25.59	25.59	25.59

G102	25.9	3.01	117.62	31.35	31.35	31.35
G103	33.3	21.98	54.83	39.32	39.32	39.32
M043	14.57	-46.88	-19.86	28.04	28.04	28.04
M044	9.13	7.56	-48.75	31.66	31.66	31.66
M045	-11.97	14.63	105.79	38.07	38.07	38.07
M049	11.86	2.87	-38.94	32.57	32.57	32.57
M075	-19.37	-55.99	97.49	40.84	40.84	40.84
M081	42.65	-100.85	64.18	28.67	28.67	28.67
M085	22.92	-23.08	38.52	43.54	43.54	43.54
M312	4.45	-41.61	-24.17	32.21	32.21	32.21
M314	21.31	-29.25	-7.21	21.85	21.85	21.85
M315	16.78	-7.92	103.97	28.68	28.68	28.68
M324	15.8	-40.35	37.39	23.94	23.94	23.94
M326	5.93	11.32	4.63	59.98	59.98	59.98
M330	35.83	-3.08	13.72	38.33	38.33	38.33
M345	-73.05	-89.01	-145.76	23.71	23.71	23.71
M360	40	-92.94	34.28	27.92	27.92	27.92
M395	9.99	5.07	52.75	25.18	25.18	25.18
M402	39	-79.81	41.87	30.03	30.03	30.03
M408	36.3	-103.07	110.85	27.36	27.36	27.36
M426	65.07	-83.64	62.4	27.77	27.77	27.77
M428	-5.08	12.67	85.05	41.74	41.74	41.74
M453	-27.45	38.28	-1.73	49.05	49.05	49.05
M479	22.16	-65.74	198.21	22.56	22.56	22.56
M493	4.19	-61.89	-25.52	21.08	21.08	21.08
M501	80.42	-64.57	75.37	28.19	28.19	28.19
M509	45.94	-91.36	63.89	25.64	25.64	25.64

台灣中部地區基本控制點變位監測

M714	-2.43	-13.27	143.49	34.96	34.96	34.96
M805	45.46	-2.91	-82.41	39.87	39.87	39.87
M808	21.47	-17.13	-12.9	25.28	25.28	25.28
M904	-21.26	28.44	109.88	59.44	59.44	59.44
M906	-10.96	20.92	17.99	31.61	31.61	31.61
M907	-0.23	0.98	32.39	20.78	20.78	20.78
M908	16.43	2.75	45.76	28.55	28.55	28.55
M909	-5.91	11.17	-0.92	30.05	30.05	30.05
M910	8.33	-0.1	3.33	36.93	36.93	36.93
M911	-3.46	16.55	-91.19	39.11	39.11	39.11
M916	-6.11	8.81	132.29	33.04	33.04	33.04
M918	-5.83	-4.91	-131.75	34.55	34.55	34.55
M959	20.63	-76.6	69.51	36.64	36.64	36.64
PINT	0	0	0	0	0	0
WUFN	5.77	-15.1	30.85	12.54	12.54	12.54

圖 5-4：實際多期資料解算得之速度場

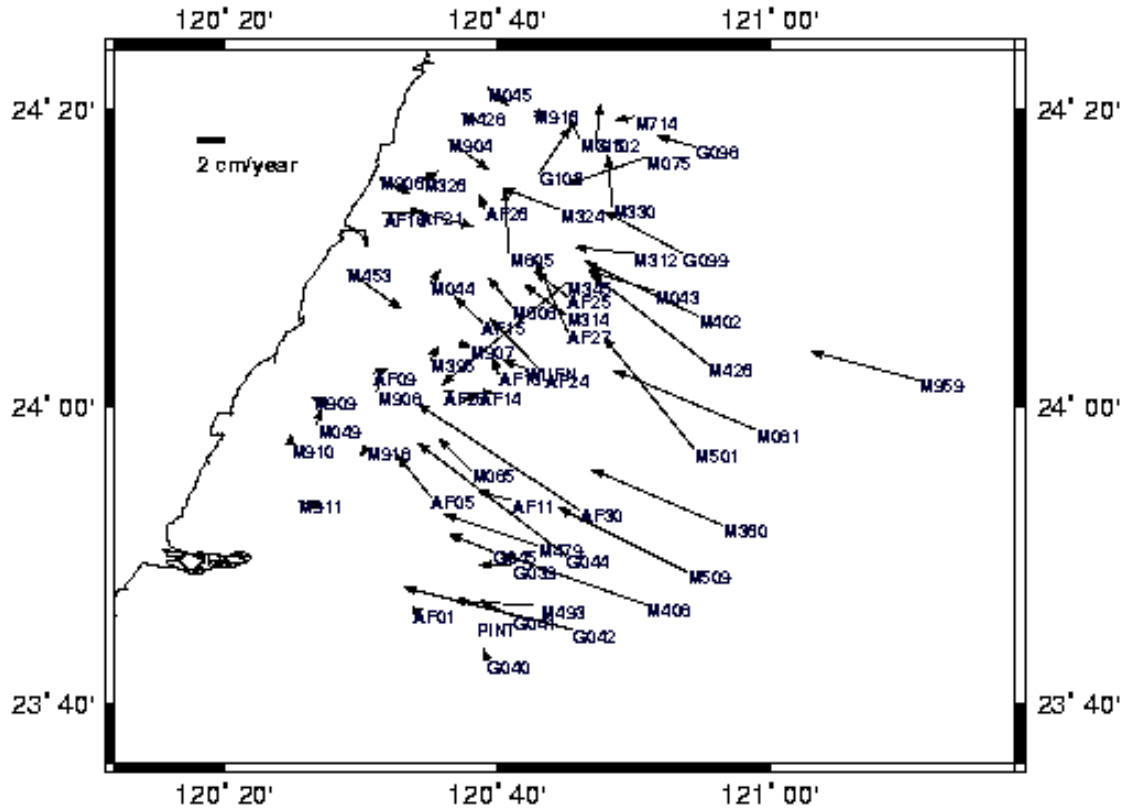


表 5-9 以實際資料解算得參考時刻座標及速度與其 Bernese 速度場之差異

站名	V_N 差值 (mm/year)	V_E 差值 (mm/year)	V_U 差值 (mm/year)
AF01	2.20	3.88	19.28
AF05	19.65	33.58	43.93
AF09	3.33	4.48	0.80
AF11	1.98	15.78	72.73
AF14	5.19	4.85	2.41
AF15	17.69	5.87	15.42
AF16	4.55	4.44	18.69
AF18	0.82	10.98	15.05
AF21	3.50	12.19	46.41
AF24	2.78	7.21	29.91
AF25	6.52	10.09	73.83
AF26	3.24	11.73	6.85
AF28	10.77	6.67	34.17
AF30	19.78	16.02	30.76
G039	3.36	8.85	2.25
G040	1.93	1.36	68.64
G041	4.13	2.32	71.65
G042	4.27	3.02	31.46
G044	6.68	1.70	26.44
G045	2.69	12.28	26.88
G098	2.59	6.68	26.49
G099	2.96	11.74	38.76
G102	4.00	9.86	68.07
G103	20.00	8.55	50.98

台灣中部地區基本控制點變位監測

M043	9.54	6.02	46.3
M044	9.11	6.49	53.03
M045	3.29	0.99	52.78
M049	0.43	9.50	18.89
M081	0.99	14.9	7.95
M085	21.65	30.28	11.59
M312	1.69	6.62	62.10
M314	4.47	1.15	52.83
M315	1.03	10.04	77.25
M324	2.10	7.75	19.83
M326	7.13	5.09	18.39
M330	12.97	16.09	22.88
M345	0.77	22.66	66.85
M360	6.19	8.77	82.78
M395	8.55	0.17	42.61
M402	6.19	6.02	36.65
M408	8.05	4.84	26.56
M426	6.38	0.64	25.49
M428	1.38	2.17	57.5
M453	2.43	22.2	19.73
M493	4.14	8.77	68.06
M501	4.42	20.65	38.51
M509	10.41	15.13	19.83
M714	8.81	16.04	90.92
M808	8.18	14.76	27.41
M904	8.58	4.87	59.86
M906	5.26	8.80	20.59

M907	8.21	0.07	11.44
M908	6.90	6.42	23.59
M909	0.30	7.12	13.69
M910	1.41	12.00	39.00
M911	10.67	5.62	59.61
M916	5.18	7.14	74.17
M918	3.54	12.55	85.21
M959	3.02	14.86	31.34
PINT	0.00	0.00	0.00
WUFN	1.74	1.11	11.83

表 5-10 以實際資料解算得參考時刻座標及速度與其 Bernese 速度場之差異統計表

項目	多期平差與 Bernese 最大 差值(m)	多期平差中誤 差平均值(m)	多期平差中誤 差之均方根值
N 速度分量	0.02165	0.02965	0.03169
E 速度分量	0.03358	0.02965	0.03169
U 速度分量	0.09022	0.02965	0.03169

第六章 速度場內插模式建立

第一節 簡介

由於 1999 年 9 月 21 日凌晨台灣中部發生規模 7.3 的集集大地震,造成長達 100KM 的地面斷裂,在震後的三個月內,在台灣中部施測的 GPS 資料估算集集地震的同震位移發現,車籠埔斷層的東側(上盤)變位呈西北至西北北方向,而斷層的下盤則朝東南至東南東的方向變動,因此欲使內插精度提高,應考慮內插點所在之板塊位置。板塊之依據是以車籠埔斷層為分界,其做法是先將欲內插點做判斷,其點位的位置是置於斷層之東側或西側,再以該多邊形內之速度資料進行內插。

第二節 內插方法及流程

內插的程序可區分成兩種形式,一為建構網格點後內插,二為直接由資料點內插,前者為方法(1)之內插包括有 minimum curvature(GMT 之 surface 指令)、三角形法(triangulate)及最近鄰居法(nearneighbor),內插之流程如圖 6-1 所示,其中規則網格點內插採高精度多項式內插行之。見程式 interp2d.f90。後者為方法(2)之內插包括有無逆法之高斯給權法及無逆法之 shepard 給權法,內插之流程如圖 6-2 所示,其中內插速度所用之程式為 velinter.f90。

圖 6-1：方法(1)之內插流程圖

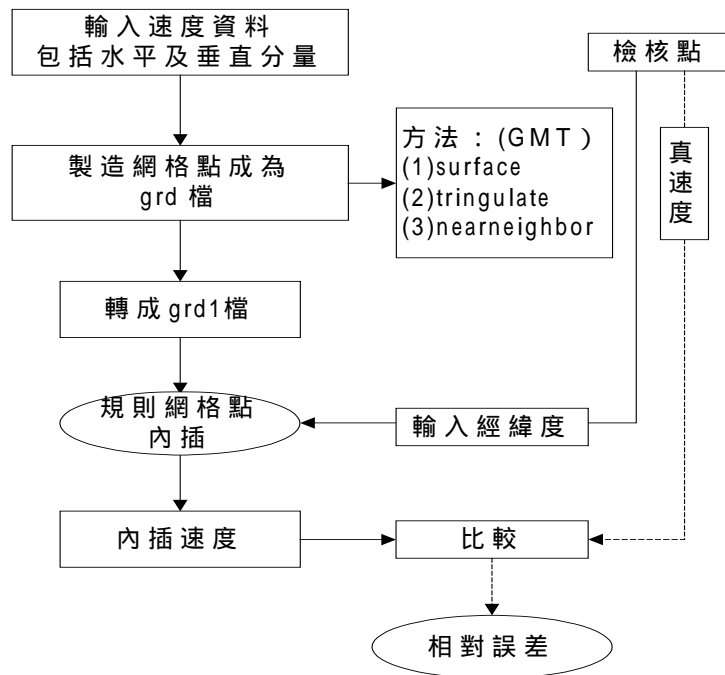
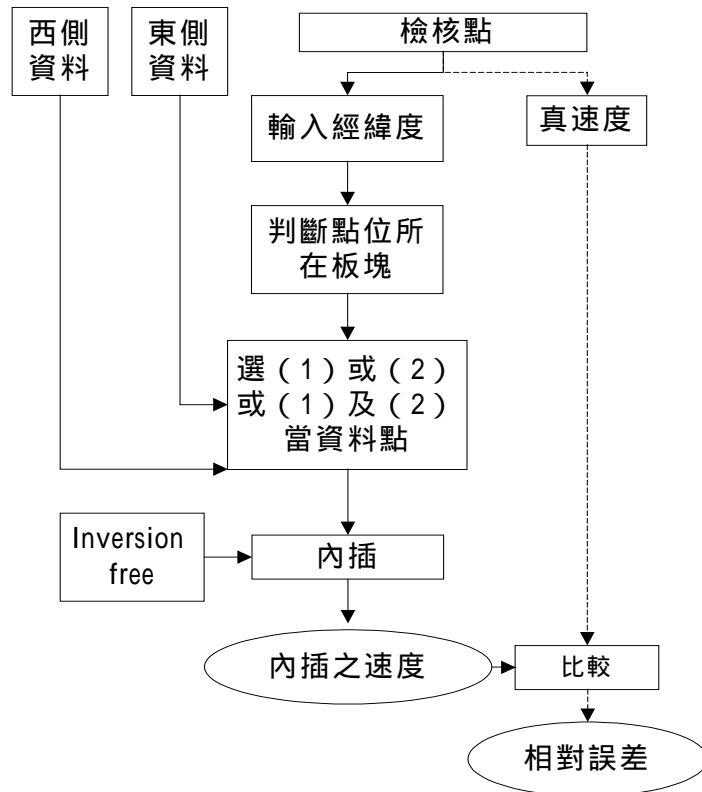


圖 6-2：方法(2)之內插流程圖



方法(1):先用資料點建構網格再用網格內插,本計劃建構網格的方法為下列三種(均使用 GMT 軟體):

(1) triangulate:將資料點與鄰近資料點連結成近似等邊三角形,而行之內插。

(2) surface:令曲面函數為 $Z = f(x, y)$ 則 surface 內插時解下列偏微分方程:

$$(1-t)\nabla(\nabla Z) + t(\nabla Z) = 0$$

t 約為 0.25 左右,若取 t=0 則稱最小曲面法, t=1 則稱調和分析法。

(3) nearneighbor:此法為加權平均法。以內插點為圓心,在適當半徑內圓內找出一個或多個以上之資料點,再計算加權平均(即內插值)。

權函數的計算公式:

$$W(r) = 1.0 / (1 + d^2)$$

$$d = 3 * r / \text{搜尋半徑}$$

r : 內插點到資料點的幾何距離。

方法(2)直接以資料點內插,內插時使用無逆方法(inversion free),即加權平均法:

$$Z = \frac{\sum w_k z_k}{\sum w_k}$$

其中 Z 為內插速度, z_k 為資料點之速度, w_k 為權,共分二種:

1. 高斯給權法:

$$w_k = e^{-\frac{\rho_k^2}{d^2}}$$

ρ_k : 內插點到各觀測量的距離。

2. Shepard 給權法:

$$w_k(x, y, z) = \left[\frac{(d - \rho_k)_+}{d\rho_k} \right]^2$$

$$(d - \rho_k)_+ = \begin{cases} d - \rho_k & \text{if } \rho_k < d \\ 0 & \text{if } \rho_k \geq d \end{cases}$$

上述兩種給權法中 d 為搜尋半徑。當資料點越接近內插點時權會越來越大反之則越小,若全列入考慮時則 d 值必須大於所有 ρ_k 值。當 $\rho_k = 0$, 可令 w_k 為極大之數字(如 10^{20}), 故理論上此法可完全複製資料。

第三節 內插方法成果分析

6.3.1 資料來源

內插速度的資料來源是由 Bernese 算得，GPS 資料由土測局提供。點位分佈如圖 6-3 所示，為測試上述五種內插方法將在這些資料點中萃取幾個點進行速度內插，其結果應趨近真速度，兩者之差越趨近於零則表示精度越高，並以誤差百分比做為判斷指標，測試成果有 3 個 case，分別為表 6-1、表 6-2 及表 6-3，每個 case 中有 4 個點位，其速度內插之測試資料點如後：

表 6-1 case1 內插之檢核點

站名	經度	緯度	$V_E(\text{mm/yr})$	$V_N(\text{mm/yr})$
M714	120.834055	24.324470	13.25	-0.85
M426	120.924791	24.047025	-79.66	58.01
M436	120.713507	24.061252	-15.37	33.61
M044	120.584461	24.138129	20.56	-0.16

表 6-2 case2 內插之檢核點

站名	經度	緯度	$V_E(\text{mm/yr})$	$V_N(\text{mm/yr})$
S038	121.141095	23.753646	-124.49	54.04
G044	120.750540	23.832561	-105.51	73.93
M918	120.507009	23.953098	8.92	-7.99
M093	120.471033	23.693761	9.15	-9.42

表 6-3 case3 內插之檢核點

站名	經度	緯度	$V_E(\text{mm/yr})$	$V_N(\text{mm/yr})$
M400	120.759885	23.678319	-105.03	51.55
M509	120.898181	23.814022	-104.47	56.22
AF05	120.585845	23.898479	11.57	10.93
M003	120.309331	23.797372	6	-0.93

圖 6-3：內插速度資料點位 case1 分佈圖 ● 表資料點 表檢核點

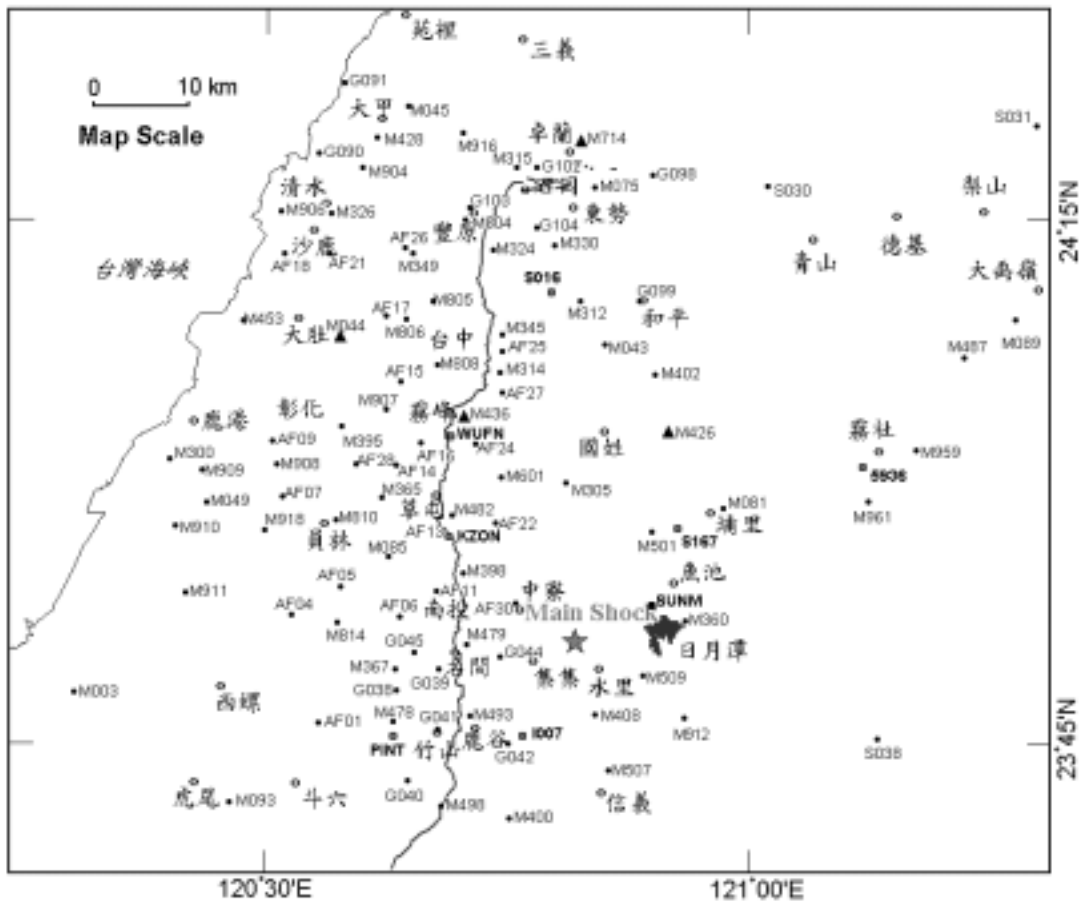


圖 6-4：內插速度資料點位 case2 分佈圖 ● 表資料點 表檢核點

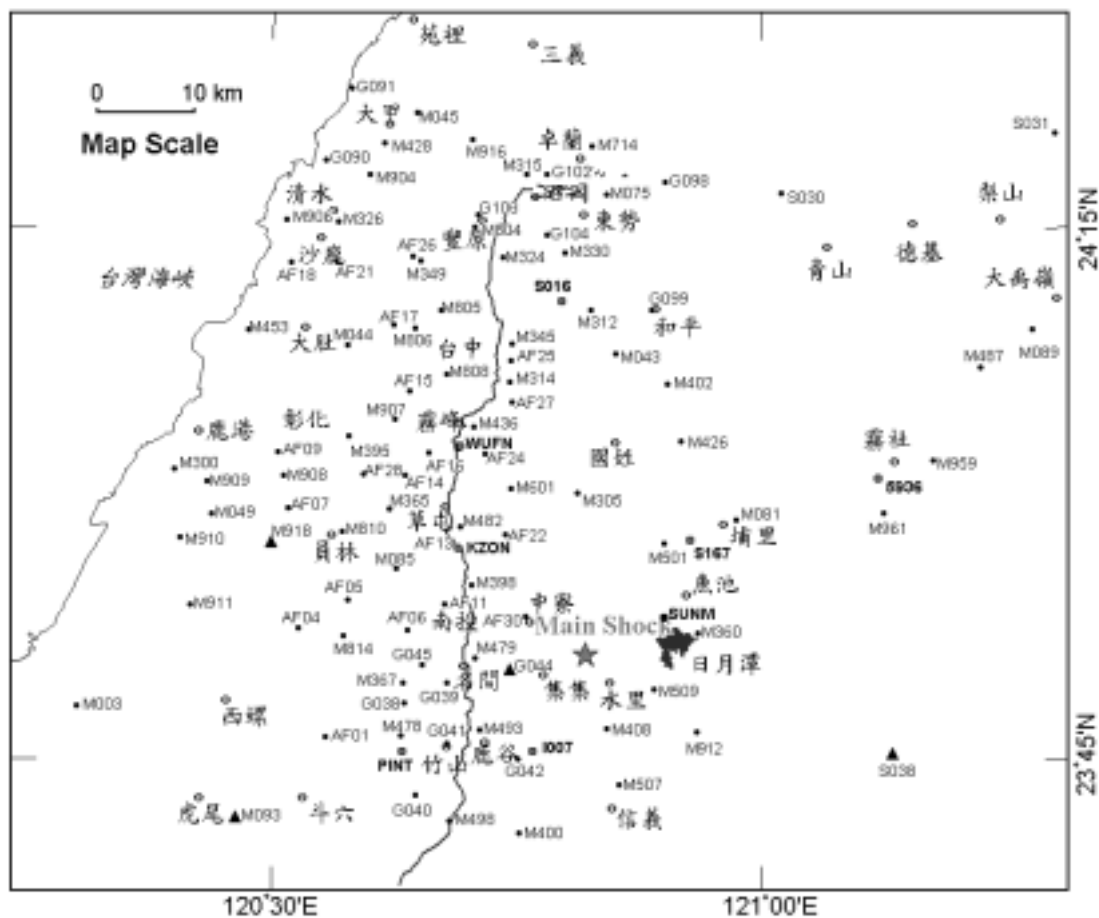


圖 6-5：內插速度資料點位 case3 分佈圖 ● 表資料點 ▲ 表檢核點

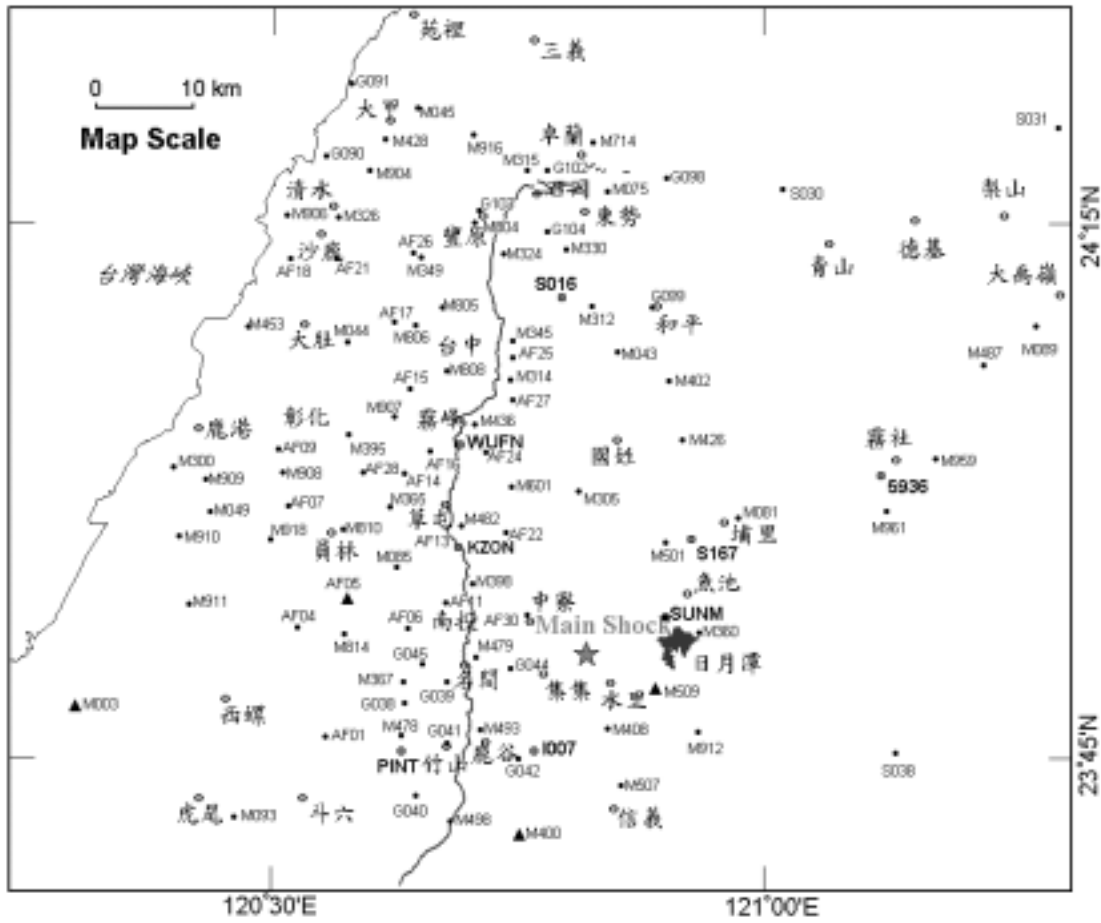


表 6-4 測試內插程式之資料點

站名	經度	緯度	V_E (mm/yr)	V_N (mm/yr)	V_E 中誤差 (mm/yr)	V_N 中誤差 (mm/yr)
5936	121.126769	24.012944	-112.07	43.91	0.13	0.13
6389	121.284586	24.152439	-32.71	53.21	0.4	0.36
AF01	120.562782	23.768839	14.63	0.79	0.25	0.27
AF04	120.534574	23.871442	11.92	-11.34	0.30	0.32
AF05	120.585845	23.898479	11.57	10.93	0.24	0.24
AF06	120.646188	23.870048	3.01	9.04	0.33	0.34
AF09	120.514285	24.037310	9.40	7.45	0.33	0.34
AF11	120.684446	23.894421	-6.47	8.40	0.25	0.26
AF12	120.637499	23.906705	8.66	2.22	0.36	0.38
AF13	120.697667	23.946531	0.85	2.55	0.30	0.31
AF14	120.643243	24.015023	-4.07	-0.12	0.27	0.28
AF15	120.647752	24.094266	-13.02	1.57	0.29	0.30
AF16	120.668334	24.036434	-6.42	6.83	0.26	0.27
AF17	120.631853	24.156588	14.69	9.25	0.38	0.40
AF18	120.526906	24.216005	20.10	2.80	0.38	0.39
AF21	120.572537	24.216445	23.94	-6.77	0.35	0.35
AF22	120.745725	23.959871	-81.15	29.98	0.26	0.27
AF24	120.725033	24.035018	-29.41	37.76	0.22	0.23
AF25	120.751947	24.123181	-11.91	12.00	0.27	0.28
AF26	120.651399	24.221701	8.69	6.38	0.29	0.31

AF27	120.752395	24.083850	-23.21	14.72	0.40	0.40
AF28	120.600642	24.015998	25.06	-1.78	0.5	0.52
AF30	120.767180	23.882865	-129.84	56.03	0.26	0.27
G037	120.640340	23.756549	-13.53	11.15	0.48	0.45
G039	120.686773	23.820365	-13.23	-2.65	0.27	0.28
G040	120.654825	23.714348	-0.07	6.56	0.25	0.26
G041	120.686456	23.763025	-19.42	6.89	0.25	0.26
G042	120.759048	23.748856	-120.77	26.02	0.30	0.31
G044	120.750540	23.832561	-105.51	73.93	0.27	0.28
G045	120.661835	23.836650	-18.66	11.51	0.25	0.26
G090	120.561940	24.311932	16.68	4.26	0.33	0.34
G091	120.588818	24.379423	33.59	0.51	0.32	0.35
G098	120.909038	24.291038	-19.80	5.91	0.27	0.27
G099	120.894717	24.170997	-66.90	27.94	0.30	0.29
G102	120.787591	24.298734	13.79	23.74	0.26	0.27
G103	120.718093	24.260551	-0.71	8.53	0.43	0.44
G104	120.787678	24.241576	-41.15	9.05	1.31	1.12
M003	120.309331	23.797372	6.00	-0.93	0.26	0.26
M007	120.774409	23.756193	-152.18	-2.68	0.37	0.39
M043	120.858778	24.129282	-51.70	24.91	0.28	0.29
M044	120.584461	24.138129	20.56	-0.16	0.31	0.31
M045	120.655120	24.356337	13.68	-18.35	0.34	0.34
M049	120.446154	23.978614	16.63	11.77	0.29	0.30

台灣中部地區基本控制點變位監測

M075	120.848891	24.279302	-32.49	-8.01	1.53	1.28
M081	120.982004	23.973887	-113.58	42.38	0.27	0.27
M085	120.634790	23.927553	13.02	0.04	0.21	0.21
M093	120.471033	23.693761	9.15	-9.42	0.30	0.32
M300	120.407778	24.020443	3.61	13.91	0.28	0.27
M312	120.832924	24.171298	-51.65	1.91	0.52	0.46
M314	120.749979	24.103132	-27.19	27.43	0.28	0.30
M315	120.767302	24.298845	3.01	19.28	0.50	0.41
M324	120.742707	24.220224	-29.00	13.33	0.26	0.27
M326	120.575098	24.254166	-2.30	-12.31	0.74	0.75
M330	120.806747	24.224482	-17.98	26.97	0.81	0.74
M345	120.752522	24.139088	-65.01	-71.5	0.39	0.39
M360	120.942333	23.866333	-99.58	46.69	0.44	0.45
M365	120.627529	23.983883	8.99	-0.91	0.28	0.29
M395	120.585639	24.051767	6.57	2.40	0.22	0.23
M398	120.712077	23.912235	-22.97	-14.60	0.45	0.42
M400	120.759885	23.678319	-105.03	51.55	0.32	0.32
M402	120.911596	24.101525	-83.37	45.46	0.43	0.41
M408	120.849173	23.776945	-104.99	43.80	0.78	0.62
M426	120.924791	24.047025	-79.66	58.01	0.37	0.34
M428	120.622008	24.327447	11.34	-2.28	0.35	0.37
M436	120.713507	24.061252	-15.37	33.61	0.91	0.68
M453	120.483419	24.152508	13.18	-6.77	0.72	0.65

M479	120.715857	23.843555	-59.30	6.68	0.51	0.47
M482	120.700636	23.966581	-44.3	27.77	0.36	0.31
M487	121.231543	24.116535	-52.19	24.32	0.37	0.35
M493	120.719957	23.775427	-50.51	7.67	0.55	0.46
M498	120.689465	23.690109	-31.16	0.09	0.57	0.59
M501	120.908264	23.951157	-82.32	76.91	0.28	0.28
M507	120.862890	23.724302	-80.09	44.02	0.55	0.54
M509	120.898181	23.814022	-104.47	56.22	0.28	0.28
M714	120.834055	24.324470	13.25	-0.85	0.66	0.68
M805	120.680555	24.170834	-5.73	-0.48	0.29	0.30
M808	120.685657	24.110571	-0.71	14.01	0.3	0.29
M904	120.606782	24.298469	16.83	-21.42	0.62	0.63
M906	120.522330	24.256216	12.45	-5.69	0.26	0.27
M907	120.632724	24.067698	1.79	9.67	0.26	0.27
M908	120.519310	24.015475	7.07	11.45	0.89	0.80
M909	120.440977	24.009496	18.95	-2.17	0.31	0.32
M910	120.413748	23.956357	13.23	6.07	0.33	0.36
M911	120.424596	23.892931	23.34	8.27	0.27	0.29
M916	120.711919	24.331485	16.62	-0.17	0.29	0.28
M918	120.507009	23.953098	8.92	-7.99	0.27	0.29
M959	121.182329	24.029055	-90.77	24.37	0.36	0.35
M961	121.131921	23.979807	-81.31	18.86	0.40	0.38
PINT	120.640566	23.756069	0.00	0.00	0.00	0.00

台灣中部地區基本控制點變位監測

S016	120.802868	24.179552	-84.13	-3.80	0.14	0.16
S01R	119.592369	23.655276	12.74	7.03	0.16	0.14
S030	121.027510	24.280703	0.61	68.94	0.34	0.33
S038	121.141095	23.753646	-124.49	54.04	0.39	0.38
S164	120.700018	24.041949	-7.48	-6.27	0.59	0.64
S165	120.697547	24.042222	-2.79	7.04	0.57	0.62
S167	120.934101	23.954423	-89.40	58.85	0.15	0.15
WUFN	120.699389	24.042786	-13.59	4.49	0.11	0.11

6.3.2 內插絕對及相對精度分析

表 6-5 為方法(1)以 triangulate 法建網格測試結果，表 6-6 為方法(1)以 surface 法建網格測試結果，表 6-7 為方法(1)以 nearneighbor 法建網格測試結果，表 6-8 為方法(2)高斯給權法測試結果，表 6-9 為方法(2)Shepard 給權法測試結果。

表 6-5 方法(1)以 Triangulate 建網格法測試結果

站名	V_E (真)	V_N (真)	V_E 內插	V_N 內插	V_E (差異)	V_N (差異)	V_E (相對)	V_N (相對)
Case 1	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	誤差%	誤差%
M714	13.25	-0.85	0.09	0.96	13.16	-1.81	99.3	212.9
M426	-79.66	58.01	-88.01	49.05	8.35	8.96	10.5	15.4
M436	-15.37	33.61	-15.16	8.38	-0.21	25.23	1.4	75.1
M044	20.56	-0.16	12.94	3.83	7.62	-3.99	37.1	2493.8
Case2								
S038	-124.49	54.04	4.52	1.52	-129.01	52.52	103.6	97.2
G044	-105.51	73.93	-110.49	21.38	4.98	52.55	4.7	71.1
M918	8.92	-7.99	11.21	3.09	-2.29	-11.08	25.7	138.7
M093	9.15	-9.42	-20.47	1.17	29.62	-10.59	323.7	112.4
Case3								
M400	-105.03	51.55	12.63	4.70	-117.66	46.85	112.0	90.9
M509	-104.47	56.22	10.35	7.62	-114.82	48.60	109.9	86.4
AF05	11.57	10.93	11.99	-5.27	-0.42	16.20	3.6	148.2
M003	6.00	-0.93	17.51	2.86	-11.51	-3.79	191.8	407.5

表 6-6 方法(1)以 surface 建網格法測試結果

站名	V_E (真)	V_N (真)	V_E 內插	V_N 內插	V_E (差異)	V_N (差異)	V_E (相對	V_N (相對
Case1	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	誤差%)	誤差%)
M714	13.25	-0.85	-2.50	6.31	15.75	-7.16	118.9	842.0
M426	-79.66	58.01	-86.22	49.47	6.56	8.54	8.2	14.7
M436	-15.37	33.61	-12.95	9.77	-2.42	23.84	15.7	70.9
M044	20.56	-0.16	12.7	3.48	7.86	-3.64	38.2	2275.9
Case2								
S038	-124.49	54.04	-128.81	43.99	4.32	10.05	3.5	18.6
G044	-105.51	73.93	-93.17	23.16	-12.34	50.77	11.7	68.7
M918	8.92	-7.99	14.36	6.02	-5.44	-14.01	61.0	175.4
M093	9.15	-9.42	4.15	1.58	5.00	-11	54.6	116.7
Case3								
M400	-105.03	51.55	-75.93	19.10	-29.10	32.45	27.7	63.0
M509	-104.47	56.22	-102.17	49.43	-2.30	6.79	2.2	12.1
AF05	11.57	10.93	11.31	-2.89	0.26	13.82	2.3	126.4
M003	6.00	-0.93	31.58	-7.30	-25.58	6.37	426.4	684.6

表 6-7 方法(1)以 nearneighbor 建網格法測試結果

站名	V_E (真)	V_N (真)	V_E 內插	V_N 內插	V_E (差異)	V_N (差異)	V_E (相對 誤差%)	V_N (相對 誤差%)
Case1	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	誤差%	誤差%
M714	13.25	-0.85	0.00	0.00	13.25	-0.85	100.0	100.0
M426	-79.66	58.01	-72.54	59.13	-7.12	-1.12	8.9	1.9
M436	-15.37	33.61	-16.78	17.76	1.41	15.85	9.2	47.2
M044	20.56	-0.16	8.68	2.69	11.88	-2.85	57.8	1781.6
Case2								
S038	-124.49	54.04	0.00	0.00	-124.49	54.04	100.0	100.0
G044	-105.51	73.93	-89.75	14.86	-15.76	59.07	14.9	79.9
M918	8.92	-7.99	13.75	4.90	-4.83	-12.89	54.2	161.3
M093	9.15	-9.42	-1.25	0.43	10.40	-9.85	113.6	104.6
Case3								
M400	-105.03	51.55	0.00	0.00	-105.03	51.55	100.0	100.0
M509	-104.47	56.22	-111.58	51.05	7.11	5.17	6.8	9.2
AF05	11.57	10.93	8.13	-1.97	3.44	12.9	29.7	118.1
M003	6.00	-0.93	0.00	0.00	6.00	-0.93	100.0	100.0

表 6-8 方法(2)高斯給權法測試結果

站名	V_E (真)	V_N (真)	V_E 內插	V_N 內插	V_E (差異)	V_N (差異)	V_E (相對)	V_N (相對)
Case1	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	誤差%	誤差%
M714	13.25	-0.85	-31.05	-6.92	44.30	6.07	334.3	714.7
M426	-79.66	58.01	-83.62	46.67	3.96	11.34	5.0	19.6
M436	-15.37	33.61	-13.75	10.63	-1.62	22.98	10.5	68.4
M044	20.56	-0.16	16.52	-1.45	4.04	1.29	19.7	804.7
Case2								
S038	-124.49	54.04	-81.31	18.86	-43.18	35.18	34.7	65.1
G044	-105.51	73.93	-103.58	33.69	-1.93	40.24	1.8	54.4
M918	8.92	-7.99	7.67	9.83	1.25	-17.82	14.0	223.0
M093	9.15	-9.42	14.65	0.75	-5.50	-10.17	60.1	107.9
Case3								
M400	-105.03	51.55	-128.51	18.78	23.48	32.77	22.4	63.6
M509	-104.47	56.22	-99.65	45.32	-4.82	10.90	4.6	19.4
AF05	11.57	10.93	11.33	-1.80	0.24	12.73	2.1	116.4
M003	6.00	-0.93	23.13	8.22	-17.13	-9.15	285.5	984.4

表 6-9 方法(2)Shepard 給權法測試結果

站名	V_E (真)	V_N (真)	V_E 內插	V_N 內插	V_E (差異)	V_N (差異)	V_E (相對 誤差%)	V_N (相對 誤差%)
Case1	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	誤差%	誤差%
M714	13.25	-0.85	-34.57	8.44	47.82	-9.29	360.9	1093.3
M426	-79.66	58.01	-75.44	40.50	-4.22	17.51	5.3	30.2
M436	-15.37	33.61	-20.40	10.81	5.03	22.80	32.7	67.8
M044	20.56	-0.16	9.44	0.83	11.12	-0.99	54.1	618.6
Case2								
S038	-124.49	54.04	-74.09	31.24	-50.40	22.80	40.5	42.2
G044	-105.51	73.93	-79.91	21.68	-25.60	52.25	24.3	70.7
M918	8.92	-7.99	9.85	4.29	-0.93	-12.28	10.4	153.7
M093	9.15	-9.42	8.49	3.11	0.66	-12.53	7.2	133.1
Case3								
M400	-105.03	51.55	-92.67	19.67	-12.36	31.88	11.8	61.9
M509	-104.47	56.22	-81.97	39.29	-22.50	16.93	21.5	30.1
AF05	11.57	10.93	6.60	1.62	4.97	9.31	42.9	85.2
M003	6.00	-0.93	10.36	2.92	-4.36	-3.85	72.7	413.7

為使上述方法之測試結果能夠更清楚的比較出好壞,且分別對水平及垂直方向做分析如表 6-10 所述,其中符號 為誤差百分率低於 50%,符號 為誤差百分率在 50% 100%之間,符號x為誤差百分率 100%以上。

表 6-10 內插方法測試結果(5 種)

Case	測點	最小曲率法		三角形法		最近鄰居法		高斯給權法		Shepard 給權法	
		V_E	V_N	V_E	V_N	V_E	V_N	V_E	V_N	V_E	V_N
Case1	M714	x	x	x		x	x	x	x	x	x
	M426			x	x						
	M436			x	x						
	M044	x		x		x			x		x
	S038				x	x	x				
Case2	G044			x	x						
	M918	x		x		x			x		x
	M093	x		x		x	x		x		x
	M400				x	x	x				
Case3	M509				x						
	AF05	x			x	x			x		
	M003	x	x	x		x	x	x	x		x

：為邊界之點資料。

由上表中可以看出方法(1)surface 建網格與方法(2) Shepard 給權法結果精度相當，但又以 Shepard 給權法的方法最好，高斯給權法次之，nearneighbor Method，在邊界點上其精度非常差，在資料密集之處成果較好。triangulate 的方法精度最不理想，不僅在邊緣之點內插精度不好，在資料密集處亦出現有精度大於 100% 的現象，因此本計畫建議使用方法(2)之 Shepard 給權法進行內插。若未來資料點比現有的資料更密，則相對誤差會降低。本計劃所使用的內插方法 目前只考慮數學方法，若再進一步考慮車籠埔斷層東西板塊之運動特性則內插精度也許會再提升。

6.3.3 內插程式使用說明

以下所述之程式皆以 command-line 的方式，適用於 Microsoft Dos mode。

1. 將中部所有之速度資料點以車籠埔斷層為分界，故有東西兩塊多邊形，其多邊形內即包含已區分好的速度資料。

用法

```
pip -l fault VERTICES -V volicity data -O output file, contain
volicity data in east polygon and volicity data in west polygon
```

其中

```
-l input file for fault VERTICES
-V volicity data
-O output file
```

2. 將欲內插之資料輸入，即可求得內插結果。使用 velinter.f90，此程式會先將點位判斷是屬於那一個多邊形，再根據判斷結果運用該多邊形內的資料進行內插。

用法

```
velinter -l interpolation value -O output file -D distance constant
```

其中

```
-l: interpolation value contain station name, longitude and latitude
-O: output file
-D: distance constant [default=2km]
```

3. 以建立規則網格點之內插法其整個作業包含兩大部分，一為建立規則網格，二為進行內插，第一部分是 GMT 軟體完成，而內插的部分需由程式來完成，其程式為 interp2d.f90，故若選用方法(2)之內插法需具備 GMT 軟體及 interp2d.f90 程式。

範例：

```
batch job
```

最小曲率法：

```
surface vol_north_1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5m/0.5m -T0.25
```

```
-Gvel_north.grd
```

```
surface vol_east_1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5m/0.5m -T0.25
```

台灣中部地區基本控制點變位監測

```
-Gvel_east.grd  
grd2xyz vel_north.grd -Z|z2grd1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5/0.5  
-Gvel_north.grd1  
grd2xyz vel_east.grd -Z|z2grd1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5/0.5  
-Gvel_east.grd1  
interp2d -Avel_north.grd1 -Bvel_east.grd1 -Iinterp1_1 -Gp1_sur
```

三角形法：

```
triangulate vol_north_1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5m/0.5m -E0  
-Gvel_x.grd>v1.xyz  
triangulate Vol_east_1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5m/0.5m -E0  
-Gvel_y.grd>v2.xyz  
grd2xyz vel_y.grd -Z|z2grd1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5/0.5 -Gvel_y.grd1  
grd2xyz vel_x.grd -Z|z2grd1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5/0.5 -Gvel_x.grd1  
interp2d -Avel_y.grd1 -Bvel_x.grd1 -Iinterp1_1 -Gp1_tri
```

最近鄰居法：

```
nearneighbor vol_north_1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5m/0.5m -S1.12 -E0  
-Gvel_y.grd  
nearneighbor vol_east_1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5m/0.5m -S1.12 -E0  
-Gvel_x.grd  
grd2xyz vel_y.grd -Z|z2grd1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5/0.5 -Gvel_y.grd1  
grd2xyz vel_x.grd -Z|z2grd1 -R120.3/121.3/23.4/24.4 -I0.5/0.5 -Gvel_x.grd1  
interp2d -Avel_y.grd1 -Bvel_x.grd1 -Iinterp1_1 -Gp1_nea
```

高斯給權法：

```
velinter_2 -Iinterp1 -Oinv_1p -D2000
```

Shepard 給權法：

```
velinter_3 -linterp1 -0shp_1p
```


第七章、結論與建議

根據本研究計畫對中部監測網的六次外業觀測所得。GPS 資料進行處理計算及平差、點位速度推算分析、網形平差程式的開發與檢核、速度場內差模式及程式的開發與檢核，可綜合得到下列結論。

- (一) 六次外業觀測中，除了第二次觀測時間段為 3 小時，其餘各次觀測時間段，除了少數站例外，一般皆 7 小時以上。經以精密衛星軌道配合 QIF 作 GPS 資料處理計算，並針對各次觀測計算所得座標作平差。第一、五、六次觀測，由於測點的篩選，使遮蔽效應影響較小，及觀測儀具的一致，精確度較高；平面度精度約在 3-6 mm，高程精度約在 1.2-1.8 cm。第二次觀測，由於精度低，並不適合用於點位速度推算，而第三、四次觀測時間段有 8 小時，然其精確度卻不如五、六次觀測，主要原因可能是該兩次觀測儀器採用不同廠牌混合，且部份儀器 L2 是採用半波長之追蹤方式的緣故。
- (二) 歷次觀測均有些點因遮蔽影響而被剔除，經以 M075 站不同次觀測 (campaign) 之 6 天資料作計算比較，發現平面及高程座標確實會產生 10 cm 以上異常變動；這類測站並不適合選為監測站。同時亦對第六次觀測作 4 小時分段資料測試，發現座標精確度並沒有明顯降低，此可能與所選測站透空度佳，且採同型儀器作觀測有關。觀測時間段雖可略縮短，然為確保監測品質，觀測時間段仍應維持 5-6 小時。第六次觀測不僅精度高，且幾乎所有點均有重複觀測，可靠度亦高，整數週波未定值的平均解算率也達九成以上，實足以作為該監測網往後觀測規劃的範例。
- (三) 利用 GPSEST 子程式作參數求解，同時將各天法方程式儲存，不僅方便資料保存及交換方便，將來更可過 ADDNEQ 子程式作法方程式堆疊，求解整次觀測座標，亦可整合多次觀測法方程式，同時引進測站速度參數，以嚴密方式求解各測站速度。

- (四) 經以第一、三、四、五、六次觀測約間隔一年的資料，經約制 S01R 的座標及速度，推算其它監測站的速度顯示，車籠埔斷層東側(上盤)震後有明顯向西北西移位，靠近南邊點位，其位移速度最大達 13 cm，向北則遞減為 2 cm，而雙冬斷層東側靠近中央山脈的點位平均也有 8 cm 位移量。相對的車籠埔斷層西側(下盤)位移較不明顯，一般皆低於 2 cm。
- (五) 分析本研究案之點位量測精度顯示，各觀測點位相對澎湖固定站 S01R 之重現性，可以得知此精度略差於 Yu and Chen (1994)之分析結果，其原因可能是監測網本身的觀測精度稍差，及線性模式可能無法完整描述該地區震後的變形移位。
- (六) 本計劃成功的開發出 GPS 平差基線向量及計算速度之程式。
- (七) 根據內插之方法(1)及方法(2)的結果，欲建立內插模式以無逆法之 shepard 給權法最佳。
- (八) 從三個測試內插的案例中可以發現，置於邊界之點位內插的精度幾乎都超過了 100%，如 M714、M003，而資料較密集的點位內插精度較好，如 M509、AF05，因此欲使內插精度提升其須有足夠的資料點。
- (九) 由本計劃六次 GPS 外業觀測及資料分析結果發現，測點的透空度對觀測品質及精度的影響甚巨。部份現有測點透空度不佳，應嚴格要求在施測前設法清除測量障礙物。如確無法清除，則應考慮在其它適當地點另設替代之新點。
- (十) 經由本計劃執行期間 GPS 監測結果顯示：中部地區於 921 地震後，仍處於快速變動狀態，點位最大年位移量達 15 cm 以上 (表 4-2)，遠大於監測 7 年分析而得之該區速度場 (Yu et al., 1997)，其影響、衍生地籍之問題甚巨。因此建議土地測量局仍需繼續執行此監測計劃 1~2 年，以期記錄、了解中部地區地籍控制點之震後變形移位。

附錄

附錄一 程式說明

Program gpsnet

Last update: March 29, 2001

名稱

gpsnet - 平差 GPSurvey 所輸出之基線向量資料，可求得座標值及相關參數

用法

gpsnet - lvector.obs -Oname [-F_fixed_stn_file -Mmodel -N -P -S]
括號內為可加可不加，但括號外為平差之必要條件。

說明：

- l 程式執行所需之輸入檔，即為基線向量檔，檔案格式為前視、後視、基線分量及基線分量之協變方矩陣。讀取前處理程式 (fhandle.f90) 之輸出檔
- O "name" 輸出檔之主檔名，共會產生 .crd、.res、.err、.ell、.hea、.his、.sta 等輸出檔，若有加-N 則會多產生 .nor 供多期平差程式使用，若採用自由基準解算為-M1 則會多產生 .adj 檔。其個檔之內容如下所述：

name.crd：解算座標之結果，包括有站名、座標值及標準差。
name.res：粗差值及偵測結果
name.err：被刪除之基線
name.adj：平差後之基線向量資料
name.nor：加-N 則會輸出法方程式
name.his：殘差分佈狀況
name.hea：觀測時間、未知點數、觀測量數及所有站名。
name.sta：統計參數
name.ell：誤差橢圓參數

選擇：

- F 固定站檔，需有站名、座標及中誤差，若選擇模式 1 則會以此檔之第一個值為起始值解算。
- M 模式 1 為自由網解算，模式 2 為加權約制解算，內定值為自由網解算
- N 要求輸出法方程式
- P 以單位權計算
- S 權矩陣乘一尺度因子，內定值為 1

台灣中部地區基本控制點變位監測

範例：

gpsnet_best -l1_vel.obs -01_velm -FPINT.txt -M2 -N -P

Program addnorm

Last update : April 9, 2001

名稱

addnorm – 加入各時段之法方程式，以解算參考時刻座標及點位之速度

用法

```
addnorm -lall stations -Clist_of_norm -Oname [-Ffixed station -Mmodel -Smjd0]
```

說明：

- l 觀測站檔，其檔案之內容為列出所有觀測之點位名稱
- C 法方程式檔，其檔案內為列出各時段法方程式之檔名
- O 輸出檔之主檔名，並會產生 .vel.、.plo.、.app 等檔
- name.vel：輸出站名、參考時刻座標、XYZ 各分量之速度、參考時刻座標之中誤差、XYZ 各分量之速度之中誤差。
- name.plo：站名、經度、緯度、高程、NEU 各分量之速度及其中誤差。
- name.app：重複觀測次數少於 2 次之觀測站
- S 參考時刻，單位為 MJD 時間

選擇：

- F 固定點檔，需有站名、座標及中誤差。
- M 選擇平差模式，模式 1 為自由網解算，模式 2 為加權約制解算

範例：

```
addnorm -Dstation -Cadd -Ovol_m -FPINT -M2
```

注意事項：平差之前需先執行資料之前處理程式- fhandle.f90

其用法為 fhandle -l1_bas.txt -O1_bas

1_bas.txt：為 GPSurvey 之輸出檔

1_bas：為輸出之主檔名，共會產生.crd、.adj、.che、.obs、.rep、.ori 等 6 個檔，其中.obs 為 gpsnet 程式之輸入檔。.che 為檢核基線資料有無錯誤，其值應為 0。

.crd 為存放座標資料。.rep 為重複基線之資料。.adj 為暫時檔。.ori 為所有之基線資料。

附錄二 內政部土地測量局「灣中部地區基本控制點變位監測」委託研究案期中報告
審查

開會時間：八十九年十二月二十七日下午二時

壹、審查意見

(一)陳委員春盛：

- 1、「進度管制甘梯圖」中實際執行進度請依規定採用實線標明，以確實掌握工作進度。
- 2、「預期成果」中第一點，規劃一個適當中部地區基本控制點變位監測網似乎不易完成，且是否僅在現有點位中選擇或重新設計，可再重新定義及修正。
- 3、「預期效果」中第四點，運動速度場之內插數學模式，可為下級細部測量修正計算之『依據』，建議改為下級細部測量修正計算之『參考』。

【執行情形】：

- 1、期中報告中會將實際的執行進度以實線表示。
- 2、關於規劃一個適當「中部地區基本控制點位監測網」的建議期中報告內會加以修正。
- 3、依照委員建議將「依據」改為「參考」。

(二)高委員書屏：

- 1、第十一頁「以 Bernese 程式輸出之點位推導獨立基線觀測量，則其協變矩陣可能不易求得」部分，請詳細說明。
- 2、第三十六頁至第四十三頁中有關部分數據中，點位運動速度場中標準變方大於平均值部分，於統計學上似有疑義，請詳細說明或修正。
- 3、有關圖六 - 一「網形平差流程圖」中「計算殘差及中誤差」、「求解後驗協變方矩陣」及「求解點位坐標」等步驟順序似有疑義，請研究單位再審慎考量或補充說明。

【執行情形】：

- 1、為比較本計畫開發之速度場模式，和 Bernese 所推求之結果相比對，因而須對 Bernese 軟體必須作適當的修正，因此在期中報告中會做更正。
- 2、標準偏差大於平均值部分，於統計學上表示該點之觀測精度，不足於確認該位移量。
- 3、有關該步驟順序期中報告會補充說明。

(三)劉委員啟清：

- 1、遭自動化資料處理剔除之觀測量，建議再使用人工方法處理，以求更多點位有資料。
- 2、新設計網形平差軟體是否有可選擇各種不同加權功能，或將本計畫處理結果與台灣 GPS 追蹤網或 IGS 全球觀測網，以 SINEX 格式的協變方矩陣加以結合，以求得 ITRF 絕對坐標的最佳控制。

【執行情形】：

- 1、事實上自動化在資料處理上，本研究執行單位，不僅採用自動化處理，對於自動化計算不好的結果，均有人工處理。
- 2、在軟體設計上會加入不同權的功能，而本計畫處理結果均會和台灣 GPS 追蹤站結

合。

(四)劉委員正倫：

- 1、請研究單位對於不同大小測區如 10 km..100 km 等範圍高精度需求下可能須監測多久(多少觀測量),可協助主辦單位爾後作業之參考。

【執行情形】:

- 1、對於不同區域的監測多少觀測量,期末報告會增加此問題的探討。

貳、主席結論

- 1、請研究單位依委員及業務單位意見,修訂期中報告,並增列後續可能研究方向。
- 2、有關程式使用介面方式,請業務單位與受託研究單位會後討論。
- 3、部分控制點位遭剔除,請業務單位了解點位現場狀況,並提供爾候選點參考。

【執行情形】:各項結論均已遵照辦理。

附錄三 內政部土地測量局「台灣中部地區基本控制點變位監測」委託研究案期末報告審查

開會時間：九十年五月卅日下午二時

壹、審查意見

(一) 高委員書屏：

- 1、圖 4-7 標題似有疑義，請配合修正。
- 2、圖 4-4 至 4-7 中部分點位之點位標準偏差大於點位平均值，於統計學上意義為何？請解釋。
- 3、建議是否求出每兩次間之位移量，最後再求出一個全年平均速度。
- 4、對於自行開發程式之求解速度場中 case 1、2、3 樣本如何取捨標準為何？是否具代表性？

【執行情形】：

- 1、研究報告圖 4-7 標題已修正。
- 2 統計學上標準偏差大於點位平均位移量，表示該點的觀測精度不是於確認該位移量
- 3、有些二次觀測間隔太短，若觀測精度又不理想，其位移量可能較不精確，若以此位移量去推求全年速度，恐造成全年平均速度有較大誤差。
- 4、因資料點不足，故只能選取少數點為檢核點，各 case 之取捨標準為點位之地理位置如（邊緣點，中間點，密度稀密區等）。

(二) 劉委員啟清：

- 1、是否能比較以 Bernese 與 Gpsurvey 兩者處理資料結果之差異。
- 2、請說明第十三頁第一行「每一衛星及測站在每一時刻皆有一電離層效應」之意義為何？
- 3、請說明第五十頁圖 4-8 及第五十二頁「重現性及重複性」意義為何？
- 4、對於僅固定澎湖（S01R）會產生之網形旋轉問題是否有考量？

【執行情形】：

- 1、經以第 6 次 Bernese 計算所得之點位中誤差和 GPSurvey 的計算結果顯示其 σ_0 分別為 0.0084 及 0.0137 m。
- 2、每一時刻測站對每顆衛星皆具有 L_1, L_2 觀測量，而每一時刻皆引入一電離層效應參數 I_1, L_1 的電離層影響量即為 I_1 ，而 L_2 的電離層影響量 $(\frac{f_1^2}{f_2^2})I_1$ ，因此電離層參數雖多，仍足以解算，且此類附加參數，在每一時刻觀測量組成法方程式時已先約化消去，並不會造成計算過量負荷。
- 3、圖 4-8 表示本研究區域內各監測扣除線性變化後之變動情形，而第 52 頁的重現性及重複性則表示此變動情形之各分量中誤差。
- 4、在計算本研究計畫內監測點座標時，亦考慮全省之固定站框架，因此已考慮網形旋轉問題。

(三)曾委員清涼：

- 1、多期平差程式將位移量視為「線性」是否恰當？又所推算速度提供爾後年度使用仍有所疑義，應於報告中多著墨說明。
- 2、能否將地殼板塊分別細分出，以利後續點位及內插模式之選取。
- 3、是否能於自行開發程式中增加計算「加速度」之功能？
- 4、第五十六頁中公式 5-6 應為筆誤，建議修正。
- 5、是否曾考量以卡爾曼濾波方式進行研究？請說明。
- 6、建議於研究報告中明確說明本次研究資料分析結果期間為 1999/12 至 2000/12，以確保爾後讀者能正確研讀。
- 7、建議增加分析固定於澎湖(S01R)之 TWD97 結果與內政部法定 TWD97 成果之差異及建議如何因應。
- 8、部分報表中監測成果分析皆以速度場表示，宜改為位移量，以正確明白表示其真正意義。

【執行情形】：

- 1、本研究期間為自 99 年 12 月開始，而根據中央研究院地球所佈設於本研究區域內之連續固定站分析 921 地震後 3 個月，其點位變化雖仍快速但已呈近線性變化，因此本研究報告內之點位變動量會特別載明研究期間，以免後續使用者造成混淆。
- 2、目前以車籠埔斷層為界分兩板塊。
- 3、可，但本計畫合約不要求。
- 4、期末報告已修正。
- 5、可為研究課題。
- 6、期末報告會清楚載明資料分析結果之期間。
- 7、由於 921 地震後，全台點位均受不同程度變形，因此另案研究。
- 8、期末報告會將所有圖表改為位移量以明白表示其意義。

(四)李委員彥宏：

- 1、建議研究單位可否對於高精度監測外業注意事項有一較完整說明，有利委託單位後續之作業。
- 2、第三十八頁之「V」值與第四十二頁之「V」值所代表意義應為不同，建議以不同符號代表，以免生混淆。

【執行情形】：

- 1、報告第二章已將 GPS 誤差作一詳盡敘述，且第三章的平差計算(第 18、19 頁)已將外業觀測的問題逐一討論。
- 2、期末報告修正版會以不同符號表示。

(五)楊委員名：

- 1、建議自行開發程式可否朝分段進行速度場計算作業，以正確表示實際情形。

2、建議能否以 Bernese 固定 S01R 之成果與自行開發之程式進行成果比對。

【執行情形】：

- 1、在資料輸入時，按所需時段之速度輸入相關資料即可。
- 2、關於成果的比對，期末報告會增列。

(六)地籍重測組：

- 1、第三十頁表 3-4 請增加 TWD97 之橢球高及測站序號。
- 2、第七頁研究工作進度與管制於八十八年十二月完成，請修正為八十九年十二月。

【執行情形】：

- 1、第 30 頁之表 3-4 於期末報告會增加橢球高及測站序號。
- 2、關於第 7 頁的筆誤會於期末報告中加以改正。

貳、主席結論

- 1、本次期末報告審查會照案通過。
- 2、請受託單位依據各委員所提意見參考修正期末報告，並於收到會議紀錄函文後一個月內將修正本及相關資料送土地測量局辦理驗收。
- 3、建議土地測量局於未來一、二年內繼續辦理台灣中部地區點位變位監測工作，以提供內政部及土地測量局後續實務作業之參考。

【執行情形】：各項結論均已遵照辦理。

參考書目

- Caspary, W.F. (1988) Concepts of Network and Deformation Analysis. *Monogr. 11*, School of Surveying, University of New South Wales.
- Koch, R., (1987) Parameter Estimation in Linear Model, *Springer, Berlin*.
- Pope, A.J. (1976) The Statistics of Residuals and the Detection of Outliers. *Tech. Rep. TR-NOS-65-NGS-1*, National Ocean Survey, Rockville.
- Hugentobler, U., S. Schaer, and P. Fridez, (Eds) (2001) Bernese GPS Software Version 4.2, 511pp, Astronomical Institute, University of Berne, Switerland, Februrary, .
- Smith, W. H. F, and P. Wessel (1990) Gridding with continuous curvature splines in tension: *Geophysics*, 55, 293-295.
- Wessel, P. and Walter H.E.Smith (1999) Generic Mapping Tools Graphics.
- Willians, C. R., T. Arnadottir, and P. Segall (1993) Coseismic deformation and dislocation models of the 1989 Loma Prieta earthquake derived from Global Positioning System measurements. *J. Geophys. Res.*, 98, 4567-4578.
- Yu, S.B., and H.Y. Chen (1994) Global Positioning System measurements of crustal deformation in the Taiwan arc-continent collision zone: *TAO*, 5, 477-498.
- Yu, S.B., and H.Y. Chen (1998) Strain accumulation in southwestern Taiwan: *TAO*, 9, 31-50.
- Yu, S.B., H.Y. Chen, and L.C. Kuo (1997) Velocity field of GPS stations in the Taiwan area : *Tectonophysics*, 274, 41-59.
- Yu, S.B., L.C. Kuo, R.S. Punongbayan and E.G. Ramos (1999) GPS observation of crustal motion in the Taiwan-Luzon region: *Geophys. Res. Lett.*, 26, 923-926.
- Yu, S.B., L.C. Kuo, Y.J. Hsu, H.H. Su, C.C. Liu, C.S. Hou, J.F. Lee, T.C. Lai, C.C. Liu, C.L. Liu, T.F. Tseng, C. S. Tsai, and T.C. Shin (2001) Preseismic deformation and coseismic displacements associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake: *Bull. Seism. Soc. Am.* (in press)