

地籍坐標與二度分帶坐標轉換之研究

研究發展單位：臺灣省政府地政處土地測量局

研究發展人員：局 長 曾 德 福
 資訊室主任 朱 杏 修
 分 析 師 李 弘 洲

中華民國八十八年六月

勘誤表

頁	行	誤	正
圖目錄	10	圖 4-1 「直接內插法」解算流程圖	刪除
圖目錄	20	附圖 5 「分層內插法」參考點之 PD ₆₉ 向量圖	附圖 5 「分層內插法」參考點之 PD ₅₉ 向量圖
圖目錄	21	附圖 6 「分層內插法」參考點之 PD ₅₉ 向量圖	附圖 6 「分層內插法」參考點之 PD ₆₉ 向量圖
7	6	s 則為隨機分佈	n 則為隨機分佈
24	7	$Y_{M59} =$	$Y_{TM59} =$
24	15	$(X_{TM69}, Y_{TM69}, PD_{X59})$	$(X_{TM59}, Y_{TM59}, PD_{X59})$
40	10	優於「分層內插法」之 0.30 公尺	優於「分層內插法」之 0.36 公尺

八十八年度地籍坐標與二度分帶坐標轉換之研究成果摘要表	
項目名稱	地籍坐標與二度分帶坐標轉換之研究
研究單位及人員	研究發展單位：臺灣省政府地政處土地測量局 研究發展人員：局 長 曾德福 資訊室主任 朱杏修 分析師 李弘洲
研究內容	<p>臺灣地區之舊地籍圖由於年代久遠，使用頻繁，多已破損不堪。為保存地籍圖原貌，維護人民產權，臺灣省自八十六年度開始推動圖解地籍圖數值化計畫。圖解數化之成果除以保持原貌之分幅成果供各地政事務所辦理複丈等業務外，另以圖廓坐標整合，以供地理資訊系統使用。由於並無坐標轉換之作業模式供廠商遵循，整合後之地籍圖仍只能以原圖之坐標系表示，與現行之二度分帶坐標系統脫節，資料使用不便，如要將地籍坐標轉換為現行二度分帶坐標，又因缺乏投影之數學模式，無法直接換算，其合理轉換模式有待研究解決。</p> <p>本研究目標定為：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 整理臺灣地區之三角點成果，作為轉換依據 2. 分析地籍坐標之系統誤差分佈情形 3. 研擬適當之轉換模式 4. 轉換結果之精度分析 5. 轉換結果之應用 <p>研究結果將臺灣本島之誤差情形全部計算建檔，並擬訂轉換流程以供應用。藉由實際資料進行成果精度檢查，來比較不同轉換模式之優缺點。經實驗結果，證明此種轉換模式可符合 GIS 精度需求，且適合於大規模大範圍之坐標轉換。</p>
研究期間	八十七年七月一日至八十八年六月卅日
研究費用	由全省地籍圖重測電腦作業相關經費勻支
研究建議	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究結果之轉換模式可適用於全國，且精度可滿足大部分 GIS 之需求，適於大規模之自動化轉換作業，可作為整合現有圖籍資料之標準模式，以建立完整之土地資料庫。 2. 未來國家坐標系統改變時，可利用相同之轉換模式進行轉換。 3. 圖解地籍圖數值化成果應以此種模式轉換為二度分帶坐標對外供應。 4. 加強既有三角點之聯測，作為釐整地籍與未來坐標系統改變之轉換依據。 5. 以坐標轉換結果輔助地籍圖重測現況測量。

目 錄

第一章 前言.....	1
第二章 坐標轉換之數學模式.....	4
§2-1 三參數轉換.....	4
§2-2 四參數轉換.....	4
§2-3 六參數轉換.....	6
§2-4 多項式轉換.....	6
§2-5 最小二乘共置法轉換.....	6
第三章 三角點成果整理分析.....	8
§3-1 地籍坐標之投影誤差分析.....	8
§3-2 三角點成果資料項目.....	10
§3-3 坐標系統定義.....	10
§3-4 近似轉換參數之計算.....	11
§3-5 資料內部檢核：.....	13
§3-6 共同點之匹配.....	17
第四章 坐標轉換之解算.....	20
§4-1 直接內插法解算流程.....	20
§4-2 分層內插法解算流程.....	22
§4-3 由地籍坐標轉換為二度分帶坐標.....	25
§4-4 由二度分帶坐標轉換為地籍坐標.....	29
第五章 實驗成果分析.....	31
§5-1 直接內插法計算與成果分析.....	31
§5-2 分層內插法計算與成果分析.....	32
§5-3 圖解地籍圖之套合分析.....	37
§5-4 實驗結果檢討.....	39
第六章 坐標轉換之應用.....	42
第七章 結論與建議.....	44
參考文獻.....	47
誌 謝.....	48

表 目 錄

表 3-1	坐標系統定義.....	11
表 3-2	CAD 轉為 TM_{TRN} 之參數.....	12
表 3-3	TM_{59} 轉為 TM_{59} 之參數.....	12
表 3-4	「相近點位」列表.....	18
表 3-5	NO59 之重覆值列表.....	18
表 3-6	NO69 之重覆值列表.....	18
表 3-7	因標石號碼錯誤而遺漏匹配.....	19
表 5-1	直接內插法輸入參考點資料分析.....	32
表 5-2	直接內插法參考點過濾值百分比.....	32
表 5-3	分層內插法輸入參考點資料分析.....	33
表 5-3	分層內插法參考點過濾值百分比.....	33
表 5-5	檢核點殘差比較表.....	37
表 5-6	山上重測區圖廓坐標轉換結果.....	38
表 5-7	魚池重測區圖廓坐標轉換結果.....	39
表 6-1	圖廓點計算表.....	42

圖 目 錄

圖 3-1	地籍坐標之投影誤差.....	9
圖 3-2	一等三角點之 CAD 轉換至 TM_{69} 殘差向量圖.....	14
圖 3-3	一等三角點之 TM_{59} 轉換至 TM_{69} 殘差向量圖.....	15
圖 3-4	五十九年成果檢查流程圖.....	16
圖 4-1	「直接內插法」解算流程圖.....	22
圖 4-2	「分層內插法」解算流程圖.....	25
圖 4-3	格點內插示意圖.....	27
圖 4-4	由地籍坐標轉換為二度分帶坐標計算流程圖.....	28
圖 4-5	由二度分帶坐標轉換為地籍坐標計算流程圖.....	30
圖 4-1	「直接內插法」解算流程圖.....	32
圖 5-1	「直接內插法」檢核點之殘差向量圖.....	34
圖 5-2	「分層內插法（不含 59）」檢核點之殘差向量圖.....	35
圖 5-3	「分層內插法（含 59）」檢核點之殘差向量圖.....	36
附圖 1-1	「五十九年成果」三角點分佈圖（一）.....	F-1
附圖 1-2	「五十九年成果」三角點分佈圖（二）.....	F-2
附圖 1-3	「五十九年成果」三角點分佈圖（三）.....	F-3
附圖 2	「直接內插法」參考點之 PD 向量圖.....	F-4
附圖 3	「直接內插法」成果網格點之 PD 向量圖.....	F-5
附圖 4	「直接內插法」共同點之殘差向量圖.....	F-6
附圖 5	「分層內插法」參考點之 PD_{69} 向量圖.....	F-7
附圖 6	「分層內插法」參考點之 PD_{59} 向量圖.....	F-8
附圖 7	「分層內插法」成果網格點合成後之 PD 向量圖.....	F-9
附圖 8	「分層內插法」共同點之殘差向量圖.....	F-10
附圖 9	「直接內插法」與「分層內插法」網格點差值向量圖.....	F-11
附圖 10	山上重測區重測前後圖形套疊.....	F-12
附圖 11	魚池重測區重測前後圖形套疊（採「直接內插法」）.....	F-13
附圖 12	魚池重測區重測前後圖形套疊（採「分層內插法」）.....	F-14
附圖 13	魚池重測區重測前後圖形套疊（採「分層內插法」， 縮為二千四百分一）.....	F-15

第一章 前言

臺灣省之地籍測量始於日治時代，由於年代久遠，且測量原圖於二次大戰期間遭炸毀，所存之副圖在頻繁使用後，多已破舊不堪。為保障人民產權，本局除積極辦理地籍圖重測外，並推動圖解地籍圖數值化計畫，用較為快速之方式，將地籍圖數化建檔，以保存地籍圖原貌，防止繼續破損。圖解地籍圖數值化計畫自八十六年度起展辦，其範圍也將逐步遍佈全省，預計於九十三年度完成全省圖籍之數化。

圖解地籍圖數值化成果係以兩種方式呈現，第一種是保持舊圖原貌之分幅成果，用於土地複丈；另一種則是以段為單位之整合成果，利用圖廓線將分幅資料強制接合，以便於地理資訊系統運用。由於舊地籍圖有許多是屬於地籍坐標系統，尚無標準之轉換模式可供遵循，因此即使是整合後之成果，仍以地籍坐標表示，而無法立即與現行二度分帶坐標之圖籍套疊使用。各用圖單位於獲得數化成果後，尚須自行轉換為二度分帶坐標以利運用。

目前對於數化地籍坐標轉換，大致有下列兩種方式：

- 一、實測法：在圖面上選取若干明顯地物（如屋角、道路轉折處），測得其二度分帶坐標，作為轉換之共同點，求解轉換參數，再將數化成果轉換為二度分帶坐標。

由於舊地籍圖年代久遠，且地籍線與地物不一定相符，共同點之選取及確認可能十分費時。且共同點若位於地籍圖破損或誤謬處，更會使轉換成果產

生扭曲。共同點分佈之幾何條件是否良好，也會影響轉換成果。轉換結果之正確性，難以評估。若以這種方式進行大規模之轉換，必須耗費大批人力與作業時間，非短期內可完成，恐無法滿足各界殷切的需求。

二、控制點轉換法：以同時具有地籍坐標與二度分帶坐標之控制點，計算其轉換參數，再將數化成果轉換為二度分帶坐標。由於控制點為一切測量之依據（包括圖解地籍圖在內），所以與實測法相較，這是一種較為嚴謹且經濟可行之方式。

目前較為常用之方式，是選取區域內之共同三角點，求解轉換參數。這種作業方式對於小區域小規模之轉換，是一種相當普遍採用之方式。對於大範圍大規模數化成果之轉換，則會產生下列問題：

1. 分區之劃定原則：分區應以坐標範圍為界，或以河流、行政區域為界。
2. 分區大小：應以縣市為單位，或以鄉鎮甚至地段為單位。分區太小，會產生共同點太少或多餘觀測不足、轉換成果接合次數增加等問題；分區太大，則產生區內共同點殘差太大之問題。
3. 缺乏專業之計算偵錯與成果評估人員：三角點坐標成果中，可能含有錯誤或系統性之偏差。在坐標轉換參數求解過程中，如未予適當處理，可能使轉換成果發生錯誤卻難以察覺，因此需要具備測量與平差專業知識之人員，進行偵錯與成果評估，而負責數化之廠商可能缺乏這方面的人才。

由於上述各種因素，大量之數化成果目前尚無法迅速轉換為二度分帶坐標供地理資訊系統應用，誠屬美中不足。實有必要研擬一套合理且簡便可行之

坐標轉換模式，使數化作業承辦單位可將圖解數化之整合成果轉換為二度分帶坐標，再行對外提供。一則免除用圖單位各自進行轉換之麻煩，二則避免各用圖單位各自轉換之結果不同，衍生其他問題。

本研究係以控制點法為準，分析臺灣地區三角點之地籍坐標與二度分帶坐標資料，研討不同之坐標轉換模式，並分析其精度，及應用於圖解數化成果轉換之可行性。

第二章 坐標轉換之數學模式

§2-1 三參數轉換

三參數轉換之數學模式為

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-1)$$

式中

θ : 旋轉角

X_0, Y_0 : 坐標平移量

轉換結果只有旋轉與平移，尺度與形狀均保持不變，適合於保持轉換前後比例不變之轉換。

§2-2 四參數轉換

四參數轉換之數學模式為

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-2)$$

式中

S : 尺度

θ : 旋轉角

X_0, Y_0 : 坐標平移量

四參數轉換含有旋轉、平移與縮放，形狀保持不變，是一般較為常用之轉換模式，為本研究中用來作為近似轉換之方式。

原式含有非線性之數學函數，為了考慮計算之方便與計算精度，我們將四參數轉之數學模式作一些改變

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B \\ B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-3)$$

由於坐標值通常很大，在求解過程中可能影響解算精度，所以分別先減去各點之坐標平均值 (XC_1, YC_1) 與 (XC_2, YC_2) 。

$$\begin{bmatrix} X_1 - XC_1 \\ Y_1 - YC_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B \\ B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 - XC_2 \\ Y_2 - YC_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-4)$$

以最小二乘法，可求解 A, B, X_0, Y_0 四個參數值。

求解出參數值後，我們可將常數值 XC_1 與 X_0 合併， YC_1 與 Y_0 合併：

$$\begin{bmatrix} X_1 - (XC_1 + X_0) \\ Y_1 - (YC_1 + Y_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B \\ B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 - XC_2 \\ Y_2 - YC_2 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-5)$$

把合併後之常數，仍以 (XC_1, YC_1) 之符號表示以簡化運算式

$$\begin{bmatrix} X_1 - XC_1 \\ Y_1 - YC_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B \\ B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 - XC_2 \\ Y_2 - YC_2 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-6)$$

$A, B, XC_1, YC_1, XC_2, YC_2$ 即為轉換之參數，本報告中所採用之各組參數值階以此型式表示。雖然有六個參數值，但實際上為四參數轉換，好處是轉換時先減去坐標平均值，避免 A, B 值之微小誤差與巨大之坐標相乘而放大，影響計算精度。

由轉換參數可反求坐標旋角與尺度因素：

坐標旋角為 $\theta = \tan^{-1}(B/A) \quad \dots \dots (2-7)$

尺度因素為 $S = \sqrt{A^2 + B^2}$

其逆轉換為：

$$\begin{bmatrix} X_2 - XC_2 \\ Y_2 - YC_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B \\ B & A \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_1 - XC_1 \\ Y_1 - YC_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{A^2 + B^2} \begin{bmatrix} A & B \\ -B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 - XC_1 \\ Y_1 - YC_1 \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-8)$$

§2-3 六參數轉換

六參數轉換之數學模式為：

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ B_1 & B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} \quad \dots \cdot (2-9)$$

六參數轉換除旋轉、平移外，尚可考慮兩坐標軸間不同比例與不垂直之因素，通常用於圖籍數化時，改正圖紙變形之用。

§2-4 多項式轉換

多項式轉換有多種型式，以二階多項式轉換為例，其模式為

$$\begin{aligned} X_1 &= a_0 + a_1 X_2 + a_2 Y_2 + a_3 X_2 Y_2 + a_4 X_2^2 + a_5 Y_2^2 \\ Y_1 &= b_0 + b_1 X_2 + b_2 Y_2 + b_3 X_2 Y_2 + b_4 X_2^2 + b_5 Y_2^2 \quad \dots \cdot (2-10) \end{aligned}$$

多項式轉換容易因共同點之誤差，造成非共同點處之劇烈震盪，因此較少被採用。

§2-5 最小二乘共置法轉換

最小二乘共置法 (Least-Squares Collocation) 是將最小二乘法平差擴大定義後，成為廣義以最小二乘法處理未知數與觀測值之方法。

傳統最小二乘法只能處理純粹偶然誤差之觀測資料，而最小二乘共置法不但能處理同時含有系統性誤差與偶然誤差之觀測資料，且可預估出未作觀測處之系統誤差值而加以改正。

最小二乘共置法之數學模式如下：

$$L = AX + s + n \quad \dots \cdot (2-11)$$

L 為觀測資料

AX 為轉換函數

s 為訊號

n 為雜訊

最小二乘共置法之基本假設，是訊號 s 與雜訊 n 階有趨近於零之特性，但是 s 之間具有相關性，其相關係數是距離的函數；s 則為隨機分佈，彼此之間互不相關。

地籍坐標與二度分帶坐標之投影方式不同，其間又歷經數度之三角點重新測量與平差。除了觀測造成之偶然誤差外，還有投影系統改變、三角點系統不一致等造成的系統性誤差，其坐標轉換並非前述幾種參數轉換所能達成，採用最小二乘共置法，是較為嚴謹之方式。

把最小二乘共置法運用於地籍坐標之轉換，則 L 相當於二度分帶坐標，X 相當於地籍坐標，A 相當於轉換參數，s 相當於系統性誤差，n 相當於偶然誤差。

如果我們先將地籍坐標 X 以 A 轉換後，與二度分帶坐標 L 近似套合，並以 PD 表示其差值，可得

$$PD = L - AX = \begin{bmatrix} PD_x \\ PD_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x \\ s_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-12)$$

s_x 與 s_y 以最小二乘共置法原理解算之，由於其理論頗為艱深，本文不擬詳加介紹，請自行參考相關文獻。

s_x 與 s_y 解算完畢後，對於待轉換點而言，其偶然誤差 n_x 與 n_y 為零，所以其二度分帶坐標值 L 為

$$L = AX + \begin{bmatrix} s_x \\ s_y \end{bmatrix} \quad \dots \dots (2-13)$$

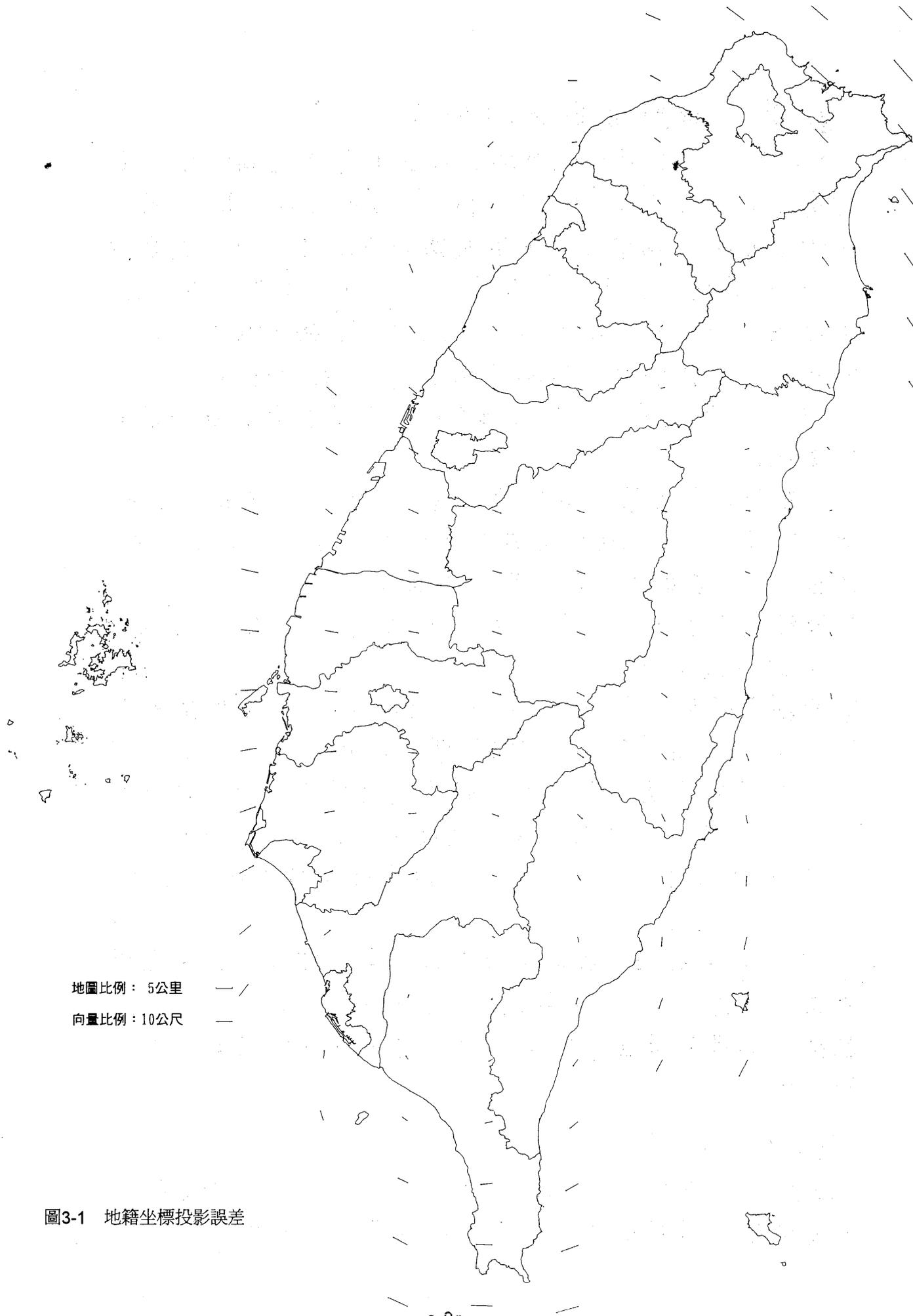
第三章 三角點成果整理分析

§3-1 地籍坐標之投影誤差分析

地籍坐標係以臺中公園之三角點為原點推算而得，單位為間（1公尺=0.55間），至於其投影方式已難考證，一般據信是以平面直角坐標法推算而得。然而根據資料顯示，地籍坐標與經緯度之間，似乎存在某種轉換關係，或者說是投影，可由經緯度計算出地籍坐標。

日治時代測製之五萬分一地形圖，係以經緯度分幅，圖幅大小為東西十五分，南北十分。在地形圖之四個圖角，均算有地籍坐標，其計算精度為0.1間。這些圖廓點沒有測量誤差，只有投影誤差，如將它們投影為二度分帶坐標，再與地籍坐標比較，便可得知地籍坐標相對於二度分帶坐標之變形程度。

將138個具有地籍坐標之圖廓點，以其經緯度投影為二度分帶坐標，再與地籍坐標進行四參數轉換計算，求得其殘差，並將殘差繪製為向量圖3-1。由圖形可看出殘差之分佈相當有規律，在臺灣本島部份，其最大值約為10公尺。如果以臺灣南北長400公里計算，其相對於二度分帶投影之誤差約為四萬分之一。



地圖比例：5公里
向量比例：10公尺

圖3-1 地籍坐標投影誤差

§3-2 三角點成果資料項目

本研究之主要資料來源為民國五十九年之編印之「臺灣省三角點成果表」(以下簡稱「五十九年成果」)及民國六十九年之編印之「中華民國臺灣地區三角點成果表」(以下簡稱「六十九年成果」)，這兩項成果均涵蓋臺灣地區，是較為完備且具法定效力之資料，且都已建檔於本局之「控制點資料庫管理系統」，便於應用。

一、「五十九年成果」共計 8192 點，是涵蓋全省資料最完整之地籍坐標來源。

「五十九年成果」與坐標有關之資料項目包括：經緯度、UTM 坐標、地籍坐標(單位間)與地籍坐標(單位公尺)。這些坐標資料可分為兩大類，

1. 經緯度坐標系：UTM 坐標與經緯度，而 UTM 坐標可由經緯度換算。

2. 地籍坐標系：分別以「公尺」與「間」兩種單位表示，兩者可由「1 公尺=0.55 間」換算。

為節省建檔人力，由「經緯度坐標系」與「地籍坐標系」各擇一建檔，實際建檔項目為經緯度與地籍坐標(單位間)，再由程式計算 UTM 坐標與地籍坐標(單位公尺)。

二、「六十九年成果」共計 2662 點，是目前二度分帶坐標之主要依據。「六十九年成果」與坐標有關之資料項目包括：二度分帶坐標與經緯度，建檔項目則只有二度分帶坐標。

§3-3 坐標系統定義

為便於三角點成果各項坐標之分析，我們先將報告中主要使用之幾種坐標系統定義如表 3-1。其中除地籍坐

標系統 CAD 外，其餘三種坐標 TM_{TRN} 、 TM_{59} 、 TM_{69} 都是屬於二度分帶坐標系，只是來源不同，陸續尚有詳細之說明。

名稱	意義
$CAD=(X_{CAD}, Y_{CAD})$	地籍坐標 (單位為間)
$TM_{TRN}=(X_{TMTRN}, Y_{TMTRN})$	由地籍坐標 (X_{CAD}, Y_{CAD}) 經四參數轉換套合至「六十九年成果」而成之近似二度分帶坐標。
$TM_{59}=(X_{TM59}, Y_{TM59})$	二度分帶坐標，係由「五十九年成果」之經緯度投影計算，再以四參數轉換套合至「六十九年成果」而得。
$TM_{69}=(X_{TM69}, Y_{TM69})$	「六十九年成果」之二度分帶坐標

表 3-1 坐標系統定義

§3-4 近似轉換參數之計算

最小二乘共置法之基本假設，是系統誤差值有趨於零之傾向。因此在坐標轉換前，須先將待轉換之兩種坐標系統，轉換至近似相同之系統下，使其系統性之偏差值儘量減少，以獲得較佳之成果。

前述四種坐標系統，除了 (X_{CAD}, Y_{CAD}) 為地籍坐標系統外，其餘三者都是屬於二度分帶坐標系。因為三者來源不同，所以坐標值也不盡相同。為了計算上之需要與後續分析之便，我們設法讓這三個坐標系與現行之二度分帶坐標 TM_{69} 作最佳之套合，在不改變原有成果形狀之條件下，以四參數轉換消除坐標系統之旋轉平移及尺度因素造成之差異，然後直接以坐標之差值來進行分析。

除了 (X_{CAD}, Y_{CAD}) 與 (X_{TM69}, Y_{TM69}) 為既有成果外， (X_{TMTRN}, Y_{TMTRN}) 與 (X_{TM59}, Y_{TM59}) 則須經化算或轉換，步驟如下：

一、 TM_{TRN} 之轉換步驟：

1. 將「五十九年成果」與「六十九年成果」之一等三

角點選取出來，再尋找其中共用點計 70 點（不含澎湖及蘭嶼），分別以其地籍坐標(X_{CAD}, Y_{CAD})及二度分帶坐標(X_{TM69}, Y_{TM69})進行四參數轉換計算。

2. 經平差結果，求得其轉換參數如下

A	B	$X_{C_{TM69}}$	$Y_{C_{TM69}}$	$X_{C_{CAD}}$	$Y_{C_{CAD}}$
1.8182516286522	-0.004167109289753	227361.634	2632574.582	5750	-21300

表 3-2 CAD 轉為 TM_{TRN} 之參數

3. 澎湖縣之地籍坐標另有原點，並不適用此項轉換。

而蘭嶼之地籍坐標系統雖未刻意獨立，但經轉換結果，有 600 公尺左右之差值，因此亦不適用此項轉換。

4. 轉換中誤差為 7.36 公尺，轉換之殘差向量如圖 3-2

5. 利用此組轉換參數，將「五十九年成果」所有點之

(X_{CAD}, Y_{CAD})轉換為(X_{TMTRN}, Y_{TMTRN}):

$$X_{TMTRN} = A * (X_{CAD} - X_{C_{CAD}}) - B * (Y_{CAD} - Y_{C_{CAD}}) + X_{C_{TM69}}$$

$$Y_{TMTRN} = B * (X_{CAD} - X_{C_{CAD}}) + A * (Y_{CAD} - Y_{C_{CAD}}) + Y_{C_{TM69}}$$

二、 TM_{59} 坐標轉換步驟

1. 將「五十九年成果」之經緯度，以橫梅投影計算其二度分帶投影坐標 TM_{59}

2. 由於「五十九年成果」之經緯度與「六十九年成果」略有不同，使得 TM_{59} 與 TM_{69} 存有系統性之偏差。為求得較佳之套合，以 72 個一等三角點（含蘭嶼但不含澎湖）之 TM_{59} 與 TM_{69} 坐標計算其四參數之轉換參數如下：

A	B	$X_{C_{TM69}}$	$Y_{C_{TM69}}$	$X_{C_{TM59}}$	$Y_{C_{TM59}}$
0.99998775038518	-1.83890306642E-05	254888.691	2626517.565	254889.528	2626516.969

表 3-3 TM_{59} 轉為 TM_{59} 之參數

3.轉換中誤差為 1.86 公尺，轉換之殘差向量如圖 3-3

4.再以此組參數將 TM_{59} 轉為 TM_{59}

$$X_{TM_{59}}=A*(X_{TM_{59}}-XC_{TM_{59}})-B*(Y_{TM_{59}}-YC_{TM_{59}})+XC_{TM_{69}}$$

$$Y_{TM_{59}}=B*(X_{TM_{59}}-XC_{TM_{59}})+A*(Y_{TM_{59}}-YC_{TM_{59}})+YC_{TM_{69}}$$

經過前述轉換後，共有 TM_{TRN} 、 TM_{59} 、 TM_{69} 三組坐標，且三者都已近似套合至同一系統。其中 TM_{TRN} 與 TM_{59} 有一一對應之關係， TM_{69} 則只有在共同點才有。

§3-5 資料內部檢核：

「五十九年成果」每一點有四種坐標，這四種坐標理應維持某種關係。由於成果多達八千餘點，即使全部以人工逐一校對，也難以確保資料不含印刷或計算錯誤。我們可先以建檔項目作數學上的檢核，將不符值超出某一限度者篩選出來，再針對這些點仔細檢查，找出原因，予以修正或剔除。

經概略轉換後， TM_{TRN} 與 TM_{59} 差值理應在 20 公尺以下。先逐點計算 TM_{TRN} 與 TM_{59} 之差值，並將大於 20 公尺者列出，再進一步針對這一百餘點可能含有錯誤之點位作下列之檢查處理。

一、將地籍坐標除以 0.55 後，換算為公尺，並與成果簿上之地籍坐標（單位公尺，建檔時未包括此項）以人工比較。兩者若不相同，則係印刷或換算錯誤，則再與由 TM_{59} 逆轉換而成之地籍坐標 CAD_{TRN} 比較，若「公尺」或「間」其中有一個與 CAD_{TRN} 十分接近，或可明顯判斷為印刷錯誤者（如遺漏負號、78056 誤為 87056 等）則修正後予以採納。

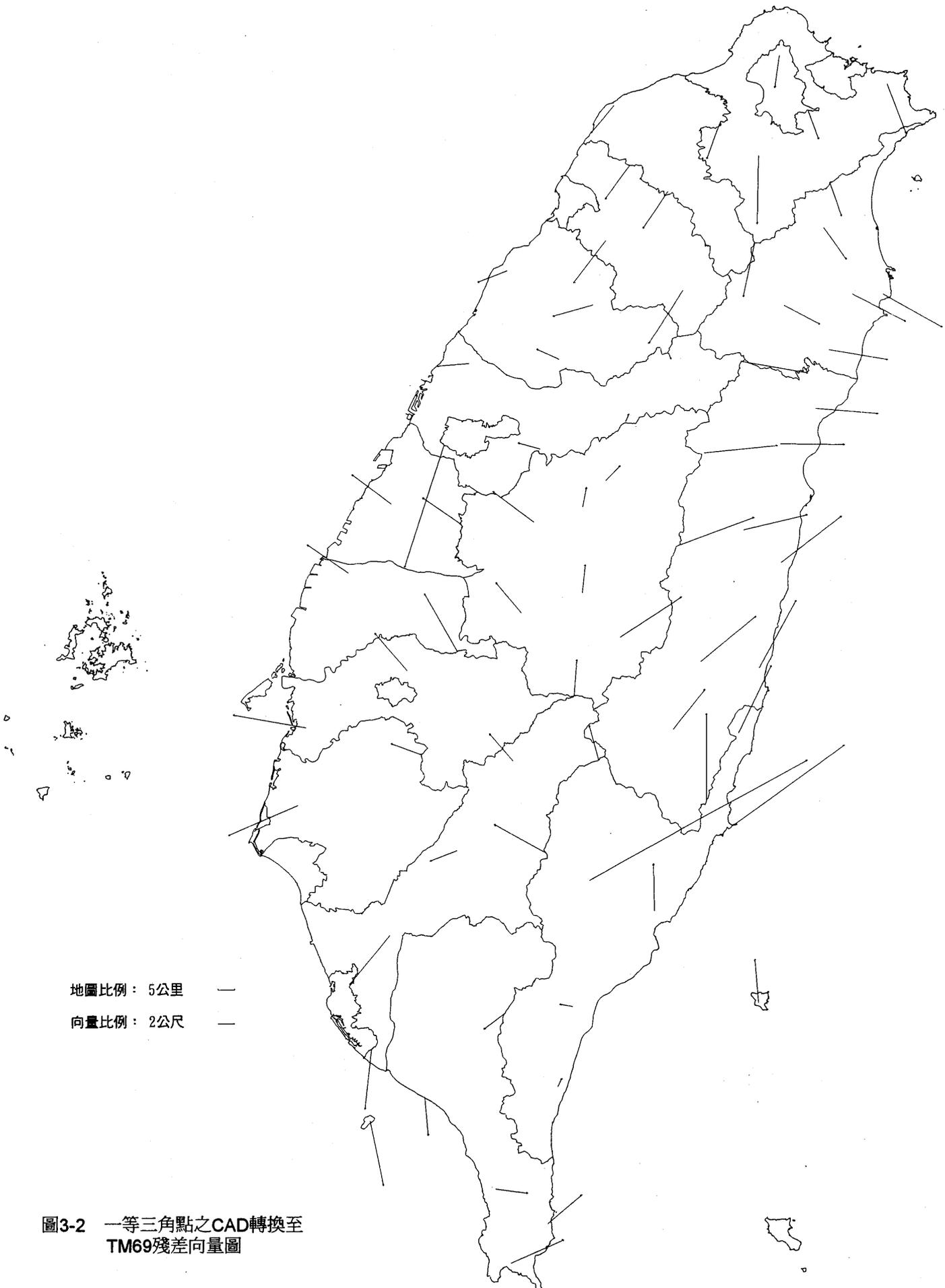
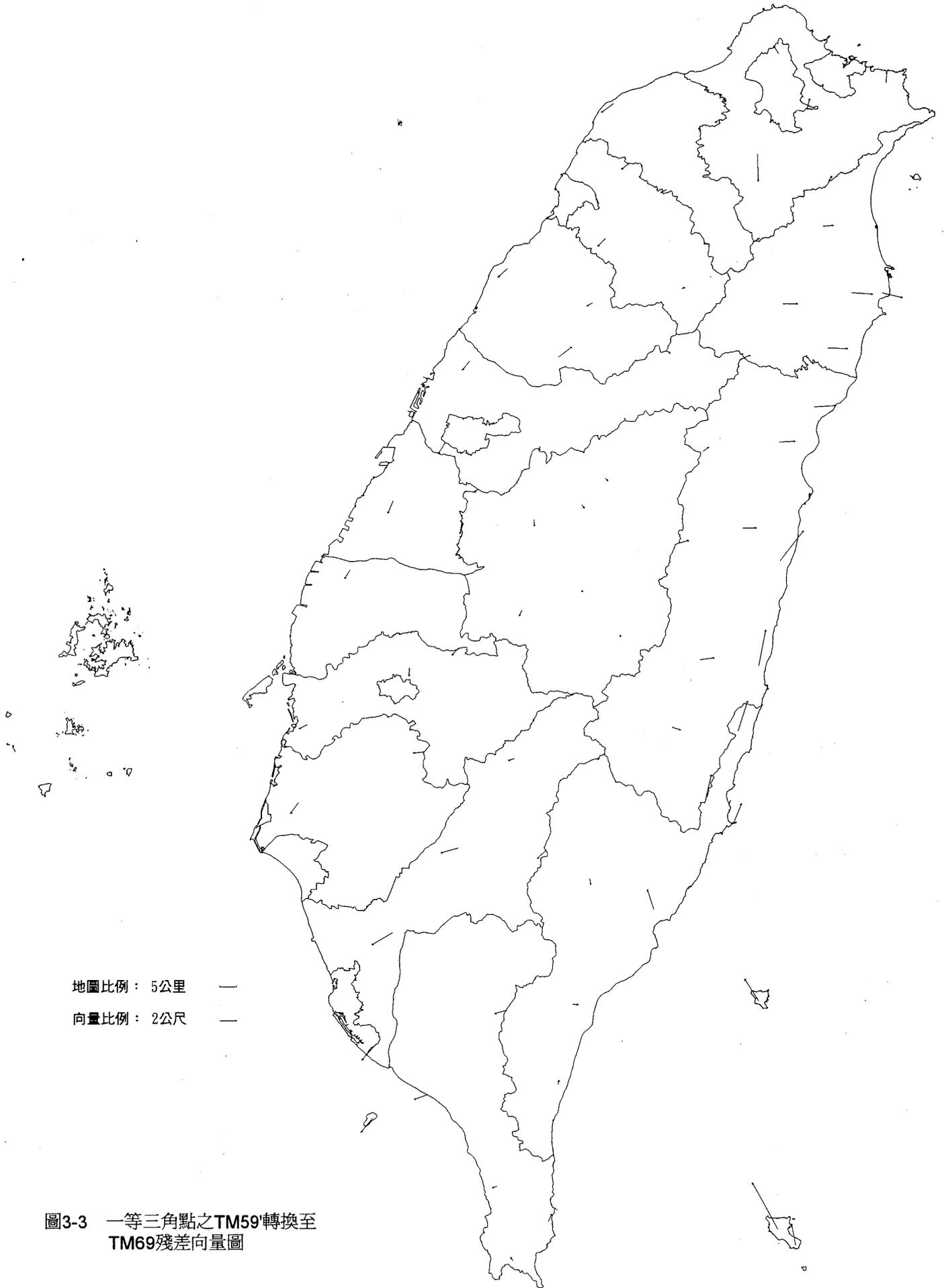


圖3-2 一等三角點之CAD轉換至
TM69殘差向量圖



地圖比例：5公里 —
向量比例：2公尺 —

圖3-3 一等三角點之TM59轉換至
TM69殘差向量圖

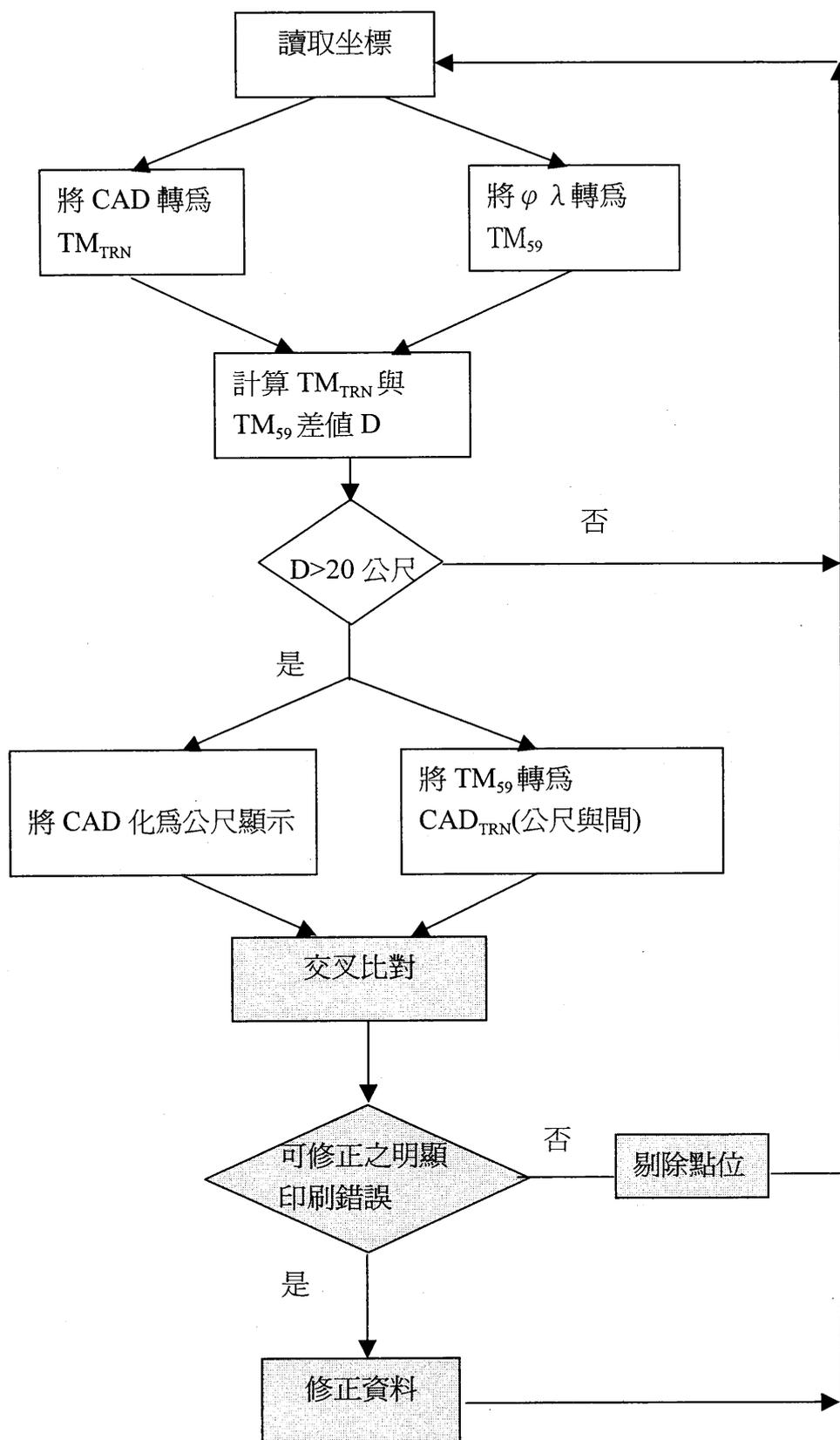


圖 3-4 五十九年成果檢查流程(灰色部分為人工作業)

- 二、將經緯度投影為 UTM，與成果簿上所列之值比較，若其差值甚大，則可能係經緯度有誤。
- 三、地籍坐標系與經緯度坐標系各自吻合，但 TM_{TRN} 與 TM_{59} 差值超過 20 公尺，無法判斷何者正確者，則將其剔除。

§3-6 共同點之匹配

坐標轉換之首要步驟，是共同點的選取。「五十九年成果」與「六十九年成果」係獨立之兩項成果，並無一一對應之關係，必須尋找其共同點位，作為轉換之依據。由於兩項成果點數分別多達 8192 點與 2662 點，如以人工逐點進行匹配，不僅十分費時費事，也可能產生許多錯誤，增加後續處理的困難，以電腦輔助則可減輕此項龐大的工作。匹配步驟如下：

- 一、「相近點位」之尋找：經概略轉換後， TM_{59} 與 TM_{69} 已近似套合，因此共用點之坐標差值應該很小，可據此找出位置很接近之點位，自動作初步之匹配。將「五十九年成果」每一點之 TM_{59} 坐標，與「六十九年成果」之 TM_{69} 坐標逐點進行差值計算，其差值 DS 小於 10 公尺者，將兩者之點號 NO59 與 NO69 等欄位列出，儲存於「相近點位」資料表。經 $8192*2662$ 次比對後，共有 1769 筆這樣的點對（因包括多重點位不同之排列組合，所以實際上並沒有這樣多共同點）。其中若兩者之標石號碼又相同，則自動將「標石同號」欄位設定為 Yes。

標石同號	名稱59	名稱69	NO59	NO69	標石59	標石69	DS
Yes	內埔山	內埔山	A02F0005	A02F0001	1082	1082	0.565
No	內埔山	蟾蜍山	A02F0005	A02F0002	1082	IC235	7.301
No	內埔山	蟾蜍山	A02G0001	A02F0002		IC235	8.377
Yes	劍潭山	劍潭山	A10E0002	A10E0001	1064	1064	5.152
Yes	溪子口山	溪子口山	A11E0002	A11E0001	1043	1043	1.131
Yes	石尖山	石尖山	A11F0003	A11F0002	701	701	1.265
Yes	待老坑山	待老坑山	A11F0004	A11F0001	1095	1095	0.838
Yes	南港山	南港山	A13F0003	A13F0002	695	695	1.196

表 3-4 「相近點位」列表

二、多重點位之處理：由於同一點位附近可能有兩個以上的標石，因此以坐標自動匹配之結果，可能產生「一對多」、「多對一」或「多對多」之情形。以 Access 之「尋找重覆資料查詢精靈」分別對「相近點號」資料表之 NO59 及 NO69 欄位進行分析，將這些點位列示出來。經分析結果，NO59 重覆值共有 58 筆，NO69 重覆值共有 212 筆，這些是可能發生匹配錯誤者，再以人工檢查其匹配結果是否正確。

標石同號	NO59	NO69	名稱59	名稱69	標石59	標石69	DS
Yes	A02F0005	A02F0001	內埔山	內埔山	1082	1082	0.565
No	A02F0005	A02F0002	內埔山	蟾蜍山	1082	IC235	7.301
No	C02E0002	C02F0001	東勢下股	東勢下股	1055	655	1.078
Yes	C02E0002	C02E0001	東勢下股	東勢下股	1055	1055	1.427
Yes	C02G0009	C02F0001	東勢下股	東勢下股	655	655	1.482
No	C02G0009	C02E0001	東勢下股	東勢下股	655	1055	2.115
Yes	E02F0005	E02F0003	高雄山	高雄山	893	893	2.498
No	E02F0005	E02D0001	高雄山	高雄山	893	IC 0006	4.012

表 3-5 NO59 之重覆值列表

標石同號	NO59	NO69	名稱59	名稱69	標石59	標石69	DS
No	K18G0025	K18F0008	司馬限山	司馬限山		6628	3.083
Yes	K18F0034	K18F0008	司馬限山	司馬限山	6628	6628	0.955
No	K18F0057	K18F0018	西勢山	西勢山		6622	8.005
Yes	K18F0044	K18F0018	西勢山	西勢山	6622	6622	0.549
Yes	K18F0050	K18F0024	佳仁山	佳仁山	6615	6615	0.788
No	K18G0037	K18F0024	佳仁山	佳仁山		6615	6.772
Yes	K18F0051	K18F0025	東洗水山	東洗水山	6614	6614	0.903
No	K18F0058	K18F0025	東洗水山	東洗水山		6614	5.314

表 3-6 NO69 之重覆值列表

三、點位可能發生匹配錯誤，也可能因標石號碼錯誤而遺漏匹配，因此再對「相近點號」資料表之「標石同

號」欄位為 No 者逐一檢查，若發現標石號碼為明顯之印刷錯誤（如 7219 與 7291），且非多重點位者，則再將「標石同號」欄位設為 Yes。

標石同號	名稱59	名稱69	NO59	NO69	標石59	標石59	DS
Yes	馬番柏山	馬番柏山	V13F0056	V13F0007	7228	7228	1.20631422
Yes	周溪山	周溪山	V13F0057	V13F0009	7222	7222	1.75166577
No	伊加之番	伊加之番	V13F0058	V13F0008	7219	7291	1.04458843
Yes	坑頭山	坑頭山	V13F0059	V13F0010	7221	7221	1.36342399
Yes	木羅部	木羅部	V13F0061	V13F0019	7177	7177	1.94084646

表 3-7 因標石號碼錯誤而遺漏匹配

四、將所有「標石同號」為 Yes 者，由相對應之 NO69 欄位，取得其六十九年成果之二度分帶坐標，建立與地籍坐標一一對應之關係。經匹配結果，臺灣本島共有 1432 個共同點。

共同點匹配完成後，即可用為坐標轉換之依據。

第四章 坐標轉換之解算

最小二乘共置法除可應用於坐標轉換外，更已廣泛應用於數值地形(DTM)之內插計算。本研究以臺灣本島為範圍，因資料量十分龐大，自行撰寫軟體處理相當不易，因而採用數值地形軟體進行計算。該軟體只能解算一維之高程資料，因此在實際應用時，係將 X 與 Y 分量分開處理。因坐標之 X 與 Y 分量在數學上是互不相關的，所以這種作法並不會影響解算結果之正確性。

本章依照內插方式之不同，分為「直接內插法」與「分層內插法」兩種方式說明如後。

§4-1 直接內插法解算流程

地籍坐標 CAD 與二度分帶坐標 TM_{69} 之間以四參數轉換來表示，已可達到 10 公尺左右之近似程度。因此可假設地籍坐標 CAD 與二度分帶坐標 TM_{69} 之間的關係，是四參數轉換再加上網形變形 PD 而得。

$$\begin{bmatrix} X_{TM69} - XC_{TM69} \\ Y_{TM69} - YC_{TM69} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B \\ B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{CAD} - XC_{CAD} \\ Y_{CAD} - YC_{CAD} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} PD_x \\ PD_y \end{bmatrix} \quad \dots \cdot (4-1)$$

或

$$\begin{bmatrix} X_{TM69} \\ Y_{TM69} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{TMTRN} \\ Y_{TMTRN} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} PD_x \\ PD_y \end{bmatrix} \quad \dots \cdot (4-2)$$

由於四參數轉換之參數值 $A, B, X_{CAD}, Y_{CAD}, X_{TM69}, Y_{TM69}$ 已事先求得，所以可由 (X_{CAD}, Y_{CAD}) 直接計算出 (X_{TMTRN}, Y_{TMTRN}) ，剩下的工作就是求解 (PD_x, PD_y) 。

一、利用表 3-2 之參數值，將所有共同點之地籍坐標轉換為近似之二度分帶坐標

$$\begin{aligned}
 X_{TMTRN} &= A * (X_{CAD} - XC_{CAD}) - B * (Y_{CAD} - YC_{CAD}) + XC_{TM69} \\
 Y_{TMTRN} &= B * (X_{CAD} - XC_{CAD}) + A * (Y_{CAD} - YC_{CAD}) + YC_{TM69} \\
 &\dots \dots \dots (4-3)
 \end{aligned}$$

二、計算共同點之坐標差 PD_x 與 PD_y

$$\begin{aligned}
 PD_x &= X_{TM69} - X_{TMTRN} \\
 PD_y &= Y_{TM69} - Y_{TMTRN} \dots \dots \dots (4-4)
 \end{aligned}$$

三、以共同點之 (X_{TM69}, Y_{TM69}) 為平面坐標， PD_x 為高程值，產生參考點之虛擬三度空間坐標 $(X_{TM69}, Y_{TM69}, PD_x)$ ，再以數值地形計算軟體，計算出 PD_x 之規則網格。

四、同理產生參考點之虛擬三度空間坐標 $(X_{TM69}, Y_{TM69}, PD_y)$ ，再以數值地形計算軟體，計算出 PD_y 之規則網格。

五、網格隨機存取檔之製作：由於輸出規則網格之格式為循序檔，且包括平面坐標與 PD 值，不僅佔用檔案空間大，且不利於快速存取，因此再單讀擷取 PD_x 與 PD_y 值，以隨機存取檔之方式儲存，供內插計算使用。

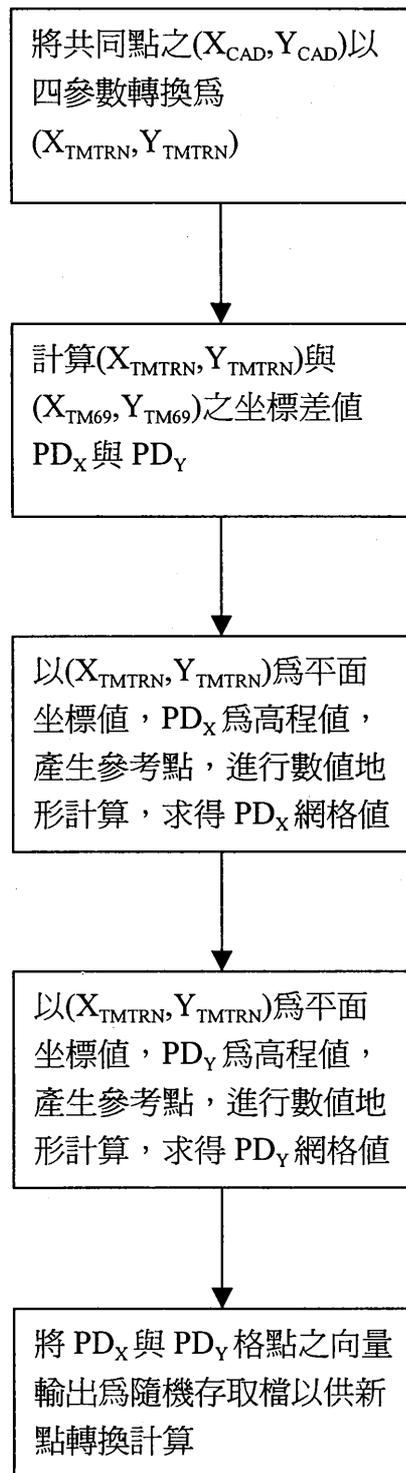


圖 4-1 直接內插法解算流程

§4-2 分層內插法解算流程

直接內插法係由待轉換之兩個坐標系 TM_{TRN} 與 TM_{69} 之共同點坐標差值進行內插計算，求得系統誤差 PD 。這種作法在學理上雖無瑕疵，但似乎仍不夠完善。因為在「五十九年成果」之 8192 點，每一點除具有地籍坐標外，尚有經緯度資料，可投影計算得 TM_{59} ，這些資料在直接內插法中並未使用，只採用 1432 個共同點上之誤差向量進行內插計算，其餘六千餘點非共同點之 TM_{59} 坐標卻只能袖手旁觀。如能將 TM_{TRN} 、 TM_{59} 與 TM_{69} 三個坐標系統之關係予以適當考慮，則可大幅增加參考點之密度，提高轉換成果之精度，因而有「分層內插法」之構想。

「分層內插法」係假設 TM_{TRN} 與 TM_{69} 間之差異是經由二階段之變形

$$TM_{TRN} \rightarrow TM_{59}$$

$$TM_{59} \rightarrow TM_{69}$$

而

$$TM_{TRN} + PD_{59} = TM_{59}$$

$$TM_{59} + PD_{69} = TM_{69} \quad \dots \dots (4-5)$$

誤差 PD 向量是由二部分合成的

$$\text{令 } PD = PD_{59} + PD_{69}$$

$$\text{則 } TM_{69} = TM_{TRN} + PD_{59} + PD_{69} = TM_{TRN} + PD \quad \dots \dots (4-6)$$

PD_{69} 只在在共同點上有觀測資料，而 PD_{59} 則在所有點均有觀測資料。

根據這樣的假設，我們便可仿照「直接內插法」之求解過程，將誤差向量分為 PD_{59} 與 PD_{69} 二層進行解算，求出其網格值後，再逐一將同一格點之 PD_{59} 與 PD_{69} 合成為 PD 。

一、PD₅₉ 解算

1. 利用(4-3)式，將所有點之地籍坐標轉換為近似之二度分帶坐標(X_{TMTRN} , Y_{TMTRN})。

2. 將所有點之經緯度投影為二度分帶坐標(X_{TM59} , Y_{TM59})，再利
用表 3-3 之參數值，轉換為(X_{TM59} , Y_{TM59})

$$X_{TM59} = A * (X_{TM59'} - XC_{TM59'}) - B * (Y_{TM59'} - YC_{TM59'}) + XC_{TM69}$$

$$Y_{TM59} = B * (X_{TM59'} - XC_{TM59'}) + A * (Y_{TM59'} - YC_{TM59'}) + YC_{TM69}$$

$$\dots \dots \dots (4-7)$$

3. 逐點計算(X_{TMTRN} , Y_{TMTRN})與(X_{TM59} , Y_{TM59})之差值

$$(PD_{X59}, PD_{Y59})$$

$$PD_{X59} = X_{TM59} - X_{TMTRN}$$

$$PD_{Y59} = Y_{TM59} - Y_{TMTRN} \dots \dots (4-8)$$

4. 以「五十九年成果」所有點之(X_{TM59} , Y_{TM59})為平面坐標， PD_{X59} 為高程值，產生參考點之虛擬三度空間坐標(X_{TM69} , Y_{TM69} , PD_{X59})，再以數值地形計算軟體，計算出 PD_{X59} 之規則網格。同理計算 PD_{Y59} 之規則網格。

二、PD₆₉ 解算

1. 計算共同點之 TM_{59} 與 TM_{69} 差值 PD_{69}

$$PD_{X69} = X_{TM69} - X_{TM59}$$

$$PD_{Y69} = Y_{TM69} - Y_{TM59} \dots \dots (4-9)$$

2. 仿 PD_{X59} 與 PD_{Y59} 之計算方式，計算 PD_{X69} 與 PD_{Y69} 之規則網格。

三、PD₅₉ 與 PD₆₉ 之合成：對於每一網格點計算 PD_x 與 PD_y

$$PD_x = PD_{X59} + PD_{X69}$$

$$PD_y = PD_{Y59} + PD_{Y69} \dots \dots (4-10)$$

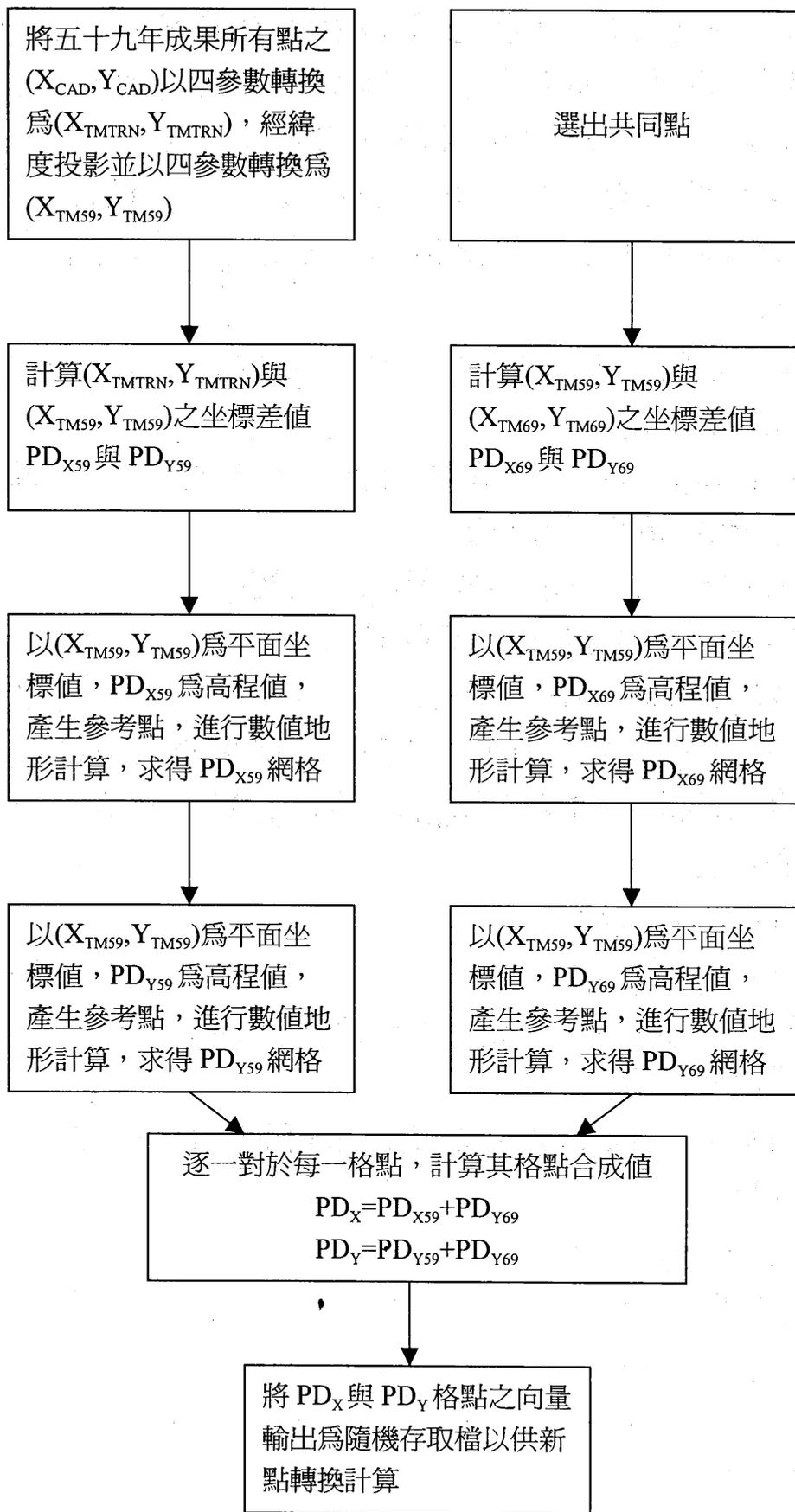


圖 4-2 分層內插法解算流程

§4-3 由地籍坐標轉換為二度分帶坐標

二度分帶坐標是地籍坐標經過四參數轉換再加上網形變形 PD 而得，而 PD 值則與點位之位置有關。所以在求解新點時，先以四參數轉換求得其近似坐標，再以近似坐標求得該點之 PD 值，加以改正。步驟如下：

- 一、讀取各項參數值 $A, B, X_{C_{TM69}}, Y_{C_{TM69}}, X_{C_{CAD}}, Y_{C_{CAD}}$ (如表 3-2)
- 二、以 (X_{CAD}, Y_{CAD}) 代入(4-3)，計算近似二度分帶坐標 (X_{TMTRN}, Y_{TMTRN})
- 三、由 (X_{TMTRN}, Y_{TMTRN}) 計算該點坐落之格點，讀取該格四個角點之 PD_x 值與 PD_y 值
- 四、以雙線性內插法求該點 PD_x 與 PD_y

對於網格內任意點，其 PD 值可下式表示：

$$PD(x,y) = a_1 + a_2x + a_3xy + a_4y \quad \dots \dots (4-11)$$

a_1, a_2, a_3, a_4 為係數，可由四個角點之 PD 值求得。

為簡化運算，先將 (X_{TMTRN}, Y_{TMTRN}) 化為 0 到 1 間之數值 (x, y) ：

$$\begin{aligned} x &= (X_{TMTRN} - X_{00})/g \\ y &= (Y_{TMTRN} - Y_{00})/g \quad \dots \dots \dots (4-12) \end{aligned}$$

(X_{00}, Y_{00}) 為該格左下角之坐標值

g 為格點間距

以四個格點之 (x, y) 值分別為 $(0,0), (1,0), (1,1), (0,1)$ ，代入(4-11)得

$$\begin{aligned} PD(0,0) &= a_1 \\ PD(1,0) &= a_1 + a_2 \\ PD(1,1) &= a_1 + a_2 + a_3 + a_4 \\ PD(0,1) &= a_1 + a_4 \quad \dots \dots \dots (4-13) \end{aligned}$$

解得

$$\begin{aligned}
 a_1 &= PD(0,0) \\
 a_2 &= PD(1,0) - PD(0,0) \\
 a_3 &= PD(0,0) - PD(1,0) + PD(1,1) - PD(0,1) \\
 a_4 &= PD(0,1) - PD(0,0) \quad \dots \dots \dots (4-14)
 \end{aligned}$$

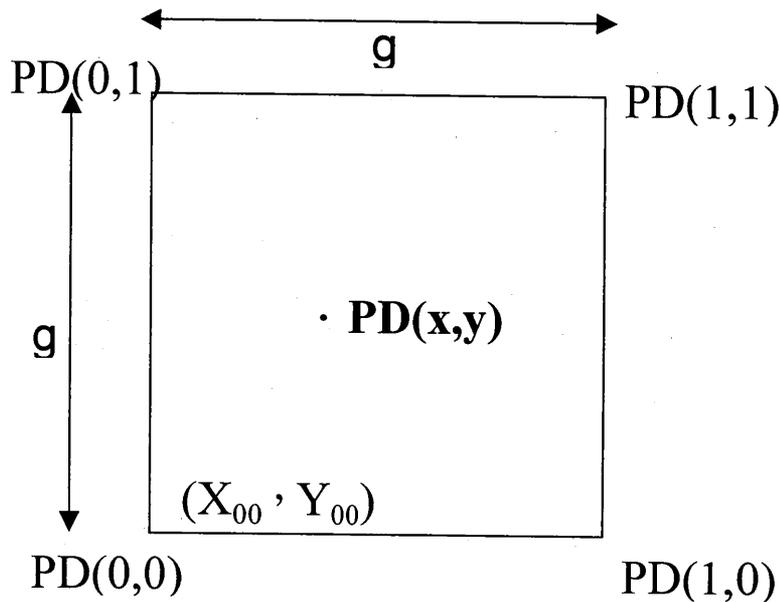


圖 4-3 格點內插示意圖

將格點之四角點之 PD 值代入(4-14)求解 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 再代入(4-11)求得該點之 PD_x 與 PD_y 值

五、由 (X_{TMTRN}, Y_{TMTRN}) 加上 (PD_x, PD_y) 計算轉換後之二度分帶坐標為

$$\begin{aligned}
 X_{TM69} &= X_{TMTRN} + PD_x \\
 Y_{TM69} &= Y_{TMTRN} + PD_y \quad \dots \dots \dots (4-15)
 \end{aligned}$$

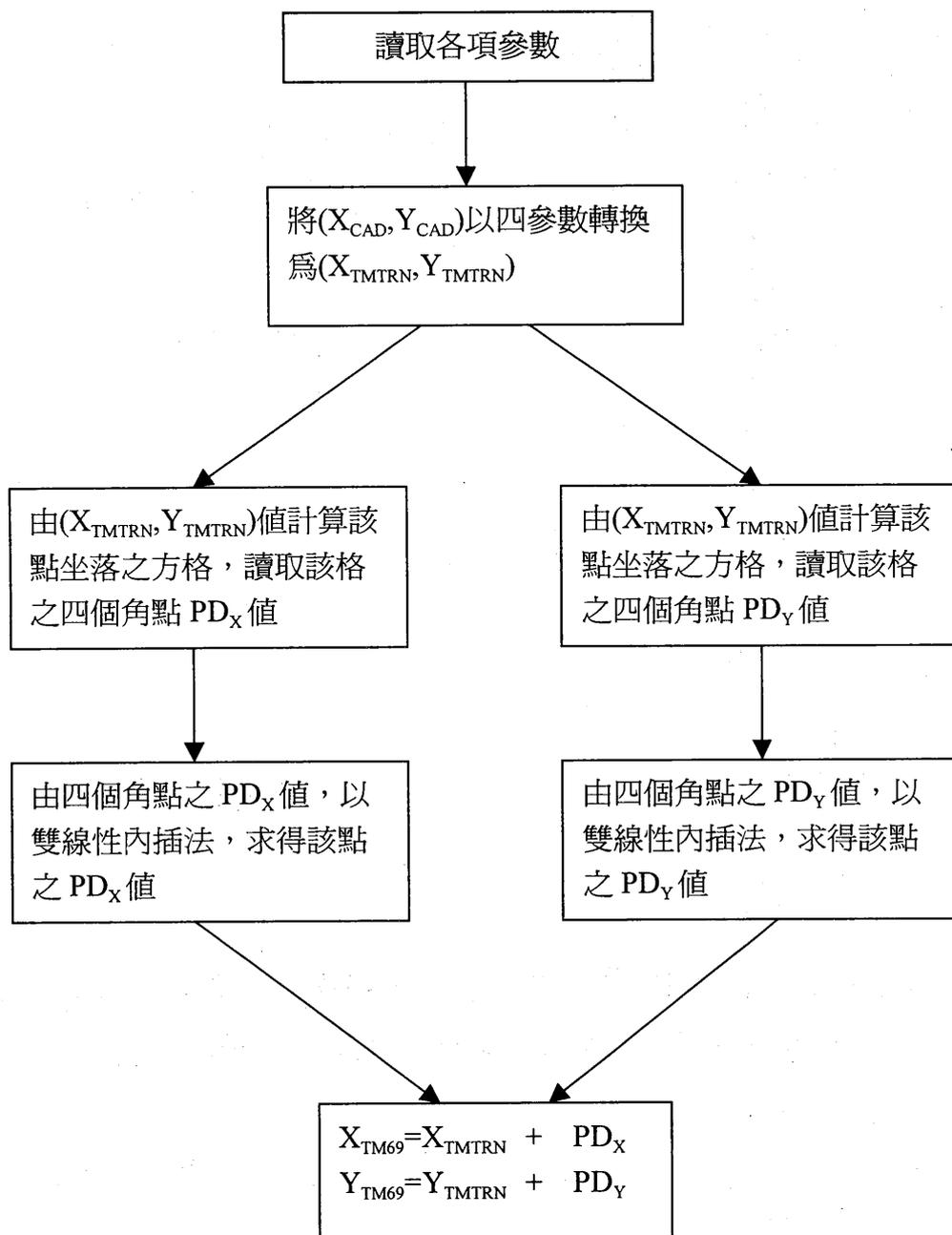


圖 4-4 由地籍坐標轉換為二度分帶坐標計算流程

§4-4 由二度分帶坐標轉換為地籍坐標

一、讀取表 3-2 各項參數值 $A, B, X_{C_{TM69}}, Y_{C_{TM69}}, X_{C_{CAD}}, Y_{C_{CAD}}$

二、依(2-8)式計算其逆轉換參數

$$A' = A / (A^2 + B^2)$$

$$B' = -B / (A^2 + B^2) \quad \dots \dots \dots (4-16)$$

三、以逆轉換參數求得 (X^0_{CAD}, Y^0_{CAD})

$$X^0_{CAD} = A' * (X_{TM69} - X_{C_{TM69}}) - B' * (Y_{TM69} - Y_{C_{TM69}}) + X_{C_{CAD}}$$

$$Y^0_{CAD} = B' * (X_{TM69} - X_{C_{TM69}}) + A' * (Y_{TM69} - Y_{C_{TM69}}) + Y_{C_{CAD}}$$

$$\dots \dots \dots (4-17)$$

四、由 (X_{TM69}, Y_{TM69}) 計算該點坐落之格點，讀取該格四個角點之 PD_x 值與 PD_y 值

五、以雙線性內插法求該點 PD_x 與 PD_y

六、逆轉換之改正向量恰為相反，所以須將 (X^0_{CAD}, Y^0_{CAD}) 減去 (PD_x, PD_y) 值，計算轉換後之地籍坐標。由於 PD_x 與 PD_y 值係以公尺為單位，須化為「間」，所以

$$X_{CAD} = X^0_{CAD} - (PD_x * 0.55)$$

$$Y_{CAD} = Y^0_{CAD} - (PD_y * 0.55) \quad \dots \dots \dots (4-18)$$

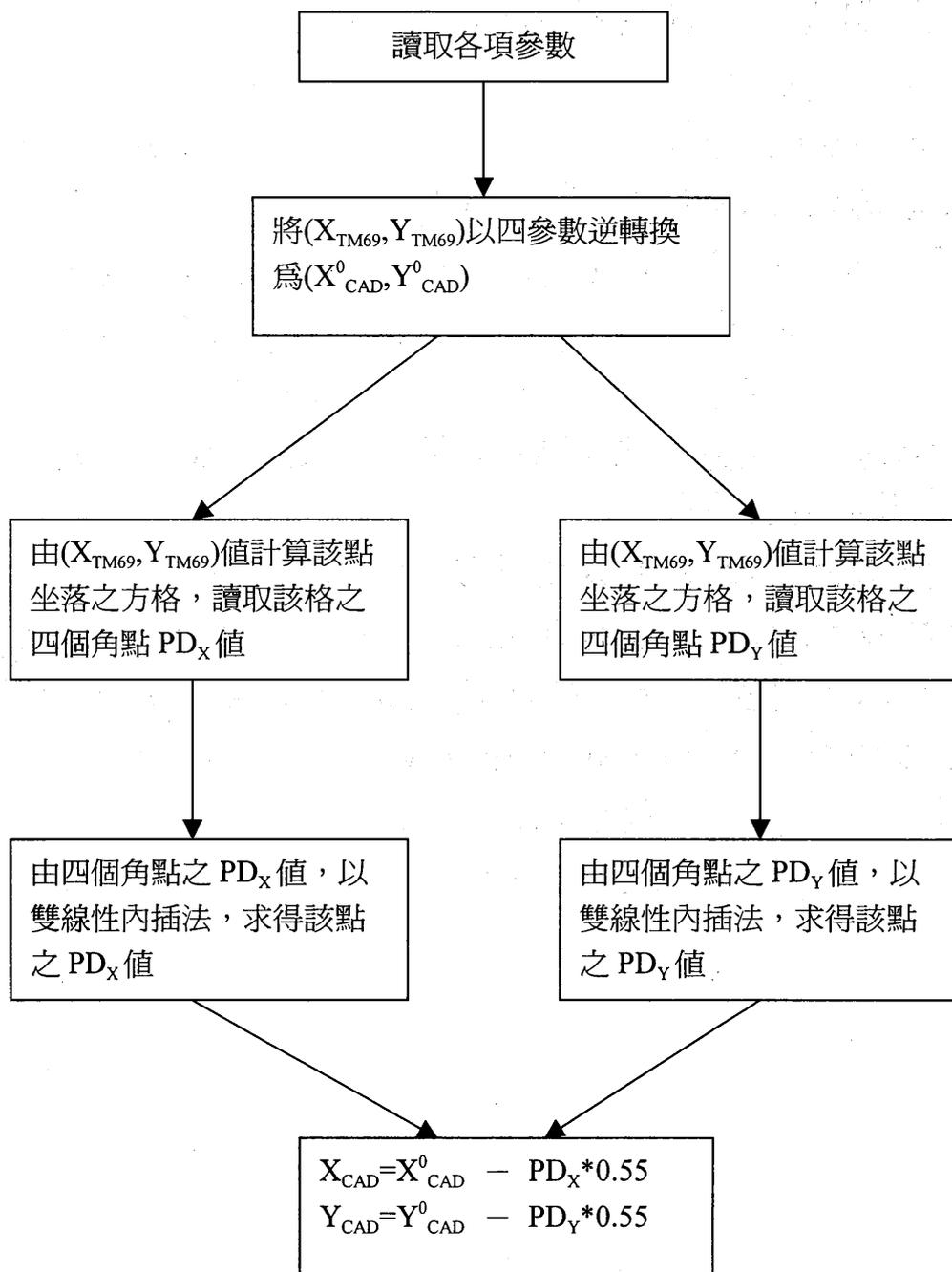


圖 4-5 由二度分帶坐標轉換為地籍坐標計算流程

第五章 實驗成果分析

本章係以臺灣本島範圍之三角點資料，按照第四章之方式進行坐標轉換之計算，並對實驗結果作精度分析。

§5-1 直接內插法計算與成果分析

一、資料偵錯：

1. 按§4-1 方法計算出 PD 值。
2. 將 PD 向量展繪如附圖 2，對於向量顯不合理者，再檢查其建檔資料，如係可查明之錯誤，則予修正，否則便剔除之。

二、網格資料計算：

以德國 Stuttgart 大學所發展之數值地形計算軟體 SCOP，分別計算 PD_x 與 PD_y 網格。使用參數如下：

1. CU(Computing Unit)格距：1 公里。
 2. CU 大小：10 公里 x10 公里
 3. 內插格點間距：500 公尺
 4. 過濾值 0.001 公尺
 5. 為提高計算精度，將 PD 值乘以 100。
 6. 由於沿海及中央山脈部分地區無共同點，可能無法解算，因此以人工方式在外圍及中央山脈無共用點處加入若干參考點，共計 155 點，其平面坐標以 MapInfo 於螢幕讀取，PD 值則與最鄰近之參考點值相同。
 7. 參考點數：1432 點（不包括人工加入之 155 點）。
 8. 為評估轉換精度，另外計算一組網格資料，只採用 1404 個參考點，其餘 28 個檢核點，不納入參考點計算。
- #### 三、網格計算結果分析

計算完成之 PD 網格如附圖 3。

項目 \ 類別	最小值	最大值	同一 CU 內 最大差值	CU 平均 接邊差值
PD _x	-11.504	10.317	10.927	0.129
PD _y	-11.431	10.289	6.787	0.119

表 5-1 直接內插法輸入參考點資料分析 (單位公尺)

項目 \ 過濾值(公尺)	0~0.08	0.08~0.16	0.16~0.32	0.32~0.64	0.64 以上
PD _x	93.69%	3.22%	2.14%	0.18%	0.14%
PD _y	94.64%	2.67%	1.90%	0.69%	0.10%

表 5-2 直接內插法參考點過濾值百分比

四、成果精度評估：

1. 以§4-3 之方式，計算其每一共同點之 TM_{69} 坐標，與已知值比較，計算共同點坐標差值。計 1432 點，中誤差為 0.187 公尺，共同點殘差向量如附圖 4。
2. 檢核點 28 個之中誤差為 1.203 公尺，檢核點殘差向量如圖 5-1。

§5-2 分層內插法計算與成果分析

一、資料偵錯

1. 按§4-2 方法計算出 PD_{59} 與 PD_{69} 值。
2. 將 PD_{59} 與 PD_{69} 向量展繪如附圖 5 與附圖 6，對於向量顯不合理者，再檢查其建檔資料，如係可查明之錯誤，則予修正，否則便剔除之。

二、網格資料計算

1. 以 SCOP 軟體分別計算 PD_{X59} 與 PD_{Y59} ， PD_{X69} 與 PD_{Y69} 網格，使用參數同直接內插法。
2. 參考點數： PD_{X59} 與 PD_{Y59} 為 7753 點， PD_{X69} 與 PD_{Y69} 為 1432 點 (不包括人工加入之 155 點)。
3. 為評估非共用點之轉換精度，另外各計算二組網格資料以供檢核，第一組將 28 個檢核點之 PD_{59} 與 PD_{69} 值均剔除 (以下簡稱「不含 59」)，第二組將檢核點

之 PD_{69} 值剔除，但保留其 PD_{59} ，(以下簡稱「含 59」)，以評估 PD_{59} 對非共同點之影響。

三、網格計算結果分析

計算完成之 PD 網格如附圖 7。

類別 項目	最小值	最大值	同一 CU 內 最大差值	CU 平均 接邊差值
PD_{X59}	-13.326	9.796	12.742	0.131
PD_{Y59}	-18.472	11.194	16.641	0.111
PD_{X69}	-8.555	3.868	8.366	0.067
PD_{Y69}	-4.049	5.238	5.116	0.060

表 5-3 分層內插法輸入參考點資料分析 (單位公尺)

項目	過濾值(公尺) 0~0.08	0.08~0.16	0.16~0.32	0.32~0.64	0.64 以上
PD_{X59}	94.92%	2.49%	1.64%	0.70%	0.25%
PD_{Y59}	95.02%	2.77%	1.35%	0.76%	0.10%
PD_{X69}	98.30%	0.73%	0.70%	0.25%	0.02%
PD_{Y69}	98.16%	1.17%	0.52%	0.13%	0.02%

表 5-4 分層內插法參考點過濾值百分比

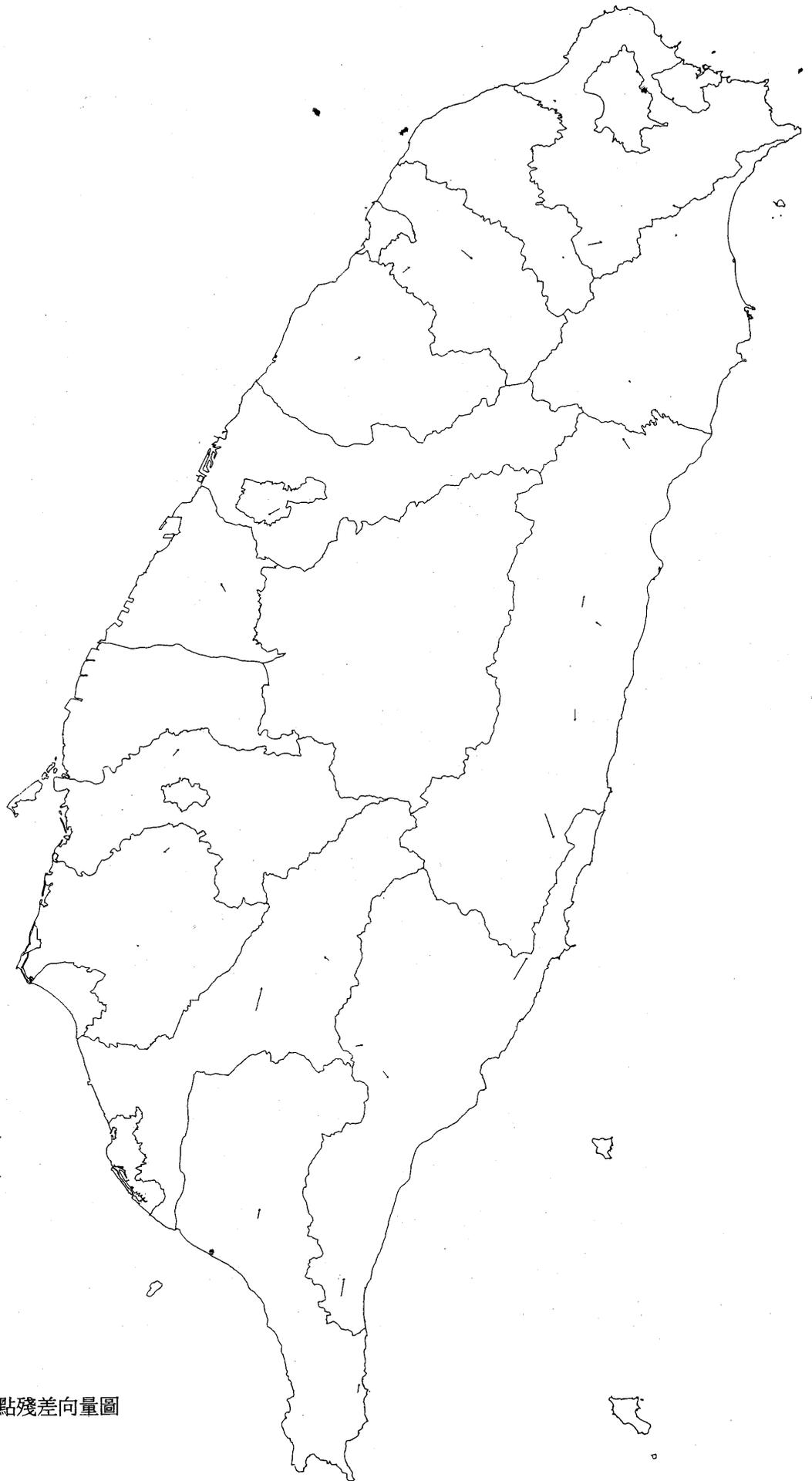
四、成果精度評估：

1. 以 §4-3 之方式，計算共同點 TM_{69} 坐標，與已知值比較，計算其坐標差值。計 1432 點，中誤差為 0.362 公尺，共同點殘差向量如附圖 8。
2. 檢核點 28 個之中誤差「不含 59」為 0.935 公尺，「含 59」為 0.575 公尺。檢核點殘差向量如圖 5-2 及圖 5-3。

五、「直接內插法」與「分層內插法」之差異比較：

將「直接內插法」與「分層內插法」兩種不同方式所得到之 PD_X 與 PD_Y ，對應之網格數值相減，產生另一網格，將其向量差值繪出，如附圖 9。

圖中向量愈大者，表示兩種方式計算所得之成果差異愈大。



地圖比例：5公里 —
向量比例：2公尺 —

圖5-1 直接內插法檢核點殘差向量圖

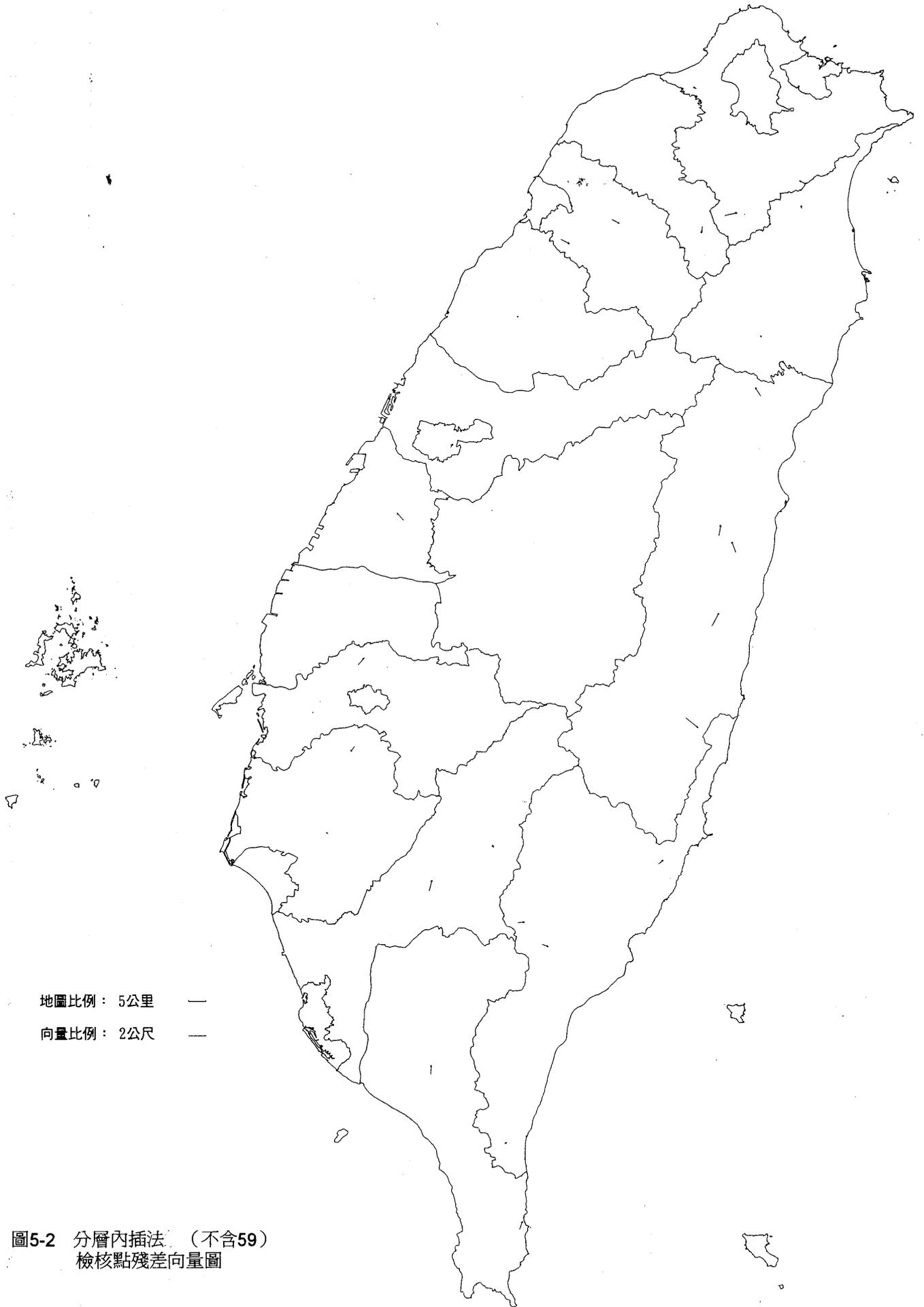
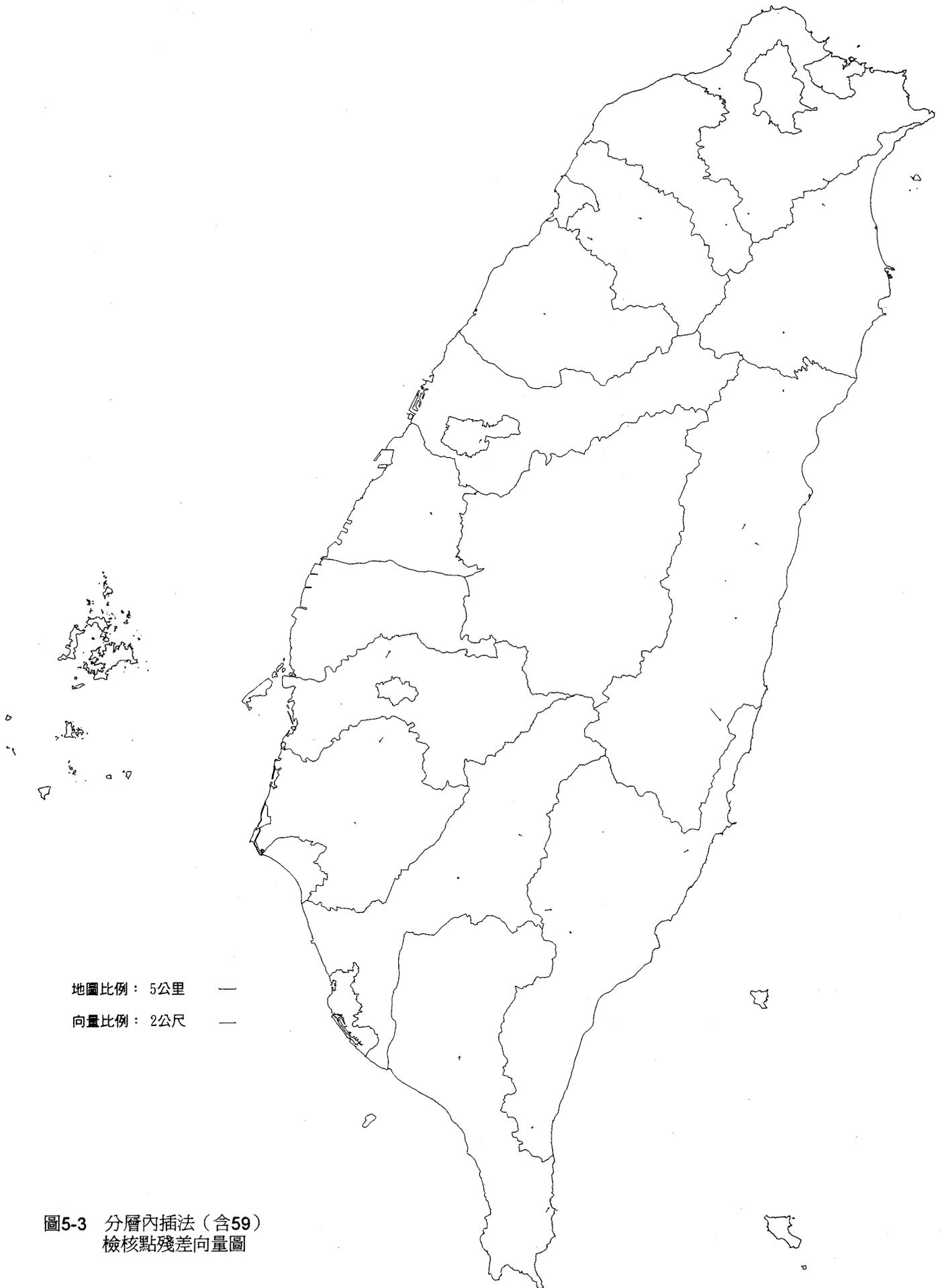


圖5-2 分層內插法 (不含59)
檢核點殘差向量圖



地圖比例：5公里 —

向量比例：2公尺 —

圖5-3 分層內插法 (含59)
檢核點殘差向量圖

名稱	TMX69	TMY69	標高	直接內插法		分層內插法(不含99)		分層內插法(含99)	
				X較差	Y較差	X較差	Y較差	X較差	Y較差
茄拔	180433.786	2558791.602	22	0.097	0.014	-0.032	-0.011	-0.074	0.024
下寮	189673.245	2607726.931	22	0.628	0.700	0.739	0.827	0.463	0.787
頂秀祐	188715.429	2584065.913	32	-0.560	-0.499	-0.480	-0.649	-0.448	-0.560
助矢山	232192.075	2469146.926	600	0.279	1.865	0.124	0.162	0.015	0.148
九棚山	236328.339	2444675.691	351	0.173	0.888	0.353	0.898	0.341	0.507
千金湖山	210735.894	2488994.279	212	0.258	1.026	0.109	1.067	0.075	0.430
間場內	243223.767	2526438.894	1482	0.546	-0.726	0.652	-0.226	0.264	-0.130
拜仁士心	236037.985	2532843.204	2499	0.723	0.073	0.799	0.059	0.847	0.047
大貢占	210511.067	2542086.800	823	0.624	2.328	0.334	1.194	0.059	0.245
溪南山	229202.933	2554846.277	2648	-0.466	0.393	-0.243	0.065	-0.376	0.181
大埔心	203142.503	2650112.750	26	-0.434	0.791	-0.775	0.803	-0.182	0.268
台中	216989.081	2671329.172	89	-1.084	-0.632	0.218	0.354	0.291	0.402
八角嶼山	236303.803	2709223.923	750	0.600	0.323	0.127	0.000	-0.072	-0.029
赤科坪山	249091.406	2731561.196	163	0.674	0.571	0.946	-0.501	0.552	-0.253
嘎嘮巴灣奧	277122.962	2549903.913	356	1.346	2.147	0.522	0.403	0.559	0.219
三笠	285187.550	2592391.529	130	0.780	-2.462	1.390	-1.167	1.168	-1.471
壽山	299240.642	2640897.821	500	-0.517	0.395	-0.439	1.217	-0.391	0.230
木瓜山	294491.688	2645686.803	2426	0.239	1.176	0.205	1.262	0.351	0.531
馬太鞍	292683.238	2619334.389	142	-0.009	-1.154	0.740	1.499	-0.110	-0.136
夫婦山	289911.792	2735352.871	1869	-0.052	-0.010	-0.109	-0.770	-0.038	-0.134
檜山	296361.831	2738541.816	1435	1.357	0.262	1.333	0.291	0.122	-0.061
沙坑	263975.548	2737245.525	397	1.093	-0.911	0.822	-0.426	0.388	-0.104
樹林口	288168.570	2775131.736	248	-0.180	0.094	-0.304	0.156	-0.169	0.000
文迷山	306630.605	2686385.915	2159	-0.650	1.016	-0.605	0.953	-0.099	0.146
山櫻	306811.669	2703601.257	1871	-0.163	0.038	-0.166	0.038	-0.178	0.040
大湖山	318658.248	2740674.884	438	-0.098	0.154	-0.045	0.311	-0.329	0.282
烘爐地山	319558.339	2747839.286	1166	-0.700	0.234	-0.592	0.295	-0.604	0.312
頂山	309033.637	2782582.779	767	-0.237	0.038	0.165	-0.039	0.120	-0.215

表 5-5 檢核點殘差比較表

§5-3 圖解地籍圖之套合分析

為驗證坐標轉換結果之絕對精度，可將同時具有地籍坐標與二度分帶坐標之圖籍進行套疊分析。本局辦理地籍圖重測時，係將舊地籍圖（多為地籍坐標系統）數化後，與現況測量結果進行比對、套圖，並經面積調整分析、協助指界等程序，求得各界址點之二度分帶坐標。因此將重測前後之地籍圖套疊，是很適合檢查轉換結果與實地現況是否相符之方式。

一、實驗區共有兩個，分別選在「直接內插法」與「分層內插法」成果差值微小與差值顯著之區域，以驗證

兩種轉換結果之正確性。

二、甲區位於臺南縣山上鄉八十七年度地籍圖重測區，屬於「直接內插法」與「分層內插法」差值微小地區。

三、乙區位於南投縣魚池鄉八十八年度地籍圖重測區，屬於「直接內插法」與「分層內插法」差值顯著地區。

四、地籍坐標系統之舊地籍圖資料來源：比例尺為一千二百分之一，圖幅大小為 500 間 X 400 間（約 80 X 60 公分）。舊地籍圖係本局存管之藍晒底圖，以滾筒式掃描儀進行掃描，掃描解析度為 200dpi，像元大小約 0.12mm。

以圖廓四角之地籍坐標，轉換為二度分帶坐標；再將掃描影像載入 MapInfo，並以前述四個圖廓點之二度分帶坐標進行 Image Registration（影像定位）。

五、二度分帶坐標系統之數值地籍圖資料來源：由重測成果資料，轉為 DXF 格式，再轉入 MapInfo。

六、將二度分帶之數值成果套疊於掃描影像進行分析。

七、山上重測區成果分析

1. 該區周邊之三角點分佈情形如附圖 1-2。

2. 以「直接內插法」與「分層內插法」計算之圖廓點坐標如表 5-6。

圖廓地籍坐標		直接內插法坐標		分層內插法坐標	
X	Y	X	Y	X	Y
-19000	-64400	182175.948	2554307.109	182175.912	2554307.018
-18500	-64400	183085.358	2554305.066	183085.211	2554304.948
-18500	-64000	183086.842	2555032.464	183086.861	2555032.385
-19000	-64000	182177.462	2555034.490	182177.487	2555034.427

表 5-6 山上重測區圖廓坐標轉換結果

3. 以「直接內插法」套疊結果如附圖 10，「分層內插

法」之套疊結果與「直接內插法」則十分接近。

八、魚池重測區成果分析

1. 該區周邊之三角點分佈情形如附圖 1-2。
2. 以「直接內插法」與「分層內插法」計算之圖廓點坐標如表 5-7。

圖廓地籍坐標		直接內插法坐標		分層內插法坐標	
X	Y	X	Y	X	Y
14000	-15600	242381.163	2642908.291	242377.640	2642909.777
14500	-15600	243290.394	2642906.266	243286.571	2642907.876
14500	-15200	243292.070	2643633.549	243288.306	2643635.083
14000	-15200	242382.735	2643635.620	242379.589	2643636.968

表 5-7 魚池重測區圖廓坐標轉換結果

3. 「直接內插法」套疊結果如附圖 11，有明顯之誤差
4. 「分層內插法」之套疊結果如附圖 12，較「直接內插法」良好。另一幅較大範圍套疊如附圖 13。
5. 經檢視結果，以整幅圖來看，「分層內插法」套合情形尚屬合理。而局部圖形錯開處，可能是由於重測後改變圖形所致，並非全為坐標轉換誤差造成。

九、套疊誤差來源分析：

1. 坐標轉換誤差
2. 重測成果誤差
3. 舊地籍圖測量誤差或誤謬。
4. 舊地籍圖折損伸縮誤差
5. 描圖誤差
6. 掃描誤差
7. 影像定位誤差

§5-4 實驗結果檢討

- 一、「直接內插法」與「分層內插法」之轉換結果，其共同點上之中誤差分別為 0.187 與 0.362 公尺。檢核點方面，「直接內插法」、「分層內插法（不含 59）」與「分層內

插法(含 59)」上之中誤差分別是 1.203、0.935 與 0.575 公尺。可見即使在沒有 TM_{69} 坐標之非共同點上， TM_{59} 仍可有效將轉換精度由 0.9 公尺提昇至 0.6 公尺左右。若逐點比較，則優劣互見。大體而言，在共同點較密集且坐標成果精度均勻之地區，「直接內插法」應優於「分層內插法」；而共同點分佈明顯較「五十九年成果」點位稀疏之地區，則「分層內插法」應優於「直接內插法」。

二、經由實驗結果，在共同點之坐標較差檢核方面，「直接內插法」之中誤差 0.18 公尺，優於「分層內插法」之 0.30 公尺，但以實際之圖形套疊後，卻發現「分層內插法」明顯優於「直接內插法」，且其差異可達 3 公尺之譜。分析可能之原因如下：

1. 「分層內插法」經過二次之數值地形內插計算，再予合成，其累積之內插誤差較「直接內插法」大。且「分層內插法」之優點在於將非共同點之 TM_{59} 納入考慮，這在共同點上表現不出來。所以在共同點之較差檢核方面「分層內插法」無法顯示其優點。

2. 坐標或經緯度含有公尺等級的粗差，未完全剔除，影響 PD 格點成果。經檢視部分粗差係存在於相近之兩個點位，其誤差向量差異很大，這種不合理的情形是數值地形軟體所無法處理的，在五十九年成果中不少，因剔除不全而使共同點上之殘差變大。

三、經檢視差異向量圖，可發現兩種內插法差值較大者多發生在 PD 向量有急劇變化處，亦即坐標成果位於不同系統誤差交接之處，「分層內插法」將這因素納入考慮，較能反映測圖當時之情況，所以套疊結果較「直接內插法」良好。

四、改進轉換成果精度之方式

1. 加密網格：網格間距越小，其雙線性內插之誤差也越小，甚至可達到近乎零誤差之強制套合。然而網格間距愈小，其檔案空間隨之增加。如果考慮圖解地籍圖之精度需求及參考點密度，採用 500 公尺之間距應已足夠，其檔案大小約 2MB，壓縮後約 1MB。
2. 以分區轉換加強偵錯：由共同點之殘差向量圖，可發現尚有粗差未能完全剔除而影響轉換精度。由於近似之轉換參數是以臺灣全島為範圍，部分地區之誤差向量可能較大。雖然其誤差向量規模仍不致對內插計算產生太大影響，但可能增加粗差之偵測困難；例如同一點附近，向東 1 公尺和向西 1 公尺之向量很容易分辨而將其剔除，但向東 8 公尺和向東 10 公尺之向量則不易分辨其差異而遺漏。可考慮將全省劃分為若干地區進行偵錯，再進行全區之計算。

第六章 坐標轉換之應用

一、圖解地籍圖數值化成果轉換：

- 1.對於既有之數化成果：按照§4-3之方法，逐點將地籍坐標轉換為二度分帶坐標。
- 2.對於新的數化作業：由於數化時係分幅進行，在同一幅圖之範圍內，地籍坐標與二度分帶坐標可視為簡單之四參數或六參數轉換，不須逐點內插計算。可利用本研究所完成之坐標轉換軟體提供之「圖廓點計算」功能，計算出各圖廓點之二度分帶坐標並予列表（如表6-1），供數化人員使用。數化前讀取圖廓點作為控制，而其坐標則查閱所列之二度分帶坐標，則數化之成果即為二度分帶坐標。

14000	-15600	--->	242377.640	2642909.777
14500	-15600	--->	243286.571	2642907.876
14500	-15200	--->	243288.306	2643635.083
14000	-15200	--->	242379.589	2643636.968

14000	-15200	--->	242379.589	2643636.968
14500	-15200	--->	243288.306	2643635.083
14500	-14800	--->	243289.912	2644362.531
14000	-14800	--->	242381.482	2644364.292

表 6-1 圖廓點計算表

- ### 二、輔助地籍圖重測現況測量：辦理地籍圖重測時，均須數化舊地籍圖，作為套圖及面積分析之依據。在山區等現況點不易與舊圖對應之地區，若能先將數化之舊地籍圖轉換為二度分帶坐標，求得各界址點之坐標參考值，

近似恢復舊圖與實地之關係，然後以全測站經緯儀測設界址點位，與現況比對，可減少盲目之現況測量再套圖造成之人力浪費。

三、輔助尋找三角點：由五十九年成果之三角點分佈情形來看（附圖 1-1 至 1-3），其點位相當密集，在平地及丘陵間距約一至二公里，已符合三等控制點之佈設密度。然而這些點位由於年代久遠，加上點之記十分簡陋，除非點位十分明顯，否則尋找十分困難。目前地籍圖重測已逐漸往郊區及山區發展，這些地方之點位保存可能較為完好，如能加以聯測，作為轉換之依據，必然可以提高轉換成果之精度。依據研究結果顯示，在地籍坐標不含錯誤之情況下，轉換成果之絕對精度應可優於 1 公尺，對於尋找困難之點位，若能先以坐標轉換求得其二度分帶坐標，然後以全測站經緯儀或 GPS RTK 之技術定出其實地位置，在 1 公尺見方左右之範圍進行地毯式搜索，應可提高三角點尋獲之機率。

第七章 結論與建議

地籍資料為國土資訊系統九大資料庫中相當重要之一環，為期早日建立完整之地籍資料庫，以保障人民產權，促進經濟建設，本局正積極辦理地籍圖重測與圖解地籍圖數值化等業務，其成果將逐漸涵蓋全省。與地籍圖重測相較，圖解地籍圖數值化是一種快速大量生產資料之方式，但若數化成果仍以地籍坐標表示，與現行之二度分帶坐標系統脫節，勢必成為資料整合運用之不便。故應採用合理且快速之坐標轉換方式，將此資料納入國土資訊系統，以充分發揮其效益。謹將本項研究結論簡述如後：

- 一、最小二乘共置法為適用於地籍坐標轉換之模式：由於地籍坐標含有明顯之系統性偏差，此項偏差與位置有關，以最小二乘共置法之轉換模式來處理，具有較為嚴密之理論基礎，其成果應較四參數或六參數分區轉換為合理，且適於自動化轉換作業。在實務上誤差向量網格可由數值地形計算軟體進行計算，不需另行開發軟體。另一優點是轉換之結果為唯一，不會因分區轉換產生不同坐標。因此是一種適用於大區域大規模轉換之方式。本研究係以臺灣本島為範圍，這種模式也可運用於澎湖或其他離島，只須計算該區之向量網格即可。未來若遇坐標系統之再度變更，可仿此模式進行轉換。
- 二、「分層內插法」成果較「直接內插法」為佳：經實驗結果，「直接內插法」雖然在共同點上之殘差較小，但在共同點分佈較疏之區域，其結果有明顯之偏差。「分層內插法」雖然損失少許內插精度，但對圖解地籍圖影響不大，成果與實際狀況較為相符，是比較可靠之方式。

三、最小二乘共置法轉換模式，其精度可滿足 GIS 之需求：由實例分析結果，在三角點轉換較差方面，絕對精度約為 18 至 36 公分。如果考慮到舊地籍圖成圖時之條件，及圖紙伸縮等因素，這樣的絕對精度應已足夠。而在實際重測前後圖形套疊時，以整幅圖之觀點來看，結果尚屬合理。雖然圖面上有局部之位移現象，但這可能是圖紙折痕破裂、圖籍誤謬等因素，造成重測前後圖形改變所致，不是只靠圖解數化或坐標轉換就能解決的問題。圖解數化目的在於保持地籍圖原貌，而坐標轉換是在不作地面測量之情況下，將數化成果以較為合理之方式與現行坐標系統結合，因此轉換成果雖可能與現地不符，但在未辦理重測前，對許多 GIS 應用而言，已具有相當之實用價值。

四、本研究結果是否適用於控制測量成果之坐標轉換，仍待評估：由於本研究之主要依據是臺灣地區之三角點資料，各單位現存控制測量成果可能是依據更下級之導線及圖根測量成果，只用三角點轉換結果自然無法改正這些更為局部之網形變形。且控制測量成果對精度之要求較高，此種模式能否達到精度要求，仍待研究。

五、圖解地籍圖數值化之成果應轉換為二度分帶坐標，以利地理資訊系統應用：經研究結果顯示，地籍坐標與二度分帶坐標之轉換結果已符合可滿足 GIS 精度需求，雖然其解算過程雖較複雜，且需套裝軟體計算，但此工作可統一進行，再將計算成果 PD 值之網格向量存檔以供運用。對於圖解地籍圖之坐標轉換，只需按§4-3 方式讀取網格值加以內插，或按第六章計算圖廓點坐標，流程十分簡易，對數化廠商而言應無困難。故未來圖解地籍圖數值化成果之整合成果，可運用此種模式加以轉換，產生二度分帶坐標成果對外提供，避免各用圖單位自行

轉換，造成資料不一而衍生其他困擾。

六、三等控制點補建新建規劃選點時，應儘量與現有成果共用標石，以利後續地籍整理及未來坐標系統變更轉換：對於短期內不可能辦理地籍圖重測之地區而言，舊地籍圖仍是最重要之依據，若能建立與現行坐標之轉換模式，有助於釐整地籍，重建舊圖與現況之關係。而根據研究結果顯示，共用點對於坐標轉換之成果具有重要影響。從「五十九年成果」三角點之分佈情形來看，其密度已達三等控制點之需求，未來以 GPS 進行補建新建時，在條件允許之情況下，應儘量共用標石，以作為未來國家坐標系統變更時轉換之依據。至於缺乏點之記而尋找困難之點位，可以本項轉換方式先求解近似之二度分帶坐標，再配合全測站經緯儀或 GPS RTK 技術，協助搜尋點位，並予聯測。

七、以坐標轉換成果輔助重測現況測量：地籍圖重測已逐漸向郊區及山區發展，這些地區圖籍破損可能較輕微，轉換結果與實地可能十分接近。對於現況測量不易之地區，如能以轉換後之近似坐標先行測設於實地，經比對後再適度施測，當可減少現況測量所需之點數，節省時間。

參考文獻

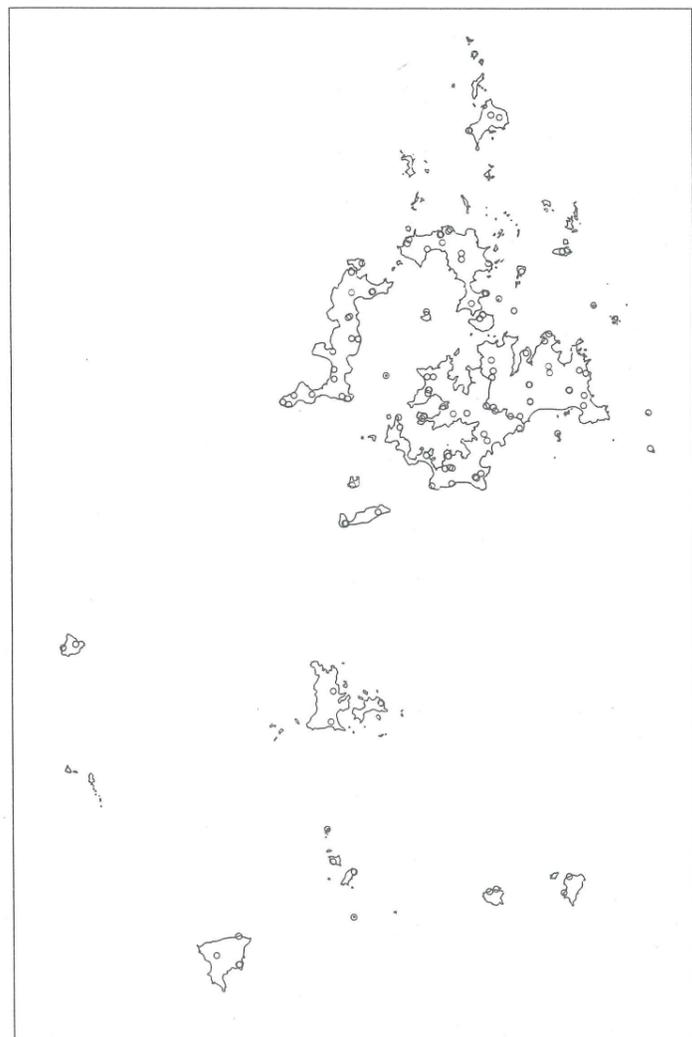
- 1.王蜀嘉，1984,最小二乘共置法在含有隨機特性之坐標轉換上的應用。
- 2.張順隆，1997,臺灣地區基準轉換之研究
- 3.臺北市政府工務局，1992，臺北市地籍測量與都市計畫測量系統整合之研究
- 4.曾清涼、儲慶美，1999，GPS 衛星測量原理與應用
- 5.臺灣省政府，1995，臺灣省圖解地籍圖數值化第一期計畫
- 6.臺灣省政府地政處，1997，臺灣省圖解地籍圖數值化作業工作手冊
- 7.臺灣省政府，1999，臺灣省圖解地籍圖數值化後續計畫（草案）
- 8.1970，臺灣省三角點成果表
- 9.內政部，1980，中華民國臺灣地區三角點成果表
- 10.遠流出版公司，1999，日治時代二萬五千分之一臺灣地形圖
- 11.HELMUT MORITZ，Introduction to Interpolation And Approximation
- 12.GEORGES BALMINO，Introduction to Least-Square Collocation

誌 謝

本研究承蒙國立成功大學測量工程學系協助以 SCOP 數值地形軟體進行計算，始得順利完成，特此誌謝。

附圖1-1 五十九年成果三角點分佈圖（一）
（三角形為共用點）

—
5公里

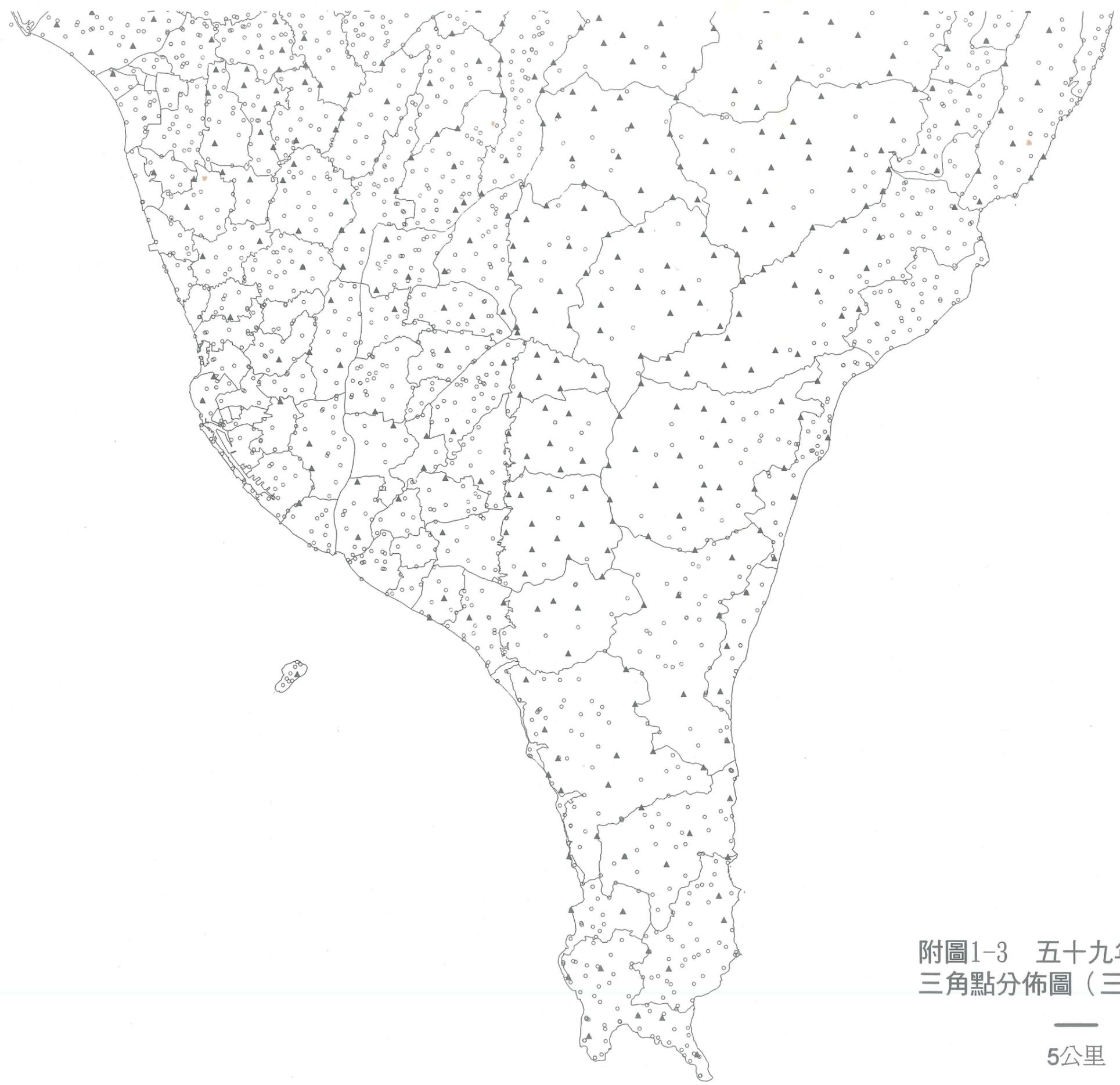




附圖1-2 五十九年成果
三角點分佈圖 (二)

—
5公里

~F2~



附圖1-3 五十九年成果
三角點分佈圖 (三)



—
5公里



地圖比例：5公里 —

向量比例：10公尺 -

附圖2 直接內插法參考點之PD向量圖



地圖比例：5公里
向量比例：10公尺

附圖3 直接內插法成果網格點之PD向量圖



地圖比例：5公里 —

向量比例：2公尺 —

附圖4 直接內插法共同點殘差向量圖



地圖比例：5公里 —
向量比例：10公尺 —

附圖5 分層內插法參考點之PD59向量圖

~ F-7 ~



地圖比例：5公里 —
向量比例：10公尺 -

附圖6 分層內插法參考點之PD69向量圖



地圖比例：5公里 —
向量比例：10公尺 -

附圖7 分層內插法成果網格點
合成後之PD向量圖



地圖比例：5公里 —

向量比例：2公尺 —

附圖8 分層內插法共同點殘差向量圖



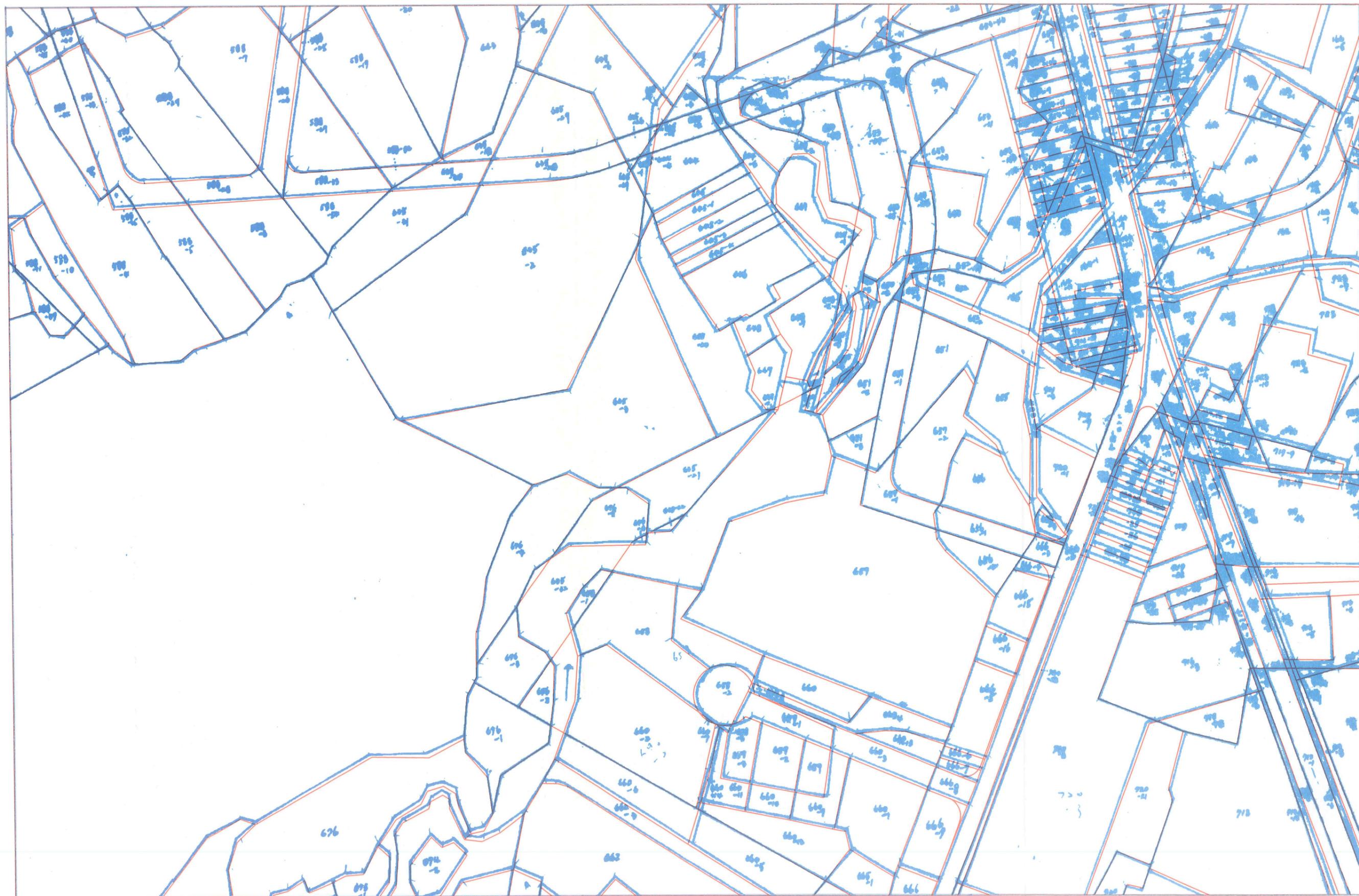
地圖比例：5公里 —

向量比例：10公尺 —

附圖9 直接內插法與分層內插法
網格點差值向量圖



附圖11 魚池重測區重測前後圖形套疊（採直接內插法）



附圖12 魚池重測區重測前後圖形套疊（採分層內插法）



附圖13 魚池重測區重測前後圖形套疊（採分層內插法），縮為二千四百分一