

第四章 網格化點雲精度與數值影像正射糾正之研究

由前兩章之討論中可得知，經由地面光達所得到的點雲資料，雖經點雲連結、疊合及座標轉換後，仍為一群空間中散佈之三維點，需再經過資料處理的過程，方能供使用者進一步使用。利用地面光達所獲取的資料，其最大優點在於資料量大，可詳盡描述真實地表狀況，若能改以點雲資料來製作 DEM，其解析度及精度應可遠大於以往利用航測影像所製作之 DEM。

Miller & Laflamme 在 1958 年提出數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM) 的概念，定義 DTM 是利用一個任意座標場中大量選擇的已知 X、Y、Z 的座標點對連續地面的一個簡單的統計表示；換言之，DTM 就是地表面簡單的數字表示 (李志林，1999)。而在測繪領域中，由於原來的 Terrain 一字意義包含較為廣泛，舉凡地表上一切地形地物 (含屬性) 皆可包含在內。而土木工程界所指之 DTM 原本僅指地表高程之起伏，並不包含地物，也不包含地物之屬性，這與 Terrain 這名詞並不合，故世界上大多數國家之測繪界都改以數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 來代替 DTM。

原始點雲資料為離散的點資料，需經過內插的過程，方能將點雲資料網格化，以產製 DEM 資料，但不同內插方法的選擇會造成 DEM 品質的影響，故須先對 DEM 品質精度進行評估，再利用 DEM 資料對原始影像進行正射糾正，以產製正射像片，以下分別對 DEM 品質精度評估及影像正射糾正進行分析探討。

4-1 DEM 品質精度檢核

數值高程模型 (DEM) 是地理資訊系統中的一項重要資料，目前 DEM 所採用的資料格式主要有：規則網格 (regular grid)、數值等高線 (digital contours) 及不規則三角網 (Triangular Irregular Network) 此三種資料結構各有其優缺點，實際應用仍以規則網格最為普遍 (闕文鏈，2001)，其三種資料格式差異如表 4-1。

表 4-1 DEM 資料表現方法 (賴進貴, 2003)

| | | | |
|----------|---------------|---------------|---------------------|
| DEM 資料格式 | 規則網點 | 數值等高線 | 不規則三角網 |
| 高程資料建立方式 | 固定水平間距 | 地形圖等高線數化 | 無固定間距 |
| 形式 | 固定間隔記錄 高程點 | 連續平滑 且封閉曲線 | 大小不一三角形表 示不同的坡單元 |
| 配合地形變化記錄 | 無 | 有 | 有 |
| 地形演算法難易度 | 簡單快速 | 複雜 | 複雜 |

本研究中所獲得的點雲資料為離散的點資料，需先透過內插 (interpolation) 過程，方能將點資料轉換成規則網格之 DEM 資料。所謂內插，是利用資料中已知點的屬性值來推估未知點的屬性值；透過此過程所產生的 DEM 品質會受到內插方法特性、地形特性等因素的影響 (賴進貴, 1996)，故必須對內插方法之原理及性質有所瞭解，方能依點雲資料之特性選擇較佳之空間內插方法。

4-1-1 不同內插方法分類及比較

Lam 於 1983 年將空間內插方法分為點資料內插和面資料內插兩種方法。點資料內插主要用於獨立點的數值推估，如地形高度、地下水位等數值資料；面資料內插則是用以推估區域性資料的屬性值。點資料內插法又可分成確切 (exact) 和近似 (approximate) 兩種。確切的方法是指內插後的結果會保存原來的已知點之數值，而近似方法則不會保存既有的已知值。權重平均法 (weighted averages)、kriging、spline 等屬於確切方式，而傅立葉法則屬於後者。而 Waston 在 1992 年提出另一種分類，根據內插法所採用之原理將內插法分為兩類。第一類是 fitted function interpolation，利用數學函數創造一個資料面，如 spline 和 trend surface 等內插法即屬於這一類；第二類方法屬於一種探查性的方式，如權重平均法，是由局部地區的資料去求取其周圍未知點的數值 (賴進貴, 1996)。

距離反比權重法 (Inverse Distance Weight, IDW) 為針對每一個未知點的數值與其鄰近已知點距離反比的權重推估，以進行加權運算。所給定的權重和距離的遠近成反比，並將內插的結果進行平滑化，所計算出的資料格點在內插範圍內與散佈的資料點的距離關係成反比。換言之，被加權的格點受不同遠近距

離點的影響，距離越遠則影響越小（闕文鏈，2001）。

Kriging 內插法是空間統計(geostatistics)中的一項重要方法，Kriging 法最早由南非礦業工程師 D.G. Krige 於 1950 年為探勘礦脈分布所發展，適用於具空間連續分布的資料，如礦冶、地下水位、環境監測等領域，而在測量領域中常利用 Kriging 法進行 DEM 資料之高程內插。

Kriging 內插法在形式上與 IDW 法類似，都是利用已知點數值的加權來推估未知點的數值，但其計算權重的過程則較為複雜。Kriging 內插法的第一個步驟為空間結構的分析，利用已知點的數值來分析資料數值間大小差異和其空間分佈的關係，並產生一個 variogram 做為內插法適用性的判斷；第二步驟則以平均法或移動視窗法來計算每個網格的數值，樣本點的權重是由第一步驟的空間連續方程決定（賴進貴，1996）。

最小曲率法（Minimum Curvature）為一種網格化方法。以最小曲率法構成的插值表面類似於一個通過各個資料值，具有最小彎曲量的長條形的彈性薄版，盡可能與原始資料點吻合的最平滑曲面。最小曲率法並非一個精確的插值法，為一近似插值（Wessel & Smith, 1999）。

4-1-2 DEM 品質檢核方法

賴進貴（1996）利用台灣地區真實等高線圖進行測試研究，由 1/5000 像片基本圖數化產生數值等高線，整理成等間距為 5 公尺和 25 公尺的向量高線圖檔，再利用 ARC/INFO 及 GRASS 中五個內插方法，分別產生網格解析度為 20 公尺的網格 DEM；就所產生網格 DEM 的統計資料分析，不同內插法的品質有顯著差異，採用擬合函數法（fitted function）如多項式函數、傅利葉轉換，所產生的 DEM 地表型態較簡化，也超過原始等高線範圍，細部地形變化無法顯示出來，在內插上實用價值不高。IDW 及 kriging 法可顯示較正確的地形，但在山谷、稜線、山頂等地形變化較大之處，也無法有效顯示。

賴進貴（2003）分別以視覺化分析及數理統計分析方法，進行 DEM 誤差偵測。視覺化分析包含將 DEM 資料製作成（彩色）暈渲圖、等高線圖、立體

地形圖等，以進行 DEM 品質檢測的初步工作；數理統計分析則採用地形計測學（Geomorphometry）的概念，利用定量的指標來敘述地表的形貌；由 DEM 資料算出不同的地形參數，以顯示 DEM 資料品質指標，包含絕對高程、坡度、坡向、水系網路。

4-2 數值影像正射糾正

一般空照影像在成像過程中會受到透視投影、攝影軸傾斜、大氣折光、地球曲率及地形起伏等因素影響而產生像點移位，使得影像中的各點間造成不同程度的幾何變形，故必須先進行幾何糾正處理的步驟，以消除像點移位，使得影像中每一個像元具有相同尺度且其方位可與地圖座標系統套合（李良輝，1994）。

4-2-1 影像正射糾正原理

影像之正射化糾正主要在建立影像座標系與地面座標系間之點位對應關係，換言之，即為確定像空間與物空間之轉換關係，如圖 4-1 所示。正射化糾正的方法主要有兩種：第一種稱為錨點法或區塊糾正法（Anchor Point Rectification Method）；第二種方法則為較嚴密的方法，稱為逐點糾正法（Pixel-by-Pixel），此種方法考慮地形之起伏變化，並配合數值地形模型（Digital Terrain Model, DTM）產生正射影像（李良輝，1994）。

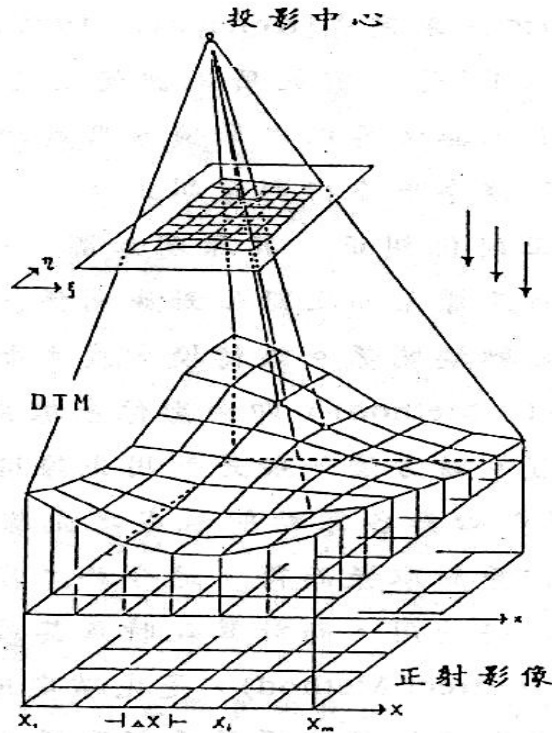


圖 4-1 影像之正射化糾正原理 (李良輝, 1994)

4-2-2 影像正射糾正相關研究

楊明德等人 (2003) 將 DEM 資料轉換成數值暈渲圖影像，用以模擬真實日照情形，再與衛星影像比對尋找適當之控制點，取代利用地形圖尋找控制點之方法。

Tao & Hu (2000) 提出有理函數法 (Rational Function Model, RFM) 用來校正 IKONOS 影像，改善傳統二維轉換未考慮地面高程之缺點。RFM 的優點在於使用者不需要感測器的相關資訊，可應用在衛星軌道資料無法得知或已經過低階幾何處理之影像。

羅秋月 (2002) 提出一套嚴謹且易於應用的幾何糾正方法，來處理 IKONOS 影像，並對所提出之方法與有理函數法進行幾何精度與控制點需求之比較及分析。研究結果發現有理函數法可對高差移位作近似的修正，但所需的控制點較多，對於地形起伏較大的區域，則需更多之地面控制點；此外，也提出有理函數法並不適用於產製具有房屋之真實正射影像。

4-3 網格化點雲之精度評估

由 4-1 節中可知內插方法的不同會影響 DEM 之品質，本節以三種不同內插方法產製 DEM，並對不同 DEM 資料進行精度評估，此處的精度評估方式採用賴進貴（2003）之評估方式，分別進行視覺化及數理統計分析。

4-3-1 測區資料說明

本研究範圍，主要部分為九份二山崩塌地，測區範圍如下圖 4-2。九份二山位於南投縣國姓鄉南港村澀仔坑一帶，崩塌地頭部鄰近南投縣中寮鄉。自南投縣草屯鎮沿省道台 14 線（中潭公路）東行至北山坑，沿 147 號縣道南行約 2 公里至三民橋南岸，接龍南產業道路向西行約 2.5 公里，即可進入崩塌地頭部（圖 4-3）。

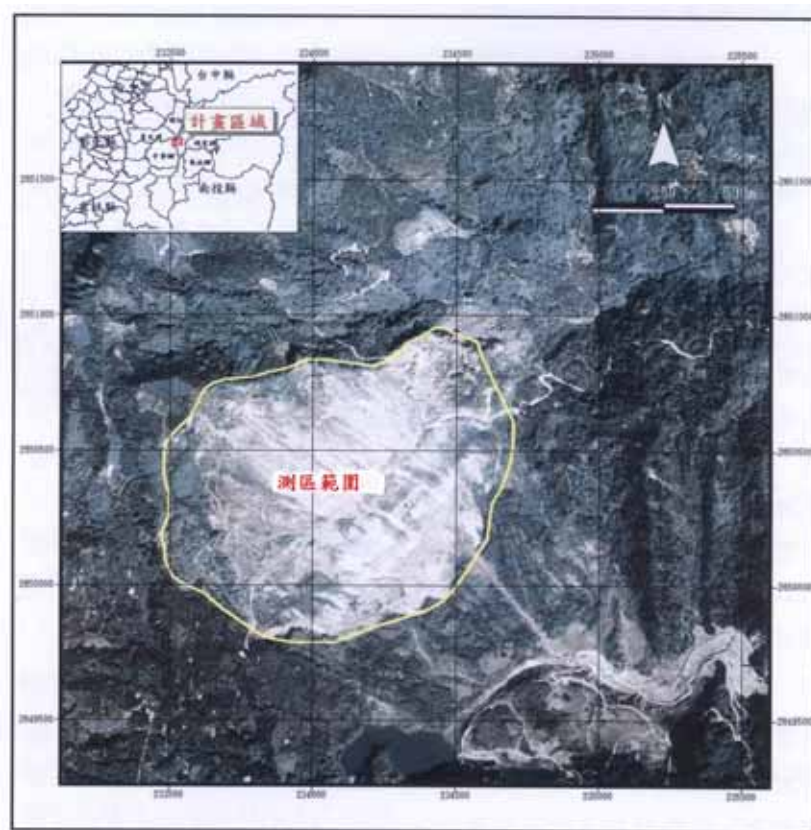


圖 4-2 測區範圍圖（工研院能資所，2003）



圖 4-3 測區地理位置與交通圖 (工研院能資所, 2003)

此次掃描作業均採用最後一次 (Last Return) 回訊資料, 故將所獲得之點雲資料視為真實地表面之資料, 即不包含地表物, 圖 4-4 為原始點雲資料, 由圖中可發現四個角落點雲資料分佈較稀疏, 為使得內插成果較為精準, 故只取測區中間部分作為 DEM 精度評估之實驗區, 實驗區詳細資料如表 4-2, 實驗區點雲資料如圖 4-5 所示。

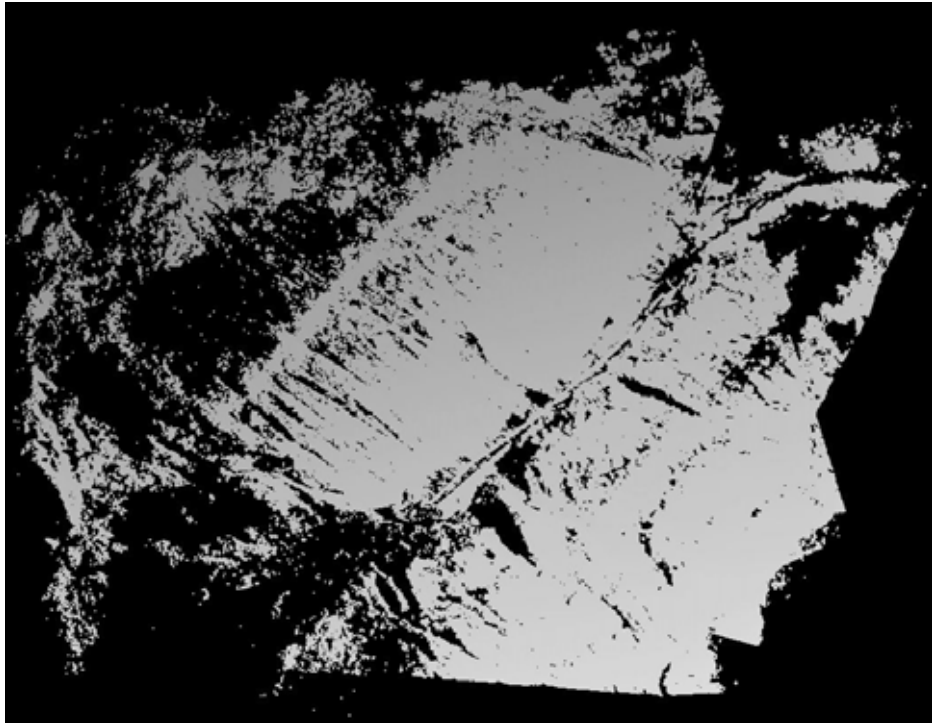


圖 4-4 測區原始點雲資料

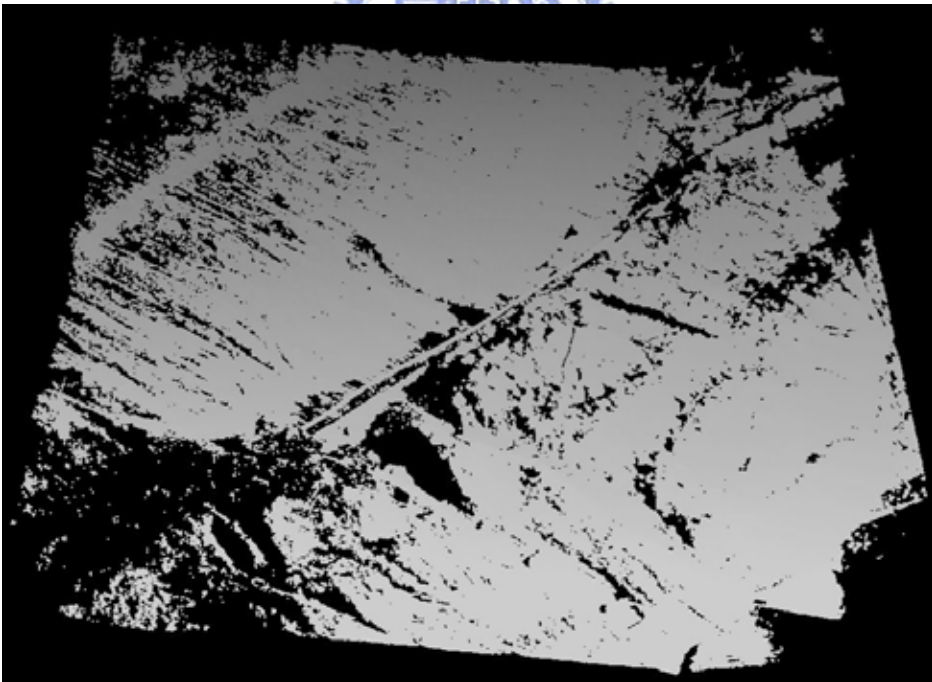


圖 4-5 實驗區點雲資料

表 4-2 實驗區點雲資料數據

| | X 座標 | Y 座標 | Z 座標 |
|-------|-------------------------|---------|--------|
| 最小值 | 233900 | 2650100 | 599.24 |
| 最大值 | 234500 | 2650700 | 921.03 |
| 總掃描點數 | 2706882 點 | | |
| 面積 | 360000m ² | | |
| 點密度 | 7.519pts/m ² | | |

由表 4-2 中可知，此實驗區點密度為 7.519pts/m²，即一平方公尺內大概有七到八個三維點分佈，後續研究均以 Surfer 8.0 (Golden Software, 2002) 軟體，採用 0.5m 之取樣間隔進行內插處理。

4-3-2 視覺化分析

1. 數值暈渲圖及 DEM 資料比較

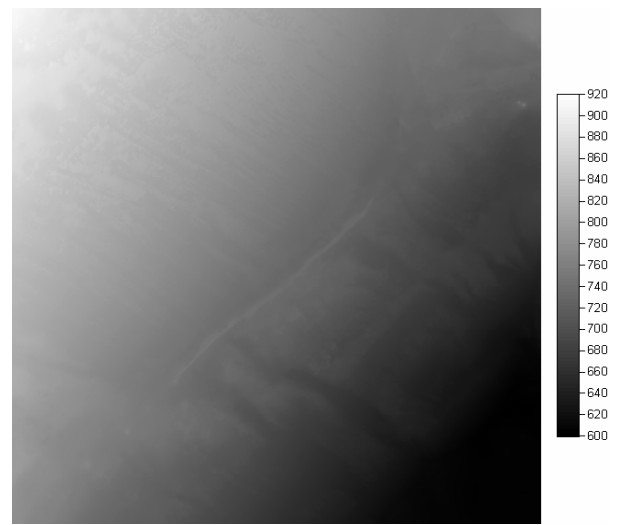
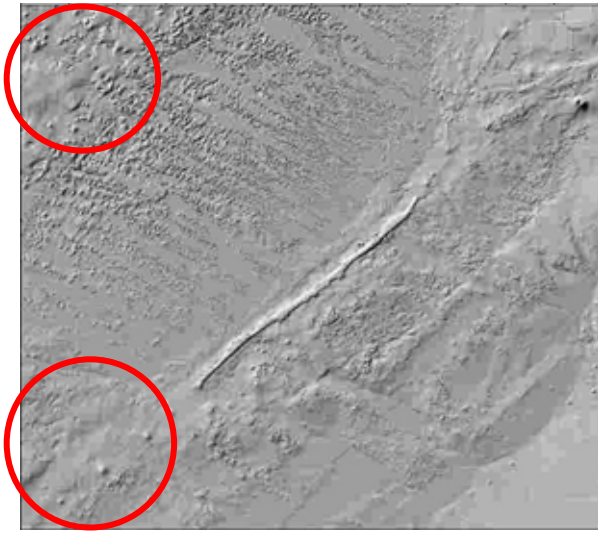
數值暈渲圖 (Digital Hill Shading) 是利用 DEM 資料，在定義太陽光源及視點位置後，依地形起伏所造成坡度 (Slope) 與坡向 (Aspect) 之差異，計算入射光源對視點方向之反射強弱而產生的模擬日照影像 (李良輝, 1994); 透過數值暈渲圖之展現，可顯示地形的高低起伏，若地形有不整合的情形，也可由暈渲圖 (圖 4-6) 中發現。

內插方法

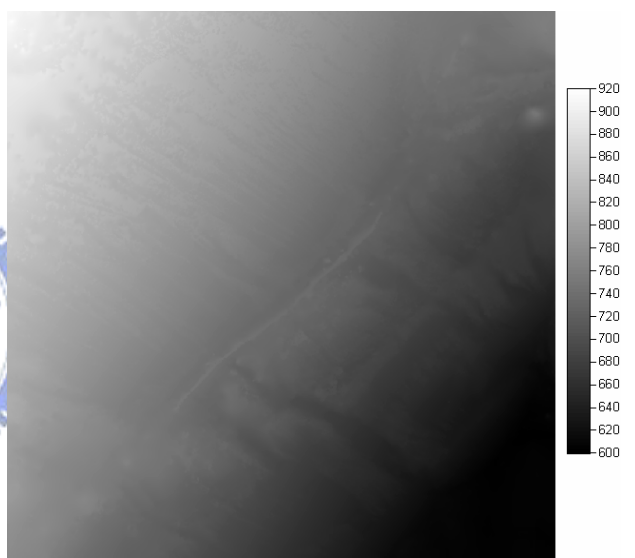
暈渲圖

實驗區 DEM

IDW



Kriging



Min
Curvature

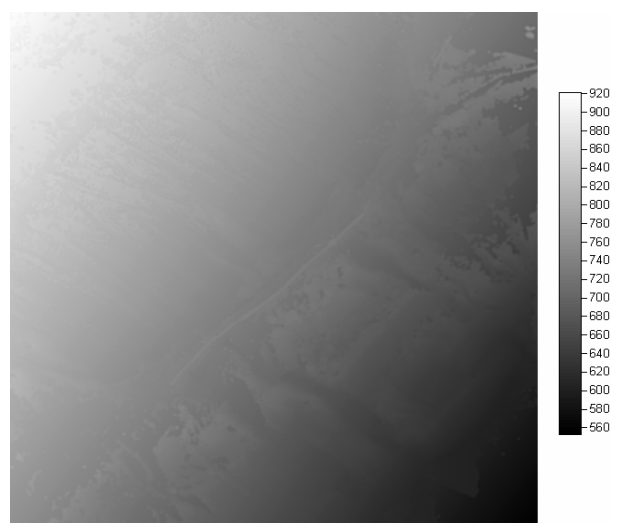
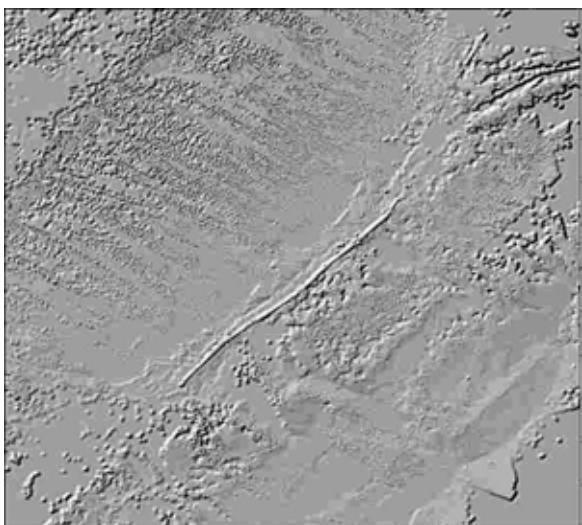


圖 4-6 暈渲圖及 DEM 比較

(註：IDW 為距離反比權重法；Min Curvature 為最小曲率法)

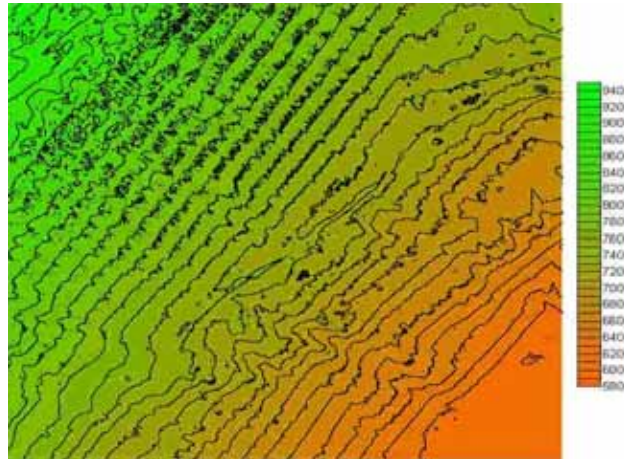
2. 等高線圖比較

利用等高線圖來表示地表的高低起伏，圖 4-7 中等高線間隔為 10 公尺，並利用不同顏色來代表地形高低。

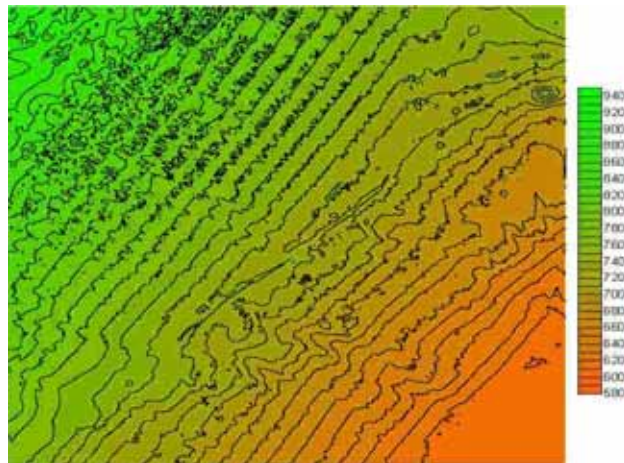
內插方法

等高線圖

IDW



Kriging



Min
Curvature

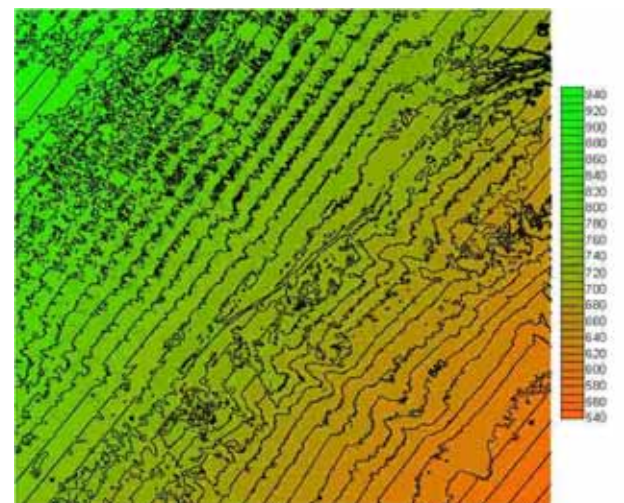


圖 4-7 等高線圖比較

4-3-3 地形計測分析

1. 絕對高程分析

原始點雲資料必有一 Z 值最大與一 Z 值最小之三維點，故經內插所得之網格化資料，其高程必落於此 Z 值範圍內，如超過此範圍，則明顯有錯誤，統計資料如表 4-3。

表 4-3 絕對高程分析（單位：m）

| 統計值\內插方法 | 原始點雲 | IDW | Kriging | Min Curvature |
|----------|---------|---------|---------|---------------|
| 最大高程 | 921.03 | 920.482 | 920.335 | 920.96 |
| 最小高程 | 599.24 | 599.292 | 599.401 | 552.927 |
| 平均高程 | 722.953 | 738.554 | 738.566 | 736.735 |
| 高程差 | 321.79 | 321.190 | 320.933 | 368.033 |
| 高程標準差 | 65.158 | 71.131 | 71.121 | 73.170 |

2. 坡度及坡向分析

坡度為高程之導數，透過坡度圖可得知一地區的相對高差，一地區的坡度變化通常不超過 100%（45 度）。

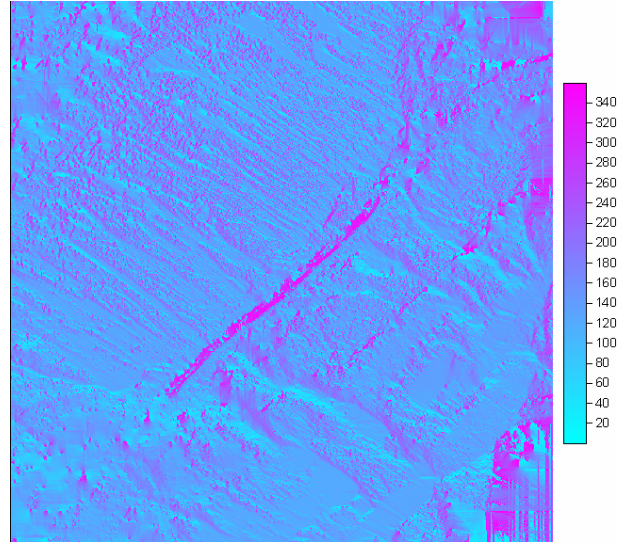
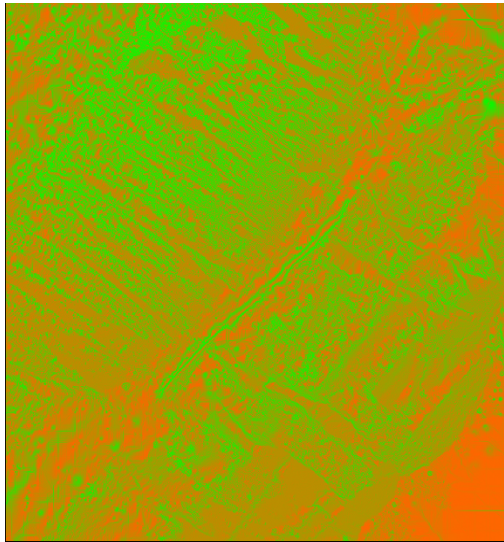
坡向之意義在顯示坡度改變最明顯的方向，通常以方位角 0~360 度表示；透過坡向分析可顯示一地區地形的連續情形。圖 4-8 為坡度及坡向分析圖，表 4-4 為其統計資料。

內插方法

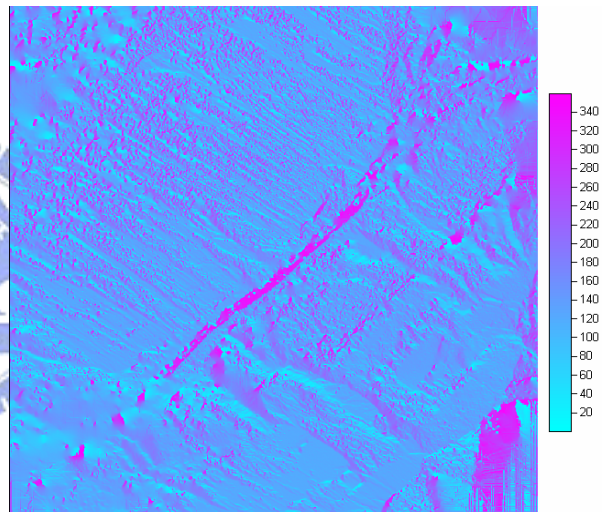
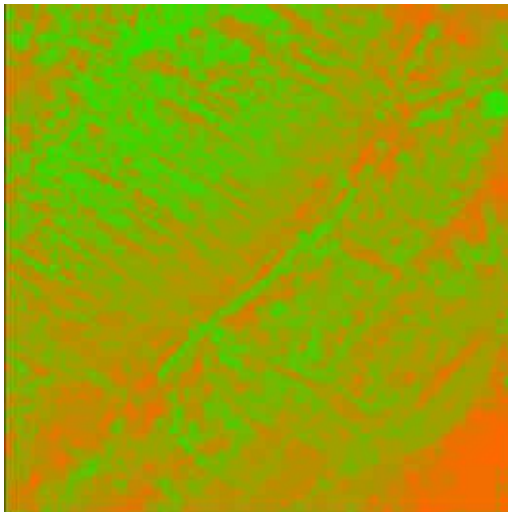
坡度圖

坡向圖

IDW



Kriging



Min
Curvature

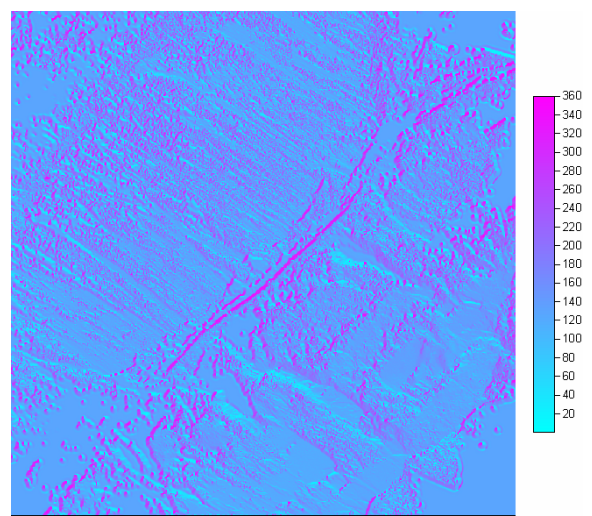
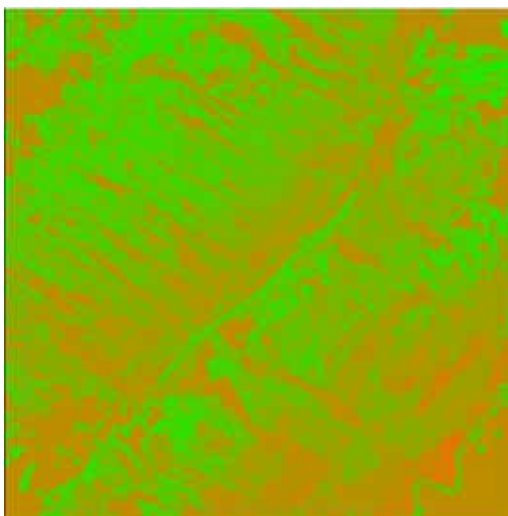


圖 4-8 坡度及坡向圖分析

表 4-4 不同內插方法地形計測之統計值

| 地形計測值 | 統計值\內插方法 | IDW | Kriging | Min Curvature |
|----------|----------|---------|---------|---------------|
| 坡度 (百分比) | 最大值 | 89.244 | 86.151 | 89.040 |
| | 最小值 | 0.013 | 0.022 | 0.012 |
| | 平均值 | 34.436 | 34.631 | 42.451 |
| | 全距 | 89.232 | 86.128 | 89.028 |
| | 標準差 | 18.627 | 18.230 | 20.255 |
| 坡向 (方位角) | 最大值 | 360 | 360 | 360 |
| | 最小值 | 0.0001 | 0 | 0 |
| | 平均值 | 143.666 | 143.886 | 145.807 |
| | 全距 | 360 | 360 | 360 |
| | 標準差 | 72.273 | 71.754 | 75.6004 |

3. 剖面圖分析

A. 不同內插方法比較

利用剖面圖來比較三種不同內插方法在相同剖線位置上的高程變化情形，若內插無誤，則其高程變化應相去不大；所選的剖線位置是三種內插方法視覺化分析時較為不同之處（見圖 4-6），故以此四條剖線進行高程比較，圖 4-9 為剖線位置圖，圖 4-10 為各剖線之剖面分析圖，其中紅線為 IDW 內插法，藍線為 Kriging 內插法，綠線為最小曲率內插法。

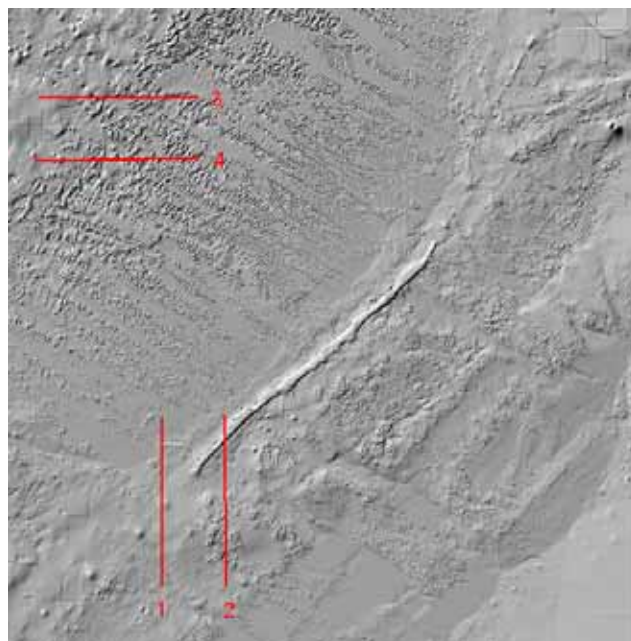


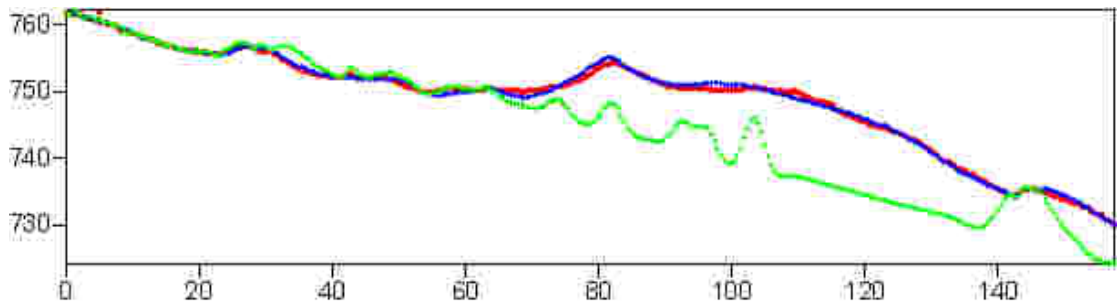
圖 4-9 剖線位置圖

剖線編號

剖線座標位置

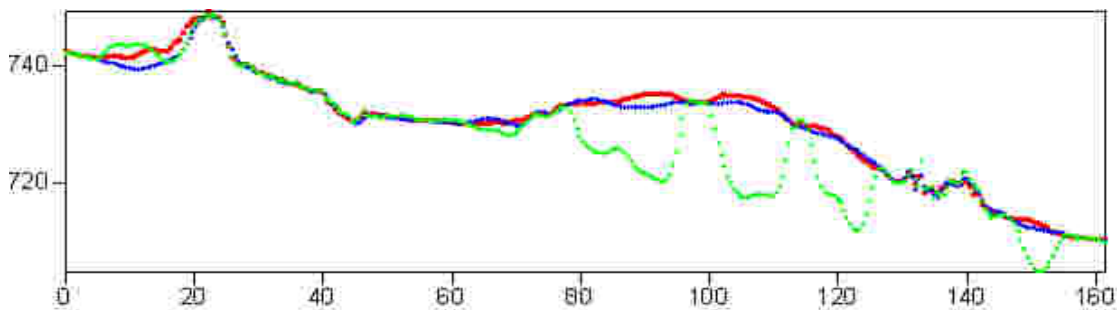
剖線 1

(234051.86, 2650315.88) —> (234052.17, 2650158.45)



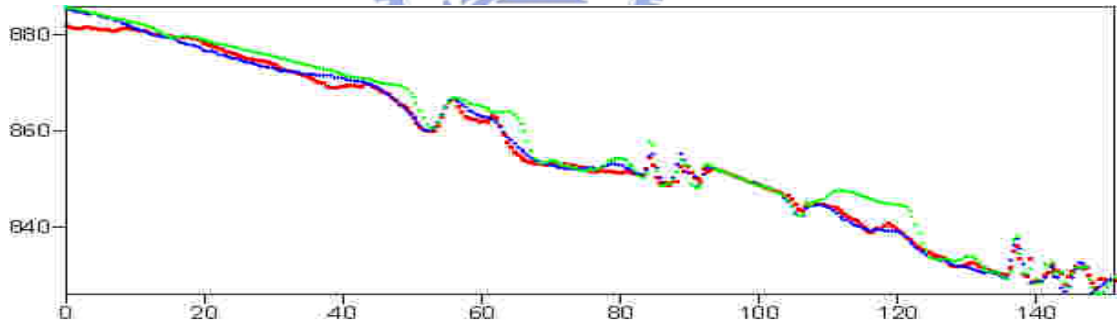
剖線 2

(234110.62, 2650318.35) —> (234112.47, 2650156.91)



剖線 3

(233934.33, 2650615.57) —> (234085.57, 2650616.80)



剖線 4

(233930.93, 2650556.80) —> (234085.88, 2650559.59)

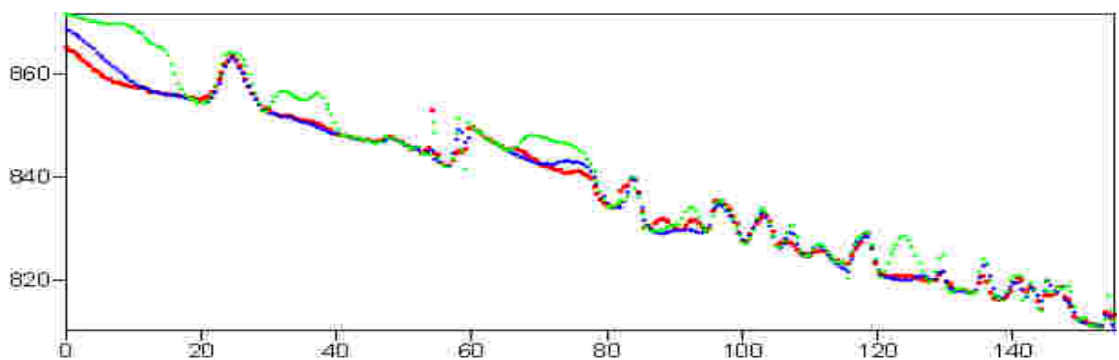


圖 4-10 不同內插方法剖面圖分析

B. 與參考 DEM 資料進行比對

此處以成大衛星中心所提供之九份二山 $5\text{m} \times 5\text{m}$ DEM 資料進行比較 (圖 4-11)，採用座標系統為 TWD97，航空像片拍攝時間為 91 年 11 月；同時將原始資料也以 5m 之取樣間隔進行內插，以利於剖面圖分析，其中，黑色粗點為 5m 之 DEM 資料，其餘顏色表示不同內插法(表示同上)，其剖面位置如圖 4-9。

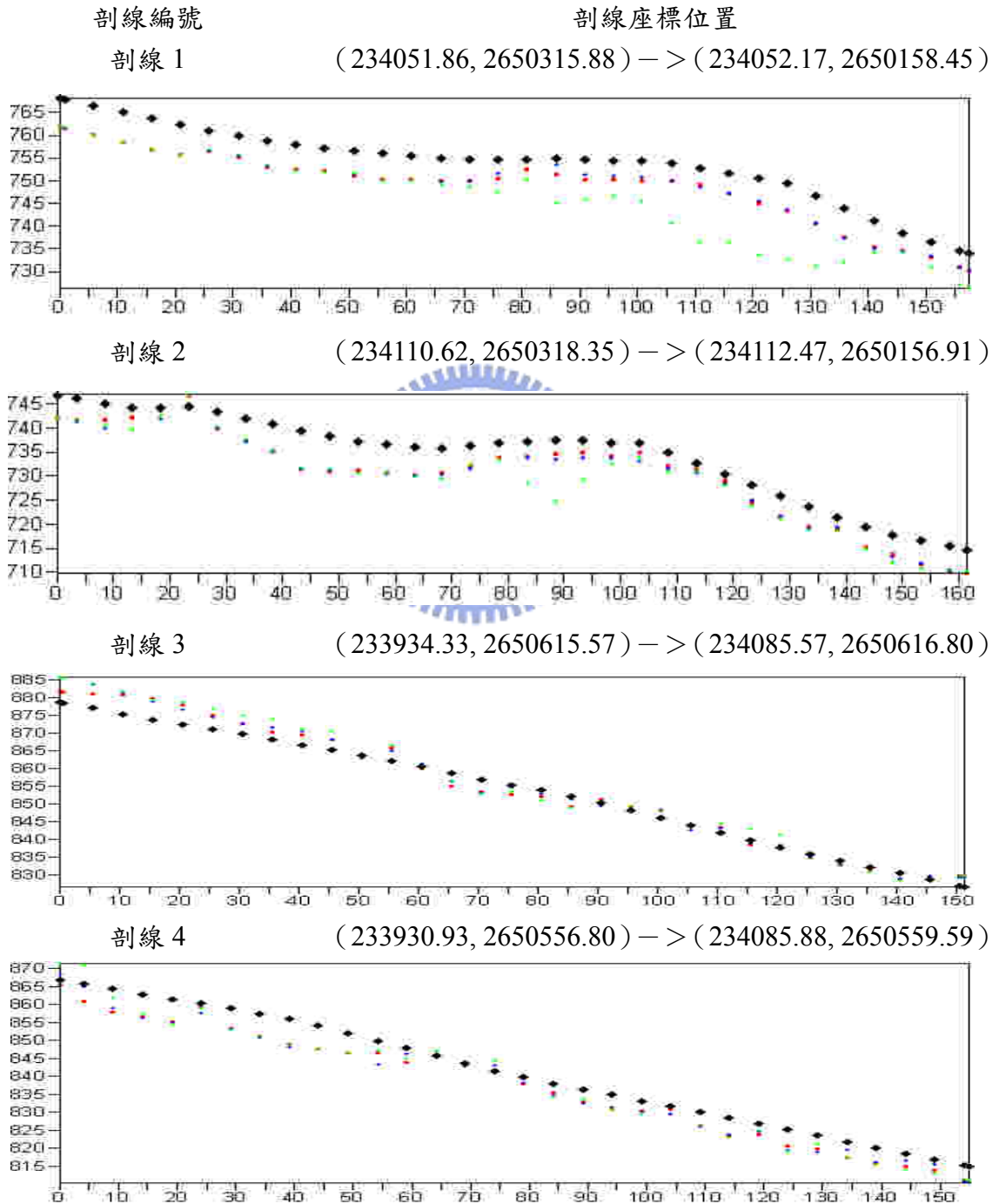


圖 4-11 網格化點雲資料與 5m DEM 資料之剖面圖分析

4-3-4 點雲網格化精度成果分析

1. 由數值暈渲圖分析中可看出，在實驗區之左上角及右下角處（圖 4-6 紅色圈選處），地形起伏有平滑化現象，由圖 4-5 中也可發現，該兩處點雲資料分佈較稀疏，推論此可能為造成網格化後平滑化現象發生之原因。此外，同時也可發現由 IDW 及 Kriging 法所能顯示的地表情形較為細緻，而最小曲率法則較為平滑。
2. 在等高線及絕對高程分析（圖 4-7；表 4-3）中可發現，最小曲率法的最低高程與其他兩種內插法有所不同，遠低於原始點雲資料的最低高程，屬明顯有誤；而 IDW 及 Kriging 內插法與原始點雲資料高程之最大最小值相距不大。
3. 在坡度及坡向分析（圖 4-8；表 4-4）中可發現，最小曲率法的平均坡度比其他兩種內插法高，且坡度、坡向之標準差也高於其餘兩種內插法；而 IDW 與 Kriging 之統計數據也相當接近。
4. 在不同內插法的剖線圖分析（圖 4-10）中可知，最小曲率法的高程變化情形與其他兩種內插法不同；此外，與 5m DEM 資料比較的結果（圖 4-11）可發現，經由 IDW 與 Kriging 內插法所得到的 DEM 資料之地形起伏情形與成大衛星中心所提供之 5m DEM 之地形起伏趨勢近似，但其中存有一偏移量，此差異量可能與兩者所使用之控制點高程基準不同及誤差累積有關。

4-4 影像正射糾正研究

由 4-3 節中可知，透過內插處理，可將原始點雲資料內插為 DEM 資料，而其最大優點在於其網格解析度比起以往航測方法所產製之 DEM 資料細緻，可保留地表面大部分之特徵（見圖 4-6）。透過在 DEM 資料上直接選取特徵點作控制點，並利用有理函數法及 DEM 資料進行影像正射糾正。

4-4-1 有理函數法

Tao & Hu (2000) 提出有理函數法 (Rational Function Model, RFM) 以校正 IKONOS 影像，改善傳統二維轉換未考慮地面高程之缺點，並提出 RFM 具有高精度，但需大量的地面控制點。

RFM 幾何校正模式為利用兩個多項式的比值關係，從地面控制點的三維座標值計算影像上 x 和 y 之座標，其數學形式如下：

$$x = \frac{p_1(X, Y, Z)}{p_2(X, Y, Z)} = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} b_{ijk} X^i Y^j Z^k} \quad (4-1)$$

$$y = \frac{p_3(X, Y, Z)}{p_4(X, Y, Z)} = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} c_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} d_{ijk} X^i Y^j Z^k} \quad (4-2)$$

其中 x, y 為影像座標，X, Y, Z 為地面座標， a_{ijk} , b_{ijk} , c_{ijk} , d_{ijk} 為多項式係數。

4-4-2 正射糾正流程

本研究採用經疊合及座標轉換過後之原始點雲資料，透過不同內插方法以產製 DEM 資料，內插之取樣間隔為 0.5m，其保留了大部分之地表特徵，透過選取特徵點及利用有理函數法對原始航照影像進行正射糾正，以產製正射像片。研究流程如圖 4-12。

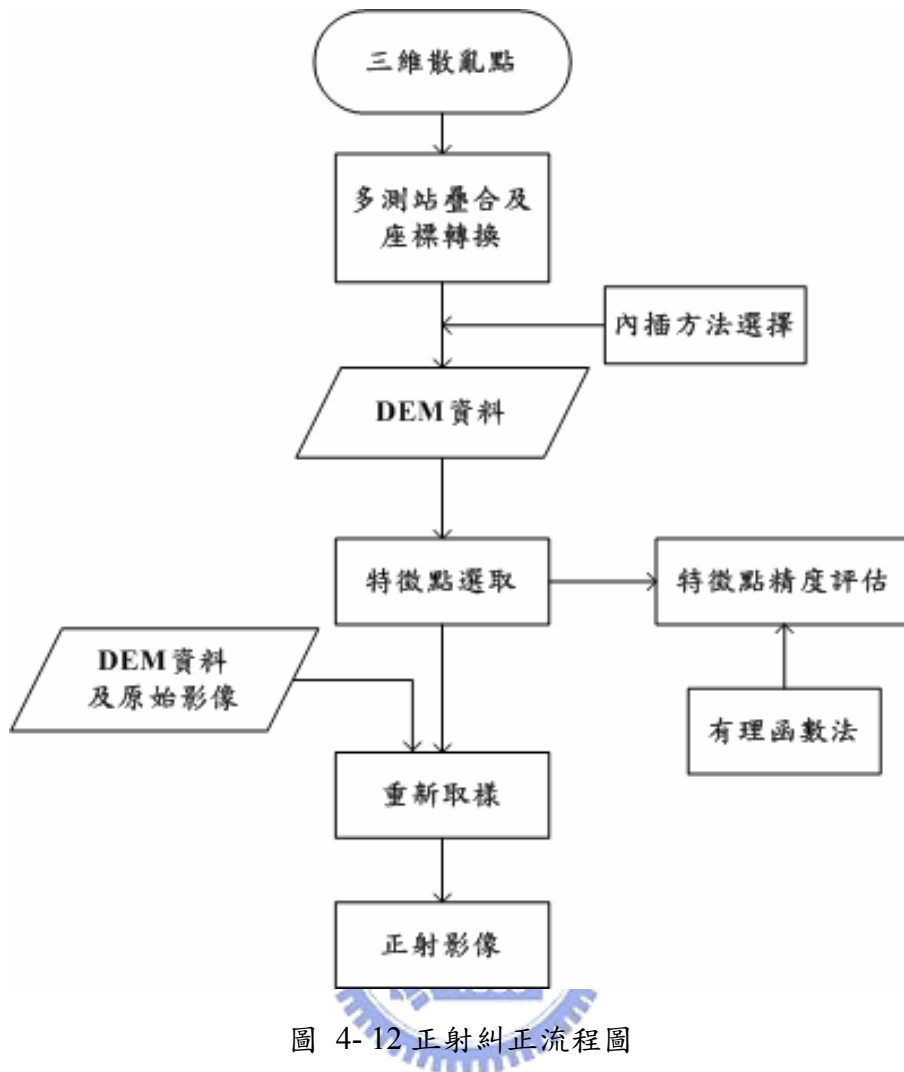


圖 4-12 正射糾正流程圖

4-4-3 測區資料

圖 4-13 為於民國 91 年 11 月所拍攝之航照像片，本研究之實驗區(圖 4-14)剛好落於像底點附近，故可不考慮高差位移之影響。其 DEM 資料如圖 4-15 所示，從圖中可明顯看出實驗區地表之特徵變化情形。



圖 4-13 原始航照影像

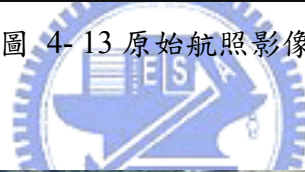


圖 4-14 實驗區航照影像

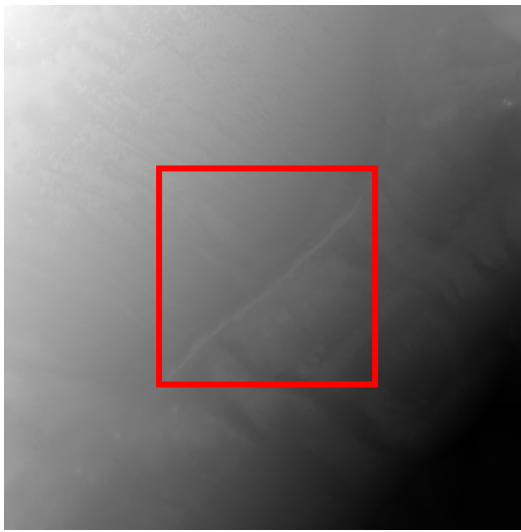
實驗區之 DEM 之資料如圖 4-15 所示，並將局部 DEM 資料放大。

內插方法

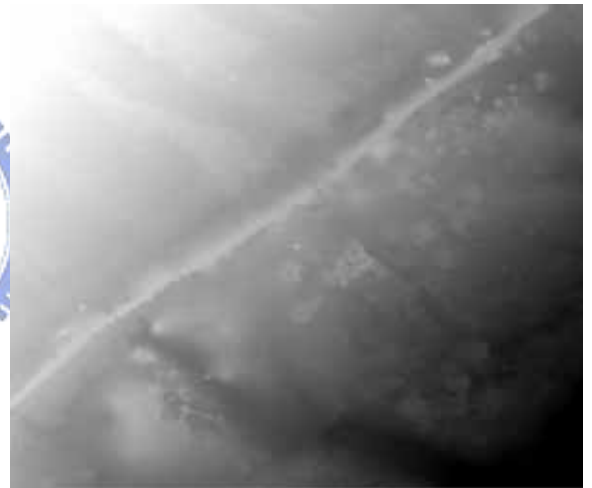
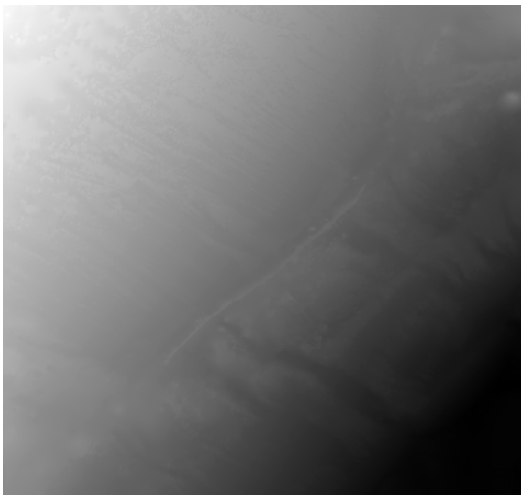
實驗區 DEM 資料

局部 DEM 放大圖

IDW



Kriging



Min
Curvature

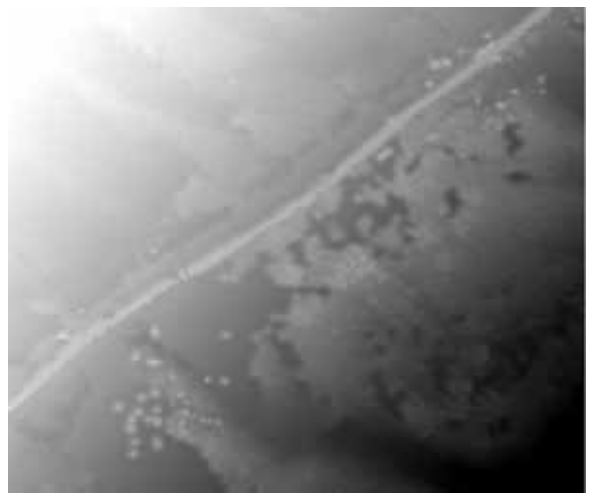
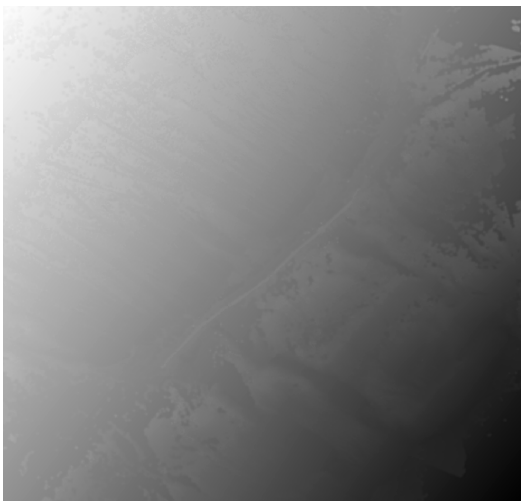


圖 4-15 實驗區 DEM 資料

4-4-4 有理函數法糾正

本研究使用 PCI Geomatica OrthoEngineering V9.0.3 (PCI, 2003) 之有理函數法進行影像正射糾正，分別以三種不同內插方法之 DEM 資料進行特徵點選取及計算，三種情形均各選取九個特徵點作為正射糾正之控制，圖 4-16 為其控制點分佈位置圖，控制點座標及其殘差值分別列於表 4-5 ~ 4-10。

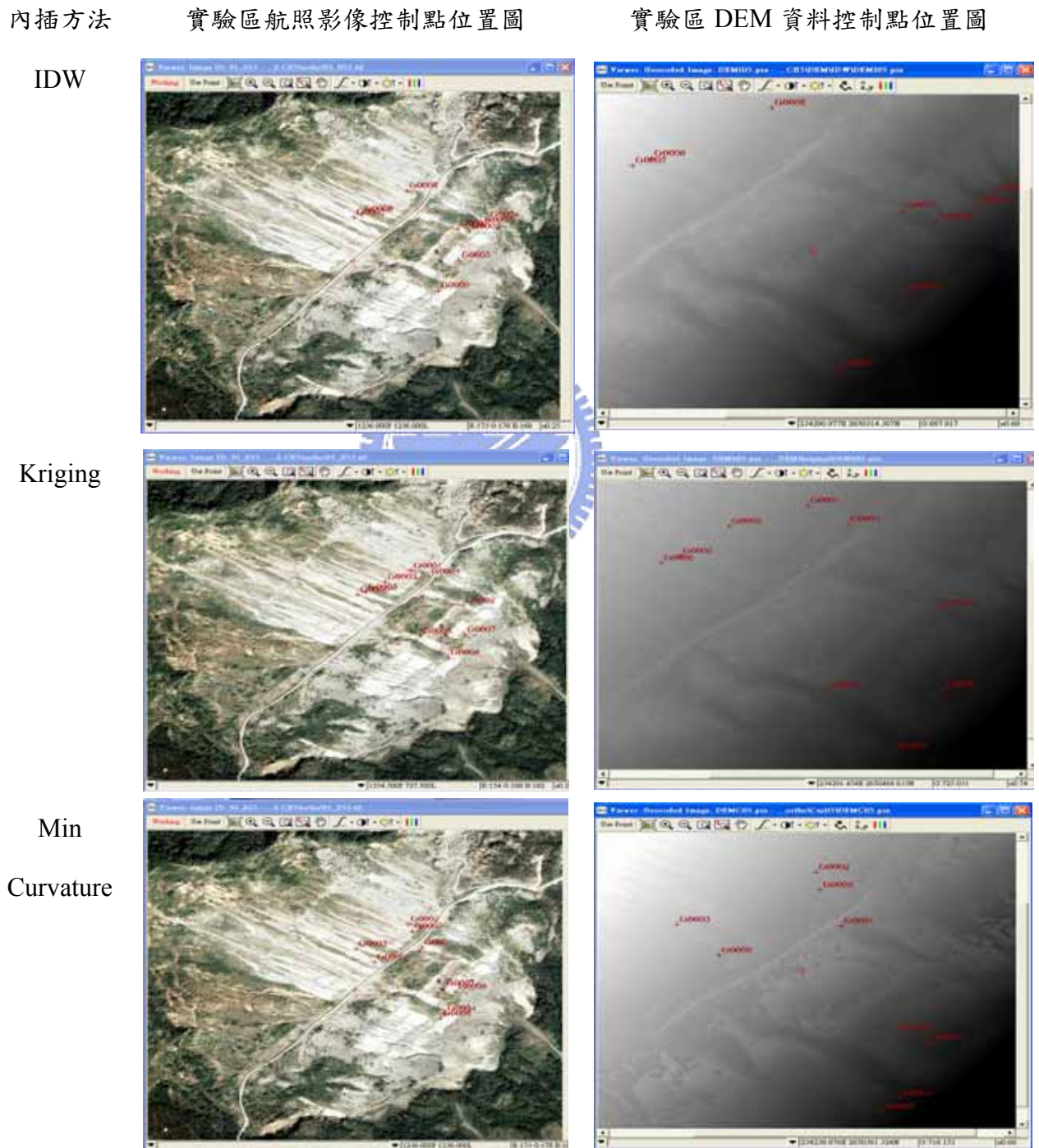


圖 4-16 正射糾正之控制點分佈位置圖

1. IDW 內插法

表 4-5 控制點及影像座標

| 控制點點號 | DEM 座標 (單位：m) | | | 影像座標 | |
|-------|---------------|-------------|---------|-----------|-----------|
| | E 座標 | N 座標 | H 座標 | X 座標 | Y 座標 |
| G0001 | 234382.000 | 2650370.000 | 672.930 | 1859.8367 | 1003.5633 |
| G0002 | 234415.667 | 2650355.333 | 657.480 | 1930.2200 | 1026.2233 |
| G0003 | 234454.333 | 2650376.333 | 654.080 | 2005.4100 | 976.0967 |
| G0004 | 234472.333 | 2650393.833 | 651.630 | 2042.1467 | 935.2400 |
| G0005 | 234385.098 | 2650259.626 | 634.420 | 1869.7933 | 1232.5667 |
| G0006 | 234249.903 | 2650509.770 | 744.900 | 1557.3600 | 723.7467 |
| G0007 | 234109.045 | 2650430.905 | 775.460 | 1242.1800 | 920.1333 |
| G0008 | 234128.392 | 2650440.452 | 769.470 | 1287.5000 | 897.4733 |
| G0009 | 234318.593 | 2650155.528 | 631.460 | 1745.5067 | 1453.6733 |

表 4-6 轉換後影像控制點座標及殘差值 (單位：m)

| 控制點點號 | 轉換後座標 | | 殘差值 | |
|-----------|------------|-------------|--------|--------|
| | E 座標 | N 座標 | E 方向 | N 方向 |
| G0001 | 234381.940 | 2650369.400 | -0.062 | -0.597 |
| G0002 | 234416.420 | 2650355.860 | 0.753 | 0.529 |
| G0003 | 234454.000 | 2650376.320 | -0.335 | -0.009 |
| G0004 | 234472.280 | 2650393.890 | -0.058 | 0.058 |
| G0005 | 234384.920 | 2650259.550 | -0.181 | -0.074 |
| G0006 | 234249.730 | 2650509.800 | -0.169 | 0.027 |
| G0007 | 234108.820 | 2650431.250 | -0.229 | 0.343 |
| G0008 | 234128.730 | 2650440.150 | 0.343 | -0.302 |
| G0009 | 234318.530 | 2650155.550 | -0.064 | 0.025 |
| 控制點 RMS 值 | 0.34 | 0.33 | | |

2. Kriging 內插法

表 4-7 控制點及影像座標

| 控制點點號 | DEM 座標 (單位：m) | | | 影像座標 | |
|-------|---------------|-------------|--------|-----------|-----------|
| | E 座標 | N 座標 | H 座標 | X 座標 | Y 座標 |
| G0001 | 234252.500 | 2650509.750 | 743.66 | 1554.5000 | 727.5000 |
| G0002 | 234380.931 | 2650370.325 | 675.23 | 1861.5000 | 1006.5000 |
| G0003 | 234175.468 | 2650481.772 | 762.70 | 1405.7254 | 814.6817 |
| G0004 | 234291.993 | 2650485.094 | 725.22 | 1657.5000 | 771.5000 |
| G0005 | 234126.917 | 2650441.141 | 770.65 | 1286.9176 | 897.0485 |
| G0006 | 234270.500 | 2650258.000 | 674.93 | 1610.0000 | 1243.0000 |
| G0007 | 234385.009 | 2650259.710 | 634.38 | 1869.0000 | 1233.0000 |
| G0008 | 234337.734 | 2650174.617 | 626.44 | 1775.0000 | 1417.5000 |
| G0009 | 234108.750 | 2650431.500 | 774.59 | 1240.0000 | 920.0000 |

表 4-8 轉換後影像控制點座標及殘差值 (單位：m)

| 控制點點號 | 轉換後座標 | | 殘差值 | |
|-----------|-----------|------------|--------|--------|
| | E 座標 | N 座標 | E 方向 | N 方向 |
| G0001 | 234247.16 | 2650512.32 | -5.339 | 2.574 |
| G0002 | 234383.20 | 2650367.71 | 2.266 | -2.616 |
| G0003 | 234179.85 | 2650478.20 | 4.378 | -3.571 |
| G0004 | 234293.90 | 2650485.45 | 1.907 | 0.352 |
| G0005 | 234127.42 | 2650441.99 | 0.504 | 0.850 |
| G0006 | 234269.77 | 2650258.88 | -0.733 | 0.882 |
| G0007 | 234382.59 | 2650262.32 | -2.416 | 2.609 |
| G0008 | 234338.97 | 2650173.06 | 1.241 | -1.561 |
| G0009 | 234106.94 | 2650432.00 | -1.814 | 0.496 |
| 控制點 RMS 值 | 2.91 | 2.16 | | |

3. 最小曲率內插法

表 4-9 控制點及影像座標

| 控制點點號 | DEM 座標 (單位：m) | | | 影像座標 | |
|-------|---------------|-------------|--------|-----------|-----------|
| | E 座標 | N 座標 | H 座標 | X 座標 | Y 座標 |
| G0001 | 234278.500 | 2650429.000 | 720.73 | 1634.5000 | 909.0000 |
| G0002 | 234252.500 | 2650509.250 | 742.93 | 1551.5000 | 729.5000 |
| G0003 | 234108.597 | 2650431.445 | 775.22 | 1242.0000 | 920.0000 |
| G0004 | 234337.756 | 2650174.594 | 626.34 | 1773.5000 | 1416.5000 |
| G0005 | 234257.237 | 2650482.968 | 734.06 | 1575.0000 | 783.0000 |
| G0006 | 234319.239 | 2650154.841 | 628.72 | 1743.0000 | 1456.0000 |
| G0007 | 234335.646 | 2650270.627 | 655.18 | 1766.0000 | 1223.5000 |
| G0008 | 234366.383 | 2650256.827 | 639.17 | 1833.0000 | 1245.0000 |
| G0009 | 234152.257 | 2650385.879 | 744.98 | 1353.0000 | 1022.0000 |

表 4-10 轉換後影像控制點座標及殘差值 (單位：m)

| 控制點點號 | 轉換後座標 | | 殘差值 | |
|-----------|-----------|------------|--------|--------|
| | E 座標 | N 座標 | E 方向 | N 方向 |
| G0001 | 234279.77 | 2650427.58 | 1.269 | -1.417 |
| G0002 | 234250.92 | 2650508.33 | -1.577 | -0.918 |
| G0003 | 234109.40 | 2650431.56 | 0.807 | 0.115 |
| G0004 | 234336.88 | 2650173.03 | -0.872 | -1.561 |
| G0005 | 234258.59 | 2650484.84 | 1.348 | 1.875 |
| G0006 | 234320.81 | 2650155.61 | 1.570 | 0.765 |
| G0007 | 234334.26 | 2650272.06 | -1.381 | 1.436 |
| G0008 | 234366.59 | 2650256.71 | 0.210 | -0.120 |
| G0009 | 234150.88 | 2650385.70 | -1.372 | -0.184 |
| 控制點 RMS 值 | 1.31 | 1.20 | | |

圖 4-17 列出利用不同 DEM 資料所產製之正射像片。

內插方法

正射像片

IDW



Kriging



Min
Curvature



圖 4-17 正射像片

4-4-5 視覺化成果

以 4-4-4 中所產製之正射像片，與其 DEM 資料進行影像套疊，藉以視覺化分析其三維透視圖是否合理，成果如圖 4-18 所示。

內插方法

三維透視圖

IDW



Kriging



Min
Curvature



圖 4-18 三維透視圖

4-5 傾斜面數值影像數貼

4-5-1 影像對位

以竹東中豐路崩塌地為實驗區，在掃描作業的同時，以數位像機拍攝現地實際影像，進行影像數貼之實驗。

由於實驗區在 PCI Geomatica Focus V9.0.3 (PCI, 2003) 中所讀取之 DEM 資料如圖 4-19 所示，其特徵點並不明顯，故將 DEM 資料改以 Arcview 8.0(ESRI, 2002) 處理，進行影像對位之作業。

先將該區的原始點雲匯入 Arcview 8.0 (ESRI, 2002) 中組成不規則三角網 (TIN) 如圖 4-20 所示，現地數值影像分別為圖 4-21、4-22。

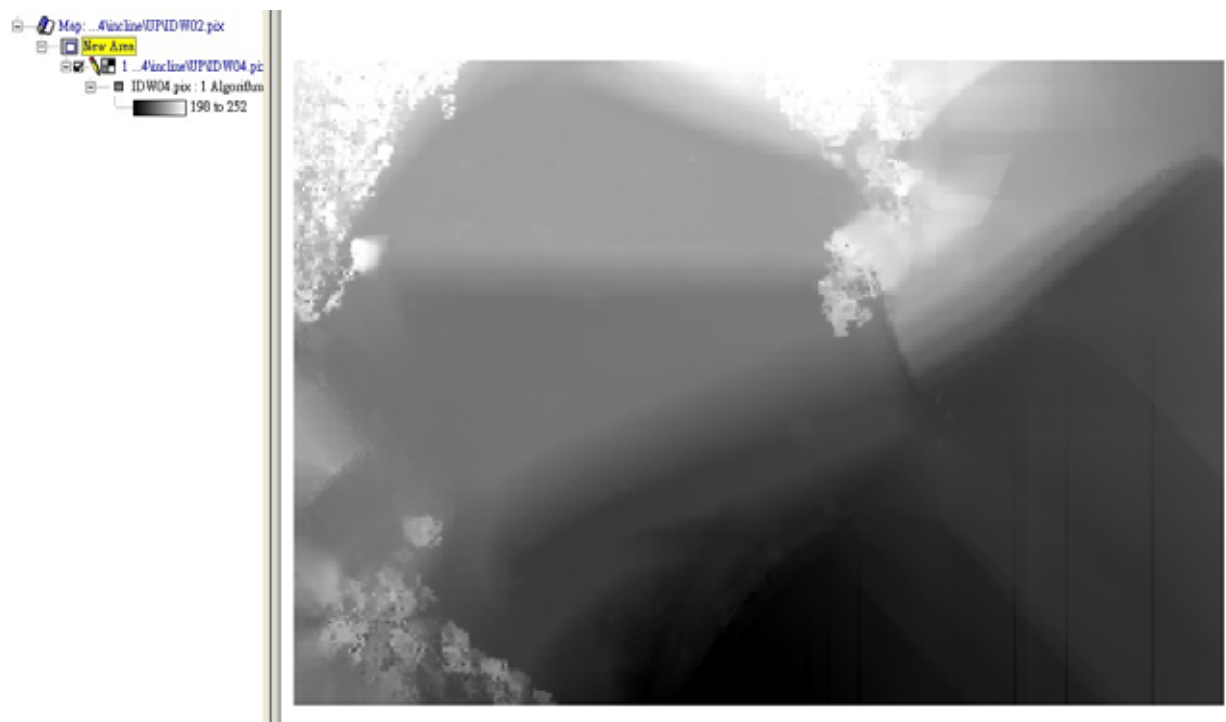


圖 4-19 實驗區 DEM 資料

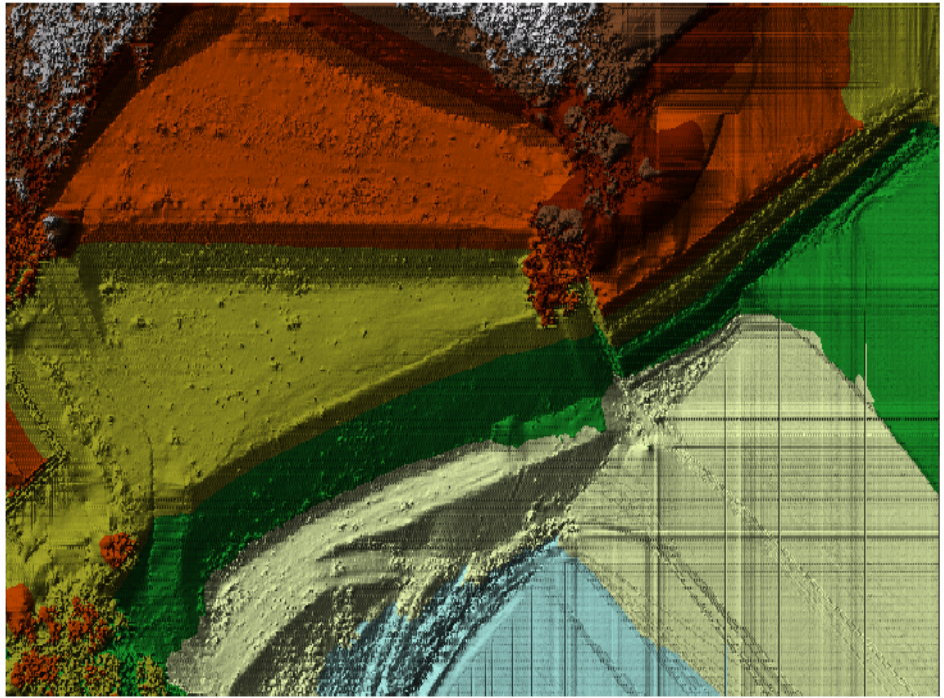
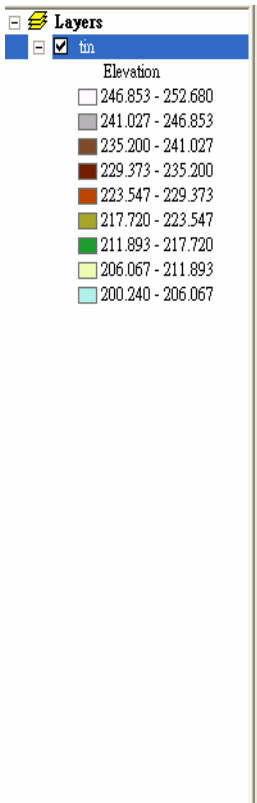


圖 4-20 不規則三角網



圖 4-21 竹東中豐路現地照片 1



圖 4-22 竹東中豐路現地照片 2

以 Arcview 中所提供之影像糾正功能，其原理為利用仿射轉換（Affine Coordinate Transformation）將影像與不規則三角網進行對位，先在影像選取控制點，再於不規則三角網上之相對應位置選取相同點，至少需三組控制點方能完成影像對位工作，圖 4-23、4-24 分別為現地照片 1、2 之控制點選取圖，表 4-11、4-12 為其對位誤差表。

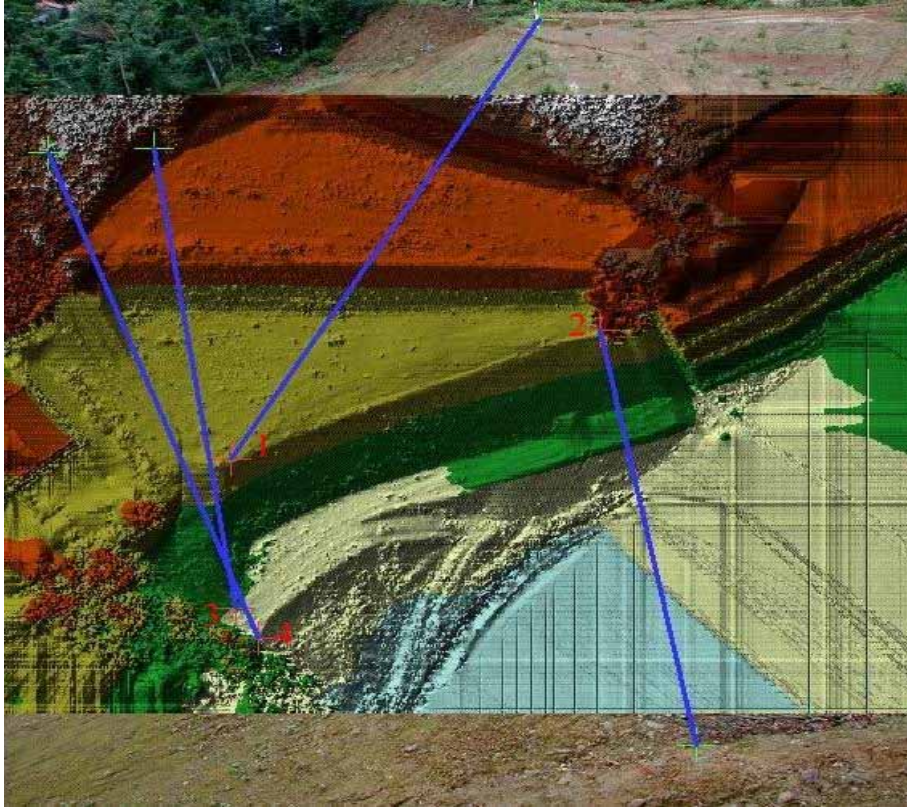


圖 4-23 現地照片 1 之控制點選取圖

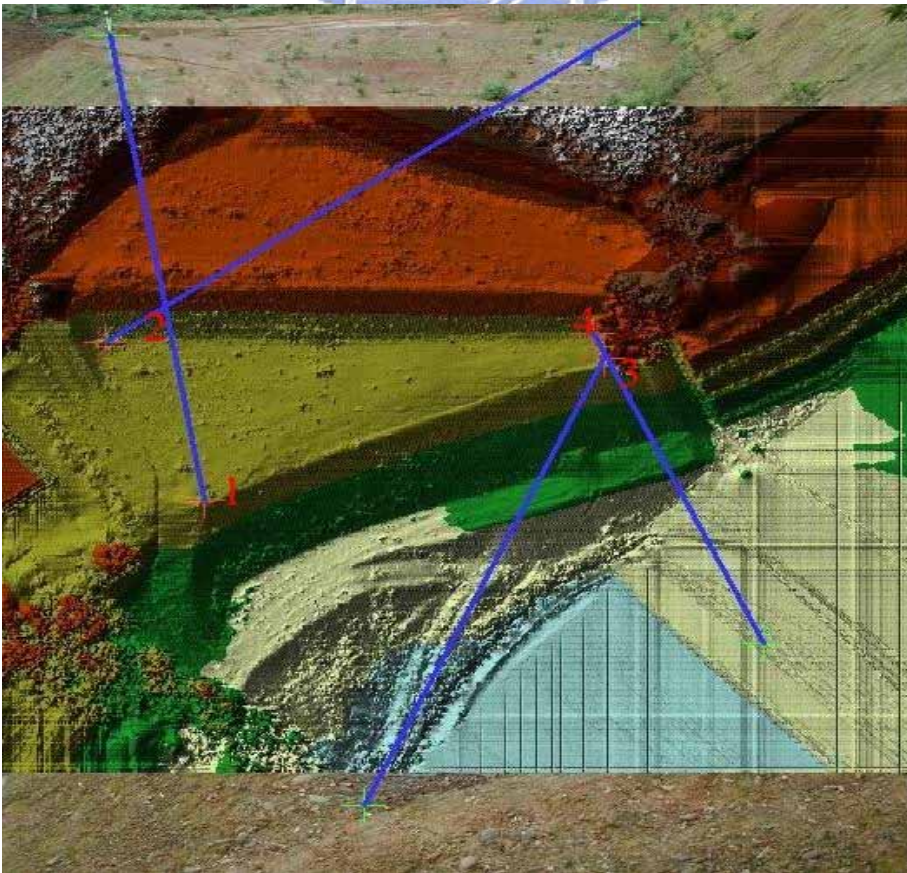


圖 4-24 現地照片 2 之控制點選取圖

表 4-11 照片 1 之對位誤差

| Link | TIN 座標 (單位：m) | | 影像座標 | | 殘差值 (單位：m) |
|-------|---------------|------------|------------|-------------|---------------|
| | E 座標 | N 座標 | X 座標 | Y 座標 | |
| G0001 | 257448.69 | 2734881.21 | 2582336.17 | -108681.34 | 0.63 |
| G0002 | 257499.23 | 2734902.08 | 3343105.57 | -4261861.21 | 0.12 |
| G0003 | 257449.35 | 2734857.04 | 719227.449 | -846161.88 | 2.57 |
| G0004 | 257452.42 | 2734852.21 | 206872.550 | -869450.74 | 2.06 |
| RMS | | | | | 1.68 |

表 4-12 照片 2 之對位誤差

| Link | TIN 座標 (單位：m) | | 影像座標 | | 殘差值 (單位：m) |
|-------|---------------|------------|------------|-------------|---------------|
| | E 座標 | N 座標 | X 座標 | Y 座標 | |
| G0001 | 257447.81 | 2734880.99 | 483900.25 | -163396.2 | 1.77 |
| G0002 | 257435.29 | 2734904.72 | 2876614.88 | -92559.26 | 1.65 |
| G0003 | 257498.35 | 2734902.30 | 1633032.94 | -4311292.95 | 11.30 |
| G0004 | 257497.03 | 2734906.04 | 3443310.45 | -3437637.28 | 11.18 |
| RMS | | | | | 8.04 |

4-5-2 影像敷貼成果

利用 4-5-1 中影像對位之成果，進行影像敷貼，其成果如圖 4-25、4-26。



圖 4-25 照片 1 敷貼圖



圖 4-26 照片 2 敷貼圖

4-5-3 成果小結

1. 由圖 4-19、4-20 之比較可看出，由於此實驗區之高程起伏並不大，故由 DEM 資料中選取特徵點做為控制點，其困難度較高；若改由不規則三角網中選取控制點，其特徵處較明顯，選點作業較容易。
2. 控制點的選取會影響影像數貼之成果，故在選取時應注意均勻分佈之原則，且至少需有四個控制點以供應標轉換，並提供多餘觀測之用。
3. 透過不規則三角網可看出地形轉折處及崩塌地小徑交叉口等明顯之地表特徵，故可利用這些特徵點作為控制點以進行影像對位之工作。

4-6 研究成果總結

1. 由 4-3-4 之成果分析中可得知，IDW 與 Kriging 之內插成果與原始點雲資料較為接近，且與 5mDEM 資料比較後，其地勢起伏也較為近似。
2. 在圖 4-17 中可看出，利用 IDW 與 Kriging 內插法所得之 DEM 所產製的正射像片較為合理（見圖 4-14 及圖 4-17），其產業道路走向與原始影像近似。
3. 由表 4-5~表 4-10 及圖 4-17 之成果發現，IDW 法之控制點 RMS 值最小，最小曲率法次之，Kriging 法最大；但由正射像片中可發現，IDW 法最為合理，最小曲率法明顯有誤。故 RMS 值大小只與特徵點選取的位置有關，而特徵點之選取因人為主觀意識而有所不同，故須先對不同內插法所產製之 DEM 資料進行精度品質評估，方能進行影像正射糾正，產製之正射像片才合理。
4. 由三維透視圖中（圖 4-18）也可看出最小曲率法之透視圖明顯有平滑化之現象，而 kriging 法之透視圖在道路中段部分明顯有變形的現象，應與其特徵點 RMS 大小有關，在本次實驗中 IDW 內插法所得到之成果較佳，但無法推論 IDW 內插法優於 kriging 法。
5. 本研究採取直接在 DEM 資料上直接選取特徵點作為控制，以進行影像正射糾正，但並無檢核點可供精度檢核之用，若採用五千分之一基本圖進行控制點選取，其控制點精度不知能否符合，且目前仍無精細之 DEM 資料

可供進行精度檢核，仍待後續研究。

