

# 利用三維網格模型繪製 一千分之一地形圖之精度評估

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 110 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見



# 利用三維網格模型繪製 一千分之一地形圖之精度評估

研究人員：許 展 祥  
                  林 鷺 均  
                  王 敏 雄

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 110 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見



MINISTRY OF THE INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

Evaluation of the accuracy of drawing 1/1,000  
topographic map using a three-dimensional mesh model

BY

Hsu, Chan Hsiang

Lin, Lu Chun

Wang, Min Shiung

12 31, 2021



## 目次

目次.....	I
表次.....	IV
圖次.....	V
摘 要 .....	IX
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究緣起與背景 .....	1
壹、 緣起 .....	1
貳、 背景現況 .....	2
第二節 研究動機及目的 .....	4
壹、 研究動機 .....	4
貳、 研究目的 .....	4
第二章 研究方法與流程 .....	5
第一節 研究方法 .....	5
壹、 研究流程擬定 .....	5
貳、 實驗設計 .....	5
參、 研究資料蒐集 .....	6
肆、 資料分析策略 .....	6
伍、 撰寫研究報告 .....	7
第二節 預期成果 .....	7

第三章 文獻回顧 .....	8
壹、 文獻蒐集情形 .....	8
貳、 文獻總結 .....	10
第四章 研究內容與成果 .....	11
第一節 實驗設計 .....	11
壹、 測試區域及資料特性概述 .....	11
貳、 分析比對方式 .....	22
第二節 資料處理 .....	27
壹、 資料處理環境 .....	27
貳、 影像方位重建 .....	28
參、 三維網格模型質量問題 .....	46
肆、 特徵點量測問題 .....	62
第三節 實驗結果 .....	65
壹、 測試 1—量測型與非量測型像機 .....	67
貳、 測試 2—GSD 差異影響 .....	68
參、 測試 3—傾斜攝影與非傾斜攝影 .....	70
肆、 測試 4—重疊率差異影響 .....	71
伍、 測試 5—模型銳化影響 .....	74
陸、 小結 .....	75
第五章 結論與建議 .....	78

第一節 結論 .....	78
第二節 建議 .....	79
致謝.....	80
參考書目 .....	80

## 表次

表 4-1 南崗 UAS 小像幅像機航拍參數.....	13
表 4-2 南崗 AOS 中像幅傾斜像機航拍參數.....	15
表 4-3 南崗 UltraCam 大像幅像機航拍參數.....	17
表 4-4 苗栗市測試區航拍參數.....	19
表 4-5 義竹測試區航拍參數.....	21
表 4-6 空三計算及建模軟硬體設備.....	27
表 4-7 立體製圖軟硬體設備.....	27
表 4-8 實驗結果彙整表.....	66
表 4-9 測試 1 實驗結果彙整表.....	67
表 4-10 測試 2 實驗結果彙整表.....	69
表 4-11 測試 3 實驗結果彙整表.....	71
表 4-12 測試 4 高重疊率實驗結果彙整表.....	73
表 4-13 測試 4 低重疊率實驗結果彙整表.....	73
表 4-14 測試 5 實驗結果彙整表.....	74

## 圖次

圖 1-1 各都市計畫區辦理範圍(不含雙北地區，110年9月統計)..3	
圖 2-1 研究流程圖.....5	
圖 4-1 南崗校正場範圍及校正標分布情形.....12	
圖 4-2 南崗校正場 3D 傾斜視角.....12	
圖 4-3 南崗 UAS 小像幅像片拍攝中心.....14	
圖 4-4 南崗 AOS 中像幅傾斜像機像片拍攝中心.....16	
圖 4-5 南崗 UltraCam 大像幅影像像片拍攝中心.....17	
圖 4-6 苗栗市測試區範圍.....18	
圖 4-7 苗栗市測試區 3D 傾斜視角.....18	
圖 4-8 苗栗市測試區影像像片拍攝中心.....19	
圖 4-9 義竹測試區範圍.....20	
圖 4-10 義竹測試區 3D 傾斜視角.....20	
圖 4-11 義竹測試區影像像片拍攝中心.....21	
圖 4-12 Geospatial Modelling Environment 工具介面.....23	
圖 4-13 南崗校正場隨機種子分布圖.....24	
圖 4-14 苗栗市區隨機種子分布圖.....25	
圖 4-15 義竹重測區隨機種子分布圖.....26	
圖 4-16 資料處理流程.....28	
圖 4-17 影像匯入狀態.....30	

圖 4-18 依照 EXIF 資訊自動分類影像.....	30
圖 4-19 讀取像機參數檔.....	31
圖 4-20 自動圖像質量評估.....	32
圖 4-21 影像對齊對話窗及參數設定.....	32
圖 4-22 影像對齊及關鍵連結點.....	33
圖 4-23 像機對齊最佳化.....	33
圖 4-24 建立密點雲對話窗及參數設定.....	34
圖 4-25 自動點雲分類對話窗及參數設定.....	35
圖 4-26 自動點雲分類成果.....	35
圖 4-27 建立 mesh 對話窗及參數設定.....	36
圖 4-28 mesh 模型成果.....	36
圖 4-29 產生貼圖紋理對話窗及參數設定.....	37
圖 4-30 mesh 模型貼附真實影像紋理之成果.....	37
圖 4-31 mesh 模型成果.....	38
圖 4-32 tiled 模型成果.....	39
圖 4-33 建立模型圖磚對話窗及參數設定.....	39
圖 4-34 模型圖磚成果（網格顯示模式）.....	40
圖 4-35 模型圖磚成果（貼附真實影像紋理）.....	40
圖 4-36 建立正射影像對話窗及參數設定.....	41
圖 4-37 真實正射影像成果.....	42

圖 4-38 像機參數匯出對話窗.....	43
圖 4-39 外方位匯出功能對話窗.....	43
圖 4-40 解算後外方位資料.....	44
圖 4-41 於 Agisoft Viewer 中開啟 mesh 模型.....	45
圖 4-42 正射影像輸出及建立分區索引.....	46
圖 4-43 初步方位重建結果及其誤差量.....	47
圖 4-44 人工構造物的邊緣圓角問題.....	47
圖 4-45 USGS 工作流程圖 (Over, et al., 2021).....	48
圖 4-46 Reconstruction Uncertainty 篩選步驟 (Over, et al., 2021)...	50
圖 4-47 Projection accuracy 篩選步驟 (Over, et al., 2021).....	51
圖 4-48 檢視 Reprojection error 的 RMS.....	53
圖 4-49 Reprojection error 篩選步驟 (Over, et al., 2021).....	53
圖 4-50 建物圓角現象.....	54
圖 4-51 建物邊緣三角網構成示意圖.....	55
圖 4-52 密匹配點雲成果.....	55
圖 4-53 網格狀態顯示.....	56
圖 4-54 填滿網格 (陰影渲染)顯示.....	57
圖 4-55 真實紋理貼圖顯示.....	58
圖 4-56 產生 mesh 模型選擇 extrapolated 選項.....	59
圖 4-57 外推模型成果.....	59

圖 4-58 模型平滑化設定.....	60
圖 4-59 模型平滑化成果.....	61
圖 4-60 模型簡化設定.....	61
圖 4-61 模型簡化成果.....	62
圖 4-62 三維模型量測遭遇問題及解決方式.....	63
圖 4-63 真實正射影像數化無法弭補的問題.....	64
圖 4-64 傾斜與非傾斜攝影建模比較（國家高速網路與計算中心提供）.....	70

## 摘要

關鍵詞：三維網格模型、一千分之一地形圖、正射影像

### 一、研究背景與目的

一千分之一地形圖是各縣市政府用於都市計畫之主要資料來源，其精度需求、內容物種類、更新頻率，均較目前國內五千分之一基本圖之要求更高，惟國內傳統立體製圖人員逐漸萎縮，導致製圖產能不足，期能透過低技術性門檻的 mesh 數化製圖方式，快速引進新興製圖人才；惟該製圖方式尚無相關精度驗證參考，爰透過本研究驗證該測製方法是否滿足一千分之一地形圖製圖精度所需。

### 二、研究方法及過程

本研究擬定流程主要依照文獻回顧、蒐集各類測試影像、產製 mesh 模型及真實正射影像、地物特徵抽樣量測、精度評估及撰寫研究報告書等順序進行。

文獻回顧蒐集航空測量、三維模型建置及其精度分析等領域相關之文獻。根據分析參考文獻之內容歸納影響因子如：像機類型（大、中、小像幅穩定度不同）、航拍的地面像素解析度（Ground sample distance；GSD）、航線規劃方式（是否含傾斜攝影、影像重疊率）等。按照最可能造成影響的項目，協調可能辦理或取得的資料提供方，擬定最終可行的實驗設計方案。以傳統立製成果為比對基準，分別比對真實正射影像數化及 mesh 模型數化之測繪成果精度，驗證是否符合一千分之一地形圖製圖精度要求。

### 三、重要發現

本研究具有下列重要發現：

- (一)目前三維網格模型數化製圖方式，其精度約在數十公分等級（0.243 ~ 0.756 m），合格比例約在 5 成，無法符合一千分之一地形圖製圖精度要求。
- (二)真實正射影像數化製圖方式，其精度約在 20 cm 以內（0.160 ~ 0.196 m），合格比例約在 8 成，雖符合一千分之一地形圖製圖精度要求，但其可信度偏低，運用時需搭配專業經驗判斷挑選適用區域。
- (三)量測型或非量測型像機、地面像素解析度、拍攝重疊率對 mesh 模型精度無顯著影響。
- (四)低重疊率影像對真實正射影像數化成果具有些微的助益。
- (五)模型銳化處理對於提升模型精度及視覺感受具有助益。

### 四、主要建議事項

#### 建議一

**建議可利用真實正射影像作為地形圖輔助製圖參考：立即可行建議**

主辦機關：內政部國土測繪中心

真實正射影像數化方式，可符合一千分之一地形圖製圖精度要求，雖可信度偏低，但可用於輔助製圖參考。

#### 建議二

**目前不建議將三維網格模型製圖方式納入測製規範：立即可行建議**

主辦機關：內政部國土測繪中心

本研究顯示真實正射影像數化方式，可符合一千分之一地

形圖製圖精度要求，惟可信度偏低，使用時仍須搭配專業經驗判斷挑選適用區域，但用於製圖輔助仍是非常適合且符合精度的參考資料。

### 建議三

#### 可嘗試研究點雲萃取技術輔助繪製地形圖：中長期建議

主辦機關：內政部國土測繪中心

建議後續可研究利用密匹配點雲成果萃取點、線、面特徵後輔助人工製圖。該方法是介於傳統立製與 mesh 模型數化的折衷方法，相較於 mesh 模型因建模誤差造成精度不佳，其電腦自動建模的部分改由人工方式來完成以降低此誤差；而利用點雲成果萃取點、線、面特徵，則是改善傳統立製從頭到尾觀看立體模型繪製特徵的方式，利用電腦萃取特徵降低部分人工作業量，後續向量修整部分可於普通電腦繪圖軟體中作業，無須使用而昂貴且操作技術性高的立體繪圖工作站，除對增進製圖產能有所助益之外亦能維持製圖品質，可於後續研究中進行嘗試。

## ABSTRACT

Keywords: 3D mesh model, 1/1,000 topographic map, Ortho-image

The purpose of this project is to verify whether the method of drawing map using a three-dimensional mesh model satisfies the accuracy of 1/1,000 topographic map.

This study summarized the influencing factors based on the content of the analysis reference documents, such as: camera type (large, medium, and small frame camera that stability are different), ground sample distance (GSD) of aerial photography, fly-planning (such like oblique photogrammetry, image overlap rate), etc. According to the most likely to cause impact, coordinate the data providers that may be processed or obtained, and draw up the final feasible experimental design plan. Using traditional photogrammetry results as a control group, the accuracy of the mapping results of the true-ortho images and mesh model was compared to verify whether it meets the requirements of 1/1,000 topographic mapping accuracy.

In conclusion, the method of drawing map using a three-dimensional mesh model cannot meet the accuracy requirements of 1/1,000 topographic maps. Although the digital mapping method of true-ortho images meets the accuracy requirements of 1/1,000 topographic mapping, its reliability is low, and it needs to be used with professional experience to judge and select the applicable area.

This project comes to the immediate and long-term strategies.

For immediate strategies:

- 1.The true-ortho images mapping method can be used as a reference for topographic map auxiliary mapping, but it needs rich experience.
- 2.In terms of technology at this stage, the 3D mesh model mapping method does not meet the accuracy of 1/1,000 topographic mapping.

For long-term strategies:

Try to study point cloud extraction to assist in topographic mapping.

# 第一章 緒論

## 第一節 研究緣起與背景

### 壹、緣起

一千分之一地形圖是各縣市政府用於都市計畫之主要資料來源，其精度需求、內容物種類、更新頻率，均較目前國內五千分之一基本圖之要求更高。面對如此高技術性、高勞力密集之大量需求，勢必對國內測繪能量產生衝擊，而目前國內地形圖測繪領域面臨兩種趨勢，其一國內傳統立製人員逐漸萎縮，培養新興人才緩不濟急、投資成本高、訓練時間長且維持人員持續從業不易，逐漸造成國內製圖能量流失；其二影像式建模(Image-Based Modeling, IBM)技術發展迅速、日漸成熟，自動化建立之三維網格模型(以下簡稱 mesh 模型)可取代傳統經由照片像對，透過影像工作站呈現的立體模型，且 mesh 模型的「直覺性」與「操作性」更優於傳統的立體呈現方式，降低從事立體製圖的人員技術與經驗需求門檻，對於測繪業者極具吸引力。現下已有多款國外商用軟體專為 mesh 模型從事立體製圖而設計，足見此法可能躍於未來之趨勢。

但是，使用 mesh 模型直接立製繪圖雖然簡易、直接且可行，惟其測製成果之精度評估尚未有足夠之研究對其著墨。相較於傳統立製成果之精度，除了人工繪圖所造成的量測誤差外，其餘主要誤差來自於空中三角平差階段，即其精度取決於影像外方位重建成果的優劣；而利用 mesh 模型直接立製的精度，除人工繪圖誤差及外方位重建誤差影響外，尚多了密點雲匹配及建模程序(雜點濾除、表面判斷與建立、特徵平滑策略、……等步驟)所產生的誤差。其最終所能達到的精度是否可達到一千分之一地形圖繪製所需，抑或如何增進改善 mesh 模型之品質以符合製圖需求，為本研究探討之目的。

## 貳、背景現況

### 一、國內立體製圖能量分析

依據本中心 110 年 9 月統計全臺除雙北地區外之一千分之一地形圖涵蓋面積合計約為 32 萬 7,908 公頃（如圖 1-1），以該圖種設定更新頻率為 5 年計算，每年平均約需更新 6 萬 5,582 公頃（約 1,366 幅，每幅 48 公頃）。

經調查國內辦理一千分之一地形圖測製之廠商，其立體製圖所使用之影像工作站每家數量約在 8 至 20 部左右，全部廠商全力投入年產量約 1,000 幅左右，距離未來規劃每年一千分之一地形圖待更新數量尚嫌不足，更遑論國內立製測圖能量尚須辦理其餘如五千分之一地形圖、通用電子地圖等圖資更新工作，可見欲達成各類圖資更新時效，國內立製測圖能量可說是捉襟見肘。因此，為滿足各類圖資更新時效，實有必要研究採行新的三維製圖方法來增加國內產圖能量。

欲增加產能須由人員、軟體、硬體等面向進行改善。其中人員的培訓是最重要的一環，因為製圖業務屬於勞力密集事業，且從事人員需要高度專業技術及經驗，培養不易且流動率高。因此，改善此狀況的方向可以從降低技術需求性、提高從業誘因等方面進行。而軟、硬體部分，因為使用立體製圖的方式測繪圖資，其設備單價高且操作人員的技術條件及需求也高，所以欲改善軟硬體時，須先考慮改變測圖技術或方式，並尋求所搭配的軟硬體設備，於綜合考量後，分析是否可確實增加製圖產能。

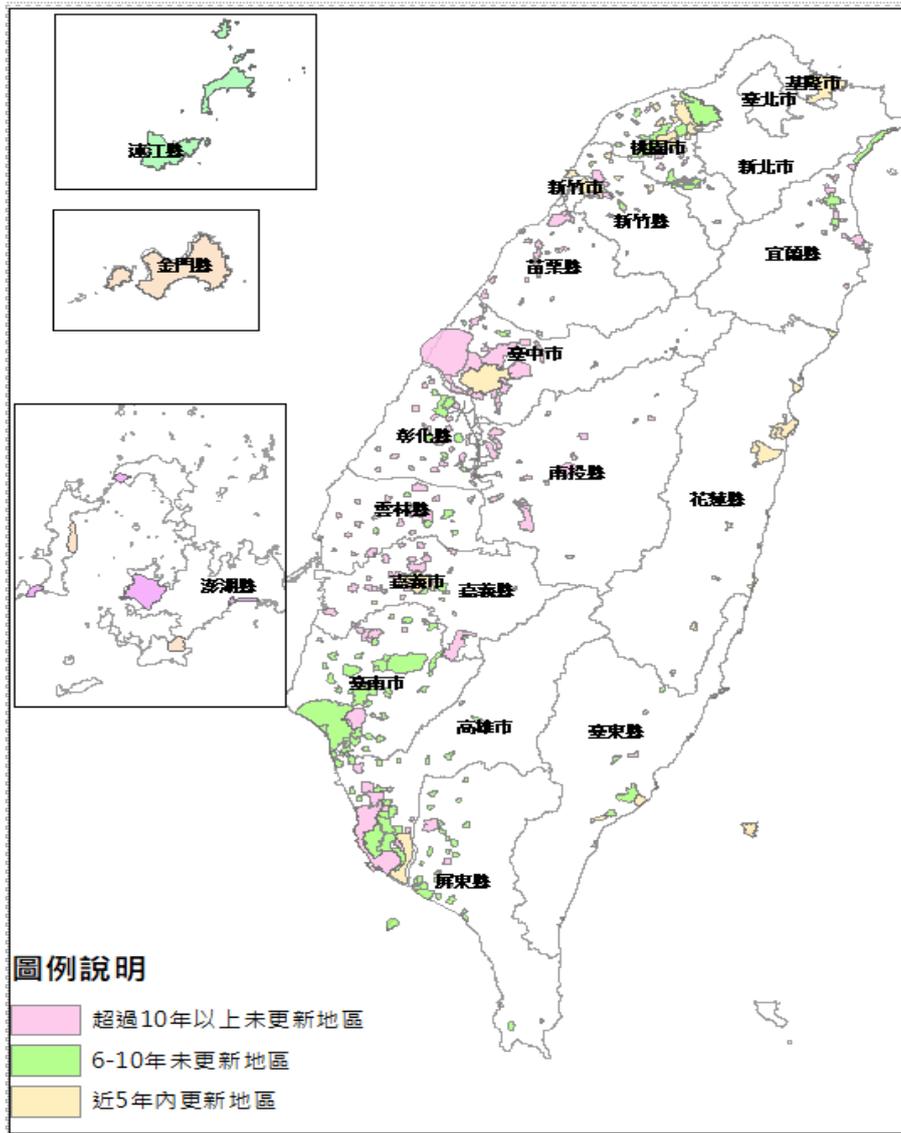


圖 1-1 各都市計畫區辦理範圍(不含雙北地區，110年9月統計)

## 二、趨勢

鑒於前述國內立體製圖能量不足，國內測繪業界逐漸提出改變傳統航測立體製圖方式的聲浪，希望能經由三維網格模型（mesh 模型）或真實正射影像（True-Ortho image）繪製平面地形圖，透過直覺性繪圖方式降低製圖人員入門技術門檻，進而引進大量新進測繪人員擴大生產線提升整體產能。

另外測繪軟體的發展方面，隨著無人飛行系統航拍技術的進展及三維建模軟體的普及，隨著專業使用者的跨入，由原本僅要求模型可看性的需求，演變成要求精準度的需求，也促進了許多原本架構於三維模型

顯示的軟體也擴增了對於繪製需求的功能，例如：EPS 3DSurvey、SV360 智能三維測圖系統、Bentley Descartes CONNECT Edition、Skyline CityBuilder 等軟體，目前均已具備可直接於 mesh 模型上繪製向量圖徵的功能，即展示了直接產製地形圖的可能性。

綜上，以快速擴增生產線提升產能的角度而言，調整製圖方式以降低製圖人員的技術操作要求，並搭配新興製圖軟體對於三維模型繪圖的支援，是未來替代傳統製圖方法可以期待的解決方案。

## 第二節 研究動機及目的

### 壹、研究動機

根據前述背景目前國內因為立體測圖產能不足，普遍認為以改變圖資測製方式降低製圖人員技術需求門檻，當可迅速擴增生產量能；惟改變圖資測製方式後，是否能維持一定的測圖精度與品質水準，達到符合一千分之一地形圖製圖要求，為本研究欲探討了解的問題。

### 貳、研究目的

#### 一、驗證三維網格模型製圖精度

本研究將對利用三維網格模型製圖（以下簡稱為 mesh 模型數化）之成果進行精度驗證，以了解利用三維網格模型製圖之方法是否適用於一千分之一地形圖製圖業務。

#### 二、驗證真實正射影像數化精度

相較於利用三維網格模型製圖方法，利用真實正射影像數化亦是業界常常探討的題目之一，本研究除了驗證三維網格模型製圖精度之外，將同時一併探討利用真實正射影像數化之製圖精度。

## 第二章 研究方法與流程

### 第一節 研究方法

#### 壹、研究流程擬定

本研究擬定流程主要依照文獻回顧、蒐集各類測試影像、產製 mesh 模型及真實正射影像、地物特徵抽樣量測、精度評估及撰寫研究報告書等順序進行（如圖 2-1）。

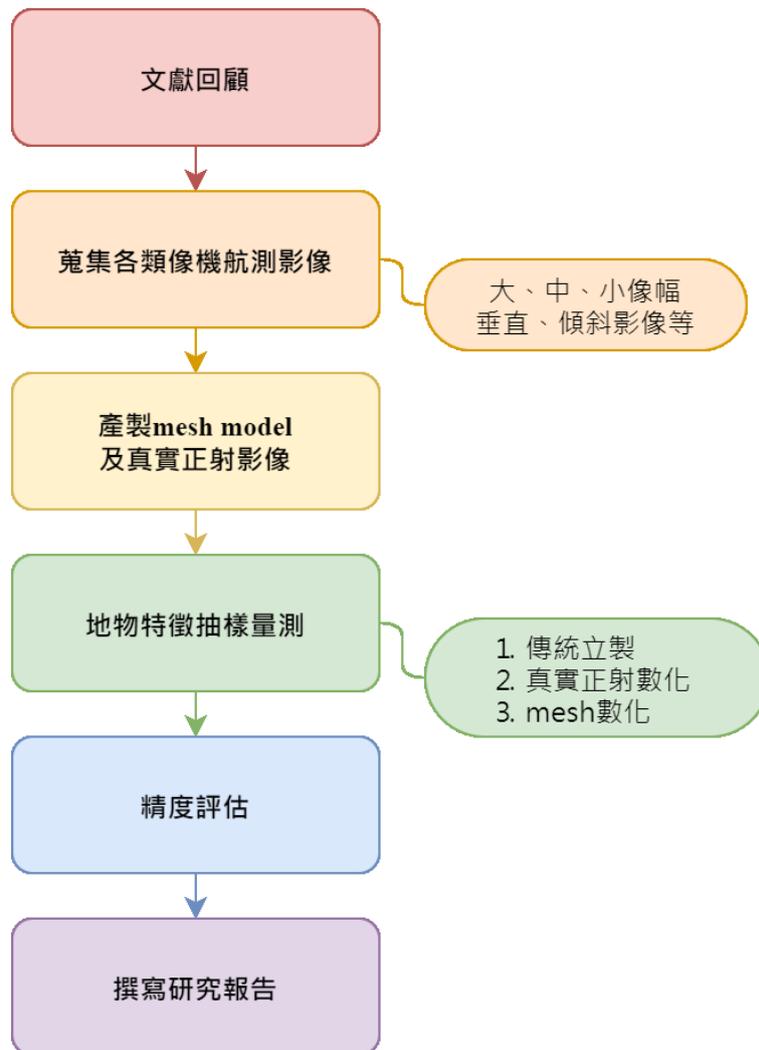


圖 2-1 研究流程圖

#### 貳、實驗設計

本研究為了解影響 mesh 模型的精度，藉由文獻回顧蒐集主題與航空測量、三維模型建置及其精度分析等領域相關之文獻，並根據分析參考文獻之內容歸納影響因子，根據影響因子之排列組合擬定主要研究情

境。在此特別說明為何僅挑選主要研究情境而非測試所有影響因子的排列組合，因為所有影響因子的排列組合數量非常龐大，本研究能夠執行的經費及時間有限，無法一一全面進行測試，故按照最可能造成影響的項目，協調可能辦理或取得資料的供應，擬定最終可行的實驗設計方案。

### 參、研究資料蒐集

囿於本研究的執行經費及時間有限，對於研究資料來源，本研究除了安排本中心自有之 UAS 飛行航拍取得實驗用影像之外，另同時徵求國內航拍業者提供適合本研究之影像資料。並根據本研究的主題，探討 mesh 模型對於一千分之一地形圖的製圖精度，除此之外，本研究亦將一併比對業界期望的真實正射影像數化方式，所產製一千分之一地形圖之製圖精度。

故本研究取得研究資料後，將先予產出前開研究標的之成果，分別為完成空三平差的立體像對、三維 mesh 模型、真實正射影像。其中立體像對及真實正射影像部分均依照符合「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」的標準流程辦理（內政部, 2011），至於三維 mesh 模型的產製方式，則依照 USGS 針對 Agisoft Metashape 1.6 版的工作流程辦理（Over, et al., 2021）。

### 肆、資料分析策略

本研究將綜合彙整測試成果，進行相關精度分析及驗證，並針對作業問題研提解決方案，分析效益及可行性。最後，並歸納提出最佳的作業方案。

其中對於精度分析及驗證部分，本研究以一千分之一地形圖上所能呈現的線繪成果及測繪者實際執行測繪的角度切入，以萃取特徵地物之坐標值作為精度比對的標的。另以傳統立製、真實正射影像數化、三維

mesh 模型數化等不同的測繪方式進行精度比較。

本研究將以傳統立製的成果作為精度比較之基準，主要因為傳統立製為原本繪製一千分之一地形圖的方式，其精度及品質已受歷年作業成果之驗證，而新的測繪方式（如：真實正射影像數化、三維 mesh 模型數化）則必須符合同樣的測繪精度，方能推行。故本研究中以傳統立製成果作為基準，以重複性概念比對其餘兩者之測繪成果精度。

倘前述新的測繪方式，經評估如能夠符合一千分之一地形圖測製精度，本研究亦將同時分析達成測製精度條件下，所涉及的影響因子（如航拍參數、資料處理參數等），並搭配成本效益評估獲得最適合的作業執行模式。

## 伍、撰寫研究報告

將依內政部自行研究案報告書製作標準格式，辦理本研究報告書撰寫製作。

### 第二節 預期成果

- 一、評估驗證各類像機航測影像，採用 mesh 模型三維繪圖成果或是真實正射影像數化方式能否可達一千分之一地形圖製圖精度。
- 二、歸納各類像機航測影像，採用 mesh 模型立製可達一千分之一地形圖製圖精度之所需條件（如：飛航規劃、地面控制點分布及反饋提供三維建模的演算法策略等），提供未來研擬作業規範參考。

## 第三章 文獻回顧

### 壹、文獻蒐集情形

本研究於文獻蒐集的規劃，係依照航測製圖的流程分類為航空測量精度方面、三維模型建置及其精度分析方面等類型。首先航空測量精度方面考量目前大部分用於建模任務的設備大多是採用無人飛行載具（UAS）搭配非量測型像機，所以這方面主要蒐集使用 UAS 辦理航測的應用成果；而三維模型建置方面則主要蒐集本研究使用的軟體於建模時的標準作業方式以及學術上於建模時採用的方法，提取其經驗加以應用於本研究之中；至於精度分析方面則蒐集有關模型精度評估相關經驗為本研究成果比對方式的參考。

#### 一、航空測量精度方面

邱式鴻等人於 103 年發表局部重測都市區千分之一地形圖之研究，其中利用定翼型無人飛行載具拍攝 GSD 4.5 cm 影像，成果顯示空三檢核點共計 6 點之 RMSE 在 N 方向為 11 cm，E 方向為 9 cm；立製成果查驗點共計 51 點，均選擇屋頂點、斑馬線繳點或標線角點等明顯特徵點位置，其 RMSE 為 10 cm，符合一千分之地形圖測製精度要求（邱式鴻；顏怡和；丁育群, 2014）。可見利用 UAS 搭配非量測型像機遵守嚴謹的處理流程，採用傳統立製方式測圖亦可滿足一千分之地形圖測製精度的要求。

曾義星等人於 109 年辦理「109 年度地籍測量輔助作業精進實務研析」運用 UAS 及地面環景攝影技術輔助地籍測量相關作業效益研析，其中提到依實作經驗來說，正射影像檢核精度會落在 0.5~2 倍 GSD 之間，真實正射影像與現有的地籍線套合的成果顯示位於控制點附近之檢核點的誤差較小，距離控制點愈遠的檢核點誤差愈大，檢核點誤差最大值約為 18 cm 左右；其實驗結果顯示檢核點誤差在 NE 方向最大值皆

大於 6 cm，標準差在 NE 方向皆大於 2 cm，成果不符合戶地測量的要求，該研究提出該成果只能用來輔助地籍調查，利用影像判斷相對位置使用。

雲林縣北港地政事務所於 109 年委託詠翔測量工程有限公司研究利用無人機航拍大比例尺 (GSD 4 cm) 正射影像輔助地籍圖判釋實務，其實驗數據顯示正射影像與現況點 (明顯樁位) 之較差平均為 7 cm，標準誤差為 4 cm，其中最大誤差為 55 cm，主要因為地籍圖界址點位辨識不明確，經由現況測量點位與正射影像套疊成果，顯示正射影像精度可達地籍圖套疊分析輔助之用 (詠翔測量工程有限公司, 2020)。

而國土測繪中心 109 年於義竹及高樹重測區使用旋翼型無人飛行載具拍攝 GSD 4 cm 影像，利用其正射影像數化成果比對重測現況測量成果，其中發現僅 33% 參考點較差小於 6 cm，尚無法達到地籍圖重測成果精度，平均較差約為 0.25 m (國土測繪中心地籍圖重測課, 2021)。

綜合前開 2 項文獻的研究成果對於檢核點的部分呈現相反的結論，經本團隊分析發現兩者的分析對象不同，因而造成結果上的差異，其中詠翔的比對目標大多屬於明確的樁位，而本中心的比對目標含有許多如田埂等不明確的地物，因而造成較大的誤差，而詠翔的報告中也指出其中最大達 55 cm 的誤差係因辨別不明確，由此可知標的物是否明確，是影響成果精度的重要因素。

## 二、三維模型建置方面

目前大部分建模軟體在進行影像方位重建及模型建置時，都會使用影像密匹配技術，李硯婷等人於 106 年提出一些常見的密匹配演算法為 SMM (SIFT-based Multi-image Matching)、SfM (Structure from Motion)、DAISY 及 SGM (Semi-Global Matching)，並利用目視檢查法、相對方

位法、像片三角法以及獨立測量法，進行密匹配成果偵錯與品質評估，其中顯示 50.72%和 47.00%的密匹配錯誤分別出現於高程 1 階不連續面（山形屋脊線）與 0 階不連續面，僅 0.05%出現於均調區（李硯婷；蔡展榮,2017），顯示使用密匹配技術建模時可能出現的誤區，可作為本研究進行建模時修正錯誤模型面的參考。

### 三、精度分析方面

潘偉庭等人 103 年提出經由影像式三維模型重建的結果，其成果精度可經由 SfM 的焦距誤差估算而得（潘偉庭 & 楊明德,2014），其研究顯示非量測型像機在建模時的體積誤差約為 2.11%至 4.03%不等，其中誤差最小的是較專業的單眼像機，而誤差較大的是智慧型手機搭配的像機，這顯示像機焦距參數的穩定性與最終建模成果的品質具有相關性，也點出了本研究欲利用三維網格模型製圖時，採用量測型像機與非量測型像機其內方位參數影像的穩定性可能存在對於成果精度的先天限制。因此本研究的分析對像應納入量測型像機與非量測型像機之間的比較。

## 貳、文獻總結

經由參考各項文件實驗設計方式，初步歸納與本研究相關之影響因素可分為二種，第一種與航拍資料來源有關，如：像機類型（大、中、小像幅穩定度不同）、航拍的地面像素解析度（Ground sample distance；GSD）、航線規劃方式（是否含傾斜攝影、影像重疊率）等；第二種與資料處理有關，如：空中三角偵錯及除錯方式、密點雲匹配方式、點雲建立 mesh 之方式。了解本研究相關的影響因子後，根據影響因子的組合設計實驗情境，例如分別以大、中、小等不同像幅之像機，拍攝 GSD 3 公分至 7 公分不等之航拍影像，取得上述具有同步傾斜攝影或不具傾斜攝影之影像資料。藉由組合不同的實驗參數，據以分析影響 mesh 模型建置精度的情境。

## 第四章 研究內容與成果

### 第一節 實驗設計

#### 壹、測試區域及資料特性概述

本研究參考前章影像因子，歸納區分所需蒐集的各项研究資料，另考量地面控制點布設數量及資料獲取的便利性，並且涵蓋城區（建物密集）及鄉區（建物稀疏）特性，從而選擇本中心長年維護的南崗校正場，以及可取得地面控制測量成果的重測區。

至於航拍影像取得部分，南崗校正場自 101 年建場以來國內各主要的航拍業者均曾進行過拍攝，亦有將其作為率定場地者，經接洽自強工程顧問有限公司，了解該公司具有完整大、中、小像幅像機系列所拍攝的影像，並且其中的中像幅像機為傾斜攝影組，非常契合本研究所需探討的研究目標，因此南崗校正場測試區之航拍影像，即以該公司提供之資料進行研究；另外，苗栗市及義竹測試區的航拍影像部分，則由本中心無人飛行載具自行辦理航拍以取得研究資料。

#### 一、南崗校正場

南崗校正場為本中心執行航遙測感應器校正業務使用之場地，該校正場主要位於南投市南崗工業區，圈選其周邊 2,000 公尺乘 1,750 公尺範圍的區域作為校正場，其中常年均勻布設固定標約 95 點(如圖 4-1)。該場地位於八卦台地東麓，地勢起伏合度，範圍內道路縱橫，工業廠房林立，是測試航攝影像系統的合適地點。

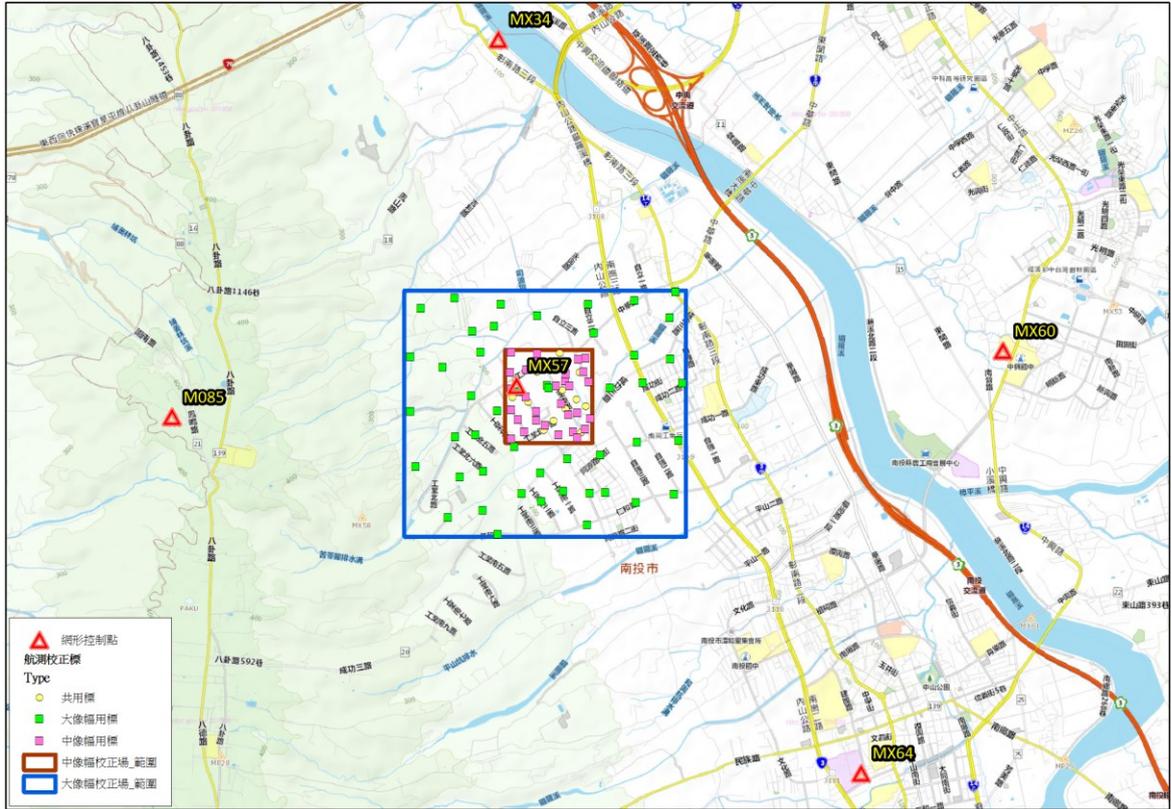


圖 4-1 南崗校正場範圍及校正標分布情形

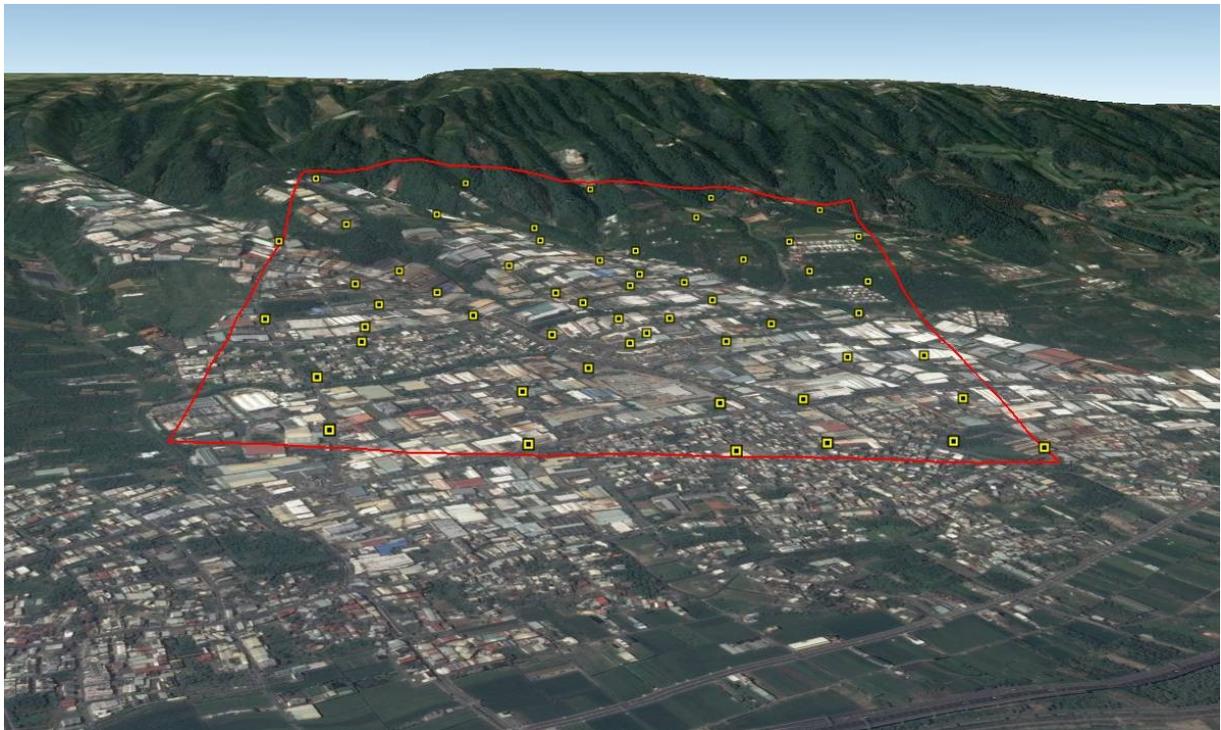


圖 4-2 南崗校正場 3D 傾斜視角

南崗校正場測試區，本研究經洽自強工程顧問有限公司共計取得 3 種航拍影像成果，包含 UAS 小像幅影像、AOS 中像幅傾斜像機影像、UltraCam 大像幅影像，各項影像資料及其航拍參數分述如下：

### (一)南崗 UAS 小像幅影像

本項資料係採用無人飛行載具 (UAS)，搭配非量測型消費級小像幅像機拍攝目標區，一般會使用 UAS 航拍的作業，通常是為了取得較精細的地面解析度 (GSD)，因此 GSD 設定常落於 3~4 公分，但是本測試區因其廠房林立，為顧及飛行安全本任務設定飛行離地高 (AGL) 高於 300 公尺，因此本項資料 GSD 受限為 5.52 公分，但是仍符合產製一千分之一地形圖 GSD 需求 10 公分的規定。

表 4-1 南崗 UAS 小像幅像機航拍參數

資料代號：NG_300	 <p>(<math>\alpha</math> 7K - 數位單眼相機, 2021)</p>
像機：ILCE-7	
像機類型：非量測型小像幅	
Pixel Size：6 $\mu$ m	
GSD：5.52 cm/pix	
離地高：354 m	
焦距：35 mm	
航線型態：井字	
拍攝日期：2017/6/21	
資料來源：自強工程顧問有限公司提供	

此航拍任務係採井字航線規劃(如圖 4-3)。本項資料除適用於小像幅航拍攝影機校正使用之外，其拍攝成果亦可作為建模使用，因具有較緊密的交錯航線，於建模時對於建物的側面影像，較無遮蔽死角影響。



圖 4-3 南崗 UAS 小像幅像片拍攝中心

## (二)南崗 AOS 中像幅傾斜像機影像

本項資料是採用有人機搭載具有 5 部中像幅像機傾斜攝影雲臺的量測型像機設備，其中 4 部中像幅像機為傾斜拍攝，1 部主像機為垂直拍攝，表 4-2 中所列的 GSD 參數是對應到垂直拍攝的主像機，因為傾斜攝影像機的 GSD 數值在像片中變化很大無法用單一數值敘述，所以僅列垂直攝影的結果。

表 4-2 南崗 AOS 中像幅傾斜像機航拍參數

資料代號：NG_AOS5	 <p>(AOS-P5, 2021)</p>
像機類型：量測型中像幅 5 像機組	
像機：AOS 傾斜像機組 iXU-RS1000(垂直) × 1 iXU-RS1000(傾斜) × 4	
Pixel Size：4.6 um	
GSD：6.87 cm/pix	
離地高：1000 m	
焦距：50 mm(垂直) 70 mm(傾斜)	
航線型態：普通平行航線 + 傾斜攝影	
拍攝日期：2019/2/27	
資料來源：自強工程顧問有限公司提供	

此航拍任務雖然採用井字平行方式航拍(如圖 4-4)，但是，其拍攝目的為辦理像機校正，並非如建置模型所規劃的緊密的井字平行航線，所以此處僅屬於普通具有垂直交錯方向的平行航線。而建模所需的側面影像來源則由傾斜攝影的 4 部中像幅像機取像。

由圖 4-4 的影像拍攝中心點展繪結果可以發現，雖然使用 5 部像機拍攝但是位於同一拍攝雲台上，5 部像機的拍攝中心是很接近的，所以在比例尺較小的圖面上展繪時，幾乎 5 部像機的拍攝中心都重疊在一處。



圖 4-4 南崗 AOS 中像幅傾斜像機像片拍攝中心

### (三)南崗 UltraCam 大像幅影像

本項資料採用有人機搭載量測型大像幅像機進行取像，此組合屬於拍攝基本圖的常規組合。運用於傳統立製作業是沒有問題的，但是運用於產製 mesh 模型後進行繪圖，其精度是否能滿足所需，仍具有探討的價值。在本研究中本項資料可以做為基準指標，呈現以目前的航拍規格進行 mesh 建置時，是否可用於繪製一千分之一地形圖。

此航拍任務與 NG\_AOS5 之平行方式航拍相同(如圖 4-5)，其拍攝目的為辦理像機校正，並非如建置模型所規劃的緊密的井字航線，所以此處僅屬於普通具有垂直交錯方向的平行航線。由於本項資料並非緊密井字航線，亦非傾斜攝影，因此可用於探討使用普通航線規劃拍攝時，對於 mesh 建模精度的影響，以及建物側面貼圖的影響。

表 4-3 南崗 UltraCam 大像幅像機航拍參數

資料代號：NG_UXcam	 <p>(Vexcel Imaging GmbH, 2012)</p>
像機：UltraCam Xp	
像機類型：量測型大像幅	
Pixel Size：6 um	
GSD：6.7 cm/pix	
離地高：1055 m	
焦距：100.5 mm	
航線型態：普通平行航線	
拍攝日期：2021/2/7	
資料來源：自強工程顧問有限公司提供	

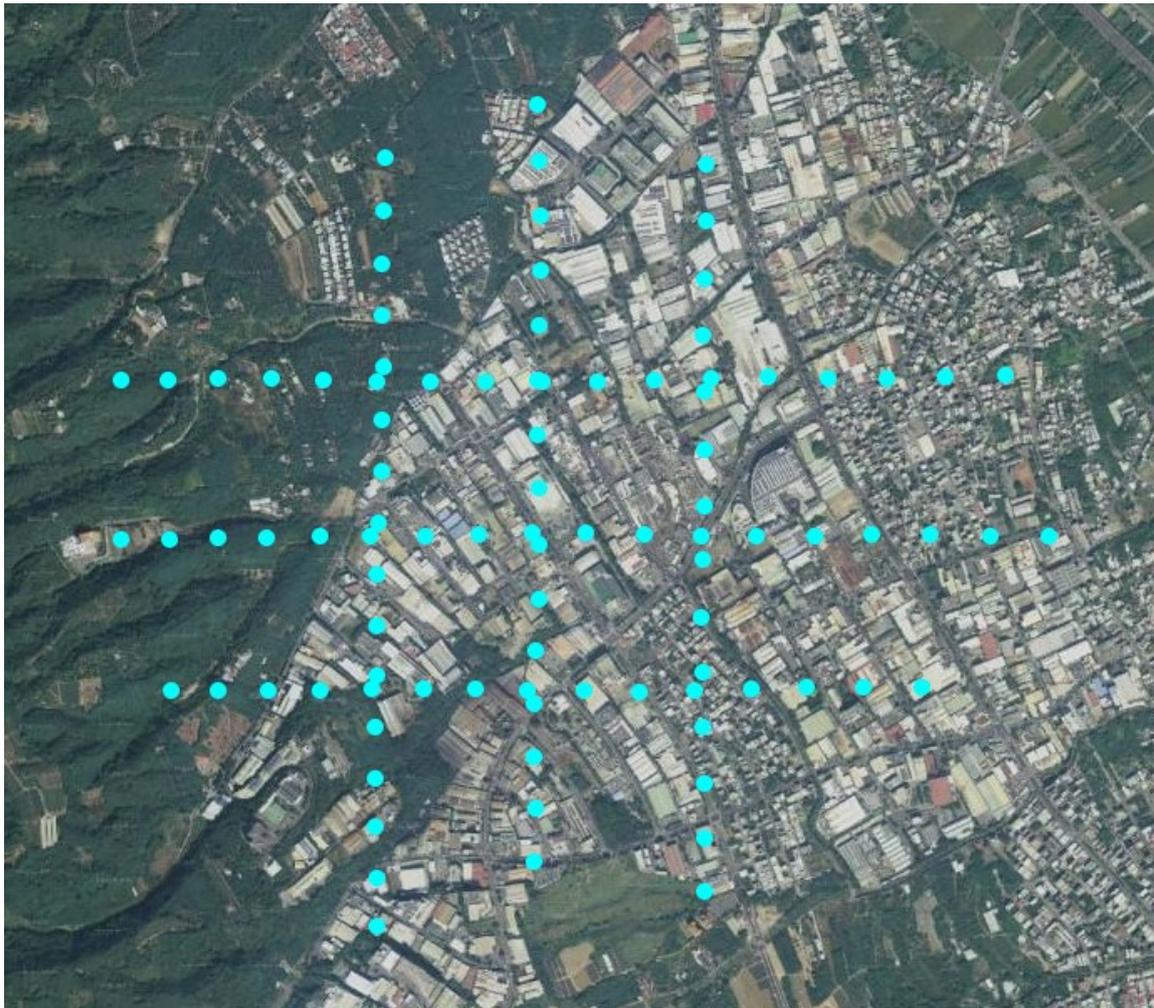


圖 4-5 南崗 UltraCam 大像幅影像像片拍攝中心

## 二、苗栗市測試區

苗栗市測試區屬於中度建物密集類型，範圍內大多屬於中低層建築物，當中雖有些許較高層地標型建物，但是大部分區域會面臨到建物遮蔽產生死角的狀況較少，可期待 mesh 模型的產製成果。

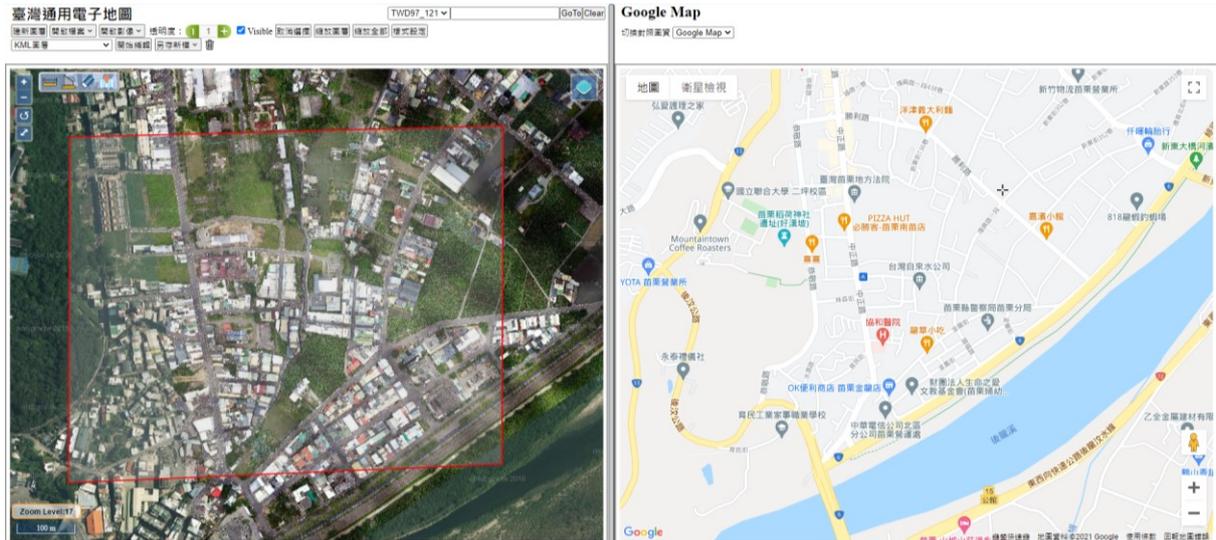


圖 4-6 苗栗市測試區範圍



圖 4-7 苗栗市測試區 3D 傾斜視角

此航拍任務以建模為目的採用緊密的井字航線進行拍攝，因該區域大部分屬於中低層建物，可探討在未使用傾斜攝影的設備時，運用緊密

的井字航拍可否滿足模型建置的需求。

表 4-4 苗栗市測試區航拍參數

資料代號：ML	 <p>(<math>\alpha</math> 7RII, 2021)</p>
像機：ILCE-7RM2	
像機類型：非量測型小像幅	
Pixel Size：4.53 $\mu\text{m}$	
GSD：3.05 cm/pix	
離地高：164 m	
焦距：21 mm	
航線型態：井字（較密）	
拍攝日期：2020/8/17	
資料來源：本中心自行航拍	



圖 4-8 苗栗市測試區影像像片拍攝中心

### 三、義竹測試區

義竹測試區性質屬於郊區，範圍內大部分地物類型主要為農作物，西側則以低密度聚落為主，其中多屬於低樓層建物。由於本區域地表大部分為農作物類型，而且全區地物類別東西側分明，空三平差時誤差分配預期可能會特別集中於某側，造成該區域建模時造成問題，而這對於影像匹配及建模作業是個挑戰。

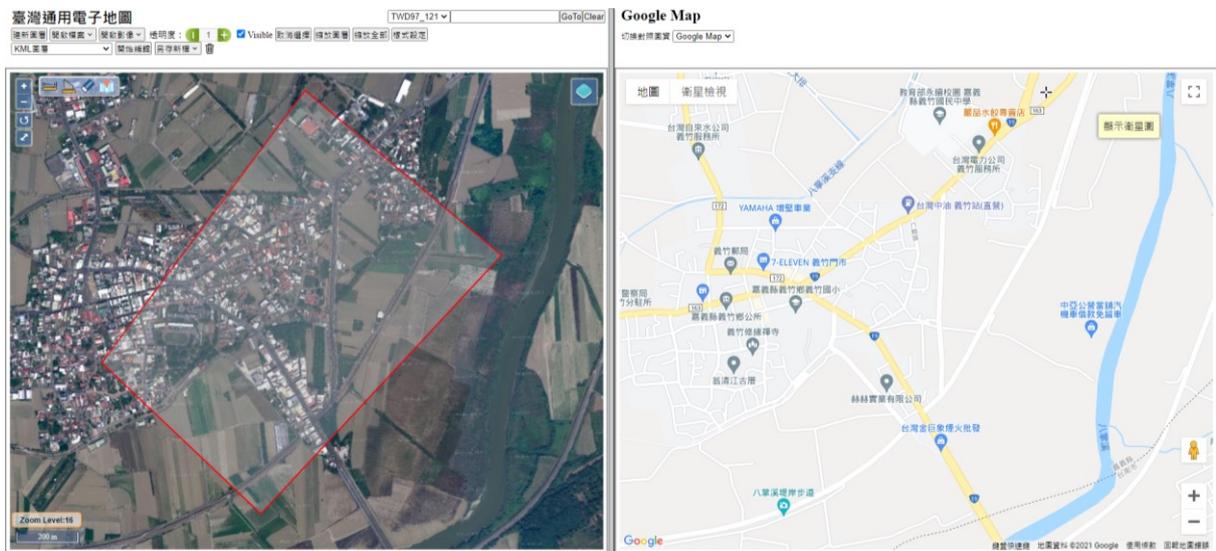


圖 4-9 義竹測試區範圍



圖 4-10 義竹測試區 3D 傾斜視角

此航拍任務並未採用井字航線進行拍攝，係因該區域大部分屬於農

作區及低層建物類型，不易存在死角及側面影像缺失的問題，因而採用傳統平行航線的規劃。

表 4-5 義竹測試區航拍參數

資料代號：EZ	 <p>(<math>\alpha</math> 7RII, 2021)</p>
像機：ILCE-7RM2	
像機類型：非量測型小像幅	
Pixel Size：4.53 $\mu$ m	
GSD：4 cm/pix	
離地高：217 m	
焦距：21 mm	
航線型態：普通平行航線	
拍攝日期：2020/8/14	
資料來源：本中心自行航拍	

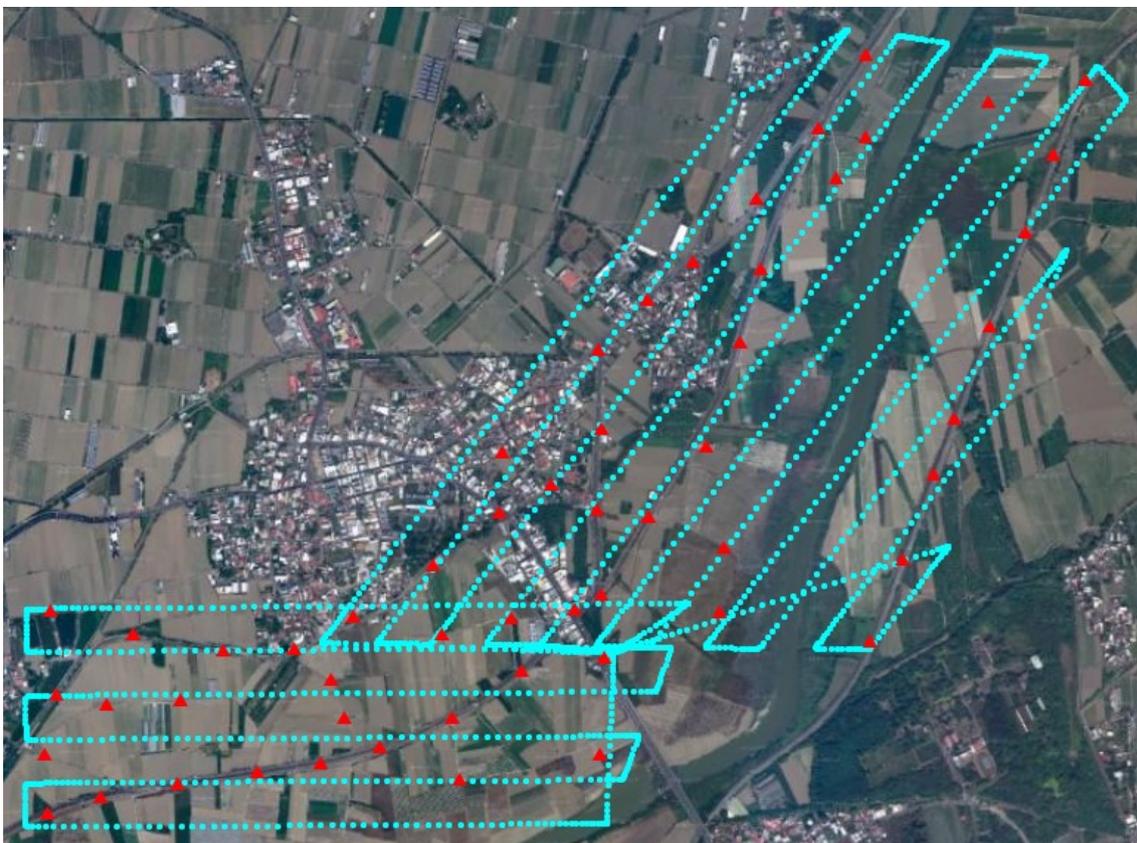


圖 4-11 義竹測試區影像像片拍攝中心

## 貳、分析比對方式

### 一、確定控制因素

本研究目的為探討利用 mesh 模型繪製一千分之一地形圖之精度，所以對照組理所當然是傳統立體製圖的成果，實驗組則分別是 mesh 模型與真實正射影像數化成果。但是在這過程中，要特別注意對於立體製圖成果與 mesh 模型及真實正射影像等成果，不能各自使用不同的軟體進行空三平差，這是因為不同的軟體在處理空三平差的過程中會使用不同的偵錯方式，造成殘差結果不同或是相對集中在不一致的地方，雖然就整體成果而言不會有很明顯的差異，但是在本研究中欲探討前開成果的精度差異時，將無法區別精度差異是來自於空三平差的結果不一致，還是測繪方式不同所帶來的影響。因此，本研究中在各測試區處理時，其立體製圖成果、mesh 模型及真實正射影像均經由同一份空三平差成果而來，降低在成果比對基礎上的不確定性。

### 二、以特徵點為比對對象

三維空間中圖徵可以有點、線、面等型態，其中三維面圖徵之間的差異可以用具方向性的體積來呈現，而三維線圖徵之間的差異因始終有一個維度的不確定性所以無法呈現其變化量，點圖徵之間的差異則可以三維向量來呈現。由此可知想要了解各種維度圖徵之間的差異時，會面臨其變化量難以計算或無法計算的情況，而點圖徵之間的差異可使用三維向量來表示，是具有方向性的長度值，其物理意義較容易呈現及了解，因此本研究進行分析比對的對象為點圖徵，以其之間的差異使用長度值來呈現。

### 三、特徵點抽樣方式

本研究為避免檢核點抽樣時人為介入的程度過高，因此採用亂數方式先產生隨機種子 (seed)，於各測試區亂數產生均勻分布的 45 點，其

目的是為了在測試範圍內亂數散佈均勻的抽樣位置，避免人為挑選時過度集中於測試區某處，該隨機種子位置係因亂數產生，該座落位置不一定為地形圖適合繪製的物件，所以取得測試區範圍內均勻分布的位置後，再依照地形圖地物繪製重要性由高至低於隨機種子位置附近挑選適合地形圖繪製的物件，作為分析比對之目標特徵點。

本研究再亂數抽樣上所使用工具為 Geospatial Modelling Environment (v0.7.3.0)，是一套配合 R 軟體及 ESRI ArcGIS 進行地理空間分析的工具，利用其中 `genrandompnts` 指令於測試區內隨機生成 45 個抽樣點，並依照各測試區大小約制抽樣點之最短間距，來保持分布的均勻性。

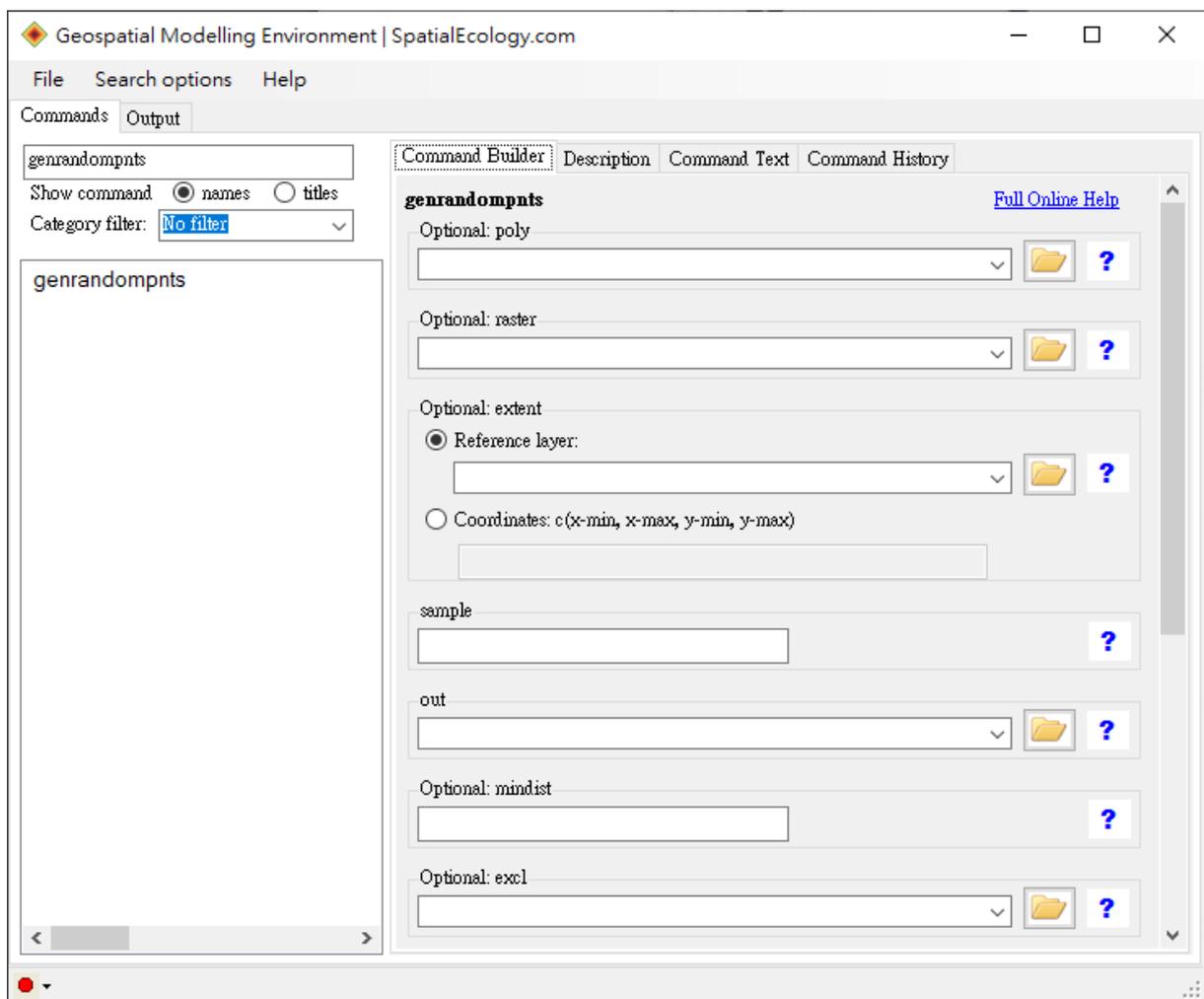


圖 4-12 Geospatial Modelling Environment 工具介面

### (一)南崗校正場

本測試區抽樣參數設定為，抽選 45 點，點位間距為 60 m；因本區特性屬於建物密集區，特徵點挑選以隨機種子附近的建築物屋角為優先，其次為道路標線。

執行指令：`genrandompnts(poly="D:\\NG_ex_TM2.shp", sample=45, out="D:\\NG_randomPt.shp", mindist=60);`

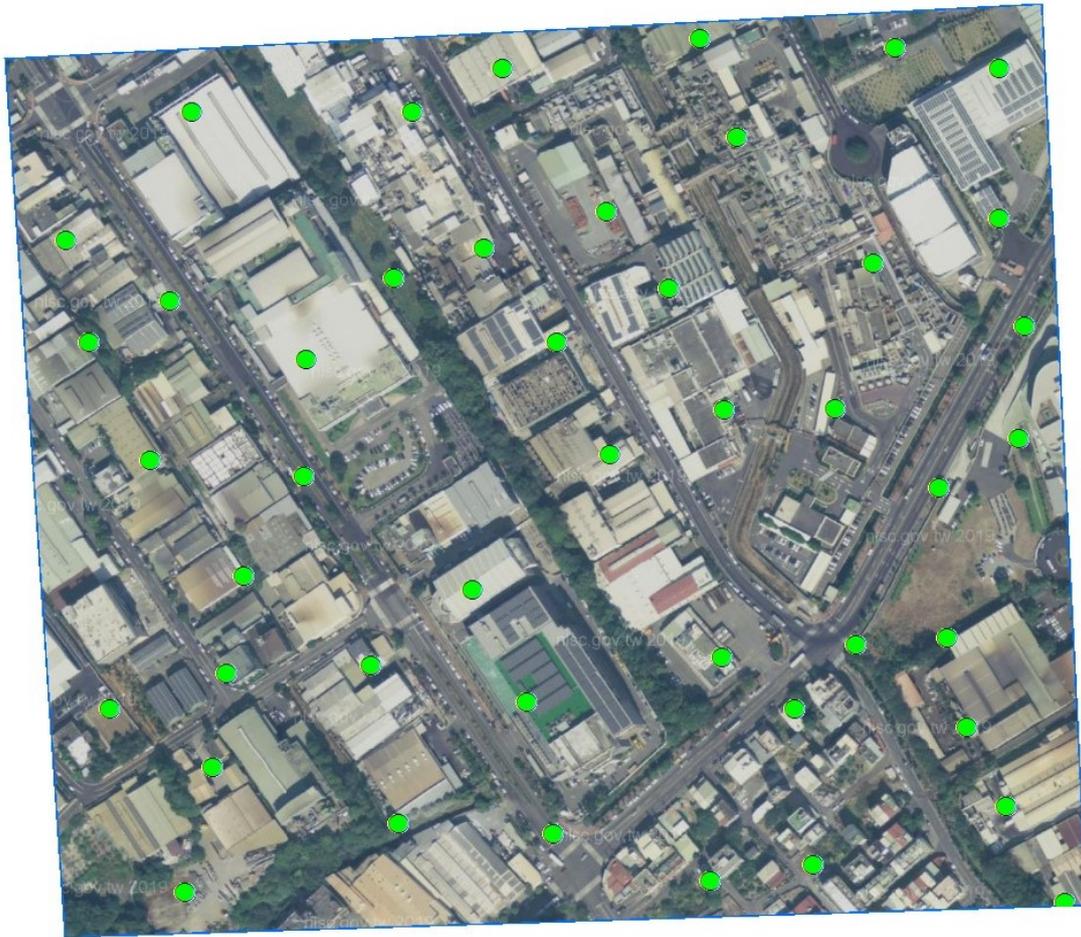


圖 4-13 南崗校正場隨機種子分布圖

### (二)苗栗市區

本測試區抽樣參數設定為，抽選 45 點，點位間距為 30 m；因本區特性屬於中低建物密度區及部分農作區，特徵點挑選以隨機種子附近建築物屋角為優先，其次為道路標線，至於農作區則嘗試尋找田埂間明顯物件。

執行指令：`genrandompnts(poly="D:\\ML_ex_TM2.shp", sample=45, out="D:\\ML_randomPt.shp", mindist=30);`



圖 4-14 苗栗市區隨機種子分布圖

### (三)義竹重測區

本測試區抽樣參數設定為，抽選 45 點，點位間距為 100 m；因本區特性屬於低建物密度區及大量農作區，特徵點挑選以隨機種子附近建築物屋角為優先，至於農作區則嘗試尋找田埂間明顯物件。

執行指令：`genrandompnts(poly="D:\\EZ_ex_TM2.shp", sample=45, out="D:\\EZ_randomPt.shp", mindist=100);`

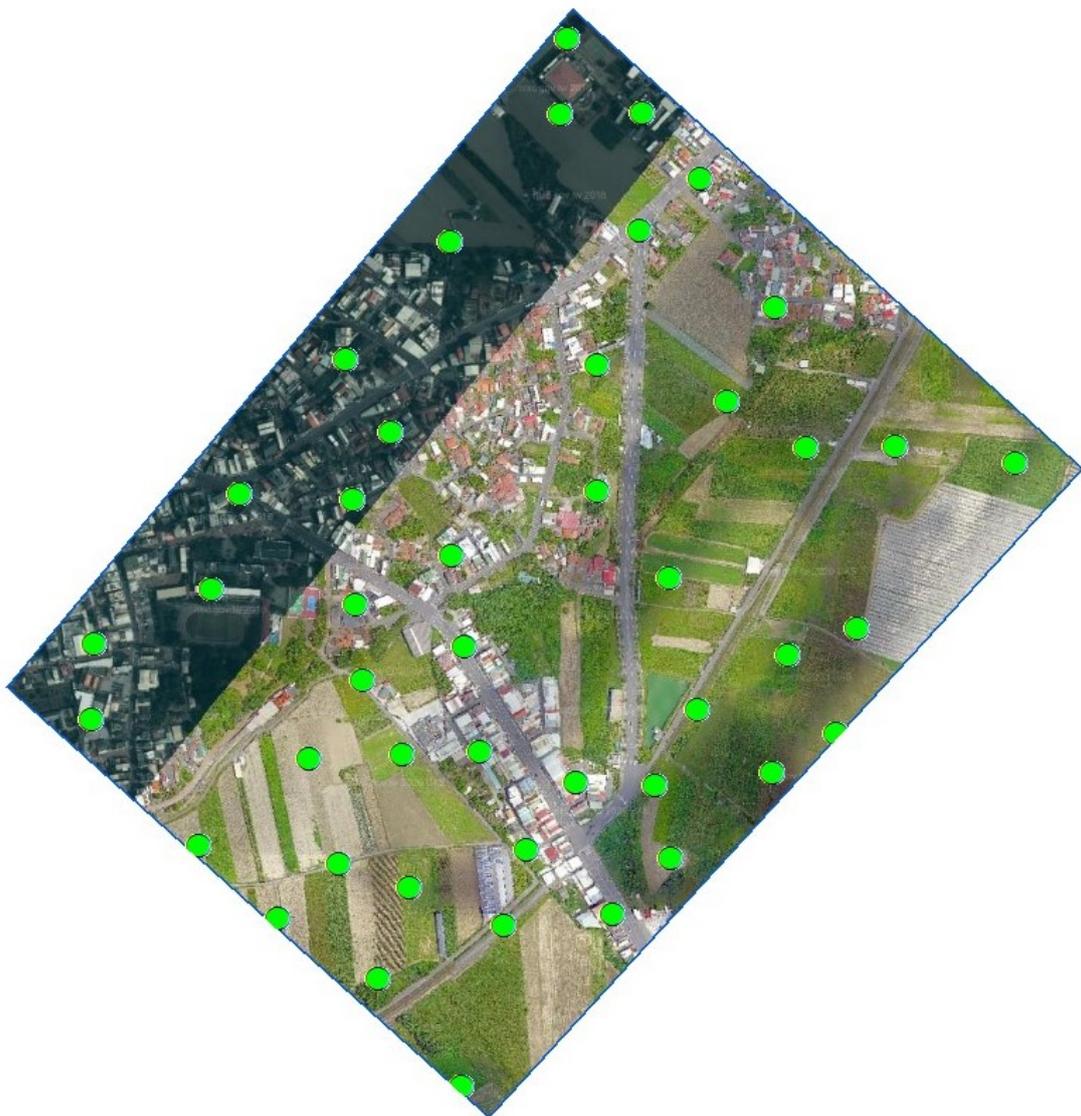


圖 4-15 義竹重測區隨機種子分布圖

## 第二節 資料處理

### 壹、資料處理環境

本研究對於各研究區的資料處理程序，為排除處理軟體的差異造成實驗結果歧異，於研究過程中相同的作業步驟係採用相同的軟體進行處理。其中由於產生立體像對、三維 mesh 模型及真實正射影像等 3 種成果，均需先完成影像方位重建（空中三角平差）作業，此步驟本研究統一採用 Agisoft Metashape 辦理（表 4-6），延續之後的三維 mesh 模型及真實正射影像建置，亦採用該軟體處理；立體像對量測作業則採用 ERDAS LPS Pro600 進行（表 4-7）；至於三維 mesh 模型特徵坐標量測則使用 Agisoft Viewer (64 bit) 工具來處理，相關資料處理流程如圖 4-16 所示。

表 4-6 空三計算及建模軟硬體設備

空三計算及建模軟體	Agisoft Metashape (試用版)
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 0@ 2.00GHz × 2
RAM	32.0 GB
作業系統	Windows 10 專業版

表 4-7 立體製圖軟硬體設備

立體製圖軟體	ERDAS LPS Pro600
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v3@ 2.40GHz × 2
RAM	48.0 GB
作業系統	Windows 10 專業版

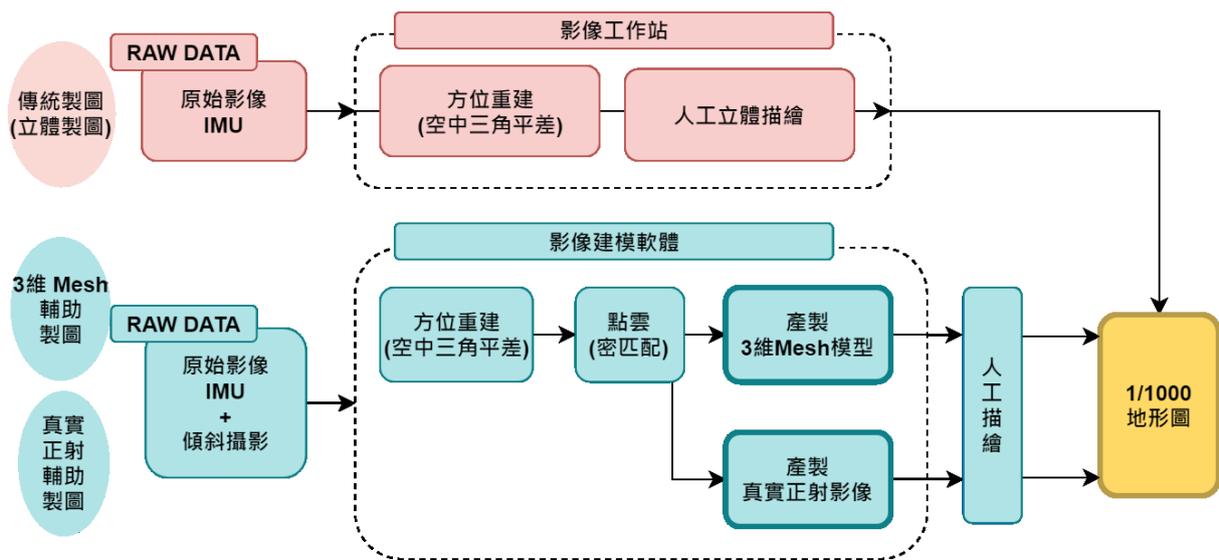


圖 4-16 資料處理流程

## 貳、影像方位重建

本研究參考 Agisoft Metashape 操作手冊（以下簡稱操作手冊）（Agisoft, 2020），使用標準作業流程進行影像方位重建，並依照 USGS（United States Geological Survey）所建議之工作流程（Over, et al., 2021）進行資料除錯及優化解算成果。

依照操作手冊指示處理流程包含下列幾個步驟：

1. 將影像載入 Metashape（loading images into Metashape）。
2. 檢查載入的影像，並移除不需要的影像（inspecting loaded images, removing unnecessary images）。
3. 影像對齊（aligning cameras）。
4. 建立密點雲（building dense point cloud）。
5. 建立三維網格模型（building mesh 【3D polygonal model】）。
6. 產生貼圖紋理（generating texture）。
7. 建立模型圖磚（building tiled model）。

8. 建立數值高程模型 (building digital elevation model 【DEM】)。
9. 建立正射影像 (building orthomosaic)。
10. 成果輸出 (exporting results)。

上述步驟中，在 Agisoft Metashape 軟體中有相依可選的程序，意即在後續步驟中，可以根據之前所產生的成果做為資料來源。例如本研究中探討的真實正射影像數化精度時，會直接採用所建立的 mesh 成果來產生，而不會透過 tiled 模型或 DEM 來產生正射影像，這個原因主要是為了保持成果一致性與得到最直接的成果，以避免透過分支成果轉製時造成的失真與偏差。

有關前面 10 項步驟中，本研究除了步驟 8 建立數值高程模型(DEM)之外，其餘的步驟均會進行，因為 DEM 並非本研究需要分析成果；另外 tiled 模型及正射影像均直接透過 mesh 成果而得。產製 tiled 模型的原因主要是因為原生的 mesh 成果資料量大，對於電腦顯示負荷很重，平移縮放等動作均會造成嚴重的延遲，對於製圖作業非常沒有效率，因此必須轉為圖磚方式作業。

以下詳述本研究進行各步驟的操作方式及設定參數：

### 一、載入影像

獲得各測試區影像後，首先檢視影像檔案按照拍攝時間的順序編定檔案名稱，每個測試區分別存放於各自的資料夾中，初步過濾掉起飛及降落時所拍攝的多餘影像，並核對外方位記錄檔之資訊與影像張數一致。開啟 Agisoft Metashape 後，匯入目標測試區資料夾中所有影像，完成匯入後，目前每張影像顯示為尚未對齊的狀態（如圖 4-17）。

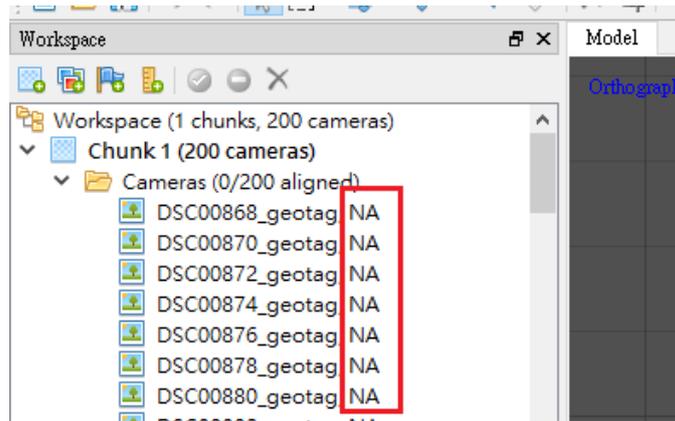


圖 4-17 影像匯入狀態

此時軟體會根據匯入影像的 EXIF (可交換圖檔格式, Exchangeable image file format) 資訊自動帶入像機參數, 並將影像區依不同像機資訊區分為不同群組, 必須檢查是否因 EXIF 資訊有誤或缺漏造成影像被區分成不同的像機, 如果出現 2 台以上的像機資訊, 應合併群組為同一部像機 (如圖 4-18), 並核對像機參數是否正確, 如有以率定之像機參數檔, 可直接匯入該參數 (如圖 4-19)。

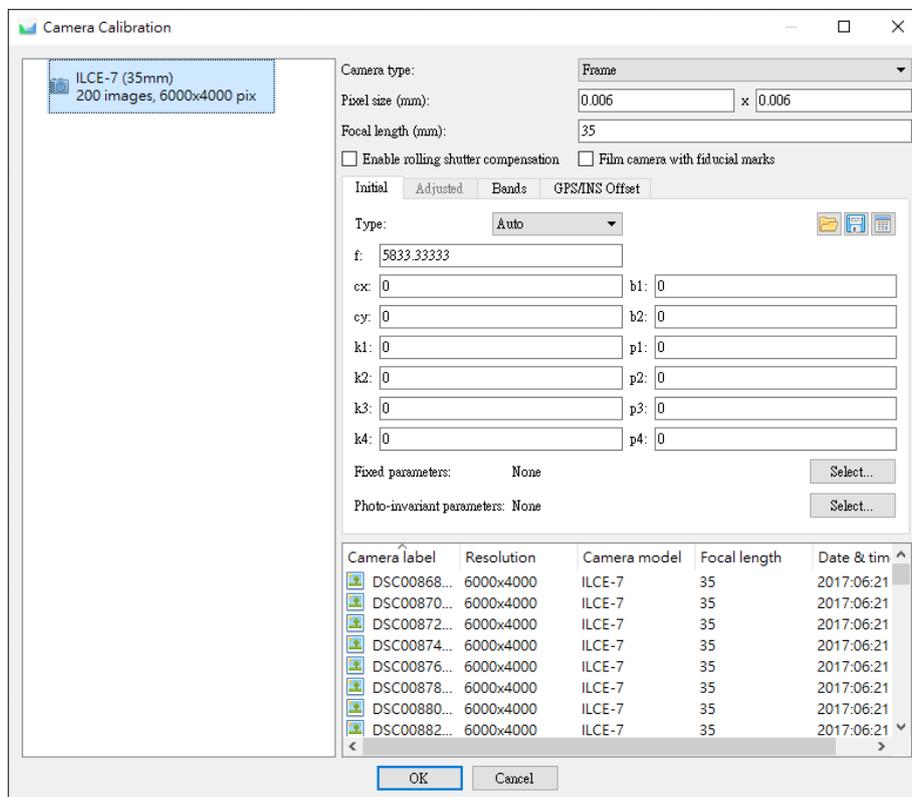


圖 4-18 依照 EXIF 資訊自動分類影像

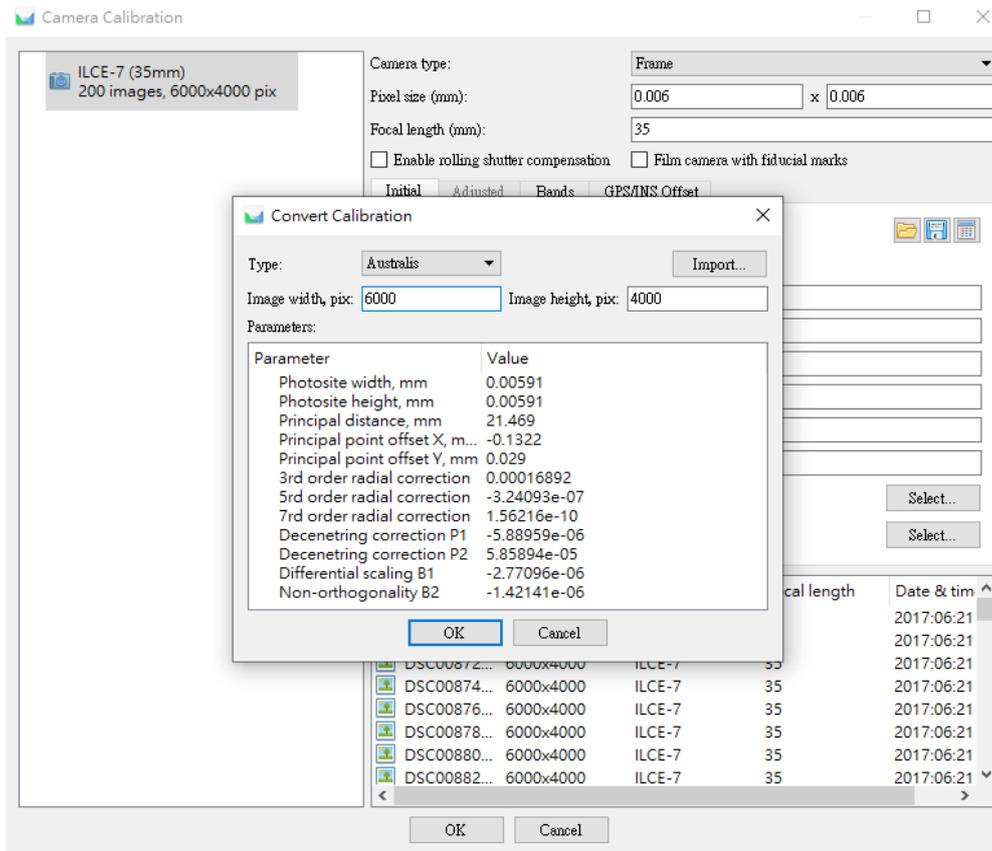


圖 4-19 讀取像機參數檔

本研究中所使用的像機種類有大、中、小像幅，其中大像幅像機依原廠率定報告說明無須輸入鏡頭畸變差參數；中像幅像機則依原廠率定報告輸入鏡頭畸變差參數；小像幅像機因其像機參數不穩定，為了避免不準確之初始值造成不正確的收斂情形，故未採用事前率定之參數值，而於平差解算過程中以自率光束法自行率定。

## 二、檢查並移除問題影像

由於匯入影像之前已經過人工剔除飛機起飛及降落時所拍攝的多餘影像之外，但因模糊的影像會嚴重影響對齊結果，利用 Metashape 軟體的自動圖像質量評估功能 (Estimates Image quality 如圖 4-20)，可從處理中排除聚焦不佳的影像。依照 Metashape 的操作手冊指引，本研究測試區影像均剔除指標小於 0.5 的影像，並確保剩餘影像有涵蓋測區目標範圍 (Agisoft, 2020)。

Label	Size	Aligned	Quality	Date & time	Make	Model
DSC01108...	6000x4000		0.975288	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01098...	6000x4000		0.949265	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01110...	6000x4000		0.932678	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01100...	6000x4000		0.925128	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01106...	6000x4000		0.921126	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01116...	6000x4000		0.920411	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01114...	6000x4000		0.920281	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01094...	6000x4000		0.916309	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01102...	6000x4000		0.887138	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01096...	6000x4000		0.874177	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01104...	6000x4000		0.872938	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC01112...	6000x4000		0.865359	2017:06:21 12:...	SONY	ILCE-7
DSC00892...	6000x4000			2017:06:21 11:...	SONY	ILCE-7

圖 4-20 自動圖像質量評估

### 三、影像對齊

完成影像品質篩選後，進行影像對齊作業，此步驟是利用電腦視覺如：SfM 演算法重建影像方位，本研究參考操作手冊的建議值設定相關參數如圖 4-21：

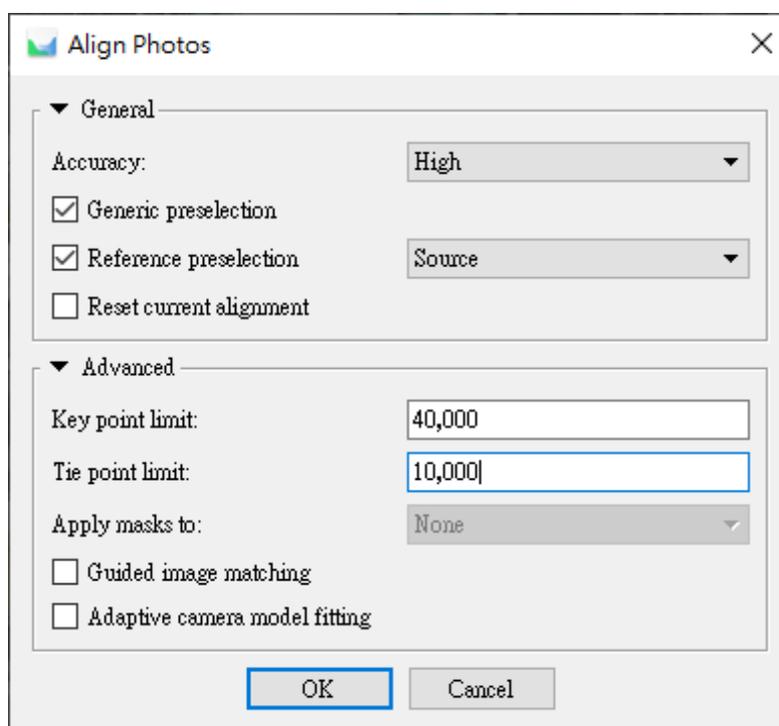


圖 4-21 影像對齊對話窗及參數設定

其中本研究因精度要求將 Accuracy 設定為 High，Key point limit 維持設定為 40,000 點，Tie point limit 提高為 10,000 點。

完成對齊後軟體畫面會呈現所有對齊影像之投影位置及關鍵連結點 (key points) 所構成之疏點雲 (如圖 4-22)。

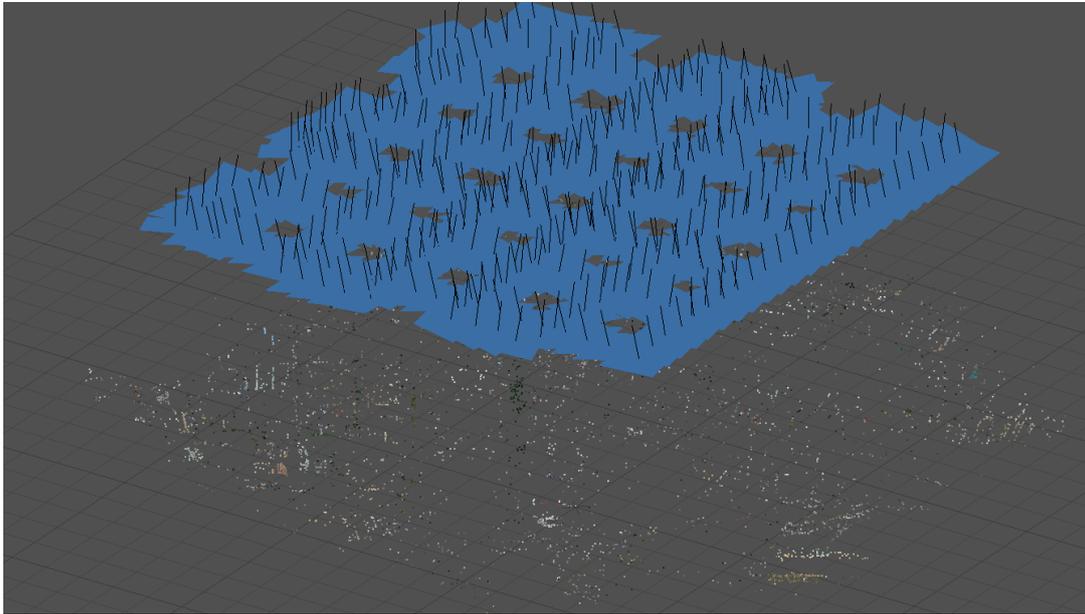


圖 4-22 影像對齊及關鍵連結點

Metashape 在完成影像對齊的過程中會自動進行「Optimize Camera Alignment」的步驟 (如圖 4-23)，根據 USGS 工作流程的說明此步驟採用的方法是 Bundle Adjustment (Over, et al., 2021) 光束法平差，另因為其中也包含像機參數的自率定計算，故此執行步驟即是進行所謂的自率光束法平差。

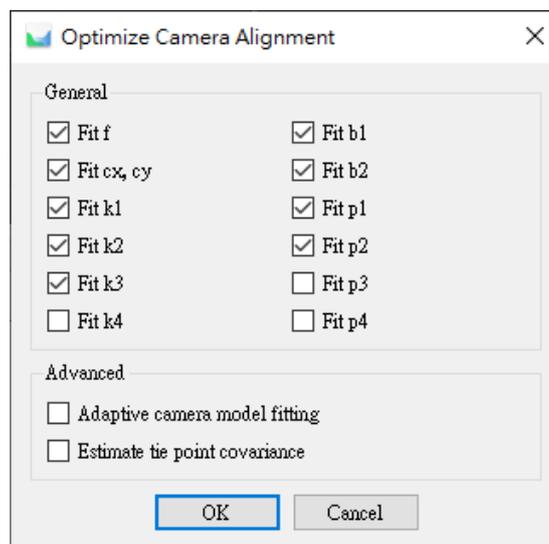


圖 4-23 像機對齊最佳化

#### 四、建立密點雲

完成影像對齊及空中三角平差解算後，基本上影像的內、外方位已解算完畢，影像的立體關係已經完成。後續建立 mesh 模型或是產製正射影像的工作，可以根據前述的影像關係、密點雲、深度圖等不同來源進行建立，但是操作手冊中的主要流程是建議採用建立密點雲的方式來產製後續成果。此處本團隊分析其原因，首先經由影像的立體關係直接建立模型，其過程是完全自動化，當中無法透過人為方式介入，而深度圖（depth map）的部分雖可透過設定條件，過濾部分雜訊或不合理的成果，但是均不如密點雲的操作來的彈性，根據密點雲成果，作業人員可自由的進行點雲分類、過濾及篩選，能有效剔除自動化過程中無法判斷處理的雜訊及錯誤。因此本研究執行過程中也採用先建立密點雲的方式辦理，並利用點雲自動分類，先過濾雜訊及錯誤的點雲成果，以避免後續模型產製的問題。

本研究建立密點雲的參數設定，其中 Quality 設定為 high，至於深度過濾（Depth filtering）模式，參考操作手冊於使用航空拍攝成果時，採用建議設定為 Aggressive，來減少細部特徵所產生的雜訊，相關設定為畫面如圖 4-24：

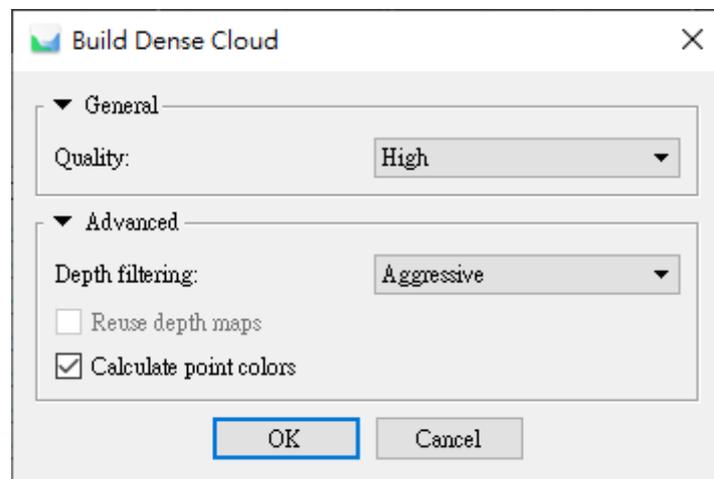


圖 4-24 建立密點雲對話窗及參數設定

完成建置密點雲之後，為提供建模時較乾淨資料的來源，本研究額外針對密點雲成果進行自動化分類，依照 Metashape 的預設類別，主要將點雲分出地面、道路、建物、植物、車輛、人造物及雜訊（超高點、超低點）等類別，並於後續建模時排除識別為雜訊類別的點雲，或者某些情況可去除車輛等不必要的資訊。其中 Confidence 參數介於 0 至 1 之間，按操作手冊說明該值越高則越無法獲得可靠的分類結果，本研究中其設定值為 0.05（如圖 4-25），分類結果按類別分色呈現如圖 4-26。

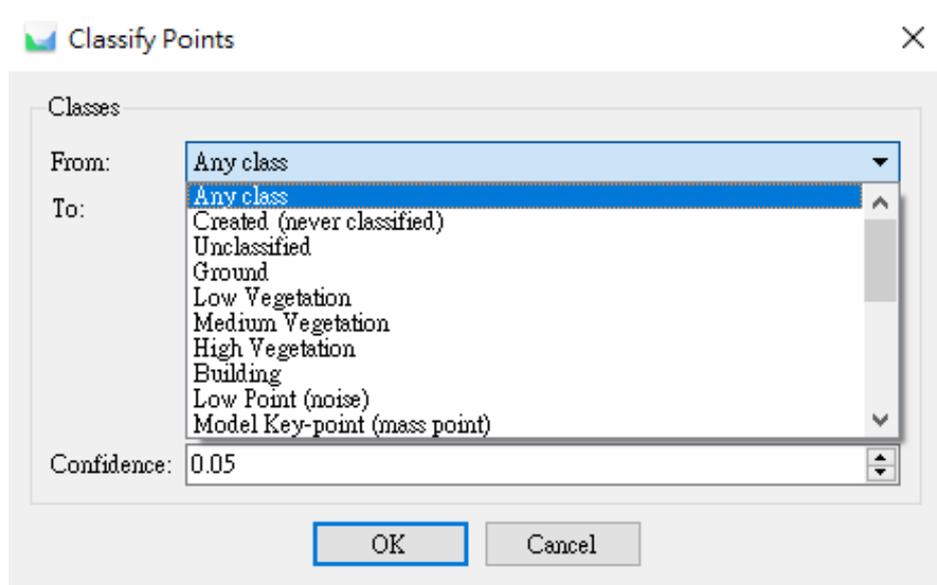


圖 4-25 自動點雲分類對話窗及參數設定

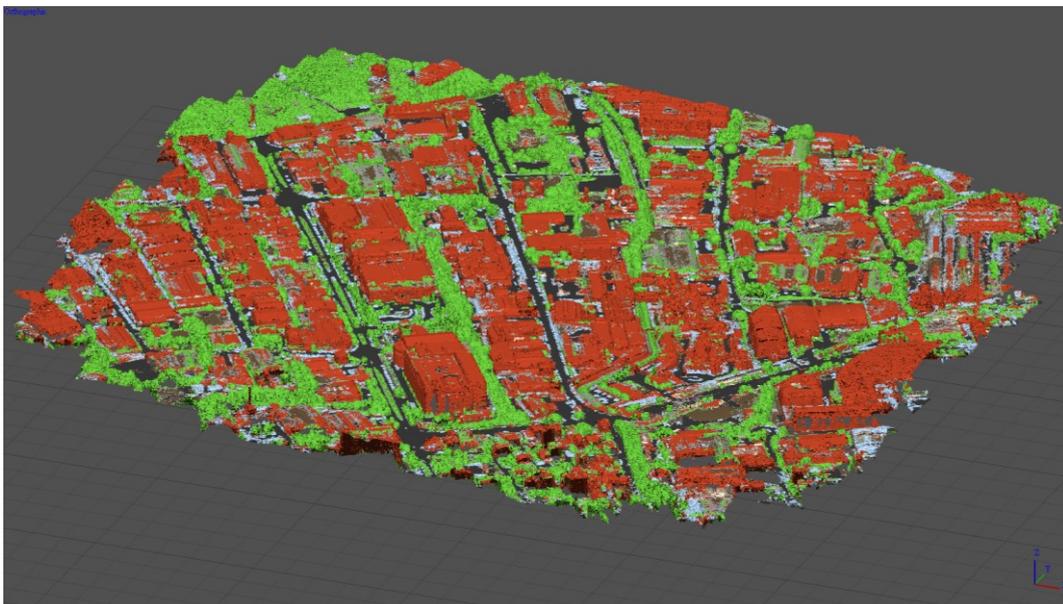


圖 4-26 自動點雲分類成果

## 五、建立 mesh 模型

本研究建立 mesh 模型使用的來源資料為密點雲 (dense cloud)，並設定 Face count 為中等 (Medium)，Interpolation 模式維持預設 Enabled，Point classes 則剔除雜訊類別 (Low Point、High Noise)。產生的 mesh 模型成果如圖 4-28 所示，為單色的多邊形模型體。

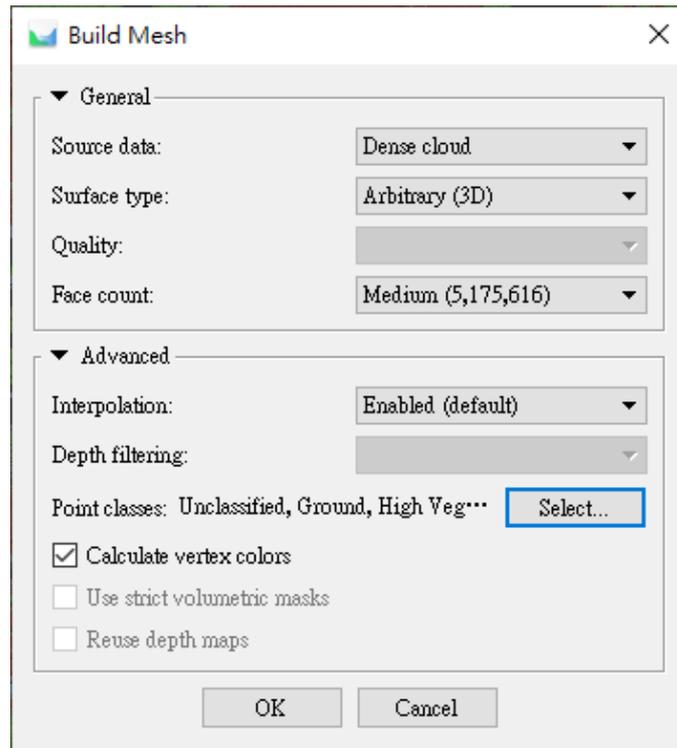


圖 4-27 建立 mesh 對話窗及參數設定

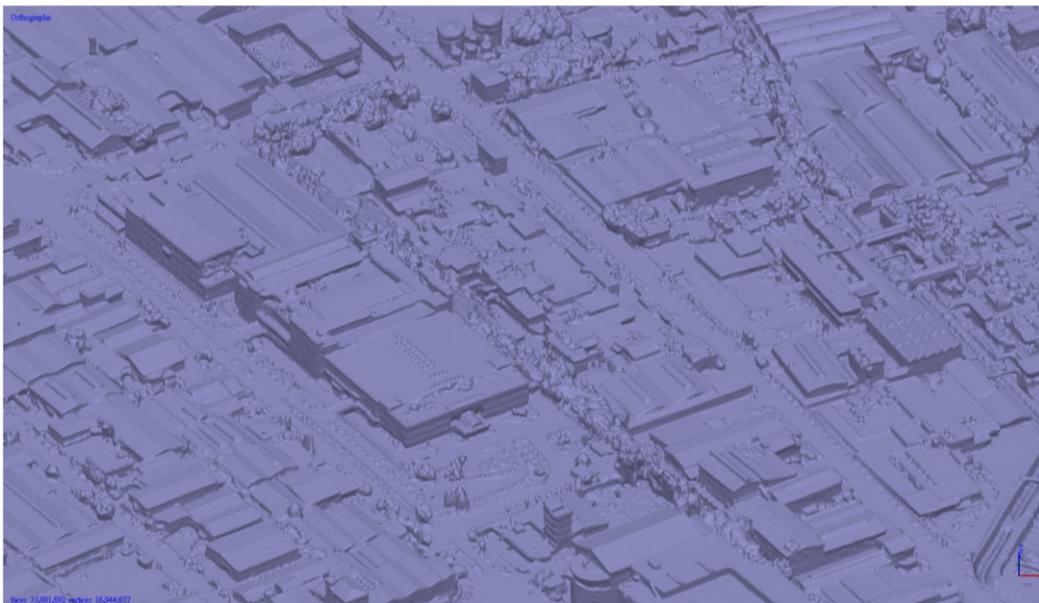


圖 4-28 mesh 模型成果

## 六、產生貼圖紋理

mesh 模型建立完成後只是一堆立體多邊形的集合，呈現的是單色的結果，後續在模型表面貼附影像紋理後可產生擬真的模型成果。本研究產生貼圖紋理的設定如圖 4-29 所示，mesh 模型貼附真實影像紋理的成果如所示。

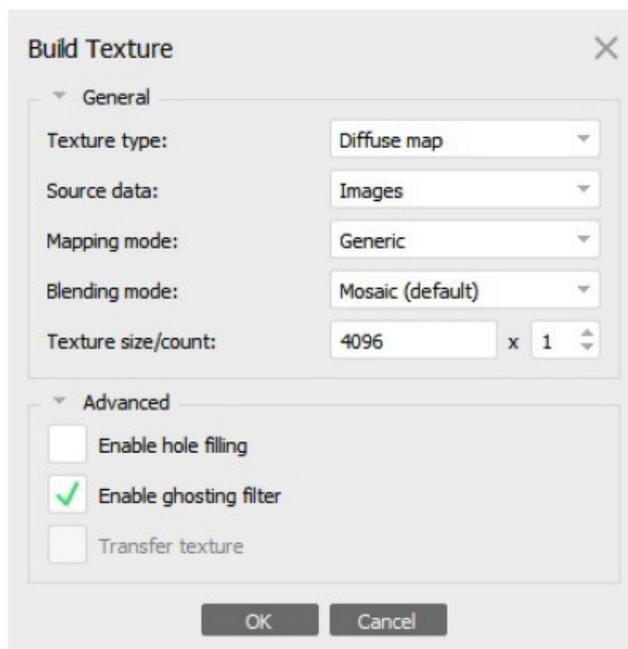


圖 4-29 產生貼圖紋理對話窗及參數設定



圖 4-30 mesh 模型貼附真實影像紋理之成果

## 七、建立模型圖磚

建立模型圖磚的用意在於原始的 mesh 模型其資料量龐大，對於模型的呈現及操作（縮放、平移）對電腦顯示均會造成嚴重的負荷，因此必須將其轉換為圖磚型態，方便後續量測作業。兩者呈現差異如圖 4-31 及圖 4-32 所示。其中可以發現 tiled 模型將全部模型劃分為一個一個小區塊，並在每個區塊的範圍中過濾並簡化三角網，以達到降低三角網數量提升運行效率的結果。

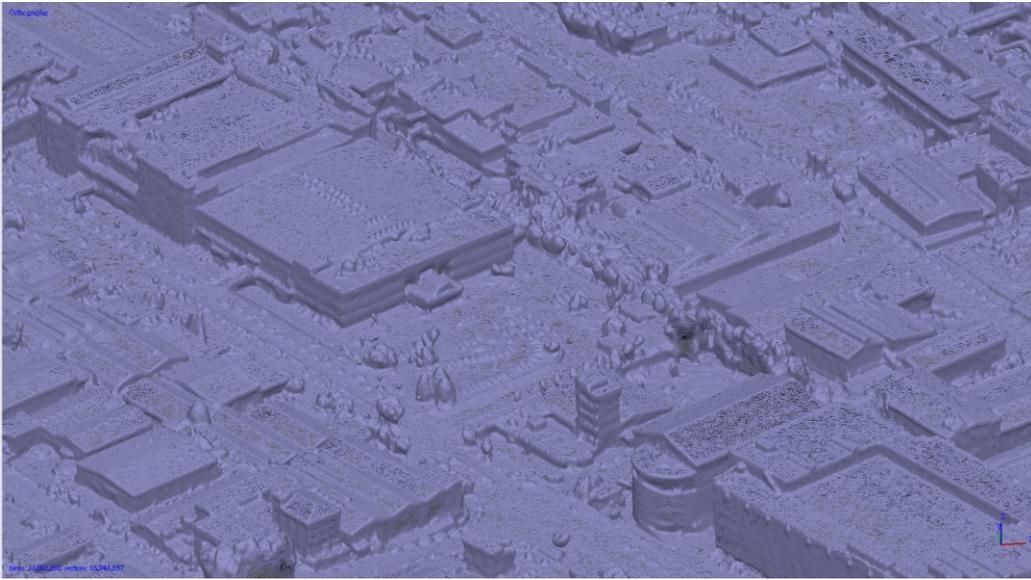


圖 4-31 mesh 模型成果

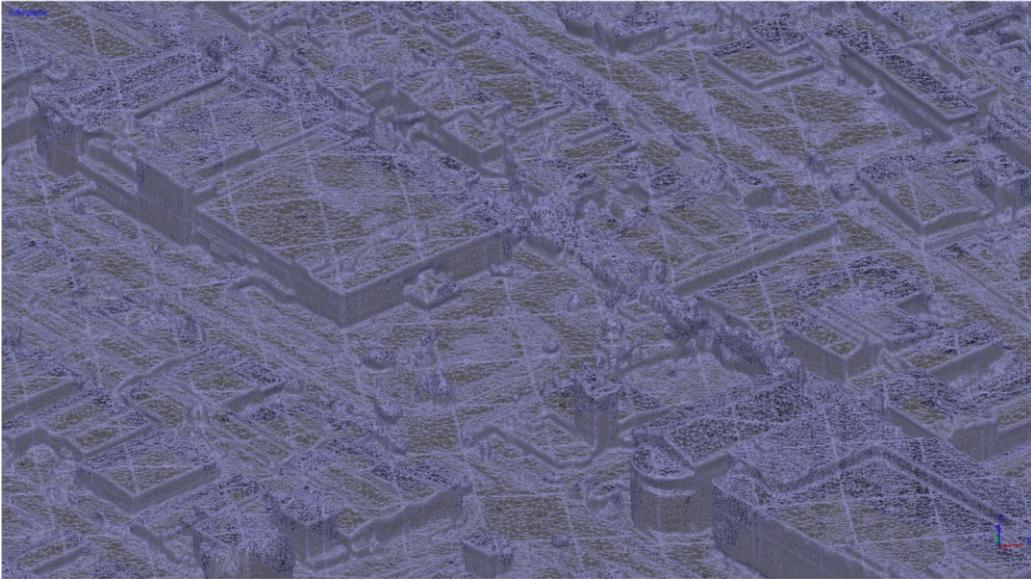


圖 4-32 tiled 模型成果

同樣的在 Metashape 中產生模型圖磚時，可以選擇資料來源為深度圖、密點雲或是既有的 mesh 模型，因前面兩種資料來源屬於尚未過濾處理的原始資料，並非本研究所需的結果，因此本研究採用前面經過處理所產生的 mesh 模型作為產製圖磚的資料來源。本研究產生模型圖磚的設定如圖 4-33 所示，其成果如圖 4-34 及圖 4-35 所示。

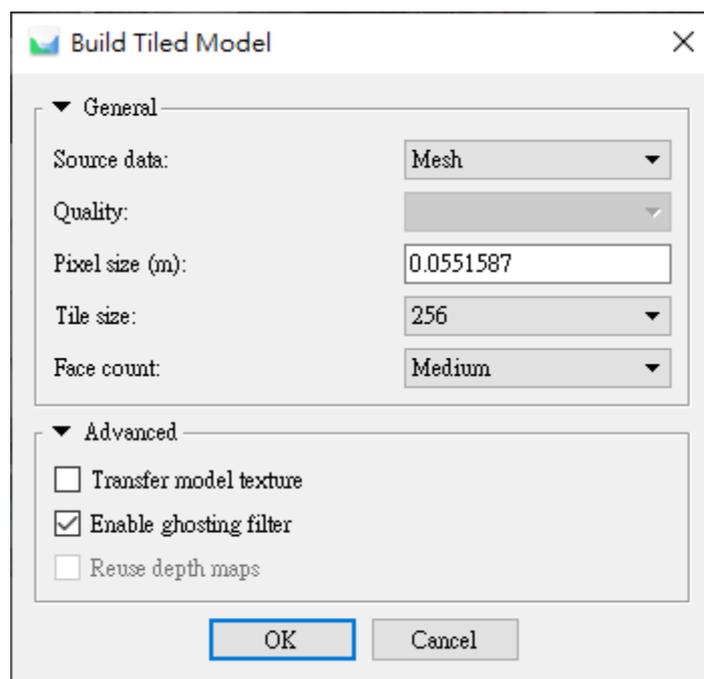


圖 4-33 建立模型圖磚對話窗及參數設定

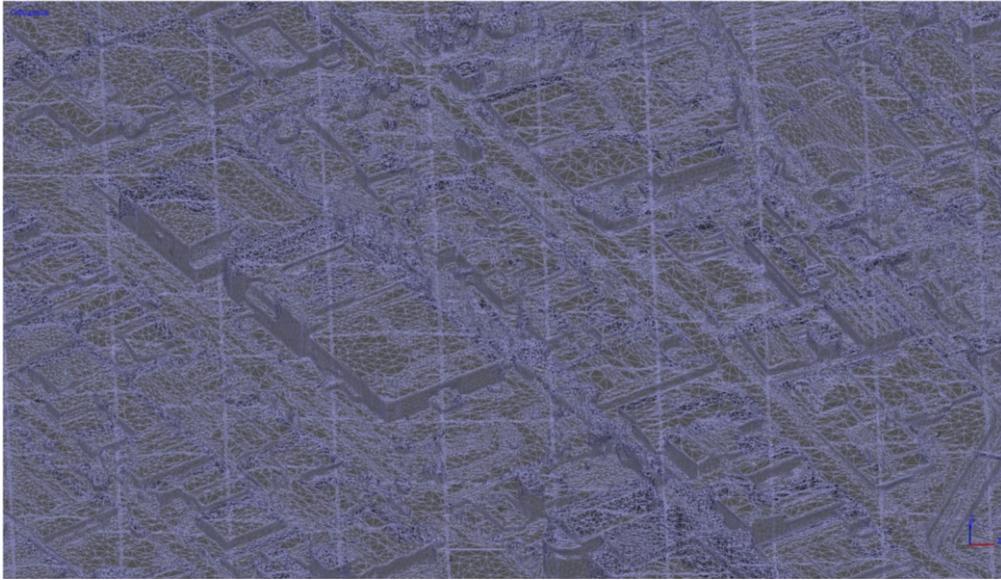


圖 4-34 模型圖磚成果（網格顯示模式）



圖 4-35 模型圖磚成果（貼附真實影像紋理）

由圖 4-35 tiled 模型成果與圖 4-30 mesh 模型成果顯示，兩者相比幾無差別，但是其操作效率天壤之別。如未來採用 mesh 數化方式來製圖，應考量模型顯示及操作之效率，將其轉換為 tiled 模型是較為可行的方案。

## 八、建立正射影像

本研究的目的是為了解不同測繪方式的製圖精度，眾所周知一般傳統的正射影像是以不含地物高度的數值高程模型進行正射糾正，其非地

面點存在高差位移的現象，無法作為直接數化製圖的來源資料，因此必須改正圖面中的高差位移，即真實正射影像（true-orthomosaic）成果。

因此本研究欲建立的正射影像為真實正射影像，所以在 Metashape 設定畫面中，來源的表面資料選擇為 mesh 而非 DEM，其設定畫面如圖 4-36，其成果如圖 4-37。

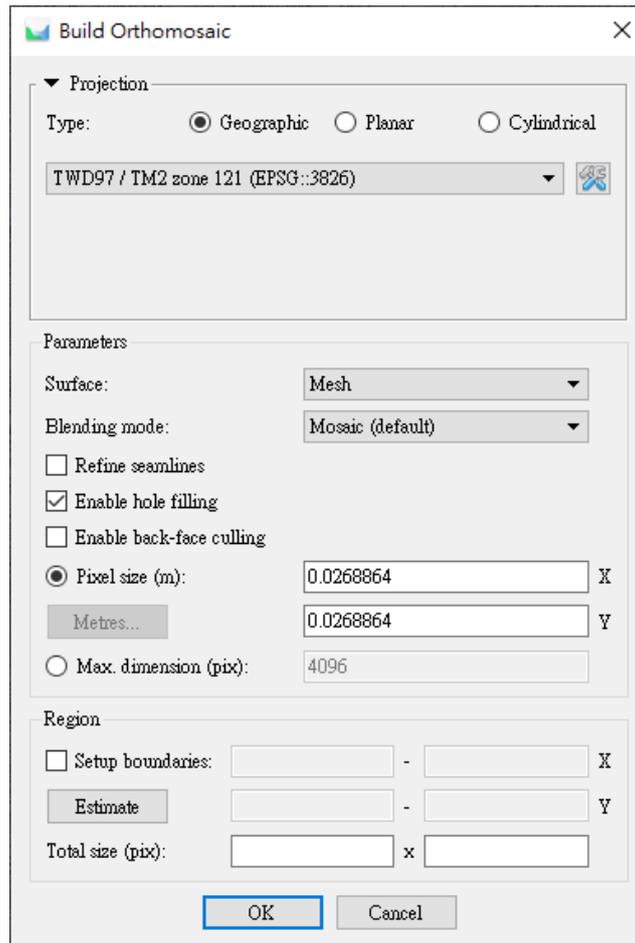


圖 4-36 建立正射影像對話窗及參數設定



圖 4-37 真實正射影像成果

## 九、成果輸出

本研究分析標的為立體像對、三維 mesh 模型及真實正射影像等 3 種成果，經 Metashape 軟體處理後可分別輸出成果如下：

### (一)立體像對相關資料

本項成果除原始影像之外，須匯出本專案解算完成的內方位及外方位資訊。其中內方位參數可由 Camera Calibration 對話窗中 Adjusted 頁籤中匯出像機參數檔，本研究統一匯出 Australis V7 Camera Parameters 格式（如圖 4-38），以利後續 ERDAS LPS 影像工作站讀取，以執行立體模型量測作業。

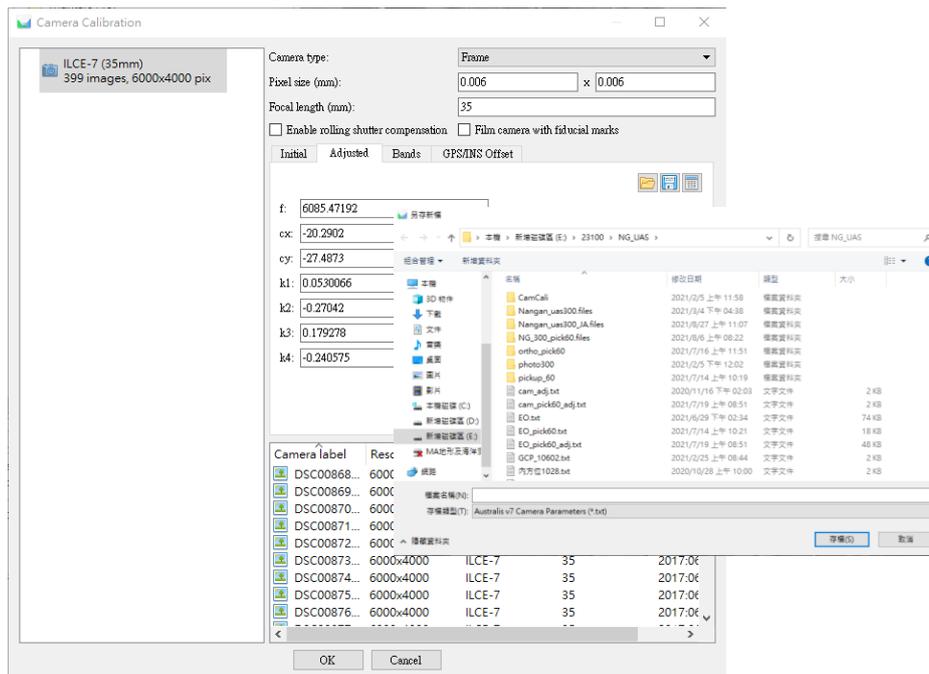


圖 4-38 像機參數匯出對話窗

至於外方位成果則匯出 CSV 格式，並勾選 Save estimated values，其設定畫面如圖 4-39，其輸出成果如圖 4-40 所示，黃色標示之範圍即解算後的外方位成果，後續使用 ERDAS LPS 進行立體量測時，即帶入此外方位數值。

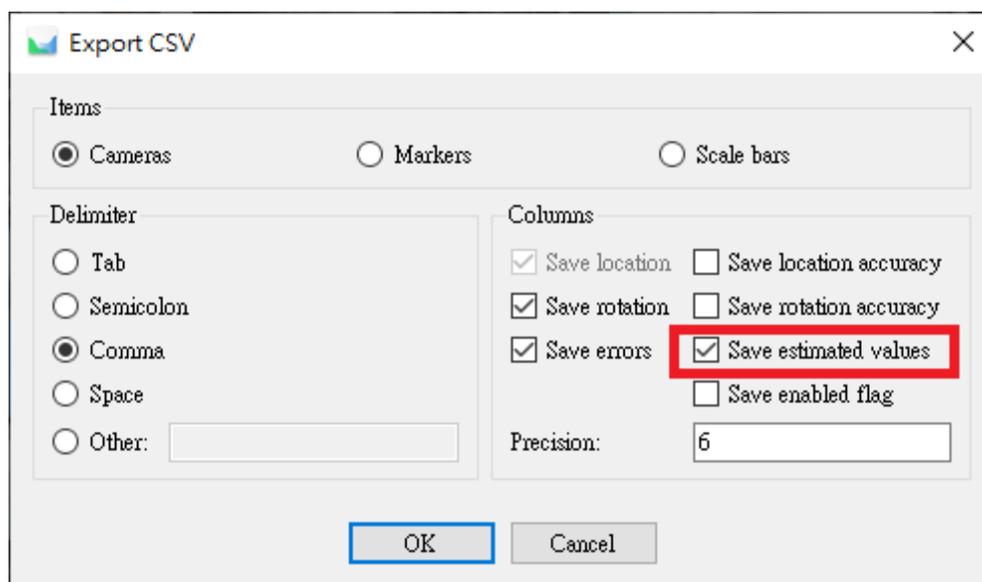


圖 4-39 外方位匯出功能對話窗

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
	X_easting	Y_Northing	Z_Altitude	Omega	Phi	Kappa	Emr (m)	X_emr	Y_emr	Z_emr	Emr (deg)	Omega_emr	Phi_emr	Kappa_emr	X_emr	Y_emr	Z_emr	Omega_emr	Phi_emr	Kappa_emr					
1	120.6621351	23.9261185	507.07				11.81343377	-0.60006629	6.26490467	9.99740863					120.6621291	23.92617505	517.0671055	-12.20259235	-1.46220065	1.19776897					
2	120.6621303	23.9263979	506.66				12.3254208	-1.18352384	7.55131	9.66775459				120.6621185	23.92646606	516.237735	-11.21493371	-3.01425234	4.1782181						
3	120.6621252	23.9266174	506.79				12.53530508	-0.28507899	7.35542962	10.04521995				120.6621222	23.9273888	516.8252399	-11.85924988	-5.71988685	8.01943245						
4	120.6621185	23.9269487	506.92				11.22128291	-0.15130841	6.01149108	9.47385171				120.6621169	23.92700297	516.9938489	-12.47654192	-1.63999771	5.36134561						
5	120.6621176	23.9272183	506.56				12.31805266	-0.53302469	7.61555227	9.66708342				120.6621122	23.92728704	516.2270788	-11.40851782	-1.63552046	7.12088061						
6	120.6621173	23.9274925	506.82				11.86684393	-0.95703301	7.4568291	9.18159967				120.6621077	23.9275598	516.8011982	-10.92494118	-1.71438871	6.81125708						
7	120.6621172	23.9272762	506.77				11.40801152	-1.10220013	7.46756981	8.56462076				120.6621062	23.92782939	515.2340165	-10.64564206	-2.26627579	3.34678086						
8	120.6621147	23.9280399	506.26				10.93244335	-1.20730494	7.03796544	8.27815044				120.6621027	23.92810341	514.5318164	-10.90243066	-1.95557545	8.2479681						
9	120.6621079	23.9283105	506.69				11.54420449	-0.91979229	8.05601727	8.21725168				120.6620987	23.92838321	514.6072465	-11.95190077	-1.29638357	5.34311512						
10	120.6621096	23.928587	506.52				10.64270658	-0.65728288	6.41913348	8.21051377				120.6621033	23.92864494	514.7305281	-11.2306468	-3.0246861	6.25559414						
11	120.6621112	23.9288664	506.51				11.97474299	-2.12559001	6.49331632	9.97622863				120.6620985	23.92902119	516.4862252	-11.2262969	-2.55812833	6.59964216						
12	120.6621041	23.9291357	506.84				12.51186214	-0.98702253	7.39813133	10.0419192				120.6620941	23.92920247	516.8819148	-10.73792165	-1.9116321	6.51960031						
13	120.6621027	23.9294052	506.74				12.65339866	-0.96714862	7.46017458	10.17442338				120.662093	23.92947253	516.9141199	-11.01890539	-4.5066654	5.9829988						
14	120.6621039	23.9296799	506.56				12.33859277	-0.72700406	6.52970591	10.44391101				120.6620966	23.92973883	517.0039016	-10.94709376	-0.7912554	4.9702075						
15	120.6621038	23.929954	506.88				12.47607597	-0.62696709	7.54660457	9.91250955				120.6620975	23.93002212	516.7928024	-11.82185319	-1.2307896	4.8005244						
16	120.6621026	23.930215	506.76				12.66462963	-0.39025239	8.02780707	9.76375074				120.6620968	23.93030397	516.5234757	-11.28767835	-1.18347254	5.54017327						
17	120.6621008	23.9305109	506.68				12.77646862	-0.98534018	7.23267067	9.87062619				120.662091	23.93057618	516.8526522	-11.66822338	-1.80839755	5.2482736						
18	120.662098	23.9307902	506.74				12.79412886	-0.51268629	8.11918427	9.87449264				120.6620928	23.93086349	516.6144874	-11.02116984	-1.15780754	5.58174452						
19	120.6620985	23.9310613	506.83				12.27388994	-0.03153344	7.30772142	9.80399232				120.6620988	23.93112727	516.4633901	-10.98495229	-3.34864253	4.86568072						
20	120.6620943	23.9313331	506.79				12.45935164	0.13131752	7.22459403	10.15004631				120.6620954	23.93139833	516.9400422	-10.47180404	-1.68654014	6.89100345						
21	120.6620888	23.9316101	506.72				12.8868798	0.55889574	7.53321385	10.3193107				120.6620941	23.93167812	517.0393206	-10.21140343	-0.47502691	6.42934932						
22	120.6620969	23.931884	506.75				12.92525272	0.22590812	7.38287818	10.61566028				120.6620939	23.93195086	517.3656561	-9.90626596	-0.91688225	6.52260939						
23	120.66209	23.9321559	506.84				12.96609551	0.44124042	7.43488507	10.649851				120.6620914	23.93222484	517.4108807	-11.14280164	-1.0666784	7.9977808						
24	120.662087	23.9324302	506.71				10.95455735	-0.25861064	2.61161416	10.61494922				120.6620844	23.93251577	517.3248487	-10.54820399	-1.42291165	8.911612574						
25	120.6617966	23.9325026	506.64				9.24346182	-6.14597711	-2.06932379	7.27187398				120.6617363	23.93248379	513.9118707	0.46152349	-12.02249953	8.68891801						
26	120.6614996	23.9324956	506.54				9.89326466	-5.53469286	-1.74409774	8.01273751				120.6614455	23.93247972	514.2527349	1.91963313	-11.59784972	8.70460465						
27	120.6611946	23.9324911	506.79				9.64699185	-5.90710214	-1.16609973	7.81134074				120.6611406	23.93248445	514.6133384	1.77127216	-12.7298366	86.7208494						
28	120.6609003	23.9324716	506.55				9.86890707	0.95924164	-5.60986724	8.0621541				120.6609099	23.93242097	514.6121516	12.7234517	-4.91011777	177.6691518						
29	120.6608099	23.9322031	506.96				12.04028724	3.76151189	-8.18541383	7.98865105				120.660907	23.93212928	514.9488447	11.9215617	-3.29798808	170.3824742						
30	120.6608083	23.9319269	506.69				13.11145901	2.81243205	-10.5816852	7.57042575				120.6609109	23.93183143	514.2604163	12.0894561	-2.53379485	167.9414453						
31	120.6608087	23.9316506	506.74				12.59062967	2.42110945	-9.41645605	7.99959318				120.660911	23.93156564	514.7395807	12.48209332	-4.0666784	167.5584354						
32	120.6608862	23.9313761	506.84				12.12729937	1.63903353	-9.6222338	7.39749928				120.6609025	23.93128027	514.0372418	12.51937279	-6.02668558	167.7792311						
33	120.660889	23.9311037	506.57				13.2052992	1.75818301	-10.57908573	7.05030107				120.6609065	23.93100823	514.212922	11.96785268	-5.39667553	166.656884						
34	120.6608994	23.9308301	506.82				12.56640021	0.86977616	-9.39681111	7.90148508				120.6608992	23.93074249	514.7214776	12.06210006	-4.8597224	165.9708108						
35	120.6608928	23.9305521	506.83				12.2133796	0.24028456	-9.85259206	7.21358106				120.660894	23.93046618	514.0313574	12.1915312	-5.63368584	165.4906872						
36	120.6608945	23.9302747	506.78				12.60743732	-0.35262535	-10.66031773	6.72173154				120.6608911	23.93017845	515.4917226	12.59717487	-4.1439414	165.8325148						
37	120.6608969	23.9300025	506.78				11.87204184	-0.46771987	-9.58626902	6.98785103				120.6608925	23.92991594	515.7678438	12.21244448	-5.6747696	167.3813391						
38	120.6608912	23.9297253	506.73				12.70034099	0.84232056	-10.5697914	7.62739324				120.6608988	23.92962989	513.7512944	12.23701221	-3.10368849	167.1435257						
39	120.6608971	23.9294553	506.74				12.4453968	0.89413032	-9.91916533	7.95664911				120.6609011	23.92965678	514.2465404	12.6669893	-4.20396621	167.5883357						
40	120.6608984	23.9291756	506.83				13.079359	0.14995886	-10.8791019	7.25894529				120.6609001	23.92907739	513.088036	12.49424512	-4.4521613	167.783080						

圖 4-40 解算後外方位資料

## (二) mesh 模型成果

前開已說明 mesh 模型成果本身資料龐大難以運用於實際量測作業中，需轉換為 Tiled 模型，故本研究所謂輸出 mesh 模型成果，即是已轉換為 Tiled 模型的 mesh 成果。另本研究用於 mesh 模型量測的工具係使用同為 Agisoft 產品的 Agisoft Viewer，其支援格式為 (\*.tls)。於 Metashape 中將 Tiled 模型成果輸出成 tls 格式可直接於 Agisoft Viewer 中開啟並進行量測作業，其作業畫面如圖 4-41。

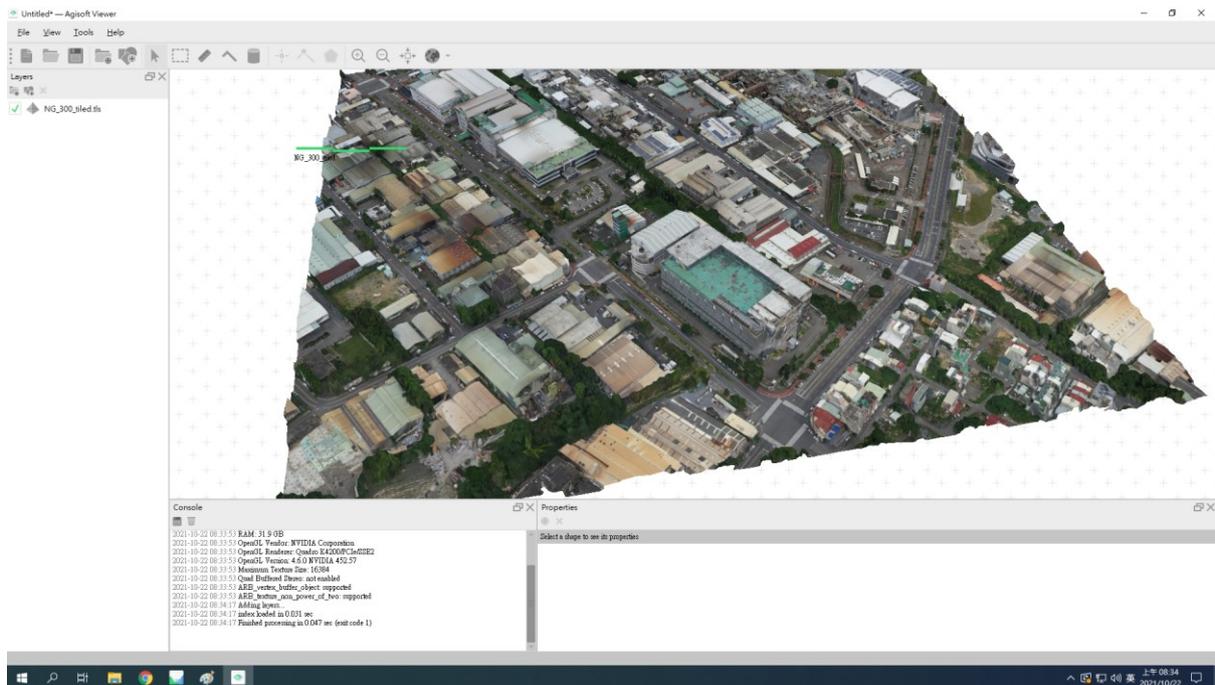


圖 4-41 於 Agisoft Viewer 中開啟 mesh 模型

### (三)正射影像成果

本研究輸出之正射影像其產製來源為 mesh 模型，因模型本身即已重建所有地物之高程，其垂直正射取像時，理論上是無高差位移的現象，但是實際上仍會存在量測誤差，雖然無法百分之百消除高差位移，但是可視為接近無高差位移的真實正射影像。

本研究輸出正射影像時，考量原始航拍影像的地面解析度非常高（3~5 cm），所產出的正射影像檔案資料量會非常龐大，因此匯出時同樣採用圖磚的概念，以劃分區塊的方式匯出 Tiff 圖像檔，並同時建立 dgn 格式之索引圖檔（如圖 4-42），後續實際進行量測作業時可分區載入圖像，減少存取時間提高操作效率。

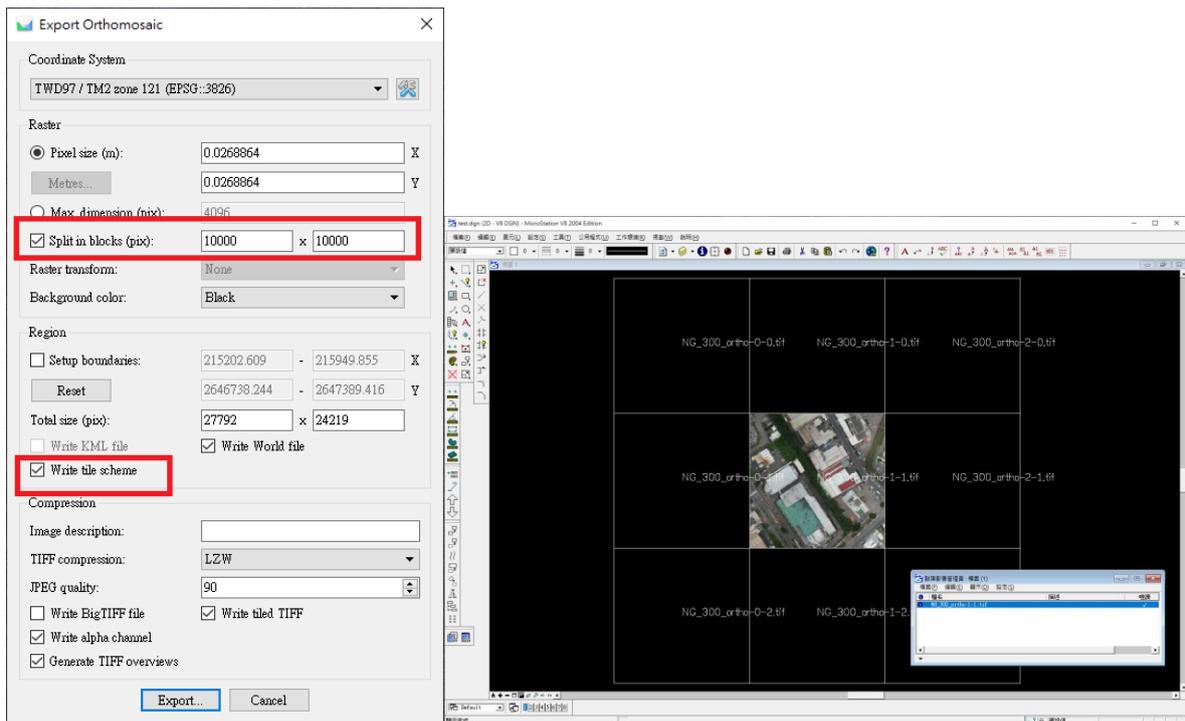


圖 4-42 正射影像輸出及建立分區索引

### 參、三維網格模型質量問題

本研究在進行三維網格模型建置的過程中，發現 2 個建模品質上的問題，第 1 個問題是在依照 Metashape 操作手冊的標準流程進行時，其影像方位重建的成果，在不同的案例中無法每次都獲得理想結果，一般來說會希望求解過程中穩定收斂，並且其誤差量（Reprojection Error）小於 1 個 pixel，但是部分測試區在標準流程下，無法順利縮減到 1 個 pixel 以下（如圖 4-43），這表示經由外方位交會所得的地面點會存在較大的誤差橢圓；第 2 個問題是所建立的三維模型在人工構造物的稜角處會有明顯的圓角圓邊效果，這對於後續描繪數化會有非常嚴重的影響（如圖 4-44）。

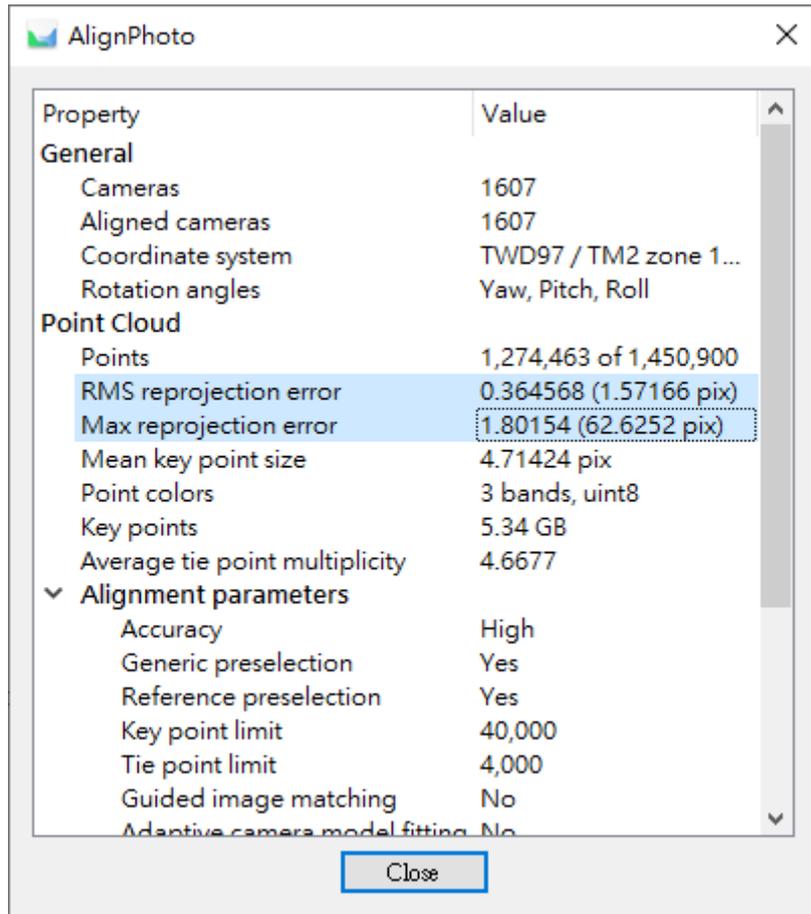


圖 4-43 初步方位重建結果及其誤差量



圖 4-44 人工構造物的邊緣圓角問題

針對上述 2 個問題本團隊認為首要任務必須先提升影像方位重建的精度，確保建立密點雲時所有點雲的精度是可靠的，後續組建模型時

嘗試找尋銳化的方式修整模型成果。以下分別說明前開問題解決方式及成效。

### 一、提升影像方位重建精度

對於提升影像方位重建精度的議題，本團隊瀏覽了 Agisoft 的相關技術論壇，彙整大部分技術建議後，統一參考 USGS 提出的工作流程文件（如圖 4-45），使用其作業流程作為本研究改善影像方位重建精度的方法。

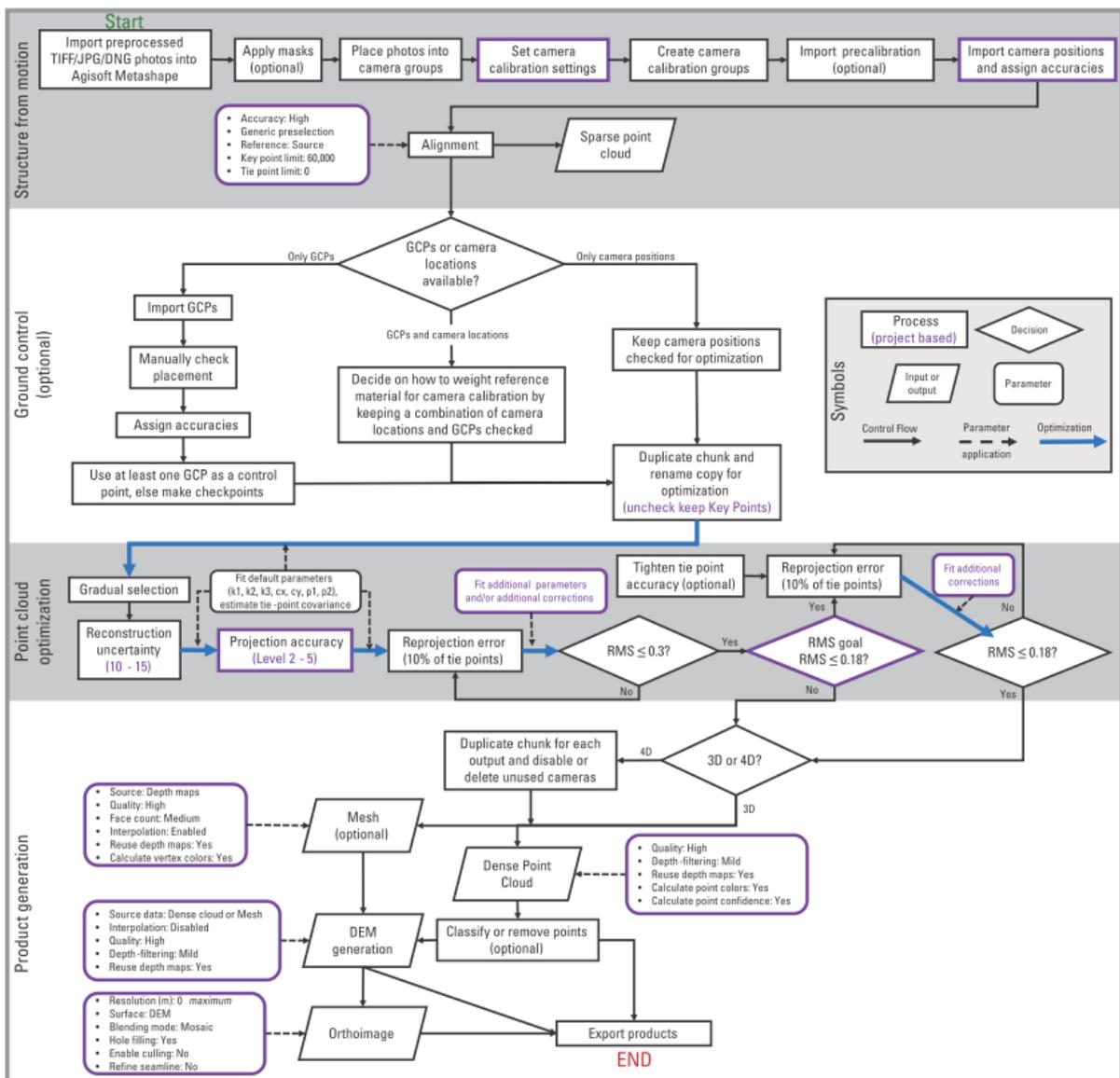


圖 4-45 USGS 工作流程圖 (Over, et al., 2021)

前開流程對於提升影像方位重建精度的方式，主要使用 Metashape

的漸進篩選 (Gradual selection) 工具進行過濾及偵錯。參考其步驟使用 Gradual selection 工具依序針對 Reconstruction Uncertainty、Projection accuracy、Reprojection Error 等 3 項指標進行連結點篩選，以下分別說明其操作方式及其含意。

### (一)依 Reconstruction Uncertainty 篩選

根據 Metashape 操作手冊中的敘述 Reconstruction Uncertainty 是三角交會點誤差橢圓的最大半軸與最小半軸的比率。該誤差橢圓是對應於單獨點三角交會時的測量不確定性，而沒有考慮來自內部和外部方向參數的不確定性的傳播。

$$\sqrt{k_1/k_3}$$

其中，

$k_1$ ：連接點協方差矩陣的最大特徵值，

$k_3$ ：連接點協方差矩陣的最小特徵值。

手冊中補充說道 Reconstruction Uncertainty 值較高的點，是由較短基線的鄰近照片所重建的典型案例，並表示這些點可能會偏離實際上的物體表面，成為影響建構幾何體的雜訊。

另外，根據 USGS 工作流程的說明中指出：一般會將 Reconstruction Uncertainty 限制在 10 以下，當 Reconstruction Uncertainty 等於 10 的時候，相當於製圖基高比 (base-to-height ratio) 為 1:2.3，即視差交會夾角約為  $23^\circ$ ；而 Reconstruction Uncertainty 等於 15 的時候，相當於製圖基高比 (base-to-height ratio) 為 1:5.5，即視差交會夾角約為  $10^\circ$ 。

我們可以知道在三角交會的過程中，夾角越小其幾何強度越弱，則成果的不確定性越高，所以在工作流程中，第 1 個篩選步驟首先濾除高

不確定性的連結點（如圖 4-46）。

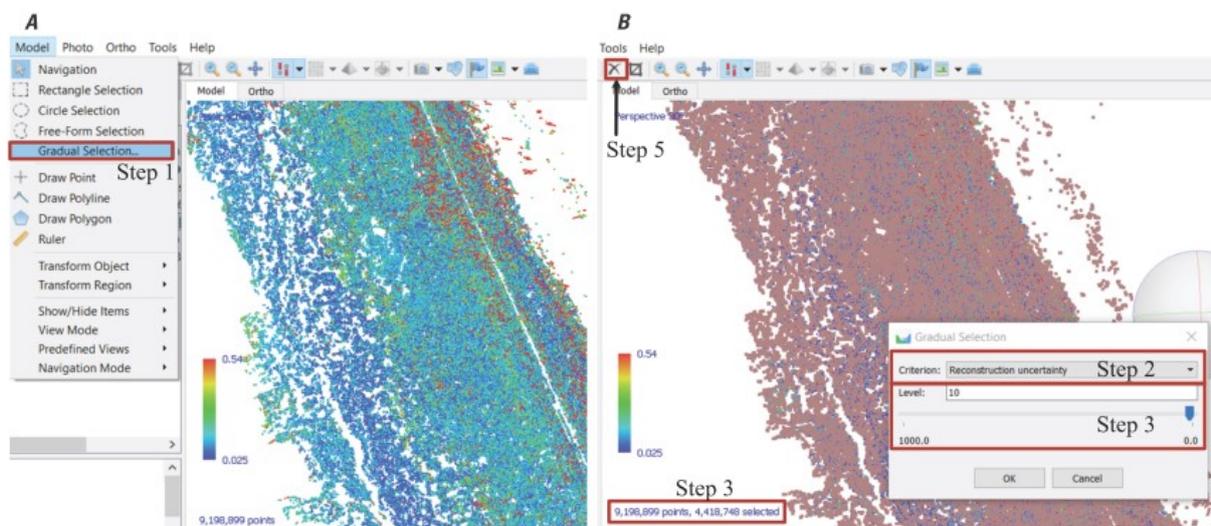


圖 4-46 Reconstruction Uncertainty 篩選步驟 (Over, et al., 2021)

USGS 工作流程中提示本步驟可重複疊代達到 Reconstruction Uncertainty 小於 10，並且每次刪除不超過 50%的連結點數，並在每次執行時要監看每張影像的連結點數以及單位權中誤差，以避免過度刪除或是參數過度擬合的狀況發生。

## (二)依 Projection accuracy 篩選

根據 Metashape 操作手冊中的敘述 Projection accuracy 是測量連接點像坐標的平均像比例。

$$\sum S_i/n$$

其中，

$s_i$ ：該點在第  $i$  個影像上測量相應投影坐標的像比例。

$n$ ：該點被量測的影像數量。

另外，根據 USGS 工作流程的說明中指出：Projection accuracy 是“關鍵點平均大小”的一種量測值；關鍵點大小（以 pixel 為單位）是在找到關鍵點的尺度下高斯模糊的標準偏差。標準偏差值越低，能更在

空間中獲得更準確的定位結果。因此，關鍵點平均大小的值越小，關鍵點在影像中的定位就越精確。而投影精度本質上是在給定關鍵點的大小的情況下可以知道連接點精度的指標。最高精度的點被分配到級別 1，並根據像素的相對大小進行加權。分配給級別 2 的連接點的投影不準確度是級別 1 的兩倍。並非所有的案件都可以容忍 2~3 級的篩選程度，特別是如果經過壓縮或者由於噪聲或模糊而造成低品質的影像，將難以進行到 2~3 級。此時，設定等級 5 或 6 的篩選值可能是較佳的選擇。

透過上面敘述可知 Projection accuracy 可以看成當影像中的關鍵點要匹配成連結點時，電腦看到的是較模糊的目標還是較清晰的目標，如果是在較模糊的情況下所匹配到的，那麼這個點的精度可能會比較差，而 Projection accuracy 指標所要透露出的訊息大約是這個概念。

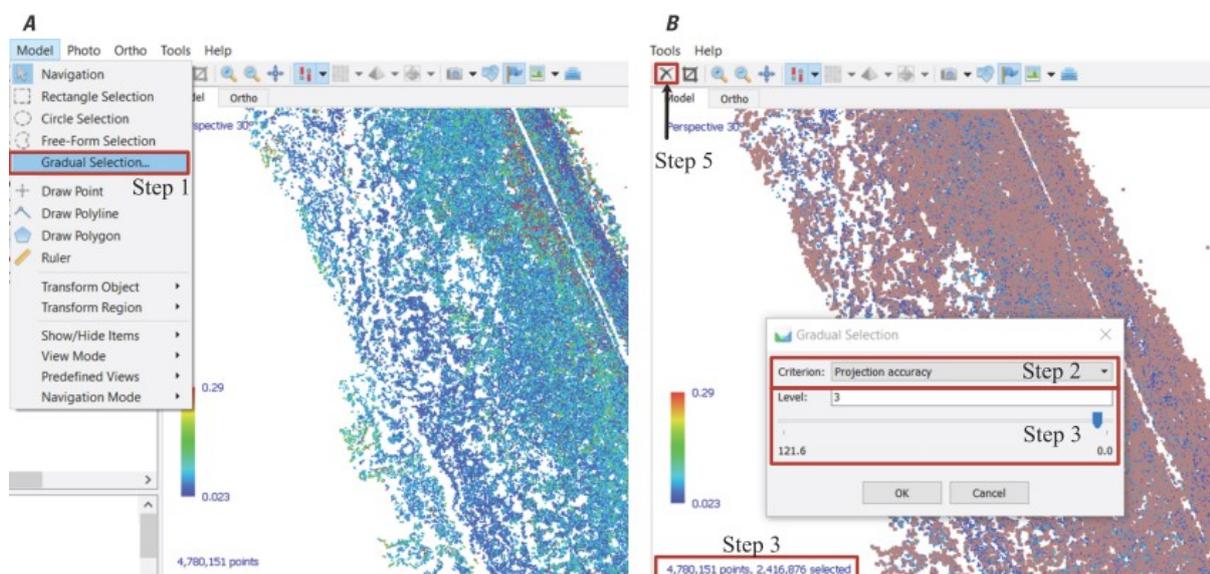


圖 4-47 Projection accuracy 篩選步驟 (Over, et al., 2021)

在實際操作時會先將 Projection accuracy 的門檻直接設定為 3 (如圖 4-47)，並檢視被選擇的連結點數不超過 50%，如果超過 50%則以 0.1 的級距逐步放寬至點數少於 50%，放寬的越多可能代表原始的拍攝影像可能是經過壓縮或者由於噪聲或模糊而造成低品質的影像，由於數據的失真或破壞是不可逆的，所以應改善取像的方式及品質。

### (三)依 Reprojection Error 篩選

根據 Metashape 操作手冊中的敘述 Reprojection error 是連結點在各影像中平差前後像坐標殘差經正規化後的最大值，其單位是 pixel。可以簡述為該連結點的最大殘差。

$$\max |x'_i - x_i| / s_i$$

其中，

$x'_i$ ：該點在第  $i$  個影像中經平差後的點位投影坐標。

$x_i$ ：該點在第  $i$  個影像中經量測的點位投影坐標。

$s_i$ ：該點在第  $i$  個影像上測量相應投影坐標的像比例。

另外，根據 USGS 工作流程的說明中指出高重投影誤差通常表示點匹配步驟中相應點投影的定位精度較差，透過重複逐步刪除連結點及平差步驟，直至未加權的 Reprojection error 的 RMS 介於 0.13~0.18 之間（如圖 4-48），可有效降低 Reprojection error。

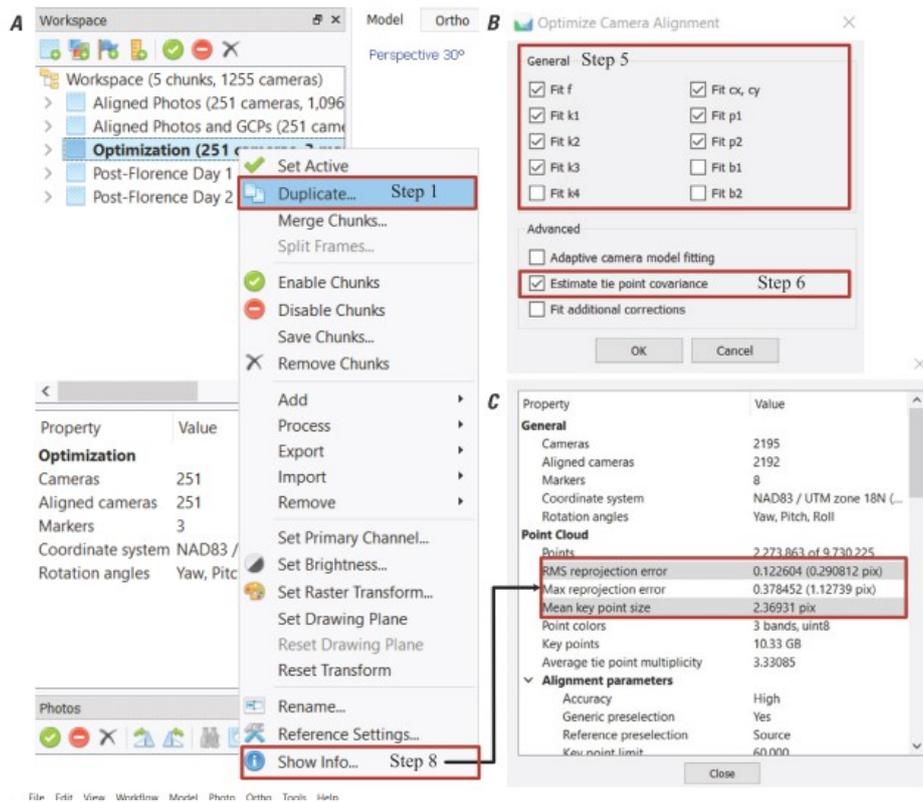


圖 4-48 檢視 Reprojection error 的 RMS

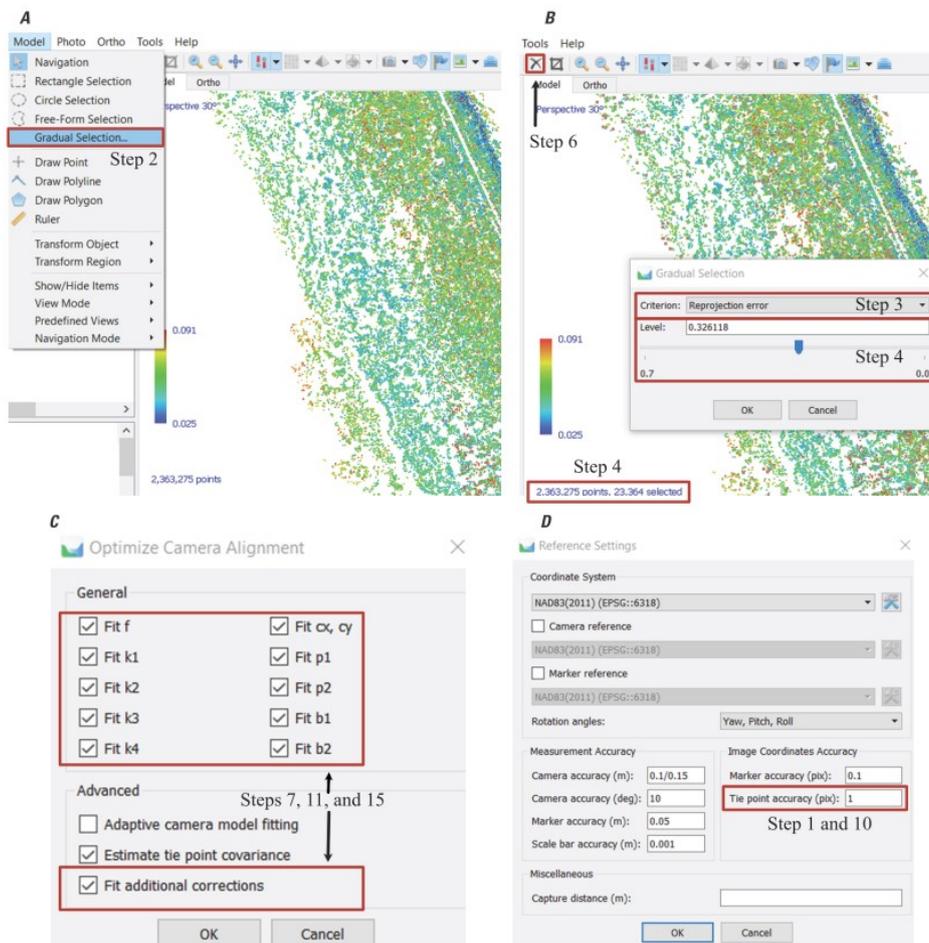


圖 4-49 Reprojection error 篩選步驟 (Over, et al., 2021)

此步驟必須逐步疊代處理，每次預選刪除 10%左右的連結點數，直至 Reprojection error 小於 0.3 (如圖 4-49)，並通過監控像機及控制點的誤差，在超過所設定的先驗誤差時停止疊代。

## 二、改善構造物模型圓角問題

本研究執行過程中，發現所建立的三維網格模型在建物邊緣常常會產生圓角的現象 (如圖 4-50)，產業界也曾提出確有此現象。



圖 4-50 建物圓角現象

本研究團隊根據此現象分析後，提出該現象假設係因密點雲生成時，點雲並非完美的座落於實際建物表面上，而點雲要完美的座落於建物的邊緣線上更是難上加難，在構成三角網時因為沒有實際點雲坐落在邊緣線上，所以三角網會呈現如圖 4-51 的狀況，由牆面兩側的密匹配點雲直接連線，因此會產生圓角的狀況。

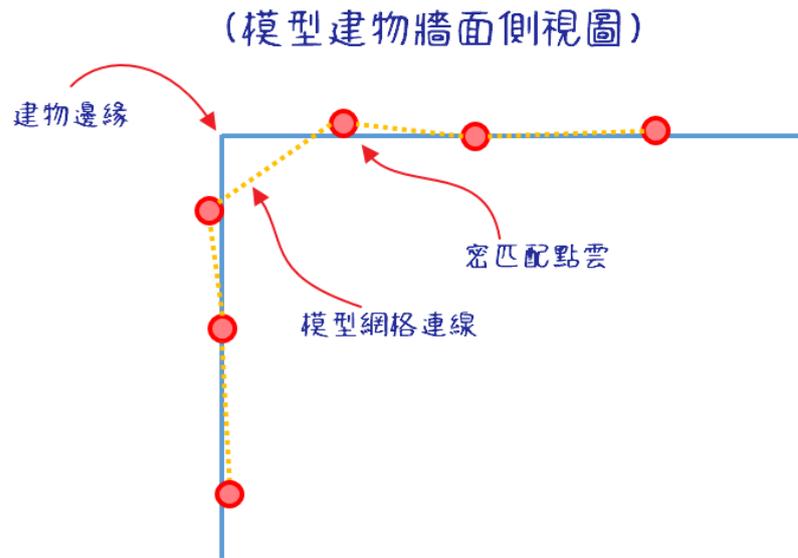


圖 4-51 建物邊緣三角網構成示意圖

有關資料實際狀況分述如下：

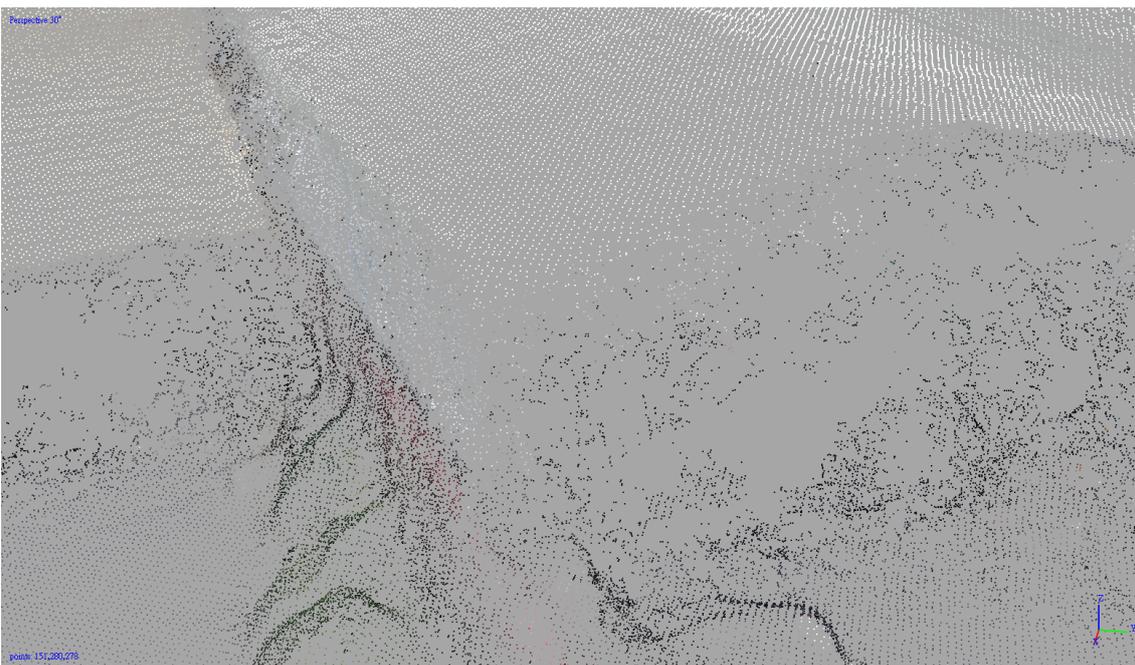


圖 4-52 密匹配點雲成果

圖 4-52 為影像密匹配點雲成果，圖中可以發現點雲的分布是不規則的，位於屋簷附近的點雲很明顯並非坐落於實際屋簷邊緣處，可以想像軟體在建立三角網格時，連線的方式很有可能會如圖 4-51 的現象穿越牆面連線造成邊緣圓角。

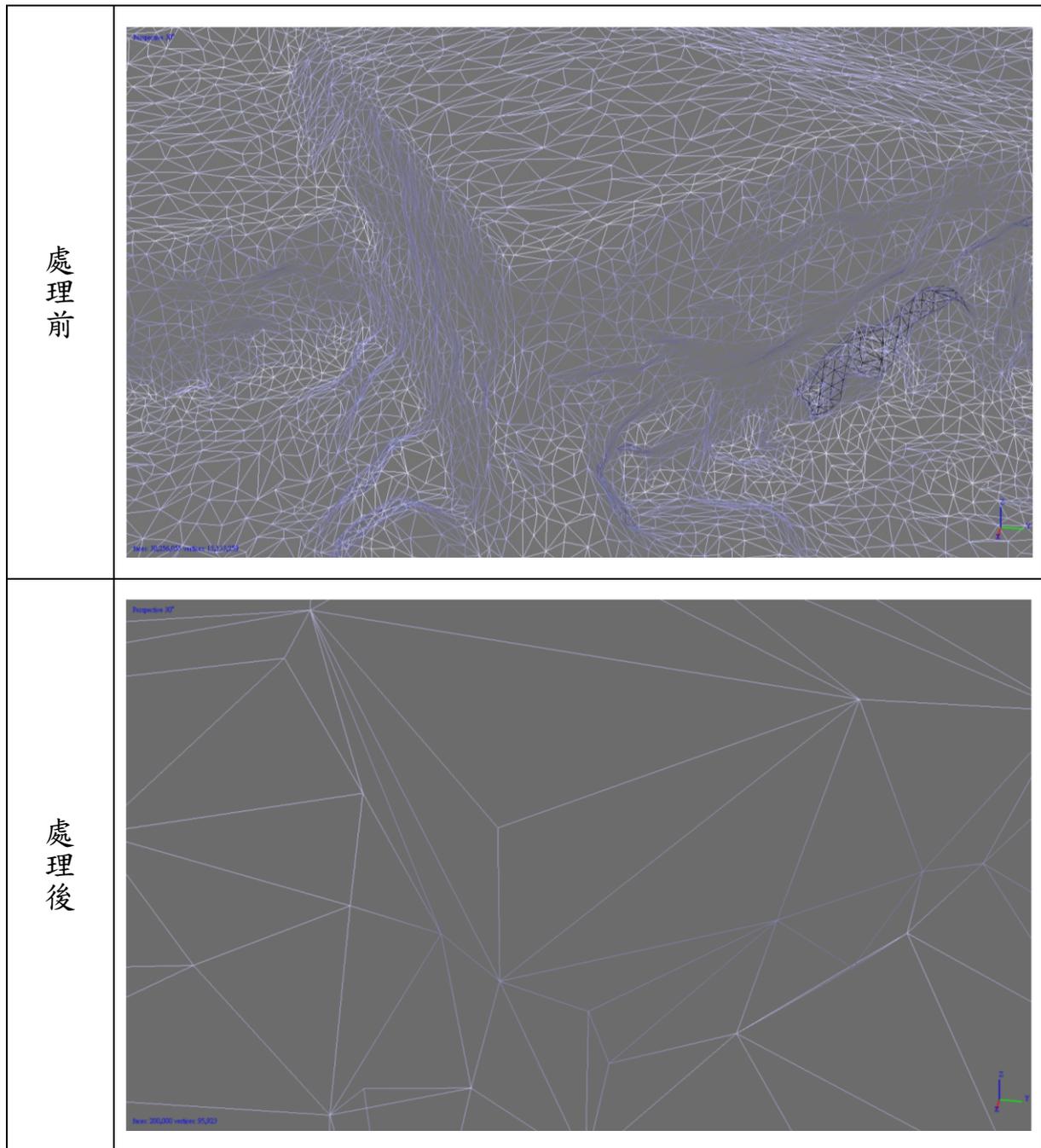


圖 4-53 網格狀態顯示

圖 4-53 是經由點雲建構三角網的成果，處理前的畫面可以發現在建物邊緣處三角網連線方式的確會呈現圓角的現象，本研究希望處理後能夠像下方畫面呈現銳利的邊緣，並且牆面呈現平整的結果。

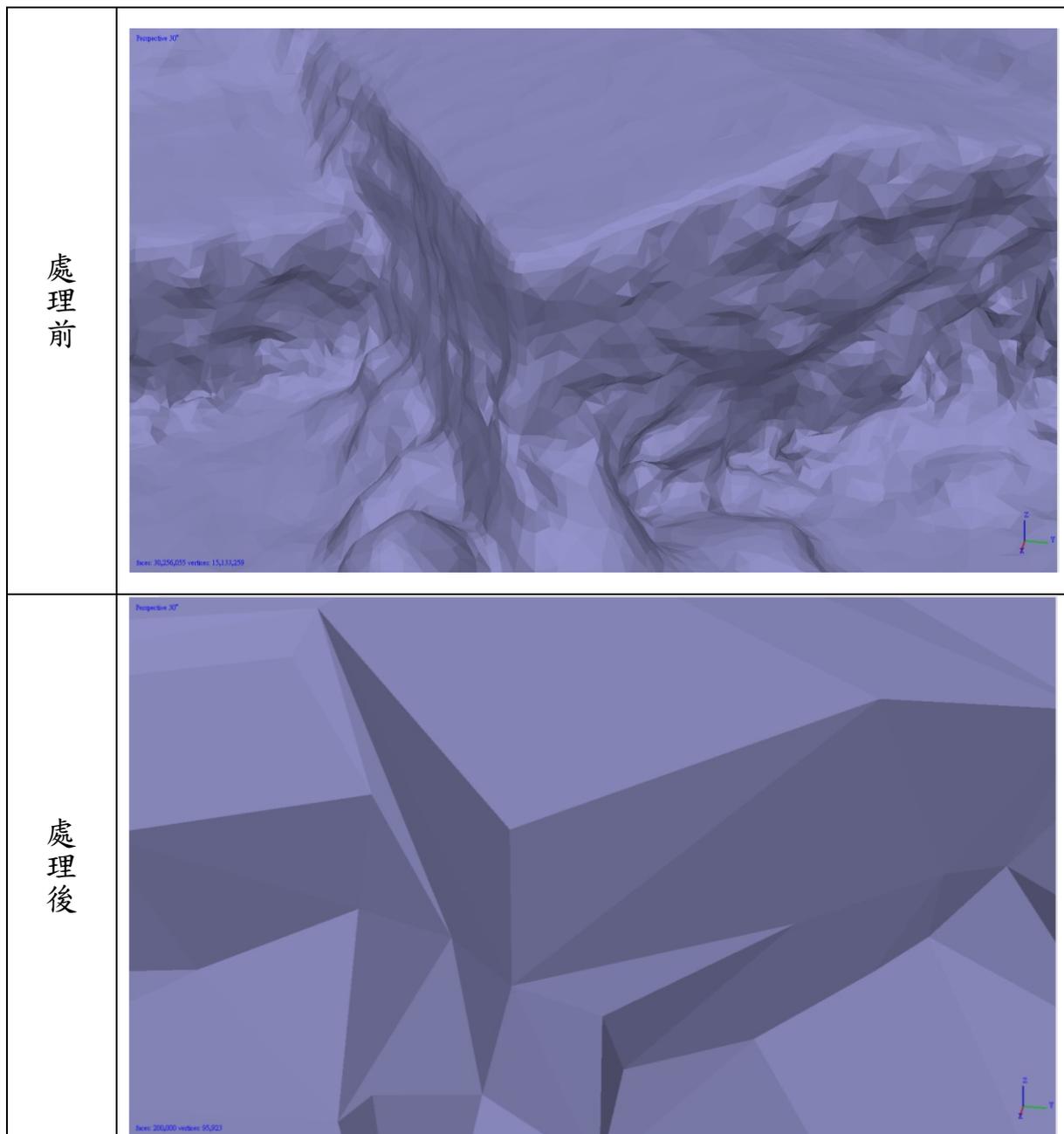


圖 4-54 填滿網格 (陰影渲染)顯示

圖 4-54 以陰影渲染的方式呈現模型，這顯示模式下可以更容易看出兩者的差別。原本略帶圓角且不平整的結果，經過處理後呈現的是較符合實際建物特徵的結果。

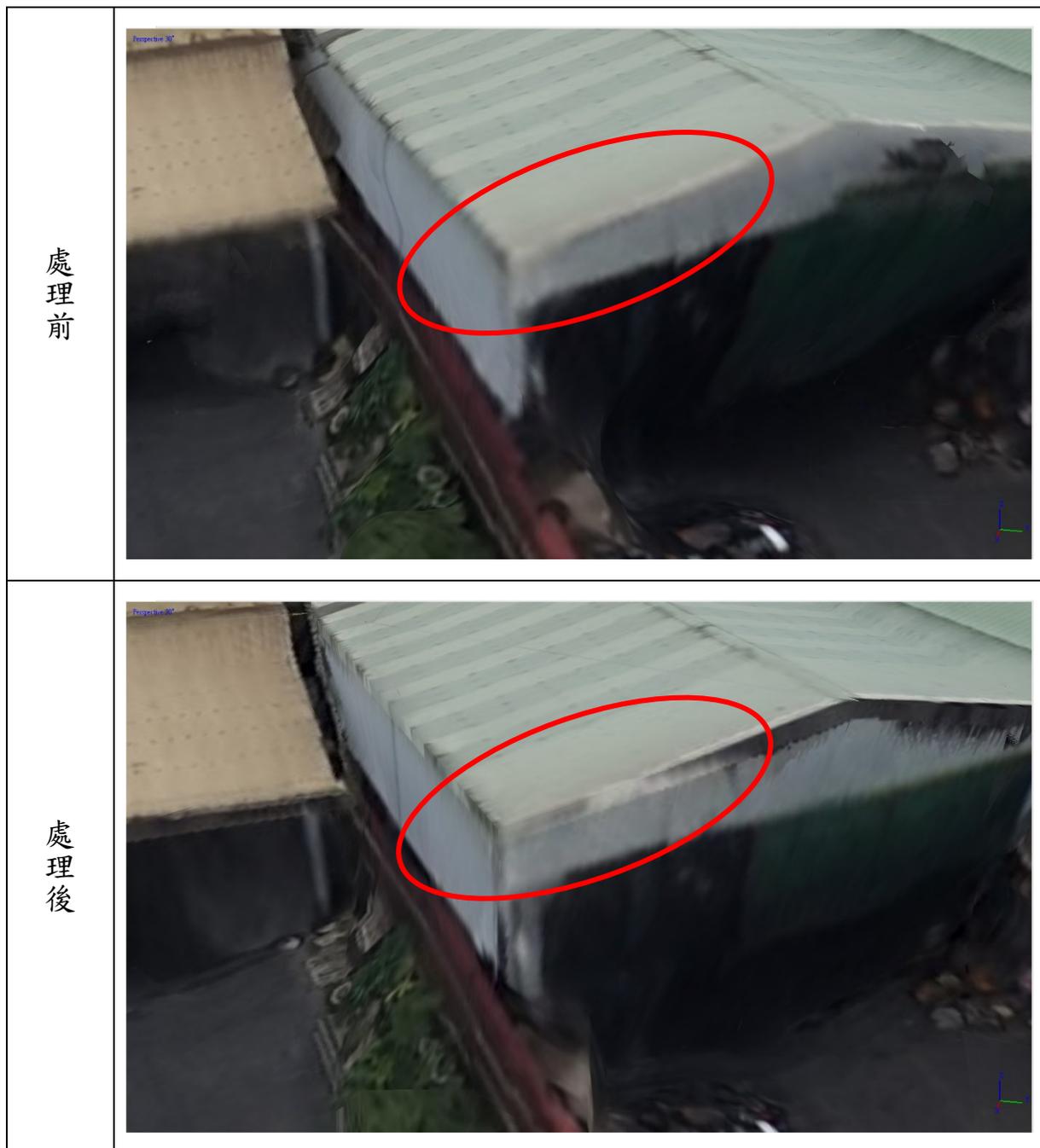


圖 4-55 真實紋理貼圖顯示

圖 4-55 是利用真實影像紋理敷貼模型表面，這顯示模式可以模擬出更近似於真實現況的結果，從圖中可以發現，處理前的模型在邊緣處仍是呈現圓角的狀態，處理後將邊緣銳利化的結果將更能符合我們的認知及後續對於 mesh 模型特徵點的精準量測。

為解決上述圓角的問題，本研究團隊嘗試利用 Metashape 的自動化工具來處理，首先產生 mesh 模型時選擇 extrapolated（外推模型）選項

(如圖 4-56)，這樣可以避免空洞，並且盡量產生一些多餘的形狀，這些形狀可能會是建物邊緣，但這也可能會產生過多的冗餘三角形，不過之後可以利用自動化刪減工具將冗餘形狀刪除，產出成果如圖 4-57。

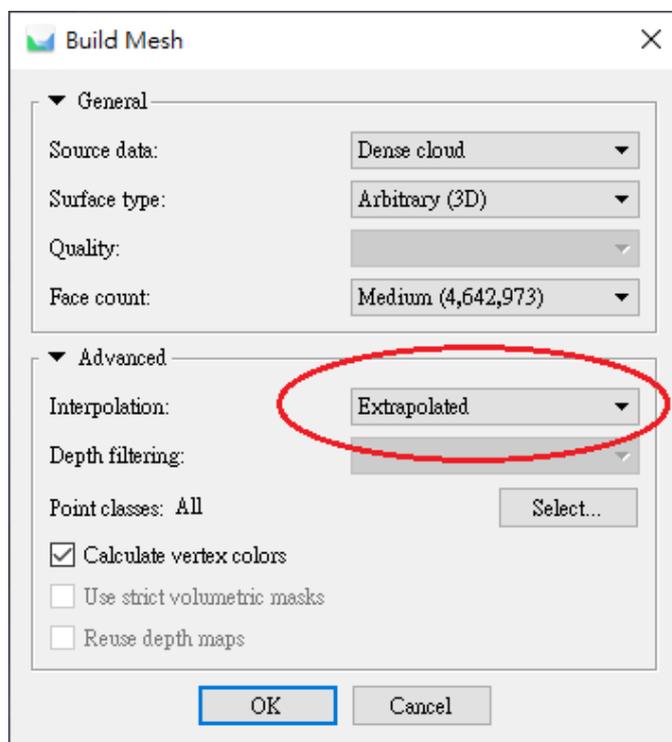


圖 4-56 產生 mesh 模型選擇 extrapolated 選項

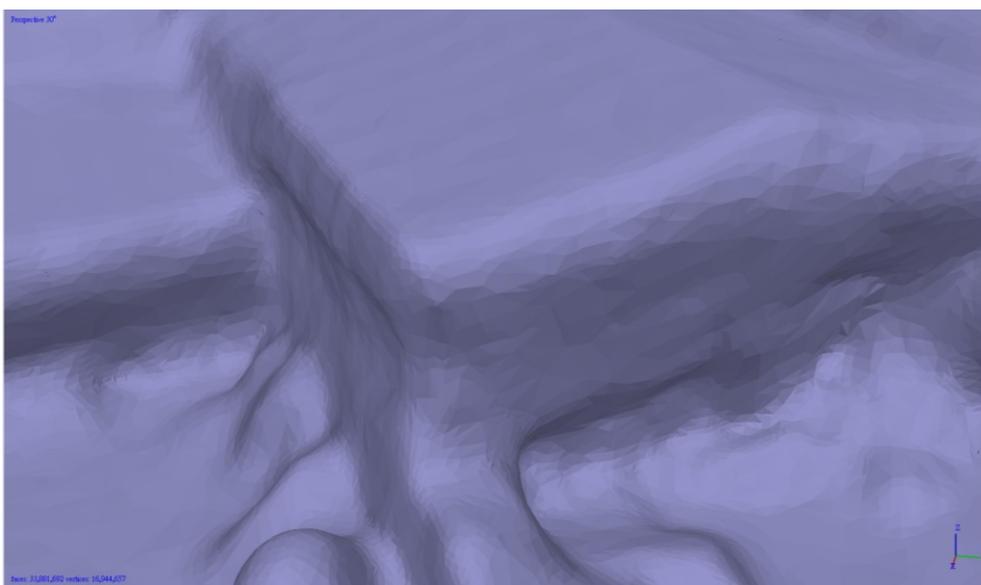


圖 4-57 外推模型成果

完成外推模型的 mesh 模型建立後，本團隊賡續利用 smooth 工具及

decimation 工具進行模型邊緣銳化處理。使用這兩種工具時，具有先後次序的意義，不可顛倒次序使用，因為如果先使用 decimation 簡化模型則多邊形的數量受限於設定值，這樣反而會將需要留下的銳利特徵簡化掉，之後使用 smooth 時只會得到圓滑的失真模型，與我們想得到的成果相反。反之如果先使用 smooth 工具會先將建物的表面整平，後續再利用 decimation 簡化模型時，會將建物同一面的三角網簡化其數量，使其表現為較簡單的多邊形，如可更能呈現簡單又平整的建物牆面，而避免因點雲量測誤差或建物細碎的特徵，造成建物表面不平整的結果。

因此外推模型在經過檢視及修整步驟，去除多餘的錯誤形狀後，應先使用 smooth 工具先將建物表面平整化，經過本團隊逐步測試平滑力度後，決定將力度值設定為 2 是最適合本研究各測試區的成果（如圖 4-58），其成果如圖 4-59，此時已出現類似建物邊緣的節點。

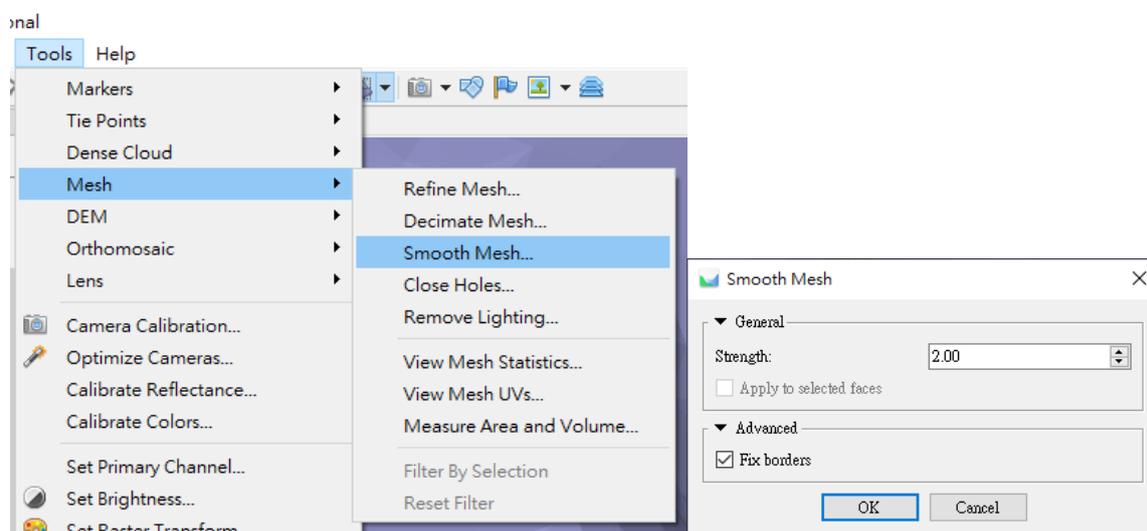


圖 4-58 模型平滑化設定

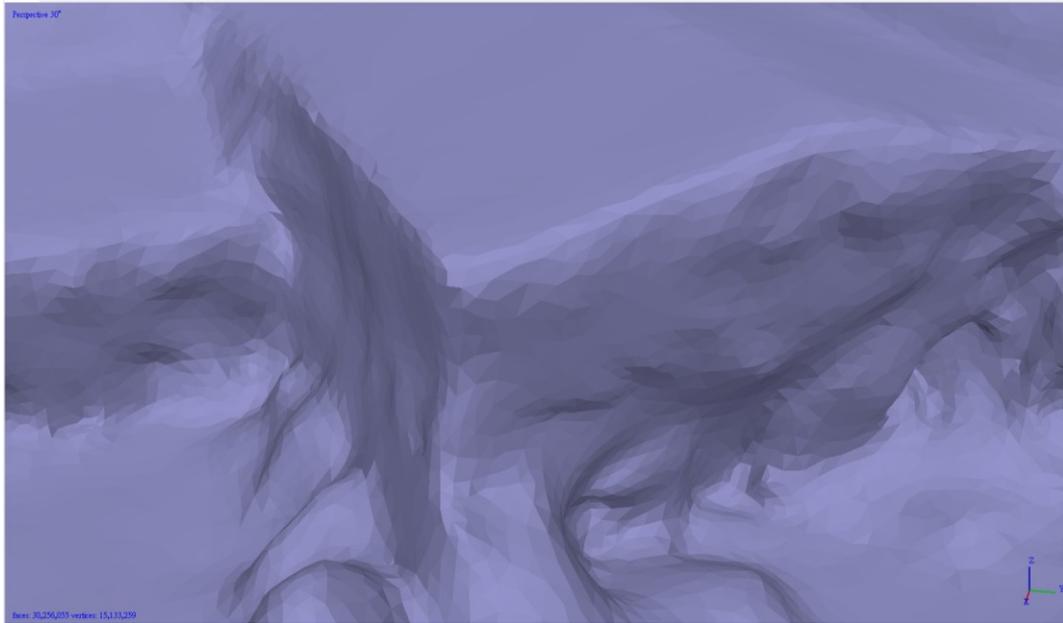


圖 4-59 模型平滑化成果

完成平滑化步驟後，使用 decimation 功能簡化模型，本研究中根據測試區範圍的大小，分別設定不同的簡化參數，經過測試本研究中的測試資料，範圍較大者設定簡化參數為 40 萬面，範圍較小者設定簡化參數為 20 萬面，至於不同測區面積、不同測區類型應如何搭配的最適參數，則有賴未來的研究測試。本研究使用的設定如圖 4-60，其成果如圖 4-61。

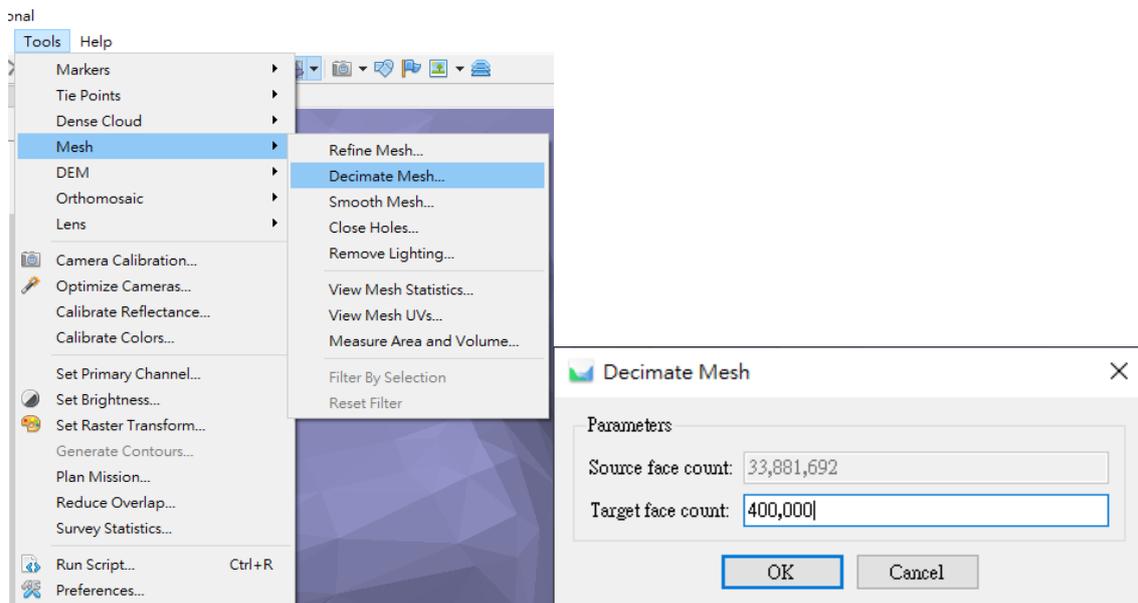


圖 4-60 模型簡化設定



圖 4-61 模型簡化成果

## 肆、特徵點量測問題

本研究過程中前半段的商業軟體操作部分大多屬於參數設定或是自動計算所得之結果，是維持資料來源至前處理步驟達到合格品質的過程；而後半部作業屬於實驗量測及比對的過程，當中的研究以探討人工作業部分為主。本章節針對研究過程中對於三維網格模型及真實正射影像的量測作業會產生的問題逐一探討。

### 一、三維網格模型量測問題

首先在三維空間量測與二維空間量測最大的差異，是在於三維空間中多了一個軸向（深度方向）的度量，而受限於顯示設備的差異，除了有如傳統立體製圖 workstation 在顯示及量測的操作上可以多控制一個深度的軸向操作之外，一般要在普通的二維螢幕上顯示及操作第三維度的軸向都是不容易的，因為將三維的模型顯示在二維電腦螢幕上時，瞬時只能顯示一個面向的畫面，而無法感知深度狀態，因此需要不斷的切換觀看角度來觀察或量測深度軸向的變化，這也是傳統的航測製圖應用交會法製圖的原因。

以圖 4-62(A)為例，此案例中欲量測屋頂端點時，直覺上會由上方角度瞄準目標物，然而實際的落點狀況並非我們所想，該點位並沒有落在屋角位置上(如圖 4-62(B))，是因為由上方觀測時，軟體無法理解量測深度，因此位置只要差異一點點甚至是很微小時，也會造成量到高度差異很大的地方，這並不是人員量測的問題，而是因為該視角對於高度的解析能力很薄弱，因此，必須依靠旋轉不同觀測角度(如圖 4-62(C)、圖 4-62(D))修正量測位置，這與測量領域的三角交會原理是相同的，對於單一方向而言，垂直觀測方向的面可以很準確量測，但是，對於平行視線方向(深度方向)的量測能力則會受到量測深度的影響與限制，所以在具有高低深度差異的地方，必須切換多個觀測角度來輔助修正量測位置。

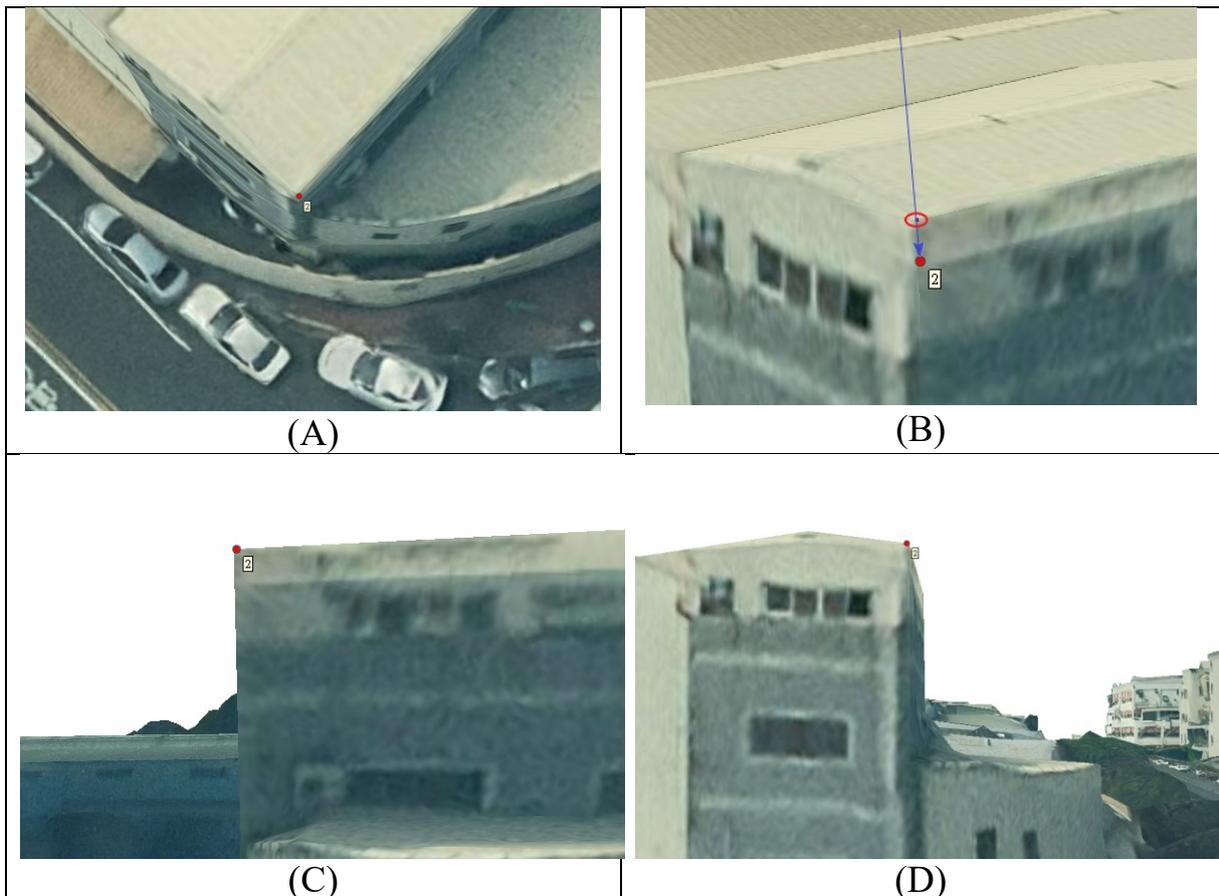


圖 4-62 三維模型量測遭遇問題及解決方式

## 二、正射影像量測問題

利用真實正射影像數化過程中存在無法解決的問題，就是當繪製地形圖必須判斷目標物高低、前後、遠近的狀況時，是無法利用正射影像辨別的，如圖 4-63 所示其中左方畫面顯示的是真實正射影像，畫面中可以發現其中道路部分，僅可判斷為 8 線道的快速道路，卻無法辨別其實際道路型態，由右側同樣位置的街景可以發現，其實位於中央位置的 4 線道是高架道路，外側為平面道路。由此可知，雖然真實正射影像的製圖精度可以達到製圖需求，但是卻遺失了許多地物的真實資訊，這對於繪製各種比例尺的地形圖來說，有時會造成非常離譜的錯誤（如：地面花園繪製成屋頂陽台、游泳池繪製成遊戲廣場），所以繪圖時三維資訊是輔助地物類型判釋重要的根據來源。因此，雖然真實正射影像的平面位置精度很好，而且對於繪製人員來說，其操作方式簡單、方便又易學，但是，長久以來正射數化的製圖方式並沒有辦法完全取代傳統立製方法，就是因為缺少三維資訊後，便喪失了賴以判釋地物的重要資訊。



圖 4-63 真實正射影像數化無法弭補的問題

但是真實正射影像數化方法也並非一無是處，這取決於測繪人員的專業知識判斷，對於量測工具的選擇，專業人員應該擁有足以判斷的能

力與知識。同樣以圖 4-63 的案例來說，如果本次測製的圖資無須判斷道路的高架或平面型態僅需繪製道路範圍，直接採用真實正射影像數化的方式，則可得到既快速又正確的圖資成果。所以本研究的結果希望呈現的是一項技術、工具或方法，並沒有決定性的好壞差異，只有是否對應其適合的用法。

### 第三節 實驗結果

本研究根據各測試區蒐集的資料設計實驗，可分類為：量測型與非量測型像機之影響、GSD 差異影響、傾斜攝影與非傾斜攝影影像、重疊率差異影響、模型銳化影響等 5 種測試，這 5 種測試又分別針對真實正射影像數化成果及 mesh 模型數化成果進行精度統計。

本研究中各項測試分析結果均彙整如表 4-8 形式，其中以欄 (column) 為各測試區，表格上半部為像機規格、航拍規劃、空三平差成果等基本資訊，表格下半部為實驗統計數據，並以列 (row) 為不同繪製方式做區分，實驗數據中均以 3 倍標準差剔除離群值。

其中實驗統計數據分別計算下列指標，各意義分述如下：

- 抽樣點的 RMSE (root mean square error)：均方根誤差代表預測的值和觀察到的值之差的樣本標準差 (sample standard deviation)，是一個很好的準度的量度指標 (維基百科, 2020)，由這個指標可以了解各抽樣點較差值的統計分布狀況，簡單的說，該值如果大代表該成果不準，該值小代表該成果相對較準確，可以作為本研究衡量實驗結果的指標。
- 抽樣點較差的 Max. (maximum)：指測試資料抽樣點較差的最大值，該最大值為已剔除離群值的結果。該值表示該實驗結果用於繪製一千分之一地形圖時，可能出現的最大風險狀況。

- 合格比例：本處所指個合格標準以一千分之地形圖在平面方向的繪製精度 25 cm 為準，其合格比例指所有抽樣點較差小於 25 cm 的百分比。本研究中以這個數值判斷該繪製方式是否符合統計要求的 95%信心水準。如合格比例大於 95%則表示該測製方式可以應用於一千分之一地形圖繪製，如小於 95%則應用於一千分之一地形圖繪製將有疑慮。
- 納入統計點數：本研究中對於各測試區均抽樣 45 點，因為量測點位時存在目標物辨識不明確(量測信心較低的點位)的問題，這些點位在統計時會被歸類為離群值而剔除，因此納入統計的點數並不完全等於 45 點。從剔除的點位數量也可約略呈現該測試資料的品質是否適合進行量測，品質不佳的來源對於第 1 線的量測人員會造成不小的負擔也會拖累測製效率，可作為判斷該測製方法或資料來源是否適合製圖的參考指標之一。

表 4-8 實驗結果彙整表

測試區代碼	南崗UAS_300 NG_300	南崗A055 NG_A055	南崗大像幅 NG_UXcam	苗栗市 ML	義竹 EZ	
像機類型	非量測型小像幅	中像幅5像機組	大像幅	非量測型小像幅	非量測型小像幅	
航線型態	井字(較疏)	普通平行航線 + 傾斜攝影	普通平行航線	井字(較密)	普通平行航線	
離地高 (m)	321.3	816.8	1055.0	164.0	217.0	
焦距 (mm)	36.4	51.6	100.5	21.8	22.4	
Pixel Size (um)	6.00	4.60	6.00	4.53	4.53	
GSD (cm)	5.52	6.87	6.30	3.05	4.00	
平均基線長 (m)	30.44	124.53	141.46	26.87	29.19	
重疊率 (%)	85.6%	80.4%	80.1%	85.1%	87.5%	
基高比(B/H)	0.09	0.15	0.13	0.16	0.13	
空三精度RMSE(XY)	1.116 cm / 1.434 pix	0.217 cm / 0.288 pix	0.120 mm / 0.154 pix	3.335 cm / 2.238 pix	1.947 cm / 1.791 pix	
Reprojection Error	0.332 pix	0.21 pix	0.335 pix	0.329 pix	0.399 pix	
抽樣點數	45	45	45	45	45	
True Ortho (80%)	RMSE (m)	0.196	0.189	0.160	0.157	0.180
	Max. (m)	0.435	0.480	0.396	0.316	0.432
	合格比例 納入統計點數	80.5% 41	82.2% 45	88.6% 44	93.2% 44	82.2% 45
Agisoft Metashape mesh (80%)	RMSE (m)	0.392	0.508	0.410	0.451	0.356
	Max. (m)	0.586	0.988	0.995	0.735	0.589
	合格比例 納入統計點數	34.1% 42	22.2% 45	40.0% 45	36.4% 44	53.5% 43

## 壹、測試 1—量測型與非量測型像機

測試 1 探討的是量測型與非量測型像機，一般來說量測型像機通常會直接認為是中、大像幅像機，其實應該是指具有已知且穩定內方位參數可被運用於量測使用的像機，因為大部分中、大像幅像機符合該特性，所以常見的會直接把中、大像幅像機與量測型像機畫上等號，而小像幅像機通常不具備該特性，所以常被認為小像幅像機為非量測型像機。

本研究中測試代碼為 NG\_AOS5 及 NG\_UXcam 為量測型像機成果，代碼 NG\_300 為非量測型像機成果，其實驗結果如表 4-9。

表 4-9 測試 1 實驗結果彙整表

測試區代碼	南崗UAS_300 NG_300	南崗AOS5 NG_AOS5	南崗大像幅 NG_UXcam	
像機類型	非量測型小像幅	中像幅5像機組	大像幅	
航線型態	井字(較疏)	普通平行航線 + 傾斜攝影	普通平行航線	
離地高 (m)	321.3	816.8	1055.0	
焦距 (mm)	36.4	51.6	100.5	
Pixel Size (um)	6.00	4.60	6.00	
GSD (cm)	5.52	6.87	6.30	
平均基線長 (m)	30.44	124.53	141.46	
重疊率 (%)	85.6%	80.4%	80.1%	
基高比(B/H)	0.09	0.15	0.13	
空三精度RMSE(XY)	1.116 cm / 1.434 pix	0.217 cm / 0.288 pix	0.120 mm / 0.154 pix	
Reprojection Error	0.332 pix	0.21 pix	0.335 pix	
抽樣點數	45	45	45	
True Ortho (80%)	RMSE (m)	0.196	0.189	0.160
	Max. (m)	0.435	0.480	0.396
	合格比例 納入統計點數	80.5% 41	82.2% 45	88.6% 44
Agisoft Metashape mesh (80%)	RMSE (m)	0.392	0.508	0.410
	Max. (m)	0.586	0.988	0.995
	合格比例 納入統計點數	34.1% 42	22.2% 45	40.0% 45

首先由真實正射影像數化成果可以發現量測型像機、非量測型像機的 RMSE 均落於 0.160 ~ 0.196 m 之間，顯示量測型像機與非量測型像機的差別不大，且均可符合一千分之一地形圖測製精度需求，惟 Max. 卻大於 RMSE 約 2 倍以上，合格比例均小於 95%，表示運用於一千分之一地形圖測製仍有疑慮。

至於 mesh 模型數化成果其 RMSE 則落於 0.392~0.508 m 之間，顯示使用量測型像機與非量測型像機的差異並不顯著，但是均無法符合一千分之一地形圖測製精度需求，其合格比例均小於 50%，表示其完全無法應用於一千分之一地形圖製圖。

理論上而言，量測型像機可以得到穩定且準確的成果，非量測型像機則相反，由表 4-9 列出的空三精度可以得知大像幅像機的成果的確要比中、小像幅像機的成果好，但是經過處理步驟產生的真實正射影像及 mesh 模型再進行數化製圖時，其空三精度的優勢卻無法明顯表現。其中真實正射影像數化成果的 RMSE 差異還能略為呈現量測型像機與非量測型像機的差異，但是 mesh 模型數化成果的 RMSE 已完全無法呈現量測型像機與非量測型像機的差異，由此可知產製 mesh 模型時所造成的誤差已經掩蓋過於空三精度的差異，這足以突顯進行 mesh 模型產製對於精度的失真（破壞）程度是非常大的。

## 貳、測試 2—GSD 差異影響

測試 2 探討的是 GSD（Ground Sample Distance）對真實正射影像數化及 mesh 模型數化等 2 種測圖方法的影響。一般認為 GSD 越小，影像拍攝的細節較細，可達到的精度極限可以更高，而不會被先天的來源極限所限制，但這並不代表 GSD 小，精度就會好，如果處理不好甚至結果的精度會比 GSD 大的精度更差。本測試項目即是研究在相同的處理品質條件下，不同的 GSD 影像來源對於真實正射影像及 mesh 模型在數化繪圖成果的影響。

本研究中測試代碼為 NG\_300、NG\_AOS5、NG\_UXcam 的資料其 GSD 為 5~6 cm 視為同一組資料代表 GSD 較大者，而代碼為 ML、EZ 的資料其 GSD 為 3~4 cm 視為同一組資料代表 GSD 較小者，其實驗結果如表 4-10。

表 4-10 測試 2 實驗結果彙整表

測試區代碼	南崗UAS_300 NG_300	南崗AOS5 NG_AOS5	南崗大像幅 NG_UXcam	苗栗市 ML	義竹 EZ	
像機類型	非量測型小像幅	中像幅5像機組	大像幅	非量測型小像幅	非量測型小像幅	
航線型態	井字(較疏)	普通平行航線 + 傾斜攝影	普通平行航線	井字(較密)	普通平行航線	
離地高 (m)	321.3	816.8	1055.0	164.0	217.0	
焦距 (mm)	36.4	51.6	100.5	21.8	22.4	
Pixel Size (um)	6.00	4.60	6.00	4.53	4.53	
GSD (cm)	5.52	6.87	6.30	3.05	4.00	
平均基線長 (m)	30.44	124.53	141.46	26.87	29.19	
重疊率 (%)	85.6%	80.4%	80.1%	85.1%	87.5%	
基高比(B/H)	0.09	0.15	0.13	0.16	0.13	
空三精度RMSE(XY)	1.116 cm / 1.434 pix	0.217 cm / 0.288 pix	0.120 mm / 0.154 pix	3.335 cm / 2.238 pix	1.947 cm / 1.791 pix	
Reprojection Error	0.332 pix	0.21 pix	0.335 pix	0.329 pix	0.399 pix	
抽樣點數	45	45	45	45	45	
True Ortho (80%)	RMSE (m)	0.196	0.189	0.160	0.157	0.180
	Max. (m)	0.435	0.480	0.396	0.316	0.432
	合格比例 納入統計點數	80.5% 41	82.2% 45	88.6% 44	93.2% 44	82.2% 45
Agisoft Metashape mesh (80%)	RMSE (m)	0.392	0.508	0.410	0.451	0.356
	Max. (m)	0.586	0.988	0.995	0.735	0.589
	合格比例 納入統計點數	34.1% 42	22.2% 45	40.0% 45	36.4% 44	53.5% 43

首先由真實正射影像數化成果可以發現 GSD 較大一組其 RMSE 落於 0.160 ~ 0.196 m 之間；GSD 較小一組其 RMSE 落於 0.157 ~ 0.180 m 之間。顯示 GSD 對於正射影像數化成果的影響不大，其成果均可符合一千分之一地形圖測製精度需求，但是 Max.值不管在 GSD 較大或較小的測試中仍大於 RMSE 約 2 倍以上，且合格比例均小於 95%，表示降低 GSD 參數時，其成果運用於一千分之一地形圖測製仍有疑慮。

另外，mesh 模型數化成果，GSD 較大者其 RMSE 落於 0.392 ~ 0.508 m 之間；GSD 較小者其 RMSE 落於 0.356 ~ 0.451 m 之間。GSD 對該成果的差異仍然不顯著，降低 GSD 仍無法符合一千分之一地形圖測製精度需求，其合格比例最佳者為 53.5%，表示其完全無法應用於一千分之一地形圖製圖。

這研究結果顯示拍攝影像的 GSD 對於兩種數化方式的精度無顯著改善或影響，並呈現 GSD 只是提供獲得更好精度品質的可能性，但是最終精度仍取決於處理過程及其他資料品質的影響，以本研究採用的真實正射影像數化及 mesh 模型數化方式而言，這 2 種製圖方式的誤差以測試 1 的實驗成果來看約在數十公分等級，超過 GSD (公分級) 的影響許多。

### 參、測試 3—傾斜攝影與非傾斜攝影

測試 3 探討的是傾斜攝影與非傾斜攝影對真實正射影像數化及 mesh 模型數化 2 種測圖方法的影響。本研究中所謂的傾斜攝影是指包含原本垂直攝影的成果之外，還有附加同步拍攝傾斜影像成果。根據經驗附加傾斜影像產製 mesh 模型的成果會較好（如圖 4-64）。但是這邊所謂的成果較好，可能是產製模型時造成扭曲變形、資料缺失的狀況較少，並非幾何精度較好，為了解其真實狀況為何，爰針對傾斜攝影資料與非傾斜攝影資料進行測試。



圖 4-64 傾斜與非傾斜攝影建模比較（國家高速網路與計算中心提供）

本研究中測試代碼為 NG\_300、NG\_UXcam 為非傾斜攝影之成果，代碼為 NG\_AOS5 為傾斜攝影之成果，其實驗結果如表 4-11。

表 4-11 測試 3 實驗結果彙整表

測試區代碼	南崗UAS_300 NG_300	南崗AOS5 NG_AOS5	南崗大像幅 NG_UXcam	
像機類型	非量測型小像幅	中像幅5像機組	大像幅	
航線型態	井字(較疏)	普通平行航線 + 傾斜攝影	普通平行航線	
離地高 (m)	321.3	816.8	1055.0	
焦距 (mm)	36.4	51.6	100.5	
Pixel Size (um)	6.00	4.60	6.00	
GSD (cm)	5.52	6.87	6.30	
平均基線長 (m)	30.44	124.53	141.46	
重疊率 (%)	85.6%	80.4%	80.1%	
基高比(B/H)	0.09	0.15	0.13	
空三精度RMSE(XY)	1.116 cm / 1.434 pix	0.217 cm / 0.288 pix	0.120 mm / 0.154 pix	
Reprojection Error	0.332 pix	0.21 pix	0.335 pix	
抽樣點數	45	45	45	
True Ortho (80%)	RMSE (m)	0.196	0.189	0.160
	Max. (m)	0.435	0.480	0.396
	合格比例 納入統計點數	80.5% 41	82.2% 45	88.6% 44
Agisoft Metashape mesh (80%)	RMSE (m)	0.392	0.508	0.410
	Max. (m)	0.586	0.988	0.995
	合格比例 納入統計點數	34.1% 42	22.2% 45	40.0% 45

首先從真實正射影像數化成果可以發現傾斜攝影的成果 RMSE 為 0.189 m，介於非傾斜攝影的大像幅成果 0.160 m 與小像幅成果 0.196 m 之間，但是 AOS 的中像幅像機屬於量測型像機，其影像成果應該與同為量測型的大像幅像機相近，可是其表現反而較接近非量測型像機的成果，這成果對我們來說是較意外的結果，其確切的原因未來仍值得探討。

另外，由 mesh 模型數化的成果來看，傾斜攝影的成果 RMSE 為 0.508 m，非傾斜攝影的成果為 0.392 ~ 0.410 m 之間，傾斜攝影的成果較非傾斜攝影的成果為差，其合格比例甚至僅剩 22.2%。

以上述 2 項結論來說，傾斜攝影反而獲得較差的幾何精度。本團隊推測變差的原因可能是因為傾斜攝影的成果的 GSD 變化很大，這對於密匹配技術是不良的影響，因此造成精度降低。

#### 肆、測試 4—重疊率差異影響

測試 4 探討的是像片重疊率對真實正射影像數化及 mesh 模型數化

2 種測圖方法的影響。本研究中對於重疊率的測試主要是針對航帶前後重疊率而言，至於側向重疊率的部分可以比較 NG\_300（較疏的井字航拍）及 ML（較密的井字航拍）的測試成果。

本測試是為了驗證業界所謂高重疊率高品質的認知，本研究團隊依照理論分析提出下面假設：所謂的高重疊率僅是讓像機能夠經由較多的拍攝角度取得地面被遮蔽的攝影死角，並且藉由高重疊的像片內容變化較小，進而提升特徵點匹配的成功率；但是對於模型品質或幾何精度並無幫助，幾何精度的品質仍有賴空中三角交會的幾何強度而定，也就是所謂的測圖基高比（B/H）。所以，Metashap 在提升 mesh 模型質量時會運用 Reconstruction Uncertainty 來剔除可能的錯誤或雜訊。這也表示就算是相鄰的高重疊影像間，其連接點觀測量也會被剔除而是使用相鄰下一張或下下一張影像的觀測量，下面就以實際的實驗結果來呈現。

本研究中使用測試代碼 NG\_300、NG\_AOS5、NG\_UXcam 的資料為重疊率 80%以上的資料，代碼 NG\_300\_pick60、NG\_AOS5\_pick60、NG\_UXcam\_pick60 為重疊率 60%的資料，實驗結果如表 4-12 及表 4-13。

表 4-12 測試 4 高重疊率實驗結果彙整表

測試區代碼	南崗UAS_300 NG_300	南崗AOS5 NG_AOS5	南崗大像幅 NG_UXcam	
像機類型	非量測型小像幅	中像幅5像機組	大像幅	
航線型態	井字(較疏)	普通平行航線 + 傾斜攝影	普通平行航線	
離地高 (m)	321.3	816.8	1055.0	
焦距 (mm)	36.4	51.6	100.5	
Pixel Size (um)	6.00	4.60	6.00	
GSD (cm)	5.52	6.87	6.30	
平均基線長 (m)	30.44	124.53	141.46	
重疊率 (%)	85.6%	80.4%	80.1%	
基高比(B/H)	0.09	0.15	0.13	
空三精度RMSE(XY)	1.116 cm / 1.434 pix	0.217 cm / 0.288 pix	0.120 mm / 0.154 pix	
Reprojection Error	0.332 pix	0.21 pix	0.335 pix	
抽樣點數	45	45	45	
True Ortho (80%)	RMSE (m)	0.196	0.189	0.160
	Max. (m)	0.435	0.480	0.396
	合格比例 納入統計點數	80.5% 41	82.2% 45	88.6% 44
Agisoft Metashape mesh (80%)	RMSE (m)	0.392	0.508	0.410
	Max. (m)	0.586	0.988	0.995
	合格比例 納入統計點數	34.1% 42	22.2% 45	40.0% 45

表 4-13 測試 4 低重疊率實驗結果彙整表

測試區代碼	南崗UAS_300 NG_300_pick60	南崗AOS5 NG_AOS5_pick60	南崗大像幅 NG_UXcam	
像機類型	非量測型小像幅	中像幅5像機組	大像幅	
航線型態	井字(較疏)	普通平行航線 + 傾斜攝影	普通平行航線	
離地高 (m)	321.3	816.8	1055.0	
焦距 (mm)	36.4	51.6	100.5	
Pixel Size (um)	6.00	4.60	6.00	
GSD (cm)	5.30	7.28	6.30	
平均基線長 (m)	60.67	249.68	283.39	
重疊率 (%)	71.4%	60.6%	60.2%	
基高比(B/H)	0.19	0.31	0.27	
空三精度RMSE(XY)	1.102 cm / 1.254 pix	0.182 cm / 0.192 pix	0.228 cm / 0.167pix	
Reprojection Error	0.536 pix	0.221 pix	0.18 pix	
抽樣點數	45	45	45	
True Ortho (60%)	RMSE (m)	0.140	0.131	0.179
	Max. (m)	0.327	0.316	0.284
	合格比例 納入統計點數	91.1% 45	93.3% 45	95.2% 42
Agisoft Metashape mesh (60%)	RMSE (m)	0.243	0.563	0.756
	Max. (m)	0.586	0.901	1.073
	合格比例 納入統計點數	60.0% 45	20.0% 45	27.9% 43

首先由真實正射影像數化結果來看，高重疊率的 RMES 為 0.160 m ~ 0.196 m 之間，低重疊率的 RMES 為 0.131 m ~ 0.179 m 之間。可以發現低重疊率的結果反而比較好，而且低重疊率的合格比例提升至 90% 以

上，但是仍無法滿足 95%的門檻。

由 mesh 模型數化的結果來看，高重疊率的 RMES 為 0.392 m~0.508 m 之間，低重疊率的 RMES 為 0.243 m ~ 0.756 m 之間。兩者比較增減互現，無明顯變化趨勢。但是不管高重疊率或是低重疊率其精度仍無法滿足一千分之一地形圖製圖精度需求。

綜上，重疊率的高低對於模型精度並無決定性的影響，低重疊率反而對真實正射影像數化成果具有些微的助益，但是對於 mesh 模型數化成果而言則尚無法判斷其變化的趨勢。

## 伍、測試 5—模型銳化影響

測試 5 探討的是 mesh 模型經過銳化處理前後對其數化精度的影響。此處的銳化處理係依第二節 參、二、改善構造物模型圓角問題的方式進行。本研究中使用測試代碼 NG\_300、NG\_AOS5、NG\_UXcam 的資料，並以 Agisoft Metashape mesh\_fix 表示經過銳化處理的成果。其實驗結果如表 4-14。

表 4-14 測試 5 實驗結果彙整表

測試區代碼	南崗UAS_300 NG_300	南崗AOS5 NG_AOS5	南崗大像幅 NG_UXcam	
像機類型	消費型小像幅	中像幅5像機組	大像幅	
航線型態	井字(較疏)	普通平行航線 + 傾斜攝影	普通平行航線	
離地高 (m)	321.3	816.8	1055.0	
焦距 (mm)	36.4	51.6	100.5	
Pixel Size (um)	6.00	4.60	6.00	
GSD (cm)	5.52	6.87	6.30	
平均基線長 (m)	30.44	124.53	141.46	
重疊率 (%)	85.6%	80.4%	80.1%	
基高比(B/H)	0.09	0.15	0.13	
空三精度RMSE(XY)	1.116 cm / 1.434 pix	0.217 cm / 0.288 pix	0.120 mm / 0.154 pix	
Reprojection Error	0.332 pix	0.21 pix	0.335 pix	
抽樣點數	45	45	45	
Agisoft Metashape mesh (80%)	RMSE (m)	0.392	0.508	0.410
	Max. (m)	0.586	0.988	0.995
	合格比例	34.1%	22.2%	40.0%
	納入統計點數	42	45	45
Agisoft Metashape mesh_fix (80%)	RMSE (m)	0.383	0.384	0.319
	Max. (m)	0.780	0.677	0.658
	合格比例	42.2%	29.5%	55.6%
	納入統計點數	45	44	45

由實驗成果來看，銳化前的 RMSE 為 0.392 ~ 0.508 m 之間，銳化後的 RMSE 為 0.319 ~ 0.384 m 之間，且合格比例全部較銳化前的比例高，這說明了本研究中的銳化處理對於 mesh 模型精度是有提升的幫助，但是其改善幅度仍無法讓其成果符合一千分之一地形圖的製圖精度需求。

## 陸、小結

一、經由測試 1 對量測型像機與非量測型像機的研究分析可得知，在空

三解算結果量測型像機會優於非量測型像機，但是對於真實正射影像數化及 mesh 模型數化成果精度來說卻無明顯差異。

二、經由測試 2 分析 GSD 對真實正射影像數化成果及 mesh 模型數化成

果的精度來說亦無明顯差異。

三、經由測試 3 對傾斜攝影與非傾斜攝影的研究分析可得知，傾斜攝影

反而得到較差的成果。

四、經由測試 4 分析重疊率對真實正射影像數化成果及 mesh 模型數化

成果的精度來說，低重疊率對真實正射影像數化成果精度有些微提升，但是對 mesh 模型數化成果精度卻無明顯差異。

五、經由測試 5 分析模型銳化處理的影響，除發現對於 mesh 模型數化

成果精度提升具有幫助之外，亦可改善使用者對模型的視覺感受。

綜整上述測試結果，本研究於真實正射影像數化的 RMSE 介於 0.131 ~ 0.196 m，其中低重疊率的中、大像幅像機成果是整體表現較佳的結果，雖然符合一千分之一地形圖要求的 0.25 m，但是合格比例仍小於 95%，運用於一千分之一地形圖製圖作業仍有疑慮。

至於 mesh 模型數化而言，其 RMES 介於 0.243~0.756 m 之間，其中模型銳化的成果是整體表現較佳的結果，但是 RMSE 仍在 0.3~0.4 m 之間，合格比例僅能提升至 40%~50%，顯然不符合一千分之一地形圖的製圖精度要求，依目前建自動化模技術而言，目前尚難以運用於一千分之一地形圖製圖作業。

得到這種結果其實並不意外，因為就作業流程的角度來看（參照圖 4-16），航空攝影測量的所有成果都需要經過方位重建（空三平差）的程序，才能進行後續的交會量測程序，因此不管是傳統立體製圖、真實正射影像數化、mesh 模型數化，其來源都是已經過方位重建的立體影像模型，所以只要確認方位重建的結果是準確的，則這 3 種製圖方式就都立於同一起跑線上，除去最終的人為數化誤差，對真實正射影像而言，它多經過了一次點雲密匹配的步驟，其中就多了一層誤差，相當於第二手資料；而對於 mesh 模型而言，它經過了點雲密匹配步驟以及模型三角網組建步驟，其中就多了兩層誤差，相當於第三手資料；而傳統立體製圖則是直接由方位重建後的立體影像繪圖，相當於第一手資料。

以資料失真程度而言，理所當然第一手資料會優於第二、三手資料，雖然經過的程序越多累積的誤差也越多，但是整體誤差是否會超過製圖精度的要求則是本研究驗證的結果。

從目前結果可以發現建立 mesh 模型程序所累積的誤差已超過了一千分之一地形圖製圖精度的要求，如欲利用 mesh 模型繪製地形圖則須提升 mesh 模型的精度，以達到製圖精度要求，未來可針對提升建模品質進行研究。

而真實正射影像數化的成果其精度似乎仍符合製圖精度的要求，但是從合格比例來看其可信度還是太低，偶然還是會有大錯誤的發生，本

團隊推測最主要的原因：其一可能是第二節 肆、二、正射影像量測問題章節中，所提及正射影像缺失三維深度資訊導致人員無法明確辨別目標物；其二雖然該成果稱為真實正射影像但是對於高差位移的修正是否完全仍未可知，因此運用真實正射影像成果，應有使用前提，須配合專業經驗判斷方使用，並非尋常案件均可使用。

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

- 一、本研究採用 Over 等人提出的 SfM 工作流程，配合漸進篩選(Gradual selection) 工具建立三維網格模型，以該三維網格模型進行數化製圖，其精度約在數十公分等級 (0.243~0.756 m)，合格比例約在 5 成，無法符合一千分之一地形圖製圖精度要求。
- 二、本研究使用前項相同的三維網格模型產生真實正射影像，以該真實正射影像進行數化製圖，其精度約在 20 cm 以內(0.160~0.196 m)，合格比例約在 8 成，雖符合一千分之一地形圖製圖精度要求，但其可信度仍偏低，運用時需搭配專業經驗判斷挑選適用區域或引進其他三維資訊輔助。
- 三、量測型或非量測型像機對於 mesh 模型精度並無顯著影響，係因本研究像機誤差遠小於建模誤差，倘未來如能降低建模誤差時，像機誤差可能具有影響力。
- 四、地面像素解析度 (Ground sample distance ; GSD) 對於對於 mesh 模型精度並無顯著影響，理論上 GSD 並非為影響精度的原因，僅為精度上限之門檻，此上限的影響力亦遠小於建模誤差。
- 五、於本研究測試中，使用傾斜攝影反而降低 mesh 模型精度，推測原因為像片中 GSD 變化大對密匹配技術產生不良影響造成精度降低，惟測試案例過少仍須進一步求證。

六、重疊率的高低對於模型精度之影響尚無明確結論，以本研究實驗呈現之結果而言，低重疊率反而對真實正射影像數化成果具有些微的助益。

七、模型銳化處理對於提升模型精度及視覺感受具有助益。

## 第二節 建議

### 建議一

**建議可利用真實正射影像作為地形圖輔助製圖參考：立即可行建議**

主辦機關：內政部國土測繪中心

本研究顯示真實正射影像數化方式，可符合一千分之一地形圖製圖精度要求，惟可信度偏低，使用仍須搭配專業經驗判斷挑選適用區域或引進其他三維資訊輔助，但仍是非常適合輔助製圖的參考資料。

### 建議二

**目前不建議將三維網格模型製圖方式納入測製規範：立即可行建議**

主辦機關：內政部國土測繪中心

有關利用三維網格模型繪製一千分之一地形圖的測製方式，目前而言尚無法符合一千分之一地形圖製圖精度要求，現階段不宜將其納入相關測製規範；俟未來三維網格模型產製技術精進，確保能有效降低建模誤差後，再評估其測製方式之可行性。

### 建議三

**可嘗試研究點雲萃取技術輔助繪製地形圖：中長期建議**

主辦機關：內政部國土測繪中心

建議後續可研究利用密匹配點雲成果萃取點、線、面特徵後輔助人工製圖。該方法是介於傳統立製與 mesh 模型數化的折衷方法，相較於 mesh 模型因建模誤差造成精度不佳，其電腦自動建模的部分改由人工方式來完成以降低此誤差；而利用點雲成果萃取點、線、面特徵，則是改善傳統立製從頭到尾觀看立體模型繪製特徵的方式，利用電腦萃取特徵降低部分人工作業量，後續向量修整部分可於普通電腦繪圖軟體中作業，無須使用昂貴且操作技術性高的立體繪圖工作站，除對增進製圖產能有所助益之外，亦能維持製圖品質，可於後續研究中進行嘗試。

## 致謝

特別感謝自強工程顧問有限公司提供本研究相關測試資料，並於研究過程中不斷分享實務的操作經驗與協助。

## 參考書目

- Agisoft. (2020). *Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.6*. Agisoft LLC.
- AOS-P5. (2021). 擷取自 Geo-matching.com: <https://geo-matching.com/digital-aerial-cameras/oblique-airborne-camera-system-with-phase-one-cameras-aos-p5>
- BeyerL.Hawthorne. (2021). Geospatial Modelling Environment Version: 0.7.2 RC2. 擷取自 [www.spatalecolology.com](http://www.spatalecolology.com): <https://www.spatalecolology.com/gme/>
- Over, J.-S. R., Ritchie, A. C., Kranenburg, C. J., Brown, J. A., Buscombe, D., Noble, T., . . . Wernette, P. A. (2021). *Processing Coastal Imagery With Agisoft Metashape Professional Edition, Version 1.6—Structure From Motion Workflow Documentation*. Reston, Virginia: U.S.Geological Survey. Retrieved from <https://doi.org/10.3133/ofr20211039>
- Vexcel Imaging GmbH. (2012 年 3 月 7 日). Calibration Report. UltraCam Xp, S/N UC-SXp-1-90618207. Vexcel Imaging GmbH.

$\alpha$  7K - 數位單眼相機. (2021). 擷取自 Sony 台灣官方購物網站:

<https://store.sony.com.tw/product/show/t80KAQusM98AAAFBLxksuLuE?fn=SM&cid=gwt%3Aapdp%3Abynow%3Acamera%3Ailce-7-body-kit>

$\alpha$  7RII. (2021). 擷取自 Sony 台灣官方購物網站:

<https://store.sony.com.tw/product/show/ff8080814e1e19ea014e1efcfa2100ff?fn=SM&cid=gwt%3Aapdp%3Abynow%3Acamera%3Ailce-7rm2>

內政部. (2011). 建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊. 內

政部 100 年 2 月 9 日台內地字第 1000025069 號函修訂.

李硯婷; 蔡展榮. (2017 年 9 月). 空照影像密匹配成果偵錯之瓶頸與解決辦

法. 航測及遙測學刊, 22(3), 頁 137-155.

doi:10.6574/JPRS.2017.22(3).1

邱式鴻; 顏怡和; 丁育群. (2014 年 11 月). 旋翼型 UAV 影像局部重測都市

區千分之一地形圖之研究. 台灣土地研究, 17(2), 頁 57-88.

國土測繪中心地籍圖重測課. (2021). 以本中心旋翼型 UAV 拍攝之正射影

像, 應用於 109 年度義竹及高樹地籍圖重測區現況測量成果分析.

內政部國土測繪中心.

曾義星. (2020). 「109 年度地籍測量輔助作業精進實務研析」運用 UAV

及地面環景攝影技術輔助地籍測量相關作業效益研析期末成果報告

書. 台南市政府.

詠翔測量工程有限公司. (2020). 雲林縣元長鄉長北段及崙背鄉豐草段與貓

兒干段 109 年度無人機航拍大比例尺正射影像套繪地籍圖測量作業

輔助判釋實務分析. 雲林縣北港地政事務所.

維基百科. (2020 年 9 月 11 日). 均方根誤差. 擷取自 維基百科:

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9D%87%E6%96%B9%E6%A0%B9%E8%AF%AF%E5%B7%AE>

潘偉庭, & 楊明德. (2014). 應用多來源影像進行影像式模型重建及精度評

估指標建立. 國立中興大學土木工程學系碩士學位論文.



內政部國土測繪中心

地址：臺中市南屯區黎明路 2 段 497 號 4 樓

網址：[www.nlsc.gov.tw](http://www.nlsc.gov.tw)

總機：(04) 22522966

傳真：(04) 22592533