

綠島高精度圖資及三維實景於數位孿生之應用

沈碧恕¹ 王明楠² 李良輝³ 林宏麟⁴ 賴澄漂⁵

邱俊榮^{6*} 簡睿怡⁷

摘要

臺東縣政府配合中央國土資訊系統基本地形資料庫建置政策，辦理「綠島鄉高精度數值地形圖資精進暨 3D 數值實景建模測製計畫建置案」，採用有人航攝飛機同時搭載空載光達及傾斜攝影系統，製作綠島 6 cm 真實正射影像、50 cm 數值高程模型、6 cm 3D 實景模型、10 處 LOD3 精緻建物模型，及使用真實正射影像繪製之一千分之一地形圖為全國首創，其成果驗證精度均符合規範，達到「影像即地圖」的目標，將綠島打造成為數位孿生(Digital Twin)空間資訊開放數位創新實驗區及 3D GIS 示範場域，高精度圖資可應用於地籍測量、土地規劃、土木建築、旅遊路線及防災救難等。

關鍵詞：數值地形圖、3D 數值實景建模、數位孿生、全波形空載光達、傾斜攝影系統

1. 前言

109 年為配合國家重大建設，推動臺東縣縣政發展，完成蘭嶼地區現況之正射影像及地形圖資料，加速建置臺東縣政府國土資訊基本資料庫，以作為地籍測量應用與土地規劃之基礎參考圖資，成效非常卓越。

本作業係臺東縣政府於 112 年延續前期計畫，並配合中央國土資訊系統基本地形資料庫與地理資訊系統建置政策，以及 TWD97 系統之國土測繪標準，滿足縣政規劃與推動、地理資訊便民服務系統建置及民間套繪參考等實際使用需求，爰辦理「綠島鄉高精度數值地形圖資精進暨 3D 數值實景建模測製計畫建置案」。測製範圍為綠島風景特定區陸域部分(應包含沿岸島礁區)面積約為 1,500 公頃(ha)(臺東縣政府，2022)，採用有人航攝飛機同時搭載空載光達與大像幅傾斜攝影系統，以傾斜攝影

測量和電腦視覺理論所發展的 MVS / SfM (Multi-View Stereo / Structure from Motion) 影像處理技術，能有效改善建物重建的完整性與精度(Rothermel *et al.*, 2012)，提供品質更好的三維密點雲、三維影像模型和真實正射影像等成果(李怡蓁，2014、張立穎，2017)，並經實際驗證所產製的圖資已能滿足數值地籍測量及土木工程地形資料的精度要求(李欣宜，2019、顏港龍，2019、林獻章，2020、張庭榮，2019)。

綠島高精度數值地形圖資和三維實景成果證實符合航測精度規範，更可簡化圖資製作工序，減少人力設備，大幅提升航測效率，並可應用於數位孿生技術結合水文分析模型，進行精確的淹水模擬與災害風險評估；以及高精度的三維地形模型為坡地穩定性分析與土石流預警系統提供重要基礎資料；同時視域分析與避難路線規劃等應用，為城市防災管理提供科學決策支援(Liu *et al.*, 2009)等多目標應用。

¹ 臺東縣政府地政處 處長

² 臺東縣政府地政處 科長

³ 中國測量工程學會 監審案計畫主持人

⁴ 中國測量工程學會 監審案協同主持人

⁵ 自強工程顧問有限公司 董事長

⁶ 自強工程顧問有限公司 副總經理

⁷ 自強工程顧問有限公司 專案組長

* 通訊作者，電話：02-22252200 轉 221，E-mail: 221@st2200.com

收到日期：民國 114 年 01 月 02 日

修改日期：民國 114 年 04 月 14 日

接受日期：民國 114 年 09 月 22 日

2. 工作方法

2.1 工作流程

工作流程如圖 1 (沈碧恕等, 2022)。

2.2 航測標布設

依據內政部一千分之一數值航測地形圖測製作業規定之航測標布設原則, 使用測區內使用既有

「主控制點」、「圖根點」以及「新布設鋼標」, 於航空攝影前在選定點位上設置對空標誌, 做為空中三角測量(以下簡稱空三)控制之用, 布設分布及現場照片如圖 2 所示。

為檢核成像品質, 測區內至少布設一處幾何解析度及色彩平衡檢定標為檢核成像品質, 檢定標大小為 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 之正方形, 黑白雙色各為兩塊 1 m^2 的正方形, 如圖 3 所示。

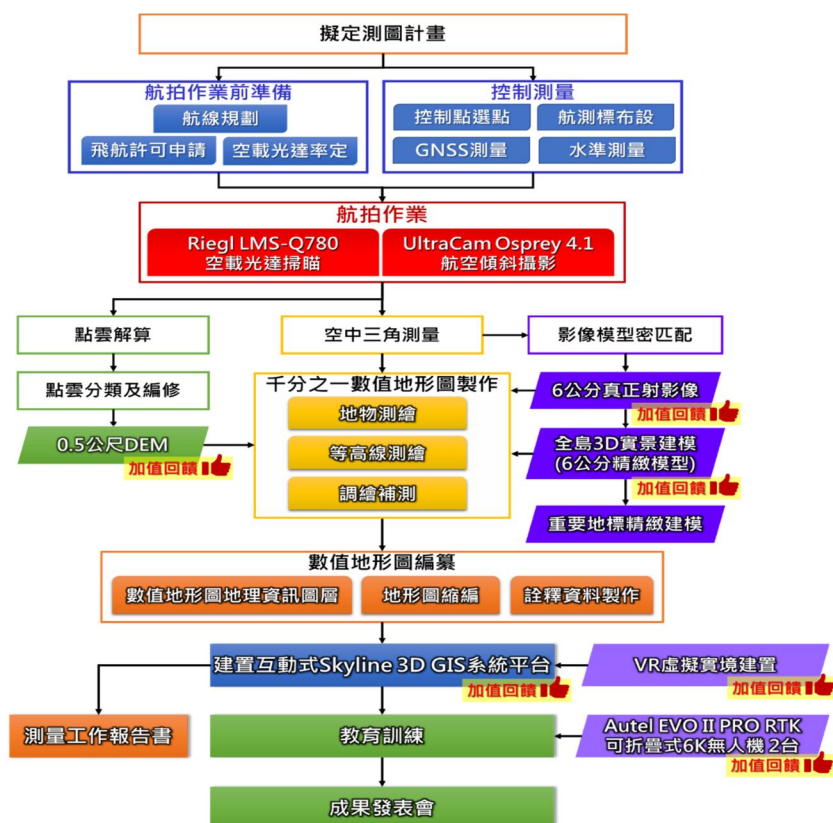


圖 1 工作流程圖



圖 2 航測控制點、檢定標控制點及檢核點分布

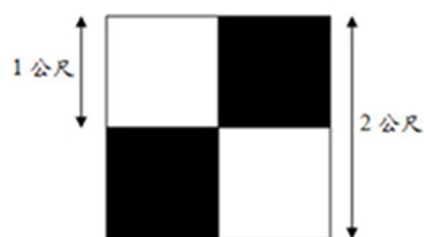


圖 3 檢定標規格及現場照片

2.3 控制測量

2.3.1 平面控制測量

依據內政部「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」，採用內政部國土測繪中心「107 年離島一等水準點測量成果」及「107 年離島衛星定位測量 TWD97【2010】成果」之 TWD97【2010】坐標系統成果作為已知平面控制點，以 GNSS 靜態進行測量坐標。

2.3.2 高程控制測量

高程控制系統採用內政部國土測繪中心「107 年離島一等水準點測量成果」之正高成果，以直接水準測量方式引測至航測控制點，作為測區高程控制資料之依據。

2.3.3 方塊標檢核點布設及測量

於既有「主控點」及「圖根點」上布設 20cm 方塊標，使用 RTK 連測「107 年離島一等水準點測量成果」-已知一等水準點(TWD97【2010】、正高)為基準站，取得移動站-方塊標檢核點之平面及高程位置。

2.4 航空攝影

2.4.1 使用儀器

使用 UltraCam Osprey 4.1 大像幅傾斜像機如圖 4 所示，擁有多方向動態補償技術 (Adaptive Motion Compensation)，可同時兼顧精緻模型紋理獲取與高精度製圖需求，以及垂直與傾斜航拍影像解析度一致。此外，20,544 像素的橫向覆蓋範圍搭配高解析的 3.76 μm 像元尺寸，大幅度提升飛航執行效率，



圖 4 UltraCam Osprey 4.1 大像幅傾斜攝影機儀器照

2.4.2 航線規劃

依據作業規定規劃測區航線相關資訊如表 2，共 31 條航線，總長為 212 km，航線規劃成果以及計畫範圍套疊如圖 5。

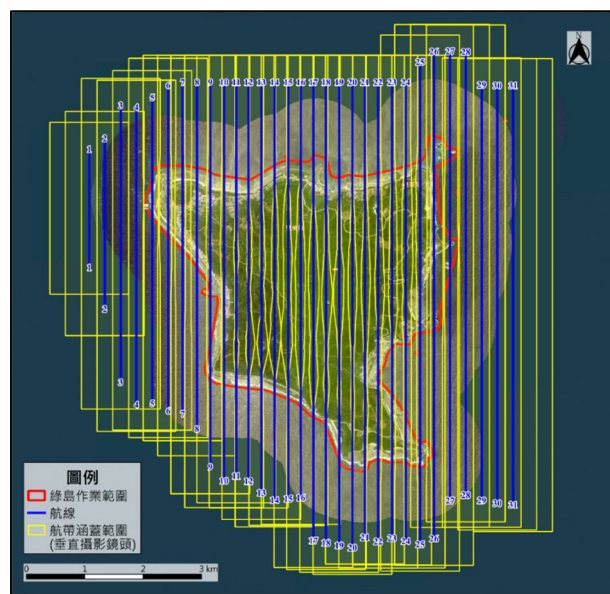


圖 5 航線規劃成果圖

2.4.3航空攝影作業方法

航空攝影全程以 GNSS 輔助導航，並以高精度 GNSS 及高頻率 IGI IMU 輔助航拍，計算出每張航片之定位姿態(position and orientation system, POS)，

以提高空中三角平差及立體測圖精度。

採用雙引擎有人專業航攝飛機(BN2-B69896)於臺東機場執行綠島航拍計畫，執行任務照片如圖 6 所示。

表 1 UltraCam Osprey 4.1 大像幅傾斜攝影機規格表

垂直攝影主像機		傾斜攝影像機	
影像大小	20,544 × 14,016 pixels	影像大小	14,144 × 10,560 pixels
像素大小	3.76 μm × 3.76 μm	像素大小	3.76 μm × 3.76 μm
焦距	79.6 mm	焦距	123.38 mm
動態範圍	> 83 db	動態範圍	> 83 db
連拍時間	0.7s	連拍時間	0.7s
鏡頭畸變	<0.002mm	鏡頭畸變	<0.002mm

表 2 航線規劃資訊

項次	項 目		規劃資訊	備 註
1	飛航高度		1400 m	
2	航拍測線		31 條	
3	飛航長度		212 km	-
4	UltraCam Osprey 4.1 影像	垂直及傾斜影像解析度(GSD)	6 cm	全面 6 cm 高解析影像
5		左右重疊	80 %	符合規範 製作三維網格模型
6		前後重疊	80 %	
7	Riegl LMS-Q780	左右重疊	83 %	-
8		發射頻率	190 kHz	-
9		光達強度	100 %	-
10		密度	6 點/m ²	產製 0.5m DEM/DSM



圖 6 BN2-B69896 執行航拍實照

2.5 數值高程模型及等高線測繪

採用全波形空載光達 Riegl LMS-Q780(如圖 7 所示)與大像幅航空傾斜攝影機 UltraCam Osprey 4.1 同步拍攝掃瞄，完整獲取相應航拍影像之地形資訊，如圖 8 所示，能記錄 1ns 取樣之波形資料，需包含發射脈衝(transmitted pulse)與接收回波之波形，以及 8bit(含)以上之反射強度資訊，掃瞄成果需能輸出回波波形相關屬性資料，如波形寬度(width)、振幅(amplitude)值等。

於空載光達點雲航帶平差工作完成，利用 Terrascan 模組進行點雲自動分類，其演算法原理主要利用選取範圍內的低點組成三角網模型，形成初始地表，接續以人工設定三角網垂直距離(iteration distance)，判定其餘點是否為地表點，自動分類地表點雲與非地表點雲。藉由點雲自動分類完成初步地表分類，接續以人工編修獲取完整地表資料。

使用 SCOP++軟體將分類後點雲成果內插為 0.5 m 之 DEM/DSM，以空載光達測量得到之 DEM

產製等高線，等高線間隔，首曲線為 1 m，計曲線為 5 m。

2.6 真實正射影像製作

2.6.1 真實正射影像製作

採用多視點立體(Multi-View Stereo)視覺攝影測量方式進行真實正射影像(True-Ortho Images)製作，使用 Metashape 軟體製作真實正射影像，匯入 GNSS+IMU 精密解算外方位(POS)數據，採用 SfM 原理進行影像自動匹配，並採用局部優化空三方式進行解算，製作示意畫面如圖 9 所示。

使用影像密匹配稠密點雲(如圖 10 所示)製作之 DSM 用於真實正射影像投影糾正，如圖 11 所示。

數值真正射影像以彩色影像表示，並進行無縫鑲嵌及調整全區影像之色調、亮度一致，整張正射影像之色調應均勻，接邊處色調需一致，不應有人眼可辨識之邊緣線，製作 6 cm 真實正射成果如圖 12 所示。



圖 7 空載光達 Riegl LMS-Q780 實機照

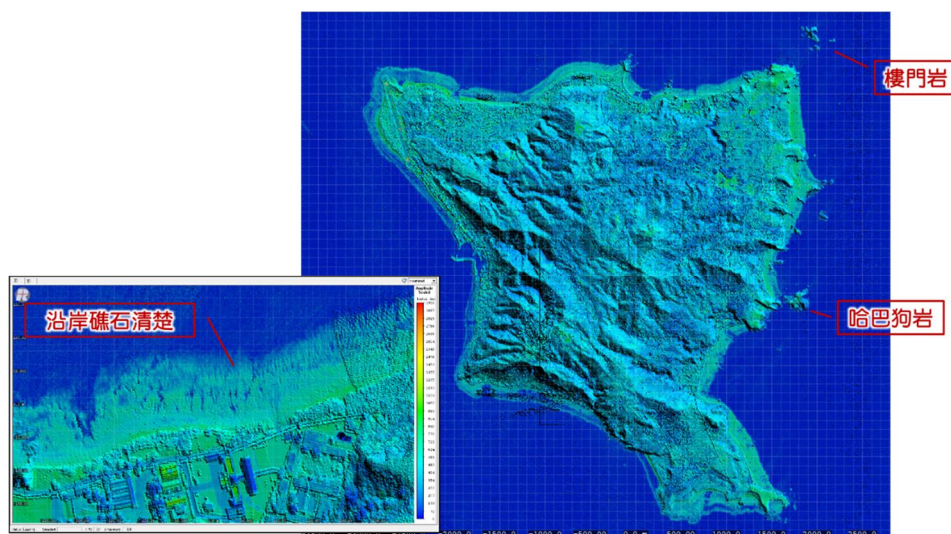


圖 8 綠島空載光達掃瞄點雲成果初步展示

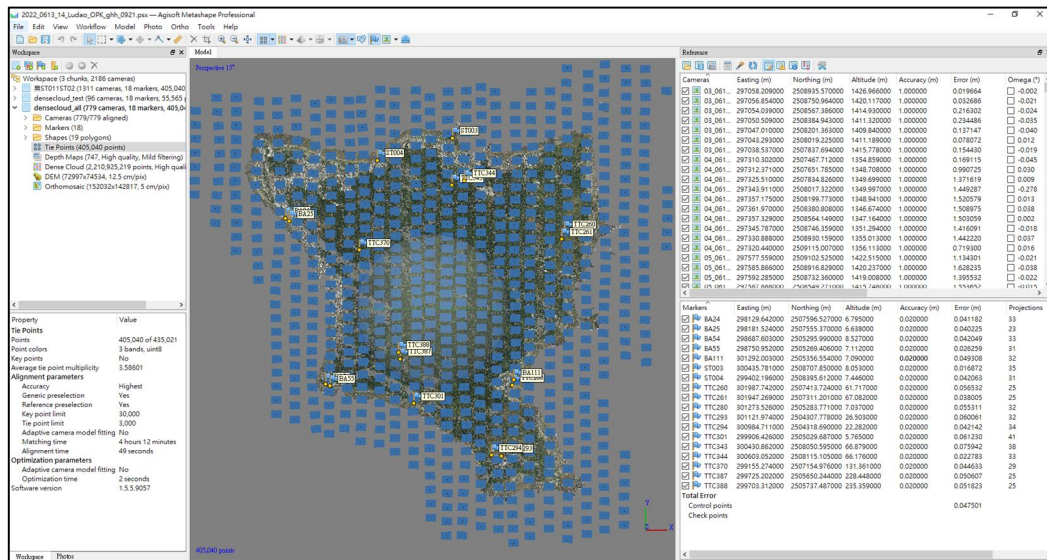


圖 9 Metashape 軟體真實正射影像作業畫面

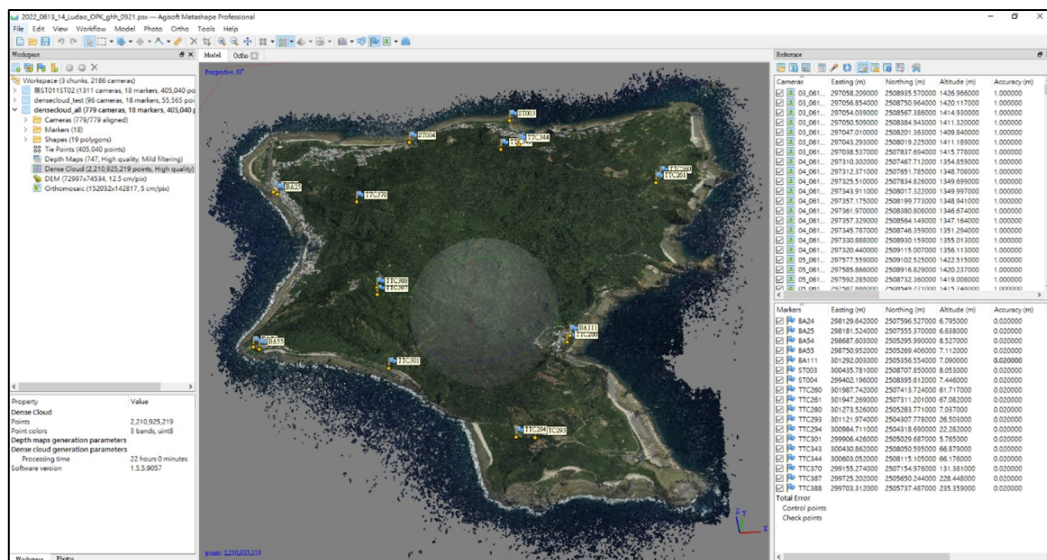


圖 10 影像密匹配稠密點雲畫面

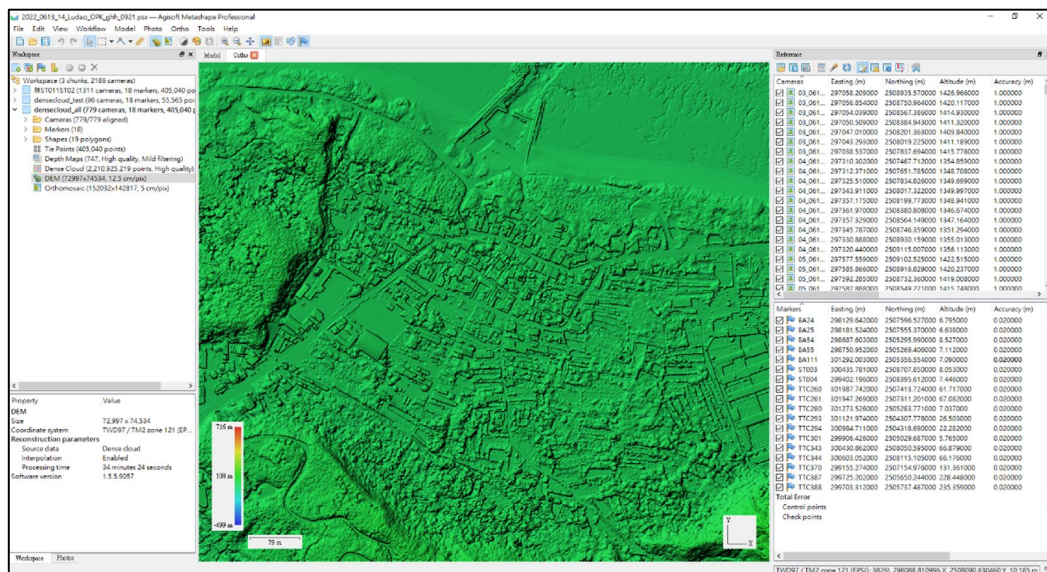


圖 11 影像密匹配稠密點雲產製 DSM 畫面

2.6.2 真實正射影像精度比對

(1) 航測標與真實正射影像平面位置比對

量測 20 個航測標坐標與真實正射影像上航測標中心點平面位置均方根誤差為 4.3 cm，符合作業規定不得大於 50 cm。

(2) 檢核點與真實正射影像平面位置比對

量測 37 個檢核點坐標與真實正射影像上平面位置均方根誤差為 4.9 cm，符合作業規定不得大於 50 cm。

2.7 三維模型

2.7.1 綠島三維網格模型

(1) 使用軟硬體及作業方法

使用 UltraCam Osprey 4.1 全面航拍垂直及傾斜均達 6cm 原始影像，UltraCam Osprey 4.1 垂直及傾斜五台像機為同時、同曝光點、同軸、同解析度獲取影像資訊，高準確獲取測量成果且毫無時間差，並為確保綠島地物側邊資訊完整獲取，外擴增加綠島

四周航線，使綠島達到垂直及傾斜影像前、後、左、右全覆蓋。

以 ContextCapture Center 軟體進行 3D 地貌重建，ContextCapture Center 具有高性能影像解譯及平行處理能力，僅依靠影像資料，即可以創建逼真的 3D 建模場景，在精度、自動化、適應性及流暢性等方面都有著相當高的優勢，作業畫面如圖 13 所示。

(2) 綠島三維網格模型成果

節錄綠島具代表性地標的三維網格模型成果如圖 14~16 所示。

2.7.2 三維網格模型成果精度分析

量測 20 個航測標控制點平均精度高達 3 cm，航測標控制點坐標與三維網格模型差值比較如表 3，量測畫面如圖 17。

2.8 重要地標精緻建模

(1) 選擇 10 處重要地標、古蹟、機關、商業設施，製成 LOD3 精緻建物模型，擇訂建置地標如表 4 所示。

表 3 航測標與三維網格模型差值

序號	點名	航測標控制點坐標		三維網格模型
		X(m)	Y(m)	距離差值(m)
1	ST001	297894.655	2508565.342	0.00
2	ST002	301890.572	2504047.157	0.03
3	ST003	300435.781	2508707.850	0.01
4	ST004	299402.196	2508395.612	0.02
5	TTC260	301987.742	2507413.724	0.01
6	TTC261	301947.269	2507311.201	0.02
7	TTC280	301273.526	2505283.771	0.05
8	TTC293	301121.974	2504307.778	0.04
9	TTC294	300984.711	2504318.690	0.04
10	TTC301	299906.426	2505029.687	0.02
11	TTC343	300430.862	2508050.595	0.01
12	TTC344	300603.052	2508115.105	0.05
13	TTC370	299155.274	2507154.976	0.04
14	TTC387	299725.202	2505650.244	0.01
15	TTC388	299703.312	2505737.487	0.03
16	BA111	301292.003	2505356.554	0.07
17	BA24	298129.642	2507596.527	0.05
18	BA25	298181.524	2507555.370	0.06
19	BA54	298687.603	2505295.990	0.02
20	BA55	298750.952	2505269.406	0.01
3D 模型與航測標平均精度				0.03



圖 12 綠島真實正射影像製作成果

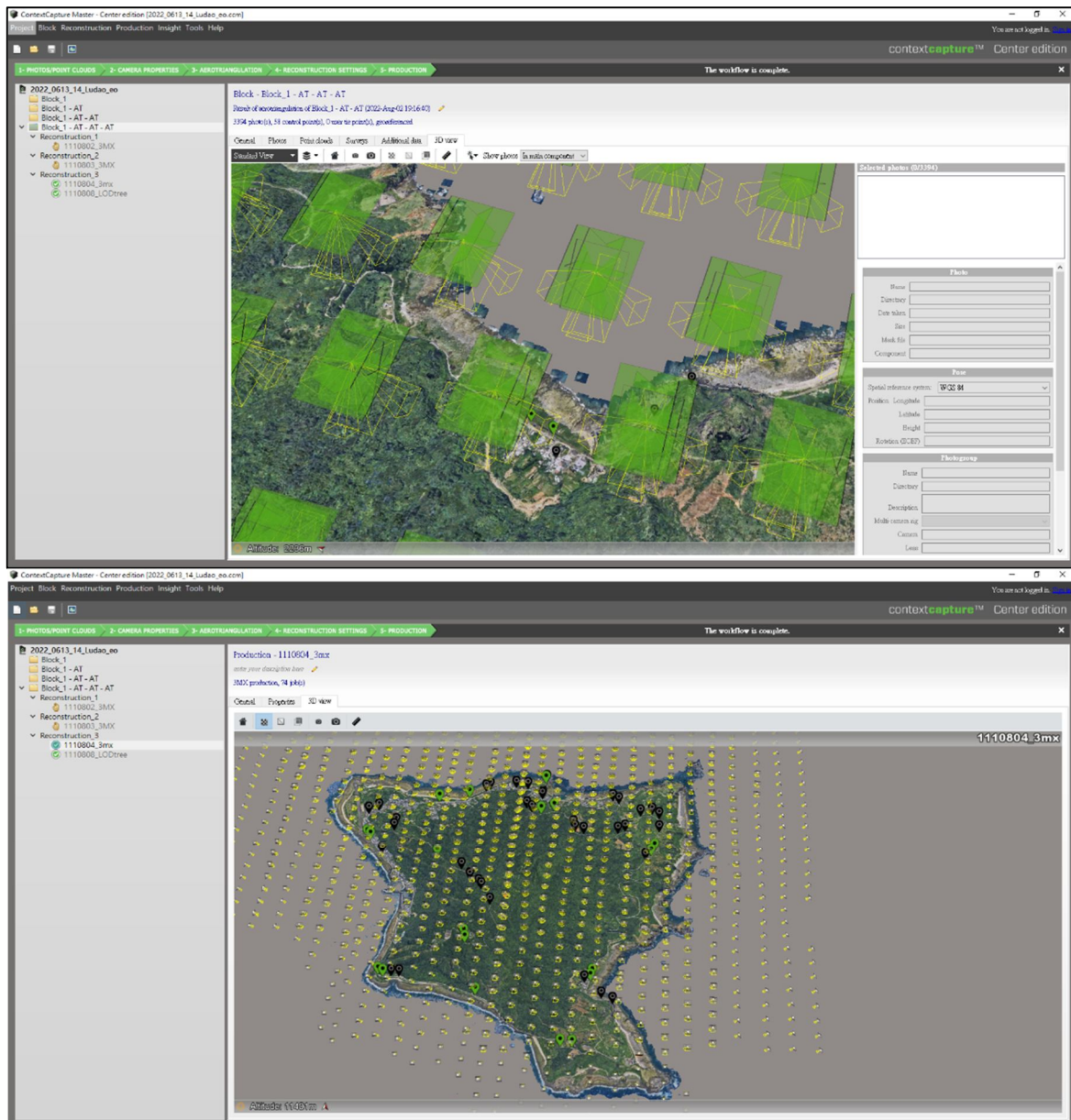


圖 13 ContextCapture Center 3D 建模作業畫面



圖 14 中寮漁港三維網格模型成果

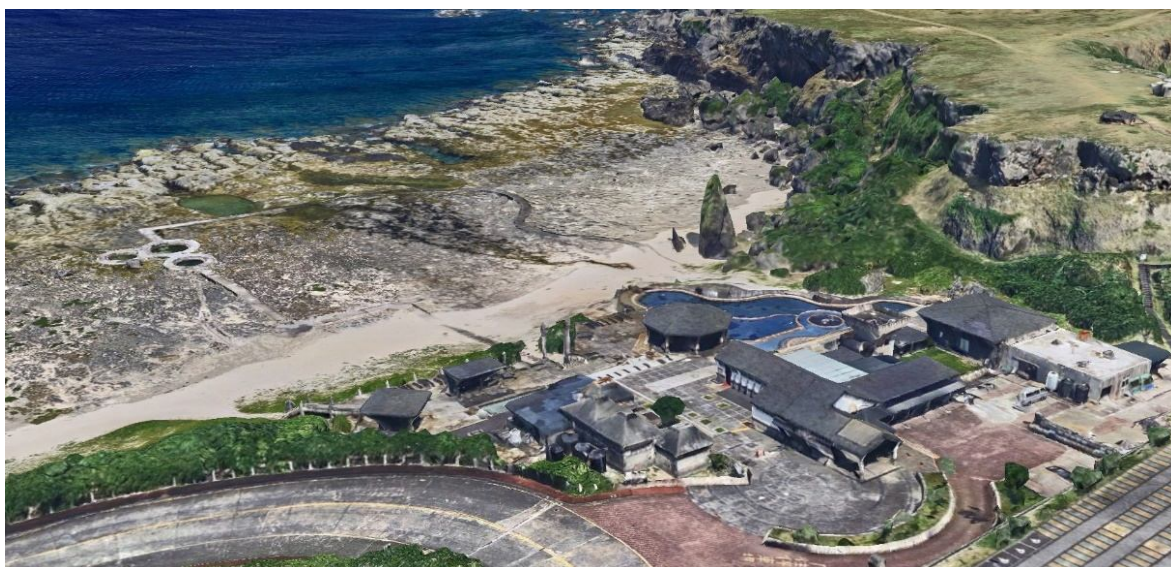


圖 15 朝日溫泉三維網格模型成果

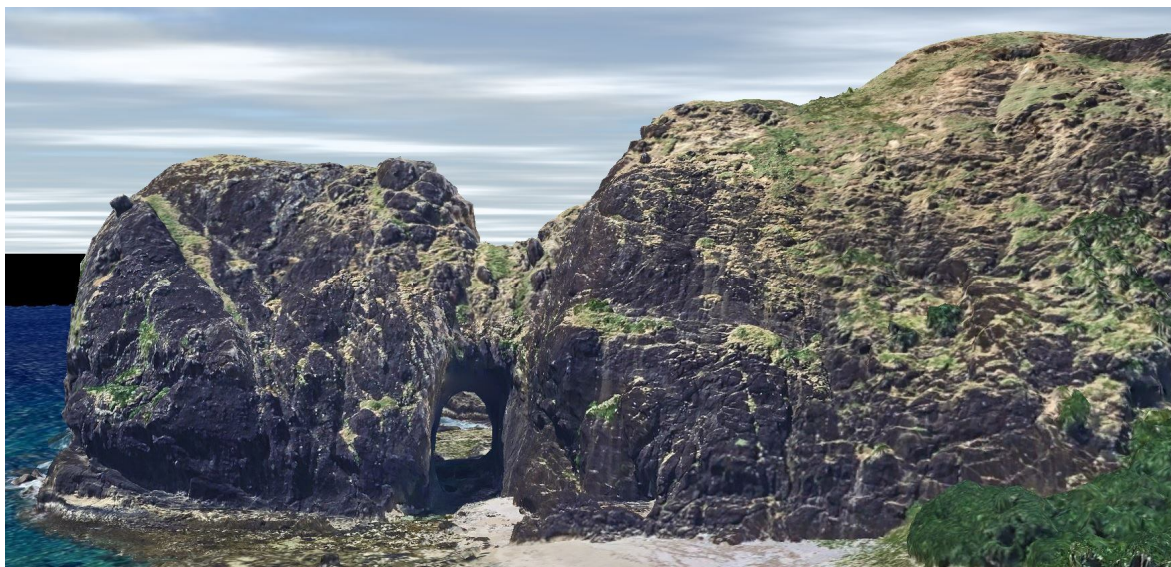


圖 16 睡美人岩三維網格模型成果



圖 17 三維建模成果與航測標量測畫面

表 4 10 處重要地標精緻建模一覽表

項次	地標	管理機關
1	綠島燈塔	交通部航港局
2	綠島燈塔園區	交通部航港局
3	綠島遊客中心	交通部觀光局東部海岸國家風景區管理處
4	人權紀念公園	國家人權博物館
5	國家人權博物館	國家人權博物館
6	綠島人權文化園區-八卦樓	國家人權博物館
7	中正堂	國家人權博物館
8	公館國小	臺東縣綠島鄉公館國民小學
9	綠島鄉公所	臺東縣綠島鄉公所
10	綠島免稅商店	臺東縣政府(財政及經濟發展處)

(2) 資料蒐集

在建 3D 立體模型之前，首先蒐集建置物件之各種角度像片、物體結構設計圖等各式資料。資料蒐集之完整性與否對之後 3D 立體模型的製作上會有相當顯著的直接影響，為得到最精緻的 3D 建模，特配合地面近景攝影及 UAV 空拍攝影，以蒐集最全方位建物特徵及最高解析建物材質資料(如圖 18 所示)。

(3) 模型建置

藉由現地量測及 UAV 航拍資訊中取得初步 3D 模型為比例依據，參考現地近景攝影及 UAV 空拍照片資料，逐步進行 3D 模型的建模工作，拉出立體形狀並且加以修飾。

將模型所有貼面作一標準化處理，使貼圖與骨架能夠完美對應，將修飾完成的貼圖置入原先做好的 3D 軟體中，分別將建物材質貼圖貼附在相對應的 3D 模型上，精緻 3D 模型成果完成如圖 19 所示。



圖 18 近景攝影及材質蒐集

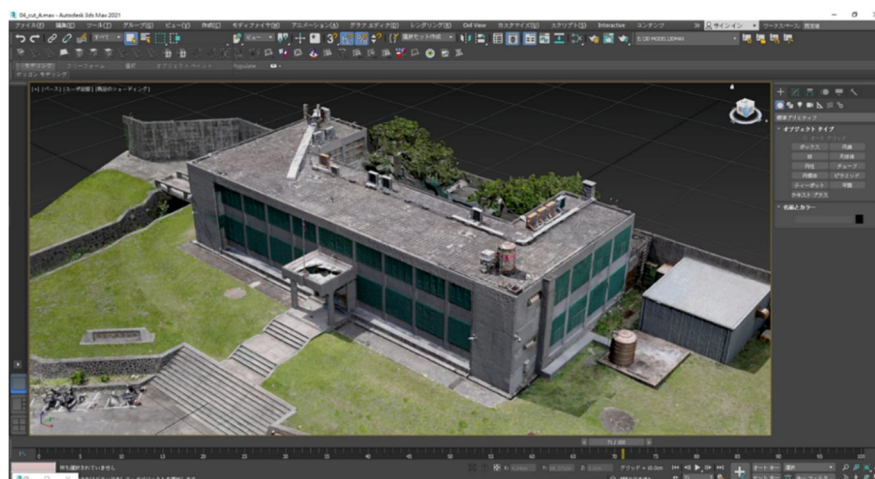


圖 19 重要地標精緻 3D 模型成果

2.9 一千分之一地形圖

2.9.1 地物測繪

- (1) 依據工作會議監審方所建議，採用真正射影像繪製平面圖，不足之處再以立體模型補繪，如此可以大幅減輕內業繪圖工作量，同時得到影像地形圖。
- (2) 使用傳統立體製圖與真實正射影像比對平面位置，於 7 ha 範圍內比對 23 個不同地類，平面均方根誤差為 3.3 cm，說明使用真實正射影像繪製地形圖精度符合地形圖作業規定(不得大於 25

cm)，且精度與傳統立體製圖旗鼓相當。傳統立體製圖與真實正射影像平面差值如表 5 所示。

- (3) 因真實正射影像僅呈現平面地物資訊，部分地形圖地物、地類、類別不容易辨別，使用同一時間取得傾斜影像產製之 3D 模型、同步空載光達點雲產製 50cm DEM 日照陰影圖及立體製圖輔助真實正射影像繪製地形圖，真實正射影像繪製困難類別及補助測繪之方法如表 6 所示，繪製畫面如圖 20 所示。
- (4) 採用編修完成的空載光達點雲，於道路上及平坦區、植物地區及地形變化等處，萃取適當位置的地面點作為地形圖獨立標高點。

表 5 傳統立體製圖與真正正射影像坐標比對表

檢驗點		立體製圖坐標(m)		真正正射影像坐標(m)		平面誤差(m)
		X	Y	X	Y	
1	建物 1	301222.585	2505133.921	301222.503	2505133.880	0.092
2	建物 2	301186.150	2505137.667	301186.150	2505137.667	0.000
3	建物 3	301181.743	2505181.228	301181.743	2505181.228	0.000
4	建物 4	301204.502	2505223.643	301204.466	2505223.635	0.036
5	建物 5	301224.108	2505247.813	301224.090	2505247.851	0.042
6	建物 6	301172.089	2505258.224	301172.085	2505258.290	0.066
7	建物 7	301220.640	2505282.851	301220.640	2505282.851	0.000
8	建物 8	301215.022	2505310.847	301215.012	2505310.890	0.045
9	建物 9	301240.550	2505351.218	301240.550	2505351.218	0.000
10	建物 10	301191.186	2505342.334	301191.154	2505342.388	0.062
11	道路 1	301205.915	2505248.597	301205.915	2505248.597	0.000
12	道路 2	301256.544	2505256.257	301256.544	2505256.257	0.000
13	道路 3	301216.355	2505146.988	301216.355	2505146.988	0.000
14	道路 4	301238.888	2505104.167	301238.888	2505104.167	0.000
15	道路 5	301274.853	2505064.424	301274.853	2505064.424	0.000
16	道路 6	301259.183	2505349.357	301259.183	2505349.357	0.000
17	道路 7	301225.131	2505322.040	301225.131	2505322.040	0.000
18	混凝土堤 1	301291.484	2505357.218	301291.484	2505357.218	0.000
19	混凝土堤 2	301252.909	2505215.397	301252.909	2505215.397	0.000
20	混凝土堤 3	301296.297	2505168.441	301296.271	2505168.494	0.059
21	混凝土堤 4	301254.500	2505130.619	301254.500	2505130.619	0.000
22	混凝土堤 5	301294.200	2505092.478	301294.200	2505092.478	0.000
23	牆 1	301202.553	2505270.067	301202.553	2505270.067	0.000
7 公頃(ha)範圍 檢核 23 個不同地物 均方根誤差						0.033

表 6 真正正射影像繪製困難類別及補助測繪之方法

地形資料名稱	輔助測繪
土坎	同步傾斜影像產製之 3D 模型、 同步空載光達點雲產製 50 cm DEM 日照陰影圖
樓層註記	同步傾斜影像產製之 3D 模型
電桿、燈桿	傳統立體製圖
露岩	同步傾斜影像產製之 3D 模型
植被遮蔽之水線、結構線、道路、小徑	同步空載光達點雲產製 50 cm DEM 日照陰影圖



圖 20 使用 3D 模型輔助真正正射影像繪製地形圖

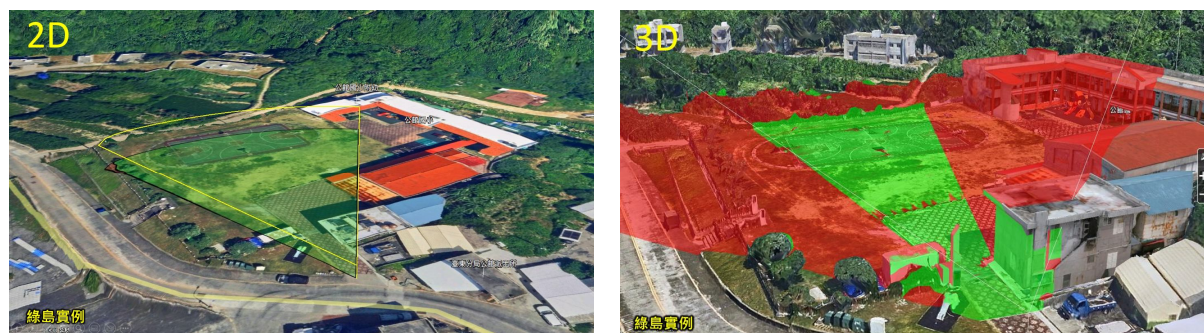


圖 22 視域分析及防災避難之應用



圖 23 淹水模擬之應用



圖 24 土地規劃及土木建築之應用

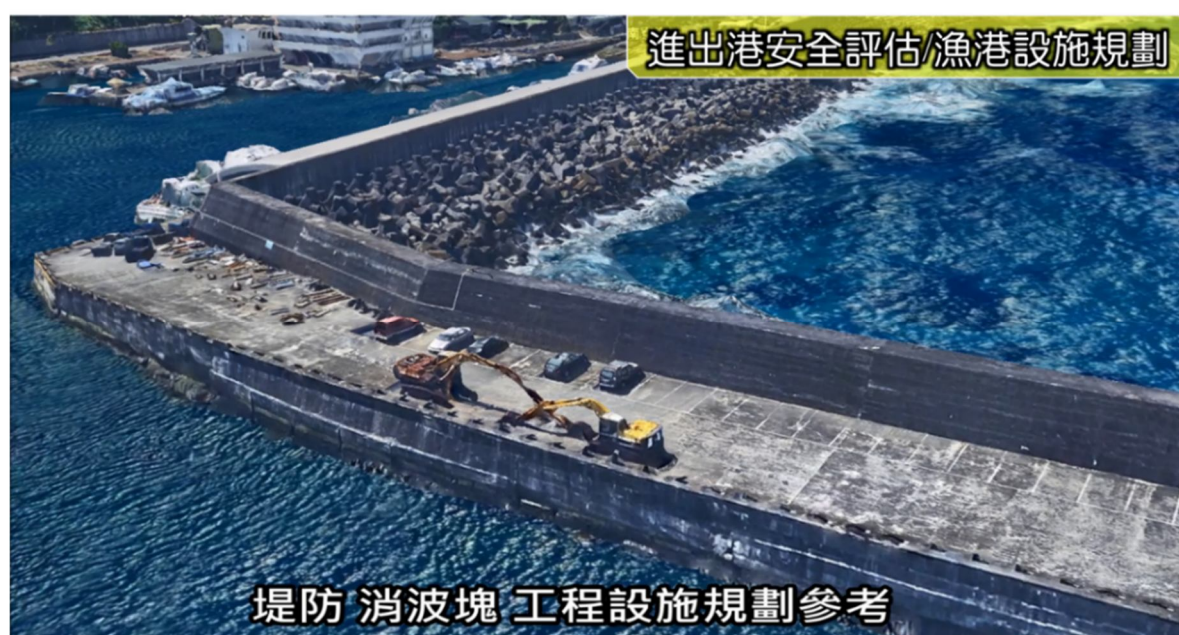


圖 25 港埠安全評估之應用



圖 26 VR 虛擬實境及旅遊路線規劃之應用



圖 27 文化資產保存之應用

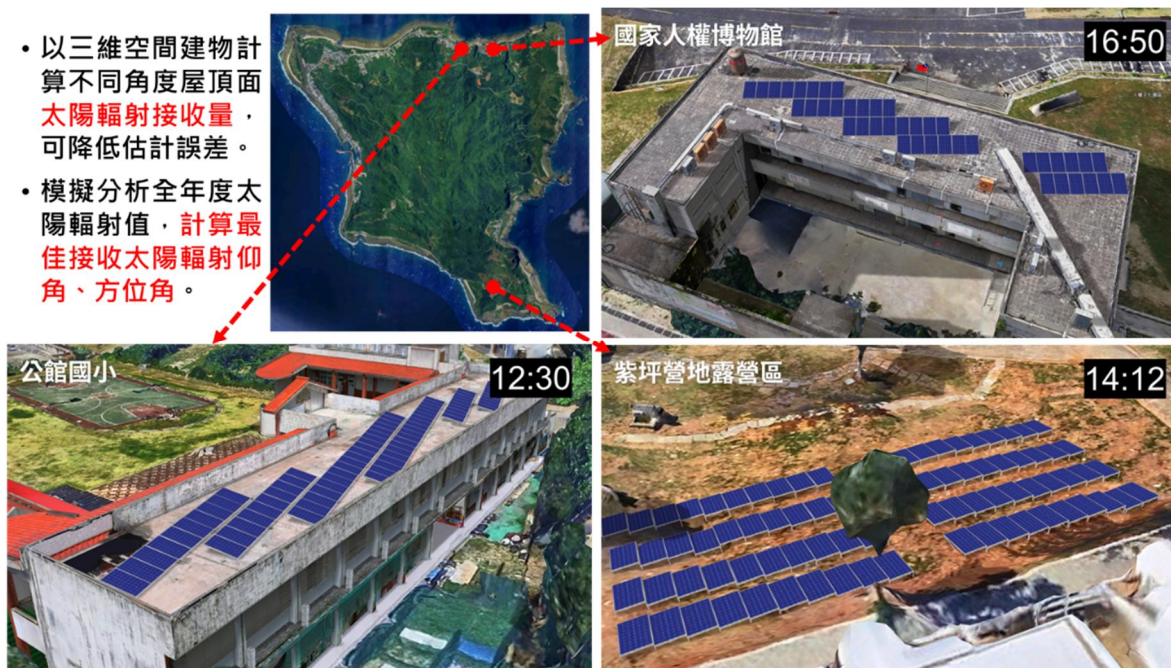


圖 28 太陽能光電潛力分析之應用

4. 結論與建議

4.1 結論

採用雙引擎有人專業航攝飛機，同步搭載全波形空載光達及大像幅航空傾斜攝影系統，以左右重疊率達 80% 方式執行光達掃描及傾斜攝影，獲得高密度光達點雲及高解析航拍像片，完成綠島全區 6 公分真實正射影像、50 cm 數值高程模型、6 cm 3D 實景模型、10 處 LOD3 精緻建物模型等成果，也採用 6 cm 真實正射影像繪製之一千分之一地形圖，成果驗證精度均符合規範，達到「影像即地圖」的目標，將綠島打成為數位孿生空間資訊開放數位創新實驗區及 3D GIS 示範場域，可應用於地籍測量、土地規劃、土木建築、旅遊路線及防災救難等，成為規劃、評估、展示、執行最佳利器。

4.2 建議

- (1) 內政部國土測繪中心於民國 112 年開始執行「多維度空間資訊基礎圖資測製工作」，推動測製一千分之一地形圖及建置三維網格模型，同時於範圍內選定適當地區及地標建置精緻化之建物模型，選定部分特色聚落、社區總體營造及地方創生地區測製 LOD2 建物模型屋頂結構，及針對重要地標建置 LOD3 建物模型等成果，建議內政部主管機關持續爭取預算，每年投入該計畫推動執行。
- (2) 於國土計畫內建議可採用高重疊高解析的航空傾斜攝影系統，產製的真實正射影像及三維網格模型；並同步執行全波形空載光達掃描，獲得高精度地面標高點及 1 m 等高線，輔助傳統立體製圖提高作業效率。
- (3) 針對無產製一千分之一地形圖的國土地區，以及未來已建置一千分地形圖地區之修測，建議可採用高重疊高解析的航空傾斜攝影系統，產製真實正射影像及三維網格模型作為地形圖資之應用。
- (4) 因應全球真正射製圖的潮流，建議相關單位也需要針對此項技術深入了解及研究，期能讓航測製圖操作過程更為簡便及大眾化，容易上手以利繪

圖人員訓練，相信將有助於航測製圖技術方向的發展。

誌謝

感謝臺東縣政府地政處沈碧恕處長、王明楠科長、吳太龍技正、黃盈彰技士，以及臺東縣臺東地政事務所張泓平課長等人的支持與協助，得以讓綠島案各項工作順利推展如期超值完成。

感謝監審案主持人李良輝老師及林宏麟老師的指導與建議，得以讓綠島案獲得高品質與超創新之各項成果。

參考文獻

- 玉山國家公園管理處，2020。玉山國家公園西北園區航空攝影與光達掃描作業暨圖資製作案，玉山國家公園管理處委託辦理成果報告。[Yushan National Park Headquarters, 2020. Yushan National Park shi bei yuan chiu hang kung she ying yu guang da sau miao tzu ye ji tu tz jr tzu an, The Final Report for Yushan National Park Headquarters. (in Chinese)]
- 李怡蓁，2014。基於多視立體視覺的三維重建與真正射影像製作，國立高雄應用科技大學土木系碩士論文。[Lee, Y.C., 2014. 3-D reconstruction and true orthophoto generation based on multiple view stereo, Master Thesis, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- 李欣宜，2019。UAS 航測於地籍圖重測效率提升之研究 -以苗栗縣竹南鎮鹽館前段為例，嘉南藥理大學應用空間資訊系碩士論文。[Lee, X.Y., 2019. Efficiency improvement on the resurvey of cadastral map using UAS photogrammetry-Case study in Yanguanqian Section, dacuo subsection Zhunan Township, Miaoli County, Master Thesis, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- 沈碧恕、王明楠、賴澄漂、邱俊榮、簡睿怡，2022。綠島鄉高精度數值地形圖資精進暨 3D 數值實

- 景建模測製計畫(建置案)，臺東縣政府委託勞務計畫測量工作報告書，共 109 頁。[Shen, P.S., Wang, M.N., Lai, C.P., Chiu, C.J, and Jian, R.Y., 2022. Liu dau shiang gau jing du shu jr di shing tu tzjing jin ji 3D shu jr shr jing jian mo tse jr ji hua (jian jr an), The Final Report for Taitung County Government, 1-109. (in Chinese)]
- 林獻章，2020。UAS 技術配合 CIVIL 3D 於河川疏濬設計之研究，嘉南藥理大學應用空間資訊系碩士論文。[Lin, H.S., 2020. Study on river dredging designing using UAS technology with CIVIL 3D, Master Thesis, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- 張立穎，2017。基於影像式稠密點雲之三維數值城市建模，國立高雄應用科技大學土木系碩士論文。[Chang, L.H., 2017. 3D digital city modeling from image-based dense point cloud, Master Thesis, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- 張庭榮、李良輝，2019。多視立體視覺三維重建技術於工程監測與變遷偵測應用，中國土木水利工程學刊，31(4)：337-350，DOI：10.6652/JoCICHE.201906_31(4).0005。[Chang, T.R., and Lee, L.H., 2019. Engineering monitoring and change detection for multi-view stereo 3D reconstruction technology, Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering, 31(4): 337-350, DOI: 10.6652/JoCICHE.201906_31(4).0005. (in Chinese)]
- 彭紹博，2022。推動智慧國土數位孿生之展望，T&D 飛訊，289：1-22。[Peng, S.B., 2022. Twei dung jr hwei guo tu shu wei luan sheng jr jan wang, Training & Development, 289: 1-22. (in Chinese)]
- 臺東縣政府，2022。綠島鄉高精度數值地形圖資精進暨 3D 數值實景建模測製計畫(建置案)服務建議徵求書，臺東縣政府委託勞務計畫，共 24 頁。[Taitung County Government, 2022. Liu dau shiang gau jing du shu jr di shing tu tzjing jin ji 3D shu jr shr jing jian mo tse jr ji hua (jian jr an) fu wu jian yi jeng chiou shu, Taitung County Government wei tuo lau wu ji hua, 1-24. (in Chinese)]
- 顏港龍，2019。UAS 航測輔助土地鑑界與分割之研究，嘉南藥理大學應用空間資訊系碩士論文。[Yen, K.L., 2019. Study or UAS photogrammetry assist survey of land boundary verification and division, Master Thesis, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan, ROC. (in Chinese)]
- Liu, X., Zhang, Z., and Peterson, J., 2009. Evaluation of the performance of DEM interpolation algorithms for LiDAR data, in Proceedings of the Surveying & Spatial Sciences Institute Biennial International Conference, Adelaide, Australia, pp.771-779.
- Rothermel, M., Wenzel, K., Fritsch, D., and Haala, N., 2012. SURE: Photogrammetric surface reconstruction from imagery, in Proceedings of the Low Cost 3D Workshop, Berlin, Germany.

Application of High-Precision Maps and 3D Mesh in Digital Twin for Ludao Township

Bi-Shu Shen¹ Ming-Nan Wang² Liang-Hui Li³ Hong-Lin Lin⁴
Cheng-Piao Lai⁵ Chun-Jung Chiu^{6*} Rui-Yi Jian⁷

Abstract

In order to align with the central government's policy on land Information System while to meet the needs of the county government's development and surveying in both official and private department, Taitung County Government promote the project of "High-Precision Digital Terrain Map Data Refinement and 3D Mesh in Ludao Township". This project deploy the surveying aircraft equipped with LiDAR system and nadir/oblique camera system. The result of this project includes 6 cm True Orthophotos, 10 sites of LOD3 mesh, 1/1000 mapping using the 6 cm True Orthophotos, which is the first attempt in nation, and the accuracy of these results exceeds standards, achieving the goal of "image as map". This project aims to transform Green Island into an experimental area of digital twin and 3D GIS. The high-precision, high-quality data produced can be applied to cadastral surveying, land planning, civil construction, tourist routes, and disaster prevention. It is sure to become the best tool for Taitung County Government in planning, evaluation, demonstration, and execution.

Keywords: Digital Terrain Map, 3D Modeling, Digital Twin, Full Waveform LiDAR, Oblique Camera System

¹ Director, Taitung County Land Administration Department

² Section Chief, Taitung County Land Administration Department

³ Supervision Project Leader, Chinese Society of Surveying Engineering

⁴ Supervision Project Co-Leader, Chinese Society of Surveying Engineering

⁵ Chairman, Strong Engineering Consulting Co, Ltd

⁶ Vice President, Strong Engineering Consulting Co, Ltd

⁷ Project Team Leader, Strong Engineering Consulting Co, Ltd

* Corresponding Author, Tel: 886-2-22252200 ext.221, E-mail: 221@st2200.com

Received Date: Jan. 02, 2025

Revised Date: Apr. 14, 2025

Accepted Date: Sep. 22, 2025