

## 應用 UAV 影像建置現地堰塞壩三維模型

楊明德<sup>[1\*]</sup> 陳韋廷<sup>[1]</sup> 黃凱翔<sup>[1]</sup>

**摘要** 台灣地區地震、颱風、豪雨不斷，921 地震後山區土質鬆動，復以連年颱風豪雨侵蝕，導致每逢颱風季節，邊坡滑動崩落而形成堰塞湖。而堰塞湖之潰絕造成土石流與洪水災害往往成為山區洪災之重要成因。因此發展迅速且有效之堰塞湖監測技術，實為刻不容緩的重要課題。

本研究使用無人載具飛行器 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)，配合潰壩實驗前所預先佈設之地面控制點，並定點飛行拍照，再以演算法重構出三維場景模型，可符合現階段防災工程之測繪工程中快速及成本低之要求。研究所得結果單尺度轉換之誤差為 1.4963 公尺，而雙尺度轉換三維模型精度大為提升，平面誤差為 0.8760 公尺、高程誤差為 0.2563 公尺。而現地測量所得壩體穩定度(DBI)為 5.13，尺度轉換所得壩體穩定度為 5.12，皆顯示此塞壩呈現不穩定狀態。

**關鍵字:** UAV、IBM、三維模型、壩體穩定度

## Establishment of a 3D on-site model of landslide dam using UAV images

Ming-Der Yang,<sup>[1\*]</sup> Wei-Ting Chen,<sup>[1]</sup> and Kai-Siang Huang<sup>[1]</sup>

**ABSTRACT** Landslide and debris flows due to heavy rains or earthquakes may block river flow and create landslide dam naturally. This research applied unmanned aerial vehicles (UAVs) to do the aerial survey. This research acquired few specific distances between special ground points. Those distances could apply for researchers to find out a suitable scale between real world and 3D reconstruction model. The error of one scale transformation is 1.4963m, and the errors of two scale transformation on XY and Z dimensions are 0.8760m and 0.2563m, respectively. The DBI value of this landslide dam is 5.13 by field surveying and 5.12 by scale transformations, which all shows the landslide dam in an unstable situation.

**Key Words:** UAV, IBM, 3D-model, Dimensionless Blockage Index

---

[1] 國立中興大學土木工程學系

Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan.

\* Corresponding Author. E-mail: mdyang@nchu.edu.tw

## 一、前言

台灣地震、颱風、豪雨不斷，921 地震後山區土質鬆動，復以連年颱風豪雨侵蝕，導致每逢颱風季節，邊坡滑動崩落而形成堰塞湖。而堰塞湖之潰絕造成土石流與洪水災害往往成為山區洪災之重要成因。因此發展迅速且有效之堰塞湖監測技術，實為刻不容緩的重要課題。遙測應用於災害監測與災損評估已行之有年，然目前國際上遙測技術應用於堰塞湖監測之研究仍屬少數，主因於遙測影像的拍攝環境限制，若能突破此瓶頸遙測技術應用於堰塞湖監測應是一個值得探討分析與研發之研究課題。堰塞湖主要形成兩大原因為豪雨及地震，台灣位於亞熱帶板塊交界處屬於颱風與地震頻率頻繁，加以 1999 年 9 月 21 日凌晨 1 點 47 分發生芮氏規模 7.3 強震，在此之後台灣地質脆弱常造成崩塌，豪雨與地震發生後容易造成大量的崩塌形成土石流或者堰塞湖。堰塞湖形成初期並無直接性的災害發生但若潰堤產生可能造成嚴重的災害，因此在堰塞湖形成初期如何快速獲得堰塞湖的大小以便判斷是否造成災害，在堰塞湖防災中是一個很重要的課題。近年來非常規攝影量測的技術與無人載具的興盛，本研究利用無人載具所獲得照片進行 Image based model (IBM)建模，並利用本研究流程獲得更即時準確的三維資訊，供相關單位評估堰塞湖的穩定度以做災害處置決策、減少造成的危害。

## 二、文獻回顧

堰塞壩形成於狹窄河道陡山坡的山區，是山區常見的自然災害之一，由於大雨或地震造成的山崩和土石流，可能會阻止河水流動造成堰塞湖。堰塞壩的突然潰壩會造成大量水體的快速釋放，將使下游地區出現更高的災害風險。雖然大多數堰塞壩都很快潰堤，但有少許的堰塞壩可存在多年（陳樹群 1999）。Takahashi 等人（1994）、Mizuyama 等人（2006）、Davies 等人（2007）、Satofuka 等人（2010）都曾從歷年來堰塞壩潰壩資料，進行潰堤的侵蝕過程分析。Swanson 等人（1986）提出，堰塞壩體積和流域面積是造成堰塞壩穩定性的重要因素。Casagli 和 Ermini（1999）提出壩高、滑坡速度和河谷寬度對壩體穩定性有顯著的影響，Ermini 和 Casagli（2003）進一步發展出 Dimensionless Blockage Index (DBI) 指數，結合三個重要變量（壩高，壩體積，集水區），以評估壩體的穩定性。

遙測技術對地觀測可以提供可視圖像的災難目標辨釋和災害資訊。其中，機載光學技術是地表觀測的主要手段之一，具有機動性和靈活性，適合提供即時災情和地面圖像，包括堰塞湖、道路破壞、山體滑坡和土石流等。在不佳的天氣條件下如欲進行災點評估和實地調查，無人駕駛飛行器(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)可做為執行空中勘察的選項之一。

基於圖像建模 (IBM) 的方式是電腦視覺中的一新技術，可利用於三維模型重建，並且可以通過三維點雲計算被廣泛應用於各種領域 (Brown & Lowe, 2005) (Furukawa 等, 2008) (Yang 等, 2013)。IBM 繪製 3D 建模有時間效率、低成本、和最低設備要求之優點。無須專業相機和嚴格的拍攝條件，可以只使用各種內置的智慧手機或平板電腦拍攝高品質影像，以產生 3D 模型業餘攝像。本研究利用以無人載具和 IBM 的技術來獲取壩體資訊，以便在災害監測中評估堰塞壩壩體的穩定性，以供決策者參考制定應變措施。

## 三、研究區域概述

研究區域位於南投縣惠蓀林場蘭島溪，此全尺度人工堰塞壩為世界首創可調整流量之現場土石流觀測站，用以觀察堰塞壩潰決之現地試驗。水利灌溉渠道放流之控制可以調整蘭島溪流上游流量，以利進行堰塞壩潰決試驗，並由記錄堰塞壩體之不同潰決型式，如溢流侵蝕、滑動崩決和溯源漸進潰決之過程，從而掌握各階段的破壞機制，以做為未來各項防災治理措施及避難時機之依據。在大型全尺度現地實驗中，會量測堰塞壩潰決前後之河川流量、水位、地下水變化、濃度、地表震動訊號及大地電場變化等即時資訊。此珍貴實測資料有助於堰塞壩潰壩學理之發展，亦能在二次災害未發生前，掌

楊明德、陳韋廷、黃凱翔：應用 UAV 影像建置現地堰塞壩三維模型

握現場可能變異的即時資訊，以大幅提升防災應變之減災、避災能力。

蘭島溪屬於北港溪流域如圖 1，試驗區域包含了投縣 DF001(蘭島溪)、投縣 DF002 兩條土石流潛勢溪流，其中蘭島溪之集水區坡度介於 44~55 度間，崩塌情形最為嚴重。歷年颱風雨災造成惠蓀林場兩條土石流潛勢溪流嚴重之土石流災害，如民國 90 年桃芝颱風造成一、二號橋被土石流淹沒、三至五林班及九至一二林班林道嚴重坍方、蘭島溪(二號橋)攔砂壩全部遭土石流淤積。民國 93 年敏督利颱風時，大量土石流順流而下，掩蓋惠蓀一號橋與二號橋橋面，並阻斷投 80 線之道路交通；此外大量土砂更阻塞原有河道，造成河床改道而致使大量土砂衝入咖啡園區。歷次的土砂災害與堰塞湖潰決等災害雖未造成嚴重的人民財產損失，但重建與復育工程仍是龐大的支出。



圖 1 堰塞壩試驗場位置圖

Fig. 1 Aerial imagery of landslide dam test site

試驗範圍位於蘭島溪與北港溪交會口，本研究於 2012 年 11 月 7 日在投縣 DF001 號土石流潛勢溪流暨惠蓀二號橋上游及下游處各堆置一座人工堰塞壩如圖 1 所示，壩體採梯形斷面設計，壩寬 23.10 m，壩高 3.47 m，壩頂寬度 2.48 m，上下游邊坡坡度 1：1，如圖 2(a)所示。試驗現地已知點與測量點之控制點分布如圖 2(b)，本研究採雙主站測法，其優點在於可獲得更多的多餘觀測，可進行最小二乘法平差以提高精度，表 1 為堰塞壩地面控制點點位坐標。以往在取得地形資料(如 Digital Terrain Model, DTM)時，大多以航拍影像透過攝影測量的方式來建立其地形模型，亦或以空載光達掃描的方式來建立地形模型，但航空拍攝影像及光達掃描方式成本要求較高，因此本研究以 UAV 輔以近景攝影測量來取得數值地形模型。UAV 輔以近景攝影測量的應用是針對不能接近或不能進行常規直接測量的拍攝對象，利用 UAV 機動性對不可近物體進行空間姿態的真實重現，為利用像片進行三維空間量測的一種重要技術。可以使用量測型或非量測用的攝影機，近距離對被攝對象由不同攝影站分別攝影，或用二部相同的攝影機進行同步攝影，獲取具有一定重疊區的立體像對，並加入一些影像特徵點(如地面控制

楊明德、陳韋廷、黃凱翔：應用 UAV 影像建置現地堰塞壩三維模型

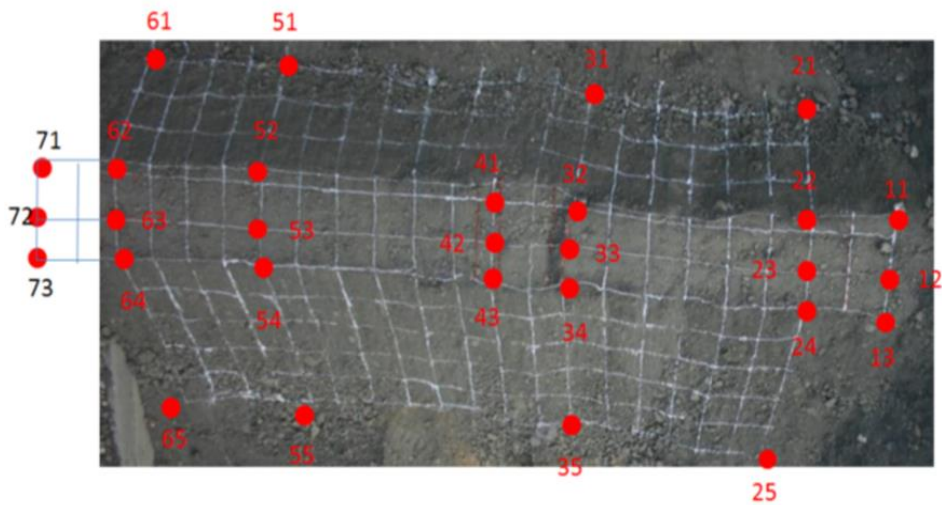
點)，圖 2(c)為預先佈設之地面控制點，依其三維座標來確定被攝對象的型態、大小和幾何位置。



(a) 試驗場現地照片



(b) 試驗場控制點分布



(c) 上壩控制點位置圖

圖 2 堰塞壩控制點分布

Fig. 2 Distribution of ground control points on landslide dam

表 1 堰塞壩地面控制點坐標

Table 1 Coordinates of ground control points on landslide dam

點號	N(m)	E(m)	Z(m)	點號	N(m)	E(m)	Z(m)
11	251448.60	2664008.22	526.01	43	251444.15	2663996.29	526.21
12	251447.61	2664008.37	526.23	51	251450.74	2663992.99	522.65
13	251445.83	2664008.44	526.15	52	251446.20	2663994.63	526.25
21	251452.97	2664005.34	523.14	53	251445.12	2663994.27	526.21
22	251448.10	2664006.35	526.18	54	251443.83	2663994.18	526.23
23	251447.26	2664006.48	526.33	55	251441.47	2663996.12	524.62
24	251445.80	2664006.71	526.34	61	251450.50	2663985.87	523.11
25	251443.00	2664006.13	524.54	62	251444.88	2663986.76	526.58
31	251451.49	2663997.55	523.00	63	251444.07	2663986.88	526.62
32	251446.63	2663998.53	526.35	64	251442.77	2663987.07	526.69
33	251445.86	2663998.67	526.42	65	251440.33	2663987.62	524.83
34	251444.59	2663998.89	526.41	71	251444.60	2663985.04	526.60
35	251442.02	2663999.49	524.57	72	251443.82	2663985.19	526.65
41	251446.31	2663996.87	526.20	73	251442.32	2663985.48	526.65
42	251445.40	2663996	526.27				

## 四、研究方法

本研究藉由 UAV 拍攝影像與 IBM 技術對研究區域進行三維模型重構，以解算堰塞壩的實際尺寸，並提供後續研究之基礎材料。IBM 技術主要是藉由影像經 Structure of Motion (SFM) 計算出相機姿態，藉此進行三維重構與尺度轉換達到堰塞壩之實際大小，其流程如圖 3。

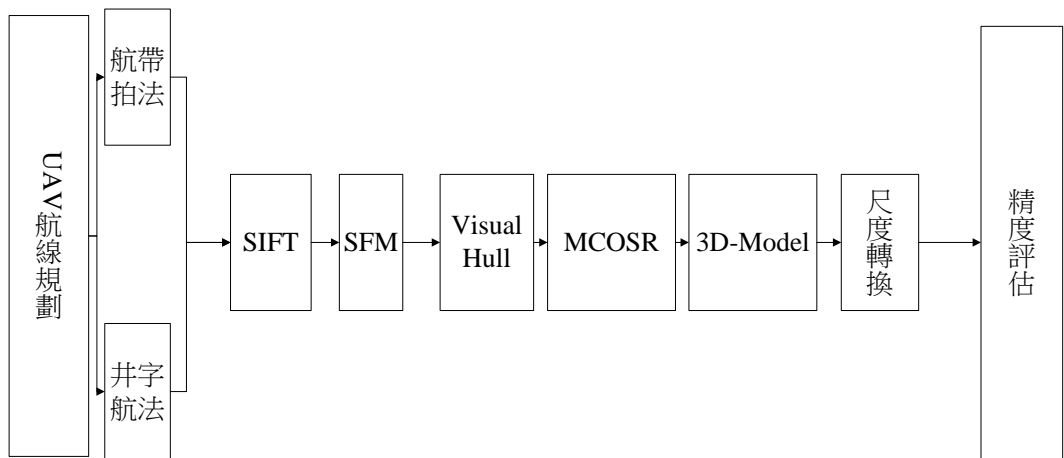


圖 3 研究架構

Fig. 3 Flow chart of research

### 1. IBM 建模

透過多種電腦視覺、電腦圖學、影像處理、光學等多種綜合領域演算方法，進行三維場景重構，



可透過演算機制不需額外提供拍攝時的參數，便可進行基於 IBM 影像建模，再透過 Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)、SFM、Visual Hull 以及 MCOSR 等多種演算法重構出一個接近真實目標物件的三維場景模型，其研究架構如圖 4 所示。

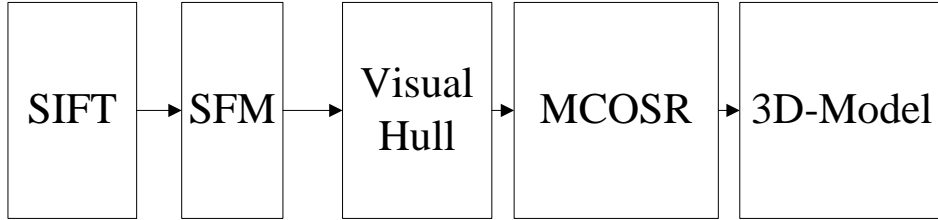


圖 4 IBM 建模流程圖

Fig. 4 Flow chart of IBM 3D reconstruction

(1)、 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)

SIFT 是一種找出影像特徵點的演算法，主要是利用金字塔分層的方式，把計算量相對大的工作在初期步驟完成，降低計算量方便後續的計算。SIFT 演算法在資訊量豐富的影像中具有提取大量特徵點且均勻分佈的能力，並提供足夠的資訊以完成物件匹配與識別的工作。主要的做法分為，1 建立尺度空間、2.進行高斯濾波、3.灰階影像進行摺積運算、4. 篩選特徵點、5.決定特徵點主方向、6.特徵點描述，其公式如下所示：

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (1)$$

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (2)$$

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (3)$$

(2)、 SFM (Structure of Motion)

運動回復結構(SfM)則藉由 SIFT 從多張重疊影像部分匹配相同的特徵點位，以核幾何(Epipolar Geometry)原理反算出相機拍攝與物體的相對關係如公式 4，恢復相機在不同拍攝位置的內外方位參數，並推算出物體明顯邊界結構的稀疏三維點雲，獲取場景的三維空間坐標，如圖 5 所示。簡而言之， SFM 主要目的有三項：1.分析相機拍攝的位置姿態與影像;2.恢復相機拍攝影像時的移動軌跡;3.重建影像中的三維場景。

$$\begin{bmatrix} \widetilde{X}_{11} & \widetilde{X}_{12} & \widetilde{X}_{13} & \cdots & \widetilde{X}_{1N} \\ \widetilde{X}_{F1} & \widetilde{X}_{F2} & \widetilde{X}_{F3} & \cdots & \widetilde{X}_{FN} \\ \widetilde{Y}_{11} & \widetilde{Y}_{12} & \widetilde{Y}_{13} & \cdots & \widetilde{Y}_{1N} \\ \widetilde{Y}_{F1} & \widetilde{Y}_{F2} & \widetilde{Y}_{F3} & \cdots & \widetilde{Y}_{FN} \end{bmatrix}_{2F \times N} = \begin{bmatrix} i_1^T \\ \vdots \\ j_1^T \\ \vdots \\ j_F^T \end{bmatrix}_{2F \times 3} [P_1 \ P_N]_{3 \times N} \quad (4)$$

W=MS

W=特徵點

M=相機姿態

S=3D 點雲

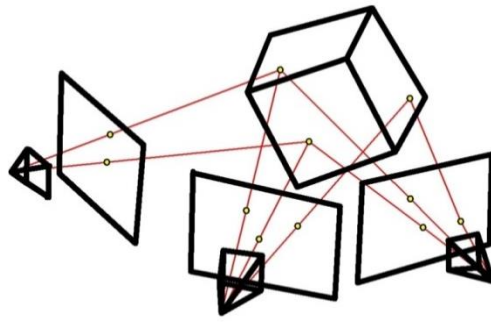


圖 5 SFM 利用特徵點計算示意圖

Fig. 5 SFM schematic diagram

### (3)、VISUAL-HULL

視覺外型技術(Visual Hull)於 1991 年由 Aldo Laurentini 提出, Visual Hull 由多張照片經不同視角, 交集運算所得最接近真實物體的近似值。Visual hull 的計算概念如圖 6 所示, PIC\_1 所形成之 silhouette cone 交集與 desired view, 之後由 PIC\_2 的 silhouette cone 交集與 desired view, 而黑線部分為 PIC\_1、PIC\_2 與 desired view 的交集即為相對空間之三維座標。

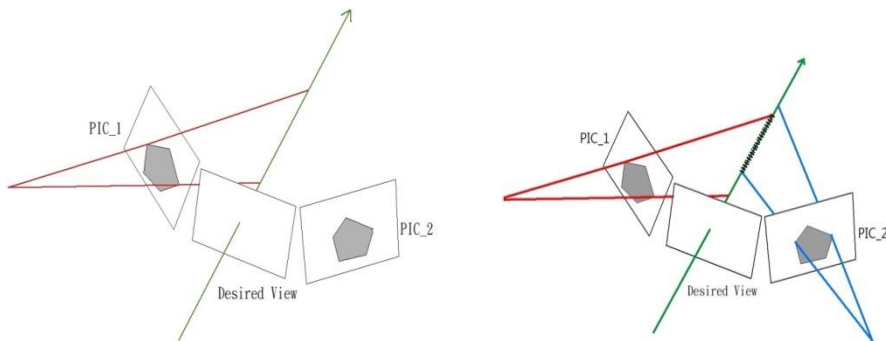


圖 6 silhouette cone 交集運算

Fig. 6 The intersection of silhouette cone

如圖 7 所示, 假設立方體在多張影像 I1、I2、I3、I4 中切割前景與背景稱為 silhouette 影像, V1、V2、V3、V4 所形成之錐體稱為 silhouette cone, 而這些錐體所交集的點就是 visual hull。

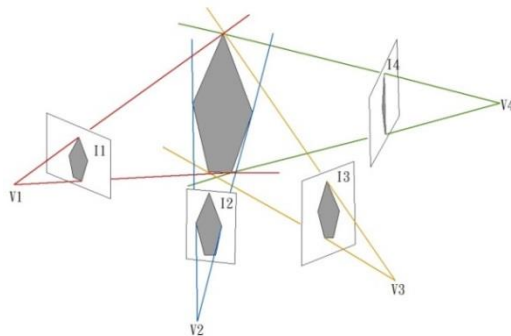


圖 7 體積交集所得 Visual-Hull

Fig. 7 Visual-Hull of object of intersected

(4)、 Minimum cuts for optimal surface reconstruction

建置出大量的點雲後，點雲與點雲之間並無任何連結，都是單獨的點，無法製作出一個完整的 3D 模型，本研究使用三角網格面(Mesh Triangles)製作許多個網格，網格以一系列的連接線段顯示，此為模型紋理的最小單位。由於物體的三維模型形狀規格不一定，因此選用三角網格製作出大小不同網格，其優點在於三角網格一定為平直面。

Delaunay 三角測量表面重建為一製作網格的方法， Minimum cuts for optimal surface reconstruction 演算法改善了 Delaunay 的表面重構法，並優化了 Delaunay 的四面體，主要增加一個判斷式以判斷面 (E(S)) 是否為正確面，其公式如：

$$E(S) = E_{vis}(S) + \lambda_{qual} E_{qual}(S) \quad (5)$$

其中  $E_{vis}(S)$  為偏差錯誤總和

$E_{qual}(S)$  為可能不出現在正確的面

$\lambda_{qual}$  為判斷是否出現在正確面的權重

2. 尺度轉換

IBM 方式所產生之三維模型是一相對坐標系模型，需經過座標轉換的方式將相對坐標系進行轉換至絕對座標係，進而評估量測的精度。一般而言三維座標轉換常用七參數轉換方式，包含 3 個平移參數、3 個旋轉參數、1 個尺度縮放參數。當災害發生時研究人員前往現地進行調查，要得到七參數所需之所有數值相當困難。因此，本研嘗試究利用現地調查中最容易獲得之距離當作轉換因子，將現地距離與模型點雲間的距離進行尺度縮放計算，在不考慮旋轉與平移下，本研究測試分別測試了單尺度及雙尺度轉換的方法，期能在現地資訊缺乏情況下，使用少量的參數快速獲得壩體之三維資訊。

3. 壩體穩定度分析

Ermini & Casagli(2003)以眾多堰塞湖案例資料，歸納出堰塞湖天然壩穩定性指標，即無因次阻塞指標(Dimensionless Blockage Index, DBI)，其定義為：

$$DBI = \log \left( \frac{A_b \times H_d}{V_d} \right) \quad (6)$$

其中  $A_b$  為集水面積， $H_d$  是天然壩壩高， $V_d$  為堰塞湖體積。

DBI<2.75，則壩為穩定，而 DBI>3.08 則為不穩定，介於 2.75 與 3.08 之間者則為過渡區。

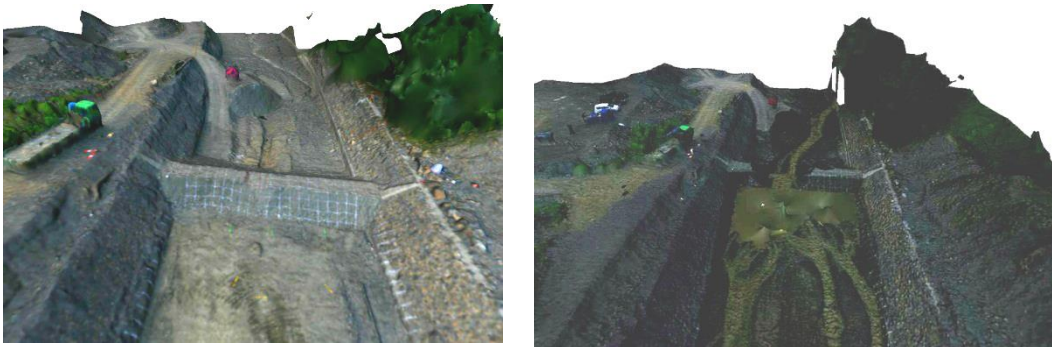
## 五、成果與分析

1. 影像鑲嵌與三維建模

本研究透過 SfM 對影像進行類似自我率定之演算，計算出影像拍攝時的內外方位參數；利用不同視角的影像可取得空間中相對應的空間點雲，以及獲得拍攝時相機軌跡與內外部攝影參數。透過計算的對應與投影關係，將相機間的對應關係投射至空間中，並藉由 SfM 計算出的四元數反算相機姿態角，剔除姿態過大的照片，並再將其投射的三維點投射回相機所拍攝的影像上。再對 SfM 所產生的成果進行密度優化，使其三維場景重構模型能較趨近於真實目標場景，為利用 UAV 搭載消費型數位相機所獲得三維建模之成果，其壩體細部放大展示如圖 8(a)。圖 8(b)的鑲嵌影像中顯示出，模型呈現昏暗的情形。潰壩後時間接近傍晚無太陽直射，光線不足導致模型整體亮度較低。河道上的水體部分在建模成果中亦出現大量破洞。成果顯示當影像出現像水體般鏡面反射的情況時，此鏡面反射範圍之建模成



果較差，推測因水體鏡面反射導致演算法無法進行鑲嵌，進而產生破圖以及點雲無法產生的情形。



(a)潰壩前

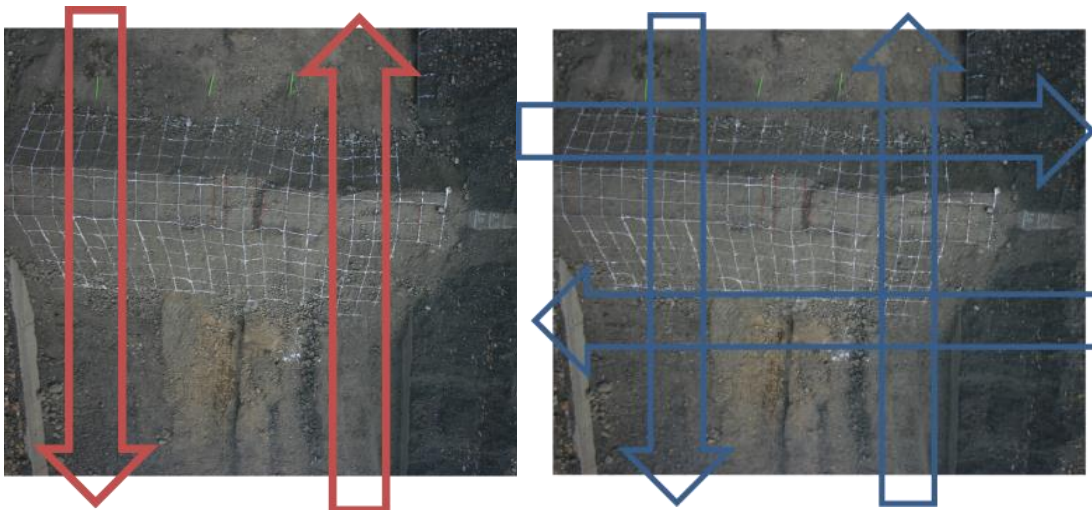
(b)潰壩後

圖 8 壩體細部模型

Fig. 8 The 3D model of landslide dam

## 2. 飛行模式分析

本研究測試兩種不同飛行路徑來重構三維模型的點雲，其飛行樣式如圖 9 所示。將測試的兩種飛行模式分別以 89 張照片做三維模型重構，其結果如圖 10。針對壩體部分，傳統飛行模式產製之點雲量為 56804 點，井字飛行模式所產製之點雲量為 138185 點，顯示井字飛行模式在相同的照片量下可產出較多點雲，航帶飛行模式則可製作較大面積。圖 11 顯示井字型拍法所產製出壩體模型的細緻度遠高於傳統拍法所產製出壩體模型的細緻度。



航帶式飛行

井字式飛行

圖 9 不同飛行模式

Fig. 9 Different flying mode

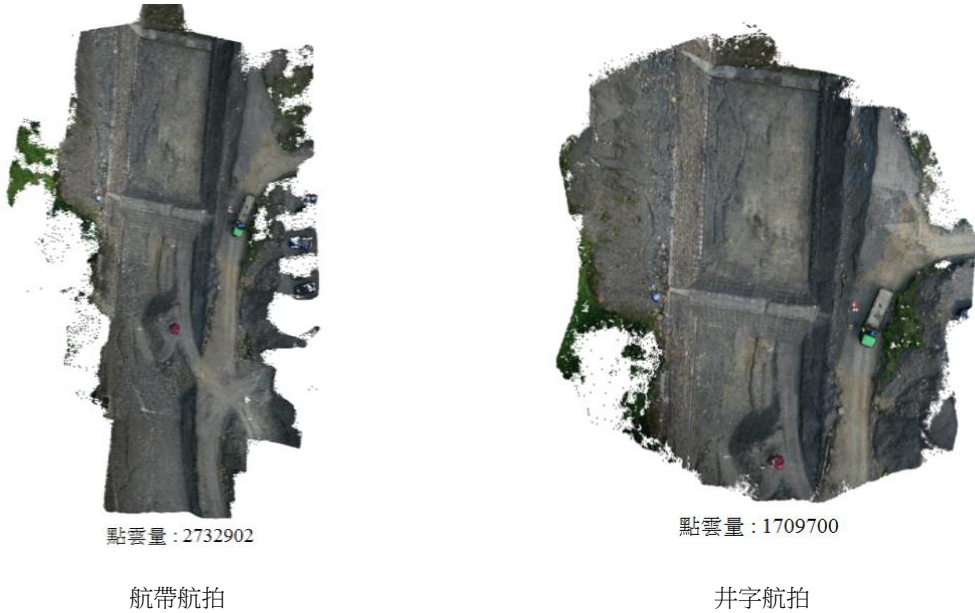


圖 10 不同飛行模式 3D 模型比較

Fig. 10 Comparison of 3D reconstruction models generated by different flying modes

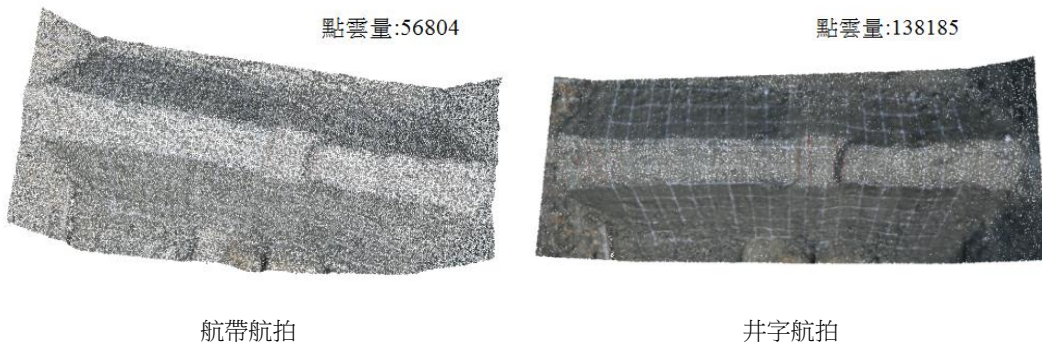


圖 11 不同飛行模式壩體比較

Fig. 11 Comparison of 3D reconstruction landslide dams generated by different flying modes

### 3. 尺度轉換

表 2 左邊為模型上點雲的座標與兩點距離，右邊則為相對應之現地控制點的真實距離。利用真實和模型的長度所計算出之轉換比例**錯誤! 找不到參照來源。**進行尺度轉換，表 3 為轉換後模型與地面控制點間之誤差，本次試驗單尺度轉換之平均誤差為 1.4963 公尺，由單尺度轉換可快速得到壩體實際尺寸。由於 IBM 三維重構時計算深度的方法與平面不同，因此進一步對三維模型進行高程差與水平距離之雙尺度轉換。利用真實和模型之高程差與距離進行尺度轉換計算，結果顯示於**錯誤! 找不到參照來源。**，

表 為轉換後模型與地面控制點間的誤差。本次雙尺試驗誤差，平面方向為 0.8760 公尺，高程誤

楊明德、陳韋廷、黃凱翔：應用 UAV 影像建置現地堰塞壩三維模型  
差為 0.2563 公尺，較單尺度轉換之誤差有大幅降低。

表 2 尺度轉換檢定

Table 2 Measurement of one scale transformation

距離點號	點雲距離	實測距離 (公尺)	轉換比例
24-22	1.1128	2.2940	2.0614
24-25	1.3754	3.0340	2.2059
22-62	9.3532	19.5900	2.0945
22-21	0.9019	1.7970	1.9925
64-62	1.2451	2.1080	1.6930
64-65	1.4464	3.4660	2.3963
24-64	9.2805	19.6490	2.1172
62-61	0.9468	1.8570	1.9613
平均尺度			2.0653

表 3 尺度轉換驗證誤差(公尺)

Table 3 Errors of one scale transformation

距離點號	誤差	距離點號	誤差
11-13	0.2763	54-52	0.1037
32-31	6.6759	54-55	0.3317
32-62	0.8426	52-62	2.5917
33-63	0.9751	53-63	2.0545
34-32	0.2464	54-64	1.6712
34-35	0.1594	71-11	0.3380
34-64	1.0782	72-12	0.3085
52-51	6.7756	73-13	0.6271
平均		1.4963	

表 4 尺度轉換與測量值

Table 4 Measurements of two scales transformation

距離點號	點雲距離		實測距離(公尺)		轉換比例	
	平面	高程	平面	高程	平面	高程
24-22	-1.1128		2.2940		2.0614	
22-62	9.3532		19.5900		2.0945	
64-62	-1.2451		2.1080		1.6930	
24-64	9.2805		19.6490		2.1172	
24-25		1.3754		3.0340		2.2059
22-21		0.9019		1.7970		1.9925
64-65		1.4464		3.4660		2.3963
62-61		0.9468		1.8570		1.9613
平均轉換比例					1.9916	2.1390

表 5 尺度轉換之驗證誤差(公尺)

Table 5 Errors of two scales transformation

距離點號	平面誤差	高程誤差
11-13	0.3657	
32-31		0.0824
32-62	0.3922	
33-63	0.5191	
34-32	0.3107	
34-35		0.2308
34-64	0.6175	
52-51		0.3111
54-52	0.1848	
54-55		0.4010
52-62	2.7801	
53-63	2.2449	
54-64	1.8654	
71-11	0.4860	
72-12	0.5307	
73-13	0.2151	
平均	0.8760	0.2563



## 5. 壩體穩定度

經量測得知壩體長 23.10 公尺、寬 2.48 公尺、高 3.47 公尺，而集水區面積為 170.5 公頃，透過這些資料可計算得壩體穩定度(DBI)為 5.13，並經由單尺度轉換的壩體長 23.39 公尺、寬 2.28 公尺、高 3.25 公尺得 DBI 為 5.12，雙尺度轉換壩堤長 23.85 公尺、寬 2.14 公尺、高 3.36 公尺得 DBI 為 5.12，如表 其所計算出來的壩體穩定度都顯示此塞壩呈現不穩定狀態。

表 6 壩體穩定度評估

Table 6 Stability assessment of landslide dam

	長(M)	寬(M)	高(M)	集水區面積(M <sup>2</sup> )	DBI
測量值	23.10	2.48	3.47	1705000	5.13
單尺度轉換	23.39	2.28	3.25	1705000	5.12
雙尺度轉換	23.85	2.14	3.36	1705000	5.12

## 六、結 論

本研究藉由 UAV 拍攝影像與 IBM 技術對研究區域進行三維模型重構，藉以了解堰塞壩的實際尺寸，並提供後續研究之基礎材料。經測試本研究獲得以下之數值以及結論。

1、研究利用無人飛行載具以及近景攝影測量技術來進行堰塞壩壩體穩定度評估。無人飛行載具除具有高時間解像力和高空間解像力的優勢外、還擁有操作成本低、機動性強等特性。亦可針對如本研究較小範圍之堰塞壩做客製化設計。

2、利用量航帶飛行模式可較快速製作大的面積三維模型，而井字飛行模式在面對特定目標物可獲得較多的點雲。航帶式飛行模式針對目標物所產製出之點雲量為 56804 點，而使用井字飛行模式製作出 138185 筆點雲資料，可發現井字飛行方式之點雲細緻程度遠高於航帶式拍法。

3、利用單尺度轉換之誤差量為 1.4963 公尺、雙尺度轉換誤差量 XY 為 0.8760 公尺、Z 誤差量為 0.2563 公尺。成果顯示尺度轉換可應用於現地影像拍攝資訊量較少的情形，可利用此方式快速獲得壩體之三維資訊，但誤差量相對較大。

4、利用研究產出之壩體三維資訊計算壩體穩定度，經單尺度或雙尺度轉換所得之 DBI 皆為 5.12，而現地實測值所得之 DBI 為 5.13，都顯示此塞壩呈現不穩定狀態，此成果顯示尺度轉換對於壩體穩定的推估是可行且具極高可信度。

## 誌謝

使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

- [1] Aldo, L. (1994). "The visual hull concept for silhouette-based image understanding." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(2), 150-162.
- [2] Bradley, D., Boubekeur, T., Heidrich, W., Tamy, B., and Wolfgang, H. (2008). "Accurate multi-view reconstruction using robust binocular stereo and surface meshing." *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1-8.
- [3] Casagli, N., and Ermini, L. (1999). "Geomorphic analysis of landslide dams in the Northern Apennine." *Transactions of the Japanese Geomorphological Union*, 20, 219-249.
- [4] Chai, H.J., Liu, H.C., Zhang, Z.Y., and Xu, Z.W. (2000). "The distribution, causes and effects of damming landslides in China." *Journal of Chengdu University of Technology*, 27, 302-307.
- [5] Chen, Y.J., Zhou, F., Feng, Y., and Xia, Y.C. (1992). "Breach of a naturally embanked dam on Yalong River." *Canadian Journal of Civil Engineering*, 19, 811-818.
- [6] Costa, J.E., and Schuster, R.L. (1988). "The formation and failure of natural dams." *Geological Society of America Bulletin*, 100, 1054-1068.
- [7] Cui, P., Zhu, Y.Y., Han, Y.S., Chen, X.Q., and Zhong, J.Q. (2009). "The 12 May Wenchuan earthquake-induced landslide lakes: distribution and preliminary risk evaluation." *Landslide*, 6, 209-223.
- [8] Dai, F.C., Lee, C.F., Deng, J.H., and Tham, L.G. (2005). "The 1786 earthquake- triggered landslide dam and subsequent dam-break flood on the Dadu River, southwestern China." *Geomorphology*, 65, 205-221.
- [9] Davies T.R., Manville, V., Kunz, M., and Donadini, L. (2007). "Modeling landslide dambreak flood magnitudes: case study." *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(7), 713-720.
- [10] David G.L. (1999). "Object recognition from local Sscale-invariant features." *Computer Vision*, 2, 1150-1157.
- [11] David G.L. (2004). "Distinctive image features from scale-invariant keypoints." *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110.
- [12] Ermini, L., and Casagli, N. (2003). "Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index." *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, 31-47.
- [13] Korup, O. (2004). "Geomorphometric characteristics of New Zealand landslide dams." *Engineering Geology*, 73(1-2), 13-35.
- [14] Korup O. (2005). "Geomorphic hazard assessment of landslide dams in South Westland, New Zealand: fundamental problems and approaches." *Geomorphology*, 66, 167-188.
- [15] Liu L., Wu, Y., Zuo, Z., Chen, Z., Wang, X., and Zhang, W. (2009). "Monitoring and assessment of barrier lakes formed after the Wenchuan earthquake based on multitemporal remote sensing data." *Journal of Applied Remote Sensing*, 3(1), 031665.

- [16] Mizuyama T., Satofuka, Y., Ogawa, K., and Mori, T. (2006). "Estimating the outflow discharge rate from landslide dam outbursts." *Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides*, 1(2), 365-377.
- [17] David, N. (2004). "An efficient solution to the five-point relative pose problem." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(6), 756-770.
- [18] Yasutaka, F., and Jean, P. (2009). "Carved visual hulls for image-based modeling." *International Journal of Computer Vision*, 81, 53-67.
- [19] Noah S., Steven, M.S., and Richard, S. (2007). "Modeling the world from internet photo collections." *International Journal of Computer Vision*, 80(2), 189-210.
- [20] Okutomi, M., and Kanade, T. (1993). "A multiple-baseline stereo system." *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(4), 353-363.
- [21] Schuster, R.L., and Costa, J.E. (1986a). "A perspective on landslide dams, processes, risk, and mitigation." *American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication*, 3, 1-20.
- [22] Swanson, F.J., Oyagi, N., and Tominaga, M. (1986). "Landslide dams in Japan, landslide dams: processes, risk and mitigation." (*Schuster Ed*) *American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication*, 3, 131-145.
- [23] Satofuka Y., Mori, T., Mizuyama, T., Ogawa, K., and Yoshino, K. (2010). "Prediction of floods caused by landslide dam collapse." *Journal of Disaster Research*, 5(3), 288-295.
- [24] Takahashi T., and Nakagawa, H. (1994). "Flood/debris flow hydrograph due to collapse of natural dam by overtopping." *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering (JSCE)*, 12(2), 41-49.
- [25] 林昭遠 (2002), 「九份二山崩塌地植生復育率與堰塞湖泥沙產量推估之研究」, 水土保持學報, 34(1), 23-36.
- [26] 陳樹群 (1999), 「堰塞湖潰決機制與減災工法研究」, 中華水土保持學報, 30(4), 299-311。
- [27] 蕭震洋、謝寶珊、冀樹勇 (2011), 「應用非常規攝影量測評估國道 3 號 3.1 公里崩塌事件之土方量」, 中華水土保持學報, 42(2), 120-130。
- [28] 何維信(1995), 「航空攝影測量學」, 國立編譯館主編, 大中國圖書公司, 台北。