

手機拍攝於現地調查與3D建模應用

Applied Smartphones for Field Survey and 3D Model Construction

陳俊廷¹ 林駿恩^{2*} 李哲宇³ 葉雯婷¹ 陳國威⁴ 陳振宇⁵

¹財團法人農業科技研究院農業政策中心 助理研究員

^{2*}農村發展及水土保持署減災監測組 聘用研究員 E-mail: jasonsinlin@gmail.com

³水土保持技師

⁴農村發展及水土保持署減災監測組 科長

⁵農村發展及水土保持署減災監測組 組長

摘要

過往土砂災害事件調查時，使用遙測判釋或UAV會受限於雲覆或降雨影響而無法即時取得現地調查資料，且測攝儀器通常昂貴亦不具攜帶便利性，影響現地資訊取得。近年，隨著科技發展進步，智慧型手機所具備之LiDAR掃描儀功能即可以發揮即時現場測繪功能，即可在短時間內建置災害現場3D場景。本研究以嘉義縣中埔鄉嘉縣DF051土石流潛勢溪流為例，於災後嘗試利用手機LiDAR掃描及攝影測量方法，配合手機應用軟體所具備之雲端計算功能，快速建立災害現場的特徵地貌與物體之3D模型，補足災害場址的關鍵資訊。在現場即時建立土砂災害現場3D模型後，可協助調查人員即時量測各項構造物或土砂堆積量體之幾何資料，並匯出相關數據資料結合UAV空拍成果與GIS軟體以提供數位化資訊。應用手機於災害現場調查方式，可快速分析現場災害情形，提升傳統人工勘查之工作效率，即時掌握災情變化。

關鍵字：智慧型手機、LiDAR掃描、攝影測量、現地調查、工程改善

Abstract

High cloud conditions during the rainy season usually affect remote sensing capabilities and make it difficult to obtain real-time field information. Besides, field surveys relied on costly and bulky instruments for in-situ measurement and topographic data acquisition. Recently, smartphones equipped with LiDAR features enable real-time field measurements and 3D model generation of disaster situations. To quickly obtain in situ topographic data of a potential debris flow catchment (DF051), this study applied mobile phone LiDAR scanning and photogrammetry methods, and utilized cloud computing capabilities of the application to build 3D models for providing post-disaster geospatial information. The constructed 3D models of post-disaster topography could complement real-time digital geometry data of structures and the volume of deposited sediment volume. The results can be further integrated with UAV photos and GIS to provide information for design engineering remediation efforts. The utilization of smartphones in field measurement could quickly analyze post-disaster situations and promote working efficiency compared to traditional field surveys.

Keywords: Smartphones, LiDAR scanning, Photogrammetry, field survey, Engineering remediation



農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA

第43屆測量及空間資訊研討會

題目：手機拍攝於現地調查與3D建模應用



減災監測組 助理研究員 陳俊廷



簡報綱要

- 前言及研究目的
- 文獻回顧
- 研究方法
- 結果與討論
- 結論與建議



□ 前言及研究目的

□ 前言

臺灣豐沛的降雨常引發山區土石流與坡地崩塌，威脅道路與橋梁安全。災後調查的速度與精度影響防災決策與復原工程，但傳統測量儀器較為昂貴，較為專業及耗時，不利於災情蒐整。現有研究多集中於單一技術，整合不同技術進行現地調查提供災後工程規劃較為缺少，本研究將利用智慧型手機與 UAV 航拍結合 eGNSS 等，應用於現地河道粒徑之調查，其可作為防救災單位災害後勘查與防災工程規劃。

□ 研究目的

1. 本研究評估 viDoc RTK 搭配智慧型手機 LiDAR 與 UAV 航拍正射影像，用於災後河道粒徑調查與三維建模的可行性，並與人工量測比較精度與效率，分析各方法在災害應變下的優劣與應用潛力。
2. 表面粒徑判釋成果用以評估防砂構造物所受到的衝擊力，及後續復原工程，如梳子壩、鋼構壩等，間距大小使用。

文獻回顧-粒徑調查

法規層面

水土保持技術規範 第37條 河床質粒徑分析含採樣孔粒徑調查分析及表面粒徑調查分析。

採樣孔粒徑調查

於現地挖取至少1m × 1m × 0.6m 以上之樣坑，野外粗顆粒分析後帶回實驗室進行細粒徑分析，依各粒徑分別算出其停留百分率及通過百分率，最終繪製出粒徑分佈圖，相當費時費力。

$$\text{平均粒徑 } D_n = D_i \times P_i$$

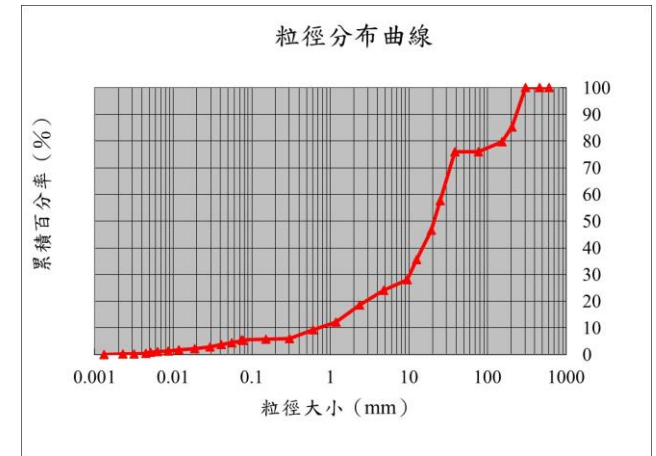
式中， D_n ：平均粒徑，單位：mm，

D_i ：兩相鄰篩號孔徑之幾何平均值，單位：mm，

P_i ：篩號停留百分率。

主要應用：

了解河道流況、河道輸砂、河床型態、
數值模擬及生態棲地的重要因子





□ 文獻回顧-粒徑調查

法規層面

水土保持技術規範 第37條 河床質粒徑分析含採樣孔粒徑調查分析及表面粒徑調查分析。

表面粒徑調查分析

- 每五百公尺至少取一處為調查之主斷面，再於主斷面上、下游每間距十公尺，另取二個副斷面，合計共五個斷面。
- 每一個斷面以等間隔 (或整數距離) 之測點，量測在該測點上之泥砂粒徑，每一個斷面以不少於五個測點，測點之間隔不得超過五公尺。
- 每一測點量測十公分以上之粒徑，依統計資料繪製粒徑分佈曲線圖。

主要應用：

了解河道流況、河床型態、評估防砂構造物所受到的衝擊力，
做為防砂構造物規劃設計的參考。

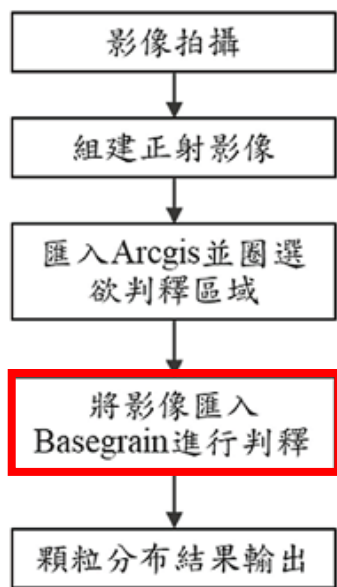


文獻回顧-粒徑調查

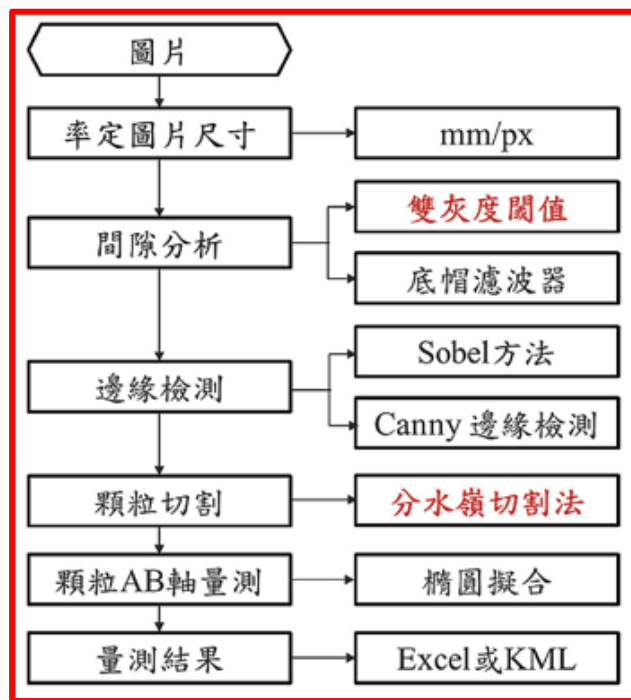
1. 陳祥偉、賴東陽、詹錢登(2023)

礫石河床取樣方法大致可區分為

1. 體積取樣法 1m*1m*1m
2. 網格取樣法
3. 面積取樣法

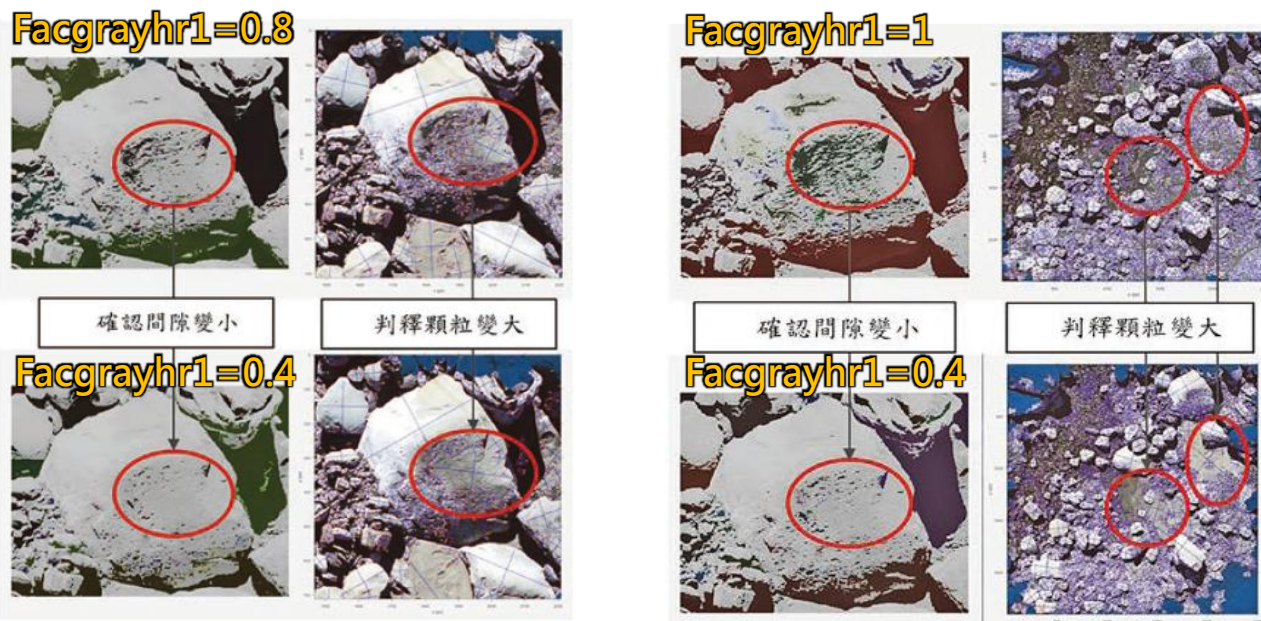


BASEGRAIN
粒徑判釋流程



BASEGRAIN 影像判釋處理過程

確認灰度閾值乘數 ($facgrayhr1$) 以及分水嶺橋最小允許長度 ($areaCutWW[px]$) 對於影像判釋結果的影響最為明顯。



$Facgrayhr1$ 較大時，對顏色深淺分割的較細。大顆粒過度切割，小顆粒清楚判釋。

$Facgrayhr1$ 較小時，大顆粒判釋完整，小顆粒模糊



文獻回顧-粒徑調查

1. 陳祥偉、賴東陽、詹錢登(2023)

室內試驗結果

小粒徑判釋偏小，大粒徑判釋偏大

代表粒徑 (mm)	影像判釋平均 (mm)	人工線採樣平均 (mm)	相對差異 (%)
D_{10}	17.50	19.67	- 11.02
D_{16}	18.63	20.00	- 6.83
D_{30}	21.33	21.67	- 1.54
D_{50}	24.47	22.67	7.94
D_{60}	26.00	23.33	11.43
D_{84}	29.63	25.67	15.45

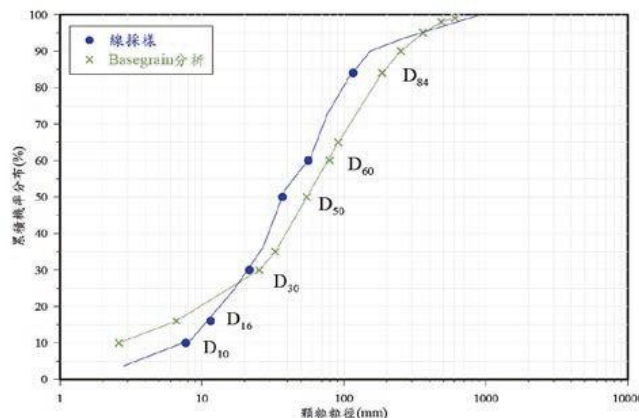
現地試驗結果

兩者相對差異大部分在 $\pm 45\%$ 以內，但有些達 $\pm 70\%$ 。

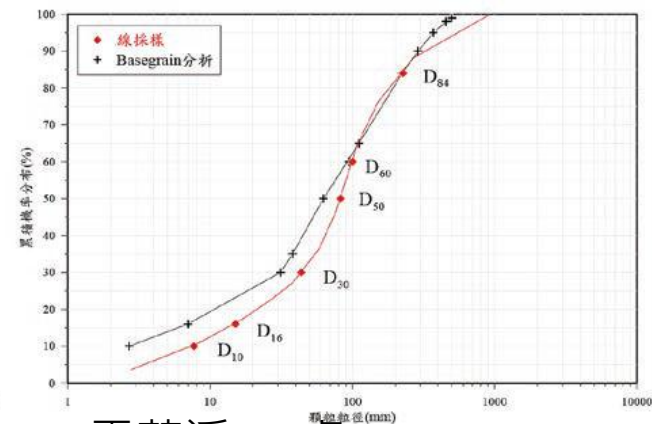
代表粒徑 (mm)	愛玉子溪 A1 處			愛玉子溪 A2 處		
	影像判釋 (mm)	人工採樣 (mm)	相對差異 (%)	影像判釋 (mm)	人工採樣 (mm)	相對差異 (%)
D_{10}	3.3	10.5	- 68.6	3.8	2.6	46.2
D_{16}	8.5	18.3	- 53.6	9.7	9.0	7.8
D_{30}	33.3	49.1	- 32.1	38.0	27.1	40.2
D_{50}	75.2	92.3	- 18.5	86.2	65.1	32.0
D_{60}	101.9	130.6	- 22.0	125.5	92.3	36.0
D_{84}	213.4	496.9	- 57.1	305.8	245.7	24.5

空拍設定

空拍機飛行高度設定為20 m，影像解析度約為每像素0.87~1.3 mm，於BASEGRAIN軟體可判釋出來的最小粒徑約為20~30mm。



霍薩溪B1 處



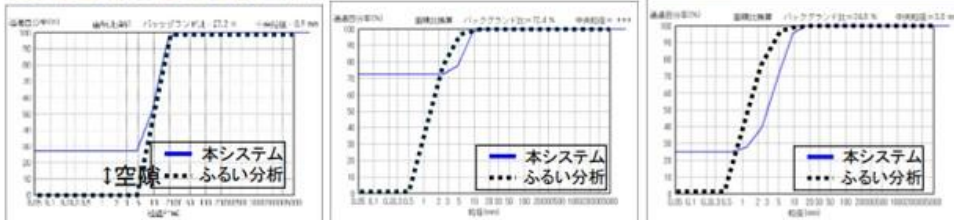
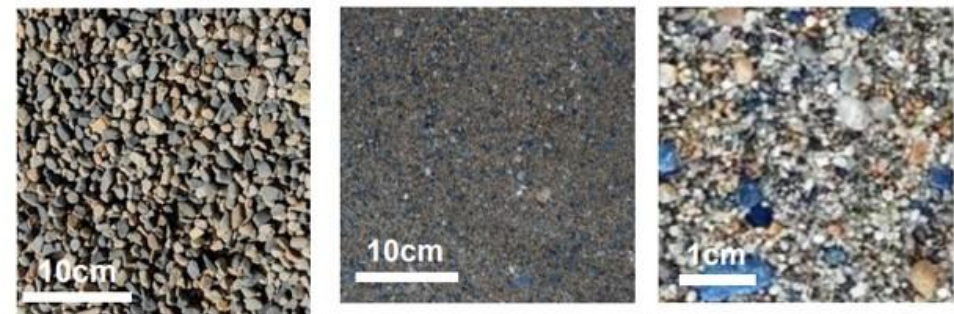
霍薩溪B2 處



文獻回顧-粒徑調查

2. 古木 宏和等(2025)

用34cm的正方形框來進行粒徑判釋。
當粒徑介於5-20mm大小時，通過率30%以上之曲線幾乎相吻合。



3. Samikshya Dahal等(2025)

- 利用BASEGRAIN 軟體與訓練之YOLOv8 進行表面粒徑判釋。
- BASEGRAIN判釋精確度較低，粒徑與植生較不易個別判釋，而YOLO則可以正確判出。

Comparison
Identifiable grain size: >25 cm
Vegetation and woods (草木)
Site 2: 3.6 cm pix⁻¹

Sediment detection and segmentation results

BASEGRAIN	YOLOv8
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Better segmentation of fines (より精度の高い検出・分割) ✗ Vegetation and wood mis-segmented as grains (草木を誤って抽出) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Precise segmentation (正確な抽出) ✓ Separation of sediments from vegetation/ woods (草木と植生の分離)

2025/05/29



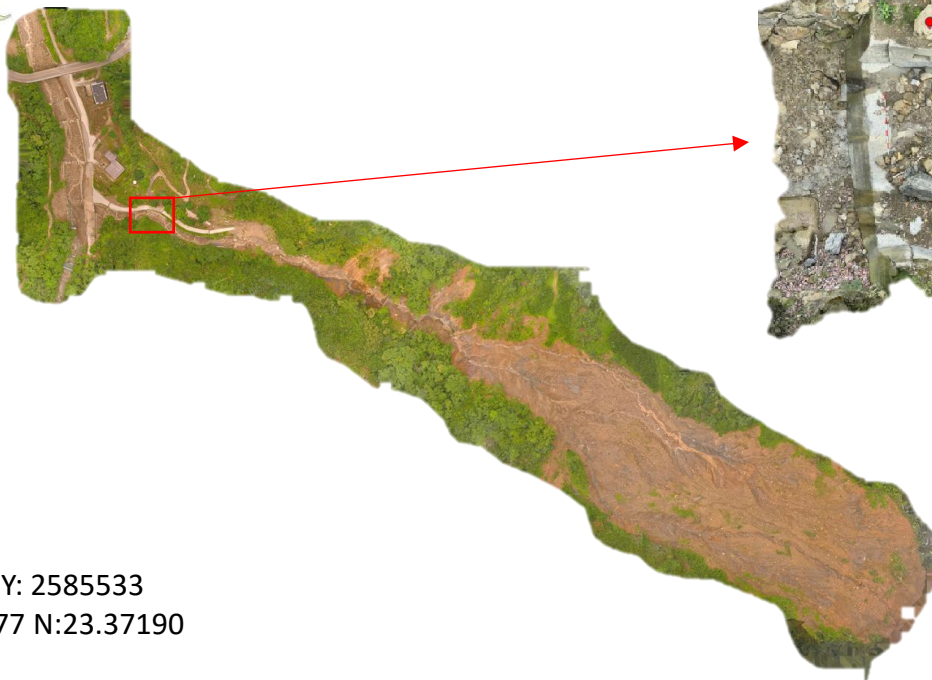
□ 文獻回顧 – 量測方式與模型建置

技術類型	設備使用	優點	缺點
傳統測量	全測站、 光學雷射 掃描儀... 等	高精度量測，成果細緻	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成本最高 2. 體積大、攜帶不便且需專業背景 (Corradetti et al., 2021; Luetzenburg et al., 2021)
無人飛行載具	單旋翼、 多旋翼、 定翼機、 VTOL...等	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廣域覆蓋能力強：可快速拍攝大範圍地形，適合河道、山區、災害現場等大尺度調查 2. 靈活性高、多角度拍攝，便於複雜地形重建 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 飛行受限於天氣及法規 2. 資料處理時間長、後製耗時 3. 專業度較高
智慧型手機 LiDAR	iPhone 12~16 Pro以上等 級	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成本較便宜 2. 技術門檻較低，提升資料收集靈活性與效率 3. 即時顯示量測成果，可與 GIS、工程規劃軟體整合 (Tavani et al., 2022; Zhang et al., 2018) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對小於 10 公分物體精度下降 2. 無法大面積量測 3. 掃描距離限制約 5 ~10公尺，在植物透空或高反光表面點雲品質受影響 (Luetzenburg et al., 2021; Tavani et al., 2022)



□ 研究方法-區域選定

- 以嘉義縣中埔鄉**土石流潛勢溪流-嘉縣DF051** 區域為研究區域，其集水區地質屬三峽群之砂岩、頁岩互層，遇水容易沿著不同層理產生崩解而滑落。
- 從98年莫拉克颱風開始，陸續皆有土砂流出，歷今共發生過4次較大的災害事件。



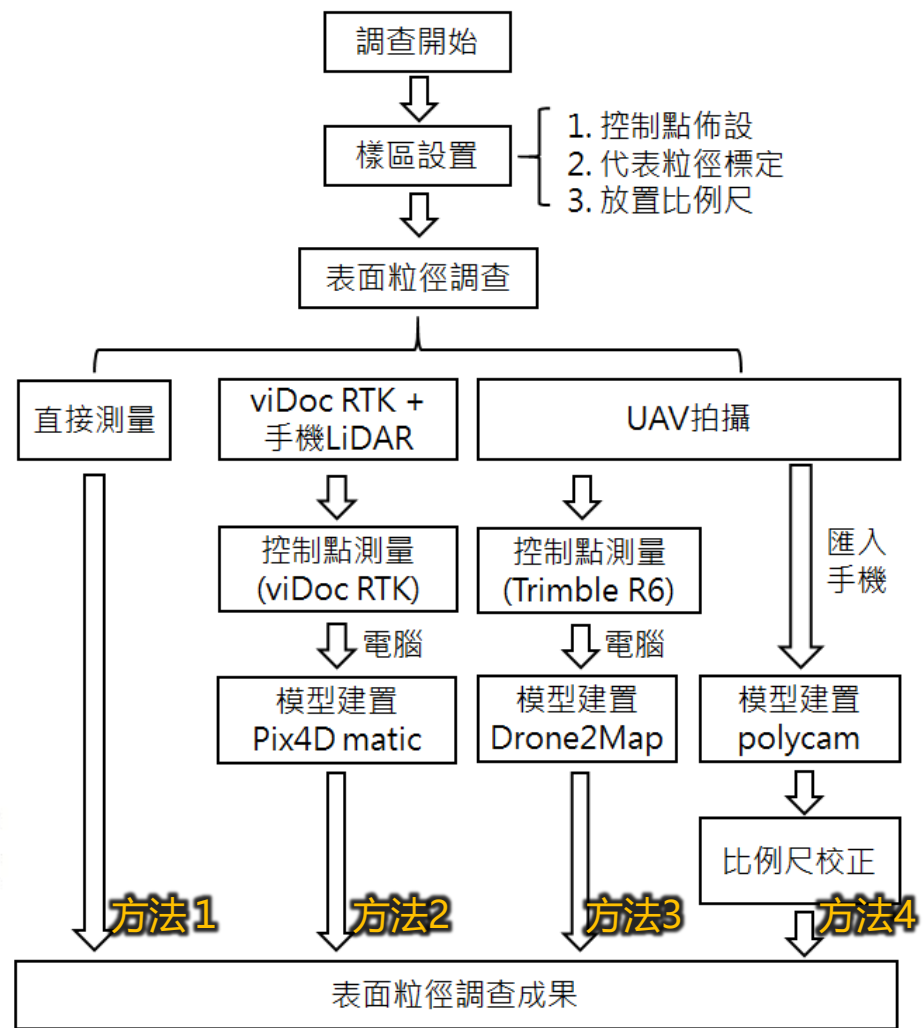
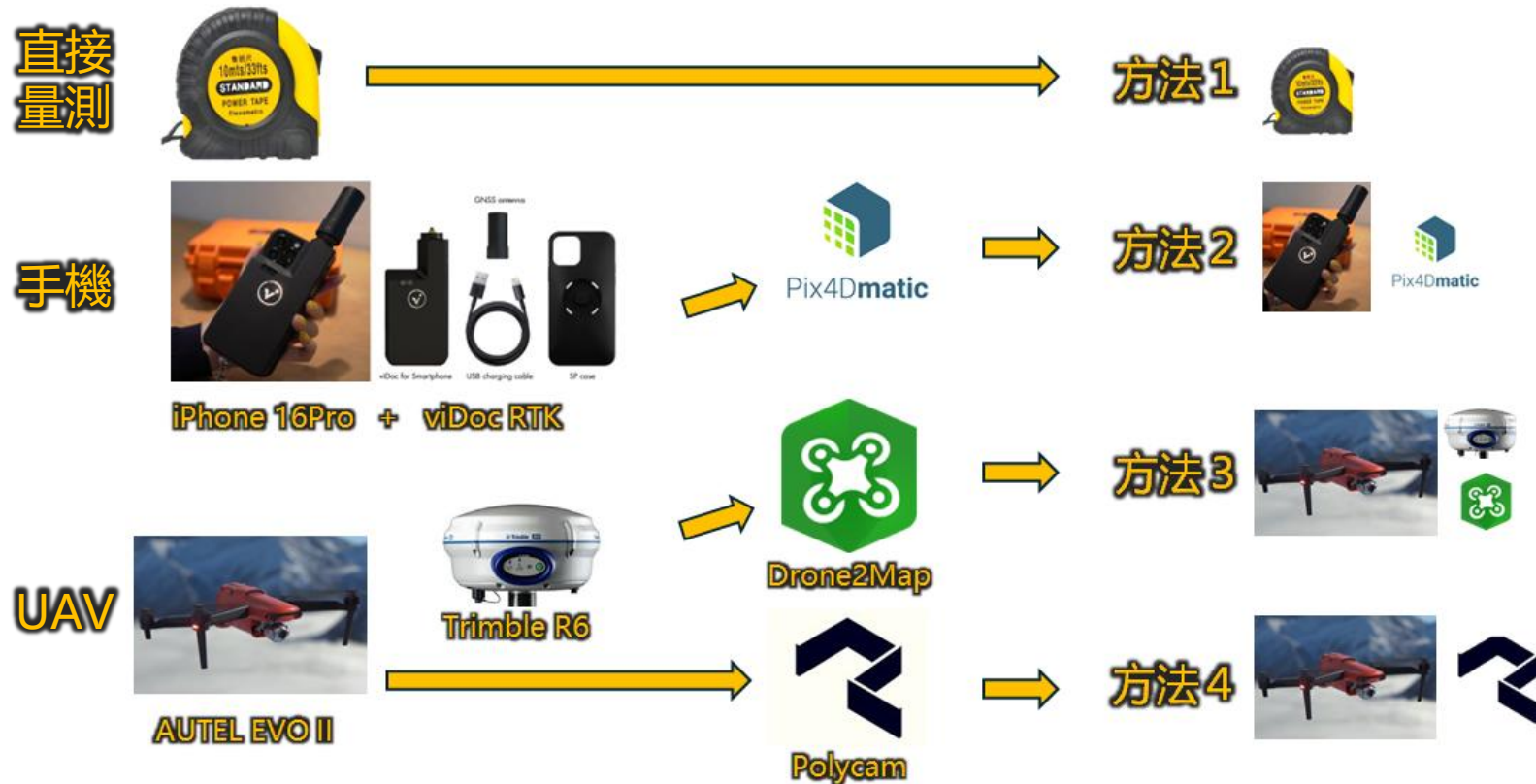
嘉義中埔-001(中崙四號橋)(正式報)
<https://gov.tw/Gq6>



災害位置
TWD97 X: 205404 Y: 2585533
WGS84 E:120.56377 N:23.37190



研究方法-表面粒徑調查流程





研究方法

於研究區域下游處選定33顆不同大小之石頭進行噴漆標註，以四種不同的量測方式進行差異比較：

方法1：直接測量法 

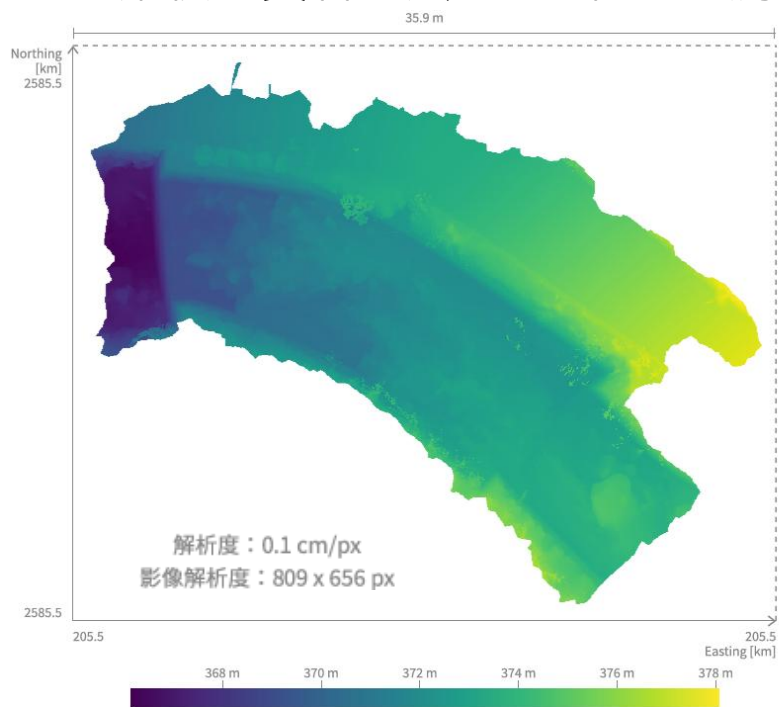
於現地用魯班尺直接測量長軸。



方法2：手機LiDAR + Pix4D matic 



1. 利用iPhone 16Pro手機的LiDAR搭配viDoc RTK進行現地三維掃描。
2. 利用viDoc RTK量測四個控制點，配合PIX4Dmatic軟體進行三維模型建置。
3. 三維模型資料匯入GIS上粒徑量測。



研究方法

於研究區域下游處選定33顆不同大小之石頭進行噴漆標註，以四種不同的量測方式進行差異比較：

方法3：UAV+Drone2Map



利用UAV進行研究區域的拍攝，利用Drone2Map軟體搭配GNSS控制點進行正射影像建立。



方法4：UAV + polycam



利用UAV進行研究區域的拍攝，並將影像直接存入手機中，利用polycam軟體進行三維模型建立，搭配簡易比例尺，即可產生精度不錯之模型。



利用箱尺將比例尺進行校正





結果與討論

1. 依照成果來說，方法二的模型表現最為優良(1.3mm / Pixel Size)，方法三次之(10mm / Pixel Size)



方法1



方法2



方法3



方法4



方法四雖然模型表現較差，但為短時間內產製之成果，已然可以接受



結果與討論

- 誤差計算以直接測量法為比較基準，**方法二**各粒徑誤差範圍為-5.88%至5.34%，平均誤差為2.18%；**方法三**各粒徑誤差範圍為-13.33%至6.63%，平均誤差為5.00%；**方法四**各粒徑誤差範圍為-25.93%至8.68%，平均誤差為7.22%，且整體之粒徑判釋有略為低估的情形。
- 由粒徑誤差圖可知，較大粒徑量測值有偏大趨勢，小粒徑量測值有偏小之趨勢，與前人研究相符合。
- 由粒徑誤差直方圖可見，誤差大小依序為方法四 > 方法三 > 方法二，方法二誤差最小。

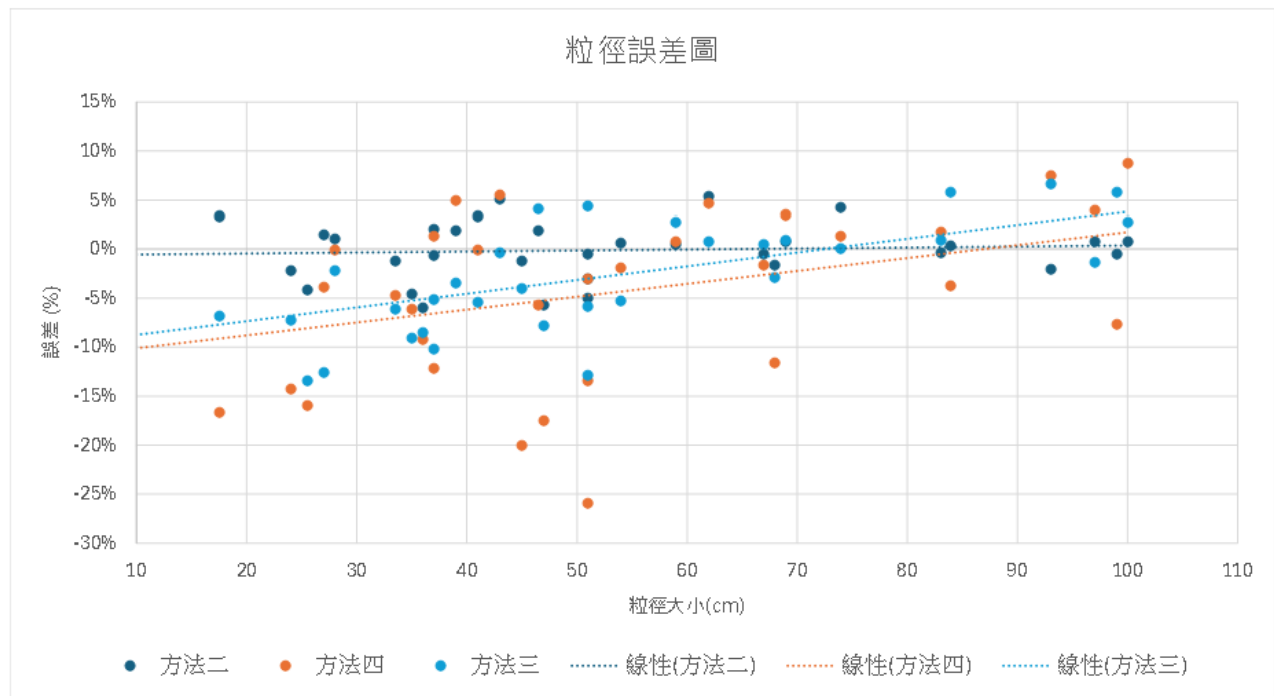


河床粒徑量測誤差分析表

單位：cm

	直接量測法	Iphone 16 pro LiDAR	UAV	
GNSS	-	viDoc RTK	Trimble R6	無
建模軟體	-	Pix4D matic	Drone2Map	polycam
平均粒徑	53.88	53.91	53.38	52.63
最大粒徑	100	100.9	105	109.5
最小粒徑	17.5	18.1	16.8	15
誤差絕對值平均	-	2.18%	5.00%	7.22%
誤差範圍	-	-5.88%~5.34%	-13.33%~6.63%	-25.93%~8.68%

註：誤差計算以直接量測法為比對基準值





□ 結論與建議

1. 方法二（手機 LiDAR 結合 viDoc RTK ）可即時生成三維點雲，並透過厘米級定位精度有效降低點雲誤差，模型精確度可達防救災單位**災害後勘查與防災工程設計之實務需求**。
2. 方法三（UAV 航拍）技術成熟且成果穩定，尤其適用於大範圍地形調查，但在山區野溪中，航拍作業易受地形限制，常需具備飛手專業技能與經驗方能確保作業品質，**人員無法到達，所以利用此方法**。
3. 方法四（UAV 航拍匯入 polycam ）雖然未具備控制點位校正，其於災情蒐整時間緊迫的情境下具高度實用性，只需飛手即時拍攝並在通訊良好的地點操作，即可快速完成建模。如搭配簡易比例尺，可生成具不錯精度的模型，**能在極短時間內掌握現場狀況，為高效率的情蒐工具之一**。

方法1



方法2



方法3



方法4



Pix4Dmatic





□ 結論與建議

- 建議可評估採用**不同機器學習影像判釋模型**作為輔助工具(如YOLO...等)，以提升對更大範圍目標之判釋效率。
- 因測量誤差成因多樣，建議應依作業需求與場域條件選擇適合的測量方式，未來可進一步針對手機測量法深入研究，評估在不同情境下的精度表現與應用潛力。

	方法一 直接測量		方法二 手機 LiDAR + viDoc RTK		方法三 UAV+eGNSS		方法四 UAV+Polycam	
經濟性	1	儀器成本低	3	儀器成本較高	4	儀器成本較高	2	僅UAV儀器成本
作業效率	3	人力量測耗時	2	減少現場作業時間， 後處理可即時建模或電腦上建模	4	後處理較耗時	1	能即時建模
精度	1	直接測量	2	1.3mm/Pixel Size	3	10mm/Pixel Size	4	精度最低
安全性	4	需進入現場久待	3	需進入現場拍攝	2	佈設控制點時危險	1	能選擇安全處拍攝
測量範圍	4	人力量測較為有限	3	範圍較少	1	範圍最廣	1	範圍最廣
專業門檻	1	專業培訓簡易	2	專業培訓簡易	4	較為專業	3	較為專業
設備攜帶性	1	儀器輕便	2	手機儀器相對便利	4	儀器攜帶不便	3	無需佈設控制點
資料增值性	4	難以增值運用	1	點雲資料皆可分析	2	資料增值性高	3	較無法增值應用

報告完畢 敬請指教



農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼