



## 應用 UAV 影像分析技術於固床工變動 及周圍流場之研究

### Application of UAV Imaging Technology for Ground Sill Variation and Flow Field Analysis

國立臺灣大學  
水工試驗所  
研究員  
兼任臺灣颱風洪水研究中心  
副主任

**賴進松**

Jihn-Sung Lai

國立臺灣大學  
土木工程學系  
教授

**韓仁毓**

Jen-Yu Han

國立臺灣大學  
水工試驗所  
專案計畫助理研究員

**李豐佐\***

Fong-Zuo Lee

國家高速網路與計算中心  
研究員

**張文鎰**

Wen-Yi Chang

國立臺灣大學  
水工試驗所  
專任研究助理

**楊淑媛**

Shu-Yuan Yang

#### 摘要

近年來氣候變動造成降雨強度增加，降雨強度增加若伴隨強降雨發生機率也跟著加大，則強降雨所產生之洪水可能造成橋梁損壞、堤防溢堤或堤岸潰堤等災害，進而影響交通及堤內人身安全。固床工為國內穩定河床坡降及保護其上游構造物之常見工程，規劃良好之固床工可防止河川改變流路、穩定河道底床坡降及岸壁淘刷等功效，達到保護上游橋梁或是水工構造物之安全。濁水溪中游國道一號中沙大橋下游側之固床工為本研究區域，本研究應用無人飛行載具、影像邊緣偵測並配合標的物紋理偵測進行固床工之自動化辨識技術，以及大尺度粒子影像分析法，進行固床工在颱風豪雨衝擊後之變動判識以及固床工周圍之流場變化分析。本研究研發

\*通訊作者，國立臺灣大學水工試驗所助理研究員，10617 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，leefongzuo@ntu.edu.tw

之固床工自動化辨識技術能準確判識實驗室固床工變化，而且能辨識 80%以上之固床工範圍，輔以人工辨識後則可有效率地辨識出固床工面積變化。此外，本研究應用大尺度粒子影像分析法，利用現地 UAV 所拍攝影像進行固床工周圍之流場變化分析，而實驗室測試結果顯示大尺度粒子影像分析法能分析出正確流場，並計算出正確流速，於現地量測結果亦顯示大尺度粒子影像分析法能分析出固床工周圍之正確流場。

**關鍵詞：**固床工、無人飛行載具、自動化辨識技術、大尺度粒子影像分析法。

## ABSTRACT

In recent years, climate change is a major factor to increase rainfall intensity and frequency. The increased rainfall intensity and frequency will also increase the probability of flash flood with abundant sediment transport. The floods caused by heavy rainfall may cause damages to the bridge, embankment, hydraulic works and the other disasters. Those damages will affect traffic, transportation, human safety and property. Ground sill is a major engineering method to stabilize the river bed and protect its upstream structures. Well-designed ground sill can prevent the flow path changing and river bank scouring flush. In addition, ground sill can stabilize the river bed slope and protect upstream bridges or hydraulic structures. The study area is located at Zhongsha Bridge downstream of National Freeway No. 1 in the middle of the Zhuoshui River basin. In this study, we adapt Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to take images in the field for ground sill variation and flow field analysis. The image edge detection and texture detection are presented to carry out the automatic identification technology on ground sill variation. In addition, Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) is developed to analyze flow field around ground sills. Study event concentrates on the typhoon and heavy rainfall effects. This study developed the image edge detection and the texture detection that can accurately identify the ground sill changing in laboratory condition. The accuracy can reach more than 80% on the variation of ground sills in laboratory condition. However, supplemented by manual interpretation is needed in the field to effectively improve and identify the area changing of ground sill. This study also uses LSPIV method and UAV images on the flow field analysis around ground sill in the field. The results show that LSPIV method can analyze the flow field and flow velocity correctly in laboratory tests. In the field, the presented LSPIV method can successfully analyze the flow field around ground sills using UAV images.

**Keywords:** Ground sill, Unmanned Aerial Vehicle, Automatic identification technique, Large Scale Particle Image Velocimetry.

## 一、前 言

近年來全球氣候變動對水利防災造成顯著的衝擊，未來台灣地區暴雨強度及豐水期雨量均

呈現逐漸增加的趨勢，海水位亦呈現逐漸上升的趨勢，故而災害防治成為往後重要的課題。臺灣河川長期受人為採砂、河道固床工設置及堰壩攔截上游集水區來砂影響，以致河道長期受洪水沖

刷而逐年降低，深水河槽亦受水流切割變更深，危及河防堤岸安全，而各種跨河構造物造成堤防溢堤或橋墩斷裂等災害，未來隨著降雨強度日漸增加，洪水災害可能越發嚴重，其所造成之災害將對民眾之生命財產及安全產生嚴重威脅。固床工、丁壩與堤基為國內河川治理規劃常見之工程手段，規劃良好之固床工、丁壩與堤基具有防止岸壁淘刷、改變流路、挑流或護灘等功效，但規劃不良則常受到洪水沖擊損壞，或未能達到規劃目標，而階梯式混凝土塊固床工因其整體穩定性又具備分段跌水消能特性，經多次洪水已證明可有效穩定河槽，保護跨河構造物，故近來施作甚多，因階梯式混凝土塊固床工造價較高，如何有效擺放及如何維護為重要課題，權順忠等人(2009)利用現場調查結果分析台灣河川中柔性固床工之破壞現象及提出防治方法，並以水槽試驗進行初步減沖促淤效果驗證，驗證結果證實所提之防治方式可大幅減緩固床工下游河床沖刷坑之深度及間隙填縫料之流失。

本研究使用 Unmanned Aerial Vehicle (UAV) 進行現地影像拍攝，以供分析固床工受洪水衝擊後是否變動及其周圍流場分析使用，Liu *et al.* (2014)及 Niethammer *et al.* (2012)表示過去災後調查多仰賴現地探勘，然而傳統調查方法可能因災後環境惡劣或交通不變等原因使人員無法前往勘察，因此調查資料通常多以汛期前後之數據較為完整，缺失之資料則會根據現場殘骸及目擊者口述進行相關資料補充。Rodriguez *et al.* (2006)近年雖有現場監測儀器可以記錄災害發生時間與規模，但僅限於某些固定點位具有監測資料，無法完全了解整個災害的範圍，因此於現有技術下對於災害期間之資料收集尚無法精準的掌握。然而雖然 UAV 於強風豪雨的惡劣天氣下無法安全有效的操作，但因其體積小、機動性佳、成本低廉、操作方便且因飛行高度較衛星遙測低，不會受雲遮影響，所以可較快取得所需影像。針對 UAV 量測技術等優點代輝(2014)等人結合衛星影像以及地面調查等方式，應用於遭受暴雨洪水災害的地區，評估其農作物之受災情況，得到合理之結果。而現行地形高程測量之儀器中，UAV

和三維雷射掃描技術皆可適用於灘地，若兩者相比，後者確實可快速且以精密點雲搭配影像資訊建構空間資訊，但由於本研究區域為包含水域中之沙洲，因此三維雷射掃描儀無法量測此水域之沙洲地形，且水域兩岸之地形量測亦須置換不同控制點方能利用三維雷射掃描測量地形，因此 UAV 影像雖無法獲取如三維雷射掃描成果之精細，但目前後製數值格網解析度約 0.05 公尺至 0.1 公尺可用於河道水理演算與災害分析之要求。此外 UAV 相較雷射掃描儀成本低，因此更能廣泛應用於災害監測技術所使用。

本研究河川流場分析係採用影像辨識技術，Stanislas *et al.* (2003,2005)利用實際拍攝及合成的渦流影像及紊流，進行不同 Particle Image Velocimetry (PIV)及 Particle Tracking Velocimetry (PTV)演算法的分析，結果顯示其演算法都能用於分析渦流及紊流，但仍在改進中。Jodeau *et al.* (2008)在水庫洩洪時使用 Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV)進行高流量時的流速測量是否可行，其結果與使用引線的電流儀 (Current-meter)量測結果進行比較；文中提到在離相機較遠的地方需要添加白色追蹤物，否則會因捲起的細沙造成相片全部呈現黑色，進而使影像匹配錯誤。Hauet *et al.* (2009)利用 LSPIV 方法繪製河道底床變化，以此了解河岸沖刷與泥砂沉積模式，期間因有大洪水發生，故此變化明顯，拍攝相片配合全站儀所測量點位進行比較，平均誤差只有 0.11 公尺。Kantoush *et al.* (2011)則進行八種不同環境條件下的 LSPIV 量測，包括在水庫之泥砂運移、水力發電之流場、堰流流場、溢洪道流場、油污擴散流場等，其分析上述案例遇到的困難與提出適當的修正方法，其研究分析指出 LSPIV 是一種可信度高、具彈性且成本低的流場分析工具，可以適用在許多工程應用上。賴進松等人(2015)利用 UAV 於淡水河分析河道水流流速分佈，並建立二維水理數值模式模擬不同重現期距之洪水位及流場等，以供水利防災及河道高灘地管理參考，文中並指出 UAV 影像雖無法獲取如雷射掃描成果之精細，但目前後製數值格網解析度應用於本研究相對足夠，可有效突顯河道

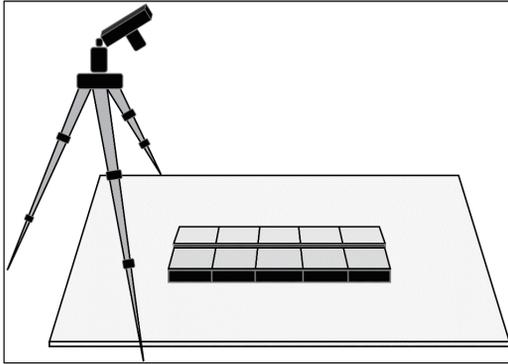


圖 1 試驗室試驗區示意圖。

高灘地或沙洲高低起伏變化之形態。

由上述可知，固床工為常見之河道保護工程，如規劃良好可有效抑制河床砂石淘刷，並緩和河床及兩岸的流速，具有整流、導流、消能及減緩沖刷等功能。因此能瞭解何種擺放方法才能達到最大功效及其被沖刷破壞的機制，或許能達到災害防治的效果。因此本研究結合 UAV 影像分析技術及 LSPIV 流場分析模式之研發與應用，對於掌握河道固床工之變動範圍與面積，以及固床工周圍流速分布變化之觀測，將可提供河道固床工維修及水利防災上重要的資訊，且因使用 UAV 可不直接靠近河床，可降低勘察人員進行災後收集資料的危險性。

## 二、研究區域概述

本研究之固床工變動辨識及其周圍流場分析分為試驗室試驗及現地觀測分析，試驗室試驗於臺灣大學水工試驗所進行，其中試驗室固床工變動辨識之佈置如圖 1，於試驗室地板依照固床工形狀擺放  $2\text{cm} \times 2\text{cm}$  之方塊，並架設相機進行拍攝作業，而流場分析則於臺灣大學水工試驗所環形水槽試驗室進行，以檢定驗證分析模式。而現地觀測分析之場址則選定濁水溪下游河道固床工，因濁水溪於 74 至 94 年間經歷多場重大颱風洪事件及採砂頻繁，造成集集攔河堰以下至自強大橋間河段之河床有明顯沖刷情形，且於 921 地震後改變部分河道地貌，致使水流挾砂及沖刷能力增加，因此本研究選取於濁水溪中沙大橋下游

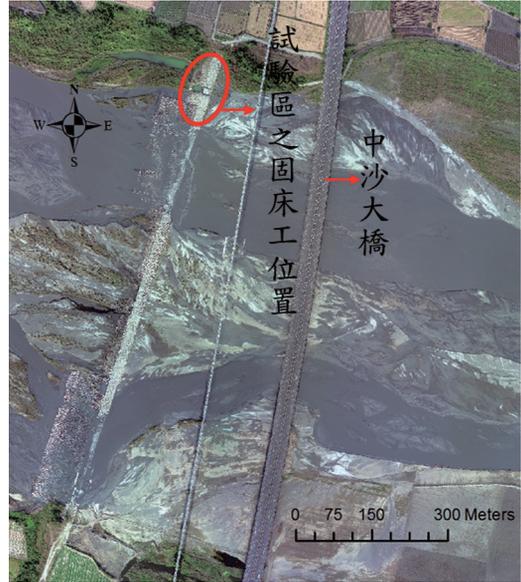


圖 2 中沙大橋與固床工示意圖。

之固床工為現地研究區域，進行固床工變動及其周圍流場分析，瞭解其固床工周圍沖刷機制之水利資訊，進而達到災害防治的效果。中沙大橋位於濁水溪上游 3 公里處中山高速公路其中一段，連接彰化縣溪州鄉與雲林縣西螺鎮的中沙大橋為穩定其周圍河道底床，因此於中沙大橋下游設置全河道斷面固床工，固床工距離中沙大橋約 200 公尺。本研究首先於 2016 年底進行 UAV 拍攝中沙大橋及固床工區域，然因固床工範圍較大，且發現靠右岸之固床工有破損區塊，故選擇此破損區塊做為本研究分析區域。本研究主要針對 2017 年六月初豪雨對固床工之影響進行分析，拍攝作業時間為 2017 年 6 月 7 日，且利用 UAV 錄影方式進行紀錄，透過本研究所開發之固床工之自動化辨識技術，以及大尺度粒子影像分析法，進行固床工在 2017 年六月初豪雨衝擊後之變動判識以及固床工周圍之流場變化分析。研究流程圖如下圖 3 所示。

## 三、方法與原理

本研究應用無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)進行現地影像紀錄，再將所拍攝之

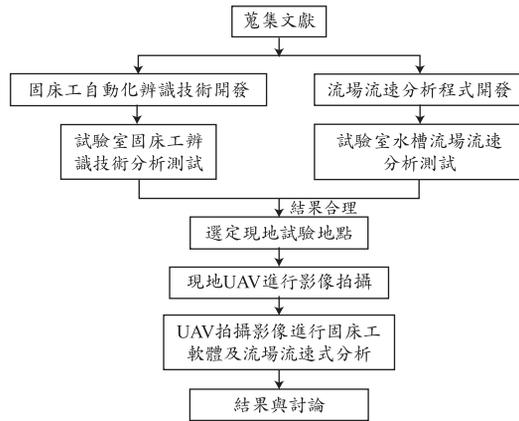


圖 3 研究流程圖。

影像帶回試驗室進行處理後，透過本研究所開發的固床工自動化辨識技術，以及大尺度粒子影像分析法進行固床工周圍之流場變化分析，因此以下分別針對固床工影像辨識法及大尺度粒子影像分析法進行說明。

### 3.1 固床工影像辨識法

本研究為了解河川沖刷對固床工變遷造成的影響，應用影像辨識之方法於固床工自動化辨識上，由於固床工具有較明顯之幾何特徵及紋理之人工構造物，故在辨識方法上將使用影像邊緣偵測及標的物紋理偵測進行固床工之自動化辨識。以下針對此兩種技術進行介紹：

A. 影像邊緣偵測：影像中的邊緣指的是影像中發生變化的位置，並不是指特定標的物的邊緣，但是特定標的物的邊緣必定會發生變化，因此若能設計出好的邊緣篩選邏輯，即可由影像上搜尋到的所有邊緣中，篩選出特定標的物的邊緣，進而達成特定標的物的辨識目的。

變化的發生可能來自於場景中(i)深度上的不連續、(ii)表面方向不連續、(iii)物質屬性變化和(iv)場景照明變化，前人已針對上述情況設計出各種不同的邊緣偵測運算子，各運算子的詳細計算公式略有不同，就大方向來說，可分為兩類，一類是基於畫面亮度梯度一階導數的變化，鎖定可能的邊緣位置，並以數學模式預測邊緣的

局部方向，找到該區域的最大值，將其視為真正的邊緣位置；另一類是以亮度二階導數作為計算基準，計算亮度梯度變化率，並將零交叉的位置視為邊緣位置。

本研究選用以一階導數為計算標的的運算子，此運算子使用四個遮罩進行水平、垂直及對角線方向的可能邊緣位置尋找，然而如前所述，找到的所有影像邊緣並不一定就是特徵物的邊緣，必須輔以好的篩選機制才能得到好的成果，因此，在本研究中設置兩個機制來進行篩選，(1)相鄰邊緣間的夾角需界於 $80^{\circ}$ 至 $100^{\circ}$ 之間(鎖定特徵為矩形)(2)相鄰兩邊緣的長度比例需在 0.9 至 1.1 之間(鎖定特徵為正方形)。除使用邊緣偵測方法外，本研究亦搭配有其他的影像處理方法，以期得到較好邊緣偵測成果，方法包括有影像濾波、影像膨脹、影像侵蝕及影像平滑化等等方式。

B. 標的物紋理偵測：除使用標的物邊緣作為特徵鎖定標的物外，標的物本身的紋理資訊亦可作為辨識依據，所謂紋理資訊在這裡指的是標的物的顏色，若是可以合理推斷，在場景中同種標的物的顏色都是一致的，則程式只需要告知電腦該標的物的顏色數值，電腦即可自動搜尋包含此顏色的位置，並將其視為標的物，藉此達成標的物辨識的目的。

而影像中每一格像素都帶有紅(R)綠(G)藍(B)的數值，值域為 0~255，程式中藉由操作流程的設計，協助使用者進行影像中標的物紅(R)綠(G)及藍(B)數值的擷取，擷取完成後，程式便依據使用者圈選位置的 R 數值、G 數值、B 數值、R/G 的比例及 R/B 的比例進行全影像的搜尋，符合條件者即視為標的物。

### 3.2 大尺度粒子影像分析法

本研究使用 UAV 錄製並後製中沙大橋下游固床工之流況影像後，利用 LSPIV 演算法計算固床工周圍水域之表面流速。本研究之 LSPIV 演算法為利用互相關函數法，將影像分割為相同大小的子分析區域(Interrogation Area, IA)，並計算連續兩張影像中子區域相關性最高的區域，將此區

域視為中心點最可能移動的位置，亦代表水面影像質點或波紋移動之方向與距離，以此計算水流移動方向與位移量，如式(1)。其中  $\phi_{fg}(m, n)$  為  $m$ 、 $n$  處的互相關函數值， $f$  為時間  $t$  的影像， $g$  為時間  $t+dt$  的影像， $M$ 、 $N$  為子分析區域的大小， $m$ 、 $n$  為位移量。

$$\phi_{fg}(m, n) = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y)g(x+m, y+n) \dots\dots\dots(1)$$

儘管 UAV 飛行過程中皆設定為垂直攝影，但於高空可能因風速、載具本身懸停精度以及 GPS 信號狀況等因素，而使得相機並非一直垂直向下拍攝，故於分析流場流速前需先經過影像校正，再進一步進行解算。在此步驟中將河面設定為二維平面，因此在此將採用二維投影將影像轉換為正交，其轉換方程式如式(2)所示。

$$\begin{cases} X = \frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_3x + b_3y + 1} \\ Y = \frac{a_2x + b_2y + c_2}{a_3x + b_3y + 1} \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

於式(2)中， $(x, y)$  為空間平面坐標， $(X, Y)$  為影像平面坐標，其中共有  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $c_1$ 、 $c_2$  等八個轉換參數，因此在解算時需要 4 個地面參考點的空間座標及影像座標代入式中解聯立，即可將影像轉換至正交平面上。影像校正為正交影像後代表整像影像已轉換為影像之原始座標，轉換過後即可計算出真實流速。

#### 四、結果與分析

本研究首先利用相機拍攝方塊於試驗室內進行固床工辨識分析，以及利用環型水槽進行流場流速分析模式之可行性驗證，最後應用無人飛行載具之現地紀錄影像，進行固床工之變動辨識，以及固床工周圍之流場變化分析。其中相機畫素為  $4608 \times 3456$  pixel，UAV 畫素為  $3840 \times 2160$  pixel。

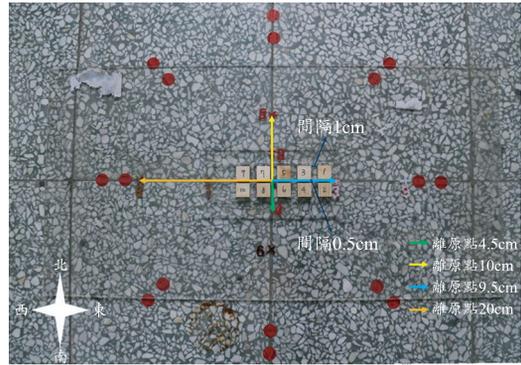


圖 4 試驗室佈置示意圖。

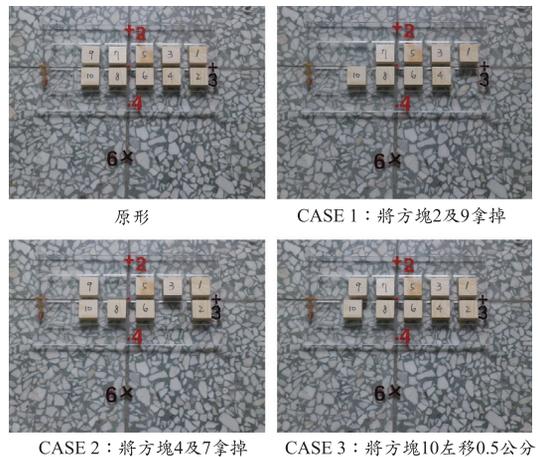


圖 5 不同試驗形狀變化。

#### 4.1 試驗室固床工分析

於試驗室將十個方塊擺放如圖 4，參考點離原點距離如圖中各色箭頭所示，其中藍色箭頭距原點 9.5 公分、綠色箭頭距原點 4.5 公分、黃色箭頭距原點 10 公分、橘色箭頭距原點 20 公分。編號 1 至編號 10 的方塊長×寬×高分別為  $2 \times 2 \times 1$  公分，上排奇數號與下排雙數號方塊間隔為 0.5 公分，左右間隔則為 1 公分。圖 5 擺放形狀為固床工未破壞或位移前之原形，依原形進行三種不同變化，以此來模擬現地固床工形狀變化(CASE 1 及 CASE 2)或位移(CASE 3)，並嘗試利用本研究所採用之固床工影像辨識法，計算固床工前後期面積變化及中心位移量，固床工變化圖形如圖

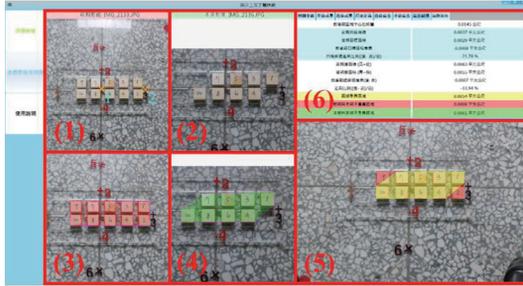


圖 6 原形及 CASE1 比較。

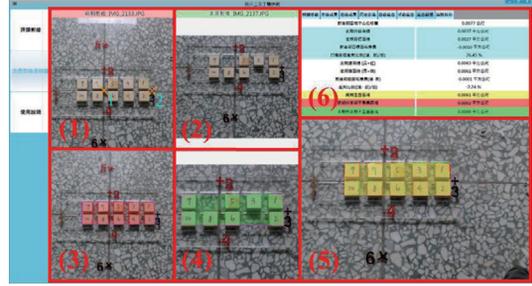


圖 7 原形及 CASE2 比較。

表 1 原形及 CASE1 比較成果整理

編號	計算成果名稱	單位	計算成果
1	前後期區域中心位移量	m	0.0145
2	前期目標面積	m <sup>2</sup>	0.0037
3	後期目標面積	m <sup>2</sup>	0.0029
4	前後期目標面積差異	m <sup>2</sup>	-0.0008
5	目標面積差異比例((後-前)/前)	%	-21.78
6	前期總面積(10+11)	m <sup>2</sup>	0.0063
7	後期總面積(10+12)	m <sup>2</sup>	0.0055
8	前後期總面積差異(後-前)	m <sup>2</sup>	-0.0007
9	差異比例((後-前)/前)	%	-11.94
10	兩期重疊面積	m <sup>2</sup>	0.0054
11	前期與本期不重疊區域	m <sup>2</sup>	0.0008
12	本期與前期不重疊區域	m <sup>2</sup>	0.0001

表 2 原形及 CASE2 比較成果整理

編號	計算成果名稱	單位	計算成果
1	前後期區域中心位移量	m	0.0077
2	前期目標面積	m <sup>2</sup>	0.0037
3	後期目標面積	m <sup>2</sup>	0.0027
4	前後期目標面積差異	m <sup>2</sup>	-0.001
5	目標面積差異比例((後-前)/前)	%	-26.45
6	前期總面積(10+11)	m <sup>2</sup>	0.0063
7	後期總面積(10+12)	m <sup>2</sup>	0.0061
8	前後期總面積差異(後-前)	m <sup>2</sup>	-0.0001
9	差異比例((後-前)/前)	%	-2.24
10	兩期重疊面積	m <sup>2</sup>	0.0061
11	前期與本期不重疊區域	m <sup>2</sup>	0.0002
12	本期與前期不重疊區域	m <sup>2</sup>	0

5，圖 5 中的變化包含固床工外部變動、內部變動及外部位移等三種情境。

固床工影像辨識法分析結果截圖至軟體畫面如圖 6 至圖 8，圖 6 至圖 8 中圖(a)編號(1)為前期影像；編號(2)為後期(本期)影像；編號(3)為前期影像固床工辨識結果；編號(4)為後期影像固床工辨識結果；編號(5)為以前期固床工辨識結果影像當底圖並套疊後期固床工辨識結果影像之成果；編號(6)為影像辨識後計算之前後期固床工面積、中心位移量及前後期固床工面積差異，表 1 至表 3 為編號(6)之整理成果，由辨識結果可知本研究採用之固床工影像辨識法可辨識出約 80%的小方塊，再輔以人工辨識可有效的辨識出整體的固床工範圍。

由圖 6 及表 1 可知辨識出小方塊後再套疊前後期(原形及變形)影像已可初步計算各個別面積

及比較面積差異，以及中心位移量，由圖 6 原形及 CASE1 比較可知拿掉旁邊兩個小方塊後，中心位移量為 0.0145 公尺，若只計算被辨識出的固床工面積，前期目標面積為 0.0037 平方公尺，後期目標面積為 0.0029 平方公尺，前後期目標面積差異為 21.78%，而實際上固床工面積之前後期面積差異為 20%；若以外包方式計算之固床工面積前期目標面積為 0.0063 平方公尺，後期目標面積為 0.0055 平方公尺，前後期目標面積差異為 11.94%，實際上外包方式計算之固床工面積為 12%，因此辨識出的面積及實際上的面積差異在兩種辨識方式之計算下誤差分別為 1.78%及 0.04%。

然而於圖 7 及表 2 可看出 CASE2 變形時計算出的前後期面積相差不大，造成此結果的原因是在計算後期影像面積時使用外包的方式，於計



圖 8 原形及 CASE3 比較。

表 3 原形及 CASE3 比較成果整理

編號	計算成果名稱	單位	計算成果
1	前後期區域中心位移量	m	0.0229
2	前期目標面積	m <sup>2</sup>	0.0037
3	後期目標面積	m <sup>2</sup>	0.0037
4	前後期目標面積差異	m <sup>2</sup>	0
5	目標面積差異比例((後-前)/前)	%	1.17
6	前期總面積(10+11)	m <sup>2</sup>	0.0063
7	後期總面積(10+12)	m <sup>2</sup>	0.0064
8	前後期總面積差異(後-前)	m <sup>2</sup>	0.0002
9	差異比例((後-前)/前)	%	2.64
10	兩期重疊面積	m <sup>2</sup>	0.0062
11	前期與本期不重疊區域	m <sup>2</sup>	0.0001
12	本期與前期不重疊區域	m <sup>2</sup>	0.0003

算時將最旁邊的方塊視為邊界，並將邊界內的面積都當成是固床工，所以計算出的前後期面積差異不大，然而若只計算被辨識出的固床工方塊面積(表中編號 2 至編號 5)，以此方法計算出的面積就能看出前後期的差異。由圖 7 原形及 CASE2 比較可知拿掉旁邊兩個小方塊後，中心位移量為 0.0077 公尺，若只計算被辨識出的固床工面積，前期目標面積為 0.0037 平方公尺，後期目標面積為 0.0027 平方公尺，前後期目標面積差異為 26.45%，而實際上固床工面積之前後期面積差異為 20%；若以外包方式計算之固床工面積前期目標面積為 0.0063 平方公尺，後期目標面積為 0.0061 平方公尺，前後期目標面積差異為 2.24%，而實際上固床工面積之前後期面積差異為 0%，因此辨識出的面積及實際上的面積差異在兩種



圖 9 實驗室佈置。

辨識方式之計算下誤差分別為 6.45%及 2.24%。

由圖 8 及表 3 原形及 CASE3 比較可知拿掉旁邊兩個小方塊後，中心位移量為 0.0229 公尺，若只計算被辨識出的固床工面積，前期目標面積為 0.0037 平方公尺，後期目標面積為 0.0037 平方公尺，前後期目標面積差異為 1.17%，而實際上固床工面積之前後期面積差異為 0%；若以外包方式計算之固床工面積前期目標面積為 0.0063 平方公尺，後期目標面積為 0.0064 平方公尺，前後期目標面積差異為 2.64%，而實際上固床工面積之前後期面積差異為 3.57%，因此辨識出的面積及實際上的面積差異在兩種辨識方式之計算下誤差分別為 1.17%及 0.93%。

故若可辨識出固床工單元面積，則不管固床工變動形式為外部變動或是內部變動，均可辨識出固床工變動範圍與面積。

#### 4.2 實驗室流場分析

本研究於臺灣大學水工試驗所之環形水槽試驗室進行流場流速正確性分析，環形水槽可設定固定的速度以進行儀器校正。因環形水槽可設定固定的速度以進行儀器校正，故本研究將以環形水槽轉速做為標準，進行所開發之流場流速分析程式結果正確性分析。為使追蹤粒子增加提高試驗正確性故於水槽上鋪設具有多種不同圖案

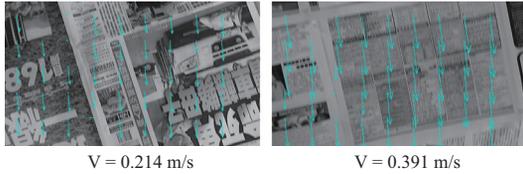


圖 10 分析之流場成果。

表 4 環形水槽轉速及 PIV 分析之轉速結果比較

環形水槽轉速(m/s)	PIV 分析轉速(m/s)
0.214	0.213
0.391	0.400

能增加辨識度的報紙，並將已安裝分析流場流速程式之儀器(Chang *et al.*, 2016)固定於水槽上以兩種固定的速度旋轉(0.214 m/s 及 0.391 m/s)及 IA = 128 pixel 進行檢測，試驗佈置如圖 9，分析成果如圖 10 及表 4 所示。由圖 10 及表 4 可看出於試驗室可分析出正確流場，並分析出與環形水槽轉速相近之流速，平均誤差約為 1%，表示本研究之研發之流場分析模式，可利用所拍攝之影像進行流場分析。

### 4.3 現地應用

本研究於 2017 年 6 月 7 日以兩種 UAV 飛行高度(50、75 公尺)進行中沙大橋下游固床工錄影拍攝作業，錄影之影片利用剪輯軟體將影片依序剪輯為兩張影像間格 0.03 秒之像片，進行固床工之變動辨識以及固床工周圍之流場變化分析，其分析結果如圖 11 及圖 12 所示。由圖可看出固床工附近的流場在兩種拍攝高度及相同 IA 的分析情境下，50 公尺及 75 公尺皆可適當分析出固床工周圍流場流向，而在飛行高度為 50 公尺時可看出較明顯的流場變化。

本研究同時將 2016 年 12 月拍攝之影像與 2017 年 6 月所拍攝之影像取出相同的位置，並利用固床工辨識軟體進行分析，分析結果如圖 13 所示。由圖 13 可看出軟體應用於現地時，也能正確分析前後期固床工面積變化，但於現地辨識固床工方面則需要人工輔助辨識，主要原因在於利用固床工軟體分析現地影像時，因為前後期影



圖 11 中沙大橋 飛行高度 50 m ; IA = 64 pixel 。



圖 12 中沙大橋 飛行高度 75 m ; IA = 64 pixel 。

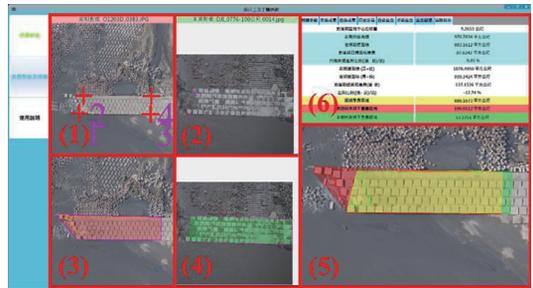


圖 13 中沙大橋 2016 年 12 月及 2017 年 6 月固床工變動比較。

像解析度不同而導致套合不成功，故必須於前後期影像中利用人工輔助方式標識四個明顯的特徵點，以供前後期影像套合使用。

由圖 13 及表 5 可知目標區域固床工群的中心位移量為 9.2653 公尺，若只計算被辨識出的固床工面積，前期目標面積為 970.7854 平方公尺，後期目標面積為 883.1612 平方公尺，前後期目標面積差異為 9.03%；若以外包方式計算之固床工面積前期目標面積為 1076.4950 平方公尺，後期

表 5 中沙大橋 2016 年 12 月及 2017 年 6 月固床工變動比較成果整理

編號	計算成果名稱	單位	計算成果
1	前後期區域中心位移量	m	9.2653
2	前期目標面積	m <sup>2</sup>	970.7854
3	後期目標面積	m <sup>2</sup>	883.1612
4	前後期目標面積差異	m <sup>2</sup>	-87.6242
5	目標面積差異比例((後-前)/前)	%	-9.03
6	前期總面積(10+11)	m <sup>2</sup>	1076.495
7	後期總面積(10+12)	m <sup>2</sup>	939.3424
8	前後期總面積差異(後-前)	m <sup>2</sup>	-137.1526
9	差異比例((後-前)/前)	%	-12.74
10	兩期重疊面積	m <sup>2</sup>	0.0061
11	前期與本期不重疊區域	m <sup>2</sup>	0.0002
12	本期與前期不重疊區域	m <sup>2</sup>	0

目標面積為 939.3424 平方公尺，前後期目標面積差異為 12.74%，兩者差異不大，而且破壞型式與試驗室 CASE1 類似，屬於固床工外部變動。

## 五、結 論

本研究採用無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)於現地中沙大橋下游固床工進行影像拍攝，配合所研發之影像邊緣偵測以及標的物紋理偵測，研發固床工之自動化辨識技術，以及採用大尺度粒子影像分析法(Large Scale Particle Image Velocimetry, LSPIV)，進行固床工在颱風豪雨衝擊後之變動判識以及固床工周圍之流場變化分析，所研發之固床工辨識軟體於試驗室條件下進行驗證，可得到 80%以上之固床工自動辨識精度，辨識固床工後再套疊前後期影像已可初步計算各別面積及比較面積差異，以及固床工中心位移量，此結果目前僅可適用於靜態物體分析，還未進行動態物體分析試驗，而所提出之 LSPIV 流場分析模式，於試驗室條件下亦得到準確之流場流向分析結果。

此外，運用無人飛行載具(UAV)於中沙大橋下游固床工拍攝之影像，提供固床工變動及周圍流場分析使用，經研究結果顯示固床工辨識軟體應用於現地，輔以人工辨識後能成功計算固床工各別面積及比較面積差異，然而利用固床工辨識

軟體分析現地拍攝影像時，可能因為前後期影像解析度不同而導致套合不成功，故必須於前後期影像中標識四個明顯的特徵點，以供套合使用，而本研究提出之大尺度粒子影像分析法亦已證實能應用於現地固床工周圍流場分析，然分析流速時則需要佈設地面控制點，將影像進行校正後才能進行流速分析。

於物體辨識可能因周圍環境與所需辨識物體形狀或者紋理相似而造成辨識錯誤，故物體辨識方法還需再改進或配合其他方法進行進一步的分析以提高其辨識力。此外於分析流場時之飛行高度則須依照研究所需之成果進行試驗。

## 致 謝

本研究承蒙科技部專題研究計畫 MOST 106-3011-F-002-003 及 MOST 105-2625-M-009-009 經費補助，程昱科技有限公司協助軟體開發，以及國立臺灣大學水工試驗所及國立臺灣大學土木系提供人力協助特此致謝。

## 參考文獻

1. Aya, S., Fujita, I. and Yagy, M. (1995) "Field observation of flood in a river by video image analysis," Proceedings of Hydraulic Engineering, Vol. 39, pp. 447-452.
2. Chang, H. K., Tan, Y. C., Lai, J. S., Pan, T. Y., Liu, T. M. and Tung, C. P. (2013) "Improvement of a drainage system for flood management with assessment of the potential effects of climate change," Hydrological Sciences Journal, Vol. 58, No. 8, pp. 1581-1597.
3. Chang, W. Y., Lin, F., Tsai, W. F., Lai, J. S., Loh, C. H. and Kang, S. C. (2016) "Portable Particle Image Velocimetry Measurement Using a Laser-Based Technique," Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 142, No. 9, pp. 1-9.
4. Huet, A., Muste, M. and Ho, H. C. (2009) "Digital mapping of riverine waterway hydrodynamic and geomorphic features," Earth Surface Processes and Landforms, 34(2), pp. 242-252.

5. Jodeau, M., Hauetb, A., Paquier, A., Coz, J. L. and Dramais, G. (2008) "Application and evaluation of LS-PIV technique for the monitoring of river surface velocities in high flow conditions," *Flow Measurement and Instrumentation*, 19(2), pp. 117-127.
6. Kantoush, S. A., Schleiss, A. J., Sumi, T. and Murasaki, M. (2011) "LSPIV implementation for environment flow in various laboratory and field cases," *Journal of HydroEnvironment Research*, Vol. 5, pp. 263-276.
7. Liu, P., Chen, A. Y., Huang, Y. N., Han, J. Y., Lai J. S., Kang, S. C., Wu, T. H., Wen, M. C. and Tsai. M. H. (2014) "A review of rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering," *Smart Structures and Systems*, Vol. 13, No. 6, pp. 1581-1597.
8. Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J. and Joswig, M. (2012) "UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results," *Engineering Geology*, Vol. 128, pp. 2-11.
9. Perry, J. H. and Ryan, R. J. (2011) "Small scale unmanned aerial vehicles in environmental remote sensing: Challenges and opportunities," *GIS Science and Remote Sensing*, Vol. 48, No. 1, pp. 99-111.
10. Rodriguez, P. A., Geckle, W. J., Barton, J. D., Samsundar, J., Gao, T., Brown, M. Z. and Martin, S. R. (2006) "An emergency response UAV surveillance system," *AMIA Annual Symposium Proceedings*, p. 1078.
11. Stanislas, M., Okamoto, K. and Kahler, C. J. (2003) "Main results of the First International PIV Challenge," *Meas. Sci. Technol* 14, pp. 63-89.
12. Stanislas, M., Okamoto, K., Kahler, C. J. and Westerweel, J. (2005) "Main results of the Second International PIV Challenge," *Experiments in Fluids* 39, pp. 170-191.
13. 代輝、武文波、劉純波、崔言輝，2014，"洪澇災害天空地一體化災情查勘技術研究"，*自然災害學報*，第 23 卷，第 1 期，pp. 1-6。
14. 吳金水，2003 年，"階梯式混凝土塊固床工設計之初步探討"，*國立成功大學碩士論文*。
15. 施錦揮、游政恭、鄒慶敏、蔡季欣、林志清、林燕山，2010，"無人飛行載具應用於防救災圖資供應之研究—以北二高崩塌地為例"，*台灣水利季刊*，第 62 卷，第 2 期，pp. 35-49。
16. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2011，"濁水溪流域整體治理規劃檢討"。
17. 經濟部水利署第四河川局，2013，"濁水溪現行丁壩工法於側向侵蝕與縱向沖刷之效能檢討"。
18. 劉丹、梁濤、田銀枝、曹紅杰，2014，"無人機航測技術在長江航道整治工程中的應用"，*地理信息世界*，第 21 卷，第 4 期，pp. 59-63。
19. 劉志明、晏明、逢格江，2001，"1998 年吉林省西部洪水過程遙感動態監測與災情評估"，*自然災害學報*，第 10 卷，第 3 期，pp. 98-102。
20. 劉昌軍、郭良、岳冲，2014，"無人機航測技術在山洪災害調查評價中的應用"，*山洪災害防治*，第 24 卷，第 3 期，pp. 3-8。
21. 賴進松、韓仁毓、張文鎰、劉寅春、康仕仲、謝其泰、譚義績、黃振家、李豐佐、林彥廷、林聖峯、張睿宇及溫明璋，2015，"UAV 影像技術應用於河道洪水水位及流場之模擬分析"，*中國土木水利工程學刊*，第 27 卷，第 3 期，pp. 231-240。
22. 欝順忠、洪建豪、賴進松及盧昭堯，2009，"階梯式柔性固床工之破壞機制與防治方法探討"，*臺灣水利*，第 58 卷，第 4 期，pp. 13-24。

收稿日期：民國 106 年 8 月 10 日  
 修正日期：民國 106 年 10 月 3 日  
 接受日期：民國 106 年 10 月 13 日