



行政院農業委員會水土保持局

Soil & Water Conservation Bureau, COA

…水土保持工程施工監造技術智慧化之研發…

機關名稱：



逢甲大學

計畫主持人：吳銘順 博士



簡報大綱

壹

擬解決問題

貳

計畫目標

參

工作執行方法與步驟

肆

研究成果

伍

結論

無人飛行載具(UAV)空拍繪製數值地表模型DSM及3D立體建模技術應用於水土保持工程之施工監造，其全面提升施工監造品質補足監造人力不足之窘境。

工程施工品質管理疏漏

施工多在偏遠山坡地上，往往「三級品管」文書作業內容僅於查核、督導、稽查才加以產出，形成流於行政程序而未能有效控管、落實品質保證，導致衍生許多人為缺失、仿造驗證及管理漏洞等問題。

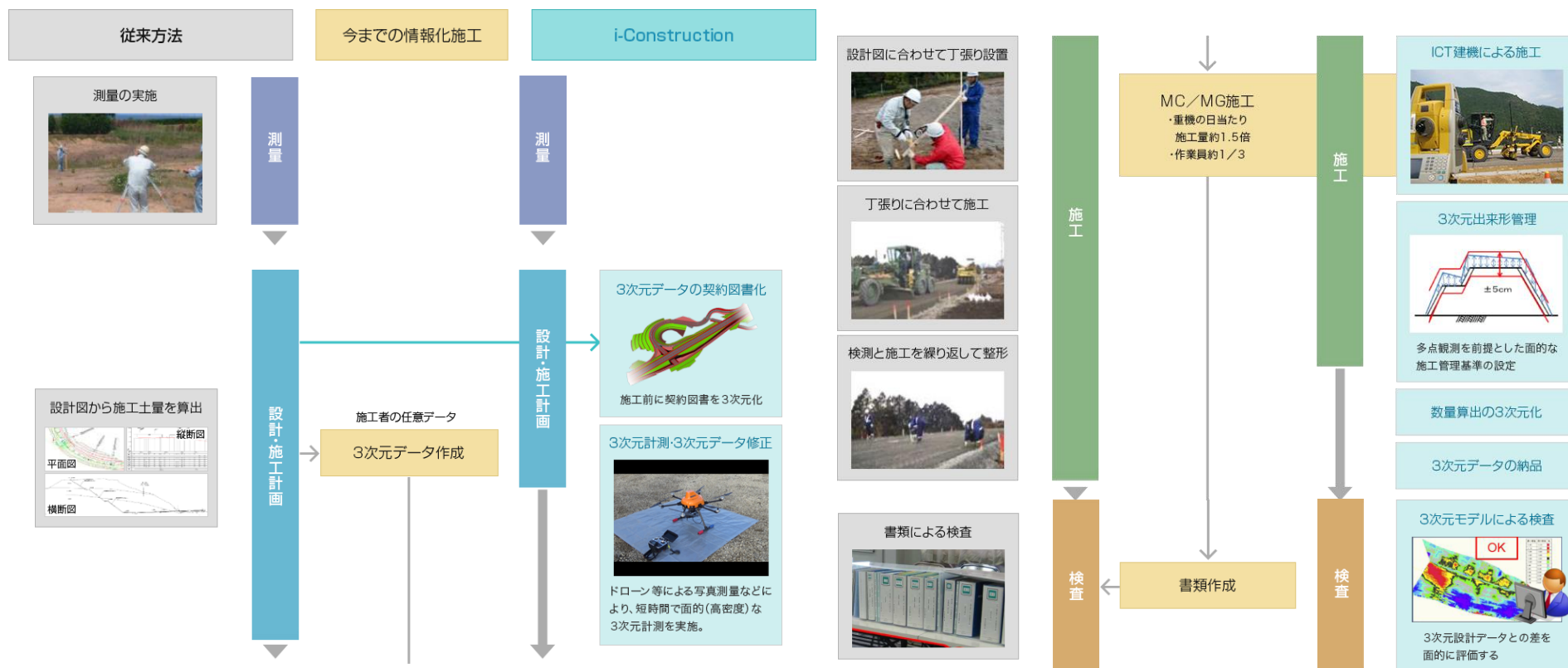
補足監造人力及工程施作開發狀況

因工地偏遠、規模較小且分散，除了工程環境艱困且相對危險外，亦因人口紅利降低，專業人力需求孔急實際監造人員往往不符實際需求，可能影響監造品質。

水土保持局工程管考系統紀錄未周全

工程內容施工細項尋找不易以及無法判別施作年份之問題，因此建議各施工圖前中後導入空拍 3D 建模，能於即時展現治理區位之工程全貌。

日本國土交通省為了因應人口老化及3K產業(辛苦、危險、骯髒)缺工情形，自2017年起正式推動智慧型施工(I Construction)，其主要目標包括：



- 施工現場**零事故**。
- 從「辛苦」、「骯髒」、「危險」到「獎勵」、「從容」、「希望」的改善目標。
- 提高每個人的**生產力**，改善公司的商業環境。
- 吸引**高素質**人員參與工地工作，且提升整體薪資水準。



水土保持工程監造計畫

人員組織

施工品質計畫

材料檢驗

設備功能抽驗

施工抽查

安全衛生



施工放樣工程施工抽查程序

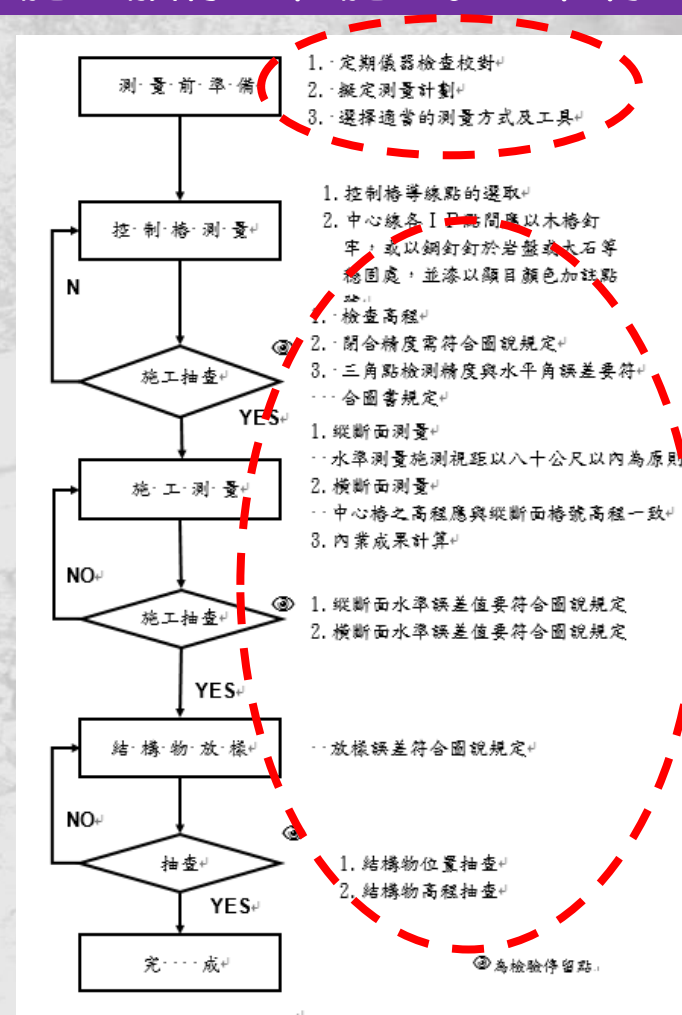
完整抽查程序包含填寫：

構造物施工放樣工程抽查紀錄表 及
施工放樣工程抽查管理標準表

作業目的為檢驗工程內容幾何
成果，傳統人工測量作業過程需於工
區來回，且測量、抽驗點位也相對集
中、耗時艱辛，測量成果可能發生傳
抄錯誤之外也難以結合其他分析應用
，並不如UAV大範圍作業優勢。

抽查程序皆能以UAV進
行，數位化資料能在各
領域延伸應用

施工放樣工程施工抽查程序



施工放樣工程抽查管理標準表

施工流程		管理項目(A)	抽查標準(B)	抽查時機	抽查方法	抽查頻率	不符合之處置方法	管理紀錄	備註
施工前	控制樁測量	測量(距離)誤差	誤差小於 $[1/3000]$	*測量後	核對資料	分區各檢測乙次	重測	抽查紀錄表	
	橫斷面測量	水準測量誤差	誤差 $\pm[20*\sqrt{Kmm}]$ (K 為水準測量路線總長之公里數)	*測量後	核對資料	分區各檢測乙次	重測	抽查紀錄表	
	縱斷面測量	水準測量誤差	誤差 $\pm[20*\sqrt{Kmm}]$ (K 為水準測量路線總長之公里數)	*測量後	核對資料	分區各檢測乙次	重測	抽查紀錄表	
	結構物放樣	位置及高程	依設計圖說所標示的尺度為準	*測量後	核對資料	分區各檢測乙次	重測	抽查紀錄表	

*為檢驗停留點



- 標準表容許誤差約為2~5公分
- 本研究成果製圖解析度約0.96公分

抽驗要領及容許標準表

檢查對象	抽查數量	合格認定之容許誤差	不合格時之處理方式
橋樑長度、面寬	全橋	長度：每孔3公分以內(斜橋每孔6公分以內)。 面寬：2公分以內。	依本補充規定第四條辦理。
混凝土構造物尺寸	任選每件至少三處	1.寬(厚)度未達1公尺者為1公分；1公尺以上者為百分之一，惟最大不得超過5公分。 2.長度不得大於設計尺寸百分之二。 3.高度未達3公尺者為3公分；超過3公尺者為5公分。 4.斜率為百分之二十以內(單面)。 5.建築物之容許誤差依建築法規辦理。	依本補充規定第四條辦理。
蛇籠、網籠工程	全部	長度、寬度、高度為百分之五。 孔徑為百分之十。 鉛絲規格、填石規格須符合設計規範。	1.長度、高度不足時應補足。 2.寬度不足時依本補充規定第四條辦理。 3.孔徑、鉛絲直徑及條數，不足部時依本補充規定第四條辦理。
其他項目	由抽驗人員指定	須符合設計規範。	依本補充規定第四條辦理。

挖填土方計算及分布

- ❖推估挖、填土方數量及分布
- ❖並舉報不符合規定之事項

構造物構築進程監測

- ❖監測構造物施工之全過程
- ❖包含隱蔽部監測

加值應用：

- ① 地面覆蓋變遷-可推估構造物、植被等而改變地面覆蓋情形。
- ② 地形變遷監測-監測因人為、降雨、地震等因素導致地形變化。

構造物尺寸量測

- ❖外觀幾何尺寸、坡度、砌石構造及粒徑
- ❖適時提出校正



構造物線形測定

- ❖配合工程構造物3D完工模型繪圖成果，測定構造物放樣準確性
- ❖適時提出校正

施工進度推估

- ❖配合工程構造物3D完工模型繪圖成果
- ❖推估工程進度



(一) 無人飛行載具規格簡介

- 可搭載多元APP系統控制
- 大尺寸感測器1 英寸(2000萬畫素)
- 穩定性高
- 較成熟產品(防護機制)閃避、追蹤等功能



攝影鏡頭

- 1英寸CMOS；有效像素2000萬
- FOV 84° ；8.8mm / 24mm（35mm格式等效）；光圈f/2.8 - f/11
- 帶自動對焦（對焦距離1 m - 無窮遠）



航高 m	地面解析度 cm
100	2.7
90	2.5
80	2.2
70	1.9
60	1.6
50	1.4
40	1.1
30	0.8

✓ 垂直起降、停懸拍攝，適合於林下以及地形差異大地區作業

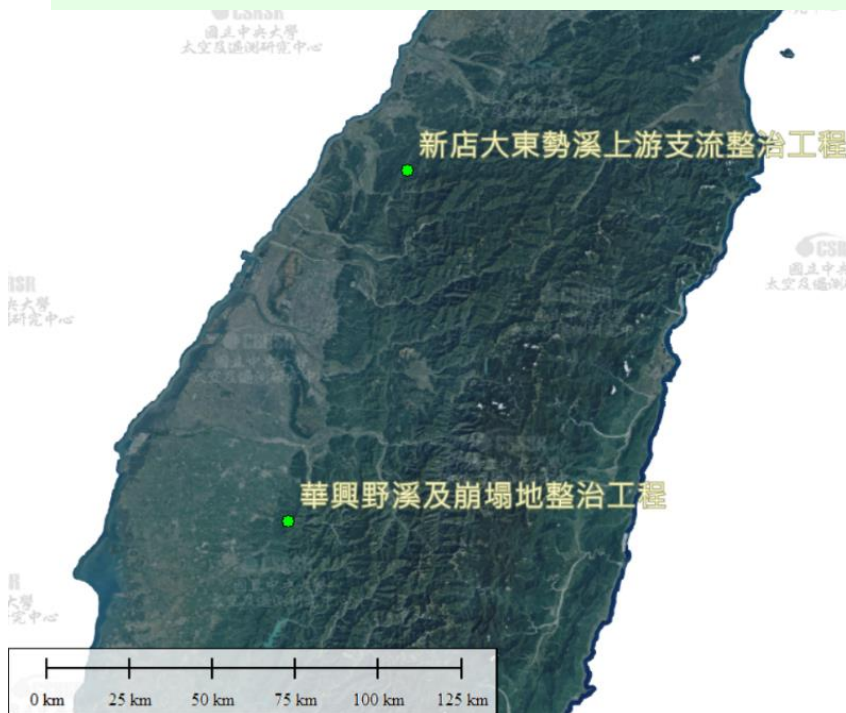
(Step1) 選定拍攝工區

- 以水土保持局臺中或南投分局轄管區域為優先
- 400萬元以上且正執行發包作業
- 工區應無阻礙無人飛行載具空拍之環境限制問題
- 具有多種類型之工程設施，其中以野溪工程且兩岸均實施工程者尤佳

工程拍攝階段

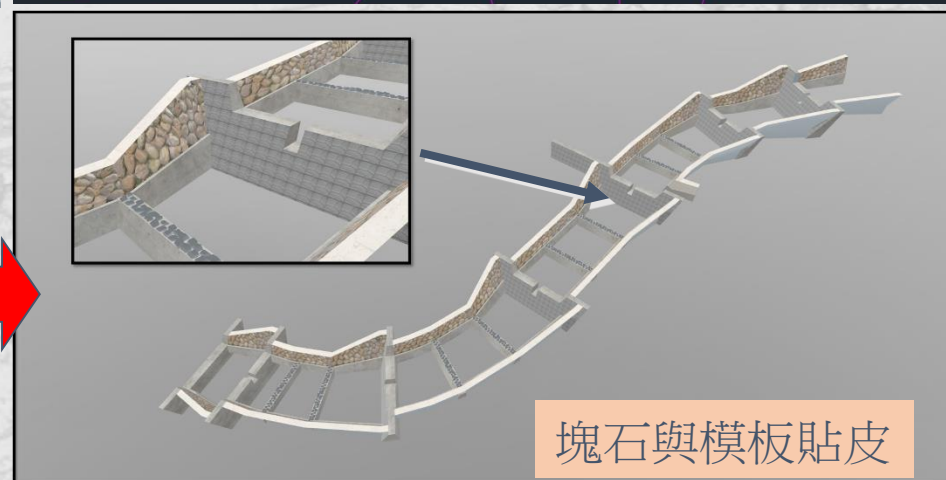
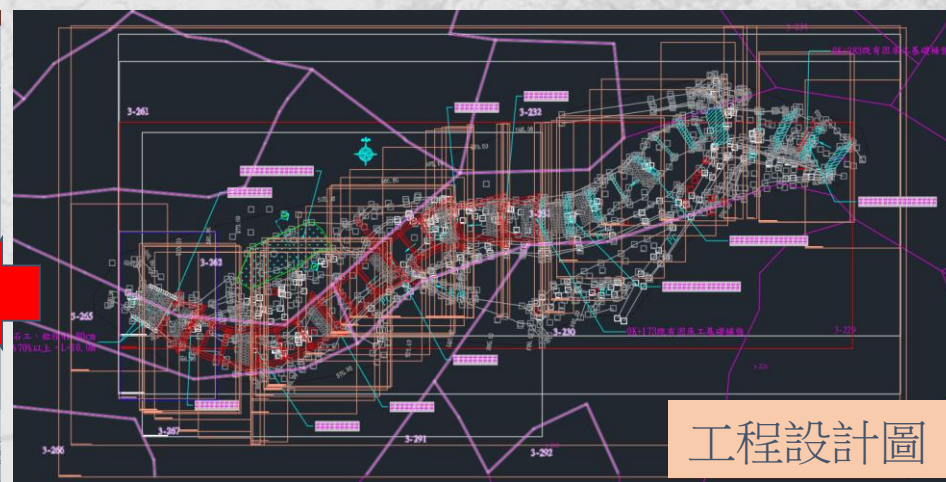
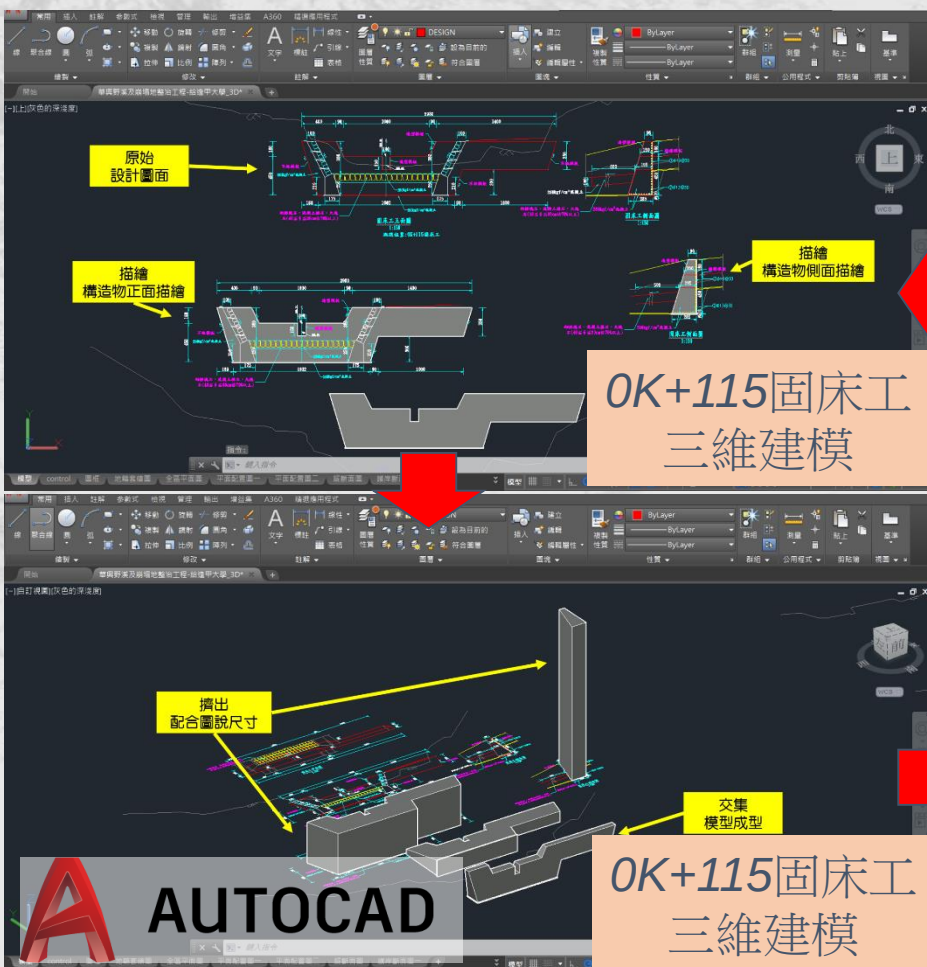
執行機關	年度	工程名稱	預算 (千元)	工程內容	拍攝階段	現狀
水保局 臺中分局	107	新店大東勢溪上游支流整治工程	4,000	護岸高約3.5m長約250m、固床工約8座高約1.5m長約3m	1.施工前	完工
水保局 南投分局	107	華興野溪及崩塌地整治工程	20,500	固床工15座,護岸297公尺,掛網植生約542m ² 、既有固床工基礎補強2處、既有固床工溢洪口修復3處。	1.施工中 2.施工中	施工中

2處治理工程之工程內容包含護岸、固床工、植生、設施改善...等工程，符合本研究選點之需求。



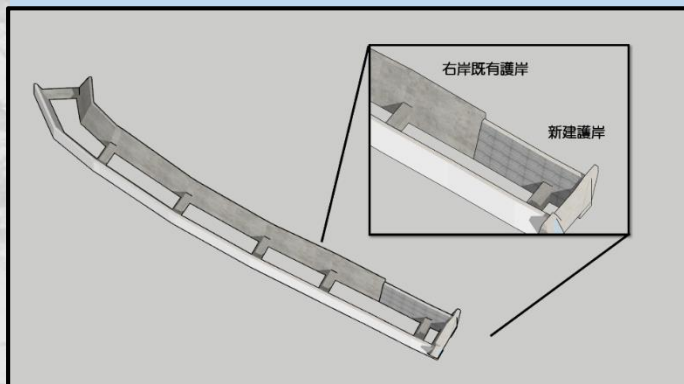
(Step2) 製作工程構造物3D完工模型

■ 依據「華興野溪及崩塌地整治工程」設計圖說，透過 *AUTOCAD 3D* 建置構造物三維模型。

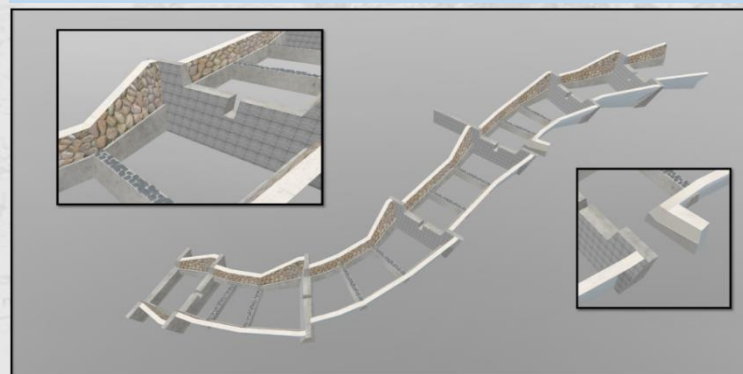


(Step2) 製作工程構造物3D完工模型

「新店大東勢溪上游支流整治工程」



「華興野溪及崩塌地整治工程」



設計單位提供圖說繪製各部件之工程構造物3D完工模型。將繪製工程構造物3D模型結合工區地形3D模型，藉以比對工程施工進度以及施工放樣、實做準確性，達到數位化監造之精神。

(Step3) 空拍基礎資料建置-施工前 UAV預定飛行架構

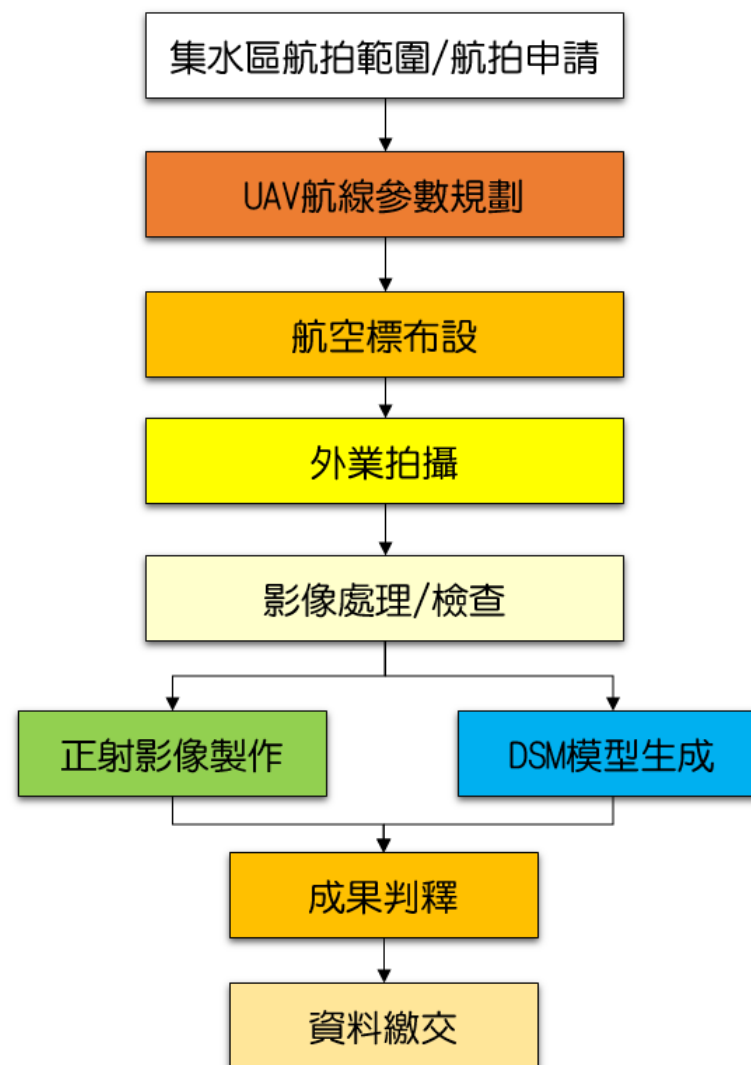
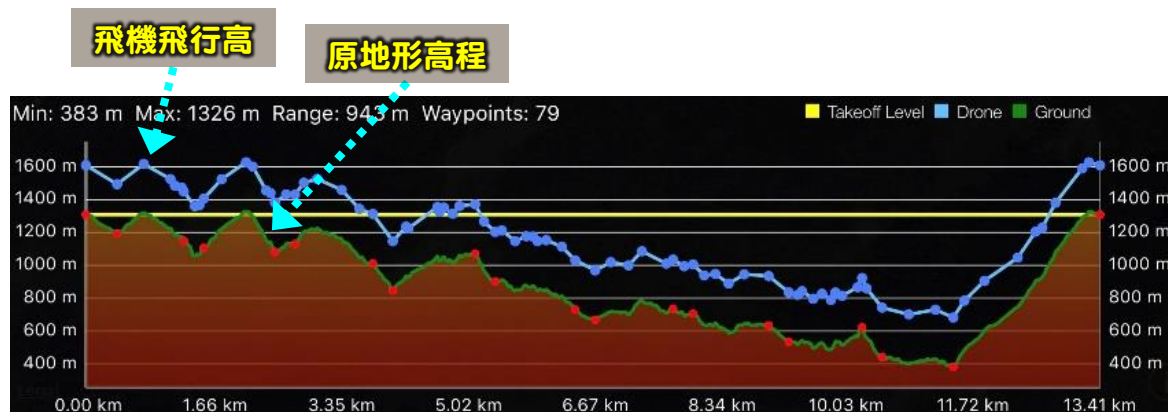
① **局部**手動飛行，特別針對**林下區域**或**重點局部區域**進行細部拍攝。

② **大範圍**飛行航帶，**前後重疊率80%**，**左右重疊率60%**，優規一般地形圖測繪像片。

註：一般地形圖的測繪像片的前後重疊百分比約為60%（航向重疊）、左右重疊百分比為15%~30%（旁向重疊）

② 飛行使用APP導航，**沿地表起伏飛行**，使空間精度一致，飛行高度**100公尺**，GSD值**2~4公分**。

③ 以井字飛行，確保產製模型完整。



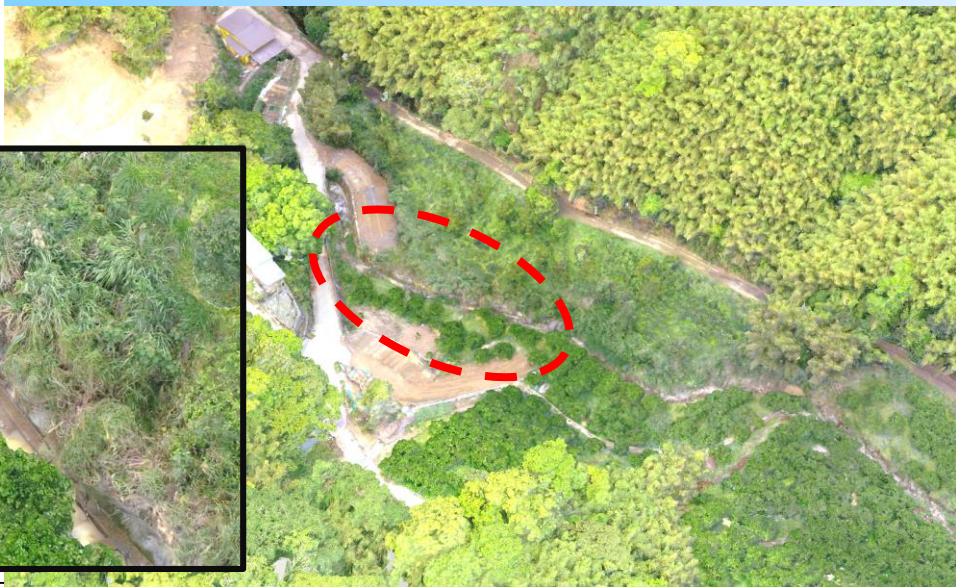
(Step3) 空拍基礎資料建置-施工前 建置工區真實地形模型

進行實景3D建模

- 解析度可達0.96公分
- 拍攝作業時間30分鐘
- 約500張包含傾斜及正拍影像
- 影像後製約24小時(3D立體模型、正射影像以及DSM數值地表模型)
- 成果面積約35公頃

➤ 利用相機內外方位參數，進行地表量測，運用三角測量為基礎，進行不同角度拍攝，計算後獲得真實三維立體模型。

新店大東勢溪上游支流整治工程
2018/4/13模型拍攝成果



華興野溪及崩塌地整治工程
2018/4/25模型拍攝成果



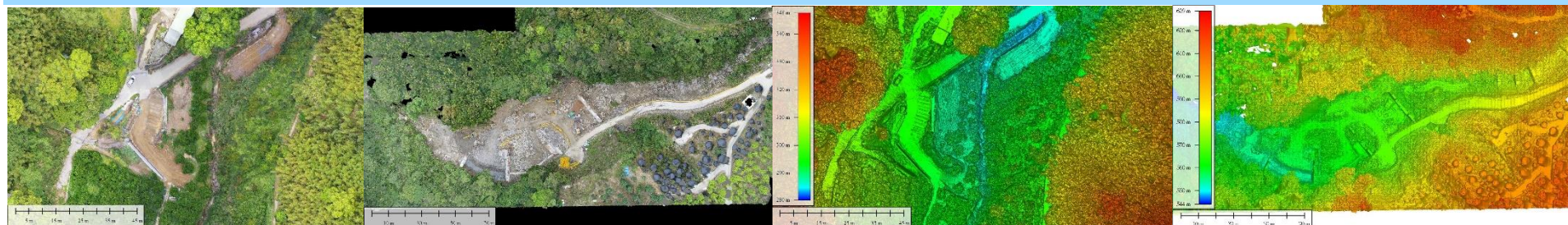
(Step5) 製作多時期正攝影像、數值地表模型DSM及工區真實地形模型

拍攝日期	新店大東勢溪上游支流整治工程	107.4.13、107.5.18、107.5.31 完工107.6.26
	華興野溪及崩塌地整治工程	107.4.25、107.5.4、107.5.18、107.6.12、107.7.20、107.8.31、 107.10.15

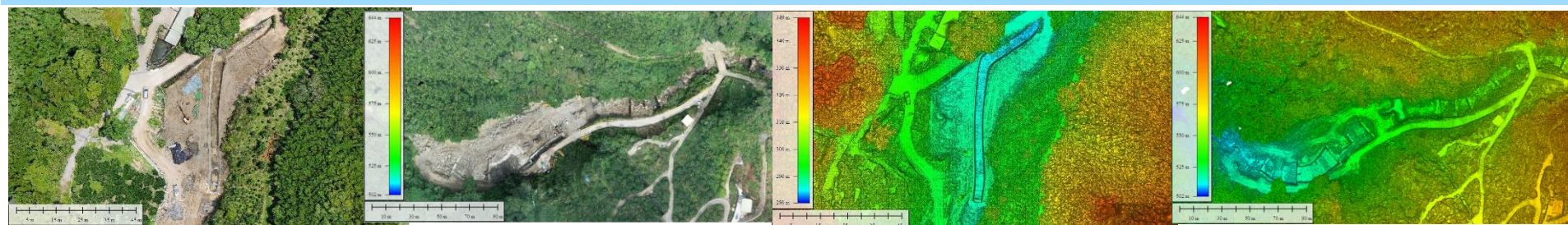
正攝影像

數值地表模型

施工前



施工後



後續資料
分析來源

施工檢討-施工進度追蹤及構造物線型比對

本案拍攝工程「新店大東勢溪上游支流整治工程」107.6.26 為例

測定構造物放樣準確性(如護岸線形及兩岸間距、橫向構造物間距及軸向等)，適時提出校正。



於現地觀測難以判別施工放樣走向，透過UAV空拍套疊方式可於下階段施工進行微調，或拆除重新修正。

施工檢討-施工進度追蹤及構造物線型比對

本案拍攝工程「華興野溪及崩塌地整治工程」107.10.15 為例

測定構造物放樣準確性(如護岸線形及兩岸間距、橫向構造物間距及軸向等)，適時提出校正。



固床工施作完成
向上游偏移1.177公尺
向左岸偏移0.838公尺

圖面編號2護坦塊石排列完成，
尚未澆注混凝土固定。



固床工施作完成
向上游偏移2.965公尺
向左岸偏移0.907公尺

固床工施作完成
向下游偏移1.397公尺

於現地觀測難以判別施工放樣走向，透過UAV空拍套疊方式可於下階段施工進行微調，或拆除重新修正。

施工檢討-構造物幾何尺寸量測

結合正射影像及
CAD交互比對



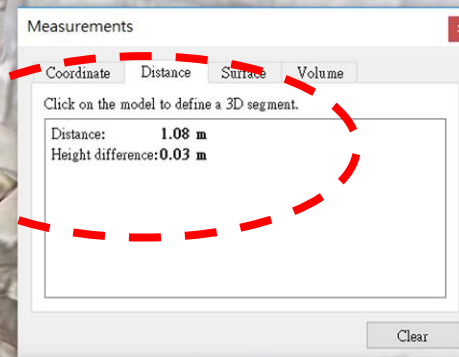
圖說1公尺

以UAV所產製之模型成果，可提供工區**全面之尺寸量測**檢視，避免抽驗人員於危險工區中穿梭移動造成**不必要之風險**。

構造物尺寸及時丈量

模型1.08公尺

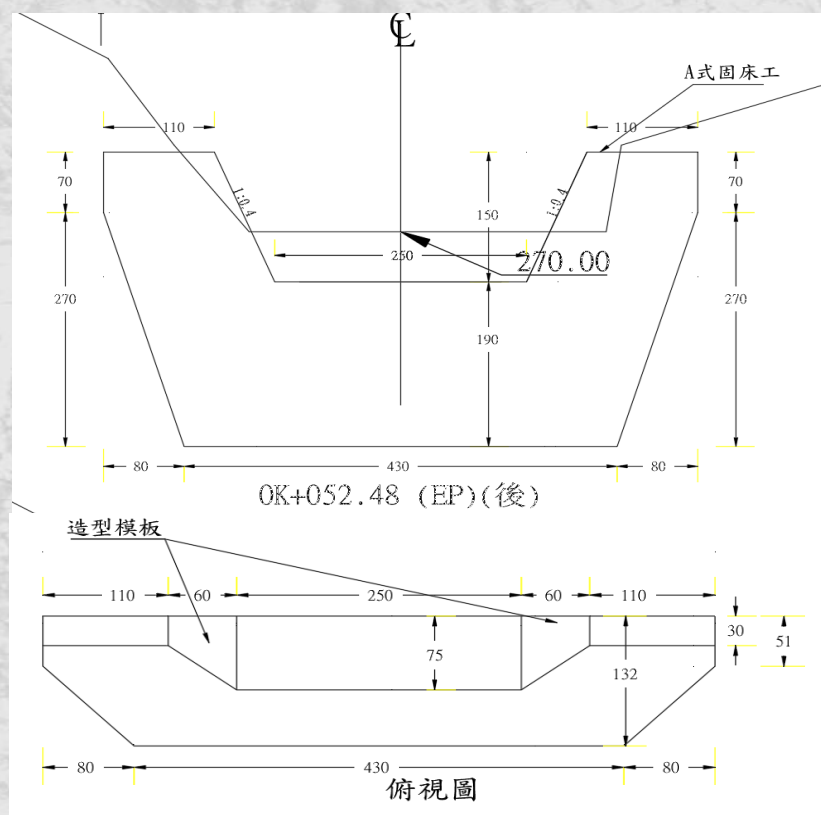
利用建置工區真實現地模型，進行量測已完工構造物之外觀幾何**尺寸**、**坡度**、砌石構造及**粒徑**等，適時提出校正，



(Step6) 施工檢討-構造物幾何尺寸量測

本案拍攝工程「新店大東勢溪上游支流整治工程」107.6.26 A式固床工為例

依據行政院農業委員會水土保持局1000萬以下工程之構造物施工放樣工程抽查紀錄表內容，輔工程品質抽驗補充規定之抽驗要領及容許標準表所述抽驗對象為混凝土構造物尺寸進行各工程抽驗。

現場
比對

A式固床工:設計圖說開口長為250cm，模型量測數據長度為252cm，現場量測數據為251cm。



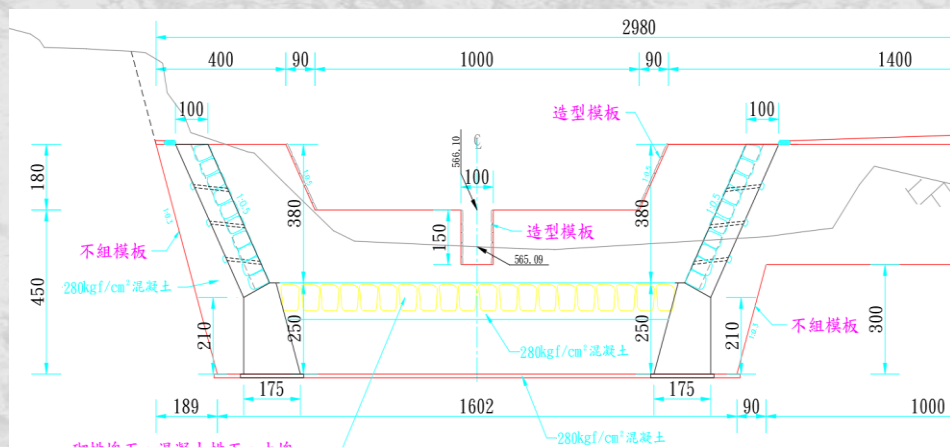
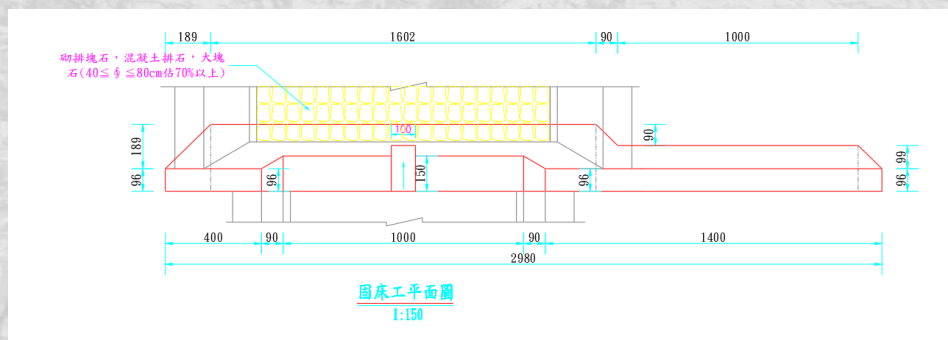
A式固床工:設計圖說厚度為750mm，模型量測數據厚度為756.5mm，現場量測數據為755mm。

混凝土構造物尺寸長度不得大於設計尺寸百分之二。混凝土構造物尺寸寬(厚)度未達1公尺者為1公分；1公尺以上者為百分之一，惟最大不得超過5公分。

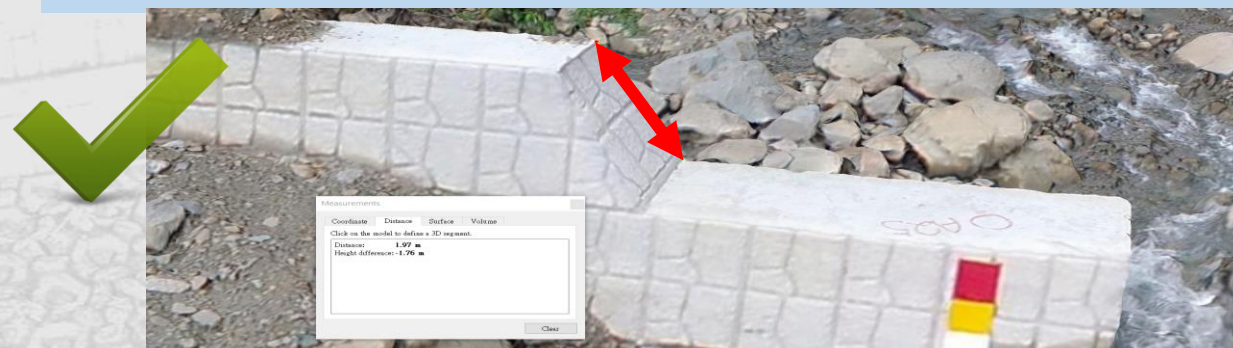
(Step6) 施工檢討-構造物幾何尺寸量測

本案拍攝工程「華興野溪及崩場地整治工程」107.6.12 固床工為例

依據行政院農業委員會水土保持局1000萬以下工程之構造物施工放樣工程抽查紀錄表內容，輔工程品質抽驗補充規定之抽驗要領及容許標準表所述抽驗對象為混凝土構造物尺寸進行各工程抽驗。



設計圖說開口長為150cm，模型量測數據長度為151cm。



設計圖說斜率為2，模型量測數據斜率為2。

混凝土構造物尺寸長度不得大於設計尺寸百分之二。混凝土構造物斜率為百分之二十以內(單面)。

施工檢討-挖填土方計算及分布

- ① 通過兩期工區DSM網格計算地形之起伏變化，以推估挖、填土方數量及分布。
- ② 監測因人為、降雨、地震等因素導致工地附近(含邊坡及野溪)地形發生變化。
- ③ 可為危險區域劃定、工地安全、工程變更等提供必要之參採依據。

属性表: (注: 输入的像元大小为 10)

Rowid	VALUE*	COUNT	VOLUME	AREA
0	1	13	0	1300
1	2	1	-500	100
2	3	2	400	200

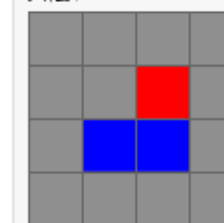
体积字段:

0	0	0	0
0	0	-500	0
0	400	400	0
0	0	0	0

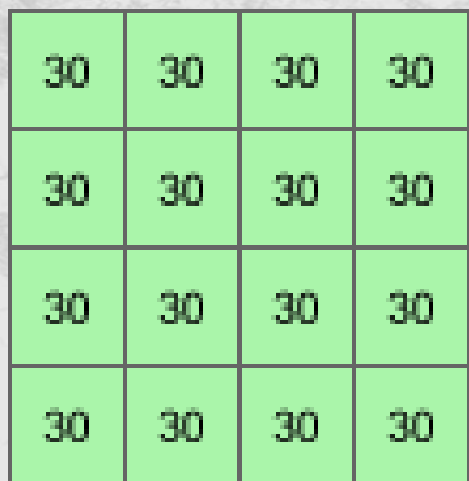
面积字段:

1300	1300	1300	1300
1300	1300	100	1300
1300	200	200	1300
1300	1300	1300	1300

图层:



☒ outas
VOLUME
■ 淨收益
■ 不变
■ 淨损失

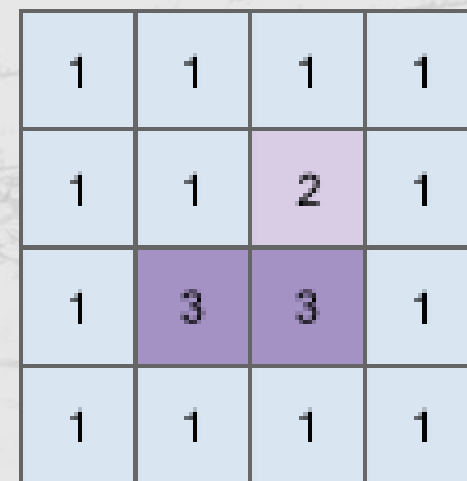


Before_Ras



After_Ras

=



OutRas

施工檢討-挖填土方計算及分布

「新店大東勢溪上游支流整治工程」107.5.18及107.5.31 比對成果為例

截至107.6.26統計資料工區之土方量體變化量為-199.77立方公尺，其量體變化包含期間經歷107年6月12日以及107年6月20台灣中南部及東部地區**致災性豪雨**影響以及施工初期進行**整地**移除地表之植被影響，導致工區土方量體發生遺失。



土方變化量為120.06立方(實際
為100.06立方)

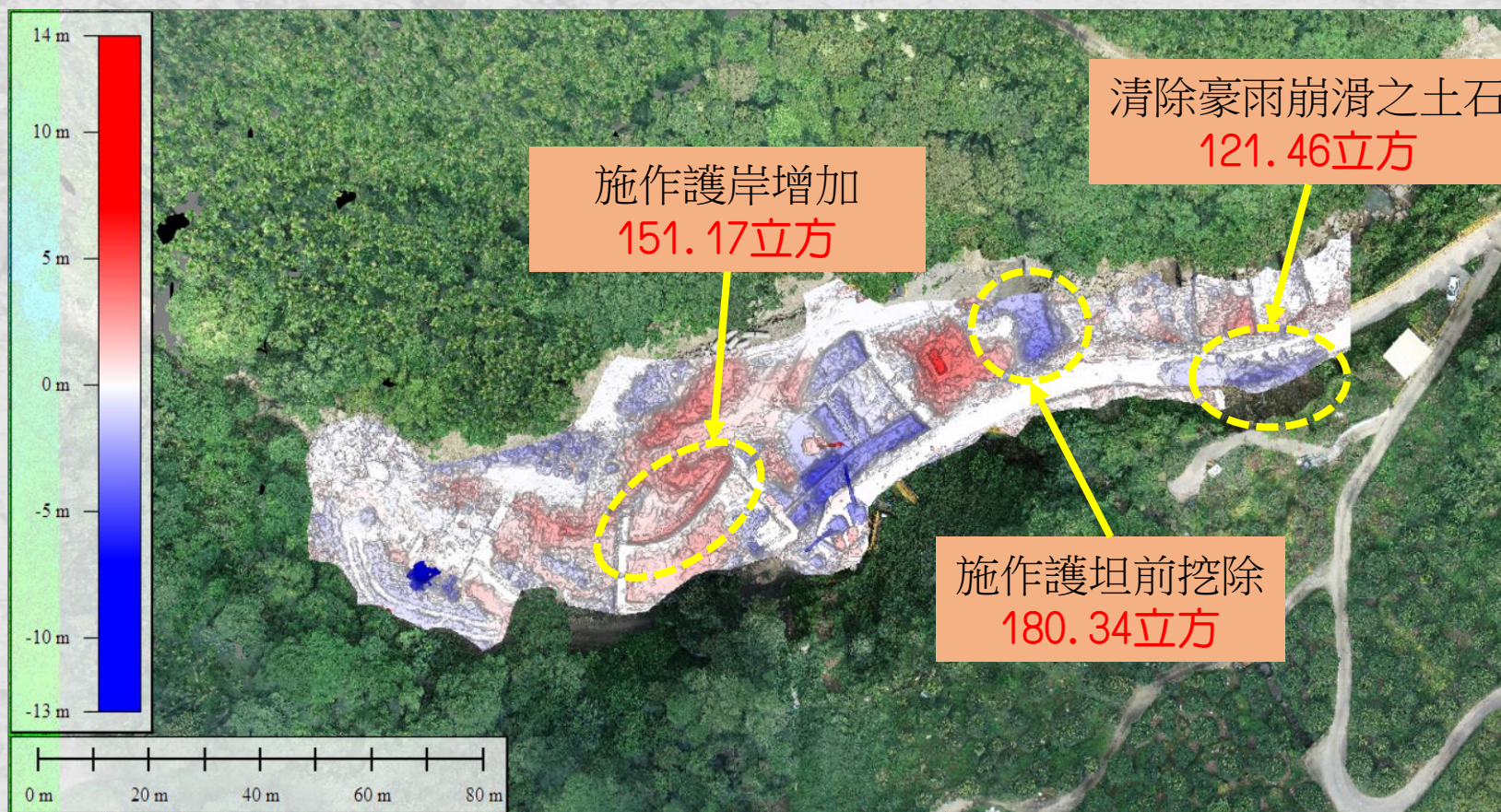
1. 圖面下方(上游側)深藍色為上游延續性工程銜接處，除延續工程開挖之外，也包含本工程施工影響，導致誤差。
2. 圖面下半部新建置護岸左岸紅色區塊為左護岸背填土，土方量為41.04立方。

工區內107.5.31包含一台挖土區，佔約20立方土方量。

施工檢討-挖填土方計算及分布

「華興野溪及崩塌地整治工程」107.8.31及107.10.15 比對成果為例

截至107.10.15統計6個月工區之土方量體變化量為-294.78立方(遺失約14.7台挖土機所佔之體積)，其量體變化也相同期間經歷107年6月12日、107年6月20、107年8月下旬台灣中南部及東部地區致災性豪雨影響，導致工程延宕且工區土方量體發生流失。



土方變化量為10.23立方

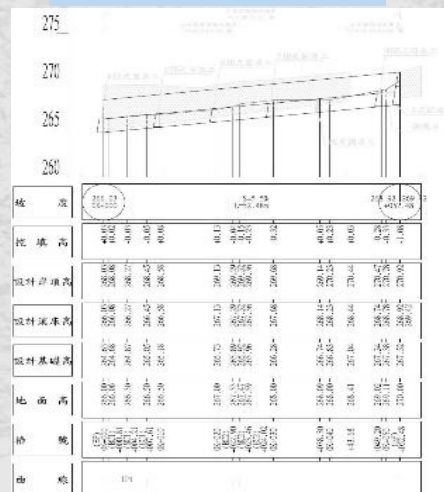
1. 107年8月31日上游左岸崩落之土石已清除(藍色區塊)，量體約121.46立方。
2. 107年8月31日中游左岸崩落之竹林已清除(藍色區塊)，量體約81.65立方。
3. 河道上游藍色區塊為預計施作之護坦區挖除量體(藍色區塊)約180.34立方。
4. 107年8月31日中游護岸原施作基底，現已完成護岸(紅色區塊)，增加約151.17立方。
5. 下游左側藍色區位原為有樹林雜草，現已移除剷平，量體減少約226.10立方。

施工檢討-工程圖說與現地實作點位及高程比對

「新店大東勢溪上游支流整治工程」107.5.18比對成果為例



圖說高程



「新店大東勢溪上游支流整治工程」

以四時期取得地形模型資料與圖說之構造物位置及高程進行施作比對，了解工程施作是否符合圖說設計位置與設計高程，同時藉以判斷施工之進度。

設計岸頂高程270.92m
仍未進行模板及鋼筋工序
(施工中)

設計岸頂高程270.92m
現場高程270.55m
已達設計高程(完工)

設計岸頂高程270.47m
模板高程270.76m
仍需進行灌漿(施工中)

設計岸頂高程270.47m
現場高程270.76m
已達設計高程(完工)

設計溪床高268.74m
現場溪床高266.88m
仍需進行回填(施工中)

設計溪床高268.74m
現場溪床高266.88m
仍需進行回填、固床工
開口也尚未施作
(施工中)

OK+050 B式固床工

OK+052.48 A式固床工

根據實際工程案例之執行成果，可以歸納出以下幾項重要結論，包括：

1. 運用無人飛行載具空拍建置實際現場工程3D立體模型，其精細程度可清楚展現**構造物之細節**，如固定護岸或擋土牆前後模板之鋼條(螺桿)，這些成果足以掌握瞭解工程設計監造之**工程線形**及**尺寸**比對量測。
2. UAV立體監造可以準確地判讀出施工放樣及構造物**線形之誤差**。以新店大東勢溪上游支流整治工程為例，護岸偏移約**0.5m**，而固床工則偏移約**2.0~5.0m**。
3. 構造物尺寸因與其機能相關，嚴重**影響工程性能**。經由UAV空拍時測結果發現，新店大東勢溪上游支流整治工程有兩座B式固床工尺寸與原設計有差異(固床工開口設計長度250mm，空拍實測為235mm；固床工設計厚度750mm，空拍實測為839mm)；而華興野溪及崩塌地整治工程亦有1座固床工開口設計長度100cm，結果空拍實測長度為108cm，較設計值略大。

根據實際工程案例之執行成果，可以歸納出以下幾項重要結論，包括：

4. 工區地形變遷除了與機械挖填土方有關外，亦與降雨事件相關，故經由多期UAV空拍可以即時掌握工區之**地形變遷**，與工區**安全**密切相關。經UAV立體監造結果顯示，兩處工區均有土砂流失問題，惟其量體均小於300立方公尺，主要是因豪雨及施工初期進行**整地**移除地表植被所影響。
5. 倘以各工區工程構造物完成的比例研判工程進度，則通過多期構造物空拍影像比對設計3D模型，即可獲得其各工程進度，相當準確簡便。
6. 以UAV取得地表型模型所繪製之剖面，對比工程圖說之高程資訊，即可逐時瞭解施工過程與完工後之成果是否皆符合**圖說之設計高程**，藉以推估**施工進度**。



Thank You !

