



行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, COA



技術研究發展小組Seminar

「利用UAV進行公共測量手冊（草案）」 文獻導讀

水土保持局 保育治理組 吳瑞鵬

110年11月2日



簡報大綱

- 一、概論
- 二、總則
- 三、利用UAV航照製作數值地形圖
- 四、利用UAV航照製作3D點雲
- 五、水土保持工程立體監造實施計畫



一、概論



■ 前言

- ✓ 日本國內從平成25年 (2013)年開始使用無人機 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle) 實施公共測量，並由國土地理院於平成28年(2016)年3 月制定「利用UAV 進行公共測量手冊 (草案) 」 (以下略稱為本手冊) 。
- ✓ 在制定本手冊之前，若要實施利用 UAV 所進行的公共測量時，是以適用作業規程準則 (平成 28 年 3 月 31 日進行部分修訂。)第 17 條來進行相關作業。
- ✓ 在手冊完成約一年後，國土地理院也收到了許多回饋意見，而在平成29年 (2017)年3月修訂本手冊，以使手冊內容更為明確、提升精度及降低使用條件。
- ✓ 令和2年(2020)3月31日修訂作業規程準則，已將本手冊內容納入。

作業規程準則第17條：
關於設備和工作方法的特殊規定



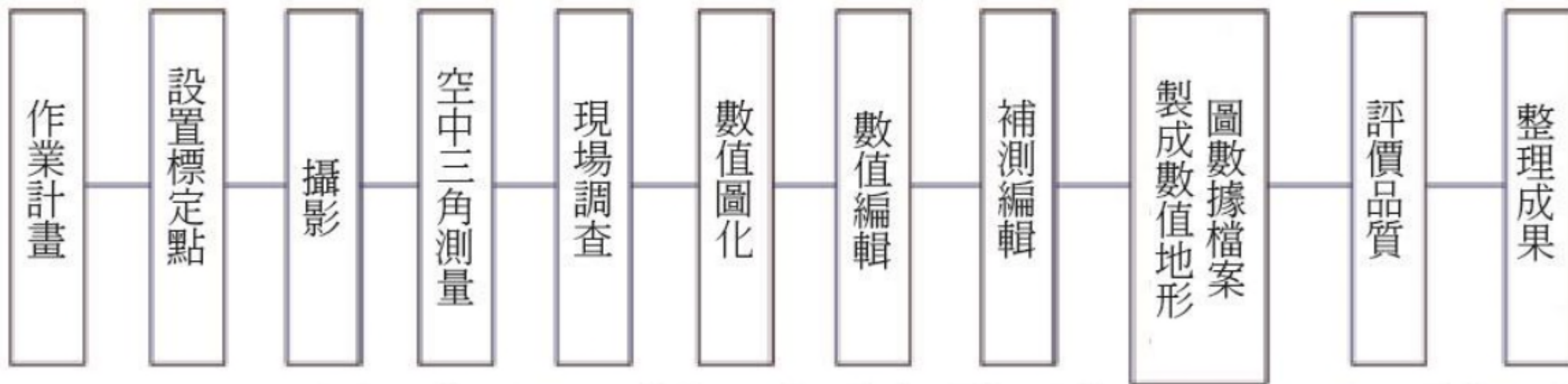
■作業規程準則修改沿革

平成 28 年 3 月 31 日	令和 2 年 3 月 31 日
第三篇 地形測量與攝影測量	第三篇 地形測量與攝影測量
第3章 車載攝影雷射測量	第 3 章 地面雷射測量
	第 5 章 U A V 攝影測量
	第四篇 3次元點雲測量
	第1章 通則
	第2章 地面雷射點雲測量
	第3章 U A V 攝影點雲測量

本手冊容已增修於在令和 2 年(2020) 3 月修訂的作業規程準則中。



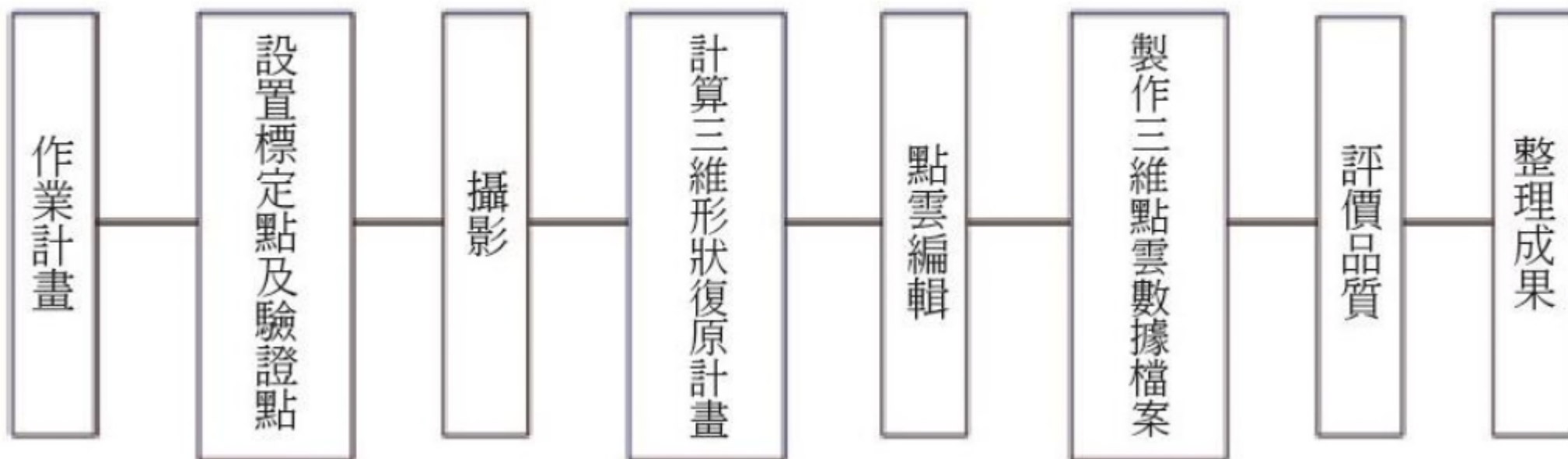
■ 作業流程



UAV 拍攝航空照片製作數值地形的作業區分及順序



■ 作業流程



UAV 拍攝航空照片製作3維點雲的作業區分及順序



二、總則



第1篇 總則

(目的)

第 1 條

本手冊用來制定公共測量中利用 UAV 所拍攝的航空照片製作數值地形圖以及製作三維點雲時的標準作業方法，目的為統一規格、圖求**作業標準化**，並確保作業的**必要精度**。

【解說】

- ✓ 本手冊預設為在利用**不含在作業規程準則**（平成 20 年國土交通省告示第 413 號，最終修訂平成 28 年 3 月 31 日）規範內所進行的特例作業方法進行公共測量時所使用。
- ✓ 以本手冊為根據進行公共測量時，測量**作業機關**需將所使用的照相機等器材展示給具有本手冊中所要求性能之測量**計畫機關**檢視，讓計畫機關判斷其是否能在本手冊所說明的作業方法中使用該器材進行公共測量。
- ✓ 再者，在本手冊所規定的作業方法中雖然制定了標準作法，但只要使用的測量方法能夠在最終成果確保一定程度的精度，作業機關也可在**計畫機關的同意**下使用本手冊所沒有規定的方法進行作業。
- ✓ 但若使用方法與本手冊所規定的作業方法及作業順序有太大差異時，需遵照**作業規程準則第 17 條**，附上驗證結果，並在事前徵求國土地理院的意見。



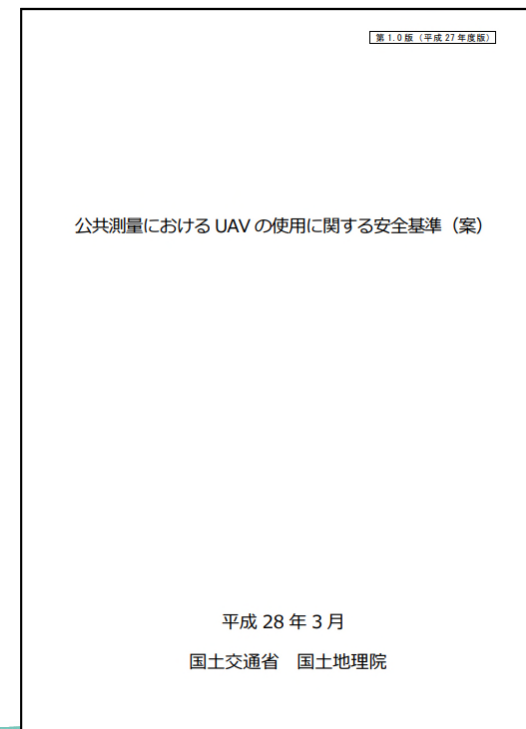
(確保安全)

第 2 條

- 1.在確保安全方面，遵照作業規程準則（平成 20 年國土交通省告示第413 號，最終修訂平成 28 年 3 月 31 日）第 10 條的規定。
- 2.作業機關在操作 UAV 航行時需取得以航空法為基礎的必要許可或授權，並依照國土交通省航空局所制定的指南進行相關作業。

【解說】

- ✓ 為了安全利用 UAV 進行公共測量作業，國土地理院除了本手冊之外也在平成 28 年 3 月公佈了「**在公共測量中使用 UAV 的相關安全基準（草案）**」。作業機關需參考上述內容，在可以確保安全的前提下進行相關作業。





(作業計畫)

第 3 條

作業計畫需遵照準則第 11 條的規定。

(工程管理)

第 4 條

工程管理需遵照準則第 12 條的規定。

(精度管理)

第 5 條

精度管理需遵照準則第 13 條的規定。

< 第 5 條運用基準 >

- ✓ 將以本手冊為基準所得之測量成果的**檢查測量率標準**設為 **5%**。
- ✓ 以第 3 篇為基準製作三維點雲時，除了一般驗證點之外也會追加其它驗證點，將其設定為可藉由相互比較檢查來取代檢查測量作業。

3 作業機関は、作業の終了後速やかに点検測量を行わなければならない。
点検測量率は、次表を標準とする。

測 量 種 別	率
1 ・ 2 級 基 準 点 測 量	10 %
3 ・ 4 級 基 準 点 測 量	5 %
レベル等による水準測量	
1 ～ 4 級水準測量	5 %
簡易水準測量	5 %
GNSS測量機による水準測量	
3 級水準測量	10 %
地形測量及び写真測量	2 %
航空レーザ測量	5 %
三次元点群測量	5 %
線形決定	5 %
中心線測量	5 %
縦断測量	5 %
横断測量	5 %



(檢定測量成果)

第 6 條

測量成果的檢定須遵照準則第 15 條的規定。

(成果及資料格式)

第 7 條

使用 UAV 的公共測量成果及資料等，需以本手冊所規定的標準格式製作。但只要在成果的使用及保存上不會出現問題，也可在計畫機關的許可或指示下利用不同的格式製作。

(運用基準)

第 8 條

在本手冊的運用基準中制定了運用本手冊的相關必要事項。

(適用地區)

第 9 條

在使用 UAV 所進行的公共測量中，將現場空曠地等可辨別對象物的地區作為標準適用地區。

【解說】

- ✓ 由於本手冊中規定的測量方法是透過 UAV 拍攝的航空照片所進行之故，若無法從照片中**辨別測量對象**的話便無法進行相關測量作業。舉例來說，當地表完全被植生所覆蓋，從航空照片中完全無法拍到植生底下的地區時便無法實施相關測量作業。



三、利用UAV航照製作數值地形圖



第1章 概說

(概說要旨)

第 10 條

在本篇中制定利用 UAV 所拍攝的航空照片製作數值地形圖的測量作業方法。

「數值地形圖」為可利用位置與形狀來表示與地形、地物等相關地圖資訊的座標數據，或是可用來表示其內容的屬性資料。可將上述要素轉換為可進行計算處理的狀態來表現。

【解說】

- ✓ 本篇的最終成果為**數值地形圖檔案**。若目的為製作**三維點雲**檔案的話，在第 3 篇中會介紹其作業方法。



(工程種別作業區分及順序)

第 11 條

利用 UAV 所拍攝的航空照片製作數值地形圖的工程種別作業區分及順序以下述作為其標準。

- 一、作業計畫
- 二、設置標定點
- 三、攝影
- 四、空中三角測量
- 五、現場調查
- 六、數值圖化
- 七、數值編輯
- 八、補測編輯
- 九、製作數值地形圖檔案
- 十、品質評價
- 十一、整理成果



(數值地形圖的地圖資訊等級及精度)

第 12 條

所製成的數值地形圖的地圖資訊等級以 250 及 500 作為標準，而其位置精度則以準則第 80 條為根據所製成的下表作為標準。

地圖資訊等級	水平位置的標準偏差	標高點的標準偏差	等高線的標準偏差
250	0.12m 以內	0.25m 以內	0.5m 以內
500	0.25m 以內	0.25m 以內	0.5m 以內

< 第 12 條運用基準 >

- ✓ 製作比地圖資訊等級 1000 還要大的數值地形圖時，在第 11 條第四號為止的工程都是以地圖資訊等級 500 的規定為基準進行，而在同一條第五號以後的工程則是以因應所製作數值地形圖的地圖資訊等級的相關規定為基準。



(數值地形圖的圖式)

第 13 條

- 1、數值地形圖的圖式會因應目的及地圖資訊等級作適當的規定。
- 2、地圖資訊等級 250 的圖式以準則附錄 7 為基準。
- 3、地圖資訊等級 500 的圖式以準則附錄 7 為標準。
- 4、每個地圖等級的地圖項目取得分類基準、數值地形圖檔案的規格、數值地形圖檔案說明書、分類編碼等都可適用於準則附錄 7。



第2章 作業計畫

(作業系統要旨)

第 14 條

作業計畫除了根據第 3 條的規定之外，需依照工程不同分別製作。

第3章 設置標定點

(設置標定點要旨)

第 15 條

設置標定點所指的是設置空中三角測量所需要的水平位置及標高基準點 (以下第 2 篇中稱為「標定點」) 的作業。

在**標定點**設置**對空標誌**。

(對空標誌的規格及設置等)

第 16 條

對空標誌需選用可在放大的航空照中確認的形狀、尺寸，以及顏色。

< 第 16 條運用基準 >

✓ 下圖為標準的**對空標誌圖樣**。



★型



X型



+型



○型

- ✓ 對空標誌的邊長或是原型的直徑標準為在所拍攝的航空照片中需有 **15 像素**以上的大小。
- ✓ 對空標誌的顏色以黑白作為標準色，也可應狀況使用黃色及黑色。
- ✓ 設置對空標誌時需注意以下規定事項。
 - (1) 事先取得土地擁有者或是管理者的許可。
 - (2) 確保可 UAV 可清楚拍攝的空中視野。
 - (3) 選擇狀態良好的地點作為設置點。
- ✓ 所設置的對空標誌在攝影作業結束後應馬上回收並恢復原狀。
- ✓ 若在航空照片上可針對與週邊地物色差較為明顯的構造物時，也可利用該構造物來代替標定點及對空標誌。



(配置標定點)

第 17 條

配置標定點時需考慮到作業範圍的形狀、拍攝路線的設定，作業範圍以及周邊的土地覆蓋情況。

< 第 17 條運用基準 >

✓ 單一拍攝路線

(1) 標定點的標準配置方式為在路線兩端的立體模型的上下各設置一點，而在兩端的立體模型以外，同時在路線內平均配置標定點。

(2) 水平位置 (NH) 以及標高 (NV) 的標準標定點數量需滿足下式。

$NH = NV = [n/2] + 2$ 上式中，n 為立體模型數；〔 〕中的計算結果如有小數點時無條件進位

【解說】

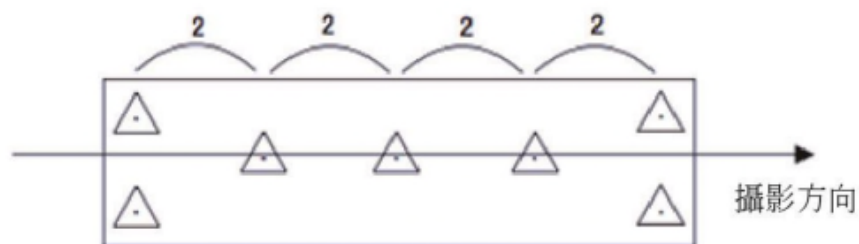


圖2_1 配置標定點 (單路線的範例)

標定點 (△) 7點、航空照片11張、10個立體模型的範例



(標定點的精度)

第 18 條

標定點的精度標準會根據所製作的數值地形圖的地圖資訊等級不同而有所差異，如下表所示。

地圖資訊等級 \ 精度	水平位置 (標準偏差)	標高 (標準偏差)
250	0.1m 以內	0.1m 以內
500	0.1m 以內	0.1m 以內



(標定點的觀測方法)

第 19 條

標定點的位置及高度可利用下述方法求得。

- 一、水平位置以準則第 2 篇第 2 章的**基準點測量**為基準進行觀測，又或者是以第 3 篇第 2 章第 4 節第 1 項的 TS 點的設置為基準進行觀測。
- 二、標高以準則第 2 篇第 3 章所規定的**簡易水準測量**為基準進行觀測，又或者是以第 3 篇第 2 章第 4 節第 1 項的設置 TS 點為基準進行觀測。

作 業 規 程 の 準 則 目 次

第 1 編 總則 (第 1 條—第 17 條)

第 2 編 基準點測量

第 1 章 通則

第 1 節 要旨 (第 18 條・第 19 條)

第 2 節 製品仕様書の記載事項 (第 20 條)

第 2 章 基準點測量

第 1 節 要旨 (第 21 條—第 24 條)

第 2 節 作業計画 (第 25 條)

第 3 節 選点 (第 26 條—第 30 條)

第 4 節 測量標の設置 (第 31 條—第 33 條)

第 5 節 觀測 (第 34 條—第 39 條)

第 6 節 計算 (第 40 條—第 43 條)

第 7 節 品質評価 (第 44 條)

第 8 節 成果等の整理 (第 45 條・第 46 條)

第 3 章 レベル等による水準測量

第 1 節 要旨 (第 47 條—第 51 條)

第 2 節 作業計画 (第 52 條)

第 3 節 選点 (第 53 條—第 57 條)

第 4 節 測量標の設置 (第 58 條—第 60 條)

第 5 節 觀測 (第 61 條—第 66 條)

第 6 節 計算 (第 67 條—第 70 條)

第 7 節 品質評価 (第 71 條)

第 8 節 成果等の整理 (第 72 條・第 73 條)

(成果等)

第 20 條

設定標定點的成果如下示各點所述。

- 一、標定點成果表
- 二、標定點配置圖
- 三、標定點測量簿及明細簿
- 四、精度管理表
- 五、其他資料

様式第 1-5

標定点設置精度管理表

地 区 名		作 業 量		作業機関名		主任技術者		点 検 者	
点 名	測量方式	平 均 法	座標較差（最大）		高低の誤差又は 較差（最大）	内角の閉合差 方向角の較差 （最大）			
			X	Y					
			mm	mm	mm				
使 用 機 械					備				
					考				

用紙の大きさはA4判とする

注1. 測量方式は、結合多角、単路線等を記入する。
2. 平均法は、厳密水平(高低)網、簡易水平(高低)網又は三次元網平均等を記載する。



第4章 攝影

(攝影要旨)

第 21 條

攝影作業指的是利用 UAV 拍攝空中三角測量用的航空照片之作業。

(攝影計畫)

第 22 條

攝影計畫指的是在每個攝影地域中考慮到製作的數值地形圖的地圖資訊等級、地上畫素尺寸、使用機器、地形形狀、土地覆蓋、氣象條件等因素後進行立案，再整合成攝影計畫圖。



< 第 22 條運用基準 >

- ✓ 所拍攝的航空照片的地上畫素尺寸的標準會根據所製作的數值地形圖的地圖資訊等級不同而有所差異，如下表所示。

地圖資訊等級	地上畫素尺寸
250	0.02m 以內
500	0.03m 以內

- ✓ 將**地面高度**設為 **$\left[\left(\text{地上畫素尺寸} \right) \div \left(\text{所使用電子相機 1 個畫素的尺寸} \right) \times \left(\text{焦距} \right) \right]$** 以下，再將地形、土地覆蓋、所使用的數位相機等因素考慮進去後再決定。
- ✓ 在同一路線內，將相鄰航空照片的重複度的標準設為 **60%**；將相鄰路線的航空照片的重複度的標準設為 **30%**。
- ✓ 處理路線的位置以及相鄰航空照片的重複度時需考慮到下述事項。
 - (1) 不能產生實體空白部
 - (2) 盡量不要有隱蔽的部分
 - (3) 較難選定連結點的土地不能有覆蓋物
- ✓ 在路線的起點及終點的地域以外設定 1 個以上的立體模型。



(所使用的 UAV 性能)

第 23 條

攝影所使用的 UAV 需具備下述各項標準性能及功能。

- 一、具備自動飛行功能以及異常時可自動返航的功能。
- 二、飛行能力需要能承受進行拍攝的飛行區域的地表風。
- 三、可補正攝影時機體的震動及搖動，穩定數位相機的方向。

(所使用的數位相機性能)

第 24 條

1、攝影所使用的數位相機本體需具備下述各項標準性能及功能。

- 一、可手動設定焦距、曝光時間、光圈、ISO 值。
- 二、可解除調整鏡頭焦距、補正鏡頭晃動等自動處理功能。
- 三、可確認焦距及曝光時間等資訊。
- 四、可確保足夠的紀錄容量。
- 五、可確認感光元件尺寸及拍攝像素等資訊。

2、攝影所使用的標準數位相機鏡頭為單焦點鏡頭。

< 第 24 條運用基準 >

- ✓ 所拍攝的標準圖像需為非壓縮格式。

第 25 條

- 1、拍攝所使用的數位相機必須要能夠自動進行相機校正。
- 2、獨立相機校正的標準方式為利用三維目標物進行校正。
- 3、攝影所使用的數位相機需可維持已進行過自動校正的狀態。
- 4、在獨立相機校正中所製成的誤差模型必須可以配合所使用的軟體

相機校正實施紀錄表



(檢查機器與確認攝影計畫)

第 26 條

操作 UAV 進行飛行時需先確認攝影計畫與實際情況的適合度後再操作，因此必須檢查機器以及確認攝影計畫。

< 第 26 條運用基準 >

✓ 檢查機器時依照下述事項進行檢查。

- (1) UAV 的外觀
- (2) UAV 的螺絲旋緊狀態
- (3) 電池狀態
- (4) 傳送機的狀態
- (5) 數位相機的安裝狀態
- (6) 數位相機的設定

✓ 確認攝影計畫時依照下述事項進行檢查。

- (1) 曝光時間、ISO 值等攝影條件
- (2) 以攝影範圍的地形及地物等狀況為依據重新評估攝影路線及地面高度



(攝影飛行)

第 27 條

利用 UAV 進行攝影飛行時需遵照下述事項。

- 一、必須維持計畫地面高度以及計畫攝影路線。計畫地面高度與實際飛行的地面高度的偏差需在 10% 以內。
- 二、除了著陸及離陸以外，UAV 需進行自動飛行。
- 三、若發現機體有異常狀況時需馬上停止攝影飛行。
- 四、確認到有其他 UAV 接近時需馬上停止攝影飛行。

(檢查攝影結果)

第 28 條

- 1、攝影結束後需在現場檢查攝影結果。
- 2、檢查攝影結果需依照下述事項進行，並整理於精度管理表中。
 - 一、攝影範圍
 - 二、航空照片的畫質
 - 三、鄰接航空照片間的重複度
 - 四、鄰接航空照片間的地面畫素尺寸差異
 - 五、隱蔽區域的範圍
 - 六、確認是否有正確拍到所有的標定點



(重新攝影)

第 29 條

- 1、若有實體空白部或是在現場調查中無法補齊的隱蔽部、無法拍到適當的照片，或是在比計畫地面高度高出 10% 的高度進行拍攝的情況時，會在上述位置重新拍攝。
- 2、重新攝影的流程如下述。
 - 一、選擇不會產生隱蔽部的攝影路線，或將重新攝影的攝影方向設定為在拍攝隱蔽部時最容易拍攝到標的物的方向。
 - 二、在攝影範圍的部分於該位置的前後加上一個以上的立體模型。

(成果等)

第 30 條

攝影成果如下述。

- 一、攝影計畫圖
- 二、誤差模型等，以及獨立相機校正中所得到的整套結果
- 三、所拍攝的航空照片
- 四、攝影紀錄
- 五、攝影標定圖
- 六、各 UAV 攝影路線的精度管理表
- 七、其他資料



第5章 空中三角測量

(空中三角測量要旨)

第 31 條

空中三角測量所指的是使用所拍攝的航空照片、標定點、連接點、照片座標、相機校正數據等要素，決定航空照片的外部標定要素以及連接點的水平位置與標高之作業。

(選擇連接點 (Pass Point 與 Tie Point))

第 32 條

1、Pass Point 指的是在同一路線中連續航空照片間的連結點，而 TiePoint 指的是相鄰路線的航空照片間的連結點，兩者需分別進行選定。

2、連接點的選擇標準為在理論上航空照片間的連結最為牢固的配置中，選擇最能清楚認出的位置作為連接點。

< 第 32 條運用基準 >

✓ **Pass Point** 的配置標準如下。

- (1) 在主點附近及主點基線的直角兩個方向設置 3 個以上位置。
- (2) 在主點基線的直角方向於上下端附近用等距的方式進行配置。

✓ **Tie Point** 的配置標準如下。

- (1) 在每 1 個模型用等距且交互的方式進行配置。
- (2) 可兼作 Pass Point 使用。



(觀測標定點與連接點)

第 33 條

可用立體映像觀測標定點及連接點的照片座標。

(調整計算)

第 34 條

利用相機校正數據、標定點，與連接點的照片座標，藉由光束法平差進行調整計算，進而求出各航空照片的外部標定要素與連接點的水平位置及標高。

< 第 34 條運用基準 >

✓ 標定點的水平位置以及標高的殘差部分，兩者的標準偏差以及最大值都設定為下表的數值以內。

地圖資訊等級	標準偏差	最大值
250	0.06m	0.12m
500	0.12m	0.24m

✓ Pass Point 與 Tie Point 的交會殘差設定為標準偏差在 1.5 畫素以內，最大值則在 3.0 畫素以內。

✓ 不進行大氣折射與地球曲率的影響糾正。



(成果等)

第 35 條

空中三角測量的成果如下所示。

- 一、外部標定要素成果表
- 二、連接點成果表
- 三、空中三角測量作業計畫、實施一覽圖
- 四、照片座標測定報告
- 五、調整計算報告
- 六、空中三角測量精度管理表
- 七、其他資料



第6章 現場調查

(要旨)

第 36 條

- 1、現場調查指的是到現場針對航空照片較難判讀的各種表現事項、名稱，以及被其他地物所隱蔽的位置進行調查的作業。
- 2、進行現場調查時需以著手進行調查前的攝影計畫以及各種既有資料為基礎 進行預察作業。

(實施現場調查)

第 37 條

現場調查須以預測結果為基礎，活用航空照片以及各種資料，實施下述作業事項。

- 一、確認預測結果
- 二、航空照片上判讀困難的位置地圖項目
- 三、航空照片上無法判讀的地圖項目
- 四、標定點

< 第 37 條運用基準 >

- ✓ 進行現場調查時需留意以下事項。
 - (1) 對比較低的地物間邊界
 - (2) 所接觸的建物區域
 - (3) 航空照片上不清楚的植生以及植生邊界
 - (4) 凹地、懸崖、岩石等在顯示上容易誤判的地形



(整理)

第 38 條

調查結果須整理成進行數值圖化及數值編輯作業時容易參考的形式。

(成果)

第 39 條

現場調查的成果如下所示。

- 一、整理現場調查結果的航空照片
- 二、其他資料



第7章 數值圖化

(數值圖化)

第 40 條

進行數值圖化時以準則第 3 篇第 4 章第 8 節的規定為基準。

第8章 數值編輯

(數值編輯)

第 41 條

進行數值編輯時以準則第 3 篇第 4 章第 9 節的規定為基準。

第9章 補測編輯

(補測編輯)

第 42 條

進行補測編輯時以準則第 3 篇第 4 章第 10 節的規定為基準。

第 6 章 空中写真測量

第 1 節 要旨 (第 2 5 0 条—第 2 5 2 条)

第 2 節 作業計画 (第 2 5 3 条)

第 3 節 標定点の設置 (第 2 5 4 条—第 2 5 7 条)

第 4 節 対空標識の設置 (第 2 5 8 条—第 2 6 3 条)

第 5 節 撮影

第 1 款 要旨 (第 2 6 4 条)

第 2 款 機材 (第 2 6 5 条—第 2 6 7 条)

第 3 款 撮影 (第 2 6 8 条—第 2 7 5 条)

第 4 款 G N S S / I M U データ処理 (第 2 7 6 条—2 7 8 条)

第 5 款 フィルムの処理 (第 2 7 9 条—2 8 7 条)

第 6 款 数値写真の統合処理 (第 2 8 8 条・第 2 8 9 条)

第 7 款 数値写真の整理 (第 2 9 0 条—第 2 9 2 条)

第 8 款 品質評価 (第 2 9 3 条)

第 9 款 成果等の整理 (第 2 9 4 条・第 2 9 5 条)

第 6 節 同時調整 (第 2 9 6 条—第 3 0 4 条)

第 7 節 現地調査 (第 3 0 5 条—第 3 1 0 条)

第 8 節 数値図化 (第 3 1 1 条—第 3 2 3 条)

第 9 節 数値編集 (第 3 2 4 条—第 3 2 9 条)

第 1 0 節 補測編集 (第 3 3 0 条—第 3 3 4 条)

第 1 1 節 数値地形図データファイルの作成 (第 3 3 5 条)

第 1 2 節 品質評価 (第 3 3 6 条)

第 1 3 節 成果等の整理 (第 3 3 7 条・第 3 3 8 条)



第10章 製作數值地形圖檔案

(製作數值地形圖檔案)

第 43 條

製作數值地形圖檔案時以準則第 3 篇第 4 章第 11 節的規定為基準。

第11章 評價品質

(評價品質)

第 44 條

評價品質時以準則第 3 篇第 4 章第 12 節的規定為基準。

第12章 整理成果

(製作主數據)

第 45 條

製作數值地形圖檔案的主數據時，需製成依照製品規格書進行檔案管理及利用時所需用到的事項。

(成果等)

第 46 條

利用 UAV 所拍攝的航空照片製作數值地形圖的成果除了前面各章所規定的成果之外，還有下述成果。

- 一、數值地形圖檔案
- 二、其他資料



四、利用UAV航照製作3D點雲



第1章 概論

(概論要旨)

第 47 條

- 1、本篇中規定了利用 UAV 所拍攝的航空照片製作三維點雲的測量作業方法。
- 2、「三維點雲」指將航空照片的顏色資訊視為屬性，再將與地形相關資訊的水平位置與標高一併轉變為可進行計算處理的狀態後所得到之物。

(工程種別作業區分及順序)

第 48 條

利用 UAV 所拍攝的航空照片製作三維點雲的工程種別作業區分及順序的標準如下所示。

- 一、作業計畫
- 二、設置標定點及驗證點
- 三、攝影
- 四、三維形狀復原計算
- 五、編輯點雲
- 六、製作三維點雲數據檔案
- 七、評價品質
- 八、整理成果

(三維點雲的精度)

第 49 條

製成的三維點雲位置精度標準會設為 0.05m 以內、0.10m 以內，又或者是 0.20m 以內。另外此處的位置精度所指的是在作業範圍內所觀測到的驗證點位置座標與相當此地點的三維點雲所顯示的位置座標 X、Y、Z 的差值容許範圍。

【解說】

- ✓ 所製成的三維點雲位置精度會因應其目的進行設定，在每個位置精度都要 各別進行其必要的作業。
- ✓ 使用航空照片測量（無人機）進行工程驗收要領（土工篇）：
 - 位置精度 **0.05m** 以內的三維點雲用在**工程驗收**中
 - 位置精度 **0.10m** 以內的三維點雲用在**開工測量**或是岩線測量中
 - 位置精度 **0.20m** 以內的三維點雲用在**分期生產量測量**中。

空中写真測量（無人航空機）を用いた
出来形管理の監督・検査要領
（土工編）
（案）

令和3年3月

国土交通省



第2章 作業計畫

(作業計畫要旨)

第 50 條

作業計畫以第 14 條的規定為準則。

第3章 設置標定點及驗證點

(設置標定點及驗證點要旨)

第 51 條

- 1、設置標定點及驗證點所指的是設置三維形狀復原計算中在水平位置及標高位置所需要用到的基準點 (以下在第 3 篇中稱為「標定點」。)，以及設置進行三維點雲驗證的點 (以下稱為「驗證點」) 之作業。
- 2、在標定點及驗證點會設置對空標誌。

(對空標誌的規格及設置)

第 52 條

對空標誌以第 16 條的規定為準則。



(配置標定點及驗證點)

第 53 條

1、標定點在測量對象範圍的形狀及比高有明顯變化的位置時，需考慮到攝影路線的設定、地表面的狀態等因素，依照下述規定事項進行配置。

- 一、標定點由將測量對象範圍圍起來的配置點（以下稱為「外側標定點」。）以及在測量對象範圍內的配置點（以下稱為「內側標定點」。）所構成。
- 二、外側標定點以配置在測量對象範圍的外側作為標準。
- 三、內側標定點以平均配置在測量對象範圍的內側作為標準。
- 四、標定點的配置間隔會因應所製成的三維點雲位置精度，以下表所示作為標準。再者，會設置 3 點以上的外側標定點，以及 1 點以上的內側標定點。
- 五、在測量對象範圍內標高最高與標高最低的地點設置標定點。此外，也可將這些標定點視為外側標定點或是內側標定點的一部分。

位置精度	相鄰外側標定點間的距離	任意的內側標定點與圍著該點的各標點間的距離
0.05m 以內	100m 以內	200m 以內
0.10m 以內	100m 以內	400m 以內
0.20m 以內	200m 以內	600m 以內

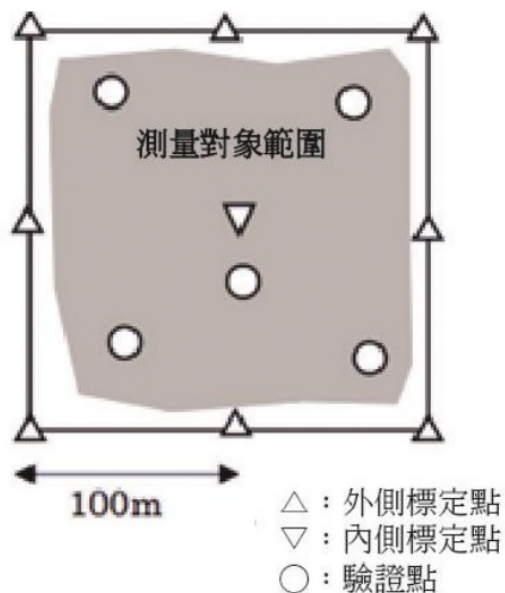
(配置標定點及驗證點)

第 53 條

2、驗證點與標定點不同，依照下述規定事項進行配置。

- 一、驗證點需在盡可能遠離標定點的場所，在測量對象範圍內平均配置。
- 二、所設置的驗證點數量需為所設置標定點總數的一半以上（小數點的部分用無條件進位處理）。
- 三、驗證點需設置在平坦的場所或是傾斜度相同的場所。

【解說】



外側標定點

- 以包圍測量對象範圍的方式設置
- 相鄰的外側標定點距離為100m以內

內側標定點

- 內側標定點最少需要1點
- 內側標定點與包圍該點的標定點距離需在200m以內

驗證點

- 標定點的總數一半以上（小數點無條件進位）
- 在測量對象範圍內平均設置

標準的標定點設置概念圖



(標定點及驗證點的觀測方法)

第 54 條

標定點及驗證點的位置與高度為透過準則第 3 篇第 2 章第 4 節第 1 項的設置 TS 點為基準進行觀測來求出。只是當所製成的三維點雲位置精度在 0.05m 以內時，則是以準則 92 條所示之以 TS 等工具設置 TS 點為基準來進行。

< 第 54 條運用基準 >

- ✓ 標定點與驗證點的觀測結果需整理於精度管理表中。
- ✓ 使用 TS 等工具時以準則第 445 條第 3 項為基準進行運用，並以下表為其標準。

區分		水平角觀測	垂直角觀測	距離測量
方法		兩測回 (0°, 90°)	一測回	測量兩次
差值的容 許範圍	倍角差	60"	60"	5mm
	觀測差	40"		

- ✓ 透過運動法、RTK 法，又或者是網路型 RTK 法設置 TS 點時需依照準則第 93 條以及第 94 條進行。無論利用何種方法，都會進行 2 組觀測作業。將第 1 組的觀測值設為採用值，第 2 組的觀測值設為檢查值。兩組間的差別 容許範圍在 X 及 Y 值為 20mm，在 Z 值為 30mm。



(成果等)

第 55 條

設置標定點及驗證點的成果等如下所示。

- 一、標定點及驗證點成果表
- 二、標定點及驗證點配置圖
- 三、標定點及驗證點測量報告及明細報告
- 四、精度管理表
- 五、其他資料



第4章 攝影

(攝影要旨)

第 56 條

此處的攝影指利用 UAV 拍攝三維形狀復原用的航空照片之作業。

(攝影計畫)

第 57 條

攝影計畫會依照每個攝影地域，考慮到所製成的三維點雲位置精度、地上畫素尺寸、地面高度、使用機器、地形形狀、土地覆蓋、氣象條件等因素後再行立案，整理成攝影計畫圖。

< 第 57 條運用基準 >

- ✓ 所拍攝的航空照片的地上畫素尺寸的標準會根據所製成的三維點雲位置精度不同而有所差異，如下表所示。

位置精度	地上畫素尺寸
0.05m 以內	0.01m 以內
0.10m 以內	0.02m 以內
0.20m 以內	0.03m 以內

- ✓ 將地面高度設為 **$\left[\frac{\text{（地上畫素尺寸）}}{\text{（所使用電子相機的 1 畫素的尺寸）}} \times \text{（焦距）} \right]$** 以下，再將地形、土地覆蓋、所使用的數位相機等因素考慮進去後再決定。
- ✓ 拍攝後若可確認實際的照片重複度時，需設立可確保在同一路線內的相鄰航空照片的重複度為 **80%** 以上，相鄰路線的航空照片重複度在 **60%** 以上的攝影計畫。若拍攝後較難確認照片重複度時，則需設立可確保在同一路線內的相鄰航空照片的重複度為 **90%** 以上，相鄰路線的航空照片重複度在 **60%** 以上的攝影計畫。



(所使用的 UAV 性能)

第 58 條

攝影時所使用的 UAV 性能以第 23 條的規定為準則。

(所使用的數位相機性能)

第 59 條

攝影時所使用的數位相機性能以第 24 條的規定為準則。

(檢查機器與確認攝影計畫)

第 60 條

檢查機器與確認攝影計畫以第 26 條的規定為準則。

(攝影飛行)

第 61 條

利用 UAV 進行攝影飛行時以第 27 條的規定為準則。



(檢查攝影結果)

第 62 條

- 1、攝影結束後在現場檢查攝影結果。
- 2、檢查攝影結果時依照下述事項進行，並整理於精度管理表中。
 - 一、攝影範圍
 - 二、航空照片的畫質
 - 三、相鄰航空照片間的重複度
 - 四、隱蔽部的範圍
 - 五、確認是否有確實拍攝到所有標定點及驗證點

(追加攝影)

第 63 條

- 攝影結果的檢查結果若為下述所示時，需在該位置進行追加攝影。
- 一、若有實體空白部或是現場調查無法補充的隱蔽部時
 - 二、無法取得適當畫質的航空照片時
 - 三、無法取得適當重複度的航空照片時

- 一、攝影計畫圖
- 二、所拍攝的航空照片
- 三、攝影紀錄
- 四、攝影標定圖
- 五、各 UAV 攝影路線的精度管理表
- 六、其他資料

※若攝影計畫是以OL率90%以上且SL率為60%以上的條件所制定的話可省略OL率跟SL率的檢查作業



第5章 三維形狀復原計算

(三維形狀復原計算要旨)

第 65 條

- 1、三維形狀復原計算所指的是利用所拍攝的航空照片以及標定點求出航空照片的外部標定要素以及航空照片所拍攝地點 (以下略稱「特徵點」。) 的位置座標，接著復原地形及地物的三維形狀並製成原始數據的作業。
- 2、在三維形狀復原計算作業中包含擷取特徵點、觀測標定點、算出外部標定要素、產生三維點雲等連續性的處理作業。

(檢查三維形狀復原計算結果)

第 66 條

三維形狀復原計算的結果會利用三維形狀復原計算軟體的功能進行檢查。

【解說】

透過三維形狀復原計算軟體所輸出，可利用於檢查作業的資訊如下所示。

- (1) 有無沒有計算到的航空照片
- (2) 計算中所使用航空照片的重複張數
- (3) 特徵點的分佈
- (4) 照片座標的交會殘差
- (5) 標定點的殘差



(檢查標定點的殘差以及驗證點的差值)

第 67 條

- 1、檢查三維形狀復原計算中所得到的標定點殘差在 X、Y、Z 值上是否 都有在所製成三維點雲的位置精度範圍內。
- 2、檢查事前求出的驗證點位置座標與在三維形狀復原計算中所得到的驗證點位置座標間的差值，X、Y、Z 值上是否都有在所製成三維點雲的位置精度範圍內。
- 3、為順利進行檢查作業，可因應需求製作正射圖像。
- 4、檢查結果若沒能達到要求精度時，必須要去除不良照片且修正特徵點，接 著重新進行三維形狀復原計算後，再次實施檢查作業。若還是沒有辦法達 到要求精度的話就需要進行追加攝影作業。

< 第 67 條運用基準 >

- ✓ 若無法用三維形狀復原計算軟體直接求出驗證點的位置座標時，可利用下述方法求出驗證點的位置座標。
 - (1) 在第 3 項所製成的正射圖像上確認驗證點的位置，求出平面位置的座標。
 - (2) 利用所製成的三維點雲數據，擷取出在平面座標上距離各驗證點 15cm 以內的點雲，再利用反距離權重法求出高度。



(成果等)

第 68 條

三維形狀復原計算的成果如下所示。

- 一、原始數據
- 二、三維形狀復原計算軟體所輸出的資訊
- 三、三維形狀復原精度管理表 四其他資料。



第6章 編輯點雲

(編輯點雲要旨)

第 69 條

編輯點雲所指的是從原始數據中因應需求除去異常點，或是進行點雲的內插等編輯作業後製成地面數據，在特定構造中進行構造化的作業。

(編輯點雲)

第 70 條

- 1、從多個方向顯示原始數據，除去在顯示地形的特徵點或是成果中不需 要的特徵點等異常點的作業。
- 2、若原始數據沒有達到要求的密度時，需因應必要利用 TS 等工具進行現場 補測，並對點雲進行內插處理。
- 3、若異常點或是原始數據沒能達到要求密度的場所分佈在廣泛範圍時，則必 須要重新評估航空照片及三維形狀復原計算結果，並因應需求進行航空照 片的追加攝影或是重新進行三維形狀復原計算。

【解說】

✓在三維點雲的編輯點雲中會進行誤抽出的修正以及缺測部的補測。

誤抽出：將不同場所誤判為同一個場所，並將其轉換為三維點雲。

缺測部：指三維點雲無法抽出一塊會影響到精度的範圍區域。

低密度	標準密度	高密度
每 $100m^2$ ($10m \times 10m$) 1 點以上	每 $0.25m^2$ ($0.5m \times 0.5m$) 1 點以上	每 $0.01m^2$ ($0.1m \times 0.1m$) 1 點以上

✓在坡面上端與下端等地形形狀有劇烈變化的位置，會將標準點 密度設為高密度。另外若測定點因為植生的關係無法正確捕捉到地表資訊，較 難取得標準的點密度時也可將其改設為低密度。



(構造化)

第 71 條

- 1、構造化所指的是因應必要將決定地面數據的構造轉變為構造化數據的作業。
- 2、在構造化作業中可因應需求追加斷裂線。

【解說】

藉由轉換地面數據，可製成曲面模型（如 TIN 數據）或是用固定格子間隔 表示地形形狀的 DEM 數據。再者，也可將所拍攝的航空照片貼到曲面模型上，製成照片地圖（三維正射圖像）。在土木施工中經常會使用到曲面模型，而由於 使用的數據會因利用目的不同有所差異，必須要因應需求將地面數據轉換為這些構造化數據。

第7章 製作三維點雲數據檔案

(製作三維點雲數據檔案要旨)

第 72 條

製作三維點雲數據檔案所指的是利用地面數據或是其所轉換的構造化數據製成三維點雲數據檔案，並將其紀錄至電磁紀錄媒體上的作業。

【解說】

三維形狀復原計算軟體可輸出許多種不同格式的檔案，但一般來說會將三 維點雲輸出為 LAS 格式、CSV 格式，或是 TXT 格式；將曲面模型輸出為 LandXML 格式或是 TIN 格式。



第8章 評價品質

(評價品質)

第 73 條

評價品質時以準則第 3 篇第 4 章第 12 節的規定為基準。

第9章 整理成果

(製作主數據)

第 74 條

製作三維點雲數據檔案的主數據時，需依照製品規格書製成管理及利用檔案時所需注意的事項。

(成果等)

第 75 條

利用 UAV 所拍攝的航空照片製作三維點雲的成果除了前述各章中所規定的成果之外，還包括下述成果。

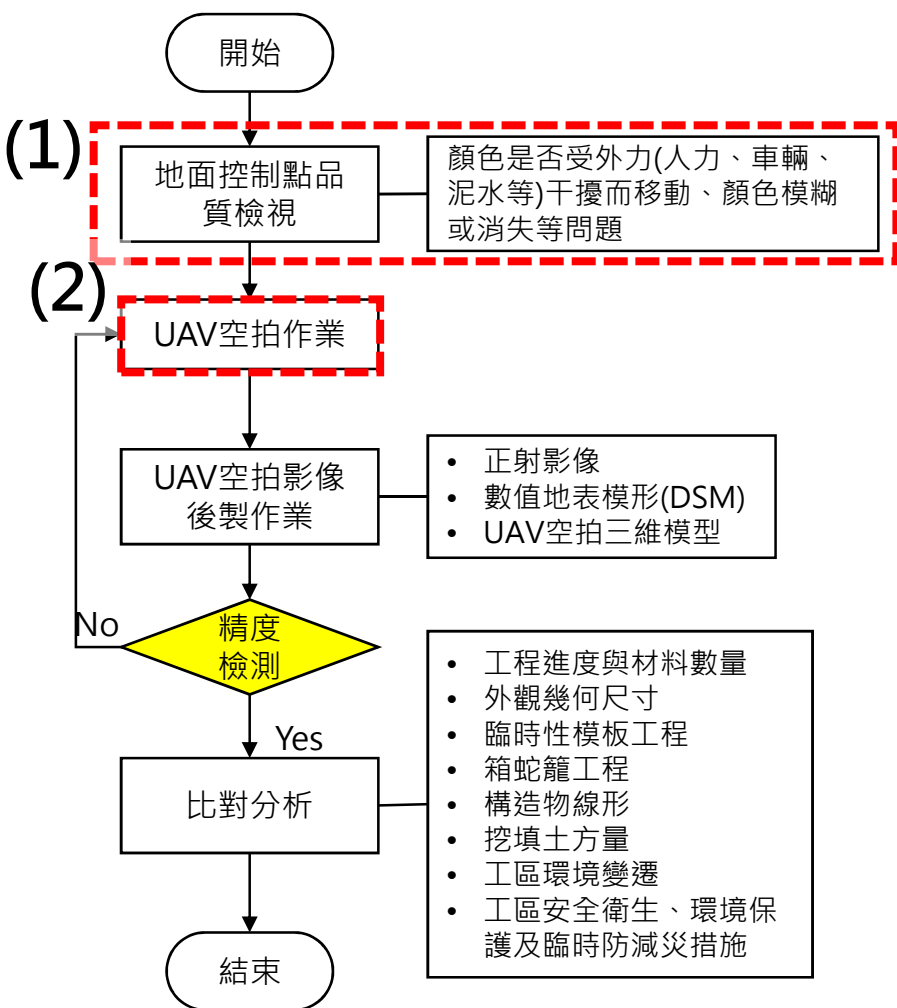
- 一、三維點雲數據檔案
- 二、其他資料



五、水土保持工程立體監造實施計畫

訂定立體監造無人飛行載具作業標準

施工中多旋翼無人飛行載具作業標準



(1)



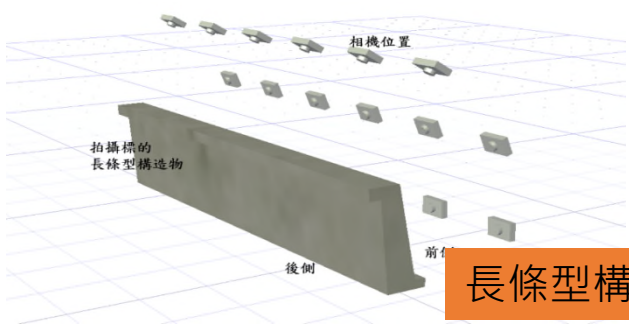
檢視地面控制點是否存在，並保持空標乾淨整潔高反差。

(2)

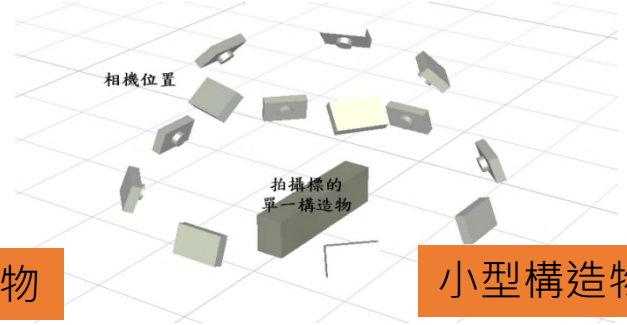
A.UAV空拍作業 – 大面積拍攝航線規劃
比照施工前拍攝規範進行兩航高拍攝作業。



B.UAV空拍作業 – 構造物細部拍攝 手動拍攝
依據鏡頭解項能力推算所需飛行高度。
以P4P為例：應以航高30m↓低空飛行，以符合構造物容許誤差標準之最大解析度1cm規範。

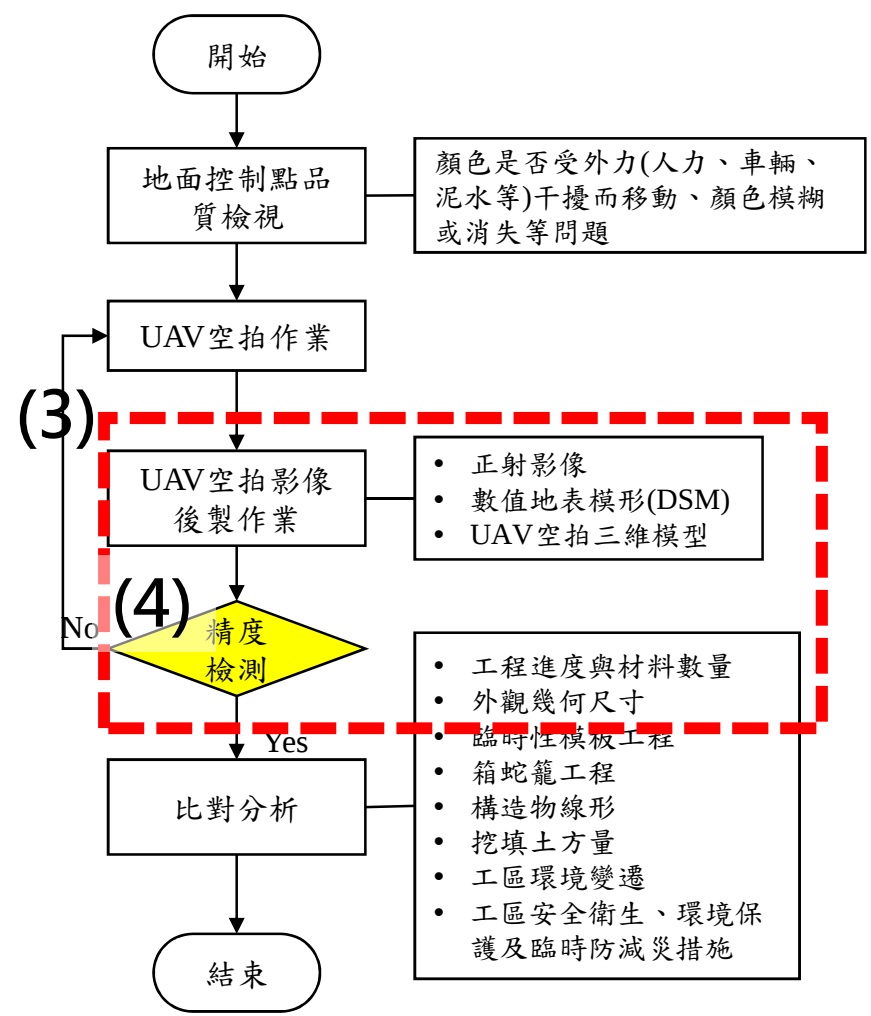


長條型構造物



小型構造物

訂定立體監造無人飛行載具作業標準



(3) UAV空拍影像後製作業

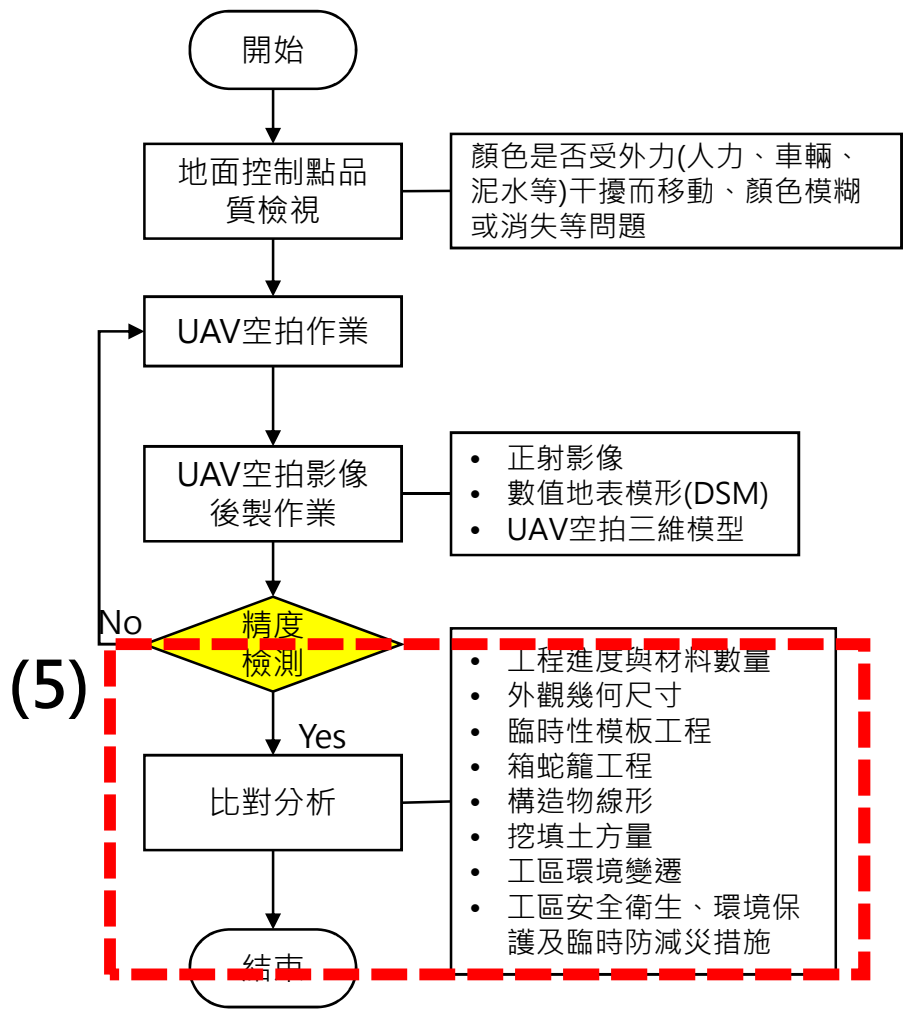
參考施工前建置模式。

(4) 精度檢測

參考施工前建置模式：

依據本計畫制訂精度規範，RMS水平誤差超過**4cm**、垂直誤差超過**8cm**，應進行重新拍攝。

訂立立體監造無人飛行載具作業標準



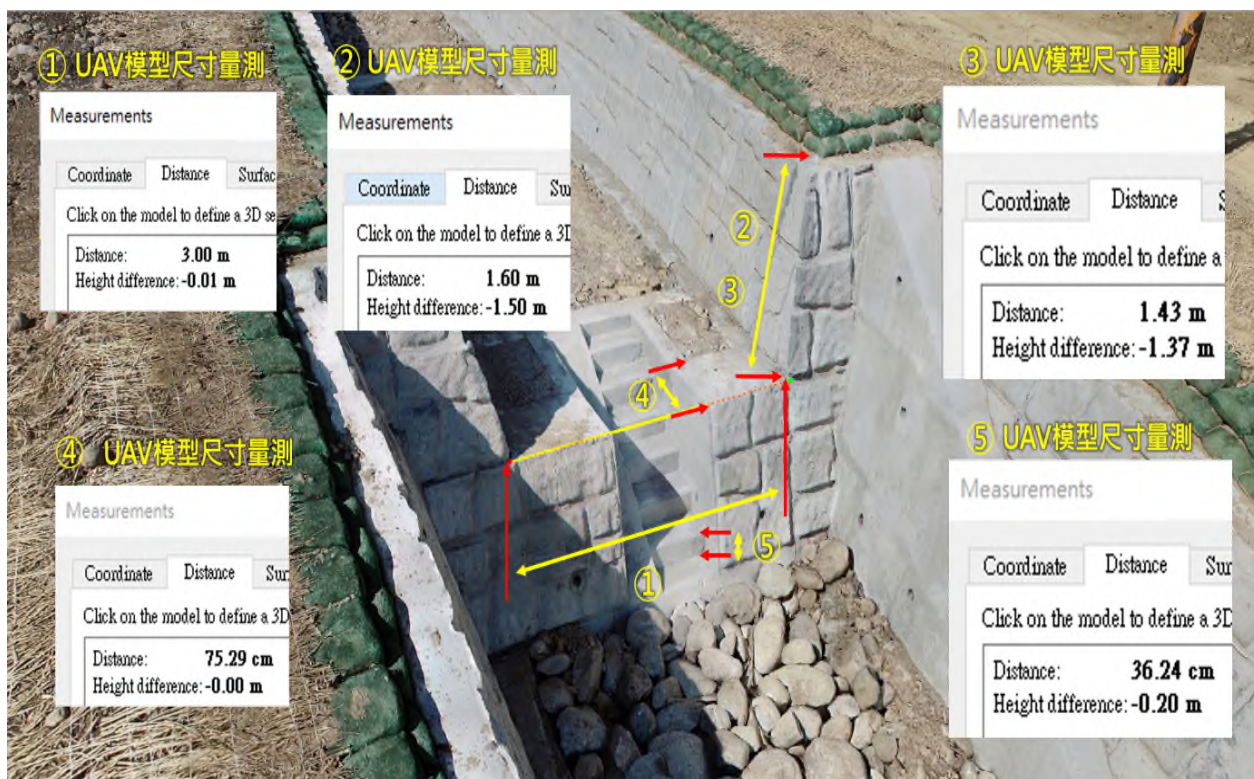
(5) 比對分析

1. 土方量體變異：GIS軟體進行兩時期高程差異分析。
2. 構造物線形:套疊正射影像與設計圖說，測定構造物放樣。
3. 外觀幾何尺寸及型態測量：GIS軟體進行平面之尺寸抽查，另使用Bentley Contextcapture 模型瀏覽軟體進行尺寸、量體抽查。
4. 工程進度及數量：配合**構造物三維模型**與**UAV三維模型**比對，以**施工數量計算表**研判工程進度。
5. 工區環境及其他設施比對：以**正攝影像**、**正射影像**、**DSM**等圖資比對，分析工區因施工所改變之地形地物分布狀況。

施工過程比對分析

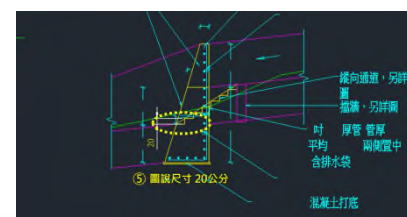
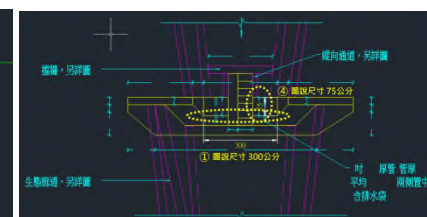
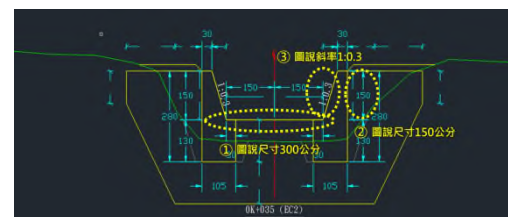
■ 施工過程中各類工程隨機抽查之外觀尺寸拍攝比對

新雞隆段2362地號旁野溪整治工程



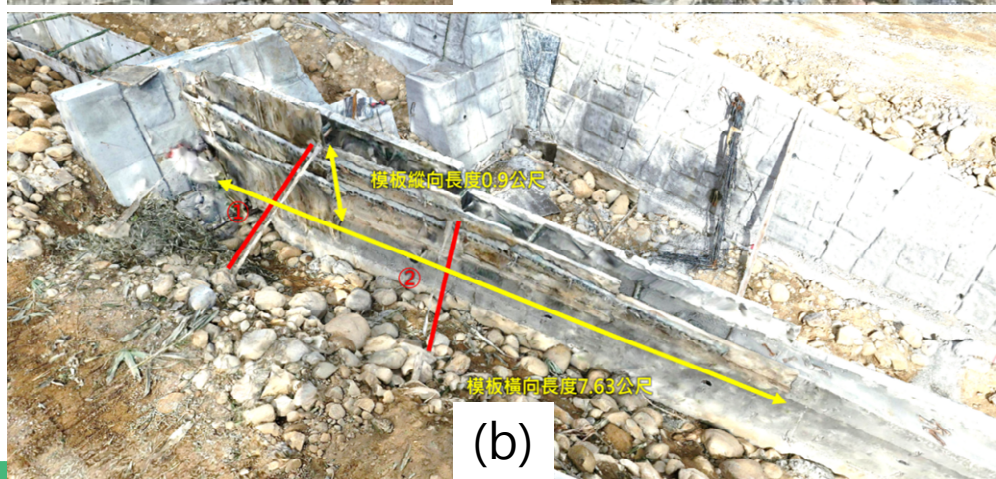
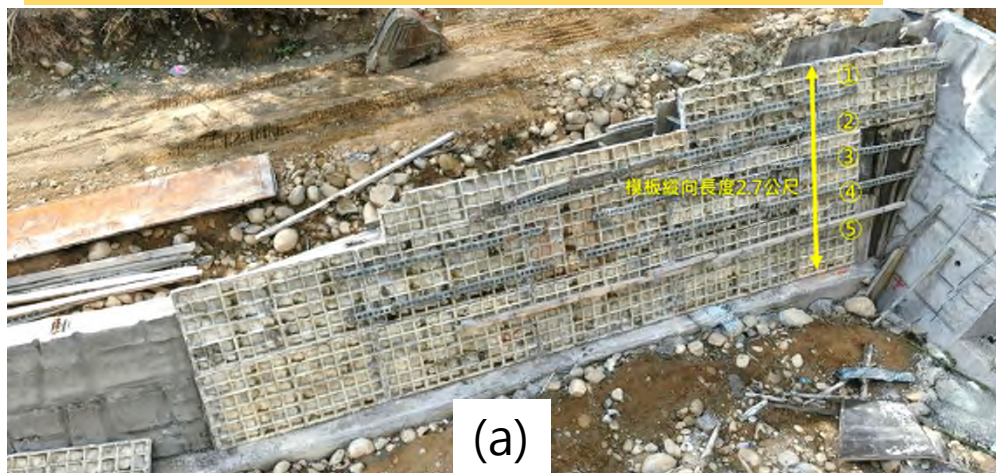
■ 構造物外觀尺寸檢核

新雞隆段2362地號旁野溪整治工程



■ 臨時性模板工程隨機抽查驗支撐穩固狀態

新雞隆段2362地號旁野溪整治工程

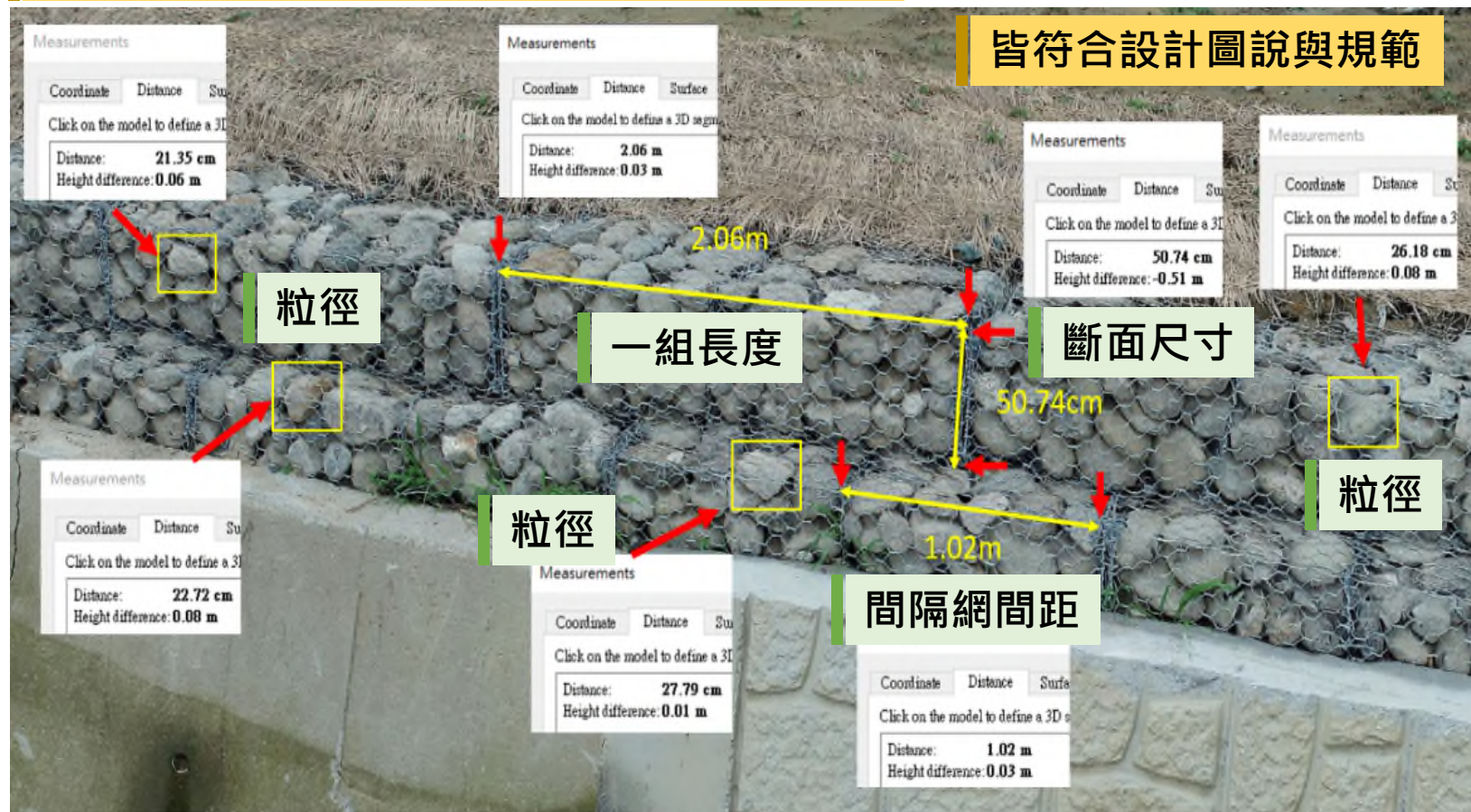


- 圖(a)模板高度為2.7 m，點算橫向固定木條與U型鋼數量為5支，縱向單位支撐數量為1.8支/m。
- 圖(b)模板高度為0.9 m使用分層澆注，點算橫向固定U型鋼數量為2支，縱向單位支撐數量為2.2支/m。
- 圖(a)並無使用斜撐可能為分層澆注與背斜關係因此沒有使用斜撐。
- 圖(b)模板橫向長度為7.63 m，使用2支木條作斜撐，單位斜撐數量為0.26支/m。



■ 箱蛇籠工程隨機抽查驗之間隔網間距、斷面尺寸及內填卵礫石粒徑

2020/5/25 茄苳崁橋下游野溪整治二期工程



- 可清楚辨識箱蛇籠間格網間距及斷面尺寸。
- 內填卵塊石粒徑無法有效辨識。

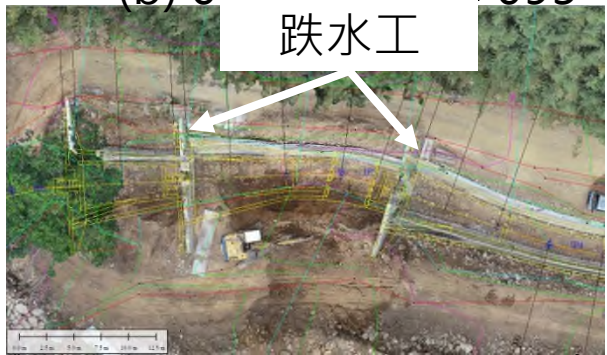
■ 構造物線形比對及校正



(a) 0K+000~0K+045



(b) 0K+045~0K+095



(c) 0K+095~0K+133.86



新雞隆段2362地號旁野溪整治工程

- 比對線形**確保按圖施工**，新設工程與既有**工程順接**，強化工程**合理性**。
- 圖(a)#1跌水工與溪流流向並無如圖說呈現垂直狀態，偏移旋轉5度；縱向通道與右岸動物通道尚未施作。
- 圖(b)#2跌水工同#1有偏移旋轉情形約3度，構造物整體約向北偏移64公分。
- 圖(c)兩跌水工有些許向北偏移66公分、構造物向東偏移19公分。
- 究偏移成因，應**落實設計階段地形測量作業**，減少構造物水平與高程偏移，提升工程構造物品質。



報告完畢 敬請指教



行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼