

利用 UAV 進行公共測量手冊（草案）

平成 28 年 3 月

（平成 29 年 3 月修訂）

國土交通省國土地理院

目錄

【序】概論.....	1
第 1 篇 總則.....	3
第 2 篇 利用 UAV 所拍攝的航空照片製作數值地形圖.....	5
第 1 章 概說.....	5
第 2 章 作業計畫.....	6
第 3 章 設置標定點.....	6
第 4 章 攝影.....	9
第 5 章 空中三角測量.....	15
第 6 章 現場調查.....	17
第 7 章 數值圖化.....	18
第 8 章 數值編輯.....	18
第 9 章 補測編輯.....	18
第 10 章 製作數值地形圖檔案.....	18
第 11 章 評價品質.....	18
第 12 章 整理成果.....	19
第 3 篇 利用 UAV 所拍攝的航空照片製作三維點雲.....	20
第 1 章 概論.....	20
第 2 章 作業計畫.....	21
第 3 章 設置標定點及驗證點.....	21
第 4 章 攝影.....	25
第 5 章 三維形狀復原計算.....	30
第 6 章 編輯點雲.....	32
第 7 章 製作三維點雲數據檔案.....	33
第 8 章 評價品質.....	33
第 9 章 整理成果.....	34
第 4 篇 資料.....	35
標準格式等.....	35
參考資料.....	35

【序】概論

1. 至今的經緯

在日本國內是從平成 25 年開始使用無人機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）實施公共測量。在國土地理院於平成 28 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）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。以下略稱為「準則」。）第 17 條來進行相關作業。也就是說，實施測量的作業機關除了要獨自驗證精度之外，尚須自行整理相關說明手冊，並在事前徵求國土地理院的意見。

在制定本手冊之後，遵從本手冊所進行的作業便不需要將精度驗證結果提交給國土地理院。而在手冊完成約一年後，藉由實際應用手冊，國土地理院收到了許多反饋，為使手冊內容更為明確、精度更加提升，且降低其使用條件，於是在平成 29 年 3 月修訂本手冊。

在遵照本手冊進行公共測量時，調整機器與驗證精度與既往一樣重要，但和舊版手冊相同，目前已不需要再向國土地理院提出精度驗證結果。

2. 作業流程

在修訂後的手冊中，基本作業流程與修訂前沒有太大的差異。修訂前相同，本手冊的內容大致上可區分為製作數值地形圖（第 2 篇）與製作三維點雲（第 3 篇）兩大類。雖然都是利用 UAV 所拍攝的航空照片進行作業，但所製成的數據以及作業流程並不相同。

使用 UAV 所拍攝的航空照片製作數值地形（第 2 篇）的工程種別作業區分及順序如圖 1 所示，為航空照片測量準則之一。最終完成品為數值地形圖數據（例如道路的向量數據）。

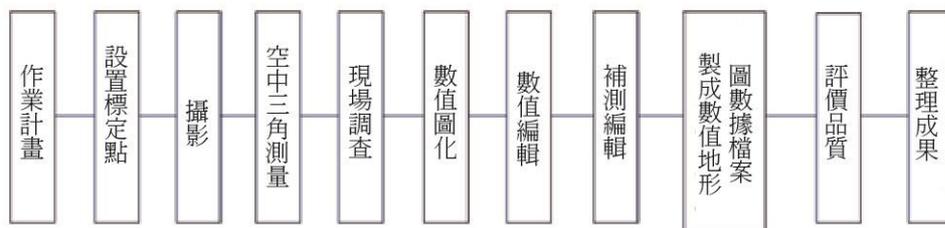


圖1 利用UAV所拍攝的航空照片製作數值地形圖（第2篇）中的工程種別作業區分及順序

利用 UAV 所拍攝的航空照片製作三維點雲（第 3 篇）的工程種別作業區分及作業順序如圖 2 所示。目前並沒有相關準則，為新的作業方式。最終成果為三維點雲數據（具有平面位置座標的標高集合）。

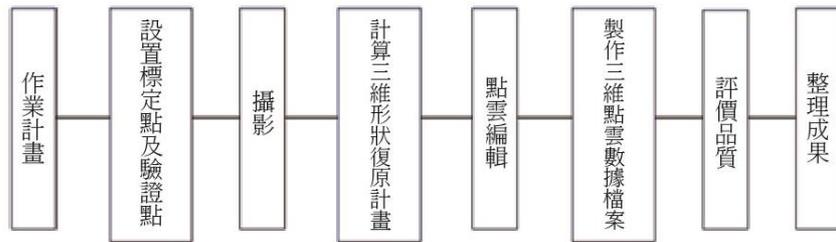


圖2 利用UAV所拍攝的航空照片製作三維點雲（第3篇）中的工程種別作業區分及順序

3. 修訂手冊的主要變更點

在平成 29 年 3 月的修訂中，與作業相關的主要變更內容如下。

【第 2 篇】（製作數值地形圖）

拍攝航空照片的地上畫素尺寸（第 22 條運用基準）

・因應製作的數值地形圖地圖資訊等級，使地上畫素尺寸明確化。

【第 3 篇】（製作三維點雲）

配置標定點以及驗證點（第 53 條）

・將設定外側標定點的標準設為配置在測量對象範圍的外側。在驗證點中廢除外側驗證點，並將驗證點的總數標準設為標定點的一半以上。

標定點及驗證點的觀測方法（第 54 條）

・使作業方法明確化。再者，在製作位置精度 0.05m 的三維點雲時，將標準作法設為使用 TS 進行作業。

航空照片的重複度（第 57 條運用基準）

・攝影後若可確認實際重複性時，可將相鄰航空照片的重複度設定為 80% 以上後進行攝影計畫。

相機校正（第 65 條運用基準）

・將自動校正設為標準，不要求一定要進行獨立相機校正作業。

4. 本手冊的適用範圍

在準則中雖記載要在 UAV 上裝備 GNSS/IMU，但目前仍尚未普及。雖說利用裝備 GNSS/IMU 的 UAV 進行測量遲早會變成標準作業，但由於在本手冊中尚未有相關規定之故，若實施此種作業時須遵照準則第 17 條。同樣地，在 UAV 上搭載雷射掃描儀所進行的測量也須遵照準則第 17 條。此時必須事先進行精度驗證，而在確保必要精度的同時，還需整合相關內容製成報告書，將報告書及整合作業方法的手冊一併提交給國土地理院。

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（以下略稱「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（以下略稱「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院長的意見。

(確保安全)

第 2 條在確保安全方面，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>

- 1 將以本手冊為基準所得到之測量成果的檢查測量率標準設為 5%。
- 2 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。

(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。

第2篇 利用 UAV 所拍攝的航空照片製作數值地形圖

第1章 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。

2 「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>

1 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

(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

(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。

2 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>

1 下圖為標準的對空標誌圖樣。



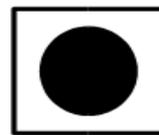
★型



X 型



+ 型



○型

2 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。

3 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。

- 4 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。
- 5 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。
- 6 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>

- 1 若為單一拍攝路線時，滿足下述條件的方式設為設置標定點的標準方式。

- (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。

- 2 若有複數拍攝路線時，將滿足下述條件的方式設為設置標定點的標準方式。再者，此處將拍攝範圍的標準形狀設為矩形，且水平位置的標定點可兼作標高的標定點。

- (1) 配置水平位置的標定點時務必要配置在區塊的四個角落，在兩端的路線是每 6 個立體模型配置 1 點，其他路線方面則是每 3 個路線就在兩端的立體模型配置 1 點。考慮到區塊內的位置精度，此處將標準配置方式設為每 30 個立體模型配置一點的均勻比例來進行配置。

- (2) 水平位置的標準標定點數 (NH) 如下式所示。

$$NH = 4 + 2[(n - 6)/6] + 2[(c - 3)/3] + [(n - 6)(c - 3)/30]$$

上式中，n 為每 1 個路線的平均立體模型數；c 為路線數；[] 中的計算結果如有小數點時無條件進位，若結果為負的時候則設為 0。

- (3) 配置標高的標定點時，標準的配置方式為除了每 2 個路線就在兩端立體模型各配置 1 點以外，也以每 12 個立體模型配置 1 點的比例

在各路線中均勻配置。

- (4) 標高的標準標定點數如下式所示。

$$NV = [n/12]c + 2[c/2]$$

上式中， n 為每 1 個路線的平均立體模型數； c 為路線數； $[\]$ 中的計算結果如有小數點時無條件進位，若計算出的 NV 比 (2) 中所計算的 NH 還要小時，將 NV 設為與 NH 相同。

- 3 將標定點的配置計畫設定為在攝影計畫圖上製作。

【解說】

此規定為沒有搭載 GNSS/IMU 所拍攝的航空照片進行空中三角測量時的規定，在昭和 60 年 10 月 5 日獲得由建設大臣透過建設省國地發 292 號所發佈的許可，引用自各地方建設局長以及土木研究所長所收到的建設省公共測量作業規程。

此外，在藉由光束法平差來配置空中三角測量的基準點方面，可得到下述結論。

擷取自秋山

(2001)

- 平面位置的精度僅依存於平面位置的基準點，而標高精度則僅依存於標高標定點。
- 平面位置基準點配置在區塊的周邊會較有效果。
- 標高基準點以直列狀配置在與路線方向垂直的位置會較有效果。再者，此直列配置在路線的起終點的直列以及在路線內以每 5~6 個模型的間隔配置會較有效果。

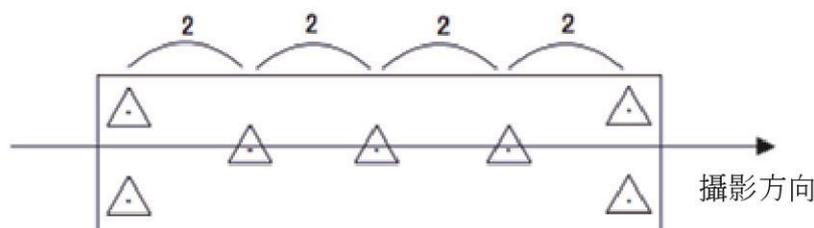


圖2_1 配置標定點（單路線的範例）

標定點（ \triangle ）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。

(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

第4章 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>

- 1 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

- 2 將地面高度設為 $[(\text{地上畫素尺寸}) \div (\text{所使用電子相機 1 個畫素的尺寸}) \times (\text{焦距})]$ 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。
- 3 對一個攝影地域來說，一般標準為制定一個攝影基準面，但若在比高較大的地域中，則可用數個路線為單位進行設定。
- 4 焦距的部分會考慮到鏡頭特性以及地形等狀況來決定。所決定的焦距到攝影結束為止都會維持固定不變。
- 5 UAV 的飛行速度會設為可取得的攝影間隔比可記錄航空照片的時間還快的速度。
- 6 在同一路線內，標準作業方式為在直線且等高的條件下進行攝影。
- 7 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%。
- 8 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
- 9 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。
- 10 攝影計畫的部分需考慮到有時會因為攝影時的明亮度、風速、風向、地形及地物的歷年變化等因素，在現場需要重新評估的可能性。

【解說】

利用民生用數位相機時大多都會自動將畫素資訊以及周圍的畫素資訊進行加工，再作顏色內插處理。上述的地上畫素尺寸也是以使用各種民生用數位相機為前提，以可以得到滿足精度的結果為條件進行設定。因此若可確保必要精度時，便可利用不同於運用基準第 1 項的地上畫素尺寸進行攝影。

攝影時必須要事先計畫，在氣象條件良好的時間或是時期進行拍攝。為了可以穩定飛行，最好不要在強風下飛行。另外也必需要減少曝光時間，並在明亮的時間帶拍攝，以避免拍出模糊的照片。再者，在太陽高度較低時，需注意陰影的影響。此外像是強風、下雨、下雪等情況都不是適合拍攝的時機。

(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>

- 1 所拍攝的標準圖像需為非壓縮格式。

【解說】

由於數位相機的優劣會嚴重影響到航空照片測量之故，決定要採用何種數位相機時必須要透過實際測量來進行驗證，慎重選擇使用機型。本手冊僅將裝備可成立共線條件鏡頭的數位相機以及在可產生固定歪斜的數位相機視為適用對象。

(獨立相機校正)

第 25 條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。

<第 25 條運用基準>

- 1 在獨立相機校正中所需求出的數值為焦距、從主點位置到圖像中心的偏差、徑向方向的歪斜量、切向方向的歪斜量。

- 2 進行完獨立相機校正的數位相機所拍攝的畫像之畫像座標殘差需在 0.1 畫素以內。
- 3 製成的誤差模型必須要可適用於光束調整程式。
- 4 依照標準流程的話必須在拍攝前實施獨立相機校正，但也可在拍攝後實施。
- 5 使用二維目標物進行獨立相機校正時，需與拍攝三維目標物相同的方向拍攝目標物，並正確補正焦距。

【解說】

利用民生用數位相機進行測量時必須要固定焦距、主點距離畫像中心的偏差、鏡頭歪斜等內部定位，掌握上述數值，使其可在後續作業所使用的軟體中進行相關處理。而求出這些數值的作業就稱為獨立相機校正。

利用二維目標物進行獨立相機校正時，需小心處理二維目標物，避免其產生歪斜。

要維持進行完獨立相機校正的狀態除了必須要解除自動對焦、防手震補正等會動到內部機構的功能之外，還必須用膠帶固定對焦環防止鏡頭移動。

雖說只要用膠帶固定住數位相機，使其維持進行過獨立相機校正的狀態便可利用校正結果來重複拍攝，但還是必須要考慮到有時會在攝影時受到震動，或是不小心進行了會使內部機構移動的操作等影響。因此雖然沒有規定使用相機校正結果的有效期間，但在利用時仍需多加留意。

再者，獨立相機校正可由作業機關獨自進行，不需要委託專門機關處理。

(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>

- 1 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
- 2 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

【解說】

進行攝影時不能突然就讓無人機飛行，最好能夠檢查機器及設定的狀況，並確認完計畫與實際情況的差異後先做一次簡單的飛行。在檢查機器時須參考「在公共測量中使用 UAV 的相關安全基準」。

曝光時間以及 ISO 值需要根據攝影時的明亮度來決定。再者，在設定曝光時間時為了防止照片模糊，必須同時調整飛行速度。提高 ISO 值就等同於擴大從感光元件所讀取的訊號，若過於擴大的話訊號所包含的雜訊也會變得明顯，照片也會變得粗糙。再者，雜訊的發生量會因不同的數位相機而有所差異，因此最好能夠在事前利用與實際情況相同的攝影條件進行測試，確認雜訊的發生量後再決定 ISO 值。

攝影高度是以標高加上地面高度所決定。而在標高的部分有時會因為所使用的 Web 發布的地圖精度較低，或是因為建物等地物的影響使在計畫階段中無法清楚確認高度使得進行攝影時無人機無法在適當的高度下飛行。利用 UAV 進行的攝影作業大多是在 150m 以下的低空進行攝影，只要在高度上有些微差異的話便會嚴重影響到重複度，必須多加留意。

(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

<第 28 條運用基準>

- 1 攝影結果的檢查對象為所有航空照片。
- 2 針對模糊、晃動、雜訊的部分檢查航空照片的畫質。
- 3 用攝影的相關性排列航空照片並進行航空照片重複度的檢查。
- 4 在立體圖化中檢查障礙物的有無來確認是否有隱蔽區域。

【解說】

在重複度的部分，會檢查同一路線上相鄰的航空照片重複度以及相鄰路線中的鄰接航空照片的重複度。至於檢查方法的話，可透過自動計算確認或是直接由目視確認。利用目視確認時有 1) 在攝影標定圖中檢查鄰接照片的主點間距，以及 2) 比較攝影計畫圖與攝影標定圖等方法。

檢查照片時會檢查所有照片，而記載到每個 UAV 路線的精度管理表的部分，雖然標準作業方式是會記載每一張照片，但若張數太多時也可僅統整在所有精度管理表上沒問題的照片作記載。

(重新攝影)

第 29 條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

(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 Pass Point 指的是在同一路線中連續航空照片間的連結點，而 Tie Point 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>

1 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。

2 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。

<第 33 條運用基準>

1 連接點的標準為可觀測到該點所拍到的所有航空照片。

【解說】

為了牢固的連結航空照片，需要遵照前條事項規定所配置的連接點。不過取得連結點的位置上並不會只有清楚地物。要在這樣的狀況下取得連接點就必須要一邊確認立體映像、一邊進行手動觀測。而在自動取得的情況時則需要透過立體映象做確認，或是利用照片測量軟體的異常值檢索功能來檢查。

連接點的作用為可藉由觀測所拍攝的所有航空照片來除去其自由度，以便製作出堅固的模型。

(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>

- 1 進行調整計算之前，透過多項式法或是光束法平差來檢測出錯誤，對觀測值進行檢查。
- 2 在調整計算中，標準作法是不會進行自我校正。
- 3 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

- 4 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。
- 5 不進行大氣折射與地球曲率的影響糾正。
- 6 進行附有自我校正的調整計算時，必須要更新自我校正數據，以便在數化時能夠在立體模型構造中呈現。
- 7 調整計算的標準視為單一區塊來進行。

【解說】

由於攝影範圍較狹窄且地面高度較低的關係，不需要考慮到大氣折射及地球曲率的影響。

調整計算無法收斂時，原因大多出自於數位相機、相機校正、標定點、連接點上。因此，有時便需要重新評估，提升連接點的觀測精度等相關作業。

(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>

- 1 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
- 2 需配合立體模型整理相關記號以及備註。
- 3 分割區域進行現場調查時需事先決定接合處的處理方式。

(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

第3篇 利用 UAV 所拍攝的航空照片製作三維點雲

第1章 概論

(要旨)

第 47 條本篇中規定了利用 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。在使用航空照片測量（無人機）進行工程驗收要領

（土工篇）（平成 28 年 3 月國土交通省）中，個別將位置精度 0.05m 以內的三維點雲用在工程驗收中；將位置精度 0.10m 以內的三維點雲用在開工測量或是岩線測量中；將位置精度 0.20m 以內的三維點雲用在分期生產量測量中。

第2章 作業計畫

(要旨)

第 50 條作業計畫以第 14 條的規定為準則。

(參考)

(要旨)

第 14 條作業計畫除了要遵照第 3 條的規定之外，還是依照工程種別進行製作。

第3章 設置標定點及驗證點

(要旨)

第 51 條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。

(參考)

(對空標誌的規格及設置)

第 16 條對空標誌應選用可以在擴大的航空照片中確認的形狀、尺寸，以及顏色。

<第 52 條運用基準>

- 1 以第 16 條的運用基準為準則。

(參考)

<第 16 條運用基準>

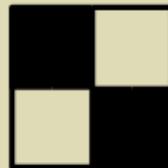
- 1 對空標誌的標準圖樣如下。



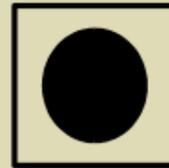
★型



X型



+型



○型

- 2 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。
- 3 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。
- 4 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 UAV 可清楚拍攝的空中範圍。
 - (3) 選擇狀態良好的地點作為設置點。
- 5 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。
- 6 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。

(配置標定點及驗證點)

第 53 條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。

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

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。

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。

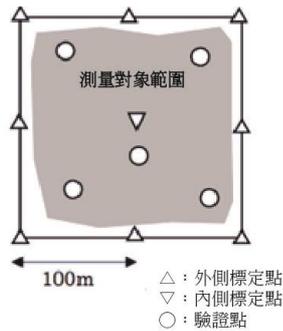
二所設置的驗證點數量需為所設置標定點總數的一半以上（小數點的部分用無條件進位處理）。

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】

標準的標定點設置概念圖如圖 3_1 所示。

若測量對象範圍含有傾斜度較陡，比高變化較大的坡面時，若在比高變化較大的部分設置標定點，便可以較大的可能性確保其測量精度。再者，由於在地表面變化較少的部分其測量精度可能會較低，因此也可將標定點配置在該區域中。除此之外，最好可以在想要確保足夠精度的位置設置標定點或是驗證點。



- 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

圖3_1 設置標定點

（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>

- 1 標定點與驗證點的觀測結果需整理於精度管理表中。
- 2 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"		

- 3 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。

【解說】

測量標定點以及驗證點時，需以準則中所規定的設置 TS 點為基準，透過藉由 TS 所進行的放射法、藉由 GNSS 所進行的運動學、RTK 法、網路型 RTK 法等方法來進行測量。若使用網路型 RTK 法時，可透過單點觀測法來進行觀測，也可以使用所謂的 GNSS 圓形機載導航模組。不過在為了工程驗收所進行的測量中，當所製成三維點雲的位置精度在 0.05m 以內時，從確保標定點及驗證點位置精度的觀點來看，可以僅用 TS 進行測量即可。

(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

(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>

- 1 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

- 2 將地面高度設為 $[(\text{地上畫素尺寸}) \div (\text{所使用電子相機的 1 畫素的尺寸}) \times (\text{焦距})]$ 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。
- 3 對一個攝影地域來說，一般標準為制定一個攝影基準面，但若在比高較大的地域中，則可用數個路線為單位進行設定。
- 4 焦距的部分會考慮到鏡頭特性以及地形等狀況來決定。所決定的焦距到攝影結束為止都會維持固定不變。不過若判斷該地形形狀用自動對焦也無妨時則不限於此規定。
- 5 UAV 的飛行速度會設為可取得的攝影間隔比可記錄航空照片的時間還快的速度。

- 6 在同一路線內，標準作業方式為在直線且等高的條件下進行攝影。
- 7 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。
- 8 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
- 9 所設立的攝影計畫需在連接外側標定點的範圍外側，至少拍攝一張以上的航空照片。
- 10 攝影計畫需考慮到有時會因為攝影時的明亮度、風速、風向、地形及地物的歷年變化等因素，在現場需重新評估的可能性。

【解說】

圖 3_2 所示為拍攝測量對象範圍與拍攝照片範圍的概念圖。

利用民生用數位相機時大多都會自動將畫素資訊以及周圍的畫素資訊進行加工，再作顏色內插處理。上述的地上畫素尺寸也是以使用各種民生用數位相機為前提，以可以得到滿足精度的結果為條件進行設定。因此若可確保必要精度時，便可利用不同於運用基準第 1 項的地上畫素尺寸進行攝影。

攝影時必須要事先計畫，在氣象條件良好的時間或是時期進行拍攝。為了可以穩定飛行，風最好不要太強。為了盡可能避免拍出模糊的照片，必需要減少曝光時間，並在明亮的時間帶拍攝。再者，在太陽高度較低時，需注意陰影的影響。此外像強風、下雨、下雪等情況都不是適合拍攝的時機。

在測量對象範圍內可比對的標記越多，在進行三維形狀復原計算時便更能提升其比對精度。因此在拍攝前需一邊確認現況，一邊進行設置標記（例如對空標誌或是竿柱等）或佈置白線等簡單對策。

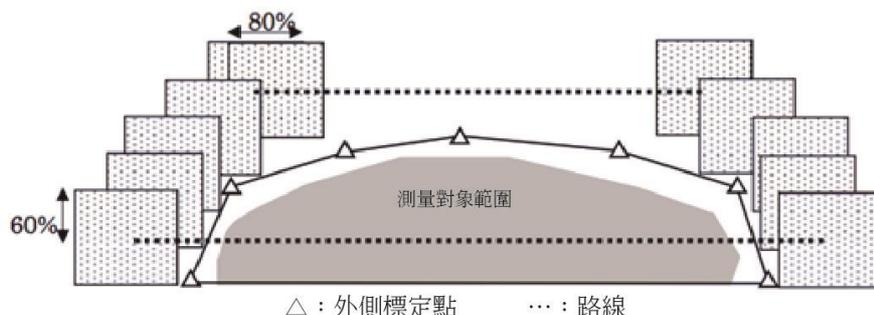


圖3_2 拍攝照片的概念圖（在拍攝後可確認實際照片重複度的情況）

(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。

(參考)

(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自動返航功能。
- 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，讓數位相機的方向穩定。

(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。

(參考)

(所使用的數位相機性能)

第 24 條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。

【解說】

若由地形形狀判斷可用自動對焦進行攝影時，此時也可使用無法解除調整焦距功能的數位相機。雖然沒有規定所拍攝的照片保存格式，但為了避免畫質過差，最好可以避免使用壓縮率過高的格式。

(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。

(參考)

(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在操作，因此必須檢查機器以及確認攝影計畫。

<第 60 條運用基準>

1 以第 26 條運用基準為準則。

(參考)

<第 26 條運用基準>

1 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

2 確認攝影計畫時依照下述事項進行檢查。

- (3) 曝光時間、ISO 值等攝影條件
- (4) 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對地高度

(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。

(參考)

(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 必須維持計畫對地高度以及計畫攝影路線。計畫對地高度與實際飛行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 若發現到有其他 UAV 接近時需馬上停止攝影飛行。

(檢查攝影結果)

第 62 條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

<第 62 條運用基準>

- 1 以所有照片為檢查對象，針對模糊、晃動、雜訊等現象檢查航空照片的畫質。
- 2 從攝影結果中抽取數個距離主點較長的地點等重複度較小的位置，再以攝影範圍作為基準進行計算。不過計算實際的照片重複度較為困難，所以若所在設立的攝影計畫中，同一路線內的相鄰航空照片的重複度有 90%以上時也可省略檢查作業。
- 3 在確認有無隱蔽部的方面即為檢查在製作三維點雲時是否會有障礙。

【解說】

在重複度方面，會檢查在同一路線上相鄰航空照片的重複度，以及在相鄰路線上鄰接航空照片的重複度。一般在計算重複度時會先在攝影標定圖中取得相鄰照片的主點間距，再以對地高度與攝影範圍為依據進行計算。由於現階段可以自動計算重複度的軟體尚未普及，目前的規定是以攝影標定圖所示之主點間隔為根據，抽出數個被認為重複度較小的地點，以這些地點為對象進行計算，但如果可以的話最好還是以所有照片為對象來計算其重複度。

另外，檢查照片品質時雖然標準作業流程是檢查所有照片，並將每一張都記載到各個 UAV 攝影路線的精度管理表中，但若照片張數太多時，也可僅整理在精度管理表上的所有項目都沒有問題的照片作記載。

(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

【解說】

在追加攝影中，會透過下述方式進行作業：在沒有取得適當照片的場所進行拍攝；利用三維復原計算來取代航空照片；針對產生空白部的場所進行補充拍攝；同時利用其他照片與進行三維復原計算。

當同一路線的相鄰航空照片的重複度比 80% 還小時，或是相鄰路線的航空照片的重複度小於 60% 時，就必須要進行追加攝影補充必要場所的照片。但若最終結果還是可以滿足三維點雲所規定的精度時，也不一定要進行追加攝影作業。因此必須要以整體狀況為依據來判斷是否需要進行追加攝影。

(成果等)

第 64 條攝影成果如下所示。

- 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

第5章 三維形狀復原計算

(要旨)

第 65 條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。

<第 65 條運用基準>

- 1 計算三維形狀復原所用的感光元件尺寸以及畫素會採用數位相機的型錄值，而焦距的初始值也是使用數位相機型錄中的焦距值。
- 2 三維形狀復原計算不會採分割區域計算的方式進行。
- 3 在相機校正的方面，進行三維形狀復原計算時採用自我校正。

(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，必須要去掉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>

- 1 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。

【解說】

在計算中變更所使用的標定點數量或是配置會使殘差以及差值產生變化，因此當配置大量標定點及驗證點進行觀測時，若沒有滿足要求精度的話就需要變更數量及配置重新進行計算。

(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

【解說】

在相機的自我校正中所得到的整份結果也包含在成果內。

第6章 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。誤抽出所指的是將不同場所誤判為同一個場所，並將其轉換為三維點雲。缺測部的話是指三維點雲無法抽出的一塊會影響到精度的範圍區域。前者通常出現在有類似景象的場所，後者則是出現在土地覆蓋的陰影，或是像水面會倒映出不同景象的場所。

即使正確的實施抽出作業，卻抽出了無法作為成果使用的樹木、草、構造物、車輛時，也需要因應需求透過編輯作業將其去除。

土木施工中所使用的三維點雲的標準點密度可分類為如下表所示。

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

舉例來說，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。另一方面，若無法滿足低密度的容許點密度時，則須透過 TS 等工具補足到可滿足容許點密度為止。

如上述，編輯點雲時必須要因應利用場面來決定作法。

再者，在土木施工中必須要個別顯示低密度與高密度的範圍，分別求出。

(構造化)

第 71 條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

(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

第4篇 資料

標準格式等

- ・相機校正實施紀錄
- ・各個 UAV 攝影路線精度管理表
- ・空中三角測量精度管理表
- ・三維形狀復原精度管理表
- ・電子交貨補充資料

引用資料

- ・秋山実（2001）：写真測量、山海堂、183p.

參考資料

- ・日本写真測量学会編(1983):解析写真測量、日本写真測量学会.
- ・八木康史・齋藤英雄編(2010):CVIM チュートリアルシリーズコンピュータビジョン最先端ガイド 3.

地區名稱 地方名稱		相機校正 實施年月日		攝影年月日		作業機關名稱		主任技術人員		作業實施人員	
相機	名稱			放射方向失真量dr (μm)				<p>離感光元件中心的距離</p>			
	序號	No.		距離 (mm)	失真量						
	畫素	pixel X pixel		0							
	感光元件尺寸	mm X	mm	1							
	1個畫素的大小	μm		2							
鏡頭	名稱			3							
	序號	No.		4							
	焦距	mm		5							
	畫角	o		6							
				7							
相機校正所使用的軟體		iWitness V2.2 (Photometrix社)		8							
補正模型式				9							
$\Delta x = x \cdot dr / r + p_1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot p_2 \cdot x \cdot y$ $\Delta y = y \cdot dr / r + p_2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot p_1 \cdot x \cdot y$ $(dr = k_1 \cdot r^3 + k_2 \cdot r^2 + k_3 \cdot r^2, r = \sqrt{x^2 + y^2})$				10							
參數	記號	值		11							
焦距	f		mm								
與主點位置的偏差	xp		mm								
	yp		mm								
放射方向失真校正係數	k1										
	k2										
	k3										
				最大(μm)	0.0						
切線方向失真校正係數	p1										
	p2										
畫像座標的殘差 (RMS)			pixel								
備註1 參數欄內記載失真補正的名稱 若沒有進行切線方向失真補正時就在對應欄位內畫斜線刪除。 備註2 在記號欄內記載補正模型式中所記載的補正項目的符號。				感光元件的座標系統 		切線方向最大失真量(μm) 攝影前		失真校正名稱 放射方向失真+切線方向失真			

各UAV攝影路線精度管理表（三維點雲製作）

地區名稱 地方名稱	攝影日期 年月日	飛行方向 N W — E S	相機 名稱 畫素 感光元件尺寸	計劃			作業機關名稱	
				名稱	地上畫素尺寸	基準面高		
	h:m ~ 風速 m/s		畫素 pixel X pixel mm X mm	cm	m	m	主任技術人員名稱	
			鏡頭 名稱 焦距	相機校正實施年月日 年 月 日			公司內部檢查人員	
			ISO 圖像紀錄方式	重複點檢查方法			公司內部檢查 年 月 日	年 月 日
			檔案格式	使用軟體名稱等				

【畫質】

檔案名稱	路線編號	照片編號	是否採用	色調優劣	光量 及陰影	模糊 及晃動	粉塵 及雜訊	是否有 隱蔽物	是否有對 準標的物	障礙事項 其他

【路線方向重複度（OL率）】

【路線間重複度（SL率）】

檔案名稱	路線編號	照片編號	路線方向重複度	航跡偏差	路線編號	路線間 重複度	路線編號		路線間 重複度	路線編號
					照片編號		檔案名稱	照片明爭		
			(最小OL) %	(最大值) %	最小值 (最小SL)	%			%	

※僅針對採用的照片進行OL率及SL率的計算
 ※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率與SL率的檢查作業。

三維形狀復原精度管理表（製作三維點雲）

作業名稱或是地區名稱		調整方法		作業期間		作業機關名稱		主任技術人員	
								公司內部檢查人員	
SfM軟體名稱		計劃OL率	計劃SL率	作業量	路線數	照片張數	地上畫素尺寸	對地高度	

標定點的交會殘差				標定點的殘差						驗證點的殘差					
	X	Y	交會殘差	點名	區分	dx	dy	dxy	dh	點名	區分	dx	dy	dxy	dh
最大值															
標準偏差															
※使用單位依軟體而定															
驗證點的交會殘差															
	X	Y	交會殘差												
最大值															
標準偏差															
※使用單位依軟體而定															
備註															
(紀錄在作業範圍內失真較嚴重的位置 或是色調較差的位置)				平均值						平均值					
				最大值						最大值					
				標準偏差						標準偏差					

備註1：若為外部標定點的話在區分欄位內填外，若為內部標定點的話則填內。 備註2：紙張大小為A4。

電子交貨補充資料

本資料主要介紹將透過「利用 UAV 進行公共測量手冊（草案）」（以下略稱「手冊」。）所得到的測量成果依照「國土交通省測量成果電子交貨要領（平成 28 年 3 月）」（以下略稱「交貨要領」。）的基準進行電子交貨時所需使用的標準規格。

此外，在本資料中所沒有規定的事項請參考交貨要領以及「電子交貨運用指南【測量篇】」。

1. 第 2 篇利用 UAV 進行地形測量以及照片測量的測量成果等

在手冊第 2 篇利用 UAV 進行地形測量以及照片測量的測量成果所指的是，以交貨要領中所規定的測量區分「地形測量以及照片測量」的成果為準則進行交貨。

2. 第 3 篇利用 UAV 進行應用測量的測量成果等

在手冊第 3 篇利用 UAV 進行應用測量的測量成果等所指的是，作為在交貨要領中所規定的測量區分「地形測量以及照片測量」的成果，繳交下表中的測量細部區分、測量細部分類、檔案格式、檔案命名規則以及置放資料夾名稱。

此外，記載於「交貨要領的成果等名稱」中所記載的成果須以交貨要領中所對應的成果為準則繳交。而沒有記載於「電子交貨要領的成果等名稱」中的成果，則須依照備註欄中的記載繳交。

再者，繳交下表中沒有記載的成果時（手冊的「其他資料」等），須以交貨要領中所規定的成果為準則繳交，或是透過接案者與發包者間的協議決定交貨規格。

工程種別 作業區分	測量細 部區分	測量細部 分類	手冊的成 果等名稱	交貨要領的 成果等名稱	檔案格式	檔案命名規則	置放資料夾名稱	備註
設置標定 點及驗證 點	攝影< CS*>	航空照片 測量（設 置標定 點）	標定點及 驗證點的 成果	標定點成果	TXT	CS* Elnnn.TXT	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
			標定點及 驗證點的 配置圖	標定點配置 圖	標準圖式 數據檔案	CS* F1nnn.DMI CS* F1nnn.DM CS* F1nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	透過協議使用 PDF、SXF （P21）或是 SXF（P2Z）、原

								始格式
			標定點及 驗證點的 測量報告	標定點測量 報告	PDF	CS* E2nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
			標定點及 驗證點的 測量報告 (數值數 據)	標定點測量 報告 (數值 數據)	原始檔	CS* E3nnn.XXX	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
			標定點及 驗證點的 明細報告	標定點明細 報告	PDF	CS* E4nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
			精度管理 表	精度管理表	PDF	CS* G2nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
設置對空 標識	航空照片 測量 (設 置對空標 誌)		對空標誌 點明細表	對空標誌點 明細表	PDF	CS* E5nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
			對空標誌 點一覽圖	對空標誌點 一覽圖	標準圖式 數據檔案	CS* F3nnn.DMI CS* F3nnn.DM CS* F3nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	透過協議使用 PDF、SXF (P21) 或是 SXF (P2Z)、原 始格式
			精度管理 表	精度管理表	PDF	CS* G2nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
攝影	航空照片 測量 (攝 影)		航空照片	數值照片	TIF	CS* H1nnn.TIF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
			攝影紀錄	攝影紀錄	PDF	CS* H3nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	
			攝影位置 圖	標定圖	標準圖式 數據檔案	CS* F4nnn.DMI CS* F4nnn.DM CS* F4nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	透過協議使用 PDF、SXF (P21) 或是 SXF (P2Z)、原 始格式
			各 UAV 攝 影路線精		PDF	CS* G3nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/SATU_ *	以手冊的標準格 式為依據

			度管理表					
三維形狀 復原	其他地 形測量 及照片 測量< CO*>	其他地形 測量及照 片測量	三維形狀 復原計算 軟體所輸 出的資訊		PDF	CO*E1nnn.TXT	/CHIKEI/WORK/OCHK_ *	根據協議，也可 使用原始格式
			空中三角 測量精度 管理表		PDF	CO*G1nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/OCHK_ *	以手冊的標準格 式為依據
			三維形狀 復原精度 管理表		PDF	CO*G2nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/OCHK_ *	以手冊的標準格 式為依據
			標定點及 驗證點精 度管理表		PDF	CO*G3nnn.PDF	/CHIKEI/WORK/OCHK_ *	以手冊的標準格 式為依據
整理成果			主數據	主數據	JMP2.0	CO*B2nnn.XML	/CHIKEI/DATA	
			三維點雲 數據檔案		(協議)	CO*B1nnn.***	/CHIKEI/DATA	根據協議使用 TIF 格式、LAS 格式、TIN 格 式，或是其他格 式
攝影	其他數 據<ZO *>	其他數據	相機校正 實施紀錄 或是等同 於實施紀 錄的資料	相機校正數 據	PDF	Z0TJ6nnn.pdf	/CHIKEI/OTHERS	手冊的標準格式 或是相當於該標 準格式的其他格 式

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2017

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。