100-150-7568
MOTC-IOT-98-H1EB003

# 橋河共治區基本資料調查研究

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 100 年 12 月

100-150-7568
MOTC-IOT-98-H1EB003

# 橋河共治區基本資料調查研究

著　者: 邱永芳、謝明志、曾文傑、林雅雯、李良輝
薛憲文、黃進國、羅冠顯、汪書瑜

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 100 年 12 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

橋河共治區基本資料調查研究

/邱永芳等著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 100.12

面 ； 公分

ISBN 978-986-03-1268-3 (平裝)

1. 橋樑工程 2. 河川工程 3. 工程量測

441.8 100027841

橋河共治區基本資料調查研究

著　　者：邱永芳、謝明志、曾文傑、林雅雯、李良輝、薛憲文、黃進國、羅冠顯、汪書瑜
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 台北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)
電　　話：(04) 26587176
出版年月：中華民國 100 年 12 月
印 刷 者：彩霖股份有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 150 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：250 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010004909　　ISBN：978-986-03-1268-3 (平裝)

100

# 橋河共治區基本資料調查研究

交通部運輸研究所

GPN：1010004909
定價: 250 元

# 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：橋河共治區基本資料調查研究

| 國際標準書號（或叢刊號） | 政府出版品統一編號 | 運輸研究所出版品編號 | 計畫編號 |
|---|---|---|---|
| ISBN978-986-03-1268-3(平裝) | 1010004909 | 100-150-7568 | 98-H1EB003 |

| | | |
|---|---|---|
| 本所主辦單位：港灣技術研究中心<br>主管：邱永芳<br>計畫主持人：謝明志<br>研究人員：曾文傑、林雅雯<br>聯絡電話：04-26587116<br>傳真號碼：04-26564418 | 合作研究研究單位：國立高雄應用科技大學<br>計畫主持人：李良輝副教授<br>研究人員：張庭榮、許志堅、黃進國、羅冠顯、汪書瑜<br>地址：高雄市三民區建工路 415 號<br>聯絡電話：07-3814526 轉 5256 | 研究期間<br>自 98 年 10 月<br>至 100 年 12 月 |

關鍵詞：橋梁變位監測、空載雷射掃描、近景攝影測量、攝影測量、沉陷、撓度


摘要：

本計畫配合交通部「公路建設永續經營」之政策，執行交通部所規劃一系列「橋梁安全保護中長期計畫」相關領域之研究，建立橋河共治區資料庫。計畫範圍為大甲溪流域(石岡壩以下至出海口)河道內及堤防外兩側水平距離50公尺內範圍約2300公頃面積，計畫內容包括地面控制點佈標及測量、河床高程測量及製圖、跨河橋梁測量及建模及成果製作，並制定橋梁變形監測技術規範之草案。

地面控制點佈標及測量項目係以1/1000製圖精度標準，進行已知平面控制點GPS測量及高程控制點直接水準測量檢測。河床高程測量及製圖以空載雷射掃瞄(Airborne LiDAR)或航空攝影進行DEM製作，其精度以符合1/1000製圖標準為原則；另沿河道每500公尺間距製作河床斷面圖，並於圖上標示相關地形地物。

跨河橋梁測量及建模以台1線大甲溪公路橋為例，運用角距監測、近景攝影及3D雷射掃描技術等三種方式測量，並建立3D模型，於三種測量技術間進行精度比較。另於豐水期可能通水斷面上，進行至少三個橋梁跨距及橋梁兩個側面之點位變形監測技術之探討與調查，橋墩與橋墩間之變位測量數量已完成5點(至少4個點以上)，最後分析角距監測、近景攝影及雷射掃瞄技術等監測方法之變位監測精度。

於成果製作方面將製作3D動態導覽影片及A0地形彩色圖紙圖，紙圖內容包含道路系統圖及水系名稱等，並據以建置正射影像及斷面圖之3D管理、展示查詢及分析功能。

最後，擬定橋梁變形監測技術規範草案，期使橋梁變形監測達到技術先進、經濟合理、安全適用之目的，目前該規範僅適用於簡支梁型橋之結構、沉陷、位移、傾斜等測量，橋梁變形監測能反映橋梁在汛期過後變形程度或變形趨勢。


| 出版日期 | 頁數 | 定價 | 本出版品取得方式 |
|---|---|---|---|
| 100 年 12 月 | 214 | 250 | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。 |

機密等級：

□密 □機密 □極機密 □絕對機密

（解密條件：□　年　月　日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，

□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）

■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Fundamental Survey of River and Bridges Co-management

| ISBN (OR ISSN) | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER | IOT SERIAL NUMBER | PROJECT NUMBER |
|---|---|---|---|
| ISBN978-986-03-1268-3 (pbk) | 1010004909 | 100-150-7568 | 98-H1EB003 |

DIVISION: Harbor and Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Yung-fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ming-jyh Hsieh
PROJECT STAFF: Wen-jier Tseng, Ya-wen Lin
PHONE: 04-26587116
FAX: 04-26564418

PROJECT PERIOD
FROM
October 2009
TO
December 2011

RESEARCH AGENCY: National Kaohsiung University of Applied Sciences
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liang-hwei Lee, Shiahn-wern Shyue
PROJECT STAFF: Tin-lung Chang, Zhi-jian Xu, Chin-kuo Huang, Guan-suan Luo, Shu-yu Wang
ADDRESS:（Chien Kung Campus） 415 Chien Kung Road, Kaohsiung 807, Taiwan, R.O.C.
PHONE: 07-3814526ext5256

KEY WORDS: Bridge Deformation Monitoring, Airborne LiDAR, Close-Range Photogrammetry, Aerial Photogrammetry, Subsidence, Deflection

ABSTRACT:

This project is one of the series of "Long-term plan for bridge safety protection" to construct the database for bridge-river overlay area which coordinates with the sustainable management of highway construction policy of the Ministry of Transportation and Communications. This project cover the area of Da-Jia River basin from IshioKa Dam (石岡壩) to the estuary, 50m outside two sides of embankment which cover the total area of about 2300 hectares. The works for this project include ground control point' s setup and surveying, river datum survey and mapping, crossing bridge measurement and modeling, and development of the draft of technical specification of bridge deformation monitoring.

All the ground control surveying is following the 1/1000 mapping standard including inspection survey on known horizontal control points based on GPS survey and known vertical datum points using direct leveling survey method. Moreover, the river datum survey and mapping is based on airborne LiDAR or aerial photogrammetry technologies to construct the Digital Elevation Model (DEM) of the river basin which also follows the 1/1000 mapping standard as ground control surveying. Furthermore, this project also produces river cross-section diagrams along the river in every 500m interval. The related terrain and topology are also marked on the map.

The cross bridge measurement and modeling is focused on the vicinity area around Da-Jia Bridge of Highway 1 based on Angle-Distance monitoring survey, close-range photogrammetry, and 3D laser scanning technologies. The 3D model of bridge is constructed for the purpose of comparing the accuracy between three technologies. Moreover, the discussion and investigation is also conducted for at least three bridges span and two-side of the bridge deformation monitoring. The number of the deflection measurement between bridge pier and pier is five which over the minimum requirement of four. Finally, the deformation monitoring accuracy is analyzed based on Angle-Distance monitoring survey, close-range photogrammetry, and 3D laser scanning technologies.

The results of this project include 3D fly-through video and A0-size color terrain map containing the information of highway system and name of rivers. This information is used to setup a 3D-GIS system with the data management, displaying, querying and analyzing functionalities. Finally, development of the technical specification draft for bridge deformation monitoring is to aim the goal of technologically advanced, economical, and safe application in the technology of deformation monitoring of bridges. At present, the draft of technical specification applies only to the measurements of structure, settlement, displacement, and tilt for simple beam-type bridge. The bridge deformation monitoring after the flood season can reflect the degree of deformation or the deformation trend.

| DATE OF PUBLICATION | NUMBER OF PAGES | PRICE | CLASSIFICATION |
|---|---|---|---|
| December 2011 | 214 | 250 | ☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED |

# 橋河共治區基本資料調查研究

## 目　錄

# 圖目錄

# 表目錄

# 第一章　前言

## 1.1 計畫緣起

橋梁的基本類型主要有簡支梁橋、拱橋、鋼構橋、懸索橋、斜拉橋及其組合體系橋。大型橋梁建指拱橋、連續鋼構橋、斜張橋、懸索橋及由以上不同體系組合而成的橋梁。橋梁變形監測是對橋梁整體性能的監測，是用工程測量原理、技術和方法以及特種精密工程測量技術，對大橋主梁各控制斷面及索塔軸線的位移變形進行定期或即時監測，並繪編相應的位移變形影響線和影響面，以監視各控制部位位移變形狀態。透過觀測數據，對橋梁變形的顯著性進行分析，從而為總體評估橋梁的承載能力、營運狀態和耐久能力，以及特殊氣候、交通條件下或橋梁運營情況嚴重異常時發出預警信號，為橋梁的維修、養護與管理決策提供依據和指導。

臺灣的橋梁維護復建費用龐大，管理橋梁人力有限，橋梁因颱洪沖刷、地震…等因素，有些未達其設計年限即產生危險。且臺灣地質脆弱，土石易遭沖刷而崩落，導致大雨時河流常含有極高的含砂石量，在這些自然環境的影響下，臺灣的河川在雨季時，常有高流速、大流量並夾帶大量泥沙的情形出現。對橋梁及河川的穩定與安全造成極大的威脅，所以亟需極早建立完整的橋河基本資料庫，以期降低未來受災之可能性，維持橋梁壽齡及保障人民生命財產。

本計畫配合交通部所規劃一系列系統性的「橋梁安全保護中長期計畫」相關領域之研究，並執行交通部公路建設「永續經營」之政策。建立橋河共治區資料庫。

## 1.2 工作範圍

本計畫工作範圍為大甲溪流域(石岡壩以下至出海口)河道內及堤防外兩側 50 公尺之水平距離，範圍面積約 2300 公頃。

**圖 1.1 工作範圍示意圖**

擷取自 Google Earth

## 1.3 工作項目

### 1. 地面控制點佈標及測量

(1)已知平面控制點檢測及高程控制點檢測。

(2)以合乎 1/1000 製圖精度為標準。地面控制點測量以 GPS 測量為原則。

(3)高程控制測量以直接水準測量為原則。

### 2. 河床高程量測及製圖

(1)河床高程量測可採用雷射掃描技術(3D Lidar)或航空攝影，擇一測量。

(2)成圖精度為 1/1000 正射影像圖及河道數值地形模型建立。

(3)河床斷面之間距為地面 500 公尺並製作向量斷面圖。

(4)重要地形地物之標示：包括跨河橋梁、堤防、河岸保護工、跌水工、攔河堰、植生地類別、構造物（包括駁坎、欄杆、其他構築物等）等。

**3. 跨河橋梁測量及建模**

(1)測量範圍：台 1 線大甲溪公路橋。

(2)運用 3D 雷射掃描技術、近景攝影及角距監測技術等三種方式測量，並建立 3D 模型。

(3)橋梁近景攝影 3D 建模與 3D 雷射掃描建模比較，並使用傳統量測方式做精度比較。

(4)進行在豐水期可能通水斷面上至少三個橋梁跨距及橋梁兩個側面之點位變形監測技術之探討與調查，橋墩與橋墩間之變位數至少 4 個點以上。

(5)分析角距監測技術、近景攝影技術及雷射掃瞄技術等監測方法之可能變位監測精度。

**4. 成果製作**

(1)置 3D 動態導覽影片檔。

(2)製作 A0 地形彩色圖紙圖，內容編輯包含道路系統圖資及水系名稱等。

(3)正射影像圖資及斷面圖資之 3D 管理、展示查詢及分析功能。

**5. 橋梁變形監測技術規範之草案制定。**

# 第二章　地面控制測量及河床高程量測

本案所需製作之 1/1000 正射影像圖及河道數值地形模型，係採用數值航空攝影測量之作業方式辦理，主要工作流程如圖 2.1 所示。

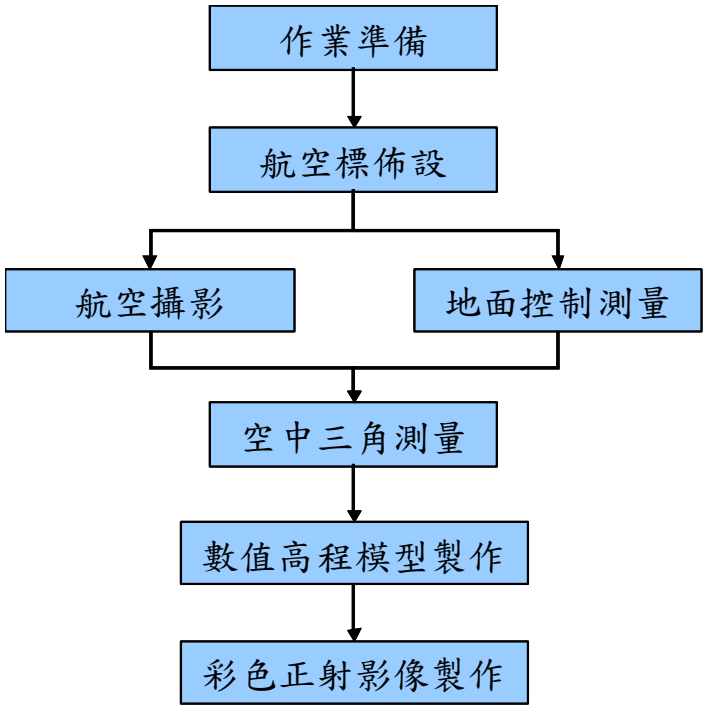



**圖 2.1 航空攝影作業流程圖**

## 2.1 航空標佈設

1. 航空標盡量選擇佈設於現有 GPS 控制點，三角點、精密導線點、水準點等點位上，選取其對空通視良好者（由天頂起算至少 40 度）佈設航空標。如必須設置航空標之點位，其通視不良設立困難時得視實際需要於附近處選設補助點佈設航空標。

2. 本次係採用 GPS+IMU（慣性姿態儀）輔助空中三角測量，航空標佈設於航線頭尾及測區四角，全部採用全控標。

3. 航空標心之尺寸應使其影像上略大於數值立體測圖儀（工作站）之測標，標心可採圓形或方形，航空標之形狀以十字形、Y 字形及 T 字形為準，其大小能在數值立體測圖儀（工作站）上辨認清楚為原則。

4. 航空標之顏色及材料：鬆地用塗白漆之三夾板或白色塑膠布，硬地直接塗以白漆。如白漆與附近地面反差較小，於標翼周邊將加塗黑框以增加辨識度，如圖 2.2。

5. 航空標中心位置應與測設點位一致，其最大偏心值不得大於 2 公分。

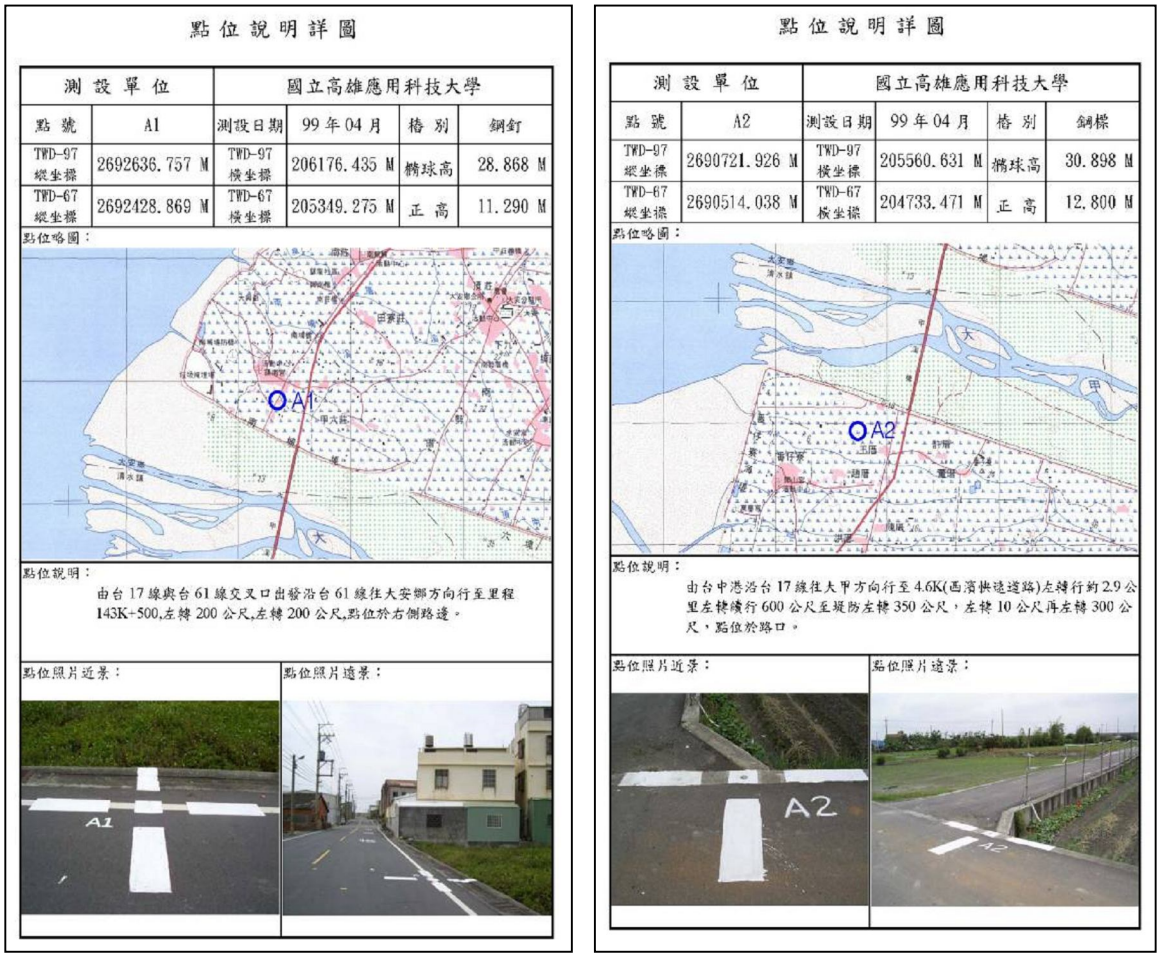
6. 航測標設置完成後，應製作點之記（樁位指示圖），如圖 2.3。

7. 實施航空攝影前，應先清點航測標設置作業情形，有毀損遺失者，應予恢復；受沾污或其他遮蔽者，應實施清標。

8. 航空攝影完成後，發現原設置之航測標毀損遺失率過高，致影響空中三角測量及製圖作業時，應補設航測標並重新實施航空攝影或利用地面特徵點進行補測。

9. 本計畫航空標共計佈設 8 點。


**圖 2.2 航空標現場照片**



點位說明詳圖

| 測設單位 | | 國立高雄應用科技大學 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 點號 | A1 | 測設日期 | 99 年 04 月 | 樁別 | 鋼釘 |
| TWD-97 縱坐標 | 2692636.757 M | TWD-97 橫坐標 | 206176.435 M | 橢球高 | 28.868 M |
| TWD-67 縱坐標 | 2692428.869 M | TWD-67 橫坐標 | 205349.275 M | 正高 | 11.290 M |

點位略圖：

點位說明：

由台 17 線與台 61 線交叉口出發沿台 61 線往大安鄉方向行至里程 143K+500,左轉 200 公尺,左轉 200 公尺,點位於右側路邊。

點位照片近景：

點位照片遠景：

點位說明詳圖

| 測設單位 | | 國立高雄應用科技大學 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 點號 | A2 | 測設日期 | 99 年 04 月 | 樁別 | 鋼標 |
| TWD-97 縱坐標 | 2690721.926 M | TWD-97 橫坐標 | 205560.631 M | 橢球高 | 30.898 M |
| TWD-67 縱坐標 | 2690514.038 M | TWD-67 橫坐標 | 204733.471 M | 正高 | 12.800 M |

點位略圖：

點位說明：

由台中港沿台 17 線往大甲方向行至 4.6K(西濱快速道路)左轉行約 2.9 公里左轉續行 600 公尺至堤防左轉 350 公尺，左轉 10 公尺再左轉 300 公尺，點位於路口。

點位照片近景：

點位照片遠景：

**圖 2.3 航空標點位指示圖(節錄)**

## 2.2 彩色航空攝影

1. 於地形圖上設計航線，航線方向以南北向為原則，規劃拍攝 8 條航線。

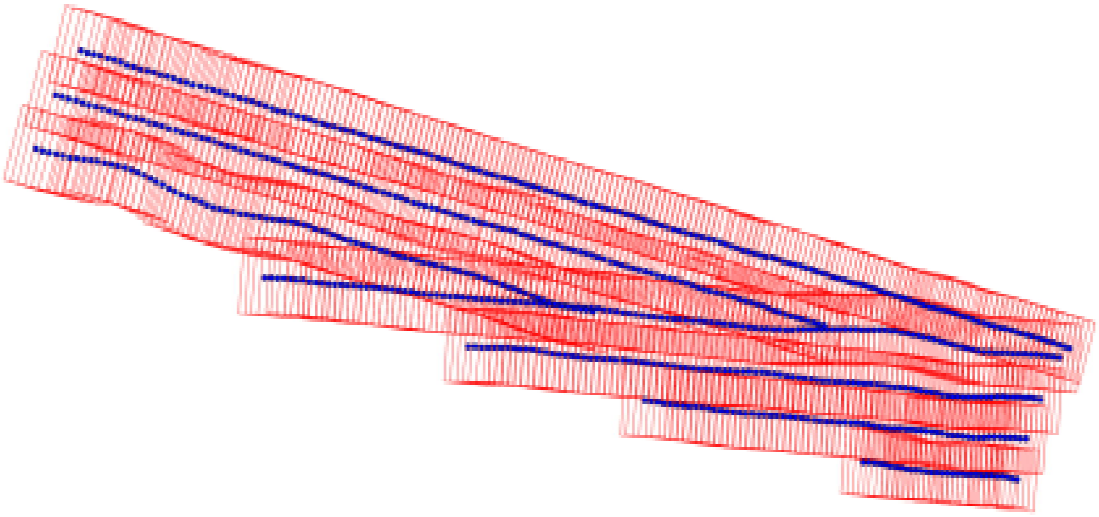


**圖 2.4 航線規劃圖**

2. 航空攝影於天氣晴朗，能見度佳，並於上午十時至下午二時之間實施。

3. 本案航空攝影規劃共 7 條航線（如圖 2.4），攝影長度約 105 公里。本次攝影採航測專用數位相機 UltraCam-Xp 進行拍攝，航向重疊(overlap)為 80%，側向重疊〈sidelap〉為 30%。航拍比例尺為 1/16600，地面解析度為 10cm/pixel。

4. 搭配使用 IGI AERO Control II 256Hz 慣性導航系統，GPS+IMU（慣性姿態儀）增加攝影時投影中心之 GPS 資料及拍攝時飛行姿態資料。IGI 結合了 IMU 跟 GPS 兩種系統，為國內最高規格，提供快速高頻率的飛行姿態以及絕對坐標定位，可以提供雷射掃瞄儀以及數位相機，關於時間與儀器姿態的記錄，進而計算相對及絕對坐標，提供最優規成果。（如圖 2.5）


**圖 2.5 IGI AERO Control II 256Hz POS 系統**

5. 航空攝影已於 100 年 07 月 28 及 08 月 04 日完成全區攝影，共計拍攝 713 張影像。

6. 相機：採用 UltraCam-Xp 數位相機如圖 2.6，該相機為目前國內最佳影像品質的高精度數位相機，焦距 10cm，每像元以 14bit 方式記錄資料，為一般 8bit 影像資訊之 64 倍，尤其在陰影與較低能見度之天氣時，具有較高之影像品質可供辨識。相機率定(Calibration)書如圖 2.7 所示。拍攝影像樣本如圖 2.8 所示。

- ✓ Panchromatic image size: 17310 * 11310 pixels
- ✓ CCD pixel size: 6 微米 * 6 微米
- ✓ Panchromatic 焦距: 100 公釐
- ✓ Panchromatic lense 光圈: f=1/5.6
- ✓ Color (multi-spectral capability): RGB & NIR
- ✓ Color image size: 5770 * 3770 pixels
- ✓ Color lens system 焦距: 33 公釐
- ✓ Color lense 光圈: f = 1/4.0
- ✓ 快門速度: 1/500 to 1/32
- ✓ 提供像移補償功能(FMC)，最大補償量 50 pixels
- ✓ 最快儲存影像速度(Maximum frame rate): 1 frame per 2 seconds
- ✓ Analog-to-digital conversion : 14 bits
- ✓ Radiometric resolution : >12 bit
- ✓ 影像儲存容量(Mission Data Recorders): 視資料儲存元件(DXp)之數量而定；每個元件容量約 4.2TB
- ✓ Image geometric accuracy: 約 ±2 微米

**圖 2.6 UltraCam-Xp 數位相機**

UltraCamXp, Serial Number UC-SXp-1-90618207

VEXCEL IMAGING GmbH
a Microsoft company

# Calibration Report

## Summary


| | |
|---|---|
| **Camera:** | **UltraCam Xp, S/N UC-SXp-1-90618207** |
| **Manufacturer:** | **Vexcel Imaging GmbH, A-8010 Graz, Austria** |
| **Date of Calibration:** | **Nov-10-2009** |
| **Date of Report:** | **Mar-31-2010** |
| **Camera Revision:** | **2.0** |
| **Revision of Report:** | **2.0** |

The following calibrations have been performed for the above mentioned digital aerial mapping camera:

- Geometric Calibration
- Verification of Lens Quality and Sensor Adjustment
- Radiometric Calibration
- Calibration of Defective Pixel Elements
- Shutter Calibration
- Sensor and Electronics Calibration

This equipment is operating fully within specification as defined by Vexcel Imaging GmbH.

Dr. Michael Gruber
Chief Scientist, Photogrammetry
Vexcel Imaging GmbH

Ing. Peter Prassl
Senior Calibration Engineer
Vexcel Imaging GmbH

Vexcel Imaging GmbH • Anzengrubergasse 8/4 • A-8010 Graz, Austria
Phone: +43-316-849-0660 • Fax: +43-316-849-0669 • www.ultracamx.com

Page 14 of 14

**圖 2.7 UltraCam-Xp 相機率定合格報告書**

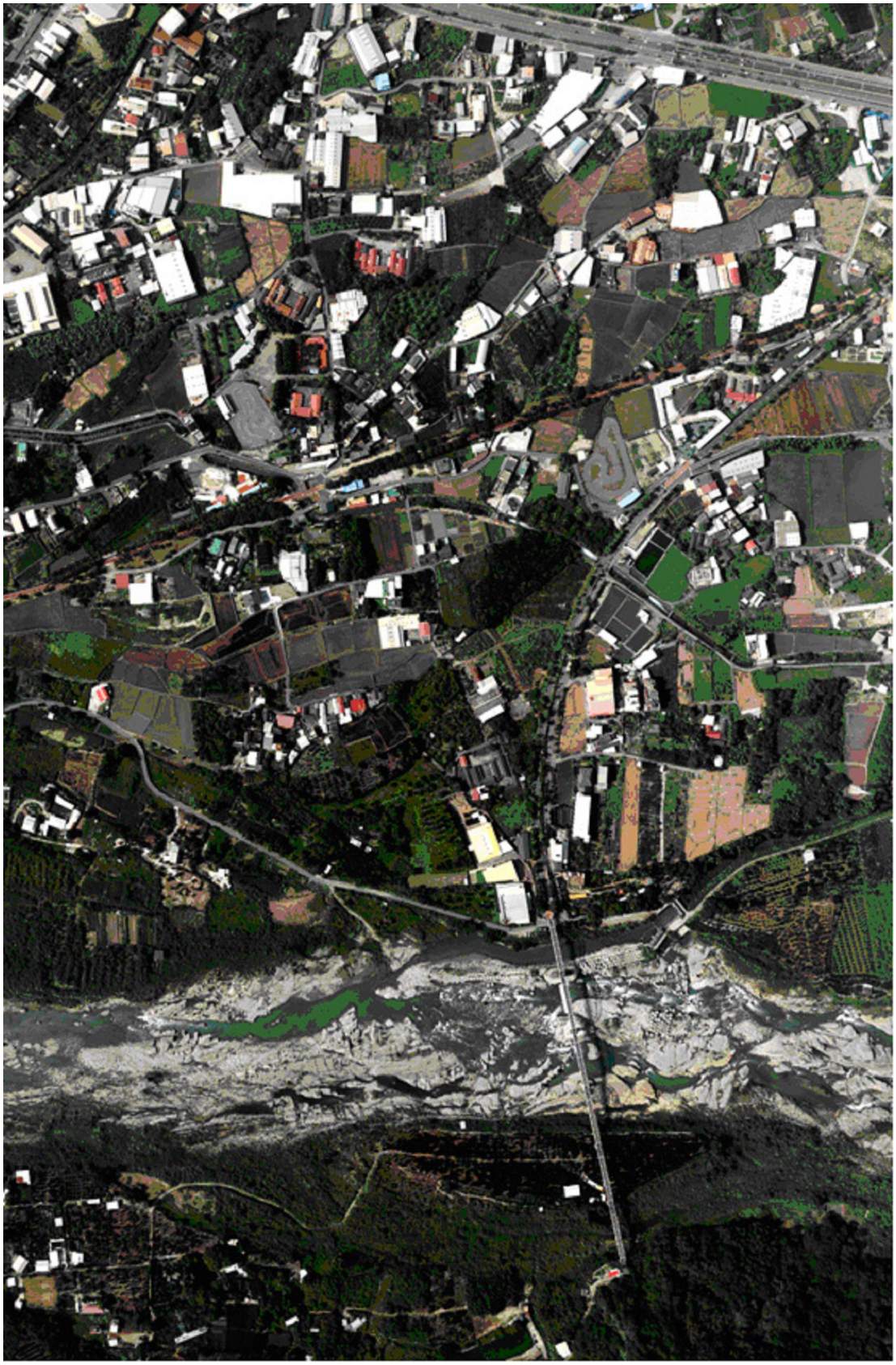


**圖 2.8 UltraCam-Xp 相機拍攝影像樣張**

## 2.3 空載雷射掃瞄

為獲取更佳品質之數值高程模型(DEM)資料，本案同時進行空載雷射掃瞄(Airbone LiDAR)來獲取河床高度資料。使用設備為國內自強公司所有 RIEGL LMS-Q680i 雷射掃瞄儀。

RIEGL 公司生產提供的 LMS-Q680i 長距離測距雷射掃瞄儀，使用先進且獨家的雷射技術：多時段雷射回波接收技術(MTA Multiple-Time-Around)以及數位全波型分析(digital full waveform analysis)，這兩項技術結合讓掃瞄任務可以在不同的飛行高度執行，足以應付複雜的地形掃瞄任務。LMS-Q680i 使用紅外線雷射飛行時間測距法，旋轉鏡面的設計可以提供絕對線性、單一方向且平行的掃瞄線。儀器本身十分堅固、輕巧、耗電量小，可以任意搭載在一般定翼機、直昇機甚至無人載具上執行掃瞄任務。圖 2.9 為空載雷射掃瞄之作業情形。LMS-Q680i 有以下特點：

1. 安全度高的 3R 雷射
2. 全波型分析及無限制的目標回波
3. MTA 多時段雷射回波接收技術
4. 雷射發射速率高達 400kHz
5. 每秒高達 266,000 點的測量速率
6. 超高 2cm 的測距精度
7. 每秒高達 200 條的掃瞄線
8. 掃瞄角度可以達有效值 60°FOV
9. 完全平行的掃瞄線
10. 體積小(480 x 212 x 230 mm)、重量輕(17.5 kg)、耗電量低(approx. 7 A @ 24 VDC)


**圖 2.9 空載雷射掃瞄之作業情形**

## 2.4 地面控制測量

地面控制測量分為平面控制及高程控制：

1. 平面控制系統：採用 TWD97 TM 二度分帶坐標系統。
2. 高程控制系統：採用基隆港平均海水面中潮位高程系統之內政部新公告之 TWVD2001 一等水準點。
3. 在本區中使用控制點合計 14 點，來源包含三點一等水準點，及 11 點新測航標。其中，本區航標點之高程坐標主要來自 GPS 高程求出之橢球高利用大地起伏化算之正高高程，符合 GPS 空三高程控制之需求，以此作為空三平差之控制依據。檢核點部份則選用上述適合

位置之航標點，精度上及數量上皆符合規範之要求，共計 3 點。如圖 2.10 所示。

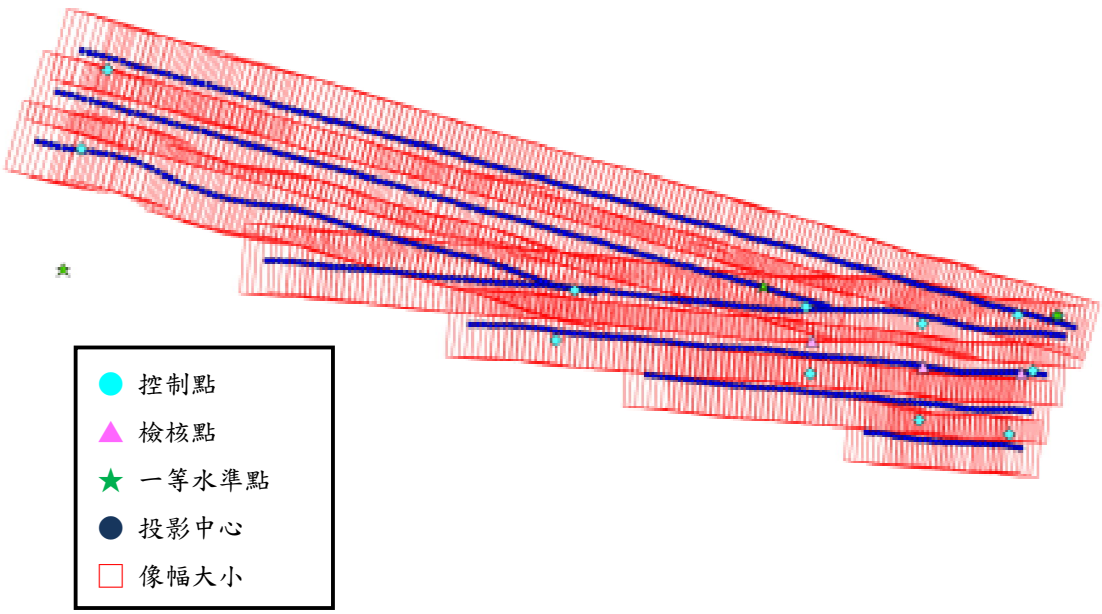



**圖 2.10 空中三角使用控制點、檢核點分布圖**

4. 於測區附近踏勘尋找後選用 3 點 GPS 衛星控制點，包括：石城國小（3081）、枋寮（B030）、清水農會倉庫（G002）。因以上 3 點皆為一等水準點與三等平面控制點共點，故本次各航測佈標點之平面坐標及高程值係以 GPS 施測求得。引測衛星控制點基本資料如表 2-1 所示。本次觀測展點圖如圖 2.11。

**表 2-1 引測衛星控制點基本資料**

| 點　名 | 點號 | 縱座標(N) | 橫座標(E) | 橢球高(h) | 正高(H) | 備　註 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 石城國小 | 3081 | 2686714.029 | 228987.123 | 309.318 | 288.664 | 一等水準點 |
| 枋寮 | B030 | 2687395.957 | 221935.443 | 238.746 | 218.711 | 一等水準點 |
| 清水農會倉庫 | G002 | 2687813.265 | 205124.486 | 24.786 | 5.868 | 一等水準點 |

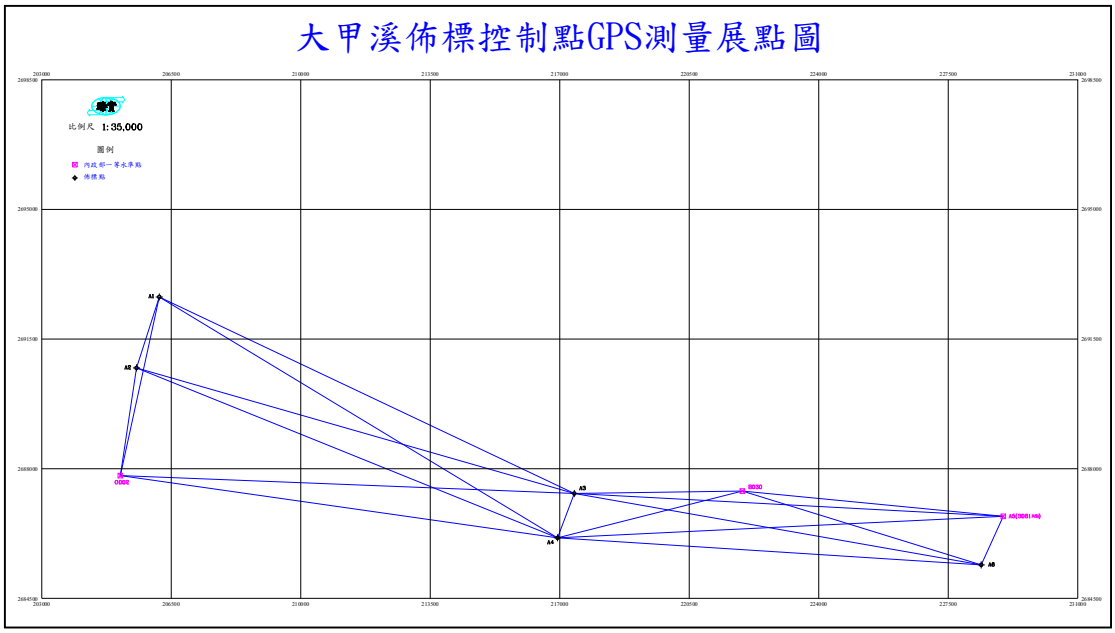



**圖 2.11 GPS 測量展點圖**

5. 本次 GPS 觀測每一測站同一時段接收儀同步觀測時間為 1 小時，接收儀觀測取樣間隔為 5 秒，接收儀觀測點位截取仰角為 15 度。

6. 將全部觀測訊號紀錄施行基線計算及平差計算作業，推求控制點坐標，作為本案控制之依據。

7. 本案平面控制點檢測規範以檢測相鄰 3 個點位間之夾角及邊長為原則，實測值與已知點坐標反算值相較差值，角度不得超過 20 秒，邊長(經必要改正後)不得超過 1/20000。經檢測結果各點之 TWD97 坐標系統均合於檢測標準。檢測成果如表 2-2。

**表2-2 平面已知點檢測成果表**

| 三　角　檢　測 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 角　度　檢　測　標　準：　20 秒 | | | | | |
| 測站 | 已知點反算角 | GPS 測算角 | 較差 | 檢測結果 | |
| G002 | 1°12′55.7″ | 1°12′55.6″ | 0.1″ | 合　格 | |
| B030 | 175°53′54.3″ | 175°53′54.8″ | -0.4″ | 合　格 | |
| 3081 | 2°53′10″ | 2°53′9.7″ | 0.3″ | 合　格 | |
| 距　離　檢　測　標　準：　1/20,000 | | | | | |
| 測站-測站 | 已知點反算邊長 | GPS 測算邊長 | 較差 | 精度 | |
| G002 至 B030 | 16816.136 | 16816.089 | 0.047 | 1/ 357790 | 合 格 |
| G002 至 3081 | 23887.942 | 23887.851 | 0.090 | 1/ 265422 | 合 格 |
| B030 至 3081 | 7084.576 | 7084.531 | 0.045 | 1/ 157435 | 合 格 |

8.完成已知點檢測後據將各已知點坐標以強制附合方式套合到各已知點進行 GPS 整體網形套合平差計算，以求得其餘航測控制點 TWD 97 坐標。各航測佈標點位成果如表 2-3 所示。

**表2-3 使用控制點與檢核點坐標**

| 控制點名稱 | 縱坐標(N) | 橫坐標(E) | 正高(h) | 控制點類別 |
|---|---|---|---|---|
| 3081 | 2686714 | 228987.1 | 288.664 | 控制點 |
| G002 | 2687813 | 205124.5 | 5.868 | 控制點 |
| B030 | 2687396 | 221935.4 | 218.711 | 控制點 |
| A1 | 2692637 | 206176.4 | 9.29 | 控制點 |
| A2 | 2690722 | 205560.6 | 12.8 | 控制點 |
| A3 | 2687331 | 217393.3 | 178.389 | 控制點 |
| A4 | 2686133 | 216939.1 | 150.71 | 控制點 |
| A6 | 2685404 | 228391 | 301.75 | 控制點 |
| ST01 | 2686928 | 222951.2 | 252.502 | 控制點 |
| ST02 | 2686113 | 223098.3 | 223.276 | 檢核點 |
| ST03 | 2685327 | 223053.4 | 226.009 | 控制點 |
| ST06 | 2686527 | 225732.5 | 260.655 | 控制點 |
| ST07 | 2685507 | 225755.9 | 263.054 | 檢核點 |

| 控制點名稱 | 縱坐標(N) | 橫坐標(E) | 正高(h) | 控制點類別 |
|---|---|---|---|---|
| ST08 | 2684197 | 225657.1 | 446.681 | 控制點 |
| ST09 | 2686743 | 228037.4 | 281.728 | 控制點 |
| ST10 | 2685349 | 228119.7 | 297.923 | 檢核點 |
| ST11 | 2683878 | 227818.5 | 481.86 | 控制點 |

## 2.5 空中三角測量

1.空中三角測量係採用數值影像工作站，量測模型連接點及全部設有航空標之控制點坐標。

2.本次航拍作業採用 UltraCam-Xp 航照數位相機搭配 GPS 及慣性姿態儀(IMU)，可直接取得空中三角測量所需的數值影像，除省去傳統類比式相機底片沖洗與掃描之工作時間外，也避免因底片曝光、沖洗、掃描中影像品質的流失，使空中三角測量時間較人工選點時縮短約 90%，大幅減少因作業造成錯誤及耗費時間。

3.每片的九個標準點位上至少量測二個點。每個位置上均必須與所有涵蓋有此點位的相鄰像片(無論同航帶或鄰航帶)相連(即至少有一點應相連，不同的鄰片可允許不同的點連結)。

4.採用光束法空中三角測量平差計算，需分 2 個過程進行計算，先以最小約制(或自由網)平差，以進行粗差偵測並得到觀測值精度的估值，其驗後觀測值之均方根誤差(RMSE)值在平地不得大於 10μm，在密林地不得大於 15μm。其次進行強制附合至控制點上平差，其驗後觀測值之均方根誤差值不得較上值增加 30%以上，否則應重新檢核地面控制點之正確性。

5.本案空三使用 INTERGRAPH ImageStation Automatic Triangulation (ISAT) 進行製作，其量測成果以自動空三匹配並透過自動剃除錯誤點位為此量測成果，總觀測數為 112147，多餘觀測數 176207，平均多餘觀測分量(r/n)為 0.63。自由網中誤差為 1.3 微米，強制網中誤差為 1.4 微米。強制網中誤差增量約為自由網之 1.07%，其空三平差成

果統計表如表 2-4。圖 2.12 為空三解算後之各像幅位置圖。圖 2.13 為空三解算成果之點位誤差示意圖。

6. 空三檢核點成果，檢核點部份採用本年度新設控制航標點，精度上及數量上皆符合規範之要求，共計 3 點。檢核結果如表 2-5。

**表2-4 空中三角平差成果統計表**

| 項次 | 項目 | | 自由網 | 強制網 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 航測觀測值統計 | 像幅數 | 709(4 張未使用) | |
| | | 總觀測數 | 112147 | |
| | | 總未知數 | 4254 | |
| | | 多餘觀測量 | 176207 | |
| | | 筆數 | 112147 | |
| 2 | 控制點統計 | RMS X | | 0.003m |
| | | RMS Y | | 0.003m |
| | | RMS Z | | 0.003m |
| 3 | GPS 投影中心中誤差 | RMS X | | 0.034m |
| | | RMS Y | | 0.024m |
| | | RMS Z | | 0.034m |
| 4 | 中誤差(σ)μm | | 1.3μm | 1.4μm(增量 1.07%) |

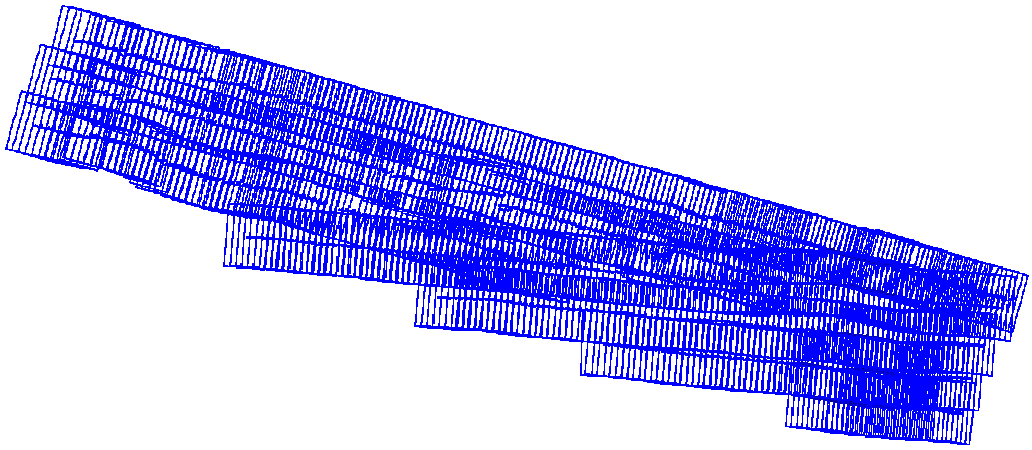
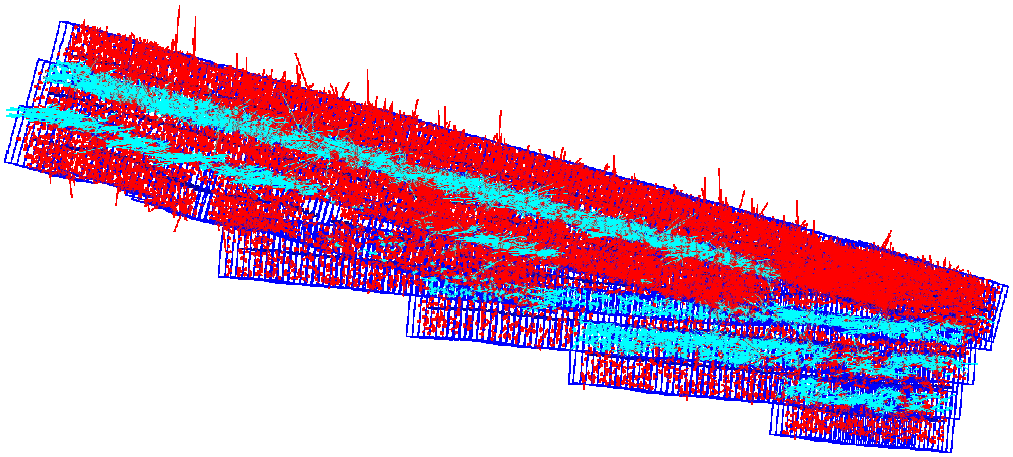


**圖 2.12 空三解算後之各像幅位置圖**



- Pass point - Tie point

**圖 2.13 空三解算成果之點位誤差示意圖**

**表2-5 空中三角檢核點檢查表**

| | 點號 | 空三解算坐標 | | | 檢核點地測坐標 | | | 差值(m) | | | RMSE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ID | PTID | adj_x | adj_y | adj_z | con_x | con_y | con_z | vx | vy | vz | xyz |
| 1 | ST02 | 223098.352 | 2686112.751 | 223.304 | 223098.332 | 2686112.780 | 223.276 | -0.029 | 0.028 | 0.045 | 0.020 |
| 2 | ST07 | 225755.897 | 2685506.656 | 263.055 | 225755.899 | 2685506.620 | 263.054 | 0.036 | 0.001 | 0.036 | 0.002 |
| 3 | ST10 | 228119.752 | 2685348.944 | 297.982 | 228119.726 | 2685348.956 | 297.923 | -0.012 | 0.059 | 0.065 | 0.026 |

## 2.6 數值高程模型(DEM)製作

1.使用儀器：數值高程模型量測工作應在航測數值影像工作站上進行。

2.量測方式：

(1)量測方式將以等高線與離散獨立高程點量測為主，且應加測地形特徵點（山頂、山窪、鞍部等）、特徵線（山脊線、山谷線）及地形斷線（地面傾斜角度劇烈變化處）等資料。DEM 資料間距為 5m×5m。

(2)為保證測區範圍內高程資料完整性，數值地型量測時，各向測圖範圍外兩側延伸量測 50 公尺（河川範圍超測 100 公尺或測至對岸堤防）。DEM 暈渲圖如圖 2.9。

(3)因受限於橋墩之河川地形限制，傳統測深儀與船隻作業不易，故行水區水深資料以人工地測之方式補測，係以人員手持 GPS 之 RTK 方式定位，並將測量結果併入 DEM 資料編輯。

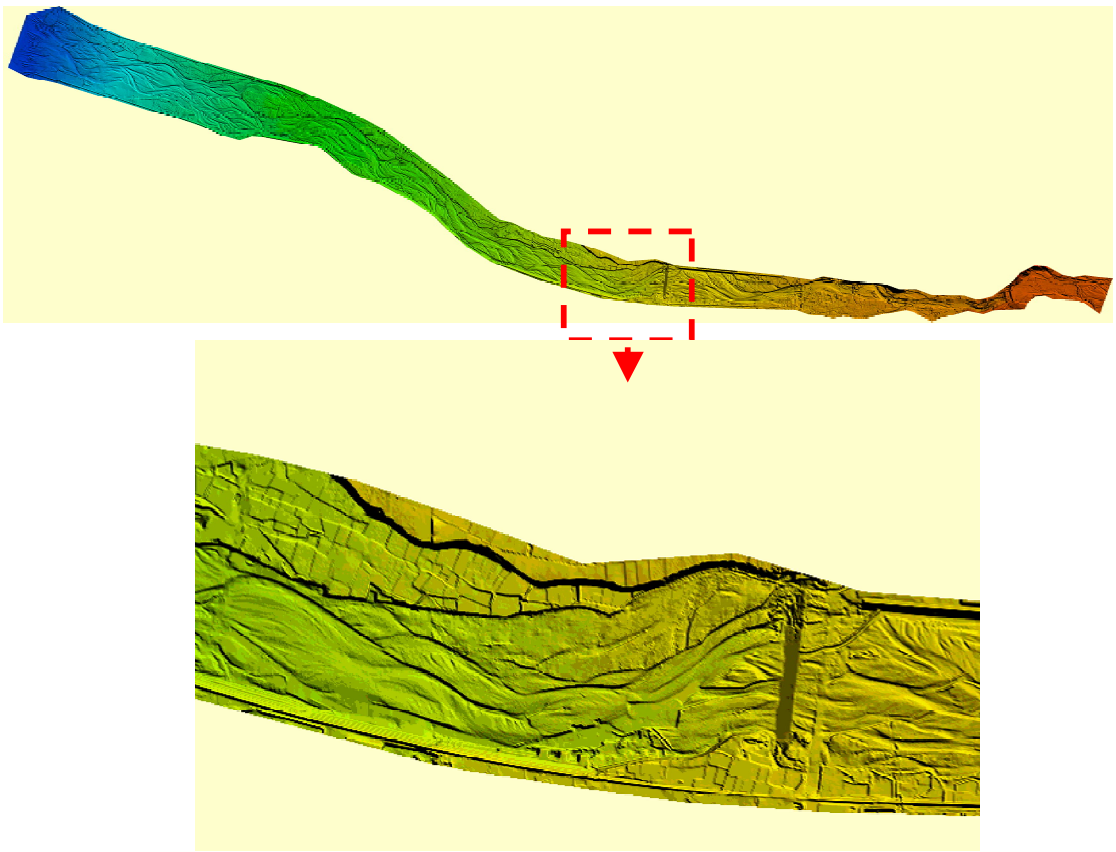


**圖 2.14 DEM 暈渲成果圖**

## 2.7 空載雷射掃瞄航線規劃

空載雷射掃瞄使用 RIEGL 公司生產提供之 LMS-Q680i 長距離測距雷射掃瞄儀，預計飛航高度約為 1600 公尺，並於前後範圍加入兩條正交航帶進行約制。而雷射掃瞄時利用所掛載之慣性導航系統相機進行

同步拍攝，該同軸數位相機為 IGI DigiCAM，可拍攝 3900 萬高解析度，其航線規劃如下圖 2.15 所示。

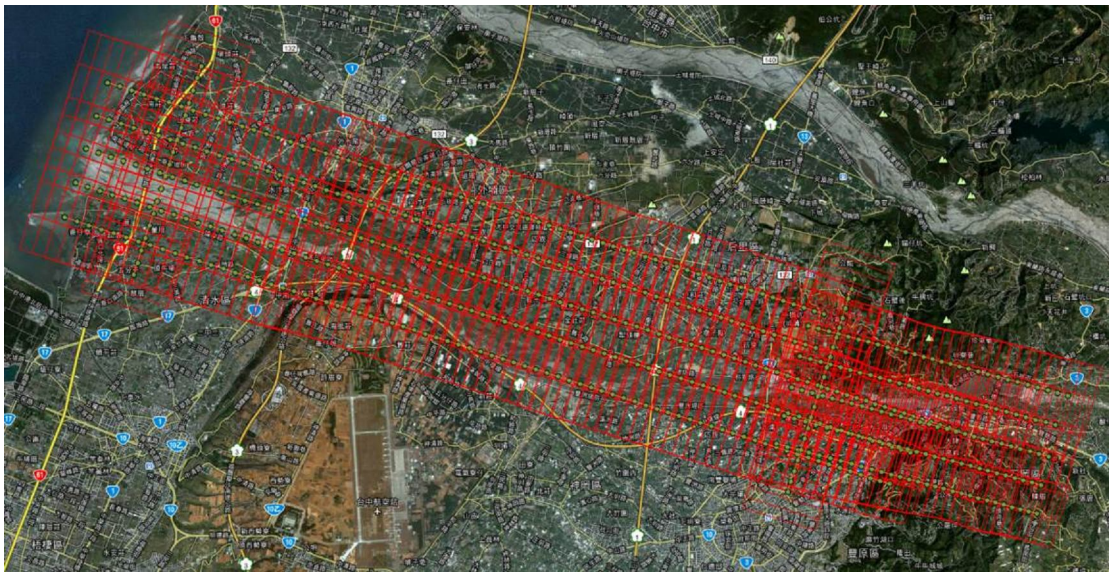


**圖 2.15 空載雷射掃瞄航線規劃圖**

1.空載雷射掃瞄作業範圍

本次空載雷射掃瞄共計 11 條掃瞄範圍，面積約為 126 平方公里，其範圍如圖 2.16 所示，並於第 10、11 航帶間加入兩條正交航帶進行約制。於高層控制部分，均使用一等水準點進行正高轉換，其成果均符合標準。

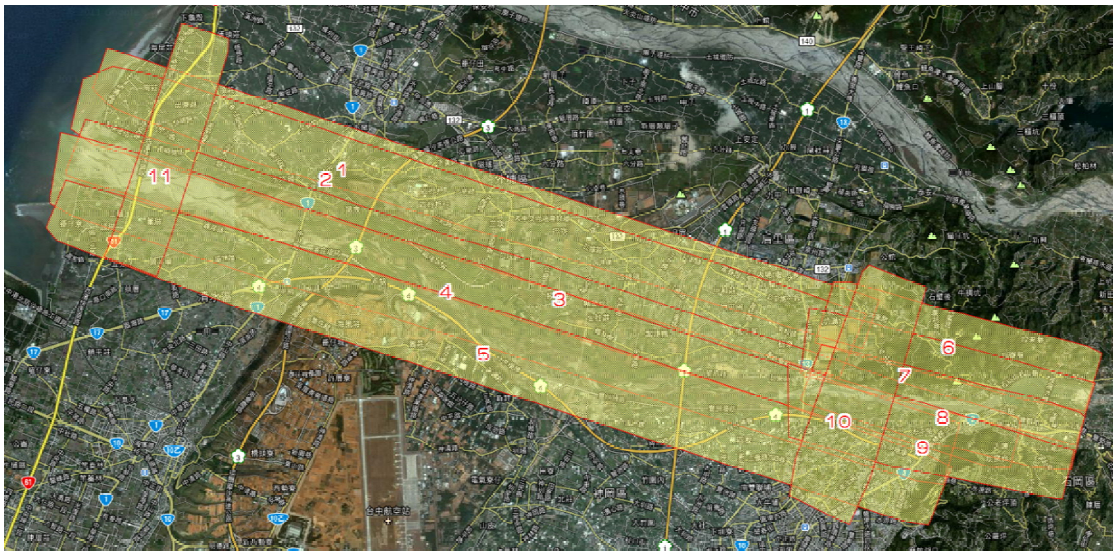



**圖 2.16 空載雷射掃瞄航帶分佈圖**

作業完成後需進行航帶平差，利用航帶間之覆蓋區進行 IMU 校正，其航帶平差後結果如圖 2.17 所示。圖 2.18 為大甲溪橋梁空載雷射掃瞄，圖 2.19 為地面雷射掃瞄結果。

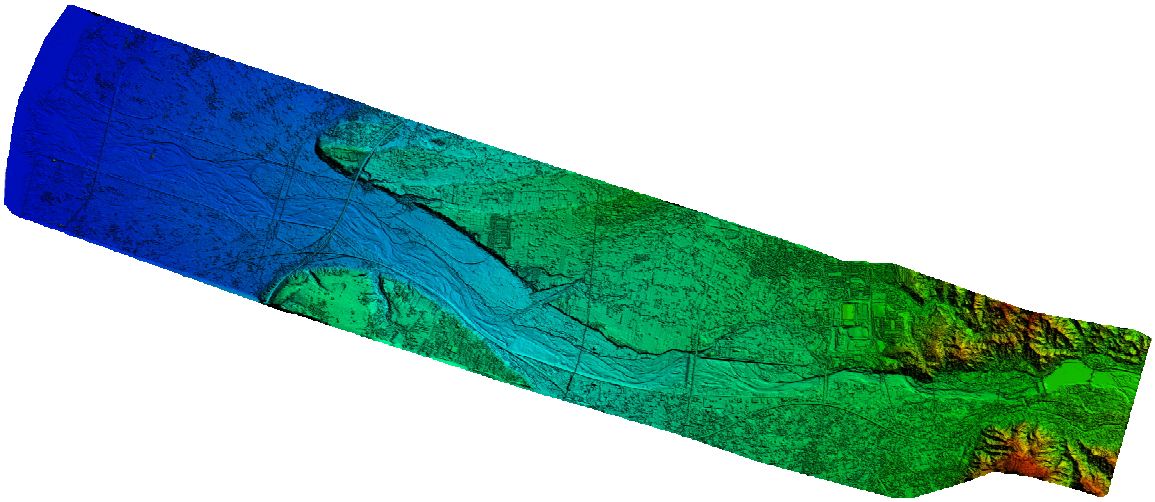


**圖 2.17 大甲溪空載雷射掃瞄 DEM 全圖**

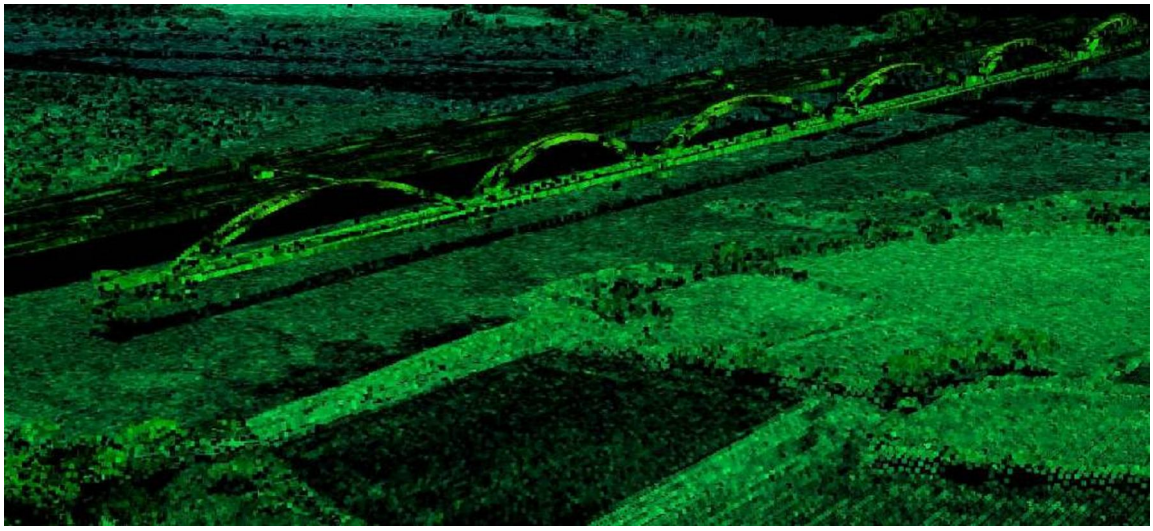


**圖 2.18 大甲溪橋梁空載雷射掃瞄**


**圖 2.19 大甲溪橋地面雷射掃瞄**

## 2.8 彩色正射影像製作

1. 使用航測數值影像工作站，配合數值地形模型資料，作為正射糾正之高程控制資料，將中心投影之航空像片，糾正成正射投影，消除像片上投影誤差，製作數位正射影像資料檔。使用之數值地形模型資料其網格間距為地面 5m 以內。

2. 數值正射影像以彩色影像表示，並進行無接縫鑲嵌(mosaic)及調整全區影像之色調、亮度一致。避免反光，保持柔和及清晰。

3. 鐵、公路及橋梁等對地圖判讀重要的建物，必須依其實際高度正射微分糾正，不應有高差移位的情形。

4. 數值正射影像資料檔以 TIFF 格式儲存，包含影像定位檔(.tfw)，並與地形圖圖檔相配合，以每幅圖 1 個檔案為原則。

5. 正射影像地面解析度比例尺一千分之一為優於 10 公分。

**圖 2.20 正射影像接合圖**

## 2.9 河床斷面圖製作

1. 河床斷面圖製作為採用 RTK GPS 以人工於行水區內進行水深量測，結合航測 DEM 資料內插所得各斷面資料編輯而得，共計施測 41 條斷面資料，如圖 2.21。

2. 各斷面皆分別製作斷面圖，如圖 2.22。

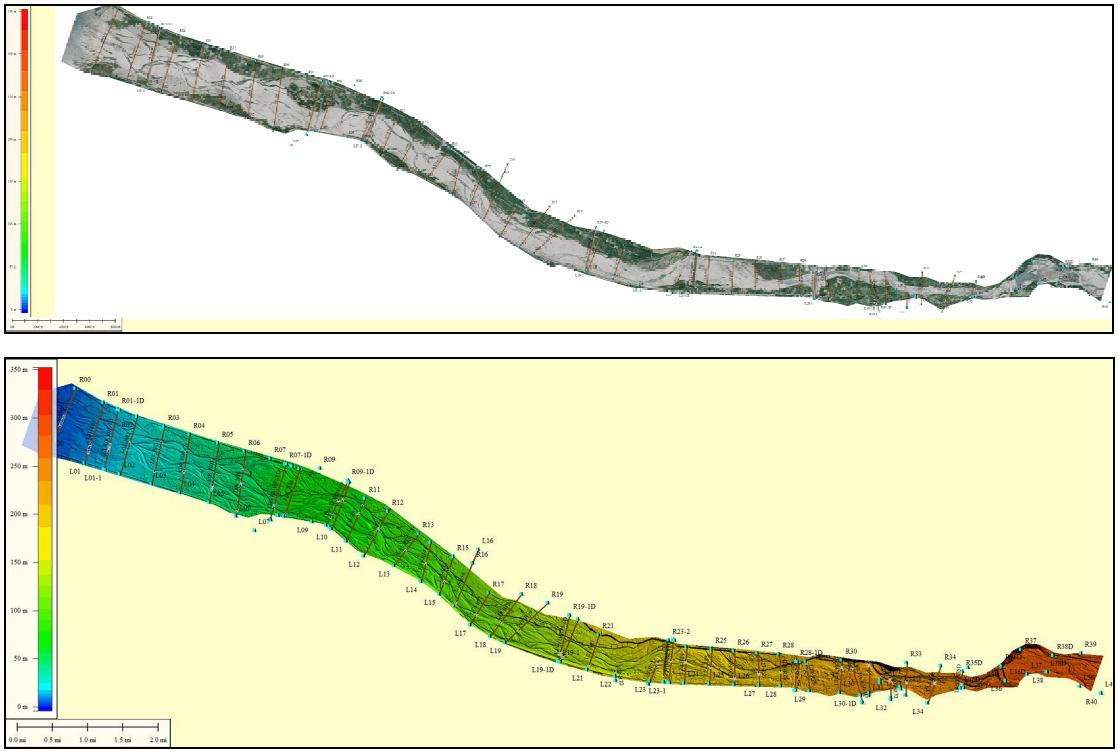


圖 2.21 河床斷面施測位置示意圖

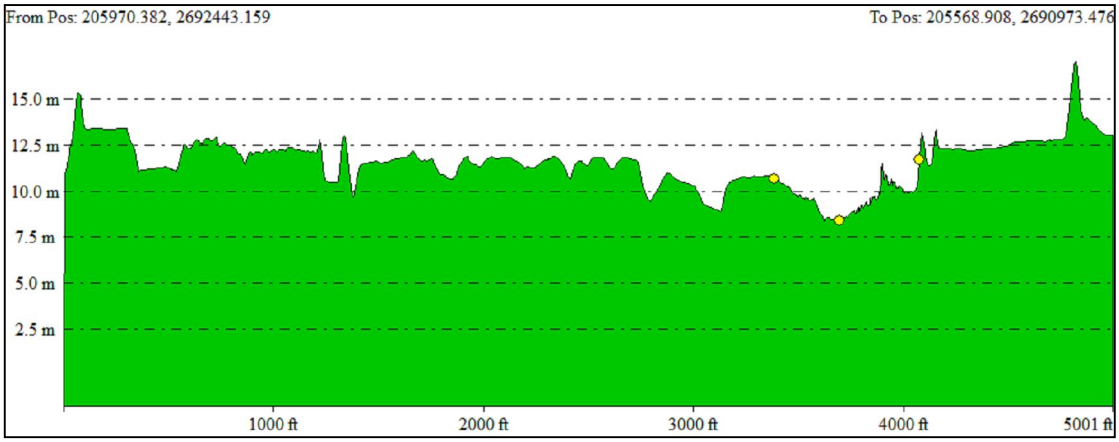



圖 2.22 河床斷面圖(節錄)

## 2.10 河道橋梁之動態三維模擬

橋梁建模採用 Google Sketchup 進行橋梁模型建置，三維模擬系統以 PilotGaea Scene Producer 進行三維模擬及建置。

**圖 2.23 橋梁之建模**

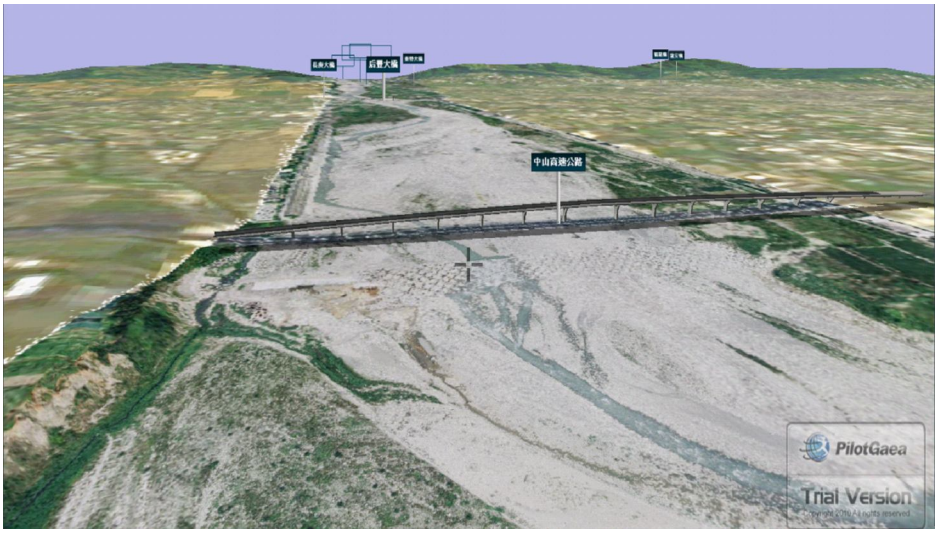



**圖 2.24 河道橋梁之動態三維模擬**

# 第三章　橋梁結構變位測量

## 3.1 前言

橋梁變位監測是對橋梁整體性能的監測，是用工程測量原理、技術和方法以及特種精密工程測量技術，對大橋主梁各控制斷面及索塔軸線的位移進行定期或即時監測，並繪編相應的位移影響線和影響面以監視各控制部位位移狀態。透過觀測數據，對橋梁變位的顯著性進行分析，從而為總體評估災害的承載能力、營運狀態和耐久能力，以及特殊氣候、交通條件下或橋梁運營情況嚴重異常時發出預警信號，為橋梁的維修、養護與管理決策提供依據和指導。

變位是自然界普遍存在的現象，它是指變位體在各種荷載作用下，其形狀、大小及位置在時間域和空間域的變化。就地學和工程領域來講，當變位量不超過一定範圍時不會造成危害；如果超過變位體所能承受的允許值，則可能引發嚴重的災難。自然界的變位危害很普遍，如地震、洪水、滑坡、地表沉陷、岩崩、火山爆發、潰壩、橋梁與建築物的倒塌等，都是典型的變位破壞現象。

保證橋梁建築物的安全是一個十分重要和現實的問題，國內外出現的一些重大橋梁事故無不印證了這一點。對於早期建設的橋梁，由於年代久遠、本身就存在品質問題或者使用過程中遠超設計負荷，很多橋梁結構也暴露出許多品質問題。橋梁重大事故的發生，一方面是人民群眾生命和國家財產的重大損失，同時也從反面以一種很沉重的方式體現了橋梁變位監測工作的重要性。由於災害的發生與變位有著極為密切的關係，因而，橋梁變位監測研究在國內外受到了廣泛的高度重視。人類社會的進步和國民經濟的發展，加快了橋梁工程建設的進程，並且對現代橋梁工程的規模、造型、難度提出了更高的要求，與此同時，變位監測的意義更加突出。橋梁結構變位監測的意義重點表現在兩個方面：首先是實用上的意義，主要是掌握橋梁結構的穩定性，為安全診斷提供必要的資訊，以便及時發現問題並且採取措施；

其次是科學上的意義，包括更好的理解變位的機理，驗證有關工程設計的理論，進行回饋設計以及建立有效的變位預報模型。

大型橋梁結構是高度超靜定的構築物，結構複雜，因此大型橋梁結構的變位監測是一件龐大而複雜的工程。對大型橋梁的變位監測手段有多種。常規的地面變位測量是獲取觀測資料的主要手段，採用測量儀器對所監測的物體上佈設的點位進行觀測，獲取變位值。而其中測量儀器對整個觀測的資料獲取的關鍵因素。近年來隨著科技的發展，測量儀器也在不斷進步，越來越自動化，智慧化，高精度化。使得資料的獲取方式也發生了很大改變。

在 20 世紀 80 年代以前，變位監測主要是採用常規地面測量技術以及某些特殊測量手段。常規的地面測量，是採用經緯儀、水準儀、測距儀、全站儀等常規測量設備測定點位的變位值。其優點是能夠提供變位體整體的變位狀態；適用於不同的變位測量精度要求、不同形式的變位體和不同的監測環境；可以提供絕對變位資訊。其缺點是外業工作量大，佈點受地形條件影響，不易實現自動化測量。特殊測量手段包括應變測量、準直測量和傾斜測量，它具有測量過程簡單、可測量變位體內部的變位、容易實現自動化測量等優點，但通常只提供局部的和相對的變位資訊。

橋梁的種類較多，主要以梁式橋、拱橋、懸索橋、斜張橋為主。橋梁結構在荷載和環境因素作用下所產生的變位可以分成兩類：一類變位能反映結構的整體正作狀況，如撓度、轉角、支座位移等，稱為整體變位。橋梁逐漸老化，表現最為明顯的是橋梁撓度變化。整體變位的能力能夠概括結構整個工作的全貌。因此，在一切觀測專案中，各種整體變位往往是最基本的。另一類變位能反映結構的局部工作狀況，如纖維變位、裂縫、鋼筋的滑動等，這稱為局部變位。最能表現老化(或缺陷)的特徵是裂縫，裂縫的部位、方向揭示守橋梁老化(或缺陷)的部位和性質。

橋梁變位觀測點的佈設，應滿足下列要求：

1. 橋墩的垂直位移變位觀測點，宜沿橋墩的縱橫軸線佈設在外邊緣，也可佈設在墩面上。每個橋墩的變位觀測點數，視橋墩大小佈設 1~4 點。

2. 梁體和構件的變位觀測點，宜佈設在其頂板上。每塊箱體或板塊，宜按左、中、右分別佈設三點，構件的點位宜佈設在其 1/4、1/2、3/4 處。懸臂法澆注或安裝梁體的變位觀測點，宜沿梁體縱向軸線或兩側邊緣佈設在每段梁體的前端和後端。支架法澆注梁體的變位觀測點，可沿梁體縱向軸線或兩側邊緣佈設在每個橋墩和墩間梁體的 1/2、1/4 處。裝配式拱架的變位觀測點可沿拱架縱向軸線佈設在每段拱架的兩端和拱架的 1/2 處。

3. 索塔垂直位移變位觀測點，宜佈設在索塔底部的四角；索塔傾斜變位觀測點，宜在索塔的頂部、中部和下部並沿索塔橫向軸線對稱佈設。

4. 橋面變位觀測點，應在橋墩(索塔)和墩間均勻佈設，點位間距以 10~50 米為宜。大型橋梁，應沿橋面的兩側佈點。

5. 橋梁兩岸邊坡變位觀測點，宜成排佈設在邊坡的頂部、中部和下部，點位間距以 10~20 米為宜。橋梁施工期的變位監測週期，應根據橋梁的類型、施工工序、設計要求等因素確定。橋梁運營期的變位監測，每年應觀測一次。也可在每年的夏季和冬季各觀測一次。當洪水、地震強颱風等自然災害發生時，應適當增加觀測次數。

## 3.2 橋梁靜態變位監測內容

### 3.2.1 橋梁結構的監測

#### 1. 橋梁下部結構的監測

橋梁下部結構包括橋墩、橋臺、橋塔和樁基礎，這都是橋梁結構的重要組成部分，它承擔著主部結構的自重和汽車、人群等活荷

載，並將這些荷載傳遞給地基。因此下部結構的工作狀奪對橋梁結構的安全、正常使用具有決定性的影響。橋梁主橋(塔)墩基礎的沉降監測還包括塔、墩台、地面處和其他各截面的水平位移和轉角。對斜張橋和懸索橋應觀測主塔塔頂變位(順橋向和橫橋向)，測定塔柱的變位元幅度大小和變位元規律。

地面是判斷橋梁基礎承載能力的重要因素，監測應儘量觀測樁基礎周圍的地面變位和開裂情況。

如橋墩施工期間產生的沉降有均勻和不向勻之分，後者的發生對橋梁潛在的破壞更明顯。它不僅能造成橋梁受力分佈的改變，還能引起橋梁的凹陷甚至坍塌；因此從施工開始即對其表實施沉降監測是有必要的。透過沉降監測來監視橋墩基礎在施工期加載過程及建成運行中的均勻或不均勻沉降狀態，結合其他資料對橋墩基礎變位情況及沉降態勢進行分析和預測，為大橋施工與運行決策提供科學的依據。

**2. 橋梁上部結構(主梁)的監測**

主梁是直接承受交通荷載的主要承重構件，主梁在運營過程中車輛及外界活荷載直接作用於主梁，主梁的內力、變位量會隨著活荷載的分佈及其大小的不斷變化產生相應的變化，使主梁產生垂直及水平方向的撓度變位；由於主梁各點的變化不均勻，因此橋梁在截面處產生轉角，從而使橋梁平面產生扭轉；對橋梁特別是柔性比較大的橋梁結構如斜張索橋和懸索橋還會產生明顯的振動，從而影響行車的安全性和舒適性。所以，橋梁上部結構測量監測的主要內容有：

(1)主梁垂直撓度變位觀測。

(2)主梁橫向水準位移觀測(橋軸線偏位觀測)。

(3)主梁縱向位移觀測。飛通過測量主橋主梁梁端與相鄰引橋梁端上固定點之間的距離變化來測定主梁縱向位移變化規律。

(4)對於斜拉橋和懸索橋，其塔柱在外力、日照、風力等因素的作用下會產生擺動。為研究塔柱在不受懸索拉力作用自然狀態下塔柱的擺動規律，即擺幅大小、擺動平衡位置與對應的時間，應在裸塔狀態下測量塔柱的位置，並為後續工程施工提供索塔的基礎資料。其相應的觀測內容為：塔柱在水平方向的扭轉變化及在垂直平面的撓曲變化。

### 3.2.2 橋梁位移監測內容

#### 1. 垂直位移監測內容

當前橋梁垂直位移監測的方法主要有幾何水準測量方法、三角高程方法以及 GPS 測量方法、靜力水準測量方法等。幾何水準測量方法是最常規的垂直位移監測測量方法，其操作簡單、精度高，資料處理方便，理論和技術都已經是非常的成熟。代表當前水準測量儀器最高水準的 Leica DNA03 數值水準儀，其典型精度為每公里往返測高差中誤差 0.3 mm。水準觀測的有關技術要求應符合下列規定：

(1)水準觀測的視線長度、前後視距差和視線高度應符合表 3-1 的規定。

**表3-1 水準觀測的視線長度、前後視距差和視線高(m)**

| 級別 | 視線長度 | 前後視距差 | 前後視距差累積 | 視線高度 |
|---|---|---|---|---|
| 特級 | ≤10 | ≤0.3 | ≤0.5 | ≥0.8 |
| 一級 | ≤30 | ≤0.7 | ≤1.0 | ≥0.5 |
| 二級 | ≤50 | ≤2.0 | ≤3.0 | ≥0.3 |
| 三級 | ≤75 | ≤5.0 | ≤8.0 | ≥0.2 |

註：1.表中的視線高度為下絲讀數；

2.當採用數位水準儀觀測時，最短視線長度不宜小於3m，最低水準視線高度不應低於0.6m。

(2)水準觀測的限差異應符合表 3-2 的規定。

**表3-2 水準觀測的限差(mm)**

| 級別 | 基輔分劃讀數之差 | 基輔分劃所測高差之差 | | 往返較差及附和環或環線閉合差 | 單程雙測站所測高差較差 | 檢測已知高程較差 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 特級 | 0.15 | 0.2 | | $\leq 0.1\sqrt{n}$ | $\leq 0.07\sqrt{n}$ | $\leq 0.15\sqrt{n}$ |
| 一級 | 0.3 | 0.5 | | $\leq 0.3\sqrt{n}$ | $\leq 0.2\sqrt{n}$ | $\leq 0.45\sqrt{n}$ |
| 二級 | 0.5 | 0.7 | | $\leq 1.0\sqrt{n}$ | $\leq 0.7\sqrt{n}$ | $\leq 1.5\sqrt{n}$ |
| 三級 | 光學測微法 | 1.0 | 1.5 | $\leq 3.0\sqrt{n}$ | $\leq 2.0\sqrt{n}$ | $\leq 4.5\sqrt{n}$ |
| | 中絲讀數法 | 2.0 | 3.0 | | | |

註：1.當採用數位水準儀觀測時，對同一尺面的兩次讀數差不設限差，兩次讀數所測高差的限差執行基輔分劃所測高差的限差；

2.表中$n$為測站數。

對用於水準觀測的儀器，i 角不得大於 10"；對用於一、二級水準觀測的儀器，i 角不得大於 15"；對用於三級水準觀測的儀器，i 角不得大於 20"。補償式自動安平水準儀的補償誤差絕對值不得大於 0.2"。

**2.橋面撓度計算方法：**

(1)撓度值 f d 應按下列公式計算：

$$f_d = \Delta S_{AE} - \frac{L_{AE}}{L_{AE} + L_{EB}}$$

$$\Delta S_{AE} = S_E - S_A$$

$$\Delta S_{AB} = S_B - S_A$$

式中，$S_A$ 、$S_B$ 為 $A$、$B$ 點的沉降量或位移量(mm)；$S_E$ 為 $E$ 點的沉降量或位移量(mm)，$E$ 點位於 $A$、$B$ 兩點之間；

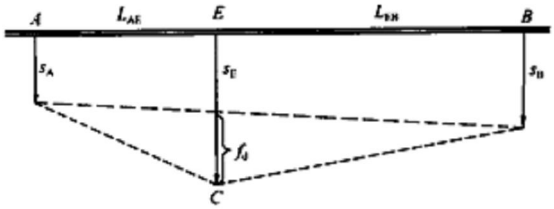



**圖 3.1.撓度計算**

$L$ 為 $A$、$E$ 之間的距離(m)；

$L_{EB}$ 為 $E$、$B$ 之間的距離(m)。

跨中撓度值 $f_{dc}$ 應按下列公式計算：

$$f_{dc} = \Delta S_{10} - \frac{1}{2}\Delta S_{12}$$
$$\Delta S_{10} = S_0 - S_1$$
$$\Delta S_{12} = S_2 - S_1 \quad \text{.....(3.1)}$$

式中， $S_0$ 為中點的沉降量或位移量(mm)；

$S_1$、$S_2$ 為兩個端點的沉降量或位移量(mm)。

(2)水平位移或傾斜監測內容

結構主體(橋墩)傾斜觀測應測定結構頂部觀測點相對於底部固定點或上層相對於下層觀測點的水平位移、傾斜度、傾斜方向及傾斜速率。

當從建築或構件的外部觀測主體傾斜時，宜選用經緯儀前方交會法觀測法：所選基線應與觀測點組成最佳構形，交會角宜在 60°～120°之間，觀測距離以清晰距離(80 公尺)為宜。

水平位移計算，可採用直接由兩週期觀測方向值之差解算坐標變化量的方向差交會法，亦可採用按每週期計算觀測點坐標值，再以坐標差計算水平位移的方法。

傾斜偏移量的計算：如圖3-2。

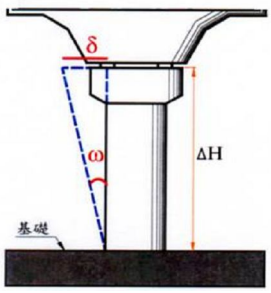



**圖 3.2 傾斜量計算**

$$平面位移量(\delta) = \Delta H \times (\omega''/3600) \times (\pi/180)$$

*ΔH：墩柱基礎頂端到帽梁頂端之距離*

*ω：墩柱傾斜角(單位：秒)*

## 3.3 橋梁結構變位觀測方法

隨著科學技術的進步以及對變位測量要求的不斷提高，變位測量技術也在不斷的發展。更先進的資料獲取設備的出現，電腦、無線通訊、空間技術以及地球科學等的快速發展，推動變位測量技術的不斷發展。不斷出現的變位測量資料獲取新技術以及他們自身的不斷發展完善是推動變位測量技術進步的巨大動力，如數位近景攝影測量、全球定位系統(GPS)、自動全(超)站儀、三維雷射掃描儀(3D Laser Scanner)、雷射跟蹤儀、Indoor GPS 等。此外，在大地測量領域還有甚長基線射電干涉測量(VLBI)、衛星雷射測距(SLR)、雷射測月技術(LLR)、衛星重力探測技術(衛星測高、衛星跟蹤衛星和衛星重力梯度測量)、合成孔徑干涉雷達(InSAR)等技術手段。

在工程建築物的變位自動化測量方面，自動全站儀正漸漸成為首選的自動化測量技術設備。

利用自動全站儀進行工程建築物的自動化變位測量，一般可根據實際情況採用兩種方式：一種是固定全自動持續測量方式；一種是移

動週期性網測量方式。一般以移動週期性網觀測方式為主。

移動式半自動變位監測系統的作業與傳統的觀測方法一樣，在各觀測橋墩上安置整平儀器，輸入測站點號，進行必要的測站設置，後視之後自動全站儀會按照預置在機內的觀測點順序、測回數、全自動地尋找目標，精確照準目標、記錄觀測資料，計算各種限差，做超限重測或等待人工干預等。完成一個測點的工作之後，人工將儀器搬到下一個施測的點上，重複上述的工作，直至所有外業工作完成。這種移動週期性網觀測模式相對於人工觀測方式可大大減輕觀測者的勞動強度，所獲得的成果精度更好；相對固定式全自動測量方式可節省對設備的投入。

經試驗和實際應用顯示，固定式全自動變位監測系統具有高效、全自動、準確、即時性強、結構簡單、操作簡便等特點，特別適用於小區域內的變位監測，可實現全自動的無人看守的形變監測。而移動式半自動變位監測系統則因其採用與傳統的變位監測網完全一致的觀測量，但比傳統方式具有高得多的效率。

## 3.4 角距監測方法

自動全站儀測量系統特別適用於工程領域，其特點是範圍不是特別大，精度很高，可靠性好，以 Leica TCA2003 自動全站儀為例，其測角精度可達 0.5″，測距精度為 1mm+1ppm。Sokkia 公司新推出的 NET 系列最高精度的全站儀更是號稱突破了 1mm+1ppm 測距精度，適用於工業檢測以及工程領域。

圖 3.3 所示為目前業界測量儀器生產商推出的最新型號的自動全站儀，分別是 Leica TCA2003，Trimble S8，Sokkia SRX，Topcon GPT9000A。

**圖 3.3 目前業界最新型號的自動全站儀**

實際運用過程中，自動全站儀技術受外界條件影響較大，而且當前全站儀跟蹤測量的速度還不能很好的滿足橋梁結構和其他高聳結構即時動態變位測量的要求，特別是不能滿足振動模態測量的要求。而 GPS-RTK 技術則在該領域具有很好的優勢。國外已有許多專家和學者採用 GPS-RTK 技術和自動全站儀技術進行了橋梁結構的三維即時動態變位測量。

## 3.5 近景攝影測量方法

用地面攝影測量方法測定工程建築物、構築物、滑坡體等的變位，就是在變位體周圍選擇穩定的點，在這些點上安置攝影機，並對變位體進行攝影，然後透過內業量測和資料處理得到變位體上目標點的二維或三維坐標，比較不同時刻目標點的坐標得到它們的位移。與其他變位觀測方法相比，用攝影測量方法進行變位觀測具有如下優點：

1. 可以同時測定變位體上任意點的變位；
2. 提供完全和暫態的三維空間資訊；
3. 大量減少野外的測量工作量；
4. 可以不需要接觸被測物體；
5. 利用攝影影像，可以觀測到變位體的狀態。

用地面攝影測量進行變位觀測有兩種基本方式：

1. 固定攝站的時間基線法(或稱準視差法)

2. 立體攝影測量法。

時間基線法是把兩個不同時刻所拍的像片作為立體像對，量測同一目標像點的左右和上下視差，這些視差乘以像片比例尺即為目標點的位移。這種方法僅能測定變位體的二維變位，不能獲得目標點沿攝影機主光軸方向的位移。如圖 3.4。

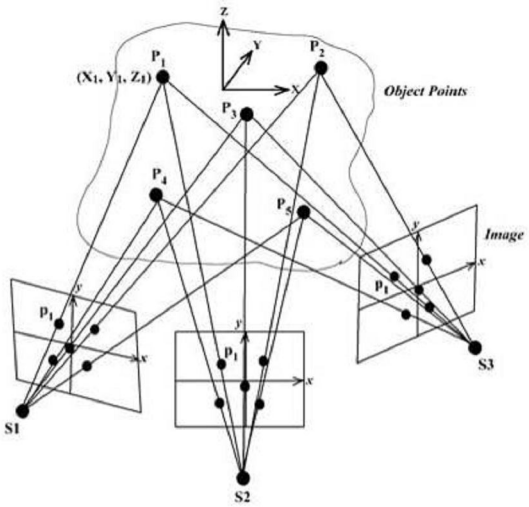



**圖 3.4 近景攝影測量原理**

圖 3.4 中 S 為攝影中心，S-XYZ 為物間坐標系，第一期觀測時，目標點 A 成像子 a，設 x 與 z 為像點 a 在像片坐標系中的坐標，f 為攝影機焦距。利用簡單的幾何關係可得出目標點 A 的坐標為：

$$X = \frac{Y}{f} \cdot x = M\ x$$

$$Z = \frac{Y}{f} \cdot z = M\ z \qquad \text{.....(3.2)}$$

式中，$Y$ 為 $A$ 點的 $Y$ 標； $\frac{Y}{f} = \frac{1}{M}$ 為像片的攝影比例尺。第二期觀

測時，目標點移動到 $A'$，成像於 $a'$，其像片坐標為 $x'$、$z'$。由下式得到目標點的位移量：

$$\Delta X = X' - X = \frac{Y}{f}x' - \frac{Y}{f}x = \frac{Y}{f}\Delta x = m\Delta x$$
$$\Delta Z = Z' - Z = \frac{Y}{f}z' - \frac{Y}{f}z = \frac{Y}{f}\Delta z = m\Delta z \qquad \text{.....(3.3)}$$

若變位觀測需求 3 個空間坐標軸上的位移值，就應採用地面立體攝影測量法。

地面立體攝影測量根據光軸與攝影基線的相對位置不同，其攝影方式分為正直攝影、等偏攝影、交會攝影和等傾攝影。正直攝影是像片對的攝影光軸水準相互平行，且都垂直於攝影基線方向。等偏攝影是像片對的攝影光軸水準相互平行，且與垂直於攝影基線的方向偏開一定的角度。交會攝影是像片對的兩攝影光軸水準並相交成一定的角度。等傾攝影是兩個攝影機的光輔相對於水準方向傾斜一個相同的傾角。在變位觀測中，應用最多的是交會攝影。

直接線性變換(DLT)是從坐標儀量測的坐標直接變換至物方空間坐標，從而省去了從坐標儀坐標轉換至像片坐標的中間步驟。這種方法最初用於處理非量測相機所攝的像片，現在也越來越多地用於處理量測相機所攝的像片。

設 為像點的坐標儀坐標，相應的目標點的物方空間坐標為 X、Y、Z，直接線性變換法表示為：

$$\overline{x} = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1}$$
$$\overline{z} = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \qquad \text{.....(3.4)}$$

式中，$L_1$~ $L_{11}$ 稱為 DLT 係數。當 DLT 係數已知時，在一個立體像對上，對於每一個目標點可以列出 4 個觀測誤差方程，用最小二乘法

解算目標點的三維坐標。當 DTL 係數未知時，需在物方空間中佈設控制點，用它們來解算這些係數。每一個控制點可以列出兩個方程，要解算 11 個未知係數，至少需要 6 個控制點。控制點應避免佈設在一個平面上，以保證這些係數的解算精度。

攝影測量所用的攝影機有量測相機和非量測相機兩種。量測相機是專門為近景攝影測量製造的攝影機，在像框上設有框標；非量測相機就是一般使用的攝影機。非量測相機易於適應各種攝影的條件，而且價廉，它的缺點是內方位元素一般不知，且常常不夠穩定，同時鏡頭畸變大。儘管非量測相機在結構上有上述這些不利的因素，但由於電腦和計算技術的發展，這些不利因素可以透過測量方案設計、相機率定(Camera Calibration)和嚴密的數學處理加以克服。目前用非量測相機進行攝影所能達到的精度已接近於用量測相機所能達到的精度水準。

近年來，隨著電腦技術的快速發展，攝影測量已進人了數位攝影測量時代。透過將攝影的像片轉換成數位(用數位來表示每一個像元的灰度值)或用特殊攝影機(CCD 相機)直接獲取被攝物體的"數位影像"，然後利用數位影像處理技術和數位影像匹配技術獲得共軛像點的坐標，進而計算對應物點的空間坐標。整個處理過程是由電腦完成的，因此也稱為"電腦視覺" ( Computer Vision)。這種處理方式可以是"離線"(事後處理)的，也可以是"線上"(即時處理)的。後者稱為即時地面攝影測量。地面攝影測量的這種進步將會在變位監測中發揮越來越大的作用。

數學及計算方法有效提升了近景攝影量測之精度，適當的攝影地點是近景攝影高精度量測之關鍵，但對大型之橋梁而言，選擇攝影地點是一個不易克服的困難問題。近年來，微型無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)發展快速，可達穩定飛行甚至定點滯空，為近景攝影解決了攝影地點選擇的問題。(圖 3.5)

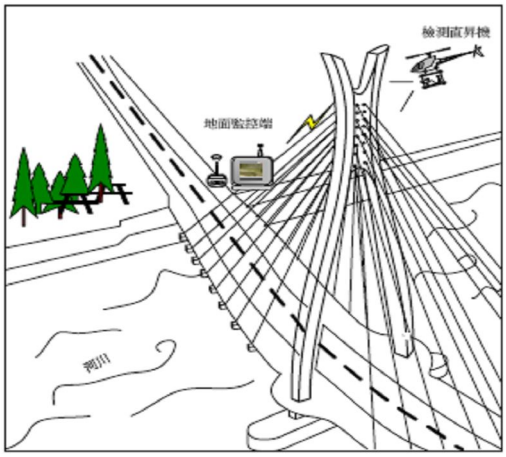



**圖 3.5 UAV 攝影測量**

# 第四章　橋梁監測之工作內容與成果

為進行橋梁結構體之垂直(下陷)及水平位移(傾斜)監測，首先對橋梁本體結構適當地選定及佈設監測點。本計畫以台 1 線大甲溪公路橋第 25 ~29 號共五個橋墩(北往南算)為研究對象，利用精密水準測量、嚴密角距觀測之前方交會、近景攝影及 3D 雷射掃瞄等四種技術分別針對上述監測點進行觀測定位，並以嚴密角距觀測之前方交會為對照組，進行其他觀測方法之定位精度分析。同時預計利用間隔六個月週周期之四次觀測成果進行橋梁結構體之變形分析。

## 4.1 監測點的選定與佈標

橋梁變形觀測點的選取與佈設，以下列原則為之：

1. 橋墩的垂直位移變形觀測點，宜沿橋墩的縱橫軸線佈設在外邊緣，也可佈設在墩面上。每個橋墩的變形觀測點數，視橋墩大小佈設 1~4 點。

2. 梁體和構件的變形觀測點，宜佈設在其頂板上。每塊箱體或板塊，宜按左、中、右分別佈設三點，構件的點位宜佈設在其 1/4、1/2、3/4 處。懸臂法澆注或安裝梁體的變形觀測點，宜沿梁體縱向軸線或兩側邊緣佈設在每段梁體的前端和後端。支架法澆注梁體的變形觀測點，可沿梁體縱向軸線或兩側邊緣佈設在每個橋墩和墩間梁體的 1/2、1/4 處。裝配式拱架的變形觀測點可沿拱架縱向軸線佈設在每段拱架的兩端和拱架的 1/2 處。

3. 索塔垂直位移變形觀測點，宜佈設在索塔底部的四角；索塔傾斜變形觀測點，宜在索塔的頂部、中部和下部並沿索塔橫向軸線對稱佈設。

4. 橋面變形觀測點，應在橋墩(索塔)和墩間均勻佈設，點位間距以 10~50 米為宜。大型橋梁，應沿橋面的兩側佈點。

5. 橋梁兩岸邊坡變形觀測點，宜成排佈設在邊坡的頂部、中部和下部，點位間距以 10~20 米為宜。橋梁施工期的變形監測週期，應根據橋梁的類型、施工工序、設計要求等因素確定。橋梁運營期的變形監測，每年應觀測一次。也可在每年的夏季和冬季各觀測一次。當洪水、地震強颱風等自然災害發生時，應適當增加觀測次數。

本計畫選定之監測點為：

(1)橋面上每一橋版面上下游二側各 5 點，總計 50 個點，如圖 4.1，實施精密水準測量，數據將用於進行垂直變形量-沉陷及撓度分析。

(2)每一橋墩於基礎上下游二側各佈設 1 點，總計 10 個點，如圖 4.2，另選擇橋墩頂端自然點(角落點)為附加之監測點，實施嚴密角距觀測之前方交會、近景攝影及 3D 雷射掃瞄等量測技術，數據將用於進行水平位移、傾斜量等分析。


**圖 4.1 橋板面監測點佈**

**圖 4.2 橋墩監測點佈設**

## 4.2 橋面版垂直變形(沉陷)量監測

### 4.2.1 點位佈設與觀測方法

本計畫於 橋面上每一橋版面上下游二側各 5 點，總計 50 個點，如圖 4.3，實施精密水準測量，數據將用於進行垂直變形量-沉陷及撓度分析。使用 Trimble DiNi12 電子式水準儀(圖 4.5)搭配條碼式水準尺實

施直接水準測量，以水利署大斷面樁【L7-1】(圖 4.4)作為高程控制已知點，觀測成果進行水準網形平差計算，以獲得監測點之高程值及精度分析。

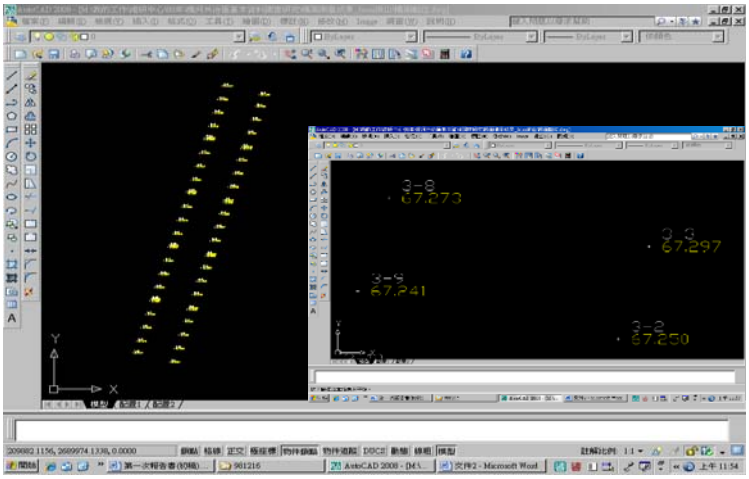



**圖 4.3 橋面監測點水準測量分佈圖**


**圖 4.4 水準測量控制點**

**圖 4.5 DiNi12 電子水準儀**

### 4.2.2 觀測成果計算與分析

**1. 觀測量統計**

| | |
|---|---|
| 觀測量數目 | 108 |
| 總點數 | 51 |
| 已知高程點個數 | 1 |
| 多餘觀測數 | 58 |
| 單位權中誤差 | 1.064mm√K　K 為公里 |

**2. 觀測量成果**

本觀測分為兩部分，首先於 99 年 5 月 20 日及 100 年 5 月 11 日進行二次精密水準觀測，觀測結果經平差計算後，各觀測點位之標準誤差均小於 1mm（最大值為 0.9mm）。另於 100 年 10 月 1 日及 100 年 10 月 15 日進行二次精密水準觀測，觀測結果經平差計算後，各觀測點位之標準誤差均小於 1mm（最大值為 0.7mm）。平差成果詳附錄一。

(1) 第一組觀測結果

No. of obs 觀測量數目=108

N no. of fixed points 已知高程點個數=1

Degree of freedom 多餘觀測數= 58

Modefied D.F. 多餘觀測數：58

Sum weighted squared residules $V^TPV$=.6571E+02(mm**2/km)

Standard deviation 單位權中誤差=1.064 ( mm * sqrt(1 km) )

(2) 第二組觀測結果

No. of obs 觀測量數目=108

N no. of fixed points 已知高程點個數=1

Degree of freedom 多餘觀測數= 58

Modefied D.F. 多餘觀測數：58

Sum weighted squared residules $V^TPV$=.6571E+02(mm**2/km)

Standard deviation 單位權中誤差=1.064 ( mm * sqrt(1 km) )

### 4.2.3 兩組觀測成果計算之較差分析

二組觀測結果之較差如表 4-1 所示。

**表4-1 水準測量第一組觀測結果之較差**

**大甲溪橋沉陷測量點位較差表**

| 點號 | 第一次 | 第二次 | ΔH | 點號 | 第一次 | 第二次 | ΔH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-1 | 67.03377 | 67.03397 | 0.00020 | 3-6 | 67.31819 | 67.31910 | 0.00091 |
| 1-2 | 67.08866 | 67.08864 | -0.00002 | 3-7 | 67.29457 | 67.29591 | 0.00134 |
| 1-3 | 67.13210 | 67.13254 | 0.00044 | 3-8 | 67.27198 | 67.27291 | 0.00093 |
| 1-4 | 67.13930 | 67.13849 | -0.00081 | 3-9 | 67.24005 | 67.24071 | 0.00066 |
| 1-5 | 67.14155 | 67.14245 | 0.00090 | 3-10 | 67.21533 | 67.21609 | 0.00076 |
| 1-6 | 67.12949 | 67.12991 | 0.00042 | 4-1 | 67.31807 | 67.31938 | 0.00131 |
| 1-7 | 67.08912 | 67.09034 | 0.00122 | 4-2 | 67.35189 | 67.35295 | 0.00106 |
| 1-8 | 67.09078 | 67.09184 | 0.00106 | 4-3 | 67.35880 | 67.35857 | 0.00023 |
| 1-9 | 67.07236 | 67.07237 | 0.00001 | 4-4 | 67.36014 | 67.36106 | 0.00092 |
| 1-10 | 67.04919 | 67.04882 | -0.00037 | 4-5 | 67.37732 | 67.37778 | 0.00046 |
| 2-1 | 67.13727 | 67.13810 | 0.00083 | 4-6 | 67.38877 | 67.38926 | 0.00049 |
| 2-2 | 67.17768 | 67.17789 | 0.00021 | 4-7 | 67.35550 | 67.35587 | 0.00037 |
| 2-3 | 67.21197 | 67.21336 | 0.00139 | 4-8 | 67.34546 | 67.34661 | 0.00115 |
| 2-4 | 67.20741 | 67.20911 | 0.00170 | 4-9 | 67.32216 | 67.32281 | 0.00065 |
| 2-5 | 67.21381 | 67.21525 | 0.00144 | 4-10 | 67.31783 | 67.31876 | 0.00093 |
| 2-6 | 67.21350 | 67.21511 | 0.00161 | 5-1 | 67.37710 | 67.37774 | 0.00064 |
| 2-7 | 67.19951 | 67.20024 | 0.00073 | 5-2 | 67.39894 | 67.40013 | 0.00119 |
| 2-8 | 67.20296 | 67.20429 | 0.00133 | 5-3 | 67.41557 | 67.41621 | 0.00064 |
| 2-9 | 67.17229 | 67.17281 | 0.00052 | 5-4 | 67.42859 | 67.42921 | 0.00062 |
| 2-10 | 67.13070 | 67.13190 | 0.00120 | 5-5 | 67.43263 | 67.43277 | 0.00014 |
| 3-1 | 67.23151 | 67.23325 | 0.00174 | 5-6 | 67.44407 | 67.44468 | 0.00061 |
| 3-2 | 67.24939 | 67.25040 | 0.00101 | 5-7 | 67.43475 | 67.43593 | 0.00118 |
| 3-3 | 67.29641 | 67.29747 | 0.00106 | 5-8 | 67.41777 | 67.41791 | 0.00014 |
| 3-4 | 67.30397 | 67.30537 | 0.00140 | 5-9 | 67.40029 | 67.40077 | 0.00048 |
| 3-5 | 67.31604 | 67.31773 | 0.00169 | 5-10 | 67.39250 | 67.39334 | 0.00084 |

由表 4-1 得知第一組及第二組沉陷測量點位較差成果，較差最小為點 1-9，其差值為 0.00001；較差最大為點 3-1 ，其差值為 0.00174m。

**表4-2 水準測量第二組觀測結果之較差**

**大甲溪橋沉陷測量點位較差表**

| 點號 | 第一次 | 第二次 | ΔH | 點號 | 第一次 | 第二次 | ΔH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-1 | 67.03631 | 67.03814 | 0.002 | 3-6 | 67.32266 | 67.32526 | 0.003 |
| 1-2 | 67.09044 | 67.09504 | 0.005 | 3-7 | 67.29839 | 67.30210 | 0.004 |
| 1-3 | 67.13207 | 67.13948 | 0.007 | 3-8 | 67.27548 | 67.27979 | 0.004 |
| 1-4 | 67.13974 | 67.14576 | 0.006 | 3-9 | 67.24375 | 67.24817 | 0.004 |
| 1-5 | 67.14551 | 67.14846 | 0.003 | 3-10 | 67.21980 | 67.22398 | 0.004 |
| 1-6 | 67.13348 | 67.13588 | 0.002 | 4-1 | 67.32176 | 67.32426 | 0.002 |
| 1-7 | 67.09390 | 67.09581 | 0.002 | 4-2 | 67.35387 | 67.35883 | 0.005 |
| 1-8 | 67.09514 | 67.09747 | 0.002 | 4-3 | 67.36054 | 67.36560 | 0.005 |
| 1-9 | 67.07532 | 67.07790 | 0.003 | 4-4 | 67.36320 | 67.36699 | 0.004 |
| 1-10 | 67.05119 | 67.05290 | 0.002 | 4-5 | 67.38094 | 67.38189 | 0.001 |
| 2-1 | 67.14047 | 67.14265 | 0.002 | 4-6 | 67.39286 | 67.39485 | 0.002 |
| 2-2 | 67.18016 | 67.18508 | 0.005 | 4-7 | 67.35974 | 67.36089 | 0.001 |
| 2-3 | 67.21418 | 67.21987 | 0.006 | 4-8 | 67.34946 | 67.35163 | 0.002 |
| 2-4 | 67.21072 | 67.21553 | 0.005 | 4-9 | 67.32573 | 67.32820 | 0.002 |
| 2-5 | 67.21956 | 67.22121 | 0.002 | 4-10 | 67.32241 | 67.32470 | 0.002 |
| 2-6 | 67.21797 | 67.22166 | 0.004 | 5-1 | 67.38029 | 67.38181 | 0.002 |
| 2-7 | 67.20272 | 67.20624 | 0.004 | 5-2 | 67.40179 | 67.40587 | 0.004 |
| 2-8 | 67.20704 | 67.21073 | 0.004 | 5-3 | 67.41761 | 67.42248 | 0.005 |
| 2-9 | 67.17510 | 67.17858 | 0.003 | 5-4 | 67.42990 | 67.43360 | 0.004 |
| 2-10 | 67.13483 | 67.13717 | 0.002 | 5-5 | 67.43374 | 67.43693 | 0.003 |
| 3-1 | 67.23733 | 67.23895 | 0.002 | 5-6 | 67.44557 | 67.44881 | 0.003 |
| 3-2 | 67.25351 | 67.25823 | 0.005 | 5-7 | 67.43799 | 67.43969 | 0.002 |
| 3-3 | 67.30015 | 67.30484 | 0.005 | 5-8 | 67.42178 | 67.42311 | 0.001 |
| 3-4 | 67.30648 | 67.31273 | 0.006 | 5-9 | 67.40371 | 67.40489 | 0.001 |
| 3-5 | 67.32065 | 67.32316 | 0.003 | 5-10 | 67.39643 | 67.39803 | 0.002 |

由表 4-2 得知第一次及第二次沉陷測量點位較差成果，沉陷點 1-3 較差最大為 0.007m，較差最小為沉陷點 4-5 差值 0.001m，平均為 0.003m。

## 4.3 橋墩監測點觀測

本研究選擇了台一線大甲溪橋。台一線大甲溪橋位於台一線 155+848 公里處，連接大甲區與清水區，橋長 1350 公尺，橋墩數 32 墩，橋墩高 7m，沉箱基礎深 18m，行水區在 P19~P29 間，深槽區在 P25~P30 間，行水區基礎裸露約 3~4m。圖 4.6 為實驗區現場圖。

**圖 4.6 實驗區現場圖**

使用 Trimble 5600 全測站經緯儀進行觀測，其基本規格如下：

| 全測站經緯儀(Trimble 5600) | |
|---|---|
| 角度精度 | 1” |
| 角度讀取值 | 1” |
| 距離精度 | ±(3mm+2ppm) |
| 測距長度(單稜鏡) | 2500m |
| 望遠鏡放大倍數 | 30X |
| 孔徑 | 40mm |
| 最短聚焦範圍 | 1.5m~∞ |
| 重量 | 5.15 kg |
| 電子雙軸水準器 | 0.3” |
| 光學對點器 | 內置 |

### 4.3.1 GPS 之觀測點(控制點)測量

大甲溪水量枯豐懸殊，故在枯水期時可在河床上佈設測站點(加密控制點)，本實驗在堤防上佈設固定點四點(U29-1、U29-2、U29-3、U29-4)，在河床上佈設測站點四點(T251、T261、T281、T291)。使用南端橋頭 L701 及 L71D 為控制點。

以靜態 GPS 觀測平差求得堤防上四點固定點測站點坐標及中誤差。圖 4.7 為 GPS 觀測網點位分佈圖，表 4-3 為以 GPS 求得堤防上四點之坐標及標準差。表 4-4 為以 GPS 求得堤防上四點之坐標及標準差。

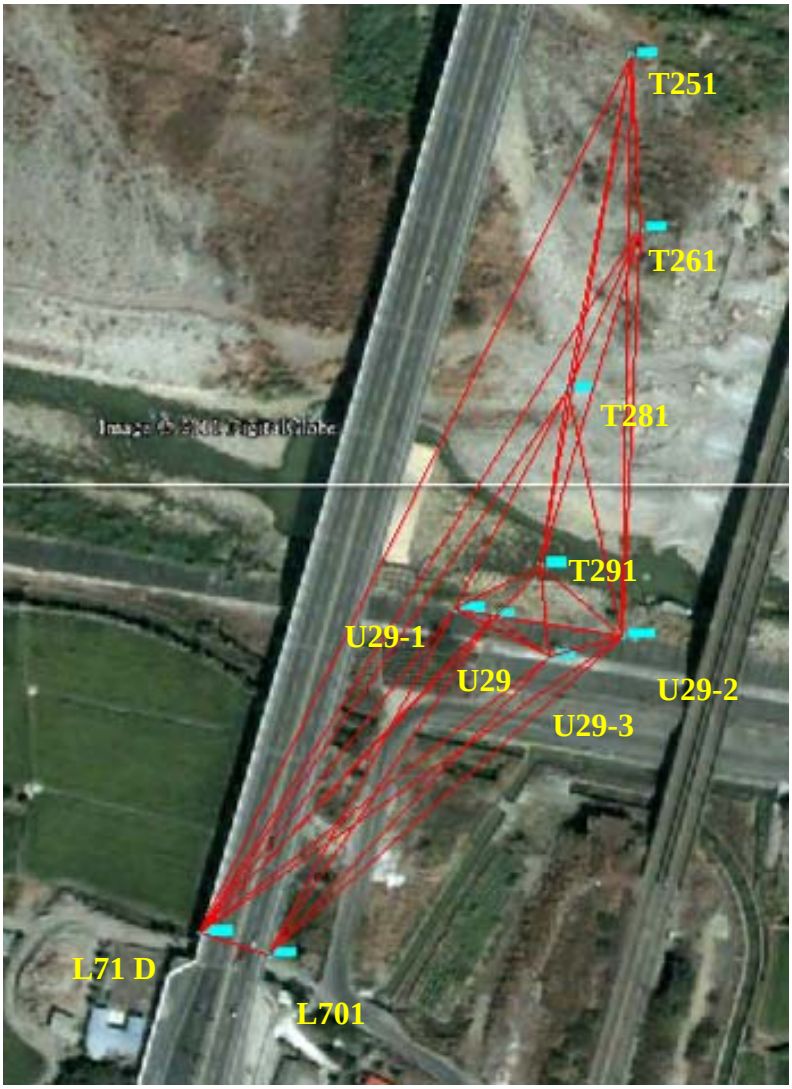



**圖 4.7 為 GPS 觀測網點位分佈圖**

**表4-3 以GPS求得堤防上四點之坐標及標準差 (TWD97)**

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差(m) | XE 坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| U29 | 2689857.503 | 0.004 | 209896.849 | 0.006 |
| U29-1 | 2689859.774 | 0.004 | 209882.613 | 0.006 |
| U29-2 | 2689850.321 | 0.006 | 209943.297 | 0.006 |
| U29-3 | 2689842.963 | 0.005 | 209916.932 | 0.006 |

**表4-4 以GPS求得河床上四點之坐標及標準差 (TWD97)**

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差 (m) | XE 坐標(m) | 標準差 (m) |
|---|---|---|---|---|
| T291 | 2689875.879 | 0.001 | 209913.943 | 0.001 |
| T281 | 2689939.234 | 0.001 | 209923.552 | 0.001 |
| T261 | 2689996.868 | 0.001 | 209949.452 | 0.000 |
| T251 | 2690059.832 | 0.001 | 209946.048 | 0.001 |

需驗證 GPS 控制點對於橋梁監測上之使用，故於 100 年 9 月再進行一次 GPS 觀測，其觀測結果如表 4-5 為以 GPS 求得堤防上四點之坐標及標準差，表 4-6 為以 GPS 求得河床上四點之坐標及標準差。由兩次觀測結果得知兩次 GPS 觀測之較差於 N 方向最大為 0.005m，E 方向為 0.008m，如表 4-7 所示。觀測數據詳見附錄二。

**表4-5 以GPS求得堤防上四點之坐標及標準差 (TWD97)**

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差(m) | XE 坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| U29 | 2689857.498 | 0.0001 | 209896.850 | 0.0001 |
| U29-1 | 2689859.771 | 0.0001 | 209882.621 | 0.0001 |
| U29-2 | 2689850.319 | 0.0001 | 209943.303 | 0.0001 |
| U29-3 | 2689842.957 | 0.0001 | 209916.938 | 0.0001 |

**表4-6 以GPS求得河床上四點之坐標及標準差 (TWD97)**

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差 (m) | XE 坐標(m) | 標準差 (m) |
|---|---|---|---|---|
| T29 | 2689875.373 | 0.0001 | 209914.743 | 0.0001 |
| T28 | 2689939.280 | 0.0001 | 209923.724 | 0.0001 |
| T26 | 2689993.178 | 0.0001 | 209938.142 | 0.0001 |
| T25 | 2690043.036 | 0.0001 | 209944.266 | 0.0001 |

**表4-7 兩次堤防上四點GPS觀測較差**

| 點 名 | YN 較差(m) | XE 較差(m) |
|---|---|---|
| U29 | 0.005 | -0.001 |
| U29-1 | 0.003 | -0.008 |
| U29-2 | 0.002 | -0.006 |
| U29-3 | 0.006 | -0.006 |

### 4.3.2 全站儀對監測點之測量

利用堤防上四個觀測點及河床上四個觀測點，以全站儀前方交會法分別對橋墩上之佈標點(監測點)進行觀測，並以整體坐標平差法完成監測點之坐標解算與精度分析。圖 4.8 為觀測方法之示意圖。

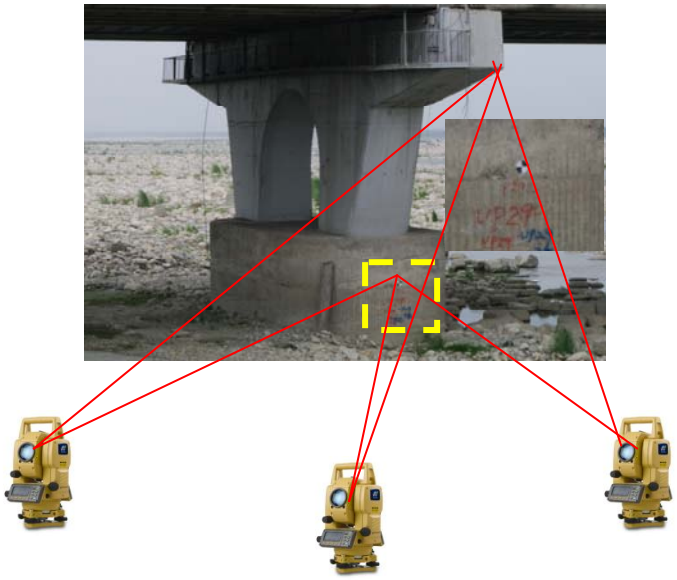


**圖 4.8 全站儀觀測方法之示意圖**

表 4-8 及表 4-9 分別為使用第一次 GPS 觀測資料對 P25~P29 五個橋墩佈標點(監測點)觀測及整體坐標平差計算之結果，表 4-10 為使用第二次 GPS 觀測資料段 P25~P29 五個橋墩佈標點(監測點)觀測及整體坐標平差計算之結果。表 4-11 及表 4-12 分別為二次觀測之佈標點坐標較差表。觀測數據計算詳見附錄三。

**表4-8 佈標點(監測點)坐標及中誤差(第一次)**

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差(m) | XE 坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| P29 | 2689891.991 | 0.0017 | 209860.771 | 0.0025 |
| P28 | 2689930.581 | 0.0001 | 209871.630 | 0.0002 |
| P27 | 2689967.276 | 0.0014 | 209881.762 | 0.0018 |
| P26 | 2690006.589 | 0.0007 | 209892.938 | 0.0008 |
| P25 | 2690044.376 | 0.0009 | 209903.239 | 0.0013 |

**表4-9 佈標點(監測點)坐標及中誤差(第二次)**

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差(m) | XE 坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| P29 | 2689891.982 | 0.0003 | 209860.771 | 0.0004 |
| P28 | 2689930.577 | 0.0006 | 209871.633 | 0.0008 |
| P27 | 2689967.271 | 0.0025 | 209881.764 | 0.0034 |
| P26 | 2690006.585 | 0.0008 | 209892.939 | 0.0010 |
| P25 | 2690044.372 | 0.0014 | 209903.240 | 0.0020 |

**表4-10 佈標點(監測點)坐標及中誤差(第三次)**

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差(m) | XE 坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| P29 | 2689891.982 | 0.0009 | 209860.772 | 0.0016 |
| P28 | 2689930.577 | 0.0011 | 209871.633 | 0.0012 |
| P27 | 2689967.270 | 0.0002 | 209881.763 | 0.0003 |
| P26 | 2690006.585 | 0.0003 | 209892.941 | 0.0006 |
| P25 | 2690044.371 | 0.0017 | 209903.239 | 0.0022 |

**表4-11 佈標點(監測點)第一、二次觀測之佈標點坐標較差**

| 點號 | 第一次 | | 第二次 | | ΔN(m) | ΔE(m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NY(m) | EX(m) | NY(m) | EX(m) | | |
| P29 | 2689891.991 | 209860.771 | 2689891.982 | 209860.771 | 0.009 | 0.000 |
| P28 | 2689930.581 | 209871.630 | 2689930.577 | 209871.633 | 0.004 | 0.003 |
| P27 | 2689967.276 | 209881.762 | 2689967.271 | 209881.764 | 0.005 | 0.002 |
| P26 | 2690006.589 | 209892.938 | 2690006.585 | 209892.939 | 0.004 | 0.001 |
| P25 | 2690044.376 | 209903.239 | 2690044.372 | 209903.240 | 0.004 | 0.001 |

**表4-12 佈標點(監測點)第一、三次觀測之佈標點坐標較差**

| 點號 | 第一次 | | 第三次 | | ΔN(m) | ΔE(m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NY(m) | EX(m) | NY(m) | EX(m) | | |
| P29 | 2689891.991 | 209860.771 | 2689891.982 | 209860.772 | 0.009 | 0.001 |
| P28 | 2689930.581 | 209871.630 | 2689930.577 | 209871.633 | 0.004 | 0.003 |
| P27 | 2689967.276 | 209881.762 | 2689967.27 | 209881.763 | 0.006 | 0.001 |
| P26 | 2690006.589 | 209892.938 | 2690006.585 | 209892.941 | 0.004 | 0.003 |
| P25 | 2690044.376 | 209903.239 | 2690044.371 | 209903.239 | 0.005 | 0 |

由表 4-11 及表 4-12 共三次觀測之較差，其最大差異為 9mm，平均約為 3.5mm，顯示三個時段之觀測並無顯著性的差異，GPS 也說明對控制點的加密觀測全站儀之觀測精度相當良好。

若河床觀測點(控制點)採用全站儀以後方交會得之，則因點位距離控制點之差異，距離越遠，其點位精度愈差。表 4-13 為以全站儀後方交會直接求得河床上四點之坐標後及其標準差。表 4-14 使用表 4-13 觀測點進行橋墩監測點二次觀測後之坐標較差。

**表4-13 以全站儀後方交會直接求得河床上四點之坐標及其標準差**

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差(m) | XE 坐標(m) | 標準差 (m) |
|---|---|---|---|---|
| T292 | 2689886.644 | 0.0002 | 209932.746 | 0.0003 |
| T282 | 2689946.383 | 0.0016 | 209929.258 | 0.0085 |
| T262 | 2690004.221 | 0.0070 | 209951.242 | 0.0290 |
| T252 | 2690061.852 | 0.0125 | 209947.024 | 0.0758 |

**表4-14 監測點二次觀測之佈標點坐標較差**

| 點號 | 第一次 | | 第二次 | | ΔN(m) | ΔE(m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NY(m) | EX(m) | NY(m) | EX(m) | | |
| P29 | 2689891.993 | 209860.820 | 2689891.990 | 209860.821 | 0.003 | 0.001 |
| P28 | 2689930.579 | 209871.686 | 2689930.581 | 209871.689 | 0.002 | 0.003 |
| P27 | 2689967.243 | 209881.859 | 2689967.237 | 209881.895 | 0.006 | 0.036 |
| P26 | 2690006.560 | 209892.874 | 2690006.537 | 209892.832 | 0.023 | 0.042 |
| P25 | 2690044.462 | 209903.350 | 2690044.373 | 209903.074 | 0.089 | 0.276 |

表 4-13 表 4-14 顯示，由後方交會法求得之測站點座標離堤防愈遠夾角愈小其成果愈差，最大中誤差達到 0.0758m，對監測點較差最大差達到 0.276m，。因此，對加密控制點之觀測應以 GPS 為宜，方能確保觀測點及監測點之精度。

## 4.4 近景攝影測量

本研究以近景軟體 iWitness Pro 並搭配 Nikon D2XS 數位單眼相機(有效像素：4288x2848 像素)，搭配定焦鏡頭來進行。表 4-15 為數位相機相關規格(資料來源：Nikon 官網)

**表4-15數位相3相關資訊**

| 單眼數位相機 (Nikon D2XS) | | |
|---|---|---|
| 感光元件說明 | 有效 1240 萬像素 CMOS | |
| 感光元件尺寸 | 23.6 x 15.8 mm | |
| 影像大小 | 4288x2848 | |
| ISO 感光度 | Auto ISO (Up to ISO 800, custom max ISO and min shutter speed *)<br>ISO 100 - 800<br>1/3, 1/2 or 1.0 EV steps<br>HI-0.3 (ISO 1000) *<br>HI-0.5 (ISO 1100) *<br>HI-0.7 (ISO 1250) *<br>HI-1 (ISO 1600)<br>HI-2 (ISO 3200) | |
| 儲存系統 | NEF (12-bit RAW)<br>NEF + JPEG<br>JPEG (EXIF 2.2)<br>TIFF (RGB) |  |
| 儲存媒體 | CF | |
| 傳輸介面 | USB 2.0 | |

(資料來源：Nikon 官網)

### 4.4.1 相機率定

相機率定目的在求取相機之內方位參數，包括相機焦距 f 及影像中心與像主點之偏移量(x0，y0)及透鏡畸變(Lens Distortion)參數，用以修正量測之像點坐標，提高量測之精確度。

率定標拍攝為相機率定之首要步驟，率定標紙張大小隨相機焦距各異，且率定標需攤平貼附於平整牆面上，以增加影像匹配之準確度。率定標拍攝主要分成正面、右側、左側、上側及下側拍攝。(圖 4.9)

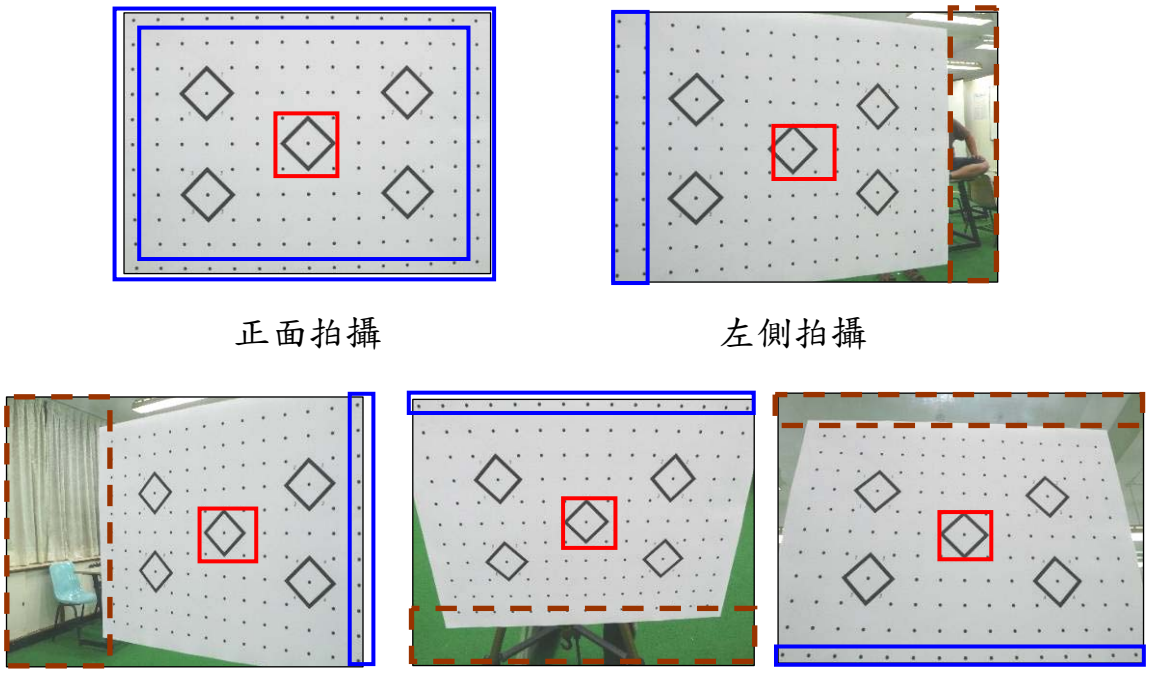
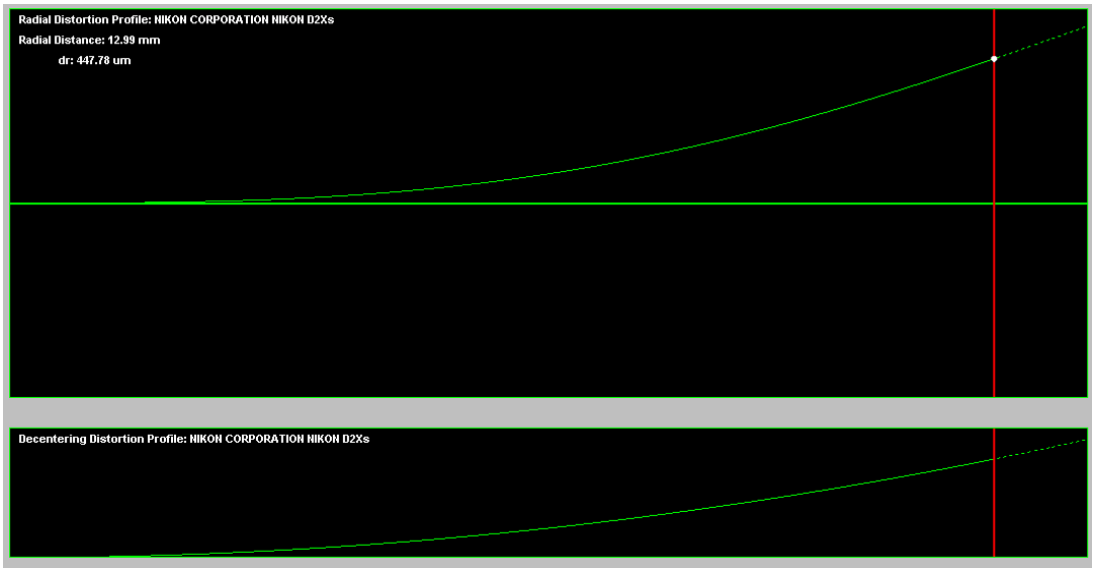



**圖 4.9 率定標圖像拍攝方式**

表 4-16 為 Nikon D2XS 相機率定所得參數值。

表4-16 Nikon D2XS相機率定參數值

| 內方位參數 | |
|---|---|
| f (mm)： | 19.4864 |
| $x_0$ (mm)： | 0.2526 |
| $y_0$ (mm)： | 0.0436 |
| 輻射畸變參數 | |
| $K_1$： | 2.7287e-004 |
| $K_2$： | -4.1389e-007 |
| $K_3$： | 4.0627e-011 |
| 離心畸變參數 | |
| $P_1$： | -3.3543e-005 |
| $P_2$： | 9.9960e-006 |
| 仿射畸變參數 | |
| $B_1$： | 0.0012 |
| $B_2$： | 0.0011 |



### 4.4.2 近景攝影量測與相對差異分析

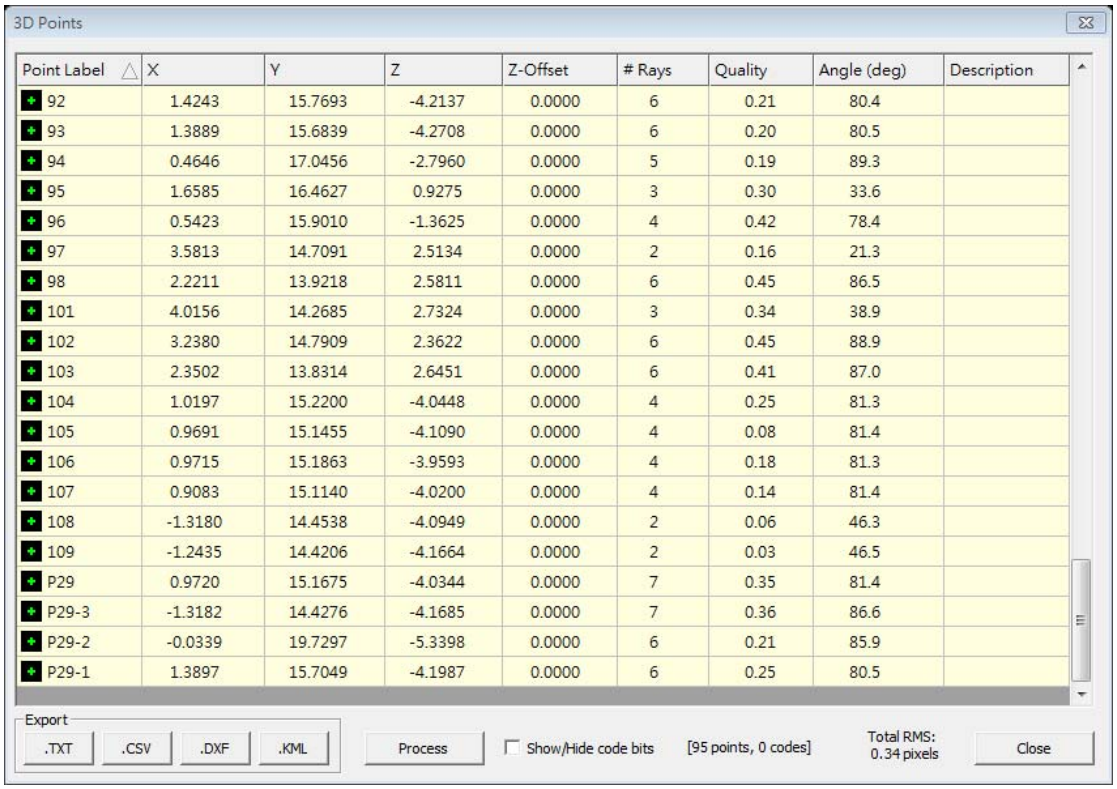
**1.基準組**

首先對欲觀測之目標物進行環場攝影，本研究以大甲溪橋之 P29 橋墩作為例，於 100 年 2 月 05 利用數位相機進行拍攝，拍攝距離約為 10m，共得 20 張相片，其拍攝照片及控制點佈設位置如圖 4.10 所示。基準組之目的在於作為後續多次量測相對比較之標準。橋墩中使用之佈標監測點與前述全站儀地測中採用者完全相同，其中貼近橋墩底端的三個點予以當作模型坐標轉換之控制點，利用控制點之地測坐標可將近景量測之模型坐標轉換為地測坐標(絕對坐標)，藉以跟地測之結果進行比較，也可將後續多次觀測所得進行與基準組之模型坐標轉換，進行多次觀測之相對性比較。

**圖 4.10 29 號橋墩近景環場攝影照片與控制點分布圖**

實驗中採用 iWitness 近景攝影測量軟體進行影像量測，並利用佈設之控制點及影像中之自然點(作為監測點)位進行共軛點量測，本基準組之總均方根誤差(Total RMS)為 0.34 Pixel。結果如圖 4.11 所示，Pixel Size 約為 5mm。由於對橋墩之觀測主要在獲取橋墩之傾斜及沉陷量，如圖 4.12 所示。因此需進行假設坐標系統建立，並將不同時期所監測之測量結果進行坐標轉換，進行多次量測之差異性比較，以得到變位的資訊。因此，假設的坐標系統需進行尺度約制(Scale Constraint)，尺

度約制可在攝影時在目標物之旁擺置標準尺度棒(Scale Bar)，在攝影距離較長時，可以水準尺替代之。本研究中採用以之控制點之空間距離作為尺度約制量，在相對性之分析中，避免另需控制點進行絕對坐標系統轉換。表 4-16 尺度約制使用地測之控制點計算之距離參數，表 4-17 基準組經尺度約制後之控制點坐標。



3D Points

| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 92 | 1.4243 | 15.7693 | -4.2137 | 0.0000 | 6 | 0.21 | 80.4 | |
| 93 | 1.3889 | 15.6839 | -4.2708 | 0.0000 | 6 | 0.20 | 80.5 | |
| 94 | 0.4646 | 17.0456 | -2.7960 | 0.0000 | 5 | 0.19 | 89.3 | |
| 95 | 1.6585 | 16.4627 | 0.9275 | 0.0000 | 3 | 0.30 | 33.6 | |
| 96 | 0.5423 | 15.9010 | -1.3625 | 0.0000 | 4 | 0.42 | 78.4 | |
| 97 | 3.5813 | 14.7091 | 2.5134 | 0.0000 | 2 | 0.16 | 21.3 | |
| 98 | 2.2211 | 13.9218 | 2.5811 | 0.0000 | 6 | 0.45 | 86.5 | |
| 101 | 4.0156 | 14.2685 | 2.7324 | 0.0000 | 3 | 0.34 | 38.9 | |
| 102 | 3.2380 | 14.7909 | 2.3622 | 0.0000 | 6 | 0.45 | 88.9 | |
| 103 | 2.3502 | 13.8314 | 2.6451 | 0.0000 | 6 | 0.41 | 87.0 | |
| 104 | 1.0197 | 15.2200 | -4.0448 | 0.0000 | 4 | 0.25 | 81.3 | |
| 105 | 0.9691 | 15.1455 | -4.1090 | 0.0000 | 4 | 0.08 | 81.4 | |
| 106 | 0.9715 | 15.1863 | -3.9593 | 0.0000 | 4 | 0.18 | 81.3 | |
| 107 | 0.9083 | 15.1140 | -4.0200 | 0.0000 | 4 | 0.14 | 81.4 | |
| 108 | -1.3180 | 14.4538 | -4.0949 | 0.0000 | 2 | 0.06 | 46.3 | |
| 109 | -1.2435 | 14.4206 | -4.1664 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 46.5 | |
| P29 | 0.9720 | 15.1675 | -4.0344 | 0.0000 | 7 | 0.35 | 81.4 | |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 | 0.0000 | 7 | 0.36 | 86.6 | |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | 0.0000 | 6 | 0.21 | 85.9 | |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | 0.0000 | 6 | 0.25 | 80.5 | |

Export .TXT .CSV .DXF .KML Process Show/Hide code bits [95 points, 0 codes] Total RMS: 0.34 pixels Close

**圖 4.11 基準組之監測點量測結果(總均方根誤差為 0.34 Pixel)**

**表4-17 尺度約制使用地測之控制點計算之距離參數**

| 地面測量結果 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 點號 | E | Z | N | 距離(m) |
| P29 | 2689891.982 | 56.47 | 209860.771 | P29~P29-1：0.6955 |
| P29-1 | 2689892.675 | 56.449 | 209860.826 | P29-1~P29-2：4.4217 |
| P29-2 | 2689895.469 | 56.422 | 209857.399 | P29-2~P29-3：5.5785 |
| P29-3 | 2689890.191 | 56.166 | 209859.187 | P29~P29-3：2.4102 |

**表4-18基準組經尺度約制後之控制點坐標**

| 點號 | X(m) | Y(m) | Z(m) |
|---|---|---|---|
| P29 | 0.972 | 15.1675 | -4.0344 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 |

**2. 第二次攝影組**

拍攝日期 100 年 04 月 12 號


**圖 4.12 第二次拍攝照片與控制點分布圖**

第二次攝影組量測之總均方根誤差為 0.20 Pixel。如圖 4.13 所示。

3D Points

| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | -1.8449 | 14.3558 | -4.7408 | 0.0000 | 2 | 0.14 | 29.5 | |
| 4 | -1.1835 | 14.1082 | -5.3260 | 0.0000 | 3 | 0.10 | 62.9 | |
| 5 | 0.2591 | 14.3016 | -5.0912 | 0.0000 | 4 | 0.12 | 81.3 | |
| 6 | 0.9698 | 15.1435 | -4.1056 | 0.0000 | 5 | 0.26 | 85.4 | |
| 7 | 0.5811 | 14.6273 | -4.8338 | 0.0000 | 4 | 0.16 | 83.8 | |
| 8 | -1.3908 | 14.4419 | -4.1714 | 0.0000 | 3 | 0.13 | 62.6 | |
| 9 | -1.3159 | 14.4101 | -4.2415 | 0.0000 | 3 | 0.10 | 63.2 | |
| 10 | -1.2399 | 14.4167 | -4.1670 | 0.0000 | 3 | 0.21 | 63.8 | |
| 11 | -1.3141 | 14.4489 | -4.0948 | 0.0000 | 3 | 0.11 | 63.2 | |
| 12 | -0.8954 | 14.2045 | -4.6912 | 0.0000 | 2 | 0.11 | 32.0 | |
| 13 | 0.2138 | 14.5672 | -4.3600 | 0.0000 | 3 | 0.19 | 69.4 | |
| 15 | 0.9167 | 15.1127 | -4.0217 | 0.0000 | 5 | 0.31 | 85.2 | |
| 16 | 0.9680 | 15.1848 | -3.9590 | 0.0000 | 5 | 0.13 | 85.1 | |
| 17 | 1.0209 | 15.2171 | -4.0444 | 0.0000 | 5 | 0.25 | 85.3 | |
| 18 | 0.7258 | 14.8325 | -4.4684 | 0.0000 | 4 | 0.16 | 84.9 | |
| 19 | 0.5661 | 14.6702 | -4.6491 | 0.0000 | 4 | 0.14 | 83.9 | |
| 20 | 0.5526 | 14.7123 | -4.4698 | 0.0000 | 4 | 0.08 | 83.9 | |
| 21 | 0.8992 | 15.2857 | -3.4232 | 0.0000 | 5 | 0.24 | 83.3 | |
| 22 | 1.0350 | 15.5951 | -2.8442 | 0.0000 | 5 | 0.22 | 84.8 | |
| 23 | 1.3526 | 15.6370 | -4.1845 | 0.0000 | 6 | 0.35 | 87.6 | |
| 24 | 1.4235 | 15.7661 | -4.2139 | 0.0000 | 6 | 0.24 | 88.5 | |

Export .TXT .CSV .DXF .KML Process Show/Hide code bits [42 points, 0 codes] Total RMS: 0.20 pixels Close

**圖 4.13 第二次攝影組量測之結果(總均方根誤差為 0.20 Pixel)**

當完成近景量測之後，利用實驗基準組所求得之控制點將其坐標轉換為基準組之坐標，其轉換精度為 0.002m，如圖 4.14 所示。在相同坐標系統下可進行差異性之比較。

| Control Label | X | Y | Z | Z-Offset | Closest Point | DX | DY | DZ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.9720 | 15.1675 | -4.0344 | 0.0000 | P29 | -0.002 | -0.001 | 0.001 | 0.002 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | 0.0000 | P29-1 | -0.000 | -0.002 | 0.000 | 0.002 |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | 0.0000 | P29-2 | -0.001 | 0.002 | -0.000 | 0.002 |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 | 0.0000 | P29-3 | 0.003 | 0.002 | -0.000 | 0.004 |

Transformation Options 3D 2D 1D Help New Point Unlink All Link Close Points Import Control Points Remove Control Points Control points' scale used Quality: RMS = 0.002 Close

**圖 4.14 第二次攝影組量測之結果轉換為基準組相同坐標**

### 3. 第三次攝影組

拍攝日期 100 年 04 月 28 號


**圖 4.15 第三次拍攝照片與控制點分布圖**

圖 4.16 為第三次攝影組量測之結果，總均方根誤差為 0.18 Pixel，相同的，利用實驗基準組所求得之控制點將其坐標轉換為基準組之坐標，其轉換精度為 0.002m，如圖 4.17 所示。

3D Points

| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 39 | 689.3749 | 2702.9647 | -61.1949 | 0.0000 | 5 | 0.22 | 86.1 | |
| 40 | 658.6446 | 2776.6449 | -208.5706 | 0.0000 | 5 | 0.22 | 86.6 | |
| 41 | 606.5908 | 2872.8189 | -277.8949 | 0.0000 | 5 | 0.15 | 88.1 | |
| 42 | 632.6579 | 2839.3272 | -140.7095 | 0.0000 | 5 | 0.20 | 87.1 | |
| 43 | 544.5827 | 2972.6251 | -89.1990 | 0.0000 | 4 | 0.09 | 80.4 | |
| 44 | 437.8285 | 3084.7853 | -8.0453 | 0.0000 | 3 | 0.18 | 53.0 | |
| 45 | 68.4051 | 3271.8286 | -31.3958 | 0.0000 | 4 | 0.20 | 71.7 | |
| 46 | -148.4353 | 3356.5807 | -2.6622 | 0.0000 | 4 | 0.26 | 65.9 | |
| 47 | -253.0536 | 3395.7296 | 4.4433 | 0.0000 | 4 | 0.19 | 63.2 | |
| 48 | -249.2291 | 3392.7129 | -55.4873 | 0.0000 | 4 | 0.34 | 63.4 | |
| 49 | 374.3506 | 3132.5187 | -49.8155 | 0.0000 | 4 | 0.17 | 79.0 | |
| 50 | 266.3797 | 3199.7813 | 209.7047 | 0.0000 | 2 | 0.15 | 26.7 | |
| 51 | 156.2477 | 3241.0845 | 126.2383 | 0.0000 | 2 | 0.01 | 26.3 | |
| 52 | 130.1582 | 3251.2736 | 131.1299 | 0.0000 | 2 | 0.07 | 26.1 | |
| 53 | 11.5543 | 3296.3812 | 151.0852 | 0.0000 | 2 | 0.04 | 25.2 | |
| 54 | -148.6500 | 3355.7383 | -18.0020 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 24.1 | |
| 55 | -148.5619 | 3356.9621 | 12.6650 | 0.0000 | 2 | 0.09 | 24.0 | |
| 56 | -252.8596 | 3395.1834 | -18.5882 | 0.0000 | 2 | 0.20 | 23.1 | |
| 57 | -273.1630 | 3404.1298 | 4.7929 | 0.0000 | 2 | 0.01 | 22.9 | |
| 58 | -254.0939 | 3394.4513 | 27.9578 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 23.0 | |

Export: .TXT .CSV .DXF .KML

Process | Show/Hide code bits | [44 points, 0 codes] | Total RMS: 0.18 pixels | Close

**圖 4.16 第三次攝影組量測之結果(總均方根誤差為 0.18 Pixel)**

| Control Label | X | Y | Z | Z-Offset | Closest Point | DX | DY | DZ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.9720 | 15.1675 | -4.0344 | 0.0000 | P29 | -0.003 | -0.001 | 0.000 | 0.003 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | 0.0000 | P29-1 | -0.002 | -0.003 | -0.000 | 0.003 |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | 0.0000 | P29-2 | -0.000 | 0.003 | -0.001 | 0.003 |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 | 0.0000 | P29-3 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.005 |

Transformation Options: 3D 2D 1D | Help

New Point | Unlink All | Link Close Points | Import Control Points | Remove Control Points | Close

Control points' scale used
Quality: RMS = 0.002

**圖 4.17 第三次攝影組量測之結果轉換為基準組相同坐標**

## 4. 第四次攝影組

拍攝日期 100 年 05 月 13 號

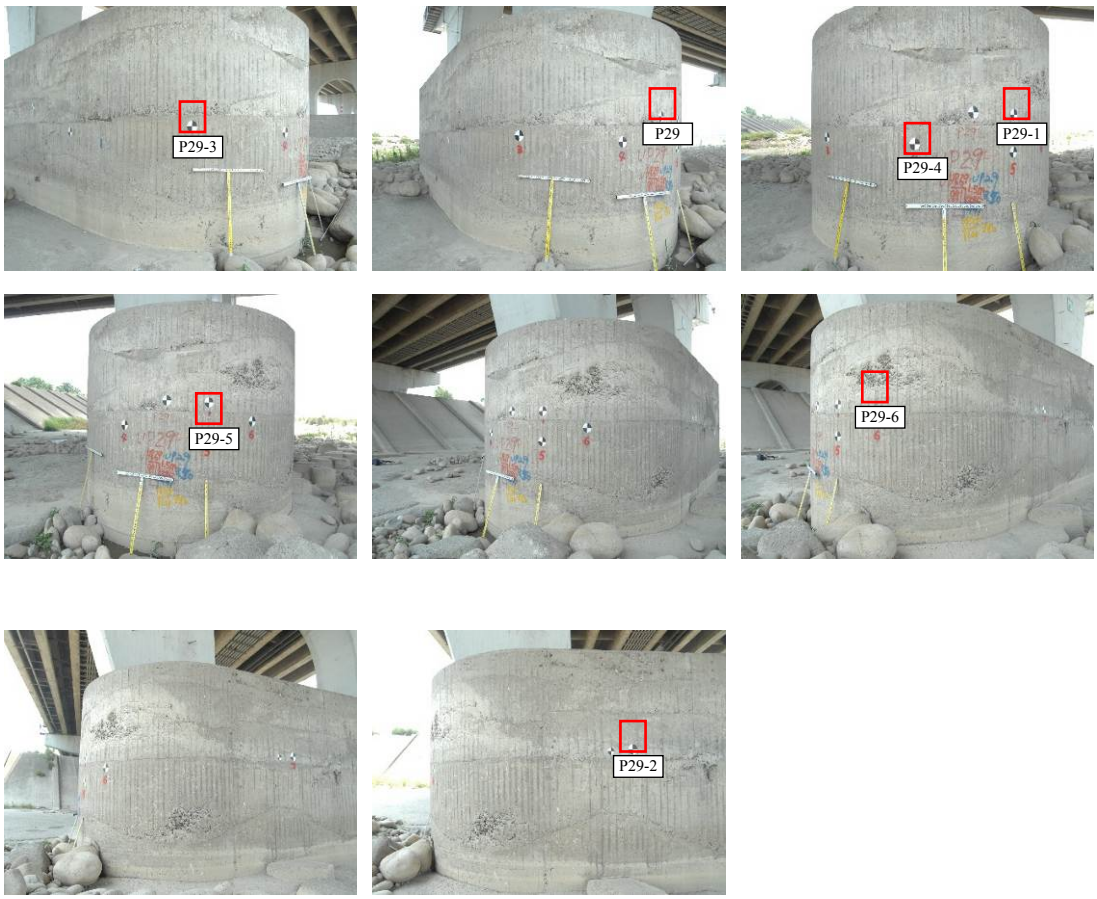



**圖 4.18 第四次攝影組照片與控制點分布圖**

圖 4.19 為第四次攝影組量測之結果，總均方根誤差為 0.22 Pixel，相同的，利用實驗基準組所求得之控制點將其坐標轉換為基準組之坐標，其轉換精度為 0.002m，如圖 4.20 所示。

3D Points

| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 56 | 1.4627 | 17.8854 | -5.1925 | 0.0000 | 2 | 0.00 | 30.1 | |
| 57 | 1.2367 | 18.2756 | -5.2370 | 0.0000 | 3 | 0.21 | 61.8 | |
| 58 | 0.3882 | 19.2655 | -5.2898 | 0.0000 | 3 | 0.21 | 52.0 | |
| 59 | 0.2182 | 19.3615 | -5.6599 | 0.0000 | 2 | 0.11 | 23.1 | |
| 60 | 0.1041 | 19.4483 | -5.7975 | 0.0000 | 2 | 0.04 | 22.5 | |
| 61 | 0.4769 | 19.3052 | -4.6500 | 0.0000 | 2 | 0.15 | 28.5 | |
| 62 | 0.4969 | 19.2805 | -4.6751 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 28.7 | |
| 63 | 0.4829 | 19.2775 | -4.7308 | 0.0000 | 2 | 0.24 | 28.7 | |
| 64 | 0.4687 | 19.2963 | -4.7372 | 0.0000 | 2 | 0.18 | 28.6 | |
| 65 | 0.0457 | 19.7594 | -4.8191 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 25.5 | |
| 66 | -0.0091 | 19.8003 | -4.8660 | 0.0000 | 2 | 0.38 | 25.2 | |
| 67 | -0.0295 | 19.7117 | -5.4139 | 0.0000 | 2 | 0.17 | 25.5 | |
| 68 | -0.0792 | 19.7875 | -5.3547 | 0.0000 | 2 | 0.15 | 25.0 | |
| P29 | 0.9710 | 15.1676 | -4.0337 | 0.0000 | 6 | 0.14 | 88.7 | |
| P29-6 | 1.6693 | 16.3666 | -4.6573 | 0.0000 | 6 | 0.19 | 87.4 | |
| P29-5 | 1.3868 | 15.5649 | -4.6728 | 0.0000 | 6 | 0.22 | 84.3 | |
| P29-4 | 0.2949 | 14.6241 | -4.2854 | 0.0000 | 5 | 0.23 | 83.7 | |
| P29-3 | -1.3188 | 14.4236 | -4.1677 | 0.0000 | 4 | 0.10 | 84.6 | |
| P29-2 | -0.0327 | 19.7329 | -5.3404 | 0.0000 | 4 | 0.15 | 60.4 | |
| P29-1 | 1.3900 | 15.7056 | -4.1996 | 0.0000 | 6 | 0.18 | 84.3 | |

Export .TXT .CSV .DXF .KML Process Show/Hide code bits [47 points, 0 codes] Total RMS: 0.22 pixels Close

**圖 4.19 第四次攝影組量測之結果(總均方根誤差為 0.22 Pixel)**

| Control Label | X | Y | Z | Z-Offset | Closest Point | DX | DY | DZ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.9720 | 15.1675 | -4.0344 | 0.0000 | P29 | -0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | 0.0000 | P29-1 | 0.000 | 0.001 | -0.001 | 0.001 |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | 0.0000 | P29-2 | 0.001 | 0.003 | -0.001 | 0.004 |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 | 0.0000 | P29-3 | -0.001 | -0.004 | 0.001 | 0.004 |

Transformation Options 3D 2D 1D Help New Point Unlink All Link Close Points Import Control Points Remove Control Points Scale set and held Quality: RMS = 0.002 Close

**圖 4.20 第四次攝影組量測之結果轉換為基準組相同坐標**

## 5. 第五次攝影組

拍攝日期 100 年 09 月 23 號


**圖 4.21 第五次攝影組照片與控制點分布圖**

圖 4.21 為第四次攝影組量測之結果，總均方根誤差為 0.30 Pixel，相同的，利用實驗基準組所求得之控制點將其坐標轉換為基準組之坐標，其轉換精度為 0.001m，如圖 4.23 所示。

3D Points

| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.2957 | 14.6271 | -4.2876 | 0.0000 | 7 | 0.42 | 84.9 | |
| 4 | -3.4528 | 15.7812 | -4.6475 | 0.0000 | 7 | 0.25 | 89.8 | |
| 5 | -3.5078 | 15.7527 | -4.9562 | 0.0000 | 6 | 0.33 | 89.8 | |
| 6 | -4.6744 | 17.1642 | -4.5071 | 0.0000 | 7 | 0.19 | 90.0 | |
| 7 | -5.9651 | 18.4130 | -5.0739 | 0.0000 | 7 | 0.29 | 88.1 | |
| 9 | -5.9955 | 22.0836 | -0.8645 | 0.0000 | 7 | 0.36 | 86.9 | |
| 10 | -6.7596 | 22.2212 | -3.1728 | 0.0000 | 8 | 0.34 | 87.6 | |
| 11 | -7.1974 | 22.7066 | -3.2981 | 0.0000 | 7 | 0.36 | 88.5 | |
| 12 | -7.1696 | 23.0090 | -2.2476 | 0.0000 | 8 | 0.31 | 85.7 | |
| 14 | -1.0311 | 16.4303 | -0.3809 | 0.0000 | 7 | 0.40 | 89.8 | |
| 15 | -0.7100 | 15.7770 | -1.3138 | 0.0000 | 7 | 0.29 | 89.2 | |
| 16 | -1.3107 | 16.4194 | -1.4969 | 0.0000 | 7 | 0.41 | 86.6 | |
| 17 | -1.7917 | 16.9333 | -1.6436 | 0.0000 | 7 | 0.21 | 84.8 | |
| 18 | -4.1560 | 20.5857 | 0.9268 | 0.0000 | 7 | 0.35 | 89.9 | |
| 19 | -1.2445 | 14.4149 | -4.1652 | 0.0000 | 7 | 0.18 | 87.9 | |
| 20 | -1.3201 | 14.4107 | -4.2430 | 0.0000 | 7 | 0.36 | 87.8 | |
| 21 | -1.3929 | 14.4383 | -4.1716 | 0.0000 | 7 | 0.27 | 87.7 | |
| 22 | -1.3165 | 14.4460 | -4.0944 | 0.0000 | 7 | 0.24 | 87.8 | |
| 23 | -5.0776 | 17.2680 | -5.6242 | 0.0000 | 7 | 0.19 | 89.3 | |
| 24 | -4.8007 | 17.2748 | -4.6173 | 0.0000 | 6 | 0.22 | 89.8 | |
| 25 | -1.8592 | 17.6227 | 0.4196 | 0.0000 | 7 | 0.28 | 89.3 | |

Export .TXT .CSV .DXF .KML Process Show/Hide code bits [135 points, 0 codes] Total RMS: 0.30 pixels Close

**圖 4.22 第五次攝影組量測之結果(總均方根誤差為 0.30 Pixel)**

| Control Label | X | Y | Z | Z-Offset | Closest Point | DX | DY | DZ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.9720 | 15.1675 | -4.0344 | 0.0000 | P29 | -0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | 0.0000 | P29-1 | -0.001 | 0.000 | -0.000 | 0.001 |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | 0.0000 | P29-2 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 | 0.0000 | P29-3 | 0.000 | -0.001 | 0.000 | 0.001 |

Transformation Options 3D 2D 1D Help New Point Unlink All Link Close Points Import Control Points Remove Control Points Control points' scale used Quality: RMS = 0.001 Close

**圖 4.23 第五次攝影組量測之結果轉換為基準組相同坐標**

## 6. 監測點之差異性比較

表 4-19 至表 4-22 分別為第二、三及第四次拍攝組於基本組之差異性比較，其較差約為 3-5mm。其差異性甚小，代表在該時段內，橋墩的傾斜或變形量均相當微小或沒有。差異值僅代表測量的誤差量。也可證明近景攝影測量具有公分級內之量測精度。

**表4-19 第二次拍攝組與基準組之比較**

| 第二次拍攝組與基準組之比較 (單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 0.9703 | 15.1662 | -4.0337 | 0.0017 | 0.0013 | 0.0007 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7025 | -4.1986 | 0 | 0.0024 | 0.0001 |
| P29-2 | -0.035 | 19.7313 | -5.3403 | 0.0011 | 0.0016 | 0.0005 |
| P29-3 | -1.3153 | 14.4297 | -4.1688 | 0.0029 | 0.0021 | 0.0003 |
| | Pixel Size | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | 約 0.0023m | | 0.00175 | 0.0029 | 0.001 | 0.00078 |

**表4-20 第三次拍攝組與基準組之比較**

| 第三次拍攝組與基準組之比較 (單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 0.9687 | 15.1668 | -4.034 | 0.0033 | 0.0007 | 0.0004 |
| P29-1 | 1.3878 | 15.7021 | -4.1988 | 0.0019 | 0.0028 | 0.0001 |
| P29-2 | -0.034 | 19.7327 | -5.3405 | 0.0001 | 0.0030 | 0.0007 |
| P29-3 | -1.3129 | 14.4281 | -4.1681 | 0.0053 | 0.0005 | 0.0004 |
| | Pixel Size | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | 約 0.0023m | | 0.00260 | 0.0053 | 0.0001 | 0.00138 |

**表4-21第四次拍攝組與基準組之比較**

| 第四次拍攝組與基準組之比較 (單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 0.971 | 15.1676 | -4.0337 | 0.001 | 0.0001 | 0.0007 |
| P29-1 | 1.39 | 15.7056 | -4.1996 | 0.0003 | 0.0007 | 0.0009 |
| P29-2 | -0.0327 | 19.7329 | -5.3404 | 0.0012 | 0.0032 | 0.0006 |
| P29-3 | -1.3188 | 14.4236 | -4.1677 | 0.0006 | 0.0040 | 0.0008 |
| | Pixel Size | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | 約 0.0019m | | 0.00188 | 0.0040 | 1E-04 | 0.00081 |

**表4-22第五次拍攝組與基準組之比較**

| 第四次拍攝組與基準組之比較 (單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 0.9714 | 15.1686 | -4.0344 | 0.0006 | 0.0011 | 0 |
| P29-1 | 1.3891 | 15.705 | -4.1991 | 0.0006 | 0.0001 | 0.0004 |
| P29-2 | -0.0331 | 19.7299 | -5.3397 | 0.0008 | 0.0002 | 0.0001 |
| P29-3 | -1.3178 | 14.4262 | -4.1682 | 0.0004 | 0.0014 | 0.0003 |
| | Pixel Size | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | 約 0.0035m | | 0.00074 | 0.0014 | 0.0001 | 0.00033 |

## 7. 監測點之傾斜量計算

於橋梁監測部分，可利用假設坐標系統所建立之控制點進行坐標轉換，將影像轉至假設坐標系統之後，再去檢測該橋梁是否產生傾斜或沉陷，來判斷該橋梁是否產生變位。傾斜及沉陷可於影像中選取水平方向及垂直方向上之特徵點位進行量測。如下圖之 L1、L2、H1、H2 所示。該點位屬於影像中之自然點位利用量測該點位並計算其傾斜角度當作基準，在與基準組所量測出數據進行比較，將可得到該橋梁是否產生變位。圖 4.24 為利用自然點位進行傾斜角量測示意圖。表 4-22 為 N 與 E 二坐標軸向之傾斜角計算結果(基準組)。

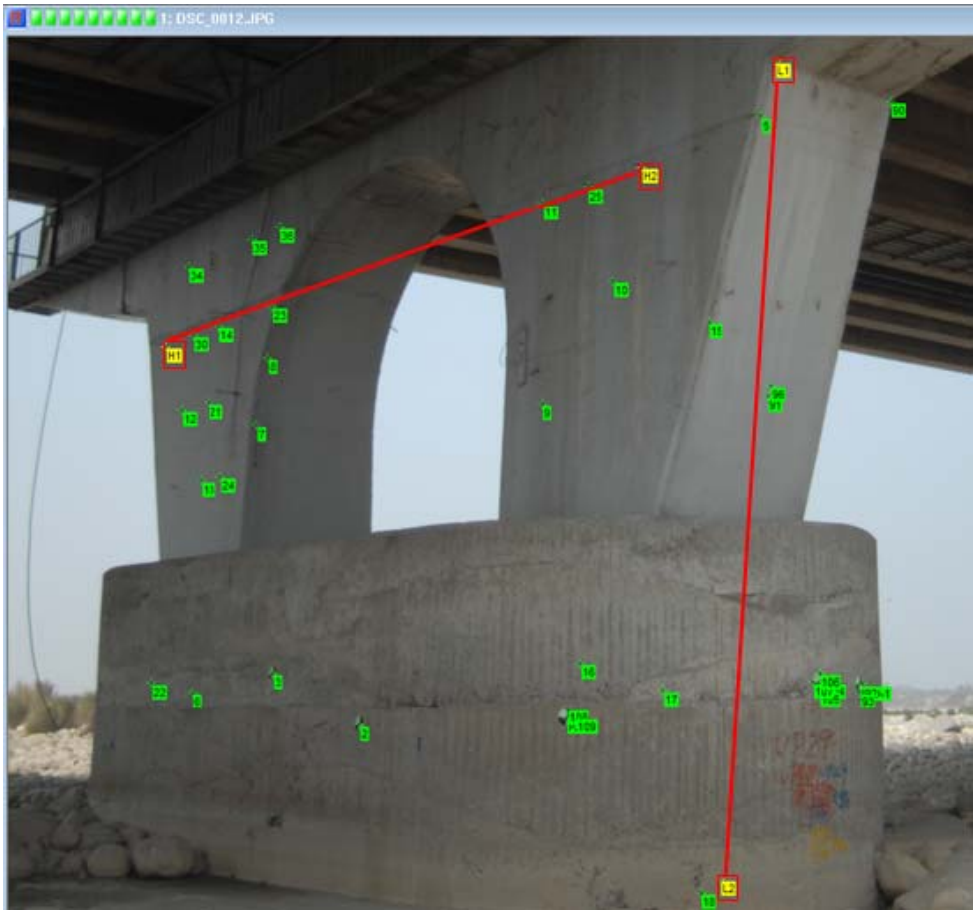



**圖 4.24 利用自然特徵點位進行傾斜量測比較**

**表4-23 基準組之N與E二坐標軸向的傾斜角計算結果**

| 點位名稱 | E(m) | Z(m) | N(m) | 空間距離 (m) | dE/dN (度) | dE/dZ (度) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| L2 | 0.0455 | 14.1825 | -5.5196 | | | |
| L1 | 0.5786 | 15.3622 | 1.6941 | 7.32894 | 355.7735 | 335.682 |
| H2 | -0.7376 | 16.4528 | 0.7653 | | | |
| H1 | -8.3 | 24.5633 | -1.5474 | 11.32778 | 107.0045 | 137.0029 |

### 4.4.3 近景攝影量測與絕對差異分析

絕對差異分析是指將近景攝影計算所得監測點位之模型坐標，藉由地控點進行三維坐標轉換而獲得量測監測點位之絕對坐標值，進而依據點位之絕對坐標值完成多次量測差異分析。本研究如前所述，已先使用地測之 GPS 觀測獲得地控點坐標(表 4-4)後由角度交會觀測推求

監測點地測坐標(表 4-6)，利用表 4-6 之坐標值將近景量測所得監測點之模型坐標作三維轉換為地測之絕對坐標。表 4-24 為使用之地控坐標(同表 4-6)，表 4-25 為各次觀測後轉換坐標與地測坐標之差異。

**表4-24 絕對坐標轉換使用之地控坐標**

| 地面測量結果 | | | |
|---|---|---|---|
| 點號 | X(m) | Y(m) | Z(m) |
| P29 | 2689891.982 | 56.47 | 209860.771 |
| P29-1 | 2689892.675 | 56.449 | 209860.826 |
| P29-2 | 2689895.469 | 56.422 | 209857.399 |
| P29-3 | 2689890.191 | 56.166 | 209859.187 |

由表 4-25 結果顯示，各次觀測後轉換坐標與地測坐標之絕對差異量非常微小，最大差異值介於 3~6mm，與相對性差異之數值相當，屬於測量誤差範圍。基本上顯示，近景攝影的量測具有公分級以內之精度。

**表4-25 各次觀測後轉換坐標與地測坐標之差異**

| 第一次拍攝組與地測坐標之比較 (單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | 近景量測結果 | | | | | |
| | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 2689891.981 | 56.4698 | 209860.7701 | 0.0012 | 0.0002 | 0.0009 |
| P29-1 | 2689892.678 | 56.4493 | 209860.8261 | 0.0033 | 0.0003 | 0.0001 |
| P29-2 | 2689895.468 | 56.422 | 209857.4001 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0011 |
| P29-3 | 2689890.189 | 56.1659 | 209859.1866 | 0.0016 | 0.0001 | 0.0004 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.00139 | 0.0033 | 0 | 0.00067 |

| 第二次拍攝組與地測坐標之比較(單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | 近景量測結果 | | | | | |
| | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 2689891.979 | 56.4701 | 209860.7695 | 0.0033 | 0.0001 | 0.0015 |
| P29-1 | 2689892.676 | 56.4487 | 209860.8273 | 0.0014 | 0.0003 | 0.0013 |
| P29-2 | 2689895.469 | 56.422 | 209857.3982 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0008 |
| P29-3 | 2689890.193 | 56.1662 | 209859.188 | 0.0017 | 0.0002 | 0.001 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.00155 | 0.0033 | 0.0000 | 0.0007 |

| 第三次拍攝組與地測坐標之比較(單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | 近景量測結果 | | | | | |
| | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 2689891.978 | 56.4701 | 209860.7678 | 0.0036 | 0.0001 | 0.0032 |
| P29-1 | 2689892.675 | 56.4484 | 209860.8259 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0001 |
| P29-2 | 2689895.471 | 56.4222 | 209857.3984 | 0.002 | 0.0002 | 0.0006 |
| P29-3 | 2689890.193 | 56.1664 | 209859.191 | 0.0015 | 0.0004 | 0.004 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.00227 | 0.004 | 0.0000 | 0.0013 |

| 第四次拍攝組與地測坐標之比較 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | 近景量測結果 | | | | | |
| | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 2689891.980 | 56.4706 | 209860.7695 | 0.0019 | 0.0006 | 0.0015 |
| P29-1 | 2689892.679 | 56.4485 | 209860.8261 | 0.0043 | 0.0005 | 0.0001 |
| P29-2 | 2689895.472 | 56.4223 | 209857.3991 | 0.0033 | 0.0003 | 0.0001 |
| P29-3 | 2689890.185 | 56.1656 | 209859.1883 | 0.0057 | 0.0004 | 0.0013 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.00159 | 0.0057 | 0.0001 | 0.0014 |

| 第五次拍攝組與地測坐標之比較 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | 近景量測結果 | | | | | |
| | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| P29 | 2689891.981 | 56.4701 | 209860.7692 | 0.0007 | 0.0001 | 0.0018 |
| P29-1 | 2689892.678 | 56.4489 | 209860.8254 | 0.0032 | 0.0001 | 0.0006 |
| P29-2 | 2689895.469 | 56.4222 | 209857.4007 | 0 | 0.0002 | 0.0017 |
| P29-3 | 2689890.188 | 56.1659 | 209859.1877 | 0.0026 | 0.0001 | 0.0007 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.000898 | 0.0032 | 0 | 0.00894 |

### 4.4.4 統計檢定分析

**1. F 檢定**

P29→ $x_1$、$y_1$、$z_1$

P29-1→ $x_2$、$y_2$、$z_2$

P29-2→ $x_3$、$y_3$、$z_3$

P29-3→ $x_4$、$y_4$、$z_4$

**表4-26 第二次拍攝與第三次拍攝的F檢定表(採用雙尾測試)**

| | $X_1$ | $Y_1$ | $Z_1$ | $X_2$ | $Y_2$ | $Z_2$ | $X_3$ | $Y_3$ | $Z_3$ | $X_4$ | $Y_4$ | $Z_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.972 | 15.1675 | -4.0344 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 |
| 2 | 0.9703 | 15.1662 | -4.0337 | 1.3897 | 15.7025 | -4.1986 | -0.035 | 19.7313 | -5.3403 | -1.3153 | 14.4297 | -4.1688 |
| dx | -0.0017 | -0.0013 | 0.0007 | 0 | -0.0024 | 1E-04 | -0.0011 | 0.0016 | -0.0005 | 0.0029 | 0.0021 | -0.0003 |
| | 第二次拍攝 | | | σ=0.001588858 | | | $S_2$=2.52447E-06 | | | $S_2^2$=6.37295E-12 | | |
| 3 | 0.9687 | 15.1668 | -4.034 | 1.3878 | 15.7021 | -4.1988 | -0.034 | 19.7327 | -5.3405 | -1.3129 | 14.4281 | -4.1681 |
| dx | -0.0033 | -0.0007 | 0.0004 | -0.0019 | -0.0028 | -0.0001 | -0.0001 | 0.0030 | -0.0007 | 0.0053 | 0.0005 | 0.0004 |
| | 第三次拍攝 | | | σ=0.002354879 | | | $S_1$=5.54545E-06 | | | $S_1^2$=3.07521E-11 | | |

F= S12/S22=3.07521E-11/6.37295E-12=4.83

查表 S1 自由度=3 ；S2 自由度=3 ；Fα/2=15.44(α=0.05)

F＜ Fα/2 接受虛無假設，沒有統計上的理由可認定第二次與第三次的觀測成果不同。

**表4-27 第三次拍攝與第四次拍攝的F檢定(採用雙尾測試)**

| | $X_1$ | $Y_1$ | $Z_1$ | $X_2$ | $Y_2$ | $Z_2$ | $X_3$ | $Y_3$ | $Z_3$ | $X_4$ | $Y_4$ | $Z_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.972 | 15.1675 | -4.0344 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 |
| 3 | 0.9687 | 15.1668 | -4.034 | 1.3878 | 15.7021 | -4.1988 | -0.034 | 19.7327 | -5.3405 | -1.3129 | 14.4281 | -4.1681 |
| dx | -0.0033 | -0.0007 | 0.0004 | -0.0019 | -0.0028 | -0.0001 | -0.0001 | 0.003 | -0.0007 | 0.0053 | 0.0005 | 0.0004 |
| | 第三次拍攝 | | | σ=0.002354879 | | | $S_1$=5.54545E-06 | | | $S_1^2$=3.07521E-11 | | |
| 4 | 0.971 | 15.1676 | -4.0337 | 1.39 | 15.7056 | -4.1996 | -0.0327 | 19.7329 | -5.3404 | -1.3188 | 14.4236 | -4.1677 |
| dx | -0.001 | 1E-04 | 0.0007 | 0.0003 | 0.0007 | -0.0009 | 0.0012 | 0.0032 | -0.0006 | -0.0006 | -0.004 | 0.0008 |
| | 第四次拍攝 | | | σ=0.001703717 | | | $S_2$=2.90265E-06 | | | $S_2^2$=8.42539E-12 | | |

F= S12/S22= 3.07521E-11/8.42539E-12= 3.65

查表 S1 自由度=3； S2 自由度=3；Fα/2=15.44(α=0.05)

F＜ Fα/2　接受虛無假設，沒有統計上的理由可認定第三次與第四次的觀測成果不同。

**2. t 檢定**

$$t = \frac{dx}{\hat{\sigma}_0\sqrt{Q_1 + Q_2}} = \frac{dx}{\hat{\sigma}_{dx}}$$

第二、三、四次拍攝的 t 檢定

P29→ x1、y1、z1

P29-1→ x2、y2、z2

P29-2→ x3、y3、z3

P29-3→ x4、y4、z4

t＞tα/2 表示坐標有顯著位移。(tα/2=2.179)

**表4-28 第二、三次與三、四次拍攝的 t檢驗結果表**

| | $X_1$ | $Y_1$ | $Z_1$ | $X_2$ | $Y_2$ | $Z_2$ | $X_3$ | $Y_3$ | $Z_3$ | $X_4$ | $Y_4$ | $Z_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $dx_{2-3}$ | -0.0016 | 0.0006 | -0.0003 | -0.0019 | -0.0004 | -0.0002 | 0.001 | 0.0014 | -0.0002 | 0.0024 | -0.0016 | 0.0007 |
| Q1=Q2 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| $\sigma_{dx}$ | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 |
| t | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.04 | 0.03 | 0.01 |
| | $X_1$ | $Y_1$ | $Z_1$ | $X_2$ | $Y_2$ | $Z_2$ | $X_3$ | $Y_3$ | $Z_3$ | $X_4$ | $Y_4$ | $Z_4$ |
| $dx_{3-4}$ | 0.0023 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0022 | 0.0035 | -0.0008 | 0.0013 | 0.0002 | 1E-04 | -0.0059 | -0.0045 | 0.0004 |
| Q1=Q2 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| $\sigma_{dx}$ | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 | 0.0632 |
| t | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.06 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.07 | 0.01 |

由表 4-28 知以 α=0.05 判斷座標 x1~ z4 並無顯著位移。

# 第五章 結論與建議

## 5.1 全計畫完成的工作項目

1. 完成二個年度航測攝影、控制點檢測工作、空中三角計算及 1/1000 正射影像糾正、全圖鑲嵌與勻光、圖冊編圖與出圖。
2. 完成二個年度全區空載雷射掃瞄、1m×1m DEM 資料之編輯、河道水深測量與 DEM 資料之編輯、大斷面向量資料之內插與繪製。
3. 完成大甲溪橋地面雷射掃瞄及前級處理作業，橋樑點雲建模完成。
4. 完成二個年度橋梁監測點選點、佈設以及各次監測作業之觀測、數據處理及各次數據差異性檢定分析。
5. 橋樑變形監測技術規範之草案制定。

## 5.2 結論與建議

依據本計畫二個年度之工作成果與所得經驗，可獲得下列之結論：

1. 對大範圍之河床高度資料獲取，選擇正規數值航測配合空載雷射(Airborne LiDAR)是最佳的作業模式。成本較低，精度高且工作時程可以縮短。
2. 在橋梁結構體監測方面，各種現代先進測量方法，包括 GPS 衛星定位、全站儀量測、電子水準儀高程量測、地面雷射掃描及近景攝影測量等方法，本研究均已完成工作實驗與初步方法與效益之評估，各種方法均有其優越性但也有其侷限性。由於橋梁結構體狹長及跨河之特殊性，實務中最關鍵之問題在於尋找適當的觀測點位置，以便進行高精度的量測作業。各種測量方法之優缺點比較如下表：

| 觀測方法 | 優點 | 缺點 |
| --- | --- | --- |
| GPS 衛星定位 | 1. 靜態測量之量測精度高<br>2. 橋面設站容易<br>3. 作業成本低 | 1. 橋下設站難<br>2. 工作成本低 |
| 全站儀測量 | 4. 量測精度高<br>5. 作業容易<br>6. 工作成本低 | 1. 設站有地形及天候之考量<br>2. 量測精度受觀測距離遠近之影響，距離愈遠，精度變差。 |
| 電子水準儀高程量測 | 1.高程量測精度高<br>2.橋面設站容易<br>3.工作容易成本低 | 1.僅能作高程量測 |
| 地面雷射掃描 | 1.掃描量測直接且精度高<br>2.可獲得面狀之豐富資料 | 1.儀器成本高<br>2.對有景深之物件掃描瞄精度不均勻<br>3.設站相同於全站儀之考量 |
| 近景攝影測量 | 1. 量測精度高<br>2. 軟硬體成本低<br>3. 設站(拍攝)容易<br>4. 可獲得面狀之豐富資料<br>5. 不需地控點資料 | 1.需專業軟體之後處理 |

3. 綜合上表所述之各種測量方法的優缺點，考慮橋梁監測中橋梁形狀狹長、跨河及監測點位不多之特性，實務上可行之作業模式為：

(1)地面雷射掃描雖可直接量測並獲得面狀資料，但設備成本高，尚未普及，且設站問題考量與全站儀相同，若可設站即可以全站儀替代之，故暫不予考慮。

(2)橋面板撓度及沉陷觀測，以電子水準儀進行量測，成本低精度佳且工作容易，為最佳方法之選擇。

(3)若地形條件允許在橋墩 50~100 公尺距離內設控制或觀測站，可優先選擇全站儀 GPS 進行量測，儀器普及，技術熟知，可成為標準的作業模式。

(4)近景攝影測量技術發展快速，精度可達公分級內，只需現場的攝影工作，藉內業完成量測工作。其軟硬體成本低且拍攝容易，沒有設站的問題，不需地控點資料，也可獲得面狀之資料，照片亦可提供橋梁安全檢測使用，不易拍攝之情況，如行水區，未來可以無人飛行載具(UAV)為之，具有相當之應用潛力。

# 參考文獻


[1] Lovell, J.L., Jupp, D.L.P., Culvenor, D.S. et al.,(2003),"*Using Airbone and Ground Based Ranging Lidar to Measure Canopy Structure in Australian Forest*", Can. Journal Remote Sensing, Vol.29, No.5, pp.607-622.

[2] Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., Harley, I., (2006), "*Close Range Photo- grammetry*", Whittles Publishing, Scotland, UK.

[3] 黃聲享，尹暉，蔣征，「變形監測數據處理」，*武漢大學出版社*，2008。

[4] 何秀鳳，「變形監測新方法及其應用」，*科學出版社*，2007。

[5] 劉春，陳華雲，吳杭彬，「激光三維遙感的數據處理與特徵提取」，科學出版社，2010。

# 附錄一

# 橋梁變位監測技術規範(草案)

# 橋梁變位監測技術規範(草案)

# 第一章 總則

## 1.1 適用範圍

橋梁的基本類型主要有簡支梁橋、拱橋、鋼構橋、懸索橋、斜拉橋及其組合體系橋等。大型橋梁建指簡支梁橋，斜張橋、懸索橋。本規範適用於混凝土之簡支梁橋梁與斜張橋之週期監測，懸索橋因水流並無與橋梁有直接接觸而造成破壞或形變，故不在本規範適用之範圍內。

## 1.2 制訂目的

臺灣的橋梁維護復建費用龐大，管理橋梁人力有限，橋梁受到颱風洪水沖刷、地震…等因素，有些未達其設計年限即產生破壞及危險，本規範制定目的為選用適當的測量方法來達到橋梁形變監測(橋板撓度、橋墩沉陷與傾斜)之目的。

## 1.3 主要名詞解釋

**1. TWD97 坐標系統：**

台灣地區於 1997 年公告使用之新的國家地形圖坐標系統。臺灣、小琉球、綠島、蘭嶼及龜山島等地區之地圖投影採用橫麥卡托（Transverse Mercator）投影經差二度分帶，其中央子午線定於東經 121 度，投影原點向西平移 25 萬公尺，中央子午線尺度比為 0.9999；澎湖、金門及馬祖等地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中央子午線定於東經 119 度。

**2. TWVD2001 高程系統：**

台灣地區於 2001 年公告使用之新的國家高程坐標系統。臺灣本島之高程，自基隆平均海水面為 0 公尺起算；澎湖地區之高程，自馬公平均海水面為 0 公尺起算；金門地區之高程，自料羅平均海水面為 0 公尺起算；馬祖地區之高程，自福沃平均海水面為 0 公尺起算；其他島嶼依當地高程基準為之。

**3. 高程控制點：**

直接水準測量時引用之高程基準點。

**4. 橋梁：**

橋梁是跨越峽谷、山谷、道路、鐵路、河流、其他水域、或其他障礙而建造的結構，是一種由水面或地面突出來的高架，用來連著橋頭橋尾兩邊路，按形式和構造主要分為梁式橋、拱橋、懸索橋、斜張橋等。

**5. 位移：**

一般分成垂直位移、水平位移、角度變化等，廣義的位移包括撓度及角度變化等。

**6. 變形：**

由拉力、推力、剪力、彎力、扭力等外力作用而造成之體積大小變化或歪斜扭曲等變形。

**7. 變位：**

架設結構體為剛體，因此無變形之行為，剛體產生之移動稱為變位。

**8. 正高：**

參考橢球面至地表面之垂直高度。

**9. 橢球高：**

水準基面至地表面之垂直高度。

**10.監測點：**

橋板上進行沉陷或是撓度監測時，測量橋板高程值之點位。橋墩角度交會監測及橋墩近景攝影測量時，設置於橋墩上之標記，通常為黑白相間且有一交點。

**11. 視準距離：**

進行水準測量時，水準儀至水準尺之水平距離。

**12. 平差計算：**

利用觀測資料，進行未知點資料之網形平差，使用最小二乘法進行最佳參數(未知數)推定。

**13. 基準組：**

橋梁監測中以第一次測量的數據為基準組，後續測量結果皆與此數據做為比較。

**14. 撓度：**

橋梁之梁或板無支撐處之垂直位移造成之梁或板之撓曲變形。

**15. 沉陷：**

橋梁因使用年齡增加河水沖刷等外力作用情況下產生之下陷現象。

**16. 觀測站：**

橋墩監測時採用角度交會觀測，於河床或河堤上布的設控制點位，用於設置觀測儀器或稜鏡。

**17. 監測標：**

橋墩角度交會監測及橋墩近景攝影測量時，設置於橋墩上之標

記，通常為黑白相間且有一交點。

**18. 前方交會法：**

在已知點設站，各對未知點進行水平角度量測並藉以推求未知點之測量方法。

**19. 自由網平差：**

在測量網形整體平差計算中，不加入控制點(或僅使用一個控制點點)強制制約坐標的解算方法，或稱之為最小約制平差。

**20. 無人飛行載具(UAV)：**

為使用遙控裝置控制之自主飛行載具，載具上附有相機可在進行近景攝影測量之拍攝。

**21. 尺度棒：**

近景攝影中用來表示已知尺度之工具，作為模型坐標系統之約制。

**22. 攝影站：**

近景攝影拍攝相片時相機之位置。

**23. 內方位參數：**

相機製程中內部鏡頭具有之物理參數，包括焦距、像主點位置的偏移量。

**24. 輻射畸變差：**

入射光線經過相機投影中心時於像主點為中心之輻射方向所產生之變形。

**25. 離心畸變差：**

當相機之組合透鏡中心未精確排列對齊時，光線投射至成像面

時，影像產生之變形。

**26. 仿射畸變差：**

相機製造過程中，當 CCD 各元素間之排列未達整齊時，將會使得 CCD 成像面產生一非正形(non-square)結構產生之變形。

**27. 模型坐標：**

近景攝影測量資料處理中，由重疊攝影影像經相對定向後組成之立體模型的坐標系統。

**28. 差異值之顯著性檢定：**

不同次觀測平差計算後所得監測點位置之差異量，透過統計方法進行顯著性的檢定，藉以判斷該差異量是屬於真的變形量或僅屬測量誤差。

# 第二章 橋梁監測基本規定

## 2.1 通則

本監測規範將簡支梁橋或斜張橋結構分為兩部分，一為橋板部份，一為橋墩部份;橋板部分進行橋板撓度監測及橋梁沉陷監測，而橋墩部份則進行橋墩傾斜之角度交會監測及近景攝影監測。

## 2.2 監測週期

橋梁監測週期原則以以橋梁的年齡為主要考量，橋梁年齡十年以下之橋梁每年監測一次，十年以上者則每年監測兩次，且監測時間以汛期前後為原則；若有發生特殊自然洪災，得視需要增加災後的監測。

## 2.3 坐標系統

### 2.3.1 平面基準

使用絕對坐標系統為監測之依據者，台灣本島採用 TWD97 二度分帶，中央經線 121o 之橫麥卡脫投影坐標系統，離島地區則採用中央經線 119o 之橫麥卡脫投影坐標系統。

### 2.3.2 高程基準

使用絕對坐標系統為監測之依據者，台灣本島採用 TWVD2001 高程系統，離島地區則採用當地之高程系統。

# 第三章 沉陷與撓度監測

## 3.1 通則

簡支梁橋與斜張橋之沉陷與撓度監測可於橋板上佈設適當監測點位後，以「直接水準測量」方法進行監測點之觀測。

## 3.2 觀測儀器

以光學自動水準儀或電子(數位)水準儀實施直接水準測量，配合一般水準尺或條碼水準尺使用。

## 3.3 高程控制點與監測點的配置與規定

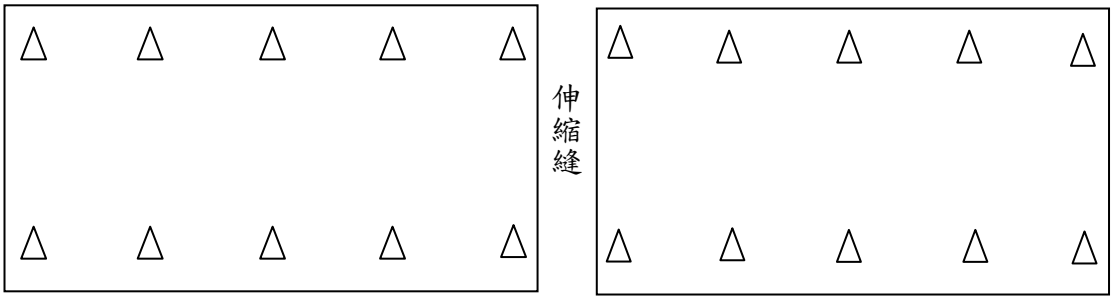
### 3.3.1高程控制點

1. 橋梁撓度及沉陷監測應設置高程控制點。
2. 選擇高程控制點應設置於橋梁主體之外、位置穩定且易於長期保存的地方，並引測高等級水準點(TWVD2001)以獲取其已知高程值，其往返閉合差需在 $\pm 3mm\sqrt{k}$ (精密水準測量標準)之內。當高程控制點受到地震、洪災、爆破、或其他外力因素影響其穩定性時，應重新進行引測其高程值。

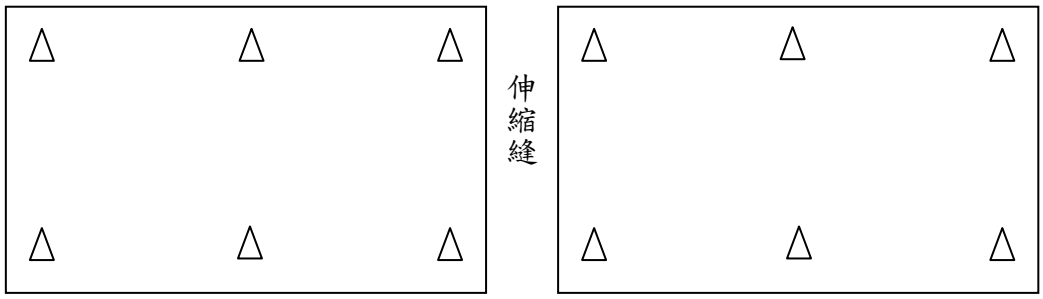
### 3.3.2監測點

1. 若橋板長度大於40公尺，以每個橋板為單位在其上下游之頭尾(各橋墩上方之連接縫二側)各設一個點，並於橋板中加布設三點，此三點之位置宜佈設在橋板長度之1/4、1/2、3/4處，如3.1圖所示，共設置十個監測點。

2. 若橋板長度小於四十公尺，則在每個橋板上下游之頭尾各設一個點，並於橋板長度之1/2處布設一個點，如圖3.2所示共設置六個觀測點。




**附圖3.1 橋板長度大於40米之觀測點設置示意圖**




**附圖3.2 橋板長度小於40米之觀測點設置示意圖**

## 3.4 監測點觀測方法

### 3.4.1觀測方法與程序

1. 水準儀至觀測點之視準距離最短應大於 20m，最長應小於 50m。
2. 於橋板二側距離橋頭 2/3 處設置儀器，在視準距離內，對另一側之監測點設立標尺後進行直接水準標尺讀數，紀錄其視準距離。對監測點之觀測應橫跨相臨兩個橋面，以獲得各觀測點之高程差及相臨橋面間之數據銜接。在第一站之觀測中應包含對高程控制點之觀測。

3. 各觀測點之觀測以各尺觀測之順序，採取往返各一次觀測。較差不得大於 ±2mm。

4. 水準觀測量之總數應大於布設監測點總數之 1.5 倍。

**3.4.2觀測中應注意之事項：**

1. 原則上以同一觀測者使用同一部儀器測量之。

2. 水準觀測時間以避免日照溫度影響為宜，如早上 10 點至下午 3 點間不宜進行水準觀測。

3. 避免在交通繁忙時間進行觀測，以減少橋梁震動之影響，若無法避免時，應採重複觀測方式為之。

4. 當測量觀測點時，須仔細核對該點之位置、編號及名稱是否與紀錄相符。

## 3.5 資料處理

### 3.5.1 基本原則

各觀測點資料先經較差之檢查後，以水準網形進行整體平差計算，以獲取各監測點平差後高程及誤差分析。

### 3.5.2 水準網平差計算

各觀測數據經整理後，組成水準網形，以間接觀測平差模式進行最小二乘法求解各監測點之平差後高程值及誤差分析。

1. 使用穩定的控制點做為已知高程點。

2. 各觀測量以視準距離倒數作為權值，及 Pi=1/Si。

3. 求得各監測點之平差後高程值推定值。

4. 誤差分析中應包括平差後單位權標準誤差及各觀測點高程點位中誤差。

5. 水準網整體平差計算後，各觀測點之中誤差不得大於 ±5mm。

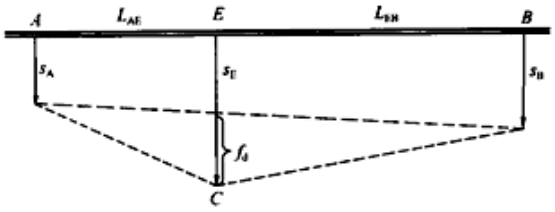
### 3.5.3 橋面撓度計算

撓度值 fd 應按下列公式計算：

$$f_d = \Delta S_{AE} - \frac{L_{AE}}{L_{AE}+L_{EB}} \Delta S_{AB}$$

$$\Delta S_{AE} = S_E - S_A$$

$$\Delta S_{AB} = S_B - S_A$$




式中，$S_A$ 、$S_B$ 為 $A$、$B$點的沉陷量或位移量(mm)；

$S_E$ 為 $E$ 點的沉陷量或位移量(mm)，$E$ 點位於$A$、$B$ 兩點之間；

$L_{AE}$ 為$A$、$E$之間的距離(m)；

$L_{EB}$ 為$E$、$B$之間的距離(m)。

### 3.5.4 沉陷計算

以第一次水準測量的結果為基準，沈陷量是計算隨後各次測量成果各觀測點之高程較差。並以統計檢定方法進行差異量之顯著性檢定，以判斷該差異量為測量誤差或真正的沉陷量。

## 3.6 資料繳交內容

### 3.6.1 撓度監測報告書應提交下列圖表：

1. 水準網平差計算成果報告書。

2. 撓度觀測成果表。

3. 撓度曲線圖。

### 3.6.2 沉陷監測報告書需提交下列圖表

1. 水準網平差計算成果報告書。

2. 沉陷觀測成果表。

# 第四章 橋墩傾斜之監測

## 4.1 通則

簡支梁橋或斜張橋之橋墩傾斜監測可由橋墩監測點的位置變化得知，需先以衛星定位儀採用靜態觀測及自由網平差計算及觀測站(控制點)之坐標，再以全站儀設置於觀測站上，對監測點做水平角度觀測，並進行前方交會計算，獲得監測點之坐標，再由兩次監測點位置數據計算得到相對的傾斜角度。

## 4.2 監測儀器

### 4.2.1 儀器規範要求：

1. GPS 衛星定位儀：採用雙頻接收儀為原則，且其水平定位精度(靜態)在±5mm+0.5ppm 之內，垂直定位精度(靜態)在±5mm+1ppm 之內。
2. 全站儀需經過校正，且水平角度量測精度在±3 秒以內。

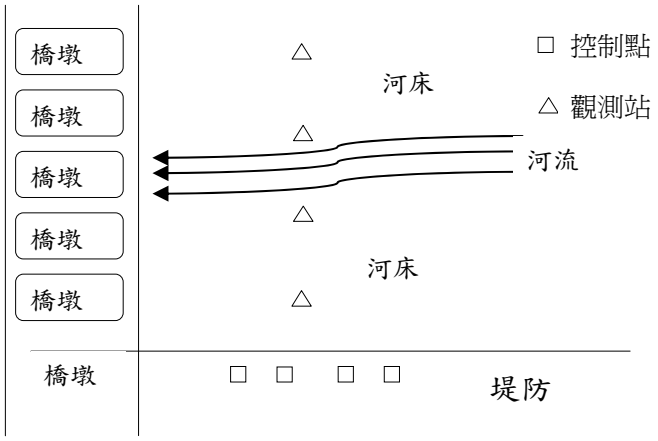
## 4.3 監測點與觀測站之布設與配置

### 4.3.1 監測點

1. 以每一個橋墩為單位進行監測觀測，在橋墩上布設監測點的標誌。監測標之形式不拘，以易於進行角度觀測為原則，不方便布標處，可以自然點替代之，如橋墩上緣之角點位置。
2. 每個橋墩上之監測標以平均分佈於水平及垂直方向，至少三個監測點，且每個監測標至少需與距離最近的三個觀測站通視，以便於進行角度之觀測。

### 4.3.2觀測站

1. 觀測站之布設以約略垂直各橋墩方向且距40-60米處設置一個觀測站，若在欲設置之位置附近有水域經過無法布設則可以省略，如圖4.1之三角形所示。




**附圖 4.1 橋墩監測點與觀測點示意圖**

2. 觀測站以選擇固定位置並釘訂木樁為原則，以供多次觀測使用。若現場無法布設固定點位，則每次觀測前應重新布設之。

## 4.4 觀測站之衛星定位測量

1. 衛星定位測量方式：採取雙頻靜態測量方法。
2. 觀測時間：至少45分鐘以上。資料取樣間隔：5秒。透空仰角：15度以上。點位精度因子（PDOP）：小於6最少共同觀測衛星顆數：多於4顆(含)以上。

## 4.5 監測點之角度交會測量方法

### 4.5.1測量方法

1. 在觀測站架設全站儀後視相鄰之觀測站，前視鄰近三個橋墩之監

測點，觀測各監測點之水平角度。

2. 每個監測點至少需被鄰近三個觀測站觀測三個水平角度以上，每個水平角度至少需觀測二測回以上，且二測回之角度較差不得大於5”。每個角度觀測中誤差不得大於±5”。

### 4.5.2角度測量應注意事項：

1. 觀測中，應由同一觀測者使用同一類型之儀器及設備。
2. 當觀測「監測點」時，須仔細查核該點之位置、編號及名稱是否與紀錄相符。
3. 前方交會之三角形宜近似等邊三角形，且其三角形內角不宜小於30度。

## 4.6 觀測資料之處理

### 4.7.1 衛星定位測量

1. 將所有衛星定位觀測數據以自由網平差方式(最小約制)完成GPS網形平差計算，以避免控制點誤差之影響。
2. 各點位之標準誤差不得大於±5mm。

### 4.7.2 監測點前方交會測量

1. 將衛星定位測量所獲的坐標，配合觀測的水平角度對每個監測點進行前方交會計算
2. 每個監測點至少需要觀測三個水平角度以上，以坐標平差法進行每個監測點之平差坐標求取，及點位誤差分析。
3. 各點位之標準誤差不得大於±5mm。
4. 以第一次監測成果為基準，比較隨後各次監測點之坐標較差。

## 4.7 資料繳交內容

### 4.7.1 角度交會測量報告書需繳交之成果：

1. 控制點、觀測站、監測點與橋墩的點位分布圖。
2. 衛星定位測量原始觀測數據及自由網平差成果報表。
3. 監測點坐標平差法計算成果報表。
4. 各次監測點坐標的較差表(第二次以後觀測)。

# 第五章 近景攝影測量方法之橋墩監測

## 5.1 通則

橋墩監測可以使用近景攝影測量方法為之。在簡支梁橋的橋墩或斜張橋之橋塔上佈設監測標，並進行攝影作業，若因為地形、水域或高度因素無法直接拍攝時，可以考慮使用無人飛行載具(UAV)或船舶方式進行攝影作業。

## 5.2 監測儀器

### 5.2.1 相機規範要求：

1. 固定焦距。
2. 畫素在一千萬以上。
3. 相機需經過率定，具有率定之內方位及透鏡畸變參數。

## 5.3 攝影方法

1. 監測標之佈設請參考本文4.3.1節。
2. 以每一個橋墩為一個攝影組，在欲攝影之橋墩旁，先設置尺度棒(如水準尺)，尺度棒宜放置在照片中心點位置附近，且垂直跟水平方向皆要佈設。
3. 在距離橋墩5m~10m處圍繞橋墩，選定適合的攝影站位置，以交會攝影方式進行拍攝，相鄰相片重疊量應大於70%以上重疊。橋墩之一側以7~10張影像為原則。
4. 每一個監測標至少需要須出現於三張不同角度所拍攝之影像內。

## 5.4 資料處理程序

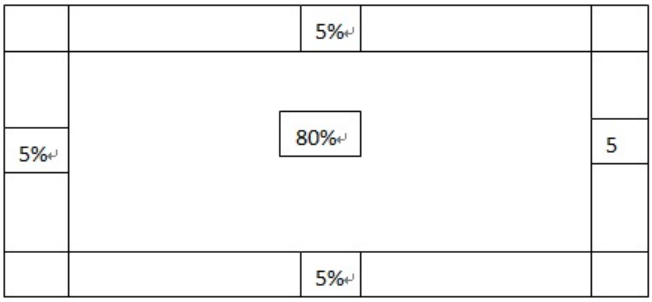
### 5.4.1 通則

以第一次拍攝的影像為基準組，基準組之目的在於作為後續多次量測進行相對比較之依據。

**資料處理軟體**使用與相機率定相同之專業近景攝影測量軟體處理之。

### 5.4.2 數據處理及傾斜量計算

基本原則：匯入相片時每張影像之有效範圍只取像幅中間之 80%，如下圖所示，並請注意整個橋墩是否在有效覆蓋區域內。




**附圖 5.1 相片有效範圍示意圖**

1. 選擇專業之近景攝影測量軟體進行資料之處理。
2. 於攝影前或後，以所選擇之軟體內使用之相機率定方法進行相機率定，計算出該相機之內方位、輻射畸變差、離心畸變差等參數，並設定於軟體內備用。
3. 匯入一個影像組，依軟體處理步驟進行共軛點坐標量測至核線產生，表示完成相對定向，並依尺度參數完成模型坐標重建。
4. 於模型中量測各監測點模型坐標及誤差分析。模型坐標量測之標準誤差不得大於0.5個像元。
5. 第一次攝影所得求得的監測點坐標作為基準組。
6. 將量測之模型坐標以三個共同點(控制點)轉換至基準模型坐標(相對坐標)，若有地測所得控制點亦可將其轉換為絕對坐標。轉換精度不得大於±5mm。

7. 依橫方向監測點及縱方向監測點推算縱橫方向之傾斜角。

## 5.5 資料繳交內容

### 5.5.1 近景攝影報告書內需要繳交的成果

1. 相機型號、規格及各項率定參數。
2. 使用之近景攝影處理軟體名稱及其功能說明。
3. 每次觀測各組原始影像及資料處理結果報表。
4. 多次觀測與基準組的比較圖表。

# 第六章 測量成果分析

## 6.1 通則

橋梁結構體之變位監測，為採週期性之量測為之，在各次量測之數據中必定存在某些差異，而該差異量的大小可能為真正的形變量或是純屬測量的誤差，因此，必須對各差異量進行顯著性之統計檢定分析，以判定是否為真正的形變量。

## 6.2 差異量之顯著性檢定

1. 對各次觀測的整體精度(單位權標準差)的差異性可採統計的 F 檢定方式為之。統計量：$F = \hat{\sigma}_1^2 / \hat{\sigma}_2^2$ (取 95%信心水準)
2. 對各次觀測的坐標差異量可採統計的 t 檢定方式為之。

   統計量：

$$t = \frac{dx}{\hat{\sigma}_0 \sqrt{Q_1 + Q_2}}$$ (取 95%信心水準)

$$\sum_{xx} = \sigma_0^2 N^{-1}$$

$$N^{-1} = Q \quad \text{.....(1)}$$

式中$dx$為差異量；$Q_1$,$Q_2$為二次觀測平差計算坐標值之協因素值。

## 附錄：

### 附表 1-1 沉陷量紀錄表

| 點號 | 第一次 | 第二次 | ΔH | 點號 | 第一次 | 第二次 | ΔH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

### 附表 1-2 觀測點 GPS 點位結果表

| 點 名 | YN 坐標(m) | 標準差(m) | XE 坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

### 附表 1-3 監測點二次觀測之監測點坐標較差

| 點號 | 第一次 | | 第二次 | | ΔN(m) | ΔE(m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NY(m) | EX(m) | NY(m) | EX(m) | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

## 附表 1-4 內方位參數及各種畸變差紀錄表

| 內方位參數 | |
|---|---|
| f (mm)： | |
| $x_0$ (mm)： | |
| $y_0$ (mm)： | |
| 輻射畸變參數 | |
| $K_1$： | |
| $K_2$： | |
| $K_3$： | |
| 離心畸變參數 | |
| $P_1$： | |
| $P_2$： | |
| 仿射畸變參數 | |
| $B_1$： | |
| $B_2$： | |

## 附表 1-5 尺度約制使用地測之觀測點計算之距離參數

| 地面測量結果 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 點號 | E | Z | N | 距離(m) |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

## 附表 1-6 基準組經尺度約制後之控制點坐標

| 點號 | X(m) | Y(m) | Z(m) |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

## 附表 1-7 同梯次拍攝組與基準組之比較

| 拍攝組與基準組之比較 (單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Pixel Size | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | | | | |

## 附表 1-8 基準組之 N 與 E 二坐標軸向的傾斜角計算結果

| 點位名稱 | E(m) | Z(m) | N(m) | 空間距離 (m) | dE/dN (度) | dE/dZ (度) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

# 附錄二

# 水準觀測計算分析報表

# 水準觀測計算分析報表

水準計算

```
*****************************************
*        水 準 網 平 差 計 算            *
*                                       *
*          VERSION 1.0   2001.10        *
*****************************************
```

資料檔名 :Lev2002-LVL-1

*** 高 程 觀 測 資 料 ***

| 項次 No. | 測線代碼 line Code | 距離(km) Distance(km) | 觀測精度 mm*sqrt(KM) | 權 Weight | 觀測量(m) Observation(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10002 | .162 | 3.0 | .686 | .25203 |
| 2 | 20003 | .080 | 3.0 | 1.389 | .18156 |
| 3 | 30004 | .078 | 3.0 | 1.425 | .11242 |
| 4 | 50006 | .080 | 3.0 | 1.389 | -.17452 |
| 5 | 60007 | .078 | 3.0 | 1.425 | -.16628 |
| 6 | 70001 | .144 | 3.0 | .772 | -.16170 |
| 7 | 70008 | .085 | 3.0 | 1.307 | -.01509 |
| 8 | 80009 | .083 | 3.0 | 1.339 | .05410 |
| 9 | 90010 | .068 | 3.0 | 1.634 | .04161 |
| 10 | 100011 | .055 | 3.0 | 2.020 | .00766 |
| 11 | 110012 | .048 | 3.0 | 2.315 | .00576 |
| 12 | 120002 | .046 | 3.0 | 2.415 | -.00501 |
| 13 | 20006 | .062 | 3.0 | 1.792 | .07772 |
| 14 | 70013 | .083 | 3.0 | 1.339 | .02449 |
| 15 | 130014 | .069 | 3.0 | 1.610 | .02013 |
| 16 | 140015 | .055 | 3.0 | 2.020 | -.00100 |
| 17 | 150016 | .048 | 3.0 | 2.315 | .03979 |
| 18 | 160017 | .045 | 3.0 | 2.469 | .00145 |
| 19 | 170018 | .047 | 3.0 | 2.364 | .04048 |
| 20 | 180019 | .054 | 3.0 | 2.058 | .03218 |
| 21 | 190020 | .067 | 3.0 | 1.658 | -.00402 |
| 22 | 200006 | .082 | 3.0 | 1.355 | .01562 |
| 23 | 160008 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.09703 |
| 24 | 20021 | .083 | 3.0 | 1.339 | .03944 |
| 25 | 210022 | .067 | 3.0 | 1.658 | .03381 |
| 26 | 220023 | .054 | 3.0 | 2.058 | -.00362 |
| 27 | 230024 | .047 | 3.0 | 2.364 | .00870 |
| 28 | 240025 | .045 | 3.0 | 2.469 | .01753 |
| 29 | 250026 | .048 | 3.0 | 2.315 | .01601 |
| 30 | 260027 | .056 | 3.0 | 1.984 | .04645 |
| 31 | 270028 | .069 | 3.0 | 1.610 | .00609 |
| 32 | 280029 | .083 | 3.0 | 1.339 | .01388 |
| 33 | 290003 | .092 | 3.0 | 1.208 | .00202 |
| 34 | 60030 | .092 | 3.0 | 1.208 | .00243 |
| 35 | 300031 | .083 | 3.0 | 1.339 | .02338 |
| 36 | 310032 | .069 | 3.0 | 1.610 | .03126 |
| 37 | 320033 | .056 | 3.0 | 1.984 | .02252 |
| 38 | 330034 | .048 | 3.0 | 2.315 | .02394 |
| 39 | 340035 | .046 | 3.0 | 2.415 | -.00065 |
| 40 | 350036 | .047 | 3.0 | 2.364 | .00334 |
| 41 | 360037 | .054 | 3.0 | 2.058 | .02376 |
| 42 | 370038 | .067 | 3.0 | 1.658 | .01030 |
| 43 | 380005 | .082 | 3.0 | 1.355 | .03316 |
| 44 | 30039 | .083 | 3.0 | 1.339 | .03240 |
| 45 | 390040 | .067 | 3.0 | 1.658 | .00691 |
| 46 | 400041 | .055 | 3.0 | 2.020 | .00285 |
| 47 | 410042 | .048 | 3.0 | 2.315 | .01791 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 48 | 420043 | .046 | 3.0 | 2.415 | -.00091 |
| 49 | 430044 | .048 | 3.0 | 2.315 | .02177 |
| 50 | 440045 | .056 | 3.0 | 1.984 | .01613 |
| 51 | 450046 | .069 | 3.0 | 1.610 | .01267 |
| 52 | 460004 | .083 | 3.0 | 1.339 | .00431 |
| 53 | 40047 | .085 | 3.0 | 1.307 | .01237 |
| 54 | 470048 | .082 | 3.0 | 1.355 | -.00796 |
| 55 | 480049 | .067 | 3.0 | 1.658 | -.01652 |
| 56 | 490050 | .054 | 3.0 | 2.058 | -.01832 |
| 57 | 500051 | .047 | 3.0 | 2.364 | -.00750 |
| 58 | 510004 | .062 | 3.0 | 1.792 | .03702 |
| 59 | 50003 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.07137 |
| 60 | 120007 | .063 | 3.0 | 1.764 | -.09438 |
| 61 | 240017 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.08459 |
| 62 | 250034 | .062 | 3.0 | 1.792 | .08522 |
| 63 | 350042 | .062 | 3.0 | 1.792 | .05797 |
| 64 | 430047 | .062 | 3.0 | 1.792 | .06459 |
| 65 | 290030 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.10169 |

*** 先 驗 高 程 值 ***

| 項次 | 點名 | 高程(m) | 精度(m) |
|---|---|---|---|
| 1 | L7-1 | 66.88900 | .00100 |

no of obs 觀測量數目 ..... 65
no of bench marks 總點數 ..... 51
no of fixed points 已知高程點個數 ..... 1
degree of freedom 多餘觀測數 ..... 15
modefied D.F. 多餘觀測數 ..... 15
sum weighted squared residules VtPV ..... .1195E+02(mm**2/km)
standard deviation 單位權中誤差 ..... .893 ( mm * sqrt(1 km) )

**** 先 驗 高 程 點 更 新 值 (m) ****

| 項次 No | 點 名 Name | 高 程(M) Elevation | 改正值(M) update | 標準誤差(CM) STD |
|---|---|---|---|---|
| 1 | L7-1 | 66.88900 | .00000 | .00000 |

*** 平 差 後 高 程 值 ***

| 項次 No | 點 名 Name | 高 程(M) Elevation (m) | 標準誤差(CM) Std. (cm) |
|---|---|---|---|
| 1 | L7-1 | 66.88900 | .000 |
| 2 | 2-1 | 67.14047 | .079 |
| 3 | 4-1 | 67.32176 | .094 |
| 4 | 5-5 | 67.43374 | .112 |
| 5 | 4-6 | 67.39286 | .098 |
| 6 | 2-6 | 67.21797 | .086 |
| 7 | 1-10 | 67.05119 | .078 |
| 8 | 1-1 | 67.03631 | .095 |
| 9 | 1-2 | 67.09044 | .107 |
| 10 | 1-3 | 67.13207 | .106 |
| 11 | 1-4 | 67.13974 | .098 |
| 12 | 1-5 | 67.14551 | .085 |
| 13 | 1-9 | 67.07532 | .101 |
| 14 | 1-8 | 67.09514 | .107 |
| 15 | 1-7 | 67.09390 | .105 |
| 16 | 1-6 | 67.13348 | .097 |
| 17 | 2-10 | 67.13483 | .099 |
| 18 | 2-9 | 67.17510 | .106 |
| 19 | 2-8 | 67.20704 | .109 |
| 20 | 2-7 | 67.20272 | .105 |
| 21 | 2-2 | 67.18016 | .102 |
| 22 | 2-3 | 67.21418 | .108 |
| 23 | 2-4 | 67.21072 | .107 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 24 | 2-5 | 67.21956 | .101 |
| 25 | 3-1 | 67.23733 | .104 |
| 26 | 3-2 | 67.25351 | .112 |
| 27 | 3-3 | 67.30015 | .117 |
| 28 | 3-4 | 67.30648 | .116 |
| 29 | 3-5 | 67.32065 | .103 |
| 30 | 3-10 | 67.21980 | .102 |
| 31 | 3-9 | 67.24375 | .116 |
| 32 | 3-8 | 67.27548 | .118 |
| 33 | 3-7 | 67.29839 | .114 |
| 34 | 3-6 | 67.32266 | .106 |
| 35 | 4-10 | 67.32241 | .108 |
| 36 | 4-9 | 67.32573 | .115 |
| 37 | 4-8 | 67.34946 | .117 |
| 38 | 4-7 | 67.35974 | .114 |
| 39 | 4-2 | 67.35387 | .114 |
| 40 | 4-3 | 67.36054 | .119 |
| 41 | 4-4 | 67.36320 | .117 |
| 42 | 4-5 | 67.38094 | .111 |
| 43 | 5-1 | 67.38029 | .115 |
| 44 | 5-2 | 67.40179 | .124 |
| 45 | 5-3 | 67.41761 | .128 |
| 46 | 5-4 | 67.42990 | .126 |
| 47 | 5-6 | 67.44557 | .119 |
| 48 | 5-7 | 67.43799 | .132 |
| 49 | 5-8 | 67.42178 | .134 |
| 50 | 5-9 | 67.40371 | .132 |
| 51 | 5-10 | 67.39643 | .126 |

*** Reliability Analysis Information ***
normal obs(..); warning obs r<0.25(1.); bad obs w>3(.R)
very bad obs(1R), questionable v>2.0cm(..?), no check(1N)

| 項次 No. | 後視 from | -> | 前視 to | 權 weight | 距離(kM) dist(km) | 觀測量 obs(m) | 改正數 v(cm) | 高差 adjobs(m) | 多餘數 ri | 標準差 std(cm) | 標記 mark |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | L7-1 | | 2-1 | .69 | .2 | .25203 | -.056 | .25147 | .457 | .042 | .. |
| 2 | 2-1 | | 4-1 | 1.39 | .1 | .18156 | -.028 | .18128 | .436 | .015 | .. |
| 3 | 4-1 | | 5-5 | 1.42 | .1 | .11242 | -.043 | .11199 | .248 | .051 | 1. |
| 4 | 4-6 | | 2-6 | 1.39 | .1 | -.17452 | -.038 | -.17490 | .411 | .029 | .. |
| 5 | 2-6 | | 1-10 | 1.42 | .1 | -.16628 | -.049 | -.16677 | .472 | .047 | .. |
| 6 | 1-10 | | L7-1 | .77 | .1 | -.16170 | -.049 | -.16219 | .406 | .038 | .. |
| 7 | 1-10 | | 1-1 | 1.31 | .1 | -.01509 | .021 | -.01488 | .428 | .009 | .. |
| 8 | 1-1 | | 1-2 | 1.34 | .1 | .05410 | .002 | .05412 | .242 | .000 | 1. |
| 9 | 1-2 | | 1-3 | 1.63 | .1 | .04161 | .002 | .04163 | .198 | .000 | 1. |
| 10 | 1-3 | | 1-4 | 2.02 | .1 | .00766 | .002 | .00768 | .160 | .000 | 1. |
| 11 | 1-4 | | 1-5 | 2.31 | .0 | .00576 | .001 | .00577 | .140 | .000 | 1. |
| 12 | 1-5 | | 2-1 | 2.42 | .0 | -.00501 | -.003 | -.00504 | .279 | .000 | .. |
| 13 | 2-1 | | 2-6 | 1.79 | .1 | .07772 | -.023 | .07749 | .477 | .011 | .. |
| 14 | 1-10 | | 1-9 | 1.34 | .1 | .02449 | -.037 | .02412 | .249 | .035 | 1. |
| 15 | 1-9 | | 1-8 | 1.61 | .1 | .02013 | -.030 | .01983 | .207 | .029 | 1. |
| 16 | 1-8 | | 1-7 | 2.02 | .1 | -.00100 | -.024 | -.00124 | .165 | .023 | 1. |
| 17 | 1-7 | | 1-6 | 2.31 | .0 | .03979 | -.021 | .03958 | .144 | .020 | 1. |
| 18 | 1-6 | | 2-10 | 2.47 | .0 | .00145 | -.010 | .00135 | .172 | .004 | 1. |
| 19 | 2-10 | | 2-9 | 2.36 | .0 | .04048 | -.021 | .04027 | .137 | .021 | 1. |
| 20 | 2-9 | | 2-8 | 2.06 | .1 | .03218 | -.024 | .03194 | .157 | .024 | 1. |
| 21 | 2-8 | | 2-7 | 1.66 | .1 | -.00402 | -.030 | -.00432 | .195 | .030 | 1. |
| 22 | 2-7 | | 2-6 | 1.36 | .1 | .01562 | -.037 | .01525 | .239 | .036 | 1. |
| 23 | 1-6 | | 1-1 | 1.79 | .1 | -.09703 | -.014 | -.09717 | .271 | .005 | .. |
| 24 | 2-1 | | 2-2 | 1.34 | .1 | .03944 | .025 | .03969 | .237 | .017 | 1. |
| 25 | 2-2 | | 2-3 | 1.66 | .1 | .03381 | .020 | .03401 | .192 | .013 | 1. |
| 26 | 2-3 | | 2-4 | 2.06 | .1 | -.00362 | .016 | -.00346 | .154 | .011 | 1. |
| 27 | 2-4 | | 2-5 | 2.36 | .0 | .00870 | .014 | .00884 | .134 | .009 | 1. |
| 28 | 2-5 | | 3-1 | 2.47 | .0 | .01753 | .024 | .01777 | .163 | .025 | 1. |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 3-1 | 3-2 | 2.31 | .0 | .01601 | .017 | .01618 | .126 | .014 | 1. |
| 30 | 3-2 | 3-3 | 1.98 | .1 | .04645 | .020 | .04665 | .147 | .016 | 1. |
| 31 | 3-3 | 3-4 | 1.61 | .1 | .00609 | .024 | .00633 | .181 | .019 | 1. |
| 32 | 3-4 | 3-5 | 1.34 | .1 | .01388 | .029 | .01417 | .218 | .023 | 1. |
| 33 | 3-5 | 4-1 | 1.21 | .1 | .00202 | -.091 | .00111 | .399 | .163 | .. |
| 34 | 2-6 | 3-10 | 1.21 | .1 | .00243 | -.060 | .00183 | .397 | .071 | .. |
| 35 | 3-10 | 3-9 | 1.34 | .1 | .02338 | .057 | .02395 | .217 | .091 | 1. |
| 36 | 3-9 | 3-8 | 1.61 | .1 | .03126 | .048 | .03174 | .181 | .076 | 1. |
| 37 | 3-8 | 3-7 | 1.98 | .1 | .02252 | .039 | .02291 | .147 | .061 | 1. |
| 38 | 3-7 | 3-6 | 2.31 | .0 | .02394 | .033 | .02427 | .126 | .053 | 1. |
| 39 | 3-6 | 4-10 | 2.42 | .0 | -.00065 | .040 | -.00025 | .164 | .068 | 1. |
| 40 | 4-10 | 4-9 | 2.36 | .0 | .00334 | -.002 | .00332 | .127 | .000 | 1. |
| 41 | 4-9 | 4-8 | 2.06 | .1 | .02376 | -.002 | .02374 | .146 | .000 | 1. |
| 42 | 4-8 | 4-7 | 1.66 | .1 | .01030 | -.003 | .01027 | .182 | .000 | 1. |
| 43 | 4-7 | 4-6 | 1.36 | .1 | .03316 | -.003 | .03313 | .222 | .000 | 1. |
| 44 | 4-1 | 4-2 | 1.34 | .1 | .03240 | -.029 | .03211 | .237 | .023 | 1. |
| 45 | 4-2 | 4-3 | 1.66 | .1 | .00691 | -.024 | .00667 | .191 | .018 | 1. |
| 46 | 4-3 | 4-4 | 2.02 | .1 | .00285 | -.019 | .00266 | .157 | .015 | 1. |
| 47 | 4-4 | 4-5 | 2.31 | .0 | .01791 | -.017 | .01774 | .137 | .013 | 1. |
| 48 | 4-5 | 5-1 | 2.42 | .0 | -.00091 | .026 | -.00065 | .146 | .030 | 1. |
| 49 | 5-1 | 5-2 | 2.31 | .0 | .02177 | -.027 | .02150 | .142 | .032 | 1. |
| 50 | 5-2 | 5-3 | 1.98 | .1 | .01613 | -.031 | .01582 | .165 | .038 | 1. |
| 51 | 5-3 | 5-4 | 1.61 | .1 | .01267 | -.038 | .01229 | .204 | .046 | 1. |
| 52 | 5-4 | 5-5 | 1.34 | .1 | .00431 | -.046 | .00385 | .245 | .056 | 1. |
| 53 | 5-5 | 5-6 | 1.31 | .1 | .01237 | -.055 | .01182 | .424 | .059 | .. |
| 54 | 5-6 | 5-7 | 1.36 | .1 | -.00796 | .038 | -.00758 | .222 | .041 | 1. |
| 55 | 5-7 | 5-8 | 1.66 | .1 | -.01652 | .031 | -.01621 | .181 | .033 | 1. |
| 56 | 5-8 | 5-9 | 2.06 | .1 | -.01832 | .025 | -.01807 | .146 | .027 | 1. |
| 57 | 5-9 | 5-10 | 2.36 | .0 | -.00750 | .022 | -.00728 | .127 | .023 | 1. |
| 58 | 5-10 | 5-5 | 1.79 | .1 | .03702 | .029 | .03731 | .168 | .031 | 1. |
| 59 | 4-6 | 4-1 | 1.79 | .1 | -.07137 | .027 | -.07110 | .350 | .018 | .. |
| 60 | 1-5 | 1-10 | 1.76 | .1 | -.09438 | .006 | -.09432 | .413 | .001 | .. |
| 61 | 2-5 | 2-10 | 1.79 | .1 | -.08459 | -.014 | -.08473 | .233 | .006 | 1. |
| 62 | 3-1 | 3-6 | 1.79 | .1 | .08522 | .011 | .08533 | .234 | .004 | 1. |
| 63 | 4-10 | 4-5 | 1.79 | .1 | .05797 | .056 | .05853 | .210 | .104 | 1. |
| 64 | 5-1 | 5-6 | 1.79 | .1 | .06459 | .069 | .06528 | .248 | .143 | 1. |
| 65 | 3-5 | 3-10 | 1.79 | .1 | -.10169 | .083 | -.10086 | .270 | .200 | .. |

總 多 餘 觀 測 數 rt= 15.000

```
*****************************************
*        水 準 網 平 差 計 算            *
*                                       *
*          VERSION 1.0   2001.10        *
*****************************************
```

資料檔名 :Lev2002.LVL-2

*** 高 程 觀 測 資 料 ***

| 項次 No. | 測 線 代 碼 line Code | 距 離(km) Distance(km) | 觀測精度 mm*sqrt(KM) | 權 Weight | 觀測量(m) Observation(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 20003 | .040 | 3.0 | 2.778 | -.04246 |
| 2 | 10004 | .162 | 3.0 | .686 | .25417 |
| 3 | 40005 | .080 | 3.0 | 1.389 | .18065 |
| 4 | 50002 | .079 | 3.0 | 1.406 | .11220 |
| 5 | 30006 | .080 | 3.0 | 1.389 | -.17416 |
| 6 | 60007 | .078 | 3.0 | 1.425 | -.16873 |
| 7 | 70001 | .145 | 3.0 | .766 | -.16344 |
| 8 | 70008 | .085 | 3.0 | 1.307 | -.01497 |
| 9 | 80009 | .083 | 3.0 | 1.339 | .05698 |
| 10 | 90010 | .067 | 3.0 | 1.658 | .04451 |
| 11 | 100011 | .055 | 3.0 | 2.020 | .00611 |
| 12 | 110012 | .048 | 3.0 | 2.315 | .00255 |
| 13 | 120004 | .046 | 3.0 | 2.415 | -.00578 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 70013 | .083 | 3.0 | 1.339 | .02466 |
| 15 | 130014 | .069 | 3.0 | 1.610 | .01928 |
| 16 | 140015 | .056 | 3.0 | 1.984 | -.00166 |
| 17 | 150016 | .048 | 3.0 | 2.315 | .04007 |
| 18 | 160017 | .045 | 3.0 | 2.469 | .00113 |
| 19 | 170018 | .047 | 3.0 | 2.364 | .04133 |
| 20 | 180019 | .054 | 3.0 | 2.058 | .03206 |
| 21 | 190020 | .066 | 3.0 | 1.684 | -.00476 |
| 22 | 200006 | .082 | 3.0 | 1.355 | .01509 |
| 23 | 40021 | .083 | 3.0 | 1.339 | .04228 |
| 24 | 210022 | .067 | 3.0 | 1.658 | .03467 |
| 25 | 220023 | .055 | 3.0 | 2.020 | -.00431 |
| 26 | 230024 | .048 | 3.0 | 2.315 | .00571 |
| 27 | 240025 | .046 | 3.0 | 2.415 | .01769 |
| 28 | 250026 | .048 | 3.0 | 2.315 | .01943 |
| 29 | 260027 | .056 | 3.0 | 1.984 | .04680 |
| 30 | 270028 | .069 | 3.0 | 1.610 | .00796 |
| 31 | 280029 | .083 | 3.0 | 1.339 | .01051 |
| 32 | 290005 | .091 | 3.0 | 1.221 | .00118 |
| 33 | 60030 | .092 | 3.0 | 1.208 | .00242 |
| 34 | 300031 | .084 | 3.0 | 1.323 | .02428 |
| 35 | 310032 | .069 | 3.0 | 1.610 | .03169 |
| 36 | 320033 | .056 | 3.0 | 1.984 | .02250 |
| 37 | 330034 | .048 | 3.0 | 2.315 | .02333 |
| 38 | 340035 | .045 | 3.0 | 2.469 | -.00061 |
| 39 | 350036 | .047 | 3.0 | 2.364 | .00371 |
| 40 | 360037 | .054 | 3.0 | 2.058 | .02368 |
| 41 | 370038 | .067 | 3.0 | 1.658 | .00908 |
| 42 | 380003 | .082 | 3.0 | 1.355 | .03375 |
| 43 | 50039 | .082 | 3.0 | 1.355 | .03416 |
| 44 | 390040 | .067 | 3.0 | 1.658 | .00644 |
| 45 | 400041 | .055 | 3.0 | 2.020 | .00151 |
| 46 | 410042 | .047 | 3.0 | 2.364 | .01501 |
| 47 | 420043 | .045 | 3.0 | 2.469 | -.00024 |
| 48 | 430044 | .048 | 3.0 | 2.315 | .02418 |
| 49 | 440045 | .055 | 3.0 | 2.020 | .01674 |
| 50 | 450046 | .068 | 3.0 | 1.634 | .01080 |
| 51 | 460002 | .083 | 3.0 | 1.339 | .00294 |
| 52 | 20047 | .084 | 3.0 | 1.323 | .01190 |
| 53 | 470048 | .082 | 3.0 | 1.355 | -.00959 |
| 54 | 480049 | .067 | 3.0 | 1.658 | -.01695 |
| 55 | 490050 | .055 | 3.0 | 2.020 | -.01814 |
| 56 | 500051 | .048 | 3.0 | 2.315 | -.00678 |
| 57 | 510002 | .062 | 3.0 | 1.792 | .03900 |
| 58 | 120007 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.09578 |
| 59 | 140010 | .051 | 3.0 | 2.179 | .04181 |
| 60 | 40006 | .062 | 3.0 | 1.792 | .08010 |
| 61 | 190022 | .050 | 3.0 | 2.222 | .00926 |
| 62 | 240017 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.08393 |
| 63 | 160008 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.09753 |
| 64 | 270032 | .050 | 3.0 | 2.222 | -.02493 |
| 65 | 340025 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.08603 |
| 66 | 420035 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.05684 |
| 67 | 370040 | .050 | 3.0 | 2.222 | .01433 |
| 68 | 450049 | .050 | 3.0 | 2.222 | .00100 |
| 69 | 470043 | .062 | 3.0 | 1.792 | -.06664 |

*** 先 驗 高 程 值 ***

| 項次 | 點名 | 高程(m) | 精度(m) |
|---|---|---|---|
| 1 | L7-1 | 66.88900 | .00100 |

no of obs 觀測量數目 ..... 69

no of bench marks 總點數 ..... 51

no of fixed points 已知高程點個數 ..... 1

degree of freedom 多餘觀測數 ..... 19

modefied D.F. 多餘觀測數 ..... 19
sum weighted squared residules VtPV ..... .1041E+02(mm**2/km)
standard deviation 單位權中誤差 ..... .740 ( mm * sqrt(1 km) )

**** 先 驗 高 程 點 更 新 值 (m) ****

| 項次 No | 點 名 Name | 高 程(M) Elevation | 改正值(M) update | 標準誤差(CM) STD |
|---|---|---|---|---|
| 1 | L7-1 | 66.88900 | .00000 | .00000 |

*** 平 差 後 高 程 值 ***

| 項次 No | 點 名 Name | 高 程(M) Elevation (m) | 標準誤差(CM) Std. (cm) |
|---|---|---|---|
| 1 | L7-1 | 66.88900 | .000 |
| 2 | 5-5 | 67.43693 | .084 |
| 3 | 4-6 | 67.39485 | .083 |
| 4 | 2-1 | 67.14265 | .066 |
| 5 | 4-1 | 67.32426 | .080 |
| 6 | 2-6 | 67.22166 | .071 |
| 7 | 1-10 | 67.05290 | .065 |
| 8 | 1-1 | 67.03814 | .078 |
| 9 | 1-2 | 67.09504 | .086 |
| 10 | 1-3 | 67.13948 | .080 |
| 11 | 1-4 | 67.14576 | .079 |
| 12 | 1-5 | 67.14846 | .070 |
| 13 | 1-9 | 67.07790 | .081 |
| 14 | 1-8 | 67.09747 | .081 |
| 15 | 1-7 | 67.09581 | .084 |
| 16 | 1-6 | 67.13588 | .080 |
| 17 | 2-10 | 67.13717 | .081 |
| 18 | 2-9 | 67.17858 | .085 |
| 19 | 2-8 | 67.21073 | .083 |
| 20 | 2-7 | 67.20624 | .084 |
| 21 | 2-2 | 67.18508 | .082 |
| 22 | 2-3 | 67.21987 | .082 |
| 23 | 2-4 | 67.21553 | .086 |
| 24 | 2-5 | 67.22121 | .083 |
| 25 | 3-1 | 67.23895 | .086 |
| 26 | 3-2 | 67.25823 | .091 |
| 27 | 3-3 | 67.30484 | .090 |
| 28 | 3-4 | 67.31273 | .096 |
| 29 | 3-5 | 67.32316 | .094 |
| 30 | 3-10 | 67.22398 | .090 |
| 31 | 3-9 | 67.24817 | .094 |
| 32 | 3-8 | 67.27979 | .090 |
| 33 | 3-7 | 67.30210 | .092 |
| 34 | 3-6 | 67.32526 | .088 |
| 35 | 4-10 | 67.32470 | .089 |
| 36 | 4-9 | 67.32820 | .093 |
| 37 | 4-8 | 67.35163 | .091 |
| 38 | 4-7 | 67.36089 | .093 |
| 39 | 4-2 | 67.35883 | .092 |
| 40 | 4-3 | 67.36560 | .091 |
| 41 | 4-4 | 67.36699 | .094 |
| 42 | 4-5 | 67.38189 | .091 |
| 43 | 5-1 | 67.38181 | .092 |
| 44 | 5-2 | 67.40587 | .097 |
| 45 | 5-3 | 67.42248 | .096 |
| 46 | 5-4 | 67.43360 | .097 |
| 47 | 5-6 | 67.44881 | .093 |
| 48 | 5-7 | 67.43969 | .101 |
| 49 | 5-8 | 67.42311 | .097 |
| 50 | 5-9 | 67.40489 | .099 |
| 51 | 5-10 | 67.39803 | .096 |

*** Reliability Analysis Information ***
normal obs(..); warning obs r<0.25(1.); bod obs w>3(.R)
very bad obs(1R), questionable v>2.0cm(..?), no check(1N)

| 項次 No. | 後視 from | -> | 前視 to | 權 weight | 距離(kM) dist(km) | 觀測量 obs(m) | 改正數 v(cm) | 高差 adjobs(m) | 多餘數 ri | 標準差 std(cm) | 標記 mark |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5-5 | 4-6 | 2.78 | .0 | -.04246 | .038 | -.04208 | .219 | .069 | 1. | |
| 2 | L7-1 | 2-1 | .69 | .2 | .25417 | -.052 | .25365 | .457 | .045 | .. | |
| 3 | 2-1 | 4-1 | 1.39 | .1 | .18065 | .096 | .18161 | .375 | .238 | .. | |
| 4 | 4-1 | 5-5 | 1.41 | .1 | .11220 | .048 | .11268 | .402 | .057 | .. | |
| 5 | 4-6 | 2-6 | 1.39 | .1 | -.17416 | .097 | -.17319 | .362 | .248 | .. | |
| 6 | 2-6 | 1-10 | 1.42 | .1 | -.16873 | -.003 | -.16876 | .470 | .000 | .. | |
| 7 | 1-10 | L7-1 | .77 | .1 | -.16344 | -.046 | -.16390 | .409 | .040 | .. | |
| 8 | 1-10 | 1-1 | 1.31 | .1 | -.01497 | .021 | -.01476 | .432 | .010 | .. | |
| 9 | 1-1 | 1-2 | 1.34 | .1 | .05698 | -.008 | .05690 | .331 | .002 | .. | |
| 10 | 1-2 | 1-3 | 1.66 | .1 | .04451 | -.007 | .04444 | .267 | .001 | .. | |
| 11 | 1-3 | 1-4 | 2.02 | .1 | .00611 | .017 | .00628 | .243 | .011 | 1. | |
| 12 | 1-4 | 1-5 | 2.31 | .0 | .00255 | .015 | .00270 | .212 | .010 | 1. | |
| 13 | 1-5 | 2-1 | 2.42 | .0 | -.00578 | -.003 | -.00581 | .294 | .000 | .. | |
| 14 | 1-10 | 1-9 | 1.34 | .1 | .02466 | .034 | .02500 | .342 | .031 | .. | |
| 15 | 1-9 | 1-8 | 1.61 | .1 | .01928 | .028 | .01956 | .284 | .026 | .. | |
| 16 | 1-8 | 1-7 | 1.98 | .1 | -.00166 | .000 | -.00166 | .248 | .000 | 1. | |
| 17 | 1-7 | 1-6 | 2.31 | .0 | .04007 | .000 | .04007 | .212 | .000 | 1. | |
| 18 | 1-6 | 2-10 | 2.47 | .0 | .00113 | .016 | .00129 | .180 | .012 | 1. | |
| 19 | 2-10 | 2-9 | 2.36 | .0 | .04133 | .008 | .04141 | .216 | .003 | 1. | |
| 20 | 2-9 | 2-8 | 2.06 | .1 | .03206 | .009 | .03215 | .248 | .003 | 1. | |
| 21 | 2-8 | 2-7 | 1.68 | .1 | -.00476 | .027 | -.00449 | .257 | .025 | .. | |
| 22 | 2-7 | 2-6 | 1.36 | .1 | .01509 | .033 | .01542 | .319 | .031 | .. | |
| 23 | 2-1 | 2-2 | 1.34 | .1 | .04228 | .015 | .04243 | .319 | .006 | .. | |
| 24 | 2-2 | 2-3 | 1.66 | .1 | .03467 | .012 | .03479 | .257 | .005 | .. | |
| 25 | 2-3 | 2-4 | 2.02 | .1 | -.00431 | -.003 | -.00434 | .247 | .000 | 1. | |
| 26 | 2-4 | 2-5 | 2.31 | .0 | .00571 | -.003 | .00568 | .216 | .000 | 1. | |
| 27 | 2-5 | 3-1 | 2.42 | .0 | .01769 | .005 | .01774 | .171 | .002 | 1. | |
| 28 | 3-1 | 3-2 | 2.31 | .0 | .01943 | -.016 | .01927 | .204 | .012 | 1. | |
| 29 | 3-2 | 3-3 | 1.98 | .1 | .04680 | -.019 | .04661 | .239 | .013 | 1. | |
| 30 | 3-3 | 3-4 | 1.61 | .1 | .00796 | -.007 | .00789 | .183 | .002 | 1. | |
| 31 | 3-4 | 3-5 | 1.34 | .1 | .01051 | -.008 | .01043 | .220 | .002 | 1. | |
| 32 | 3-5 | 4-1 | 1.22 | .1 | .00118 | -.009 | .00109 | .241 | .002 | 1. | |
| 33 | 2-6 | 3-10 | 1.21 | .1 | .00242 | -.010 | .00232 | .248 | .003 | 1. | |
| 34 | 3-10 | 3-9 | 1.32 | .1 | .02428 | -.009 | .02419 | .227 | .003 | 1. | |
| 35 | 3-9 | 3-8 | 1.61 | .1 | .03169 | -.007 | .03162 | .186 | .002 | 1. | |
| 36 | 3-8 | 3-7 | 1.98 | .1 | .02250 | -.019 | .02231 | .239 | .014 | 1. | |
| 37 | 3-7 | 3-6 | 2.31 | .0 | .02333 | -.016 | .02317 | .205 | .012 | 1. | |
| 38 | 3-6 | 4-10 | 2.47 | .0 | -.00061 | .005 | -.00056 | .167 | .001 | 1. | |
| 39 | 4-10 | 4-9 | 2.36 | .0 | .00371 | -.022 | .00349 | .213 | .021 | 1. | |
| 40 | 4-9 | 4-8 | 2.06 | .1 | .02368 | -.025 | .02343 | .245 | .024 | 1. | |
| 41 | 4-8 | 4-7 | 1.66 | .1 | .00908 | .018 | .00926 | .245 | .011 | 1. | |
| 42 | 4-7 | 4-6 | 1.36 | .1 | .03375 | .022 | .03397 | .300 | .013 | .. | |
| 43 | 4-1 | 4-2 | 1.36 | .1 | .03416 | .041 | .03457 | .298 | .048 | .. | |
| 44 | 4-2 | 4-3 | 1.66 | .1 | .00644 | .033 | .00677 | .243 | .039 | 1. | |
| 45 | 4-3 | 4-4 | 2.02 | .1 | .00151 | -.012 | .00139 | .251 | .006 | .. | |
| 46 | 4-4 | 4-5 | 2.36 | .0 | .01501 | -.010 | .01491 | .214 | .005 | 1. | |
| 47 | 4-5 | 5-1 | 2.47 | .0 | -.00024 | .015 | -.00009 | .178 | .012 | 1. | |
| 48 | 5-1 | 5-2 | 2.31 | .0 | .02418 | -.012 | .02406 | .211 | .006 | 1. | |
| 49 | 5-2 | 5-3 | 2.02 | .1 | .01674 | -.014 | .01660 | .241 | .007 | 1. | |
| 50 | 5-3 | 5-4 | 1.63 | .1 | .01080 | .032 | .01112 | .284 | .034 | .. | |
| 51 | 5-4 | 5-5 | 1.34 | .1 | .00294 | .040 | .00334 | .346 | .041 | .. | |
| 52 | 5-5 | 5-6 | 1.32 | .1 | .01190 | -.002 | .01188 | .441 | .000 | .. | |
| 53 | 5-6 | 5-7 | 1.36 | .1 | -.00959 | .046 | -.00913 | .323 | .059 | .. | |
| 54 | 5-7 | 5-8 | 1.66 | .1 | -.01695 | .038 | -.01657 | .264 | .048 | .. | |
| 55 | 5-8 | 5-9 | 2.02 | .1 | -.01814 | -.009 | -.01823 | .216 | .003 | 1. | |
| 56 | 5-9 | 5-10 | 2.31 | .0 | -.00678 | -.008 | -.00686 | .188 | .003 | 1. | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 57 | 5-10 | 5-5 | 1.79 | .1 | .03900 | -.010 | .03890 | .243 | .004 | 1. |
| 58 | 1-5 | 1-10 | 1.79 | .1 | -.09578 | .023 | -.09555 | .441 | .014 | .. |
| 59 | 1-8 | 1-3 | 2.18 | .1 | .04181 | .021 | .04202 | .258 | .017 | .. |
| 60 | 2-1 | 2-6 | 1.79 | .1 | .08010 | -.109 | .07901 | .476 | .311 | .. |
| 61 | 2-8 | 2-3 | 2.22 | .1 | .00926 | -.012 | .00914 | .257 | .006 | .. |
| 62 | 2-5 | 2-10 | 1.79 | .1 | -.08393 | -.011 | -.08404 | .306 | .004 | .. |
| 63 | 1-6 | 1-1 | 1.79 | .1 | -.09753 | -.021 | -.09774 | .316 | .014 | .. |
| 64 | 3-3 | 3-8 | 2.22 | .1 | -.02493 | -.012 | -.02505 | .223 | .006 | 1. |
| 65 | 3-6 | 3-1 | 1.79 | .1 | -.08603 | -.028 | -.08631 | .308 | .026 | .. |
| 66 | 4-5 | 4-10 | 1.79 | .1 | -.05684 | -.035 | -.05719 | .307 | .040 | .. |
| 67 | 4-8 | 4-3 | 2.22 | .1 | .01433 | -.036 | .01397 | .251 | .052 | .. |
| 68 | 5-3 | 5-8 | 2.22 | .1 | .00100 | -.036 | .00064 | .245 | .053 | 1. |
| 69 | 5-6 | 5-1 | 1.79 | .1 | -.06664 | -.037 | -.06701 | .321 | .043 | .. |

總 多 餘 觀 測 數 rt= 19.000

# 附錄三

# GPS 網形平差計算報表

# GPS 網形平差計算報表

GPS 網形平差計算結果

**********

M O V E 3　版本 3.2.2
Design and Adjustment
of
3D 2D and 1D Geodetic Networks
www.MOVE3.com
(c) 1993-2002 Grontmij Geo Informatie bv
Licensed to Leica Geosystems AG

**********

3D 最小限制網型　WGS 84 橢球

測站

| | | |
|---|---|---|
| 已知點數量 | | 1 |
| 未知點數量 | | 7 |
| | 總和 | 8 |

觀測值

| | | |
|---|---|---|
| GPS 座標差 | | 84　(28 基線) |
| 已知座標 | | 3 |
| | 總和 | 87 |

未知的

| | | |
|---|---|---|
| 座標 | | 24 |
| | 總和 | 24 |
| 自由度 | | 63 |

平差

| | |
|---|---|
| 重複次數 | 1 |
| 最後重複的最大座標修正 | 0.0000 m |

TESTING

| | |
|---|---|
| Alfa (multi dimensional) | 0.5795 |
| Alfa 0 (one dimensional) | 0.0500 |
| Beta | 0.80 |
| W-test 臨界值 | 1.96 |
| T-test (3 軸)臨界值 | 1.89 |
| T-test (2 軸)臨界值 | 2.42 |
| F-test 臨界值 | 0.95 |
| F-test | 0.056　認可 |

基於後驗方差因子的成果

橢球常數

| | |
|---|---|
| 橢球 | WGS 84 |
| 長軸 | 6378137.0000 m |
| 扁平率 | 298.257223563 |

COORDINATES (MINIMALLY CONSTRAINED NETWORK)

| 測站 | | | 座標 | 改正數 |
|---|---|---|---|---|
| Prec(68.3%) | | | | |
| T25 | Latitude | 24 18 56.50405 N | 0.0000 | 0.0001 m |
| | Longitude | 120 36 19.19764 E | 0.0002 | 0.0001 m |
| | Height | 74.3994 | -0.0004 | 0.0001 m |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| T26 | Latitude | 24 18 54.88289 N | -0.0000 | 0.0001 m |
| | Longitude | 120 36 18.98544 E | 0.0002 | 0.0001 m |
| | Height | 74.0900 | -0.0001 | 0.0001 m |
| T28 | Latitude | 24 18 53.12962 N | 0.0000 | 0.0001 m |
| | Longitude | 120 36 18.47944 E | 0.0001 | 0.0001 m |
| | Height | 73.2304 | -0.0002 | 0.0001 m |
| T29 | Latitude | 24 18 51.05155 N | 0.0001 | 0.0001 m |
| | Longitude | 120 36 18.16734 E | 0.0001 | 0.0001 m |
| | Height | 75.3195 | -0.0002 | 0.0001 m |
| U29 | Latitude | 24 18 50.46889 N* | 0.0000 | 固定 m |
| | Longitude | 120 36 17.53447 E* | 0.0000 | 固定 m |
| | Height | 78.7180* | 0.0000 | 固定 m |
| U291 | Latitude | 24 18 50.54145 N | 0.0000 | 0.0001 m |
| | Longitude | 120 36 17.02954 E | 0.0000 | 0.0001 m |
| | Height | 78.6878 | -0.0003 | 0.0001 m |
| U292 | Latitude | 24 18 50.23983 N | 0.0000 | 0.0001 m |
| | Longitude | 120 36 19.18287 E | 0.0001 | 0.0001 m |
| | Height | 79.3028 | -0.0003 | 0.0001 m |
| U29A | Latitude | 24 18 49.99811 N | 0.0000 | 0.0001 m |
| | Longitude | 120 36 18.24844 E | 0.0001 | 0.0001 m |
| | Height | 83.1040 | -0.0002 | 0.0002 m |

ABSOLUTE CONFIDENCE REGIONS (ERROR ELLIPSES) 2D - 39.4% 1D - 68.3%

| 測站 | A | B | A/B | 方位 | 高程(68.3%) |
|---|---|---|---|---|---|
| T25 | 0.0001 | 0.0001 m | 1.0 | 76 deg | 0.0001 m |
| T26 | 0.0001 | 0.0001 m | 1.0 | 54 deg | 0.0001 m |
| T28 | 0.0001 | 0.0001 m | 1.1 | 33 deg | 0.0001 m |
| T29 | 0.0001 | 0.0001 m | 1.1 | 35 deg | 0.0001 m |
| U29 | 0.0000 | 0.0000 m | 0.0 | 90 deg | 0.0000 m |
| U291 | 0.0001 | 0.0001 m | 1.1 | 36 deg | 0.0001 m |
| U292 | 0.0001 | 0.0001 m | 1.1 | 38 deg | 0.0001 m |
| U29A | 0.0001 | 0.0001 m | 1.3 | 26 deg | 0.0002 m |

# 附錄四

# 監測點前方交會計算分析報表

# 監測點前方交會計算分析報表

監測點前方交會法計算結果

**********

** 本 計 算 中 不 使 用 觀 測 量 投 影 改 正 ** P25

**********

角度觀測量之標準誤差 = 5.0 (秒)

距離觀測量之標準誤差 = 3.0 mm + 3.0 ppm

輸 入 之 原 始 觀 測 值 :

| 編號 | 編 碼 | 中誤差 | 觀 測 值 |
|---|---|---|---|
| 1 | 40010022. | 5.000 | 260030.3000 |
| 2 | 10020042. | 5.000 | 1304425.8000 |
| 3 | 40020032. | 5.000 | 411720.3000 |
| 4 | 20030042. | 5.000 | 845140.0000 |

觀 測 量 總 數 = 4

水平角觀測量個數 = 4

方位角觀測量個數 = 0

距離觀測量個數 = 0

未 知 數 總 數 = 8

測 站 點 總 數 = 4

每站之未知個數 = 2

已 知 點 總 數 = 3

已知點之點號 :

點 : 1

點 : 2

點 : 3

點位之近似坐標及加權型式 :

| 測 站 | 點名 | YN-坐標 | XE-坐標 | 加權形式(YN,XE) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T28 | 2689939.280 | 209923.724 | 12 | 12 |
| 2 | T26 | 2689993.178 | 209938.142 | 12 | 12 |
| 3 | T25 | 2690043.036 | 209944.266 | 12 | 12 |
| 4 | P25 | 2690006.598 | 209893.034 | 0 | 0 |

>>> 計 算 輸 出 資 訊 <<<

**********

** 重複漸近 = 5 **

**********

未知數之改正變量 (DX) =

| | | Delta-YN | Delta-XE |
|---|---|---|---|
| 1 | T28 | 0.82766E-10 | 0.69956E-09 |
| 2 | T26 | -0.28159E-09 | -0.14563E-08 |
| 3 | T25 | 0.19882E-09 | 0.75673E-09 |
| 4 | P25 | -0.12171E-04 | 0.12663E-04 |

殘 差 值 =

1 -0.77168E+01

2 -0.85281E+01

3 -0.31373E+01

4 0.14466E+01

多餘觀測數 (自由度) = 2

距離觀測量之 PVV 和 = 0.0000

角度觀測量之 PVV 和 = 5.7685

整體觀測量之 PVV 和 = 5.7685

變 方 值 (Variance) = 2.8843

標準誤差(Std. Dev.) = 1.6983

>>> 測 站 整 體 平 差 坐 標 <<<

==========

| 點 號 | 點 名 | YN - 坐標(m) | 中誤差 y(cm) | XE - 坐標(m) | 中誤差 x(cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T28 | 2689939.280 | 0.00(cm) | 209923.724 | 0.00(cm) |
| 2 | T26 | 2689993.178 | 0.00(cm) | 209938.142 | 0.00(cm) |
| 3 | T25 | 2690043.036 | 0.00(cm) | 209944.266 | 0.00(cm) |
| 4 | P25 | 2690044.371 | 0.17(cm) | 209903.239 | 0.22(cm) |

**********

** 本 計 算 中 不 使 用 觀 測 量 投 影 改 正 ** P26

**********

角度觀測量之標準誤差 = 5.0 (秒)

距離觀測量之標準誤差 = 3.0 mm + 3.0 ppm

輸 入 之 原 始 觀 測 值 :

| 編號 | 編 碼 | 中誤差 | 觀 測 值 |
|---|---|---|---|
| 1 | 40010022. | 5.000 | 393315.5000 |
| 2 | 10020042. | 5.000 | 913243.0000 |
| 3 | 40020032. | 5.000 | 802855.3000 |
| 4 | 20030042. | 5.000 | 473655.0000 |

觀 測 量 總 數 = 4

水平角觀測量個數 = 4

方位角觀測量個數 = 0

距離觀測量個數 = 0

未 知 數 總 數 = 8

測 站 點 總 數 = 4

每站之未知個數 = 2

已 知 點 總 數 = 3

已知點之點號 :

點 : 1

點 : 2

點 : 3

點位之近似坐標及加權型式 :

| 測 站 | 點名 | YN-坐標 | XE-坐標 | 加權形式(YN,XE) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T28 | 2689939.280 | 209923.724 | 12 | 12 |
| 2 | T26 | 2689993.178 | 209938.142 | 12 | 12 |
| 3 | T25 | 2690043.036 | 209944.266 | 12 | 12 |
| 4 | P26 | 2690006.598 | 209893.034 | 0 | 0 |

>>> 計 算 輸 出 資 訊 <<<

** 重複漸近 = 5 **

**********

未知數之改正變量 (DX) =

| | | Delta-YN | Delta-XE |
|---|---|---|---|
| 1 | T28 | -0.28634E-10 | 0.28611E-09 |
| 2 | T26 | 0.16048E-10 | -0.60523E-09 |
| 3 | T25 | 0.12586E-10 | 0.31912E-09 |
| 4 | P26 | 0.35643E-09 | -0.12129E-08 |

殘 差 值 =

1 -0.65184E+00

2 -0.21920E+01

3 -0.16737E+01

4 0.53092E+00

多餘觀測數 (自由度) = 2

距離觀測量之 PVV 和 = 0.0000

角度觀測量之 PVV 和 = 0.3325
整體觀測量之 PVV 和 = 0.3325
變 方 值 (Variance) = 0.1663
標準誤差(Std. Dev.) = 0.4078

>>> 測 站 整 體 平 差 坐 標 <<<
==========

| 點 號 | 點 名 | YN - 坐標(m) | 中誤差 y(cm) | XE - 坐標(m) | 中誤差 x(cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T28 | 2689939.280 | 0.00(cm) | 209923.724 | 0.00(cm) |
| 2 | T26 | 2689993.178 | 0.00(cm) | 209938.142 | 0.00(cm) |
| 3 | T25 | 2690043.036 | 0.00(cm) | 209944.266 | 0.00(cm) |
| 4 | P26 | 2690006.585 | 0.03(cm) | 209892.941 | 0.06(cm) |

**********
** 本 計 算 中 不 使 用 觀 測 量 投 影 改 正 ** P27
**********
角度觀測量之標準誤差 = 5.0 (秒)
距離觀測量之標準誤差 = 3.0 mm + 3.0 ppm
輸 入 之 原 始 觀 測 值 :

| 編號 | 編 碼 | 中誤差 | 觀 測 值 |
|---|---|---|---|
| 1 | 40010022. | 5.000 | 274430.5000 |
| 2 | 10020042. | 5.000 | 1154220.8000 |
| 3 | 40020032. | 5.000 | 711615.3000 |
| 4 | 20030042. | 5.000 | 502035.0000 |

觀 測 量 總 數 = 4
水平角觀測量個數 = 4
方位角觀測量個數 = 0
距離觀測量個數 = 0
未 知 數 總 數 = 8
測 站 點 總 數 = 4
每站之未知個數 = 2
已 知 點 總 數 = 3
已知點之點號 :
點 : 1
點 : 2
點 : 3
點位之近似坐標及加權型式 :

| 測 站 | 點名 | YN-坐標 | XE-坐標 | 加權形式(YN,XE) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T29 | 2689875.373 | 209914.743 | 12 | 12 |
| 2 | T28 | 2689939.280 | 209923.724 | 12 | 12 |
| 3 | T26 | 2689993.178 | 209938.142 | 12 | 12 |
| 4 | P27 | 2689967.283 | 209881.834 | 0 | 0 |

>>> 計 算 輸 出 資 訊 <<<
**********
** 重複漸近 = 5 **
**********
未知數之改正變量 (DX) =

| | | Delta-YN | Delta-XE |
|---|---|---|---|
| 1 | T29 | 0.51630E-10 | -0.22220E-10 |
| 2 | T28 | -0.11403E-09 | 0.40478E-10 |
| 3 | T26 | 0.62399E-10 | -0.18257E-10 |

```
     4    P27        0.10522E-09     0.79784E-10
殘 差 值 =
     1    -0.12212E+01
     2    -0.27847E+00
     3     0.45959E+00
     4     0.54273E+00
多餘觀測數 (自由度) =     2
距離觀測量之 PVV 和 =          0.0000
角度觀測量之 PVV 和 =          0.0830
整體觀測量之 PVV 和 =          0.0830
變 方 值 (Variance) =          0.0415
標準誤差(Std. Dev.) =          0.2037
1
                    >>>  測  站  整  體  平  差  坐  標  <<<
                    ========================================
-----------------------------------------------------------------
| 點 號 |  點 名 |  YN -  坐標(m)|中誤差 y(cm)| XE -  坐標(m)|中誤差 x(cm)|
-----------------------------------------------------------------
|     1  |  T29    |  2689875.373 |     0.00(cm)|   209914.743 |     0.00(cm)|
-----------------------------------------------------------------
|     2  |  T28    |  2689939.280 |     0.00(cm)|   209923.724 |     0.00(cm)|
-----------------------------------------------------------------
|     3  |  T26    |  2689993.178 |     0.00(cm)|   209938.142 |     0.00(cm)|
-----------------------------------------------------------------
|     4  |  P27    |  2689967.270 |     0.02(cm)|   209881.763 |     0.03(cm)|
-----------------------------------------------------------------


**************************************************
**  本 計 算 中 不 使 用 觀 測 量 投 影 改 正  **    P28
**************************************************
角度觀測量之標準誤差 =   5.0 (秒)
距離觀測量之標準誤差 =   3.0 mm +     3.0 ppm
輸 入 之 原 始 觀 測 值 :
 編號        編 碼      中誤差          觀  測  值
    1      40010022.    5.000          640403.5000
    2      10020042.    5.000          965901.0000
    3      40020032.    5.000          455906.8000
    4      20030042.    5.000          723053.0000
觀 測 量 總 數    =     4
水平角觀測量個數 =     4
方位角觀測量個數 =     0
距離觀測量個數    =     0
未 知 數 總 數    =     8
測 站 點 總 數    =     4
每站之未知個數    =     2
已 知 點 總 數 =    3
  已知點之點號 :
              點 :   1
              點 :   2
              點 :   3
點位之近似坐標及加權型式 :
 測 站        點名          YN-坐標          XE-坐標          加權形式(YN,XE)
    1         U29         2689857.498     209896.850          12      12
    2         T29         2689875.373     209914.743          12      12
    3         T28         2689939.280     209923.724          12      12
    4         P28         2689930.593     209871.696           0       0

>>> 計 算 輸 出 資 訊 <<<
*********************
```

```
**   重複漸近 =   5   **
**********************
未知數之改正變量 (DX) =
                          Delta-YN          Delta-XE
     1     U29        0.13355E-08    -0.81747E-09
     2     T29       -0.15604E-08     0.13884E-08
     3     T28        0.22491E-09    -0.57097E-09
     4     P28       -0.10990E-08     0.78127E-08
殘 差 值 =
     1     -0.38088E+01
     2      0.14036E+01
     3      0.52759E+01
     4      0.96148E+00
多餘觀測數 (自由度) =     2
距離觀測量之 PVV 和 =          0.0000
角度觀測量之 PVV 和 =          1.8094
整體觀測量之 PVV 和 =          1.8094
變 方 值 (Variance) =          0.9047
標準誤差(Std. Dev.) =          0.9512

                    >>>  測  站  整  體  平  差  坐  標  <<<
                    ========================================
-----------------------------------------------------------------------
| 點 號 |   點 名 |   YN -  坐標(m)|中誤差 y(cm)| XE -  坐標(m)|中誤差 x(cm)|
-----------------------------------------------------------------------
|     1   |   U29     |   2689857.498 |     0.00(cm)|   209896.850 |     0.00(cm)|
-----------------------------------------------------------------------
|     2   |   T29     |   2689875.373 |     0.00(cm)|   209914.743 |     0.00(cm)|
-----------------------------------------------------------------------
|     3   |   T28     |   2689939.280 |     0.00(cm)|   209923.724 |     0.00(cm)|
-----------------------------------------------------------------------
|     4   |   P28     |   2689930.577 |     0.11(cm)|   209871.633 |     0.12(cm)|
-----------------------------------------------------------------------


**************************************************
**  本 計 算 中 不 使 用 觀 測 量 投 影 改 正   **   P29
**************************************************
角度觀測量之標準誤差 =   5.0 (秒)
距離觀測量之標準誤差 =   3.0 mm +     3.0 ppm
輸 入 之 原 始 觀 測 值 :
 編號          編 碼       中誤差            觀  測  值
    1       10020042.     5.000            620437.8000
    2       40010022.     5.000            911922.3000
    3       40020032.     5.000            805345.8000
    4       20030042.     5.000            450453.0000
觀 測 量 總 數    =      4
水平角觀測量個數 =      4
方位角觀測量個數 =      0
距離觀測量個數    =      0
未 知 數 總 數    =      8
測 站 點 總 數    =      4
每站之未知個數    =      2
已 知 點 總 數 =     3
  已知點之點號 :
              點 :    1
              點 :    2
              點 :    3
點位之近似坐標及加權型式 :
```

| 測 站 | 點名 | YN-坐標 | XE-坐標 | 加權形式(YN,XE) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | U29 | 2689857.498 | 209896.850 | 12 | 12 |
| 2 | T29 | 2689875.373 | 209914.743 | 12 | 12 |
| 3 | T28 | 2689939.280 | 209923.724 | 12 | 12 |
| 4 | P29 | 2689891.995 | 209860.824 | 0 | 0 |

>>> 計 算 輸 出 資 訊 <<<
**********
** 重複漸近 = 5 **
**********
未知數之改正變量 (DX) =

| | | Delta-YN | Delta-XE |
|---|---|---|---|
| 1 | U29 | -0.11647E-08 | 0.10263E-08 |
| 2 | T29 | 0.12868E-08 | -0.16222E-08 |
| 3 | T28 | -0.12217E-09 | 0.59597E-09 |
| 4 | P29 | -0.74192E-09 | -0.85448E-08 |

殘 差 值 =

| | |
|---|---|
| 1 | -0.41549E+01 |
| 2 | 0.58740E+00 |
| 3 | -0.49652E+01 |
| 4 | -0.51279E+00 |

多餘觀測數 (自由度) = 2
距離觀測量之 PVV 和 = 0.0000
角度觀測量之 PVV 和 = 1.7010
整體觀測量之 PVV 和 = 1.7010
變 方 值 (Variance) = 0.8505
標準誤差(Std. Dev.) = 0.9222

>>> 測 站 整 體 平 差 坐 標 <<<
==========

| 點 號 | 點 名 | YN - 坐標(m) | 中誤差 y(cm) | XE - 坐標(m) | 中誤差 x(cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | U29 | 2689857.498 | 0.00(cm) | 209896.850 | 0.00(cm) |
| 2 | T29 | 2689875.373 | 0.00(cm) | 209914.743 | 0.00(cm) |
| 3 | T28 | 2689939.280 | 0.00(cm) | 209923.724 | 0.00(cm) |
| 4 | P29 | 2689891.982 | 0.09(cm) | 209860.772 | 0.16(cm) |

# 附錄五

# 期中期末報告審查意見處理情形表

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 1 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單<br>位審查意見 |
|---|---|---|
| 蕭松山委員： | | |
| 1.本計畫採用各種先進測量儀器及方法，提高測量精度成果，已超越規範精度限制上的要求，成果值得肯定。 | 1.感謝委員指教。 | 同意。 |
| 2.按報告資料顯示，工作已達預期進度，建議增列預定進度與完成進度比對表，顯示工作成效。 | 2.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 3.P10 表 2-2，建議增列單位(m)。 | 3.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 4.河川大斷面成果建議考量提供主槽坡度(縱斷面)，可提供河川水理演算參用。 | 4.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 5.監測期間，地震、洪災等事件建議紀錄之，以利比對橋梁變形原因探討。 | 5.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 曾清涼委員： | | |
| 1.橋墩監測點觀測，為利用三個地面觀測點座標，推求橋墩座標，但進行第二次觀測時，找到相同三個觀測點並不容易，其誤差將會影響橋墩監測結果，建議能將橋墩座標固定，利用物件座標系統來進行監測。 | 1.感謝委員指教。 | 同意。 |
| 2.橋墩監測需考慮橋面版上之 | 2.感謝委員指教。 | 同意。 |

交通部運輸研究所合作研究計畫

第 1 次期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究

合作研究單位：國立高雄應用科技大學

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 活載重，若考量測量環境的影響，可利用 GPS 進行連續監測，記錄其影響線以利橋墩監測。 | | |
| 3.斷面測量屬小範圍測量，不應以大地起伏表示，以水準高程表示即可。 | 3.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 謝明志委員： | | |
| 1.由目前展示成果，地面控制點、空中三角測量平差或橋墩監測點，皆呈現高精度成果，工作品質值得肯定。 | 1.感謝委員指教。 | 同意。 |
| 2.在航拍方面，以 GPS+IMU 輔助空中三角測量，航線有八條，而只佈設六點航空標，佈標點是否足夠？目前是否有相關規範可依循？ | 2.係依據內政部「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」辦理 | 同意。 |
| 3.在 DEM 製作上，由簡報一些圖片上可看出綠色植被區還不少，可能有些密林區，而在本計畫，我們比較關心的是河道內的長草區，希望能獲得河道內正確的高程，這部份如何修正？可否利用 RTK 測量時，順道記錄附近長草區之草長，以利修正。 | 3.本案使用空載 LiDAR 進行地面掃瞄並獲取 DEM 資料，於資料處理過程中可以利用 LiDAR 多回波穿透之特性，將植被進行濾除。另遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 詹勳全博士： | | |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 1 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 1.河床斷面請依水利署大斷面位置及格式表示，以利比較。 | 1.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 2.P.15 圖 2.12 及附錄四，橫軸單位應為公尺(m)。 | 2.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 3.P.15 圖 2.12 斷面，請補充左右樁位置。 | 3.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 4.斷面 02、03、05、09-1、24，請檢核深槽高程變化(凹凸狀)。 | 4.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 5.請提供斷面來源資料距離與高程。 | 5.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 林雅雯副研究員： | | |
| 1.行水區量測方式、量測點位置、間距、精度為何？請於報告中補充說明。 | 1.受限於橋墩下河川地形限制，傳統測深儀與船隻作業不易，故河川水區水深資料人工地測方式，係以人員手持 GPS 以 RTK 方式定位，直接以標桿量測水深。 | 同意。 |
| 2.LIDAR 量測成果為 1 m × 1 m，原航測的高程誤差為 15 cm，是否可再縮小？ | 2.本案於明年將採用新購 RIEGL LMS-Q680i 空載雷射掃瞄儀，其掃瞄速率高達 400kHz，且搭配新款 POS 系統精度亦較以往提高一倍，故高程精度可達約 7cm，故高程精度約±10cm 內。 | 同意。 |
| 3.簡報 P7 高程精度：地面雷射掃瞄大於近景攝影測量，是 | 3.為既有其他相關案例之研究資料，非本案研究結果。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 1 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 否有誤？ | | |
| 4.簡報中有比較不同測量方法精度，建議增加不同測量方法、經費、時間、人力之比較。 | 4.將在後續增列其他探討。 | 同意。 |
| 曾文傑助理研究員： | | |
| 1.航空標佈設為八點，但簡報中為佈設六點，是否有誤？ | 1.佈設點數為 6 點，報告書中確為誤繕，將予以更正。 | 同意。 |
| 2.航空標與航測標是否指相同意思？如果是，請統一。 | 2.航空標與航測標係指相同意思，遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 黃進國博士： | | |
| 1.利用 GPS 定位進行橋梁連續監測，建議應考慮其定位之精度與適用性。 | 1.將在後續研究中探討。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 2 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承<br>辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 蕭松山委員： | | |
| 1.本研究利用 GPS 定位、全站儀測量、電子水準儀高程測量、雷射掃瞄及近景攝影測量等近代先進測量方法進行橋梁結構監測，已完成初步方法與效益評估，研究成果值得肯定。 | 1.感謝委員指教。 | 同意。 |
| 2.建議加強說明橋梁變形監測所需精度及各項現代先進測量方法之精度限制。 | 2.遵照委員意見辦理。將對橋梁變形監測所需精度及各項現代先進測量方法之精度限制整理說明 | 同意。 |
| 3.表 3.1 及表 3.2 水準測量限制規定的依據來源建議列出。 | 3.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 4.建議未來可邀請測量業界等相關單位座談所研擬之「橋梁變形監測技術規範草案」，期能更符合實務需求。 | 4.依草案擬定後將遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 李賢華委員： | | |
| 1 本計畫提供了極方便或便捷之方法，對橋河共治區之資料提供測量之結果為值得鼓勵之嘗試。 | 1.感謝委員指教。 | 同意。 |
| 2.就資料搜集廣泛，資料可包含地文、水文及橋身結構等資料。本計畫獲得較偏向地形及 | 2.本計畫執行內容還包括河床高度之資料蒐集，是由委託單位決定之名稱。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 2 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承<br>辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 橋梁之變形(或變位)，宜在計畫名稱上修正較佳。 | | |
| 3.本方法若在成本降低上及精確度方面尚可，在建立相關的施行手冊後，可在重要的橋梁中進行推廣。 | 3.委員建議將於期末報告中對委託單位提出建議。 | 同意。 |
| 4.其他量測方法可獲得破壞之成因(如傾斜儀或位移計等)，本方法可做相關之優劣比較。 | 4.感謝委員建議，將對其他監測方法作相關之優劣比較比較。 | 同意。 |
| 余騰鐸委員： | | |
| 1.請於期末報告中增加橋河共治區基本資料更新頻率分析。 | 1.遵照委員意見辦理，更新頻率考慮因素較為複雜，當會周詳考慮。 | 同意。 |
| 2.請分析不同測量方法、儀器之適用時機與對應之監測方法。 | 2.期中報告已有初步分析，將於期末報告作更詳細之分析。 | 同意。 |
| 3.請研擬分級方法，請港研中心對於不同橋河共治區依其變動因素、橋梁年齡和保全對象等因子，擬定風險程度高低、排列順序等實務性工作和研究。 | 3.將於後續考慮實務工作後進行更細部之考慮與分析。 | 同意。 |
| 4.請加註外業作業參數和本次成果精度之對應關係，並依此訂定規範，比對不同工法實施之精度差異與適用時機及案例。 | 4.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 2 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承<br>辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 5.請討論不同測量方法之誤差量、經費需求、法規限制等因素及對於基本資料取得之限制。 | 5.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 6.請說明 3D 模擬之工具程式，工序及效率分析等。 | 6.本研究僅進行三維建模展示，使用建模軟體為 Google Sketchup，系統展示使用 PilotGaea INet Universe 4D Server。 | 同意。 |
| 朱金元副主任： | | |
| 1.報告中橋「樑」更改為橋「梁」。 | 1.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 2.報告中各種測量方式，如何應用於本計畫應詳加敘述。 | 2.遵照委員意見辦理，作更具體之描述。 | 同意。 |
| 3.整體計畫研究流程，於報告中補充說明。 | 3.遵照委員意見辦理，補充研究流程圖。 | 同意。 |
| 林雅雯研究員： | | |
| 1.工作項目「橋梁近景攝影 3D」、「3D 雷射掃瞄」、「傳統量測方式」做精度比較，建議列表比較精度、誤差值及優缺點比較，並建議撰寫量測方式。 | 1.遵照委員意見辦理，期中已有現有成果比較，期末將予更完整化。 | 同意。 |
| 2.報告第 2 章，地面控制測量及河床高程量測多撰寫介紹航空攝影程序。應補充第一次河床量測條件情形及成果、精度 | 2.遵照委員意見辦理，進行資料補充。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 2 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承<br>辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 值、斷面、行水區量測方法、間距、精度。 | | |
| 3.接下來到年底還有第二次河道測量、第三次期中報告及期末報告，請研究團隊注意期程及加快測量後分析時間。 | 3.後續工作已陸續進行中，以符合本案進度。 | 同意。 |
| 4.橋梁變形監測技術規範草案請撰寫後與主辦單位聯繫，以便即時進行交流修改。 | 4.將於初稿完成後邀集港研中心研討。 | 同意。 |
| 中興工程(廖哲民工程師)：書面意見 | | |
| 1.報告中橋「樑」或橋「梁」請改為橋「梁」。 | 1.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 2.橋面版下之河道及河床地形，是否已反應於數值地形中？因為河道水理數值模擬及水工試驗首重河道地形資料。 | 2.已完成的工作基本上是滿足該需求的。待今年度航測結束後再配合水下測量資料進行編修。 | 同意。 |
| 3.2.7 節之河床斷面圖製作，目前只呈現不知是哪一斷面位置之成果，建議應完整呈現全部 41 條斷面資料。而此 41 條斷面之選擇依據為何？坐標為何？是否與河川局之大斷面位置一致，報告中應有所交代。 | 3.因大斷面已具有固定的編號、位置與坐標值，第一階段成果已完整繳交所有的資料，報告中只顯示少數的成果範例。 | 同意。 |
| 4.斷面 02、03、05、09-1、24，請檢核深槽高程變化(凹凸狀)。 | 4.同上(3)的回覆內容 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 2 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承<br>辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 5.在 DEM 方面，建議今年量測結果應與去年量測結果相互比較以沖淤圖呈現並說明。 | 5.遵照委員意見辦理，將會對二年度之成果差異作出比較。 | 同意。 |
| 曾文傑副研究員： | | |
| 1.後續工作還有第二次河道測量、第三次期中報告，橋梁變形監測技術規範草案等，請研究團隊加快速度。建議於 9 月底前提送第三次期中報告。 | 1.後續工作已陸續趕辦中，以符合本案進度。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 3 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 曾清涼委員： | | |
| 1.ch2+ch3 屬於計畫背景資料的建置，ch4+ch5 則屬於變形監測的部份，兩者之間的關係不明確，建議將整個計畫增加一張 flow chart，來做完整流程陳述，以便概括整個計畫的全貌。 | 1.遵照委員意見修正。 | 同意。 |
| 2.客製 Lidar 適用於 ch2，地面 Lidar 適用於 ch4，建議分開撰寫，比較容易說明其適用性以及精度不等之特性。 | 2.遵照委員意見修正。 | 同意。 |
| 3.UAV 配合數位近景攝影測量之優越性，宜再加以強調，未來的飛航方式以及攝影機方位的組合應列為重點，並列入規範。 | 3.遵照委員意見修正，UAV 確為本案研究之重點。 | 同意。 |
| 4.ch4 及 ch5 的文字描述調整，建議針對四點分層次來撰寫：(1)對象(2)方法(3)資料處理(4)合格判定之臨界值(或條件)。使閱讀以及參照更明瞭易用。 | 4.遵照委員意見修正。 | 同意。 |
| 5.水深測量與地面地形之結合，宜以 3D 動畫方式呈現，最好能有透明度呈現方式來顯示水下地形。 | 5.於 3D 平台部分採用 PilotGaea INet Universe 4D，因受限於該平台，將嘗試進行相關測試，並遵照 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 3 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| | 委員意見辦理。 | |
| 李賢華委員： | | |
| 1.本研究案橋河共治區資料調查之過程敘述詳盡，特別在技術分析使用先進之儀器設備進行本案，值得肯定。 | 1.感謝委員指教。 | 同意。 |
| 2.有關橋梁變形監測技術草案部份：<br>(1)橋梁變形之定義宜先釐清如”撓度”本屬變形之一部分，此案中則另行區分。<br>(2)監測時以破壞形式或結構位置分類宜有具體分別，監測進行時方有具體依循。<br>(3)橋梁之破壞(尤其大型災害)，通常為基礎部份鄰近之河床變化觀測應列入較佳。 | 2.遵照委員意見修正。 | 同意。 |
| 3.本案之觀測重點仍以橋梁為主，未來相關計畫是否包括橋梁上下游相關範圍之河床變化，方具橋河共治之意義(本案中已有執行但較為簡略)。 | 3.目前本研究室使用無人飛行載具(UAV)於地面基本資料蒐集部分進行相關研究，後續發展重點，將利用UAV 之即時及便利性，即時獲取橋梁上下游範圍之資料，提供分析及使用。 | 同意。 |
| 謝明志委員： | | |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 3 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 1.本研究採用先進的設備來進行，如 3D-Lidar，而校正 DEM 產出皆由研究團隊自力執行，也開發近景攝影分析軟體，團隊努力值得肯定。 | 1.感謝委員肯定。 | 同意。 |
| 2.目前在 DEM 的製作上，航拍或 3D-Lidar 仍有光線無法穿透水面的阻礙，故何道深度採用 RTK 的方式執行，但水深超過身高之處仍無法測到，故有些地方仍需用內插，盼這些推估的高程，在河床斷面圖的繪製上，建議用不同顏色來繪製，也方便提供引用者免於誤判。 | 2.遵照委員意見修正，強化資料顯示之鑑別度。 | 同意。 |
| 3.建議期末報告時，將各斷面第一次與第二次結果，並列繪圖，供河川沖淤參考。 | 3.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 4.報告提到 3D-Lidar 優於航拍，在 DEM 製作上，上次報告提到航拍精度約 30cm，本次用 3D-Lidar 精度的提升到多少?請予說明。 | 4.本案今年採用新購 RIEGL LMS-Q680i 空載雷射掃瞄儀，其掃瞄速率高達 400kHz，且搭配新款 POS 系統精度亦較以往提高一倍，故高程精度可達約 7cm，故高程精度約±10cm 內。 | 同意。 |
| 林雅雯委員： | | |
| 1.工作項目台 1 線大甲溪橋， | 1.雷射掃瞄因受距離角度限 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 第 3 次期中報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 角距監測、近景攝影與雷射掃瞄技術精度比較，報告中較無雷射掃瞄撰寫，另建議三者精度比較專節敘述並小結。 | 制，掃描之點雲屬放射狀，故難以與與角距監測與近景攝影做比較。另遵照委員意見辦理。 | |
| 2.橋梁監測水準儀或全站儀撓度、沉陷測量，再加上 GPS 控制點+近景。監測週期橋梁年齡除以 5 是否適當建議說明。 | 2.本案確以各種測量方法進行相關研究，監測週期橋梁年齡除以 5 是否適當會再進一步考慮。 | 同意。 |
| 3.橋梁測量 GPS+近景、GPS+全測站、水準儀分別適用於橋梁何處、適用條件、測量時間、分析處理軟體及時間經費，建議補充說明。 | 3.遵照委員意見將在後續中整理完整與具體結果。 | 同意。 |
| 曾文傑副研究員： | | |
| 1.報告中 P.25”2.10 河道橋梁之動態三維模擬”小節，宜移至第四章較恰當。 | 1.遵照委員意見修正。 | 同意。 |
| 2.報告中有些文字錯誤及圖文不符請修改，格式編排請參照本所出版品規定編排。 | 2.遵照委員意見修正。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 期末報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 李賢華委員： | | |
| 1.本研究計畫以橋河共治之概念探討橋梁與河流相互間之影響，甚具創意。其中特別針對河流橋梁安全之影響，如何以測量監測之方式協助達成應為本研究重點。 | 1.遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 2.本案在測量技術之探討及現有狀況之測量可說相當充分及豐富，如能將資料應用於橋梁破壞案例或原因之探討則更佳。 | 2.本年度案內大甲溪橋並無重大破壞，然委員意見可作為委託單位未來參考運用。 | 同意。 |
| 3.有關橋梁破壞之探討，部分敘述宜以力學觀點做適度修正如下：<br>(1)位移與變形宜區分清楚。<br>(2)靜態變形觀測是否改為橋梁變形靜態觀測。<br>(3)P.27 橋梁老化有關之文字宜更精確。 | 3.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 曾清涼委員： | | |
| 1.高程系統中，表 2-1、2-3、2-4 各用到 z、h 正高，其間的關係，建議再做更多描述。 | 1.已遵照委員意見，所有高程系統均改正為正高系統，並於報告內修正。 | 同意。 |
| 2.P.83 中 4.4 之 1，建議改為”採用雙頻靜態測量方法”； | 2.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 期末報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 4.4 之 2，至少 40 分鐘，改為至少 45 分鐘。PDOP 小於 10，改為小於 6。 | | |
| 3.P.87 中 Q1、Q2 之意義可再多加敘述，使更明確，方便解讀。 | 3.已遵照委員意見加註 Q1、Q2 之意義於報告內。 | 同意。 |
| 4.P.55~P.59、P.61、P.62 等都有提到 Pixel 及 Pixel size。轉換精度為 0.002m，各有其定義，但其間的關係物理意義的解讀可以再多加敘述。 | 4.量測模型座標之精度係以像元尺寸(Pixel size)為單位，以證明精度可達次像元。最後結果則以實測資料約制到真實尺寸值，已遵照委員意見加註於報告內。 | 同意。 |
| 謝明志科長： | | |
| 1.P.1.目錄頁，第三章之標題與 P.26 不同，建議改為:橋梁結構變型監測。3.1 節，前言，建議改為變形監測概述。 | 1.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 2.P.31 第一個公式，最後面應乘上 $\Delta S_{AB}$ ，且接續文字符號的下標請修正，如 SA、SB、SE 應該為 $S_A$ $S_B$ $S_E$ 。L 應為 $L_{AE}$ ，LEB 改為 $L_{EB}$ 。 | 2.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 3.P.35，圖 3.4，三張影像(Image)圖上之 y 軸，是否應改為 z 軸，而本頁倒數第 3 行：$Y/f = 1/M$ ，應改為 $Y/f = M$ 。P.36 第一行及第二行最後，$m\Delta x$ 宜改為 $M_{\Delta x}$ 。 | 3.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 期末報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 4.P.45 倒數第二行「堤防上」是否應改為「河床上」。P.46 表 45 應該為表 4-5;表 4-6「點名」內容應修正與表 4-4 相同。P.66 倒數第二行，表 4-22 應該為表 4-23。 | 4.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 5.P.41 第五行:(1)第一次…是否改為:(1)第一組…，第 12 行，改為(2)第二組…，最後一行宜改為:二組觀測結果之較差，如表 4-1 及表 4-2 所示。而表 4-2 兩次觀測的時間間隔 14 天，表 4-1 兩次觀測間隔一年，但 14 天之較差最大為 0.007m，一年間隔之較差最大為 0.00174m，14 天的較差為一年較差的 4 倍多，是否這14天有發生什麼重大事件的影響，可否求証? | 5.已遵照委員意見，將檢查實測數據結果修正於報告內。 | 同意。 |
| 6.表 4-3 到表 4-14，建議增加高程資料，表 4-7 除堤防上的資料外，建議也增列河床上的資料，因 T251 測點前後較差約 16m，可於文中提醒參閱者，河床上之點位，相隔太久應重新定位。 | 6.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 7.簡報結論第一點，述及「平面精度約±20cm 內，高程精度約±10cm 內」，須示高程量 | 7.本案今年採用新購 RIEGL LMS-Q680i 空載雷射掃瞄儀，其掃瞄速率高達 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 期末報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 測更精準，是否倒置，請確認。因簡報的結論建議與報告本內不儘相同，請依簡報檔內容修正報告。 | 400kHz，且搭配新款 POS 系統精度亦較以往提高一倍，故高程精度可達約 7cm，故高程精度約±10cm 內。另結論已遵照委員意見於報告內修正。 | |
| 林雅雯研究員： | | |
| 1.空中三角檢核點的選點條件為何，是否可代表整體的精度? | 1.本案航測作業採用 POS 系統，空中三角檢核點僅需 3~5 個點即可。 | 同意。 |
| 2.第五章標題”橋梁監測規範(草案)”應改為”橋梁變形監測技術規範(草案)” | 2.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 3.報告 P.19 行水區水深資料人工地測，建議補充說明補測密度。 | 3.受限於橋墩下河川地形限制，傳統測深儀與船隻作業不易，故河川水區水深資料人工地測方式，係以人員手持 GPS 以 RTK 方式定位，直接以標桿量測水深。已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 4.規範(草案)附錄應於目錄告知內容標題，並建議於前 6 章文章中提及附錄內容表格。 | 4.已依會議中各委員意見，將第五章規範(草案)內容移至附錄一。 | 同意。 |
| 5.期中報告意見處理情形表請納入報告。 | 5.已遵照委員意見將期中報告意見納入報告內。 | 同意。 |
| 交通部公路總局(孫文昌幫工程司)： | | |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 期末報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 1.影響跨河橋梁穩定的因素，除橋梁本身在其工作條件下之結構應力應變及位移外，其所在河床沖淤趨勢針對基礎穩定相當重要，故橋梁所在區位之上下游固定範圍內河床變化監測作業及時機，建議有所著墨分析，以達橋河整體治理精神。 | 1.本案重點在河川指定範圍內及橋梁附近航測影像基本圖與高程基礎資料之測量。至於河床沖淤趨勢對基礎穩定之分析，已於本案第一年度提供相關研究團隊進行分析研究，實非本團隊之專業。 | 同意。 |
| 2.P.25 河道橋梁之動態三維模擬，缺乏敘述說明。 | 2.已遵照委員意見加註河道橋梁之動態三維模擬之說明於報告內。 | 同意。 |
| 3.Ch5 橋梁監測規範(草案)，建議以”作業規範”來命名，其內容以說明監測的作業頻率及方法與精度為導向。 | 3.已依會議中各委員意見，將第五章規範(草案)內容移至附錄一，並遵照委員意見辦理。 | 同意。 |
| 4.P.77 以目前公路總局就橋梁監測執行面，有關監測週期研討以結構本體為思考，本計劃靜態監測成果變化不大，因承載條件無變化，惟河床變化會改變承載條件，建議加入河床變化監測作業後再行檢討其週期。建議在每次洪水事件前後均予以監測(結構+河床)。 | 4.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 5.P.91 Ch6，缺”建議”事項請補附。 | 5.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 6.結論(4) UAV 對於水面下量 | 6.結論(4)UAV 無人飛行載具係 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 期末報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 測如何穫取，請補充說明。 | 對地面航空攝影測量與在行水區不易進行橋梁結構之近景測量，而非獲取水面下量測資料。另由於目前商用水下雷射掃瞄系統體積龐大，其體積仍未縮小至足以安裝於 UAV 無人飛行載具上，目前尚無法獲取水面下量測資料。 | |
| 交通部臺灣區國道高速公路局： | | |
| 1.此次監測橋梁為大甲溪橋，請於報告中註明所屬管轄單位。 | 1.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 國科會災害防救應用科技方案辦公室(謝其泰博士)： | | |
| 1.報告內容請附上各期中審查委員意見表，並回覆該意見。 | 1.已遵照委員意見加註於報告內。 | 同意。 |
| 2.報告內容尚有錯別字，P.92 第一行”梁”。 | 2.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 3.使用統計檢定分析，如 F 檢定、t 檢定時需對參數進行說明，為何使用這二種檢定。 | 3.t 檢定是用以檢定兩次作業座標差異量是否顯著，而 F 檢定是用以檢定兩次作業標準差精度是否顯著。 | 同意。 |
| 4.橋面撓度計算、傾斜量公式，在成果並沒有顯示，若有請說明。 | 4.因本案監測結果並無顯著變形，故成果中並未顯示相關計算結果。 | 同意。 |
| 5.參考文獻如表 4-5，(資料來源:Nikon 官網)需要增列，有 | 5.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |

## 交通部運輸研究所合作研究計畫

## 期末報告審查意見處理情形表

**計畫名稱：橋河共治區基本資料調查研究**

**合作研究單位：國立高雄應用科技大學**

| 參與審查人員<br>及其所提之意見 | 研究單位處理情形 | 本所計畫承辦單位審查意見 |
|---|---|---|
| 些引用圖片也需增列。 | | |
| 6.公式需加公式(2-1)或公式1-1等等的標示，在成果計算時需引用。 | 6.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |
| 7.關於制定橋梁變形監測技術規範，是否有國外參考資料可以參考。若有，國外是用什麼量測技術。 | 7.經查國外並無相關資料。 | 同意。 |
| 曾文傑副研究員： | | |
| 1.第 6 章結論與建議中，建議以列表方式將本計劃 2 年來相關資訊如測量時間、產製圖資、數量、量測方法、精度等予以呈現，以方便參閱。 | 1.已遵照委員意見於報告內修正。 | 同意。 |

# 附錄六

# 期末報告簡報資料


橋河共治區基本資料調查研究
期末報告 簡報
主持人：李良輝
協同主持人：薛憲文
中華民國100年11月21日
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

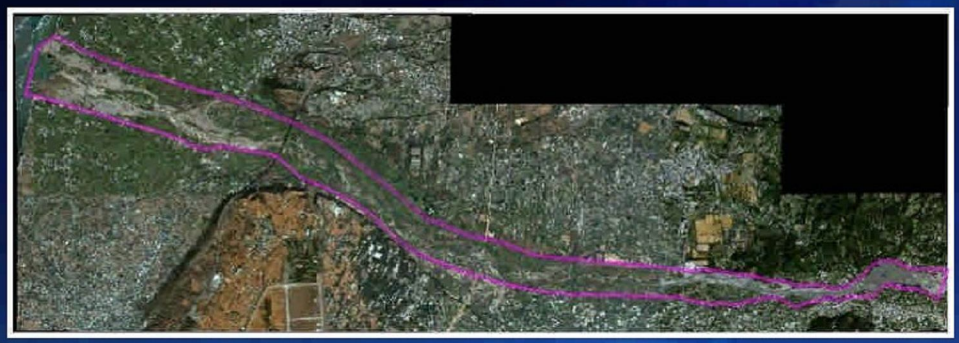

內容大綱
計畫緣起
研究範圍
研究項目及內容
目前工作進度
結論與建議
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 一、計畫緣起

- 臺灣的橋樑維護復建費用龐大，管理橋樑人力有限，橋樑因颱洪沖刷、地震…等因素，有些未達其設計年限即產生危險。且臺灣地質脆弱，土石易遭沖刷而崩落，導致大雨時河流常含有極高的含砂石量，在這些自然環境的影響下，臺灣的河川在雨季時，常有高流速、大流量並夾帶大量泥沙的情形出現。對橋樑及河川的穩定與安全造成極大的威脅，所以亟需極早建立完整的橋河基本資料庫，以期降低未來受災之可能性，維持橋樑壽齡及保障人民生命財產。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 二、研究範圍



- 本研究工作範圍為大甲溪流域(石岡壩以下至出海口)河道內及堤防外兩側50公尺之水平距離，範圍面積約2400公頃。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 三、研究項目

### 一、地面控制點佈標及測量

1. 已知平面控制點檢測及高程控制點檢測。
2. 以合乎1/1000製圖精度爲標準。地面控制點測量以GPS測量爲原則。
3. 高程控制測量以直接水準測量爲原則。

### 二、河床高程量測及製圖

1. 河床高程量測可採用雷射掃描技術(3D LiDAR)或航空攝影，擇一測量。
2. 成圖精度爲1/1000正射影像圖及河道數值地形模型建立。
3. 製作河床斷面向量斷面圖。
4. 重要地形地物之標示：包括跨河橋樑、堤防、河岸保護工、跌水工、攔河堰、植生地類別、構造物（包括駁坎、欄杆、其他構築物等）等。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 三、研究項目(續)

### 三、跨河橋樑測量及建模

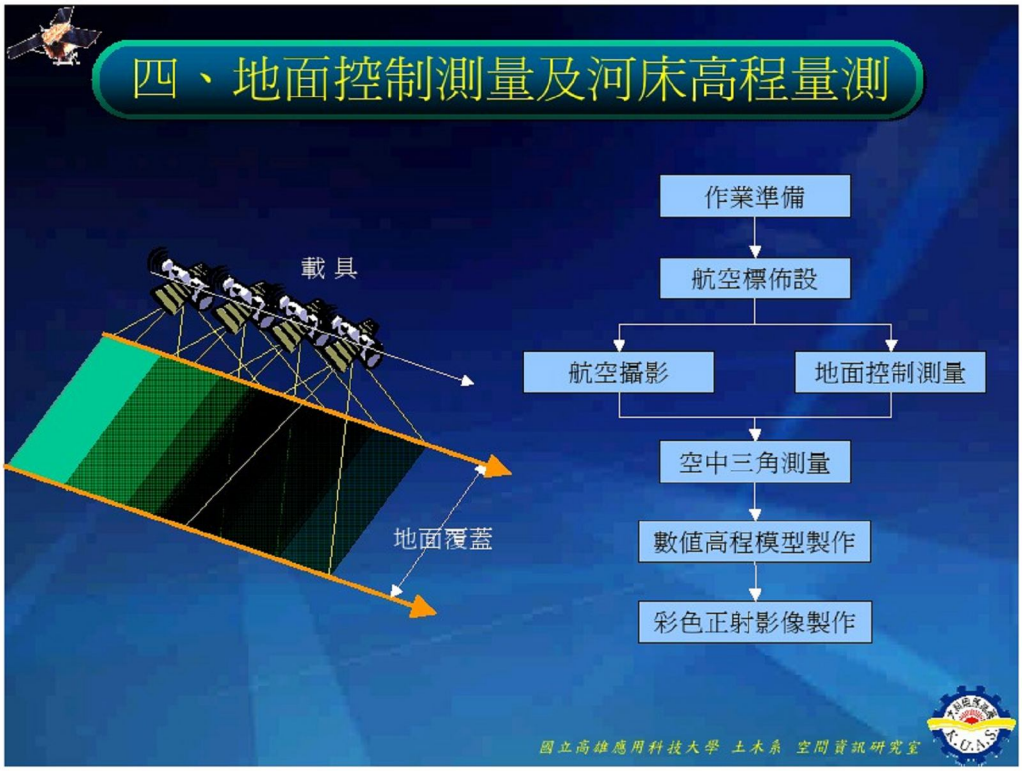
1. 測量範圍：台1線大甲溪公路橋。
2. 運用3D雷射掃描技術、近景攝影及角距監測技術等三種方式測量，並建立3D模型。
3. 橋樑近景攝影3D建模與3D雷射掃描建模比較，並使用傳統量測方式做精度比較。
4. 進行在豐水期可能通水斷面上至少三個橋樑跨距及橋樑兩個側面之點位變形監測技術之探討與調查，橋墩與橋墩間之變位數至少4個點以上。
5. 分析不同監測方法之可能變位監測精度。

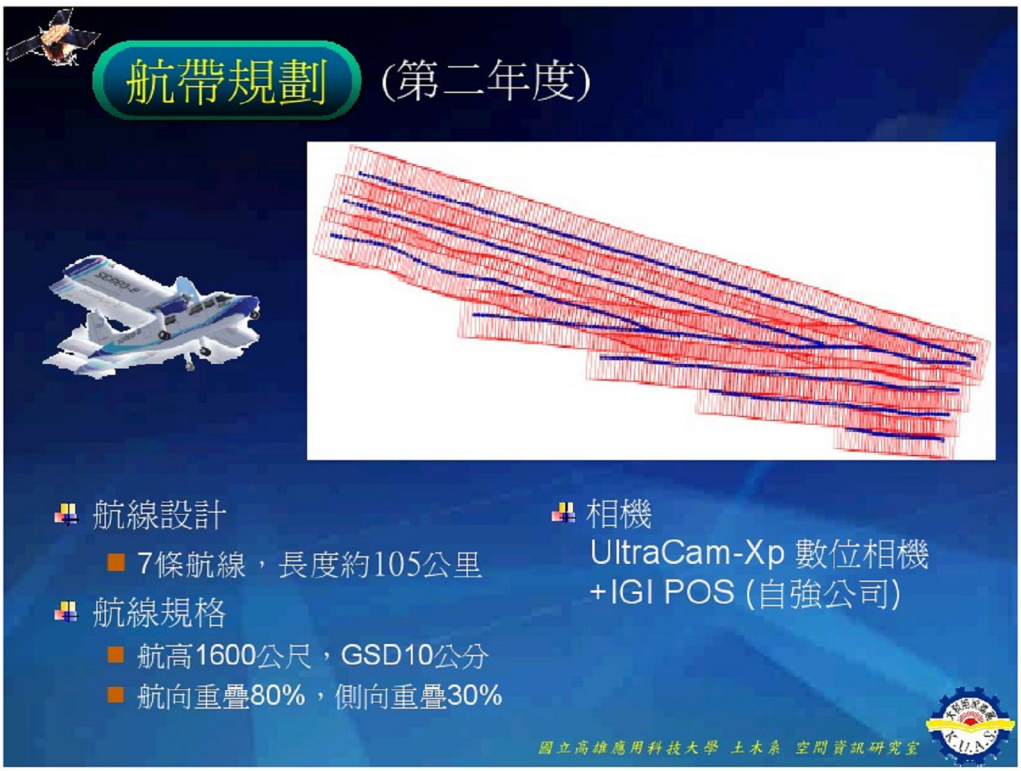
### 四、成果製作

1. 建置3D動態導覽影片檔。
2. 製作A0地形彩色紙圖，內容包含道路系統圖資及水系名稱等。
3. 正射影像圖資及斷面圖資之3D管理、展示查詢及分析功能。

### 五、橋樑變形監測技術規範之草案制定

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


四、地面控制測量及河床高程量測
載具
地面覆蓋
作業準備
航空標佈設
航空攝影
地面控制測量
空中三角測量
數值高程模型製作
彩色正射影像製作
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


航帶規劃 (第二年度)
航線設計
7條航線，長度約105公里
航線規格
航高1600公尺，GSD10公分
航向重疊80%，側向重疊30%
相機
UltraCam-Xp 數位相機
+IGI POS (自強公司)
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## UltraCam-Xp 數位相機 + IGI POS

航空攝影已於100年07月28及08月04日完成全區攝影，共計拍攝713張影像。


Panchromatic image size：
17310 * 11310 pixels
CCD pixel size：6 $\mu m \times 6\ \mu m$
Panchromatic 焦距 f：10 cm
Radiometric resolution : 14 bit

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 航空攝影

航空攝影已於100年07月28及08月04日完成全區攝影，共計拍攝713張影像。

UltraCam-Xp
拍攝影像

# 空載雷射掃瞄 (Airborne LiDAR)

設備：RIEGL LMS-Q680i 雷射掃瞄儀 (自強公司)

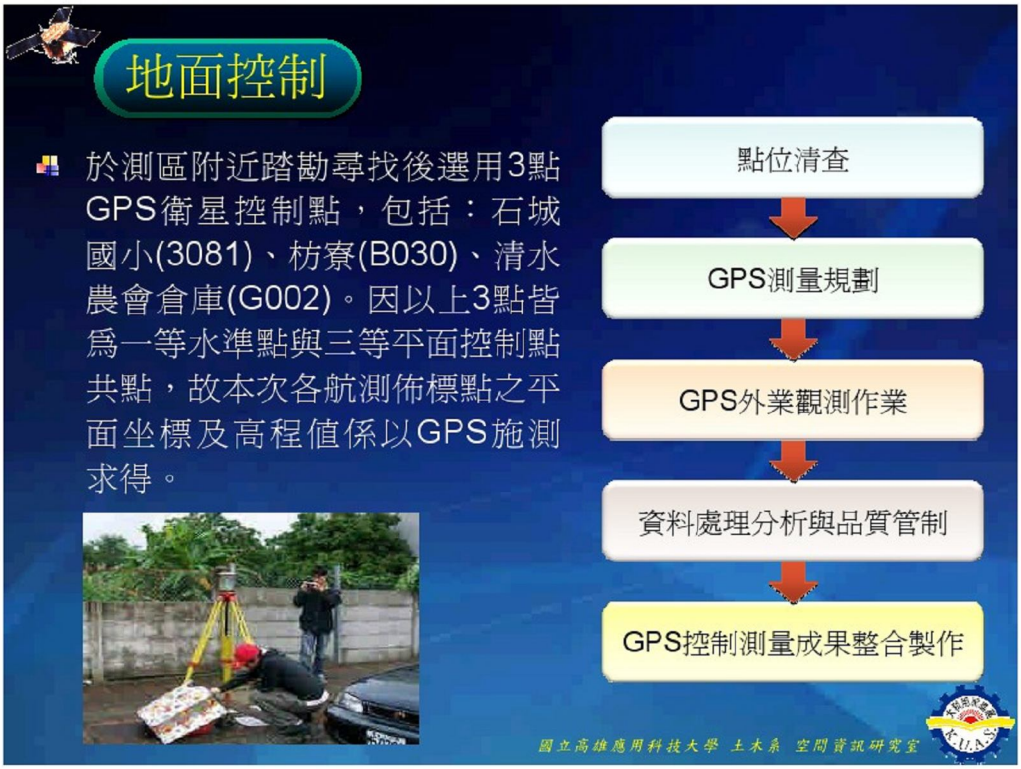
- 安全度高的3R雷射
- 全波型分析及無限制的目標回波
- MTA多時段雷射回波接收技術
- 雷射發射速率高達400kHz
- 每秒高達266,000點的測量速率
- 超高2cm的測距精度
- 每秒高達200條的掃瞄線
- 掃瞄角度可以達有效值60˚FOV
- 完全平行的掃瞄線

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

# 空載雷射掃瞄 (Airborne LiDAR)作業

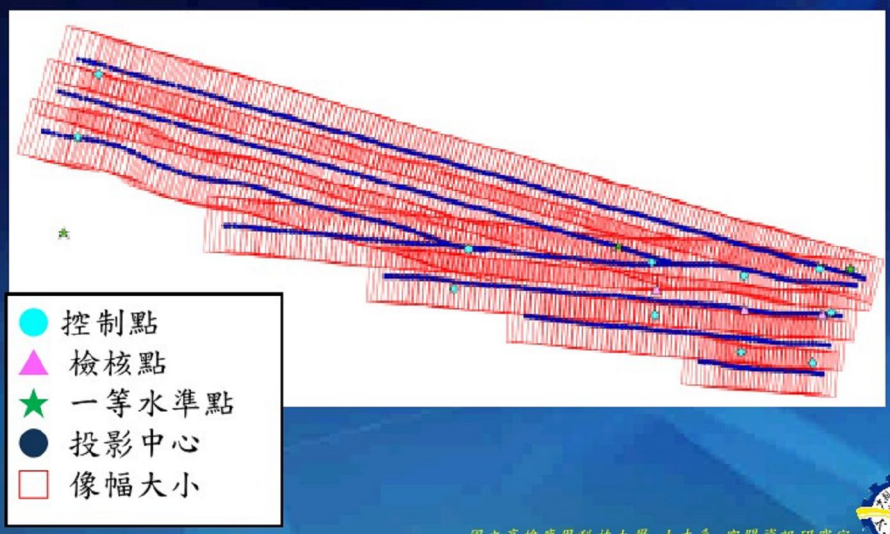
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


航空標佈設
本次係採用GPS+IMU（慣性姿態儀）輔助空中三角測量，航空標佈設於航線頭尾及測區四角，全部採用全控標。
本次航空標共計佈設6點。
A1
A2
A3
A6
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


地面控制
於測區附近踏勘尋找後選用3點GPS衛星控制點，包括：石城國小(3081)、枋寮(B030)、清水農會倉庫(G002)。因以上3點皆爲一等水準點與三等平面控制點共點，故本次各航測佈標點之平面坐標及高程值係以GPS施測求得。
點位清查
GPS測量規劃
GPS外業觀測作業
資料處理分析與品質管制
GPS控制測量成果整合製作
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

# 地面控制

## 空中三角使用控制點、檢核點分布圖




國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

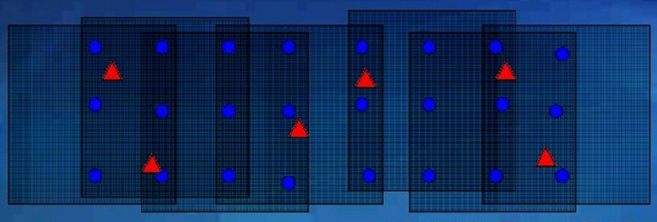
## 使用控制點與檢核點坐標

| 控制點名稱 | 縱坐標(N) | 橫坐標(E) | 正高(h) | 控制點類別 |
|---|---|---|---|---|
| 3081 | 2686714 | 228987.1 | 288.664 | 控制點 |
| G002 | 2687813 | 205124.5 | 5.868 | 控制點 |
| B030 | 2687396 | 221935.4 | 218.711 | 控制點 |
| A1 | 2692637 | 206176.4 | 9.29 | 控制點 |
| A2 | 2690722 | 205560.6 | 12.8 | 控制點 |
| A3 | 2687331 | 217393.3 | 178.389 | 控制點 |
| A4 | 2686133 | 216939.1 | 150.71 | 控制點 |
| A6 | 2685404 | 228391 | 301.75 | 控制點 |
| ST01 | 2686928 | 222951.2 | 252.502 | 控制點 |
| ST02 | 2686113 | 223098.3 | 223.276 | 檢核點 |
| ST03 | 2685327 | 223053.4 | 226.009 | 控制點 |
| ST06 | 2686527 | 225732.5 | 260.655 | 控制點 |
| ST07 | 2685587 | 225795.9 | 263.054 | 檢核點 |
| ST08 | 2684197 | 225657.1 | 446.681 | 控制點 |
| ST09 | 2686743 | 228037.4 | 281.728 | 控制點 |
| ST10 | 2685349 | 228119.7 | 297.923 | 檢核點 |
| ST11 | 2683878 | 227818.5 | 481.86 | 控制點 |

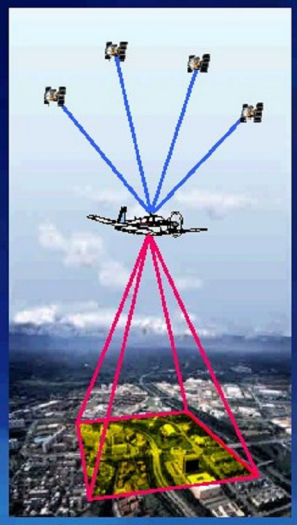
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

# 空中三角測量

- 執行要點
  - 連接點均勻分佈9個標準點位置
  - 連接點以地面自然點爲選定原則
  - 採用光束法計算
  - 自由網中誤差不超過10 μm
  - 強制附合後中誤差增量不超過自由網中誤差30%



● 標準點位置 ▲ 控制點



ISAT 自動
空中三角程式



# 空中三角測量成果

| 項次 | 項目 | | 自由網 | 強制網 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 航測觀測值統計 | 像幅數 | 709(4張未使用) | |
| | | 總觀測數 | 112147 | |
| | | 總未知數 | 4254 | |
| | | 多餘觀測量 | 176207 | |
| | | 筆數 | 112147 | |
| 2 | 控制點統計 | RMS X | | 0.003m |
| | | RMS Y | | 0.003m |
| | | RMS Z | | 0.003m |
| 3 | GPS投影中心中誤差 | RMS X | | 0.034m |
| | | RMS Y | | 0.024m |
| | | RMS Z | | 0.034m |
| 4 | 中誤差(σ)μm | | 1.3 μm | 1.4 μm(增量1.07%) |

## 空中三角檢核點檢查表

| | 點號 | 空三解算坐標 | | | 檢核點地測坐標 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ID | PTID | adj_x | adj_y | adj_z | con_x | con_y | con_z |
| 1 | ST02 | 223098.352 | 2686112.751 | 223.304 | 223098.332 | 2686112.780 | 223.276 |
| 2 | ST07 | 225755.897 | 2685506.656 | 263.055 | 225755.899 | 2685506.620 | 263.054 |
| 3 | ST10 | 228119.752 | 2685348.944 | 297.982 | 228119.726 | 2685348.956 | 297.923 |

| 差值(m) | | | RMSE |
|---|---|---|---|
| vx | vy | vz | xyz |
| -0.029 | 0.028 | 0.045 | 0.020 |
| 0.036 | 0.001 | 0.036 | 0.002 |
| -0.012 | 0.059 | 0.065 | 0.026 |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

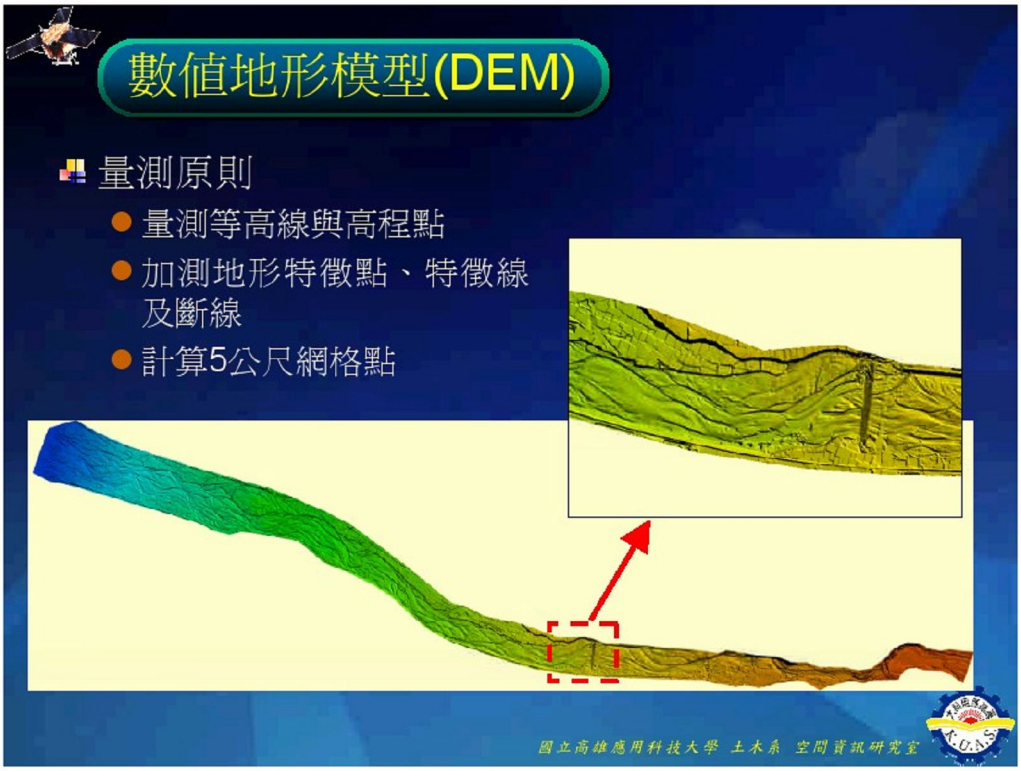
## 數值地形模型(DEM)

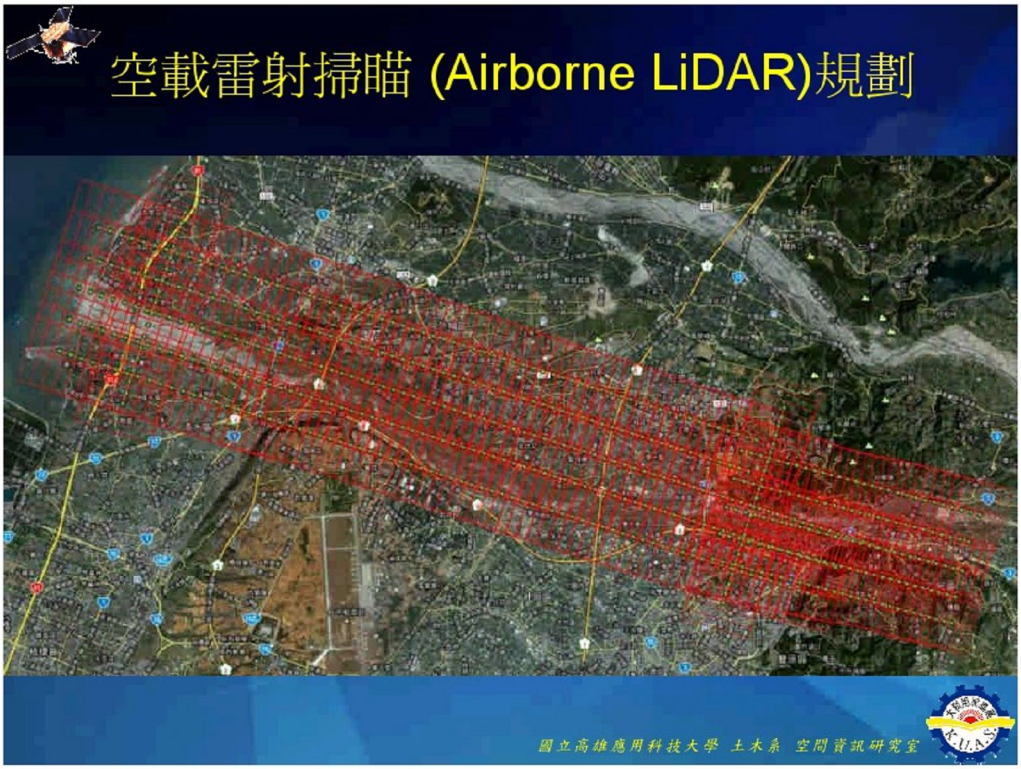
特徵線與獨立高程點萃取

↓

產生 DEM

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

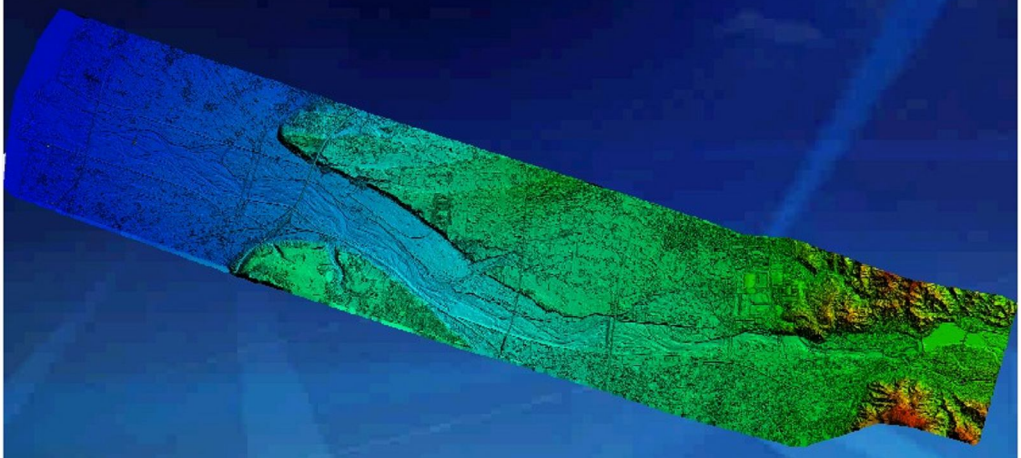

數值地形模型(DEM)
量測原則
量測等高線與高程點
加測地形特徵點、特徵線及斷線
計算5公尺網格點
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


空載雷射掃瞄 (Airborne LiDAR)規劃
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

本次空載雷射掃瞄共計11條掃苗範圍，面積約爲126平方公里，其範圍如下圖所示，並於第10、11航帶間加入兩條正交航帶進行約制。於高層控制部分，均使用一等水準點進行正高轉換，其成果均符合標準。

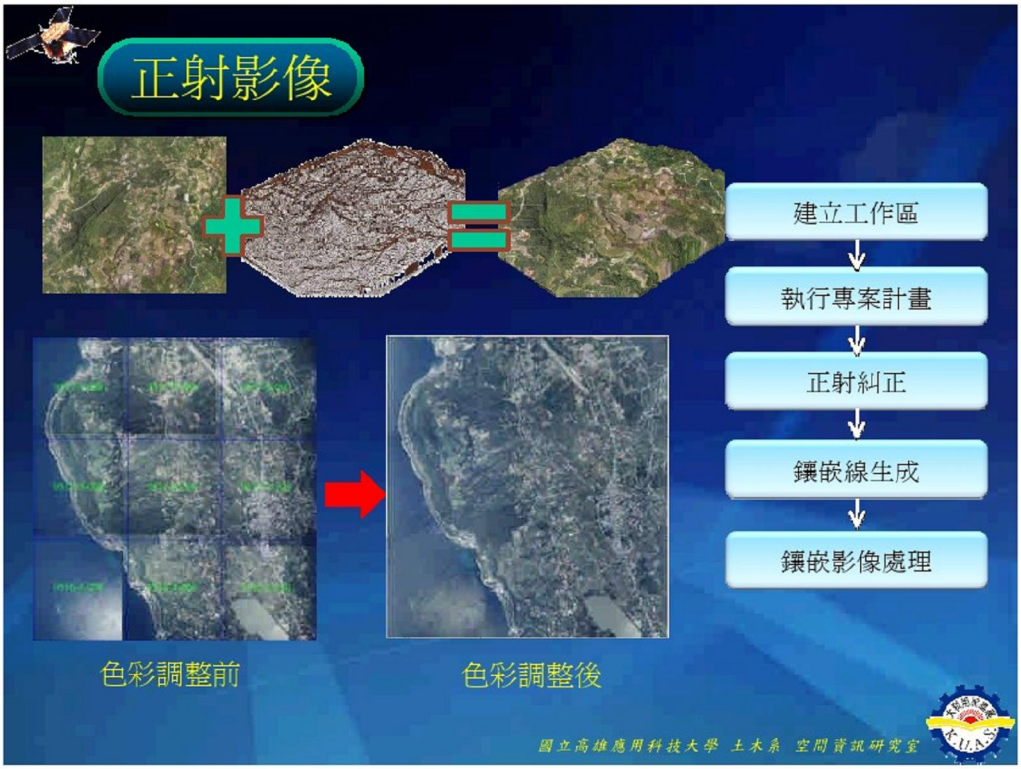

# 空載雷射掃瞄 (Airborne LiDAR)成果

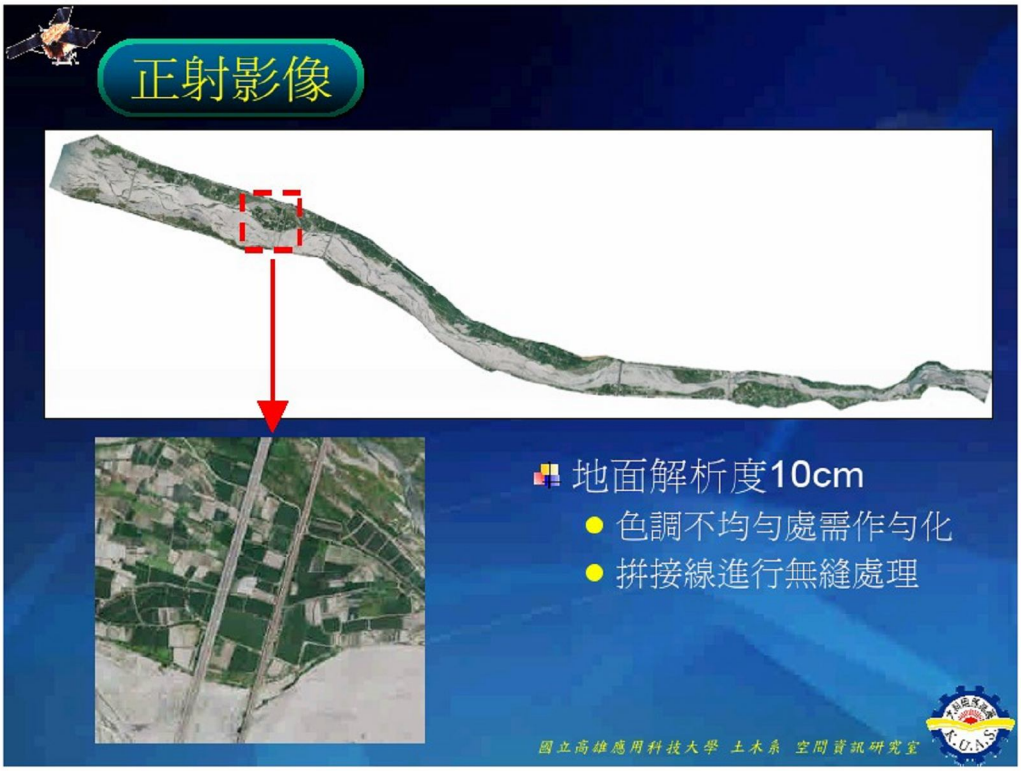
大甲溪空載雷射掃瞄DSM全圖

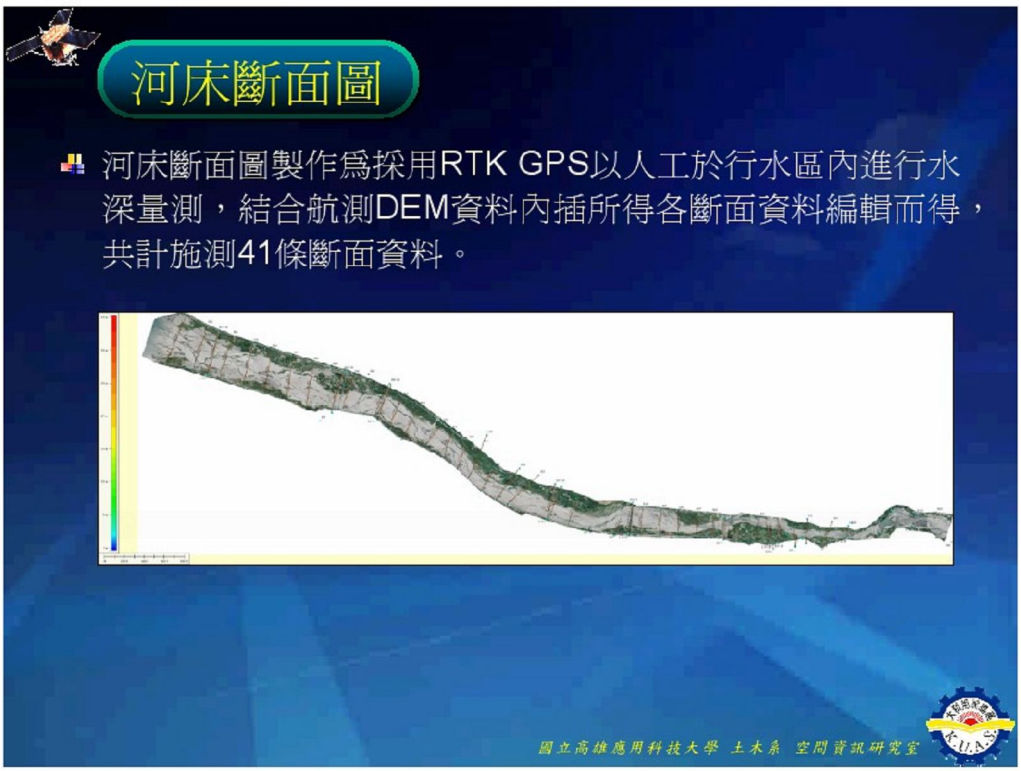


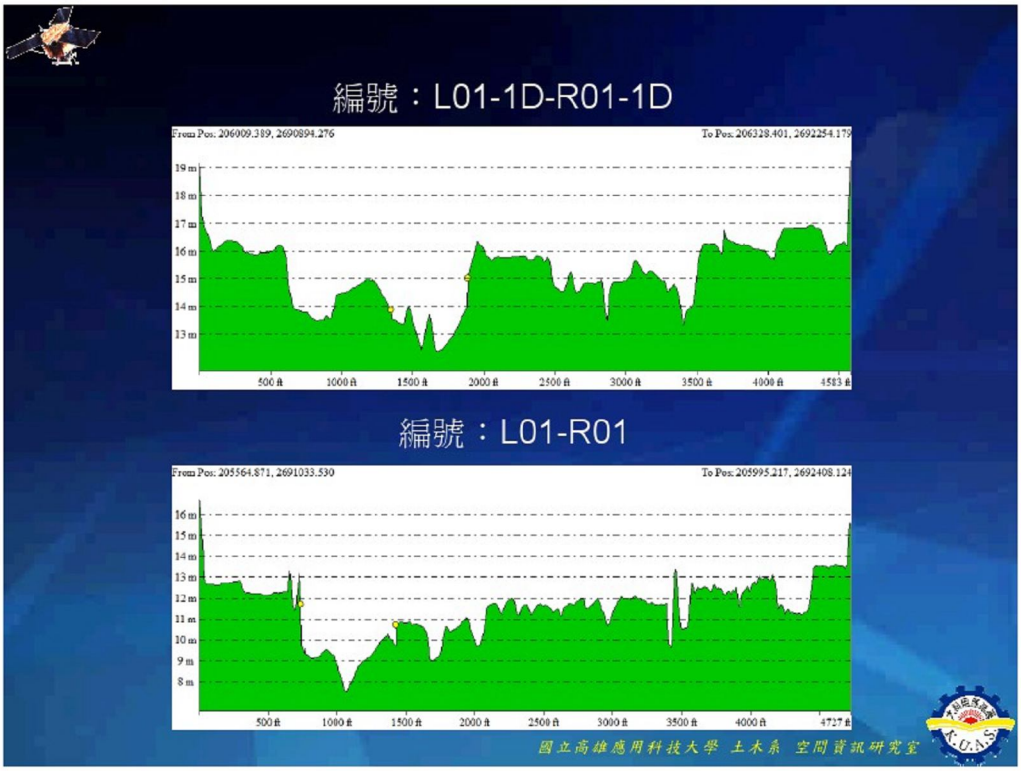
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


空載雷射掃瞄 (Airborne LiDAR)成果
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


正射影像
建立工作區
執行專案計畫
正射糾正
鑲嵌線生成
鑲嵌影像處理
色彩調整前
色彩調整後
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


正射影像
地面解析度10cm
色調不均勻處需作勻化
拼接線進行無縫處理
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


河床斷面圖
河床斷面圖製作為採用RTK GPS以人工於行水區內進行水深量測，結合航測DEM資料內插所得各斷面資料編輯而得，共計施測41條斷面資料。
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室




## 橋樑結構變形監測

- 橋樑的種類較多，主要以樑式橋、拱橋、懸索橋、斜張橋爲主。橋樑結構在荷載和環境因素作用下所產生的變形可以分成兩類：一類變形能反映結構的整體正作狀況，如撓度、轉角、支座位移等，稱爲整體變形。橋樑逐漸老化，表現最爲明顯的是橋樑撓度變化。
- 整體變形的能力能夠概括結構整個工作的全貌。因此，在一切觀測專案中，各種整體變形往往是最基本的。另一類變形能反映結構的局部工作狀況，如纖維變形、裂縫、鋼筋的滑動等，這稱爲局部變形。最能表現老化(或缺陷)的特徵是裂縫，裂縫的部位、方向揭示守橋樑老化(或缺陷)的部位和性質。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 橋樑靜態變形監測

橋樑靜態變形監測可分成：

1. 橋樑下部結構的監測

   橋樑下部結構包括橋墩、橋臺、橋塔和樁基礎，這都是橋樑結構的重要組成部分，

2. 橋樑上部結構(主樑)的監測

   主樑是直接承受交通荷載的主要承重構件，主樑在運營過程中車輛及外界活荷載直接作用於主樑，主樑的內力、變形量會隨著活荷載的分佈及其大小的不斷變化產生相應的變化，使主樑產生垂直及水平方向的撓度變形。



## 橋樑靜態變形監測考慮

橋梁之特性：狹長型、跨河

觀測方法：觀測位置、使用設備

橋面：橋板面撓度與橋墩沉陷

橋墩：傾斜

量測精度：工業級的量測精度 水平(垂直)：5 mm

顯著性統計測試：

統計量 $t = \dfrac{h_2 - h_1}{\hat{\sigma}_0 \sqrt{Q_{11} + Q_{22}}}$ ; $\alpha = 0.05$ ; $t_{\alpha/2} = 2.3$

$if \quad t > t_{\alpha/2}$

## 橋面撓度計算方法

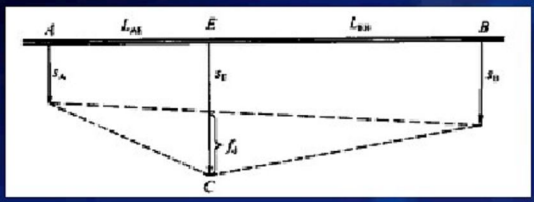
1. 撓度值$f_d$計算：

$$f_d = \Delta S_{AE} - \frac{L_{AE}}{L_{AE} + L_{EB}}$$

$$\Delta S_{AE} = S_E - S_A$$

$$\Delta S_{AB} = S_B - S_A$$

$S_A$、$S_B$ 爲$A$、$B$點的沉降量或位移量；$S_E$爲E點的沉降量或位移量，$E$點位於$A$、$B$兩點之間；$L$ 爲$A$、$E$之間的距離(m)；$L_{EB}$ 爲$E$、$B$之間的距離(m)。




2.跨中撓度值$f_{dc}$ 計算：

$$f_{dc} = \Delta S_{10} - \frac{1}{2}\Delta S_{12}$$

$$\Delta S_{10} = S_0 - S_1$$

$$\Delta S_{12} = S_2 - S_1$$

$S_0$ 爲中點的沉降量或位移量；$S_1$、$S_2$爲兩個端點的沉降量或位移量



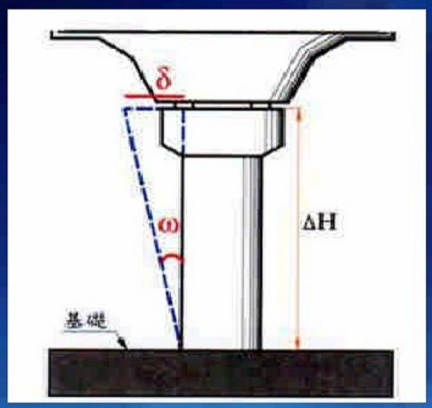
## 橋墩傾斜計算方法

平面位移量：

$$(\delta) = \Delta H \times (\omega''/3600) \times (\pi/180)$$

△$H$：墩柱基礎頂端到帽梁頂端之距離

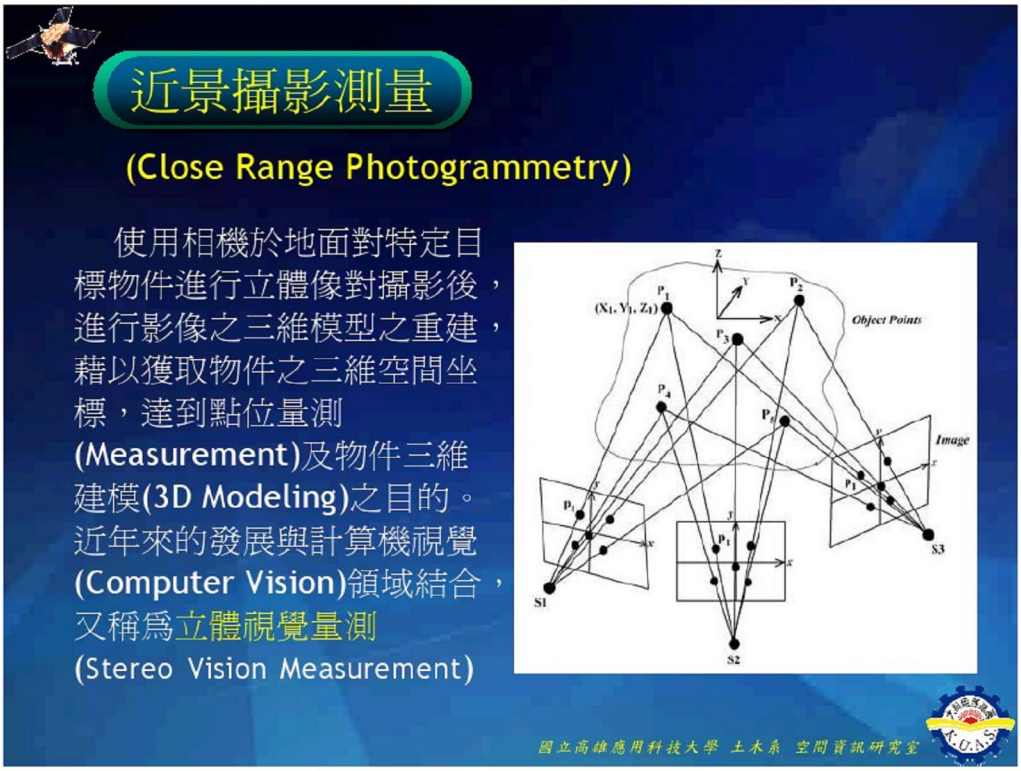
$\omega$：墩柱傾斜角(單位：秒)

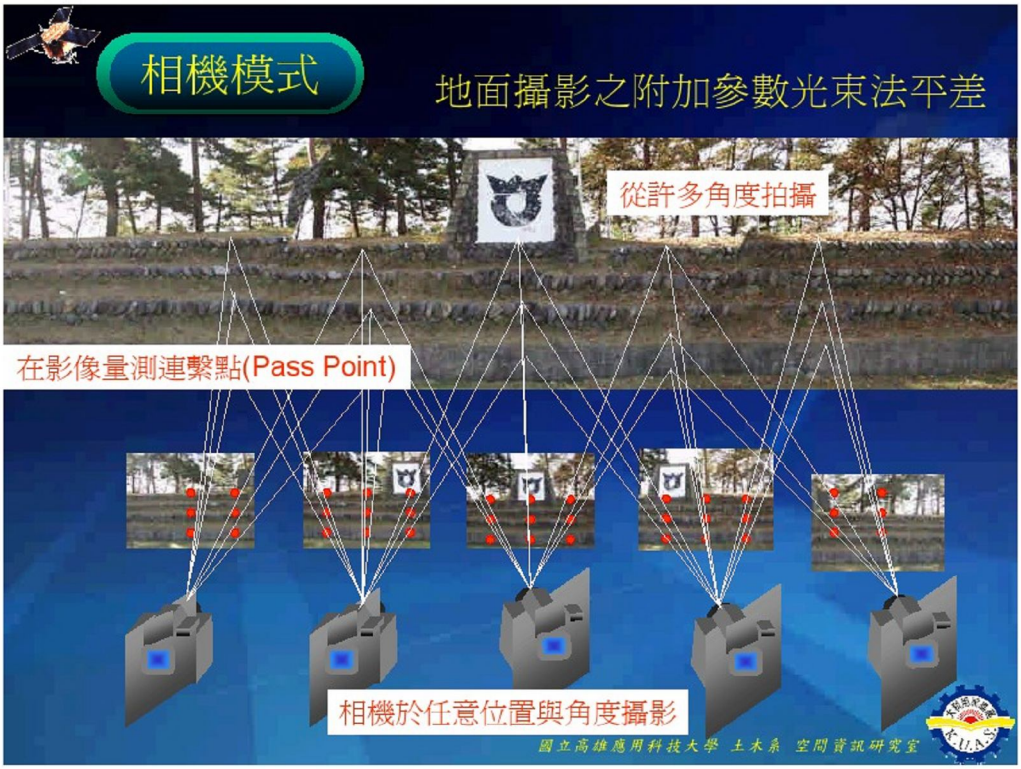



傾斜量計算


變形測量技術
垂直位移監測
(1) 精密水準測量方法
(2) 全站儀三次元量測
(3) GPS測量方法
(4) 近景攝影測量
(5) 三維雷射掃瞄
水平位移監測
(1) 全站儀角距測量方法
(2) GPS測量方法
(3) 近景攝影測量
(4) 三維雷射掃瞄
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


水準測量方法
電子水準儀
Trimble Dini 12
Topcon
條碼標尺
國立高雄應用科技大學


近景攝影測量
(Close Range Photogrammetry)
使用相機於地面對特定目標物件進行立體像對攝影後，進行影像之三維模型之重建，藉以獲取物件之三維空間坐標，達到點位量測(Measurement)及物件三維建模(3D Modeling)之目的。近年來的發展與計算機視覺(Computer Vision)領域結合，又稱爲立體視覺量測(Stereo Vision Measurement)
Object Points
Image
S1
S2
S3
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


相機模式
地面攝影之附加參數光束法平差
從許多角度拍攝
在影像量測連繫點(Pass Point)
相機於任意位置與角度攝影
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 近景攝影測量之特點

近景攝影測量進行變形觀測具有如下優點：

(1) 可以同時測定變形體上任意點的變形；

(2) 提供完全和暫態的三維空間資訊；

(3) 大量減少野外的測量工作量；

(4) 可以不需要接觸被測物體；

(5) 可達公分級內之觀測精度；

(6) UAV可解決近景攝影之困難。



## 橋樑監測之目前工作進度與成果

- 爲進行橋樑結構體之垂直(下陷)及水平位移(傾斜)監測，首先對橋樑本體結構適當地選定及佈設監測點。本計畫以台1線大甲溪公路橋第25 ~29號共五個橋墩(北往南算)爲研究對象，利用精密水準測量、嚴密角距觀測之前方交會、近景攝影及3D雷射掃瞄等四種技術分別針對上述監測點進行觀測定位，並以嚴密角距觀測之前方交會爲對照組，進行其他觀測方法之定位精度分析。同時預計利用間隔六個月週周期之四次觀測成果進行橋樑結構體之變形分析。

## 監測點的選定與佈標

- 橋面上每一橋版面上下游二側各5點，總計50個點，實施精密水準測量，數據將用於進行垂直變形量-沉陷及撓度分析。
- 每一橋墩於基礎上下游二側各佈設1點，總計10個點，另選擇橋墩頂端自然點(角落點)爲附加之監測點，實施嚴密角距觀測之前方交會、近景攝影及3D雷射掃瞄等量測技術，數據將用於進行水平位移、傾斜量等分析。

橋版面監測點佈設

橋墩監測點佈設

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 橋面版垂直變形(沉陷)量監測

- 使用Trimble DiNi12 電子式水準儀搭配條碼式水準尺實施直接水準測量，以水利署大斷面樁【L7-1】作爲高程控制已知點，觀測成果進行水準網形平差計算，以獲得監測點之高程值及精度分析。
- 第一次觀測情形如下表所示。

| | |
|---|---|
| 觀測量數目 | 108 |
| 總點數 | 51 |
| 已知高程點個數 | 1 |
| 多餘觀測數 | 58 |
| 單位權中誤差 | 3.4mm√K K爲公里 |


國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

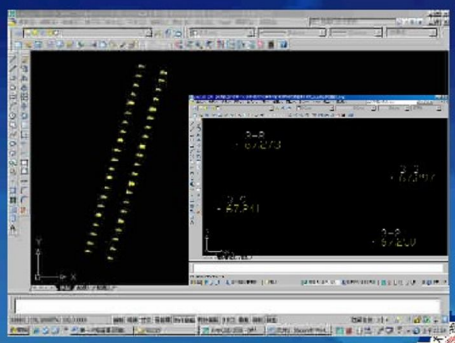
## 橋面版垂直變形(沉陷)量監測

水準點位置佈設

於 橋面上每一橋版面上下游二側各5點，總計50個點，如右圖，實施精密水準測量，數據將用於進行垂直變形量-沉陷及撓度分析。


測 線：

1. L7-1→TP→2-1→4-1→5-5→4-6→2-6→1-10→TP→L7-1
2. 1-10→1-1→1-2→1-3→1-4→1-5→2-1
3. 1-10→1-9→1-8→1-7→1-6→2-10→2-9→2-8→2-7→2-6
4. 2-1→2-2→2-3→2-4→2-5→3-1→3-2→3-3→3-4→3-5→4-1
5. 2-6→3-10→3-9→3-8→3-7→3-6→4-10→4-9→4-8→4-7→4-6
6. 4-1→4-2→4-3→4-4→4-5→5-1→5-2→5-3→5-4→5-5

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

# 水準測量二次觀測結果之較差

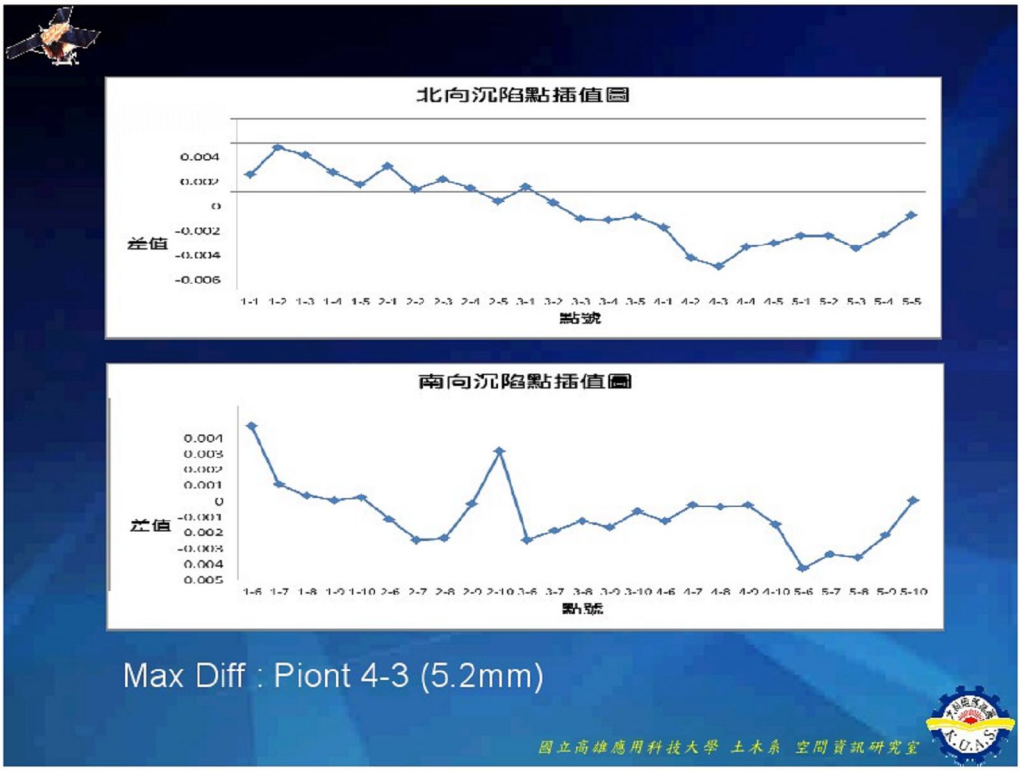
| 大甲溪橋沉陷測量成果較差表 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 點號 | 第一次 (99.5.20) | 第三次 (100.5.11) | △H(m) | 點號 | 第一次 (99.5.20) | 第三次 (100.5.11) | △H(m) |
| 1-1 | 67.0352 | 67.0345 | 0.0026 | 3-6 | 67.3233 | 67.3218 | -0.0015 |
| 1-2 | 67.0879 | 67.0894 | 0.0046 | 3-7 | 67.3293 | 67.2984 | -0.0009 |
| 1-3 | 67.1326 | 67.1335 | 0.0040 | 3-8 | 67.2754 | 67.2751 | -0.0003 |
| 1-4 | 67.1374 | 67.1396 | 0.0022 | 3-9 | 67.2434 | 67.2427 | -0.0007 |
| 1-5 | 67.1455 | 67.1441 | 0.0016 | 3-10 | 67.2177 | 67.2180 | 0.0003 |
| 1-6 | 67.1306 | 67.1332 | 0.0056 | 4-1 | 67.3238 | 67.3219 | -0.0019 |
| 1-7 | 67.0945 | 67.0934 | 0.0019 | 4-2 | 67.3597 | 67.3553 | -0.0044 |
| 1-8 | 67.0939 | 67.0948 | 0.0009 | 4-3 | 67.3650 | 67.3599 | -0.0053 |
| 1-9 | 67.0767 | 67.0746 | 0.0021 | 4-4 | 67.3662 | 67.3627 | -0.0035 |
| 1-10 | 67.0522 | 67.0502 | 0.0020 | 4-5 | 67.3827 | 67.3795 | -0.0032 |

$\sigma^1_0$=3.4mm ; $\sigma^3_0$=4.1mm

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

| 大甲溪橋沉陷測量成果較差表(續) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 點號 | 第一次 | 第三次 | △H(m) | 點號 | 第一次 | 第三次 | △H(m) |
| 2-1 | 67.1402 | 67.1399 | 0.0003 | 4-6 | 67.3924 | 67.3921 | -0.0003 |
| 2-2 | 67.1818 | 67.1797 | -0.0018 | 4-7 | 67.3578 | 67.3585 | 0.0007 |
| 2-3 | 67.2183 | 67.2170 | -0.0010 | 4-8 | 67.3487 | 67.3493 | 0.0006 |
| 2-4 | 67.2159 | 67.2139 | -0.0017 | 4-9 | 67.3249 | 67.3256 | 0.0007 |
| 2-5 | 67.2235 | 67.2204 | -0.0031 | 4-10 | 67.3222 | 67.3217 | -0.0005 |
| 2-6 | 67.2209 | 67.2172 | -0.0032 | 5-1 | 67.3823 | 67.3797 | -0.0026 |
| 2-7 | 67.2072 | 67.2022 | -0.0045 | 5-2 | 67.4049 | 67.4023 | -0.0026 |
| 2-8 | 67.2113 | 67.2065 | -0.0044 | 5-3 | 67.4216 | 67.4180 | -0.0036 |
| 2-9 | 67.1776 | 67.1750 | -0.0026 | 5-4 | 67.4335 | 67.4310 | -0.0035 |
| 2-10 | 67.1341 | 67.1347 | 0.0006 | 5-5 | 67.4358 | 67.4349 | -0.0009 |
| 3-1 | 67.2405 | 67.2386 | -0.0019 | 5-6 | 67.4502 | 67.4469 | -0.0033 |
| 3-2 | 67.2586 | 67.2554 | -0.0032 | 5-7 | 67.4408 | 67.4384 | -0.0024 |
| 3-3 | 67.3068 | 67.3022 | -0.0046 | 5-8 | 67.4229 | 67.4203 | -0.0026 |
| 3-4 | 67.3143 | 67.3097 | -0.0046 | 5-9 | 67.4051 | 67.4039 | -0.0012 |
| 3-5 | 67.3257 | 67.3214 | -0.0043 | 5-10 | 67.3964 | 67.3974 | 0.001[illegible] |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


北向沉陷點插值圖
差值
點號
南向沉陷點插值圖
差值
點號
Max Diff : Piont 4-3 (5.2mm)
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


橋墩監測點觀測
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 全測站經緯儀(Trimble 5600)

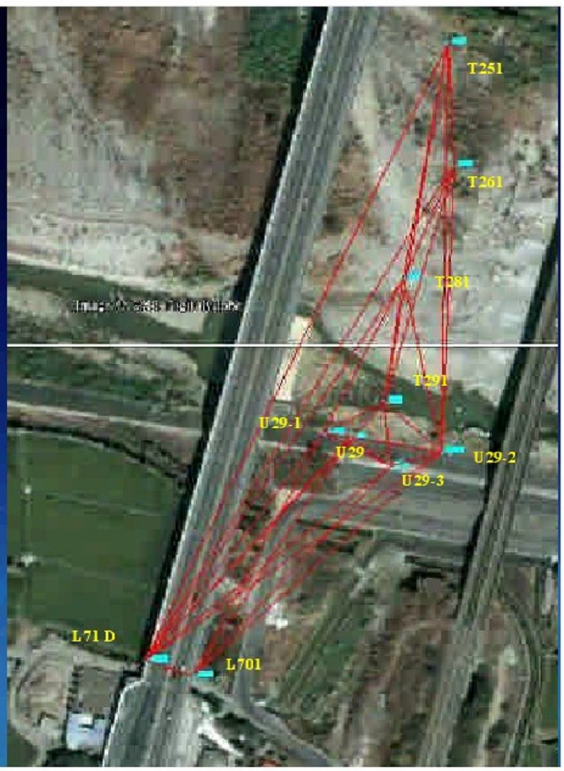
| 全測站經緯儀(Trimble 5600) | |
|---|---|
| 角度精度 | 1” |
| 角度讀取值 | 1” |
| 距離精度 | ±(3mm+2ppm) |
| 測距長度(單稜鏡) | 2500m |
| 望遠鏡放大倍數 | 30X |
| 孔徑 | 40mm |
| 最短聚焦範圍 | 1.5m~∞ |
| 重量 | 5.15kg |
| 電子雙軸水準器 | 0.3” |
| 光學對點器 | 內置 |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 控制點觀測

觀測方法：GPS

解算方法：自由網平差



## 以GPS求得堤防上四點之坐標及標準差 (TWD97)

| 點 名 | YN坐標(m) | 標準差(m) | XE坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| U29 | 2689857.498 | 0.001 | 209896.850 | 0.001 |
| U29-1 | 2689859.768 | 0.001 | 209882.614 | 0.001 |
| U29-2 | 2689850.315 | 0.001 | 209943.296 | 0.001 |
| U29A | 2689842.957 | 0.001 | 209916.932 | 0.001 |

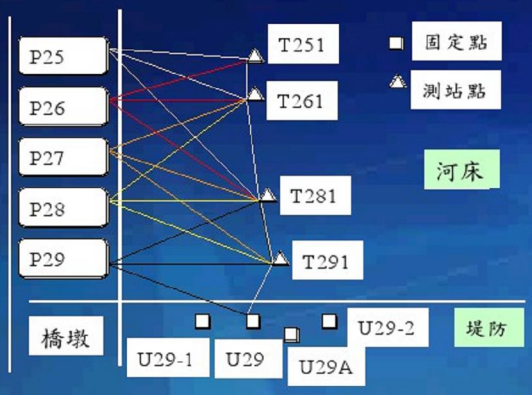
## 以GPS求得河床上四點之坐標及標準差 (TWD97)

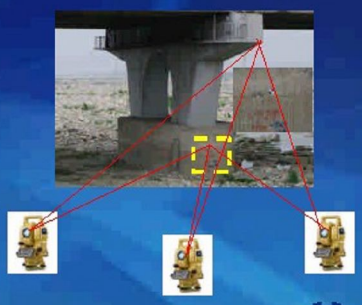
| 點 名 | YN坐標(m) | 標準差 (m) | XE坐標(m) | 標準差 (m) |
|---|---|---|---|---|
| T291 | 2689875.879 | 0.001 | 209913.943 | 0.001 |
| T281 | 2689939.234 | 0.001 | 209923.552 | 0.001 |
| T261 | 2689996.868 | 0.001 | 209949.452 | 0.000 |
| T251 | 2690059.832 | 0.001 | 209946.048 | 0.001 |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 橋墩監測點觀測

- 以水利署大斷面樁作爲平面控制已知點，於橋上下游二側距橋約60公尺處各引三個地面觀測點。使用TOP - CON 1秒讀全測站經緯儀，以前方交會方式，對監測點進行角度觀測，每個角度觀測二個測回。



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 佈標點(監測點)坐標及中誤差(第一次)

| 點 名 | YN坐標(m) | 標準差(m) | XE坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| P29 | 2689891.991 | 0.0017 | 209860.771 | 0.0025 |
| P28 | 2689930.581 | 0.0001 | 209871.630 | 0.0002 |
| P27 | 2689967.276 | 0.0014 | 209881.762 | 0.0018 |
| P26 | 2690006.589 | 0.0007 | 209892.938 | 0.0008 |
| P25 | 2690044.376 | 0.0009 | 209903.239 | 0.0013 |

## 佈標點(監測點)坐標及中誤差(第二次)

| 點 名 | YN坐標(m) | 標準差(m) | XE坐標(m) | 標準差(m) |
|---|---|---|---|---|
| P29 | 2689891.986 | 0.0003 | 209860.771 | 0.0004 |
| P28 | 2689930.577 | 0.0006 | 209871.633 | 0.0008 |
| P27 | 2689967.271 | 0.0025 | 209881.764 | 0.0034 |
| P26 | 2690006.585 | 0.0008 | 209892.939 | 0.0010 |
| P25 | 2690044.372 | 0.0014 | 209903.240 | 0.0020 |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 佈標點(監測點)二次觀測之佈標點坐標較差

| 點號 | 第一次(99.07.20) | | 第二次(100.05.11) | | △N(m) | △E(m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NY(m) | EX(m) | NY(m) | EX(m) | | |
| P29 | 2689891.991 | 209860.771 | 2689891.986 | 209860.771 | 0.005 | 0.000 |
| P28 | 2689930.581 | 209871.630 | 2689930.577 | 209871.633 | 0.004 | 0.003 |
| P27 | 2689967.276 | 209881.762 | 2689967.271 | 209881.764 | 0.005 | 0.002 |
| P26 | 2690006.589 | 209892.938 | 2690006.585 | 209892.939 | 0.004 | 0.001 |
| P25 | 2690044.376 | 209903.239 | 2690044.372 | 209903.240 | 0.004 | 0.001 |

Max Difference=5mm

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 以全站儀後方交會直接求得河床上四點之坐標及其標準差

| 點 名 | YN坐標(m) | 標準差(m) | XE坐標(m) | 標準差 (m) |
|---|---|---|---|---|
| T292 | 2689886.644 | 0.0002 | 209932.746 | 0.0003 |
| T282 | 2689946.383 | 0.0016 | 209929.258 | 0.0085 |
| T262 | 2690004.221 | 0.0070 | 209951.242 | 0.0290 |
| T252 | 2690061.852 | 0.0125 | 209947.024 | 0.0758 |

## 監測點二次觀測之佈標點坐標較差

| 點號 | 第一次 | | 第二次 | | △N(m) | △E(m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | NY(m) | EX(m) | NY(m) | EX(m) | | |
| P29 | 2689891.993 | 209860.820 | 2689891.990 | 209860.821 | 0.003 | 0.001 |
| P28 | 2689930.579 | 209871.686 | 2689930.581 | 209871.689 | 0.002 | 0.003 |
| P27 | 2689967.243 | 209881.859 | 2689967.237 | 209881.895 | 0.006 | 0.036 |
| P26 | 2690006.560 | 209892.874 | 2690006.537 | 209892.832 | 0.023 | 0.042 |
| P25 | 2690044.462 | 209903.350 | 2690044.373 | 209903.074 | 0.089 | 0.276 |



## 經典GPS+全站儀觀測方法與程序(標準作業模式)

1. 控制點佈設平行於橋梁方向，距離橋墩50米內為原則。
2. 控制點(觀測點)加密觀測以GPS方式為之，並以自由網平差解算，以避免控制點誤差之影響。
3. 監測點以採取多點角度前方交會觀測，並以坐標平差法解算，可獲得監測點之坐標值及觀測誤差。
4. 實驗結果顯示，前述之作業模式可達到工業量測要求之精度，即定位精度優於5mm。

## 近景攝影測量

- 本研究以近景軟體 iWitness Pro並搭配Nikon D40X數位單眼相機(有效像素：3872x2592像素)，搭配定焦鏡頭來進行。

| 單眼數位相機 (Nikon D40X) | |
|---|---|
| 感光元件說明 | 有效 1020萬像素 原色CCD (DX Sensor) |
| 感光元件尺寸 | 23.6 x 15.8 mm |
| 影像大小 | 3872x2592 |
| ISO感光度 | Auto, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 |
| 儲存系統 | NEF (RAW):12-bit,JPEG |
| 檔案系統 | EXIF 2.21 |
| 儲存媒體 | SD儲存卡, 相容SDHC |
| 傳輸介面 | USB 2.0 |
| 對焦模式 | 手動 & 自動對焦 |

| 鏡頭 (Nikon AF Nikkor 20mm F2.8D) | |
|---|---|
| 焦距 | 20mm |
| 最小光圈 | F22 |
| 拍攝距離 | 20cm ～ ∞ |



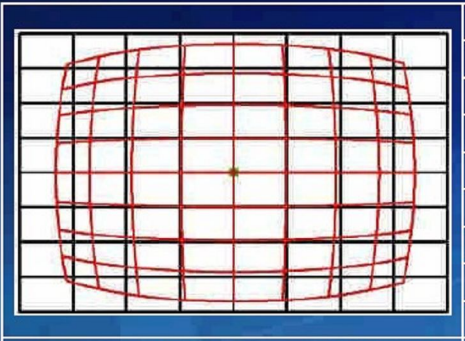
## 近景攝影測量

- 於監測橋墩中進行控制點與檢核點之佈設。對橋梁拍攝方式如下圖所示。使用特定距離對該測量物體進行包圍環狀攝影，其左右兩張照片之拍攝角度需大於3度，拍攝距離與拍攝張數可依現地情況做決定。



## 相機率定

- 相機率定目的在求取相機之內方位參數，包括相機焦距$f$及影像中心與像主點之偏移量($x_0$，$y_0$)及透鏡畸變(Lens Distortion)參數，用以修正量測之像點坐標，提高量測之精確度。



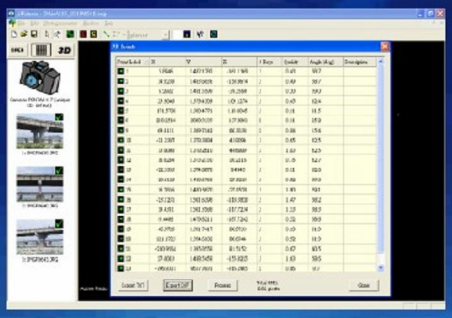
Max of Before Correction：92.935 Pixel

| 內方位參數 | |
|---|---|
| f (mm) | 17.849098 |
| $x_0$ (mm) | 11.432618 |
| $y_0$ (mm) | 7.414378 |
| 輻射畸變差 | |
| $K_1$ | 3.462748e-004 |
| $K_2$ | -3.056595e-007 |
| 離心畸變差 | |
| $P_1$ | -5.830947e-005 |
| $P_2$ | 8.270214e-006 |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 近景坐標量測

- 以iWitness軟體工具進行資料與點位量測之處理。以25號橋墩上游爲例



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 1. 基準組 (第一次量測)

基準組之目的在於作爲後續多次量測相對比較之標準。橋墩中使用之佈標監測點與前述全站儀地測中採用者完全相同，其中貼近橋墩底端的三個點予以當作模型坐標轉換之控制點，利用控制點之地測坐標可將近景量測之模型坐標轉換爲地測坐標(絕對坐標)，藉以跟地測之結果進行比較，也可將後續多次觀測所得進行與基準組之模型坐標轉換，進行多次觀測之相對性比較。 (100.02.05)


國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 基準組之監測點量測結果(總均方根誤差爲0.34 Pixel)

3D Points

| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 92 | 1.4248 | 15.7693 | -4.2137 | 0.0000 | 6 | 0.21 | 80.4 | |
| 93 | 1.3889 | 15.6839 | -4.2708 | 0.0000 | 6 | 0.20 | 80.5 | |
| 94 | 0.4646 | 17.0456 | -2.7960 | 0.0000 | 5 | 0.19 | 89.3 | |
| 95 | 1.6585 | 16.4627 | 0.9275 | 0.0000 | 3 | 0.30 | 33.6 | |
| 96 | 0.5428 | 15.9010 | 1.3625 | 0.0000 | 4 | 0.42 | 78.4 | |
| 97 | 3.5813 | 14.7091 | 2.5134 | 0.0000 | 2 | 0.16 | 21.3 | |
| 98 | 2.2211 | 13.9218 | 2.5811 | 0.0000 | 6 | 0.45 | 86.5 | |
| 101 | 4.0156 | 14.2685 | 2.7324 | 0.0000 | 3 | 0.34 | 38.9 | |
| 102 | 3.2380 | 14.7909 | 2.3622 | 0.0000 | 6 | 0.45 | 88.9 | |
| 103 | 2.3502 | 13.8314 | 2.6451 | 0.0000 | 6 | 0.41 | 87.0 | |
| 104 | 1.0197 | 15.2200 | -4.0448 | 0.0000 | 4 | 0.25 | 81.3 | |
| 105 | 0.9691 | 15.1455 | -4.1090 | 0.0000 | 4 | 0.08 | 81.4 | |
| 106 | 0.9715 | 15.1863 | -3.9593 | 0.0000 | 4 | 0.18 | 81.3 | |
| 107 | 0.9083 | 15.1140 | 4.0200 | 0.0000 | 4 | 0.14 | 81.4 | |
| 108 | -1.3180 | 14.4538 | -4.0949 | 0.0000 | 2 | 0.06 | 46.3 | |
| 109 | -1.2435 | 14.4206 | -4.1664 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 46.5 | |
| P29 | 0.9720 | 15.1675 | -4.0344 | 0.0000 | 7 | 0.35 | 81.4 | |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 | 0.0000 | 7 | 0.36 | 86.6 | |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | 0.0000 | 6 | 0.21 | 85.9 | |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | 0.0000 | 6 | 0.25 | 80.5 | |

Export: .TXT .CSV .DXT .KML | Process | Show/Hide code bits | [95 points, 0 codes] | Total RMS: 0.34 pixels | Close

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 尺度約制使用地測之控制點計算之距離參數

| 地面測量結果 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 點號 | E | Z | N | 距離(m) |
| P29 | 2689891.982 | 56.47 | 209860.771 | P29~P29-1：0.6955 |
| P29-1 | 2689892.675 | 56.449 | 209860.826 | P29-1~P29-2：4.4217 |
| P29-2 | 2689895.469 | 56.422 | 209857.399 | P29-2~P29-3：5.5785 |
| P29-3 | 2689890.191 | 56.166 | 209859.187 | P29~P29-3：2.4102 |

## 基準組經尺度約制後之控制點坐標

| 點號 | X(m) | Y(m) | Z(m) |
|---|---|---|---|
| P29 | 0.972 | 15.1675 | -4.0344 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 第二次攝影組(100.04.12) (總均方根誤差爲0.20 Pixel)

3D Points

| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1.8440 | 14.3558 | 4.7408 | 0.0000 | 2 | 0.14 | 29.5 | |
| 4 | -1.1835 | 14.1082 | -5.3260 | 0.0000 | 3 | 0.10 | 62.9 | |
| 5 | 0.2591 | 14.3016 | 5.0912 | 0.0000 | 4 | 0.12 | 81.3 | |
| 6 | 0.9698 | 15.1435 | -4.1056 | 0.0000 | 5 | 0.26 | 85.4 | |
| 7 | 0.5811 | 14.6273 | -4.8338 | 0.0000 | 4 | 0.16 | 83.8 | |
| 8 | -1.3908 | 14.4419 | -4.1714 | 0.0000 | 3 | 0.13 | 62.6 | |
| 9 | -1.3159 | 14.4101 | -4.2415 | 0.0000 | 3 | 0.10 | 63.2 | |
| 10 | 1.2399 | 14.4167 | 4.1670 | 0.0000 | 3 | 0.21 | 63.8 | |
| 11 | -1.3141 | 14.4489 | -4.0948 | 0.0000 | 3 | 0.11 | 63.2 | |
| 12 | 0.8954 | 14.2045 | 4.6912 | 0.0000 | 2 | 0.11 | 32.0 | |
| 13 | 0.2138 | 14.5672 | -4.3600 | 0.0000 | 3 | 0.19 | 69.4 | |
| 15 | 0.9167 | 15.1127 | -4.0217 | 0.0000 | 5 | 0.31 | 85.2 | |
| 16 | 0.9680 | 15.1848 | -3.9590 | 0.0000 | 5 | 0.13 | 85.1 | |
| 17 | 1.0209 | 15.2171 | -4.0444 | 0.0000 | 5 | 0.25 | 85.3 | |
| 18 | 0.7258 | 14.8325 | -4.4684 | 0.0000 | 4 | 0.16 | 84.9 | |
| 19 | 0.5661 | 14.6702 | -4.6491 | 0.0000 | 4 | 0.14 | 83.9 | |
| 20 | 0.5526 | 14.7123 | 4.4698 | 0.0000 | 4 | 0.08 | 83.9 | |
| 21 | 0.8992 | 15.2857 | -3.4232 | 0.0000 | 5 | 0.24 | 83.3 | |
| 22 | 1.0850 | 15.5951 | 2.8442 | 0.0000 | 5 | 0.22 | 84.8 | |
| 23 | 1.3526 | 15.6370 | -4.1845 | 0.0000 | 6 | 0.35 | 87.6 | |
| 24 | 1.4215 | 15.7661 | -4.2139 | 0.0000 | 6 | 0.24 | 88.5 | |

Export: .TXT .CSV .DXF .KML

Process | Show/Hide code bits | 112 points, 0 codes | Total RMS: 0.20 pixels | Close

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

| Control Label | X | Y | Z | Z-Offset | Closest Point | DX | DY | DZ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.9720 | 15.1675 | 4.0344 | 0.0000 | ✓ P29 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.002 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | 0.0000 | ✓ P29-1 | -0.000 | -0.002 | 0.000 | 0.002 |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | 0.0000 | ✓ P29-2 | -0.001 | 0.002 | -0.000 | 0.002 |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 | 0.0000 | ✓ P29-3 | 0.003 | 0.002 | -0.000 | 0.004 |

Transformation Options: 3D 2D 1D Help

New Point | Unlink All | Link Close Points | Import Control Points | Remove Control Points | Close

Control points' scale used
Quality: RMS – 0.002

第二次拍攝組與基準組之比較 (單位:m)

| 控制點編號 | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.9703 | 15.1662 | -4.0337 | 0.0017 | 0.0013 | 0.0007 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7025 | -4.1986 | 0.0000 | 0.0024 | 0.0001 |
| P29-2 | -0.035 | 19.7313 | -5.3403 | 0.0011 | 0.0016 | 0.0005 |
| P29-3 | -1.3153 | 14.4297 | -4.1688 | 0.0029 | 0.0021 | 0.0003 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.00186 | 0.0029 | 0.001 | 0.00078 |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

第三次攝影組(100.04.28) 總均方根誤差爲0.18 Pixel

3D Points

| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 39 | 689.3749 | 2702.9647 | -61.1949 | 0.0000 | 5 | 0.22 | 86.1 | |
| 40 | 658.6446 | 2776.6449 | 208.5706 | 0.0000 | 5 | 0.22 | 86.6 | |
| 41 | 606.5908 | 2872.8189 | -277.8949 | 0.0000 | 5 | 0.15 | 88.1 | |
| 42 | 682.6579 | 2839.3272 | 140.7095 | 0.0000 | 5 | 0.20 | 87.1 | |
| 43 | 544.5827 | 2972.6251 | -89.1990 | 0.0000 | 4 | 0.09 | 80.4 | |
| 44 | 437.8285 | 3084.7853 | 8.0453 | 0.0000 | 3 | 0.18 | 53.0 | |
| 45 | 68.4051 | 3271.8286 | -31.3958 | 0.0000 | 4 | 0.20 | 71.7 | |
| 46 | 148.4353 | 3356.5807 | 2.6622 | 0.0000 | 4 | 0.26 | 65.9 | |
| 47 | -253.0536 | 3395.7296 | 4.4433 | 0.0000 | 4 | 0.19 | 63.2 | |
| 48 | 249.2291 | 3302.7129 | 55.4873 | 0.0000 | 4 | 0.34 | 63.4 | |
| 49 | 374.3506 | 3132.5187 | -49.8155 | 0.0000 | 4 | 0.17 | 79.0 | |
| 50 | 266.3797 | 3199.7813 | 209.7047 | 0.0000 | 2 | 0.15 | 26.7 | |
| 51 | 156.2477 | 3241.0845 | 126.2383 | 0.0000 | 2 | 0.01 | 26.3 | |
| 52 | 130.1582 | 3251.2736 | 131.1299 | 0.0000 | 2 | 0.07 | 26.1 | |
| 53 | 11.5543 | 3296.3812 | 151.0852 | 0.0000 | 2 | 0.04 | 25.2 | |
| 54 | 148.6500 | 3355.7383 | 18.0020 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 24.1 | |
| 55 | -148.5619 | 3356.9621 | 12.6650 | 0.0000 | 2 | 0.09 | 24.0 | |
| 56 | 252.8506 | 3305.1884 | 18.5882 | 0.0000 | 2 | 0.20 | 23.1 | |
| 57 | -273.1630 | 3404.1298 | 4.7929 | 0.0000 | 2 | 0.01 | 22.9 | |
| 58 | 254.0989 | 3304.4513 | 27.9578 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 23.0 | |

Export: .TXT .CSV .DXF .KM

Process | Show/Hide code bits | [44 points, 0 codes]

Total RMS: 0.18 pixels

Close

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

| Control Label | X | Y | Z | Z-Offset | Closest Point | DX | DY | DZ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.9720 | 15.1675 | -4.0344 | 0.0000 | P29 | -0.003 | -0.001 | 0.000 | 0.003 |
| P29-1 | 1.3897 | 15.7049 | -4.1987 | 0.0000 | P29-1 | -0.002 | -0.003 | -0.000 | 0.003 |
| P29-2 | -0.0339 | 19.7297 | -5.3398 | 0.0000 | P29-2 | -0.000 | 0.003 | -0.001 | 0.003 |
| P29-3 | -1.3182 | 14.4276 | -4.1685 | 0.0000 | P29-3 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.005 |

Transformation Options: 3D 2D 1D Help

New Point | Unlink All | Link Close Points | Import Control Points | Remove Control Points | Close

Control points' scale used
Quality: RMS = 0.002

第三次拍攝組與基準組之比較 (單位:m)

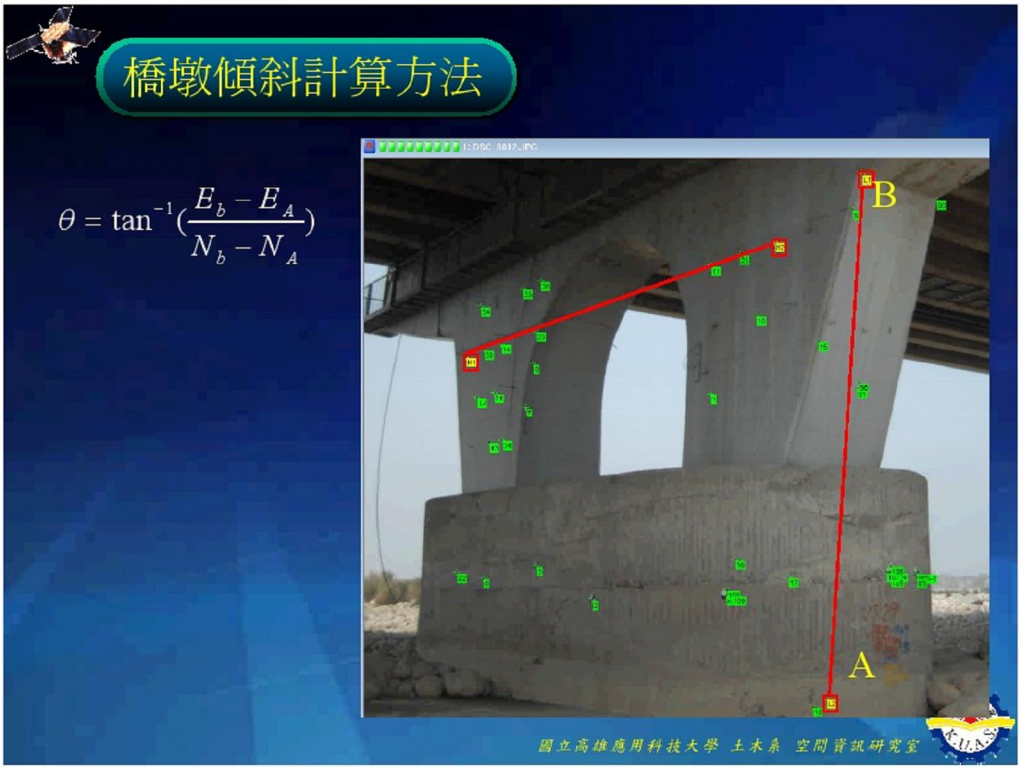
| 控制點編號 | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.9687 | 15.1668 | -4.0340 | 0.0033 | 0.0007 | 0.0004 |
| P29-1 | 1.3878 | 15.7021 | -4.1988 | 0.0019 | 0.0028 | 0.0001 |
| P29-2 | -0.034 | 19.7327 | -5.3405 | 0.0001 | 0.0030 | 0.0007 |
| P29-3 | -1.3129 | 14.4281 | -4.1681 | 0.0053 | 0.0005 | 0.0004 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.00276 | 0.0053 | 0.0001 | 0.00138 |

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室


| Point Label | X | Y | Z | Z-Offset | # Rays | Quality | Angle (deg) | Description |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 56 | 1.4627 | 17.8854 | -5.1925 | 0.0000 | 2 | 0.00 | 30.1 | |
| 57 | 1.2367 | 18.2756 | -5.2370 | 0.0000 | 3 | 0.21 | 61.8 | |
| 58 | 0.3882 | 19.2655 | 5.2808 | 0.0000 | 3 | 0.21 | 52.0 | |
| 59 | 0.2182 | 19.3615 | -5.6599 | 0.0000 | 2 | 0.11 | 23.1 | |
| 60 | 0.1041 | 19.4483 | -5.7975 | 0.0000 | 2 | 0.04 | 22.5 | |
| 61 | 0.4769 | 19.3052 | -4.6500 | 0.0000 | 2 | 0.15 | 28.5 | |
| 62 | 0.4969 | 19.2805 | -4.6751 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 28.7 | |
| 63 | 0.4829 | 19.2775 | 4.7308 | 0.0000 | 2 | 0.24 | 28.7 | |
| 64 | 0.4687 | 19.2963 | -4.7372 | 0.0000 | 2 | 0.18 | 28.6 | |
| 65 | 0.0457 | 19.7594 | -4.8191 | 0.0000 | 2 | 0.03 | 25.5 | |
| 66 | -0.0091 | 19.8003 | -4.8660 | 0.0000 | 2 | 0.38 | 25.2 | |
| 67 | 0.0295 | 19.7117 | 5.4139 | 0.0000 | 2 | 0.17 | 25.5 | |
| 68 | -0.0792 | 19.7875 | -5.3547 | 0.0000 | 2 | 0.15 | 25.0 | |
| P29 | 0.9710 | 15.1676 | -4.0337 | 0.0000 | 6 | 0.14 | 88.7 | |
| P29-6 | 1.6093 | 16.3666 | -4.6573 | 0.0000 | 6 | 0.19 | 87.4 | |
| P29-5 | 1.3868 | 15.5649 | -4.6728 | 0.0000 | 6 | 0.22 | 84.3 | |
| P29-4 | 0.2949 | 14.6241 | -4.2854 | 0.0000 | 5 | 0.23 | 83.7 | |
| P29-3 | -1.3188 | 14.4236 | -4.1677 | 0.0000 | 4 | 0.10 | 84.6 | |
| P29-2 | -0.0327 | 19.7329 | -5.3404 | 0.0000 | 4 | 0.15 | 60.4 | |
| P29-1 | 1.3900 | 15.7056 | -4.1996 | 0.0000 | 6 | 0.18 | 84.3 | |


第四次拍攝組與基準組之比較 (單位:m)

| 控制點編號 | X | Y | Z | ΔX | ΔY | ΔZ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P29 | 0.971 | 15.1676 | -4.0337 | 0.001 | 0.0001 | 0.0007 |
| P29-1 | 1.39 | 15.7056 | -4.1996 | 0.0003 | 0.0007 | 0.0009 |
| P29-2 | -0.0327 | 19.7329 | -5.3404 | 0.0012 | 0.0032 | 0.0006 |
| P29-3 | -1.3188 | 14.4236 | -4.1677 | 0.0006 | 0.0040 | 0.0008 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.001998 | 0.0040 | 1E-04 | 0.00081 |



傾斜及沉陷可於影像中選取水平方向及垂直方向上之特徵點位進行量測。如下圖之L1、L2、H1、H2所示。該點位屬於影像中之自然點位利用量測該點位並計算其傾斜角度當作基準，在與基準組所量測出數據進行比較，將可得到該橋樑是否產生變位。下圖為利用自然點位進行傾斜角量測示意圖。表4-16為N與E二坐標軸向之傾斜角計算結果(基準組)。

| 點位名稱 | E(m) | Z(m) | N(m) | 空間距離(m) | dE/dN(度) | dE/dZ(度) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| L2 | 0.0455 | 14.1825 | -5.5196 | | | |
| L1 | 0.5786 | 15.3622 | 1.6941 | 7.32894 | 355.7735 | 335.682 |
| H2 | -0.7376 | 16.4528 | 0.7653 | | | |
| H1 | -8.3 | 24.5633 | -1.5474 | 11.32778 | 107.0045 | 137.0029 |



# 近景攝影量測與絕對差異分析

絕對差異分析是指將近景攝影計算所得監測點位之模型坐標，藉由地控點進行三維坐標轉換而獲得量測監測點位之絕對坐標值，進而依據點位之絕對坐標值完成多次量測差異分析。

| GPS+全站儀 地面測量結果 | | | |
|---|---|---|---|
| 點號 | X(m) | Y(m) | Z(m) |
| P29 | 2689891.982 | 56.47 | 209860.771 |
| P29-1 | 2689892.675 | 56.449 | 209860.826 |
| P29-2 | 2689895.469 | 56.422 | 209857.399 |
| P29-3 | 2689890.191 | 56.166 | 209859.187 |

## 絕對差異分析

| 第一次拍攝組(基準組)與地測坐標之比較 (單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | 近景量測結果 | | | | | |
| | X | Y | Z | ΔX(m) | ΔY(m) | ΔZ(m) |
| P29 | 2689891.981 | 56.4698 | 209860.7701 | 0.0012 | 0.0002 | 0.0009 |
| P29-1 | 2689892.678 | 56.4493 | 209860.8261 | 0.0033 | 0.0003 | 0.0001 |
| P29-2 | 2689895.468 | 56.422 | 209857.4001 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0011 |
| P29-3 | 2689890.189 | 56.1659 | 209859.1866 | 0.0016 | 0.0001 | 0.0004 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.0019 | 0.0033 | 0 | 0.0007 |



| 第四次拍攝組與地測坐標之比較 (單位:m) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 控制點編號 | 近景量測結果 | | | | | |
| | X | Y | Z | ΔX(m) | ΔY(m) | ΔZ(m) |
| P29 | 2689891.980 | 56.4706 | 209860.7695 | 0.0019 | 0.0006 | 0.0015 |
| P29-1 | 2689892.679 | 56.4485 | 209860.8261 | 0.0043 | 0.0005 | 0.0001 |
| P29-2 | 2689895.472 | 56.4223 | 209857.3991 | 0.0033 | 0.0003 | 0.0001 |
| P29-3 | 2689890.185 | 56.1656 | 209859.1883 | 0.0057 | 0.0004 | 0.0013 |
| | | | RMS | MAX | MIN | 平均 |
| | | | 0.0021 | 0.0057 | 0.0001 | 0.0014 |


UAV 近景攝影系統


橋梁3D建模
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 各種測量方法之優缺點比較

| 觀測方法 | 優點 | 缺點 |
|---|---|---|
| GPS衛星定位 | 1.靜態測量之精度高<br>2.橋面設站容易<br>3.作業成本低 | 1. 橋下設站難<br>2. 工作成本低 |
| 全站儀測量 | 1.量測精度高<br>2.作業容易<br>3.工作成本低 | 1. 設站有地形及天候之考量<br>2. 量測精度受觀測距離遠近之影響，距離愈遠，精度變差。 |
| 電子水準儀高程量測 | 1.高程量測精度高<br>2.橋面設站容易<br>3.工作容易成本低 | 1.僅能作高程量測 |
| 地面雷射掃描 | 1.掃描量測直接且精度高<br>2.可獲得面狀之豐富資料 | 1.儀器成本高<br>2.對有景深之物件掃瞄精度不均勻<br>3.設站相同於全站儀之考量 |
| 近景攝影測量 | 1.量測精度高<br>2.軟硬體成本低<br>3.設站(拍攝)容易<br>4.可獲得面狀之資料<br>5.不需地控點資料 | 1.需專業軟體之後處理 |



## 橋樑變形監測技術規範(草案)之擬定

目 錄

## 已完成工作：

- 完成第二年度全區航測作業(1/1000正射影像製作及圖冊製作)。
- 完成第二年度全區空載雷射掃瞄及資料處理作業。
- 水深測量完成。
- 全區數值高程模型結合水深資料之編輯及全區大斷面向量圖繪製及數值圖檔。
- 完成第二年度之第二次監測點各種測量觀測作業及數據分析工作。
- 完成橋梁監測作業規範(草案)之擬定。



## 結論與建議

結 論：

- 使用航空攝影測量、空載雷射技術及現地水域水深測量等技術完成河床高度資料之獲取，包括1/1000正射影像與DEM資料，平面精度約±20cm內 ，高程精度約±10cm內 。
- 橋梁變形監測中，橋板撓度及沉陷爲使用精密水準測量方法，橋墩位移與傾斜爲使用爲使用現代工業等級的量測技術(測量誤差限定小於5mm)，包括經典角邊、GPS、地面雷射與近景攝影等技術並進行各種技術與於施測之可行性、量測精度及成本分析比較。
- 依實測與實驗結果擬定「橋樑變形監測技術規範」之草案。

## 結論與建議

建 議：

- 使用航空攝影測量、空載雷射技術及現地水域水深測量等技術完成河床高度資料之獲取，可有效獲取高精度資料， 但其成本高，建議未來可使用UAV取代現有航測技術，對橋梁上下、游一定範圍(500m)內進行施測，可節省大量成本，亦可滿足精度之要求。
- 橋梁變形監測中，橋板撓度及沉陷使用精密水準測量方法，爲簡易且低成本之量測方法。
- 橋墩位移與傾斜使用使用經典角邊、GPS爲低成本之量測方法，但橋梁狹長及跨河之特性會有設站困難的問題。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

## 結論與建議

建 議：

- 近景攝影測量技術發展快速與成熟，精度已可達工業量測等級。無人飛行載具(UAV)亦已發展成熟，使用UAV+近景攝影技術，可低成本且快速的進行監測作業之量測與實施。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室