

105-099-1361
IOT-103-PEB017

橋梁檢測工具效能提升計畫

著者：蘇振維、黃俊豪、江明益、姚乃嘉、蔡閔光、陳介豪、
葉啟章、許文科、廖先格、莊友涵、廖艾貞

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 10 月

橋梁檢測工具效能提升計畫

著 者：蘇振維、黃俊豪、江明益、姚乃嘉、蔡閔光、陳介豪、葉啟章、
許文科、廖先格、莊友涵、廖艾貞

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 105 年 10 月

印 刷 者：九易數碼科技印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 15 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：非賣品

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

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：橋梁檢測工具效能提升計畫			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN (平裝)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 105-099-1361	計畫編號 103-PEB017
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：蘇振維 計畫主持人：蘇振維 研究人員：黃俊豪、江明益 聯絡電話：(02)2349-6813 傳真號碼：(02)2545-0428	合作研究/共同研究單位：國立中央大學 計畫主持人：姚乃嘉 研究人員：蔡閔光、陳介豪、葉啟章、許文科、 廖先格、莊友涵、廖艾貞 地址：桃園市中壢區中大路 300 號 聯絡電話：(03)4227151 轉 34034		研究期間 自 2014 年 5 月 至 2014 年 12 月
關鍵詞：橋梁檢測、無人飛機、影像辨識			
摘要： 我國橋梁近3萬座，主要由交通部臺灣區國道高速公路局、交通部公路總局、交通部臺灣鐵路管理局及各縣市政府負責管養，依據公路養護規範、公路鋼結構橋梁檢測及補強規範與公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範之規定，我國橋梁檢測可分成經常巡查、定期檢測及特別檢測三類。其中經常巡查係為維持行車安全順暢，而於平時以乘車目視方式所實施之檢查；定期檢測係為及早發現損傷情形而定期針對橋梁實施之全面性檢測，其作業方式係以徒步、搭乘橋梁檢測車或高空作業車儘可能接近橋梁結構物後，再以目視或必要儀器判定橋梁安全狀況之檢測；特別檢測係於重大事故或災害發生後，為了解橋梁損傷程度及防止災害擴大而實施之不定期目視檢測。整體而言，橋梁檢測以目視為主，儀器為輔，故一般進行檢測作業時，多係以徒步及攀爬方式儘可能接近橋梁結構物後，再以目視判定橋梁狀況。如遇高橋墩或跨河橋梁時，雖可利用橋梁檢測車、高空作業車或小型船艇輔助趨近，然對於車流量大或偏遠山區之橋梁而言，上述輔助工具不但操作費時且成本較高，故相關巡檢作業仍有精進空間。 隨著科技不斷發展，近年來各項可應用於橋梁檢測之儀器、設備及技術不斷推陳出新，舉凡迷你型檢測車、遙控飛機、3D 雷射攝影技術、影像辨識…等，皆有長足進步。因此，為協助提升橋梁檢測作業之品質及效率，本計畫除評估前述儀器、設備及技術運用於橋梁檢測作業之可行性，並針對旋翼式無人飛機(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)開發操作簡單、作業快速且成本相對較低之「橋梁構件影像自動擷取系統」。經挑選 8 座公路橋梁(新大崛溪橋、台 61 號快速道路、牛欄河 2 號橋、內灣大橋、自強橋、羅浮橋、巴陵大橋和圓山橋)進行實地測試後，除均能依使用者設定路線完成自動飛行任務外，並均能成功蒐集橋梁構件影像供作判斷，相關蒐集資料亦能進一步與臺灣地區橋梁管理資訊系統(Taiwan Bridge Management System, TBMS)整合。此外，為擴大研究成效，本計畫共辦理三場次研究成果推廣暨教育訓練活動，其中 88.6%學員認為本計畫開發之「橋梁構件影像自動擷取系統」可提升橋梁檢測工作效能，顯示本計畫成果確有助於協助相關單位提升橋梁檢測作業效能。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
105 年 10 月	160	非賣品	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 ☒ 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: Enhancing Efficiency of Bridge Inspection Equipment			
ISBN(OR ISSN) ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 105-099-1361	PROJECT NUMBER 103-PEB017
DIVISION: Transportation Engineering DIVISION DIRECTOR: Cheng-Wei Su PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng-Wei Su PROJECT STAFF: Jyun-Hao Huang, Ming-Yi Jiang PHONE:(02)2349-6813 FAX: (02)2545-0428			PROJECT PERIOD FROM May, 2014 TO December 2014
RESEARCH AGENCY: National Central University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Prof. Nie-Jia Yau PROJECT STAFF: Ming-Kuan Tsai, Jieh-Haur Chen, Chi-Jang Yeh, Wen-Ko Hsu, Hsien-Ke Liao, Yu-Han Chuang; Ai-Chen Liao ADDRESS: No. 300, Zhongda Rd., Zhongli District, Taoyuan City 32001, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (03)422-7151 ext. 34034			
KEY WORDS: Bridge inspection, Unmanned Aerial Vehicle, Image recognition			
ABSTRACT: There are 28,000 bridges in Taiwan. These bridges are managed by Taiwan Area National Freeway Bureau, Taiwan Railways Administration, and county governments. Based on several maintenance manuals regarding freeways, bridge inspection could be divided into general inspection, regular inspection and special inspection. For the general inspection, bridge managers should ensure the smooth of freeways. For regular inspection, bridge managers should observe the conditions of bridge components so that the safety of bridges could be confirmed. For the special inspection, bridge managers should check the conditions of bridges after some important hazards or events. In sum, bridge inspection depends on visual observation. When bridge managers investigate some bridges that cross rivers and mountains, they could apply specific vehicles during bridge inspection. However, these vehicles are big. Thus, the operation time and cost are high. In other words, the efficiency of bridge inspection should be improved. Associated with the rapid growth of information technology, various new equipments and techniques are also used in bridge inspection, such as small-size vehicles, aerial vehicles, 3D laser, and image recognition. For the aforementioned purpose, this study will evaluate the related techniques. In the meantime, based on the safety of bridge sites, the efficiency of bridge inspection, and the completion of data collection, this study attempts to apply Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in bridge inspection. This study would offer an automatic imagery collection system regarding bridge components. This system is easy to use and requires low cost. In the future, this system could be integrated with the second-generation Taiwan Bridge Management System (TBMS2). Therefore, the efficiency of bridge inspection would be clearly increased.			
DATE OF PUBLICATION October 2016	NUMBER OF PAGES 160	PRICE Not for sale	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

目錄	I
表目錄	III
圖目錄	IV
第一章 緒論	1
1.1 計畫背景	1
1.2 研究內容與工作項目	1
1.3 研究對象與範圍	2
1.4 研究流程及報告架構	2
第二章 國內外重要文獻回顧	4
2.1 臺灣地區橋梁管理系統	4
2.2 橋梁檢測設備	6
2.3 國際特殊橋梁檢測設備	16
2.4 臺灣地區橋梁檢測設備應具備之功能需求	19
第三章 使用 UAV 專家訪談.....	21
3.1 A 研究機構	21
3.2 B 橋梁管理機關	21
3.3 專家建議	22
3.4 各國 UAV 法規綜整.....	23
第四章 本計畫 UAV 與系統操控模組.....	28
4.1 UAV 組裝.....	28
4.2 UAV 測試.....	32
4.3 系統架構	41
4.4 地面控制程式	42
4.5 小結	52
第五章 橋梁現地測試	53
5.1 測試流程	53
5.2 「新大崛溪橋」檢測概要	54
5.3 「台 61 號快速道路桃科段」檢測概要.....	54
5.4 「牛欄河 2 號橋」檢測概要	55
5.5 「內灣大橋」檢測概要	56
5.6 「羅浮橋橋」檢測概要	56
5.7 「巴陵大橋」檢測概要	57
5.8 測試結果	57
5.9 本系統與 3D 雷射掃描之比較	66
5.10 本系統與船艇之比較	67

5.11 小結.....	68
第六章 構件影像初步劣化辨識.....	71
6.1 劣化演算法.....	71
6.2 劣化區塊.....	71
第七章 教育訓練.....	75
7.1 訓練內容.....	75
7.2 意見綜整.....	76
第八章 結論與建議.....	83
8.1 結論.....	83
8.2 建議.....	83
參考文獻.....	85
附件一 使用 UAV 專家訪談紀錄	88
附件二 期中簡報委員意見回覆表.....	94
附件三 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統操作手冊	101
附件四 教育訓練簡報內容.....	125
附件五 教育訓練問卷.....	138
附件六 期末簡報委員意見回覆表.....	140

表目錄

表 2.1	3D 雷射掃描儀比較	10
表 2.2	UAV 與其他橋梁檢測設備之比較	20
表 3.1	各國 UAV 相關法規整理 I	23
表 3.2	各國 UAV 相關法規整理 II	25
表 3.3	各國 UAV 相關法規整理 III.....	26
表 4.1	飛行控制器之比較	28
表 4.2	影像設備比較	30
表 4.3	UAV 穩定性測試	34
表 4.4	UAV 耐久性測試	36
表 4.5	GPS 精準性測試	37
表 4.6	Google Android 平板電腦比較.....	43
表 4.7	不同橋梁構件適用之 UAV 航點.....	48
表 5.1	自動飛行模式測試結果	58
表 5.2	手控飛行模式測試結果	65
表 5.3	本系統與 3D 雷射掃描比較結果	66
表 5.4	本系統與船艇比較結果	67
表 5.5	機型選用建議	68
表 5.6	橋梁限制	68
表 7.1	教育訓練內容議程	75
表 7.2	橋梁檢測年資彙整	77
表 7.3	使用過之橋檢工具彙整	77
表 7.4	目前所使用之橋檢工具是否有造成不便彙整	77
表 7.5	UAV 特色之滿意度彙整	78
表 7.6	UAV 功能便利性彙整	78
表 7.7	UAV 操作之解說滿意度彙整	78
表 7.8	是否有助於工作效能之提升彙整	79
表 7.9	是否已學會簡單操作 UAV 彙整.....	79
表 7.10	UAV 輔助應用程式整體使用之滿意度彙整.....	79
表 7.11	執行速度之滿意度彙整	80
表 7.12	功能便利性彙整	80
表 7.13	UAV 輔助應用程式是否有助於您工作效能之提升彙整	80
表 7.14	是否已了解操作介面彙整	81
表 7.15	問卷意見彙整	81

圖目錄

圖 1.1	本計畫適用橋梁類型	2
圖 1.2	研究流程圖	3
圖 2.1	第一代 TBMS 畫面	4
圖 2.2	第二代 TBMS 畫面	5
圖 2.3	第二代 TBMS 之 APP 畫面.....	5
圖 2.4	吊籃式橋梁檢測車	7
圖 2.5	桁架式橋梁檢測車	7
圖 2.6	迷你型橋梁檢測電動車	7
圖 2.7	迷你檢測車檢測案例	8
圖 2.8	掃描儀座標系與物空間座標系之關係圖	9
圖 2.9	3D 雷射攝影用於橋梁裂縫辨識	10
圖 2.10	第二代 TBMS App 於橋梁檢測之成果	11
圖 2.11	定翼式 UAV	12
圖 2.12	旋翼式 UAV	12
圖 2.13	自動化影像辨識橋梁裂縫流程	13
圖 2.14	橋梁構件說明圖	15
圖 2.15	裂縫觀察儀	15
圖 2.16	新竹中正大橋與橋梁安全預警系統	16
圖 2.17	長桿攝影機	17
圖 2.18	紅外線掃描車	17
圖 2.19	超音波鐵路橋檢測車	18
圖 2.20	爬行檢測車	18
圖 2.21	遙控潛艇	19
圖 3.1	A 研究機構使用之六軸 UAV	21
圖 3.2	B 橋梁管理機關使用之六軸 UAV	22
圖 4.1	支援 4-8 軸之電源配置器	29
圖 4.2	輔助支架支撐平板電腦	29
圖 4.3	本計畫使用之攝影機雲台	31
圖 4.4	本計畫使用之攝影機轉向接頭	31
圖 4.5	本計畫模擬劣化拍攝	31
圖 4.6	測試時使用之不同設備	33
圖 4.7	測試使用之不同電池	33
圖 4.8	應用橋梁構件影像自動擷取系統於橋梁檢測的流程圖	42
圖 4.9	橫向操作地面控制程式	43
圖 4.10	直向操作地面控制程式	44
圖 4.11	現地確認 GIS.....	45

圖 4.12	選擇飛行航線檔案	45
圖 4.13	設定航點類別	46
圖 4.14a	應對不同橋梁構件之 UAV 航點型式(I).....	47
圖 4.14b	應對不同橋梁構件之 UAV 航點型式(II)	47
圖 4.15	UAV 即時狀態	49
圖 4.16	切換攝影機鏡頭	50
圖 4.17	由觀看影片填寫 DERU(I)	51
圖 4.18	由觀看影片填寫 DERU(II)	51
圖 4.19	DERU 檢測表	52
圖 5.1	現地測試流程圖	53
圖 5.2	新大崛溪橋現況	54
圖 5.3	台 61 號快速道路桃科段現況.....	55
圖 5.4	牛欄河 2 號橋現況	55
圖 5.5	內灣大橋現況	56
圖 5.6	羅浮橋現況	57
圖 5.7	巴陵大橋現況	57
圖 5.8	現地量測橋梁位置並繪製飛行路徑	58
圖 5.9	O 型路線繞行新大崛江橋 P2 橋墩.....	59
圖 5.10	S 型路線穿越台 61 號快速道路橋底.....	59
圖 5.11	S 型路線穿越牛欄河 2 號橋橋底	60
圖 5.12	半 S 型路線穿越內灣大橋橋底	60
圖 5.13	直線路線拍攝羅浮橋橋側	61
圖 5.14	S 型路現拍攝巴陵大橋底	61
圖 5.15	O 型路線下拍攝之新大崛江橋橋墩照片	62
圖 5.16	S 型路線下拍攝之台 61 號快速道路橋底照片.....	62
圖 5.17	S 型路線下拍攝之牛欄河 2 號橋橋底照片	63
圖 5.18	半 S 型路線下拍攝之內灣大橋橋底照片.....	63
圖 5.19	直線路線下拍攝之羅浮橋側照片	63
圖 5.20	S 型路線下拍攝之巴陵大橋底照片	64
圖 5.21	UAV 手控模式下穿越新大崛溪橋.....	64
圖 5.22	UAV 手控模式下穿越台 61 號快速道路	65
圖 5.23	UAV 與橋梁構件關係圖.....	69
圖 5.24	影像修正比較圖	70
圖 5.25	拍攝時間點之比較	70
圖 6.1	新大崛溪橋混凝土剝落原圖	72
圖 6.2	新大崛溪橋混凝土剝落辨識結果	72
圖 6.3	新大崛溪橋鋼筋外露原圖	73
圖 6.4	新大崛溪橋鋼筋外露辨識結果	73

圖 6.5	內灣大橋鋼筋外露原圖	74
圖 6.6	內灣大橋鋼筋外露辨識結果	74
圖 7.1	北部場教育訓練	75
圖 7.2	中部場教育訓練	76
圖 7.3	南部場教育訓練	76

第一章 緒論

1.1 計畫背景

橋梁係運輸系統跨越山河溪谷、維繫民生需求及經濟發展之重要關鍵設施，該設施除會因長期使用而疲勞劣化外，亦會因洪水沖刷或地震搖晃而損壞劣化，故需定期巡檢，並籌編足額經費適時改善。我國橋梁約 3 萬座，主要由交通部臺灣區國道高速公路局(以下簡稱「高公局」)、交通部公路總局(以下簡稱「公路總局」)、交通部臺灣鐵路管理局(以下簡稱「臺鐵局」)及各縣市政府負責管養，依據公路法及相關規定，橋梁養護首重檢測，因此各橋梁管理機關除應適時針對所轄橋梁實施各項橋梁安全檢測作業外，並應針對損壞部分採取適當維修對策，方能確保橋梁及用路人行車安全。

依據「公路養護規範」、「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」及「公路鋼結構橋梁檢測及補強規範」之規定，前述橋梁檢測可概分成「經常巡查」、「定期檢測」及「特別檢測」等 3 類。其中經常巡查係為了維持行車安全順暢，而於平時以乘車目視方式所實施之檢查；定期檢測係為及早發現損傷情形而定期針對橋梁實施之全面性檢測，其作業方式係以徒步、搭乘橋梁檢測車或高空作業車儘可能接近橋梁結構物後，再以目視或必要儀器判定橋梁狀況；特別檢測係於重大事故或災害發生後，為了解損傷程度及防止災害擴大而實施之不定期目視檢測。整體而言，橋梁檢測以目視為主，儀器為輔，故一般進行橋梁檢測作業時，多係以徒步及攀爬方式儘可能接近橋梁結構物後，再以目視判定橋梁狀況，如遇高橋墩或跨河橋梁時，雖可利用橋梁檢測車、高空作業車或小型船艇輔助趨近，然對於車流量大或偏遠山區橋梁而言，由於檢測車械體積較大、操作費時且成本較高，故相關檢測作業仍有精進空間。

隨著科技不斷發展，近年來各項可應用於橋梁檢測之儀器、設備及技術不斷推陳出新，舉凡迷你型檢測車、遙控飛機、3D 雷射攝影技術、影像辨識...等，皆有長足進步，因此，為協助提升橋梁檢測作業之品質及效率，爰規劃本研究，期能透過本研究評估多項儀器、設備及技術整合應用於橋梁檢測作業之可行性，並據以開發操作簡單、適用範圍較廣、作業效率較高且成本較低之橋梁目視檢測設備，俾增進橋梁檢測作業之品質及效率。

1.2 研究內容與工作項目

本計畫主要目的在於提升橋梁檢測作業效能，相關研究內容與工作項目如下。

- (1) 資料蒐集：廣泛蒐集國內外有助於提升橋梁檢測作業效率及品質之儀器、設備、技術及相關應用方式(例如迷你型橋梁檢測車、遙控飛機、3D 雷射

攝影技術、影像辨識及最新型橋梁檢測設備)。

- (2) 規劃可行方案：評估前述儀器、設備及技術整合應用於橋梁目視檢測作業之可行性，並據以規劃可提高橋梁檢測作業效能之可行方案。
- (3) 選擇目標方案並進行開發整合：自前述可行方案中，擇選最佳方案作為目標方案，並著手進行相關儀器、設備及軟體之開發與整合。整合後成果需能讓現場橋梁檢測人員可以較高效率及較低成本，快速簡易地取得橋梁目視檢測所需影像或照片供進一步判斷，相關成果如能具備影像辨識比對功能更佳。
- (4) 現地測試及回饋修正：以橋梁管理機關或橋梁檢測機構為對象進行實地測試，並適時參酌使用者意見及建議調整修正相關研發成果。
- (5) 綜合評估及推廣應用：評估研究成果之實施成效，並辦理成果推廣。

1.3 研究對象與範圍

本計畫以高公局、公路總局及各縣市政府所轄公路橋梁(圖1.1)為主要研究對象，研究成果適用範圍主要包含版橋、梁式橋、箱型橋及拱橋。

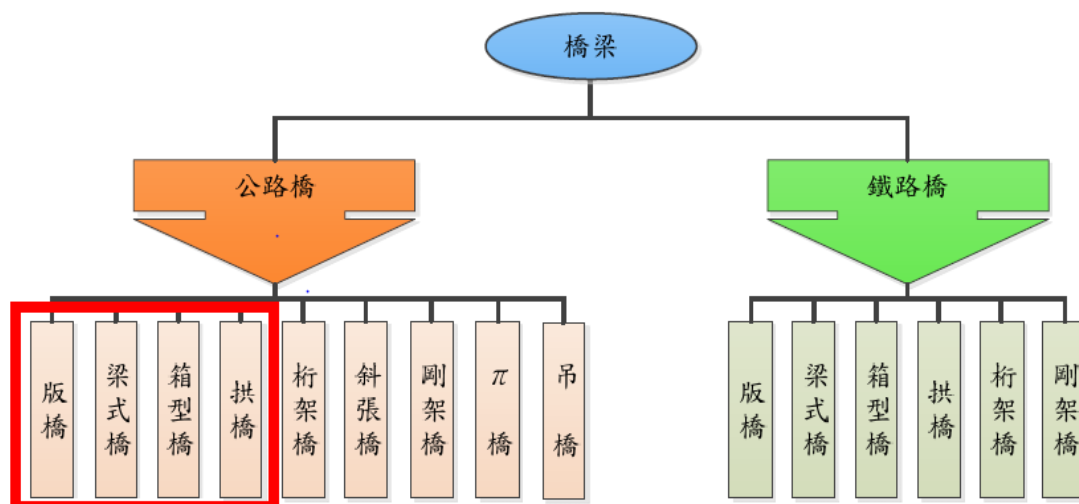


圖1.1 本計畫適用橋梁類型

1.4 研究流程及報告架構

本計畫研究流程如圖 1.2，成果報告分成八章。第一章為緒論，主要說明本計畫背景及研究內容等。第二章回顧國內外有關橋梁檢測技術之重要文獻。第三章說明專家訪談成果及各國 UAV 法規。第四、五章說明本計畫橋梁構件影像自動擷取系統之開發過程、內容及現地測試結果。第六章說明本計畫橋梁構件影像之初步劣化辨識成果。第七章為教育訓練內容和參訓人員意見回饋綜整。第八章為本計畫之結論與建議。

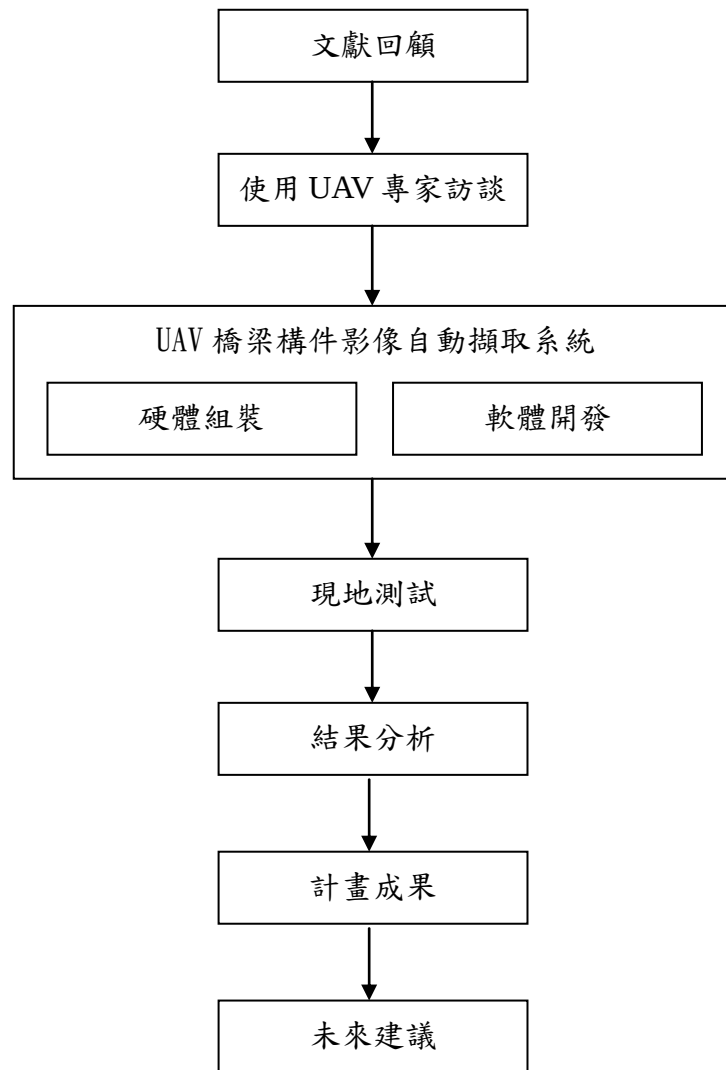


圖 1.2 研究流程圖

第二章 國內外重要文獻回顧

2.1 臺灣地區橋梁管理資訊系統

我國橋梁主要由公路總局、高公局、臺鐵局及各縣市政府負責管理。為掌握全國各橋梁主要管理機關之橋梁數量與現況，並利各層級進行整體性之橋梁管理、預算分配及災害防救等業務，交通部於民國88年開發臺灣地區橋梁管理資訊系統(Taiwan Bridge Management System, TBMS)供全國各橋梁管理機關使用(圖2.1)，並於102年開發第二代TBMS(圖2.2)，相對於第一代TBMS，第二代TBMS主要著眼於以下三項改進：

- (1) 構件化：具備生成大多數橋梁型式之「橋梁構件生成模組」，讓使用者能循序逐構件建置各橋梁之概略圖像模型，並能讓使用者將橋梁檢測結果存儲於相應構件內，以利管理者快速掌握各構件之變化歷程，並進一步了解橋梁例行檢查作業之完整及詳實情形。
- (2) 行動化：開發可隨即於現場記錄及上傳橋梁檢測結果至 TBMS 相應構件欄位之行動裝置(圖 2.3)，以提升橋梁檢測作業之效率及品質。
- (3) 客製化：強化 TBMS 對橋梁耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之掌握，並具備客製化之綜合瀏覽及多維分析功能，能自動以宏觀角度呈現出所轄橋梁概況及重要數據，並能讓橋梁管理機關快速、簡易地自 TBMS 內萃取出重要資訊。



圖2.1 第一代TBMS畫面



圖2.2 第二代TBMS畫面



圖2.3 第二代TBMS之APP畫面

2.2 橋梁檢測設備

2.2.1 橋梁檢測車

橋梁檢測車係一種可用於橋梁檢測作業之專用汽車，最早出現在歐美國家，例如奧地利Palfinger，美國Hydra、Aspen Aerials和德國Moog等。其工作原理是由液壓系統將工作臂彎曲深入到橋底對橋梁進行檢測。類型上又可分成多種型式，例如吊籃式(圖2.4)和桁架式(圖2.5)。吊籃式橋梁檢測車也稱折疊臂式橋梁檢測車，其結構較輕巧，受橋梁結構限制較少，工作靈活，既可檢測橋下也可升起檢測橋梁上部結構，有時候也可以作為高空作業車使用，價格相對桁架式橋梁檢測車低。桁架式橋梁檢測車採用通道式工作平臺，穩定性好，承載能力大，使用時檢測人員能方便地從橋面進入平臺或返回橋面，如配置升降機則可大大增加下橋深度。桁架式橋梁檢測車具備多段式伸縮、回轉能力，因此形成了三維空間，六個自由度的空間運動體系。而且在底盤上加裝了穩定器、自行走式支撐腳輪、固定式配重，具有實施檢測作業方便、不中斷交通、工作機動靈活、作業效率高、操作方便、安全可靠性等突出優點。無論哪一類型的橋梁檢測車，最終目的即讓橋梁檢測人員在檢測過程中能獲得作業平台和檢測儀器。

相較於過去龐大體積的橋梁檢測車，為因應都市繁忙交通或山區狹隘道路，體積輕巧之橋梁檢測車孕育而生。這類橋梁檢測車具備之共同特質為電力驅動、車體結構輕便和加載外部影像設備。圖 2.6 為日本 Zivil 公司所推出的迷你型橋梁檢測電動車。該檢測車將高性能之影像攝影機(1200 萬像素)安裝於車臂前端，橋檢人員可將車臂前端下伸至橋下結構及構件以錄製影像，如圖 2.7 所示。如橋寬大於 15 米時，須裝載可放大影像之攝影機，由於橋檢車之手臂水平長最長為 7.2 米，故常無法清楚拍攝到橋跨中間部位之結構和構件，因此必須裝置具有放大功能之攝影機。迷你橋檢車的鉛直竿長為 10.7m，能調查桁架至 3~4m 高。其餘特色包含：攝像機可移動範圍為 360°、可透過變焦功能(10 倍光學)錄影機檢查細縫裂紋、操作車(寬約 1 米)能夠於狹窄之步道內進行橋梁檢測、檢測作業可用螢幕來確認即時影像。經本計畫洽談日本 Zivil 公司後，迷你檢測車僅供租賃，尚未販售，每次租賃費用(含一名駕駛員)約 20,000 台幣。此外，該檢測方法至少需要 2 位操作人員，橋長越長時，作業越緩慢。



圖2.4 吊籃式橋梁檢測車



圖2.5 桁架式橋梁檢測車



圖2.6 迷你型橋梁檢測電動車

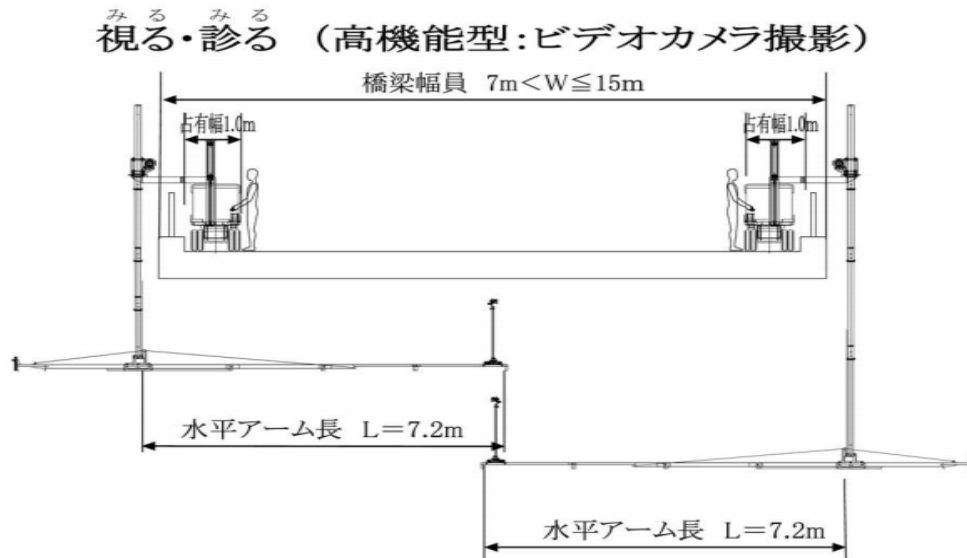


圖2.7 迷你檢測車檢測案例

2.2.2 3D 雷射掃描技術

3D雷射掃描技術為建立三維資料建檔所衍生之高科技產品，是一種能在短時間內快速獲取大量高精度三維點位相對座標的儀器。它詳細地記錄了待測物體及其周遭景物的三維資訊。不同於以往測量儀器「點」的測量，而是以「面」之方式對待測物進行整體掃描。換言之，3D雷射掃描儀只要能有一個儀器立足點，即能以不接觸被測物的方式快速獲得非常高密度且高精度的大範圍三維點位。尤其適用於困難甚至危險到達的測量環境，其主要構造是一部快速準確的雷射測距儀加上一組可導引雷射光以等角速度掃描的反射稜鏡，雷射測距儀可主動發射雷射光，同時接收物體表面反射之訊號進行測距，針對每一掃描點可測得測站至掃描點的斜距，再配合掃描的水平與垂直方向角，即可推求得每一掃描點與測站之三維空間的相對座標差，若測站本身之三維座標為已知，則可求得每一被掃描點的三維座標。

經過3D雷射掃描儀作業後得到之眾多三維空間座標稱為「點雲」，再透過雷射掃描儀本身之同軸攝影機(照相機)，將取回的點雲資料賦予相機拍攝到之顏色資訊，使點雲資料中不只有座標資訊，同時還帶色彩資訊以及反射強度資訊。由於獲得的點雲座標資訊為相對於雷射掃描儀本身之座標系統，因此，若要將點雲座標資訊轉換至有意義的空間資訊，則需要再經過座標轉換之處理，掃描儀座標系與物空間座標系之關係可表示如圖2.8所示，其中S為掃描儀的位置(3D雷射掃描儀座標系原點)，P點為待測點的位置，O點為物空間座標系的原點。 ρ 為S到P之間的距離， α 為S與P點之間的垂直角， θ 為其水平角。由掃描座標系轉換到物空間座標系的數學式可寫成如公式(1)式，利用三個或以上的物空間之已知控制點座標進行轉換如公式(2)式。

$$\overrightarrow{R_p} = M\overrightarrow{r_p} + \overrightarrow{R_s} \dots\dots\dots(1)$$

$\overrightarrow{r_p} = [x_p \ y_p \ z_p]^T$:P 點在掃描座標系中的座標向量。

$\overrightarrow{R_p} = [X_p \ Y_p \ Z_p]^T$:P 點在物空間座標系中的座標向量。

$\overrightarrow{R_s} = [X_s \ Y_s \ Z_s]^T$:掃描座標系原點S 在物空間座標系的座標向量。

M 為一分別繞X、Y、Z 軸旋轉 (ω 、 ϕ 、 κ) 角度之旋轉矩陣。

M =

$$\begin{bmatrix} \cos \phi \cos \kappa & \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa & \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa \\ -\cos \phi \sin \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

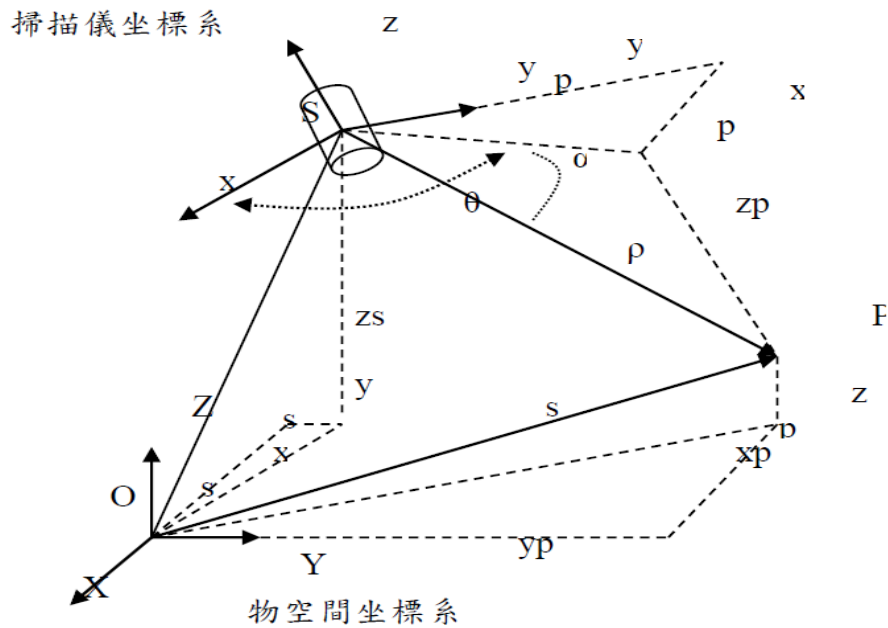


圖2.8 掃描儀座標系與物空間座標系之關係圖

目前3D雷射掃描的硬體規格是一日千里，功能集中、體積縮小，且速度可達每秒數萬點，短時間內就能量測大量的觀測資料，精度也都能達到mm 等級。利用掃描技術可建立橋梁之空間數位座標，後續除可以繪製CAD圖之外，亦可長期比對結構物的變形、裂縫等，對於吊橋或懸索橋而言，更可以比對纜索的鬆弛及損傷變形。選用之儀器則視所需之精度以及能到達之距離，一般來說，短距離之3D掃描儀其精度較高，而較長距離之掃描儀由於雷射測距會隨者距離放大而使精度降低，因此較長距離(較高功率)之3D掃描儀其精度會較差。較適合於橋梁檢測的掃描儀如Trimble TX5、Z+F IMAGER 5010、Riegl VZ-400，其規格如下表2.1 所示。圖2.9為臺灣迅聯光電透過3D點雲結合影像量測進行橋梁裂縫之成果。

表2.1 3D雷射掃描儀比較

	Trimble TX5	Z+F IMAGER 5010	Riegl VZ-400
測距範圍	0.6-120 米	0.3-187 米	1.5-600 米
測量速度	12,000/秒, 244,000/秒, 488,000/秒, 976,000/秒	1,016,000 /秒	42,000 /秒
測距誤差	± 2m@ 25m	± 1m@ 25m	± 1.25m@ 25m
分辨率	7 千萬彩色像素	外掛不同畫數相機	外掛不同畫數相機
視場(垂直/水平)	300°/360°	320°/360°	60°/360°
作業環境溫度	5 度至 40 度	-10 度至 45 度	0 度至 40 度
尺寸	24x20x10 cm 5 公斤	17.0 x 28.6 x 39.5 cm 9.8 公斤	18x 18x30.8 cm 9.6 公斤
價格(新台幣)	2,500,000 元	6,000,000 元	6,000,000 元
照片			

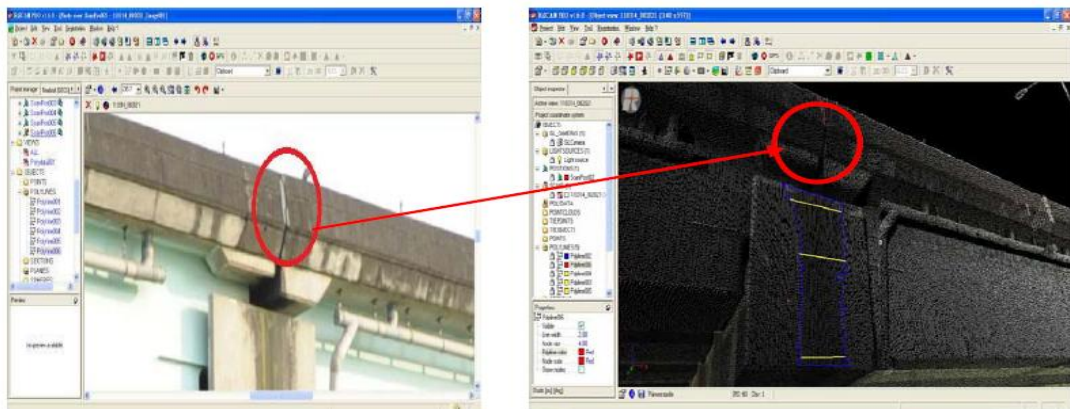


圖2.9 3D雷射攝影用於橋梁裂縫辨識

2.2.3 行動裝置

由於目前橋梁檢測仍以目視為主，為提升檢測效益和簡化資料傳遞，行動裝置已成為一大利器，例如智慧型手機和平板電腦，因為這些行動裝置不僅具備無線網路存取、高速運算、全球衛星定位和數位攝影，亦能長時間使用和便於攜帶。以第二代TBMS APP為例(圖2.10)，橋檢人員於橋梁現地進行作業時，可迅速存取下列功能：

- (1) 透過 WIFI 或 3G 自 TBMS 下載橋梁基本資料(含照片)及前一次檢測資料。
- (2) 新增橋梁基本資料(含照片)及編輯以下載之橋梁基本資料(含照片)。可進行橋梁定期檢測，程式會根據橋梁基本資料自動產生相對應之 3D 模型。
- (3) 使用者可點選 3D 構件進行拍照及 DERU 值之評估，亦可拍攝影片。檢測過之構件會變為灰色，若構件狀況較差，當 D=3 會變為黃色，D=4 則變為紅色。
- (4) 檢測過程中可提供劣化輔助照片，使用者僅需點選照片，系統會自動將 D 值及該劣化類型所對應之 R 填入評估表中，使用者可再依現場狀況修改 D 及 R 值。
- (5) 檢測完成之資料及照片可透過資料上傳模組，自動將檢測資料上傳至 TBMS，並且針對同一座橋梁，一個月內上傳主系統之各筆檢測資料會自動合併為一筆定期檢測資料，因此可多組人同時進行同一座長橋之檢測。
- (6) 能輔助檢測人員進行橋梁檢測，並確保橋梁構件無論好壞均有檢測照片佐證，檢測結果直接上傳至第二代 TBMS，節省回辦公室整理照片之時間，避免人工輸入可能發生之錯誤。

DER檢測表:三義鄉第二陸橋 - 主構件(大梁) S001

劣化類型：混凝土裂縫

★ D 輔助照片 

★ E

★ R

劣化範圍 長： cm
寬： cm
深： cm

建議維修工法

★ U

損壞原因：

數量： 單位：

圖 2.10 第二代 TBMS APP 於橋梁檢測之成果

2.2.4 遙控飛機

遙控飛機是一種不承載駕駛員之飛行裝置，因此又被稱為無人飛機 (Unmanned Aerial Vehicles, UAV)。在過去幾十年中，遙控飛機主要用於軍事行動、國土規劃和環境監控。因為這個方法提供許多優點，例如裝置成本便宜、運行快速、操作簡單，許多政府機構、企業和個人亦開始使用遙控飛機於各種領域上。目前常見之遙控飛機構造可分成定翼式(圖2.11)與旋翼式(圖2.12)。這兩類遙控飛機最大差別在於巡航起降、範圍、方向和速度均有不同。



圖2.11 定翼式UAV



圖2.12 旋翼式UAV

對於橋梁檢測而言，由於須能正確且精準的取得橋梁於三維空間影像資訊，非僅俯視而已，故旋翼式遙控飛機(遙控直升機)較為適合。此外，遙控飛機之操作方法主要分成手控操控(地面操控員藉無線電波訊號加以操作)、半手控飛行(以手控操控為主，微電腦感測器為輔)及全自動飛行(微電腦自主控制進行航道飛行)三類型。這三種操作方法都可用於地形、地貌偵照及監控、空中觀測與錄攝影和災情調查。

2.2.5 影像辨識

影像辨識為取得橋梁檢測資料後的處理分析技術。其工作原理為當檢測目標構件物影像由影像擷取裝置轉換為數位影像資料後，去除影像中的雜訊、加強對比與分離影像中的檢測目標物與背景，藉以改善影像的清晰度並同時提升影像分析時的準確度。例如，圖2.13為一自動化影像辨識橋梁裂縫之案例。以數位相機取得混凝土橋梁裂縫表面影像後，數個重要步驟包含：

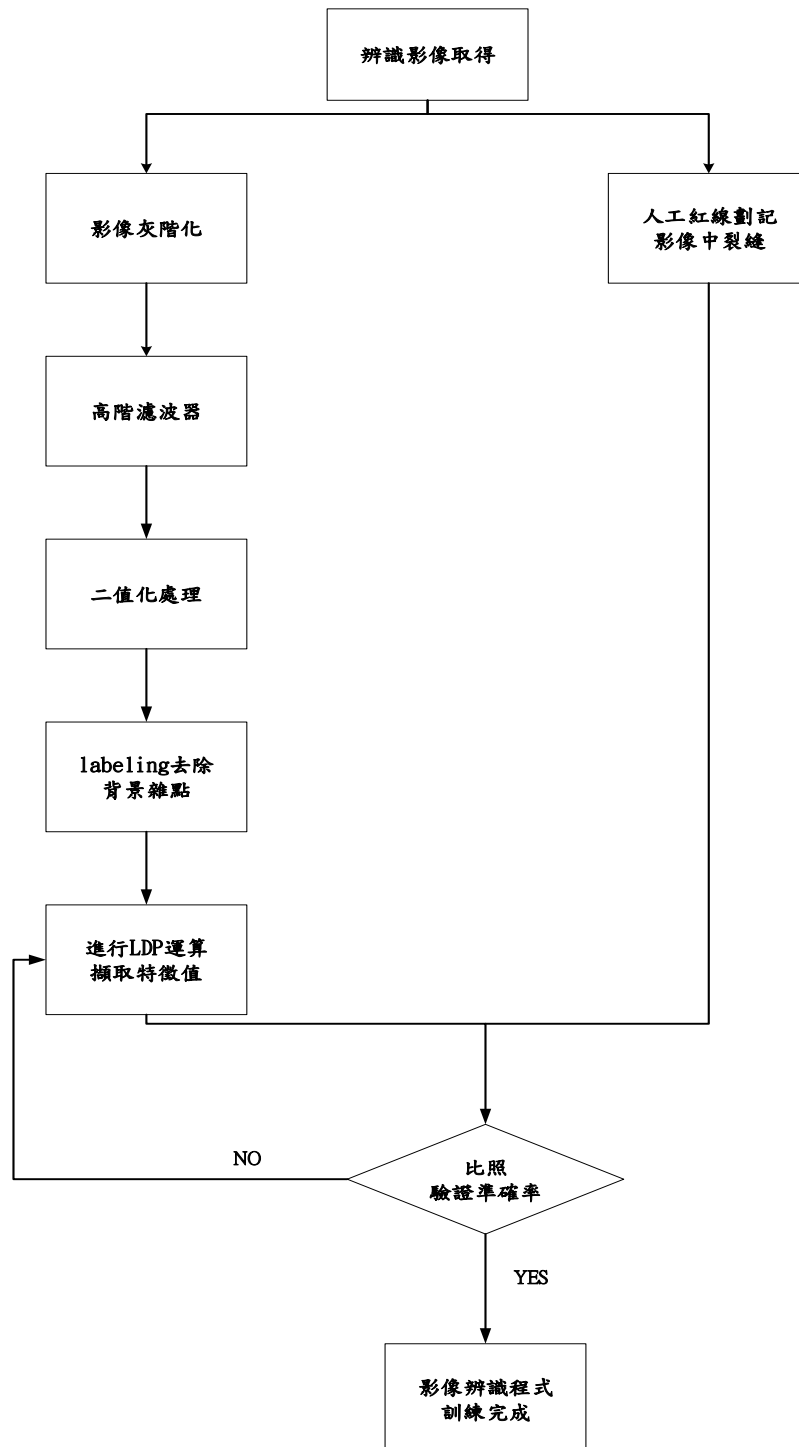


圖2.13 自動化影像辨識橋梁裂縫流程

- (1) 影像灰階化處理取得之原始彩色影像：以人眼來看待彩色影像，可以很輕易的辨識出照片裡的物體，對於電子機器來說，用於辨識的影像色彩越單純，構圖背景越簡單，越能快速的辨識出裡面的物體；一張彩色影像由 RGB(紅色，綠色，藍色)三種色彩參數構成，而每種參數的範圍依照深淺度不同各有 256 個值(0~255)，若是以原始彩色影像給予電子機器做辨識會使其運算工作龐大影響效率，所以影像灰階化在於將由 RGB 三原色共 24 位元且不同參數數值 0~255 所組合而成的彩色影像轉換至僅由不同深淺之灰度值所以組成 8 位元黑白影像，如此一來可以大幅減少機器在運算時所耗費的時間資源和記憶體使用空間，且不會造成運算式過於冗長。
- (2) 高通濾波器去除影像內低頻雜訊：濾波器常用來處理數位訊號工具，其基本功能為選擇特定之訊號頻率使其通過和抑制雜訊的干擾，只要具備上述兩者功能便可稱為濾波器，其運用範圍相當多方面，例如特定電子訊號的過濾，音訊頻率挑選和去除雜音，而本研究則利用濾波器用來處理影像圖片中的雜訊，經由此步驟可有效降低灰階化圖片銳利程度，使影像邊緣較平滑，有效降低影像中雜訊干擾，讓裂縫特徵突顯出來。
- (3) 二值化分離出影像之主題與背景：二值化為影像分割手法，由於二值化後影像較容易儲存、處理與辨識，因此在形態學及影像辨識處理中經常會被使用到，形態學(morphology)係研究動植物形態生物學門，但在影像方面，則是用來擷取出影像中特定資訊的技術。在影像處理中，如影像分割(Segmentation)，邊緣檢測(Edge detection)，細線化(Thinning)，骨架抽出(Skeletonizing)，去雜點(Labeling)皆是影像型態學的技術之一；與具有強大認知能力的人眼視覺不同，影像辨識處理及電子機器視覺技術對於色彩鮮豔或是複雜構圖認知能力遠不及人類，但如果透過二值化處理可以降低影像圖片中之複雜訊號，影像圖片黑白色差會相當明顯，能夠將背景和主題清楚分開，使其在後續定位和辨識處理減少辨識錯誤率的發生及可加快影像處理速度。
- (4) labeling 去除不必要雜點：影像二值化後，可以得到一個二元的影像圖片，但亦由於取樣影像混凝土表面因素，除裂縫被突顯出來外，有許多雜點一併顯示出來，因此經過 LABEL 去除影像中干擾主體之雜訊，LABEL 能對以 RGB 和限制條件輸出之影像去除不需要之雜訊，且設定去雜訊大小。
- (5) 演算法擷取裂縫之特徵：原始裂縫影像經上述影像處理步驟後，已可得較明顯裂縫影像，但於影像辨識上略顯不足，由於影像已經二值化處理，對於機器而言，非裂縫和裂縫像素點皆屬灰階閾值為 0 之黑點，為減少辨識誤差，利用裂縫主線彎曲不平方向性進行特徵擷取。例如 Local Directional Pattern 演算法，可計算影像邊緣在不同方向梯度值，並將其編碼，找出該像素點在不同方向特徵值，由於梯度值變化比灰階值相比更為穩定，即使影像中有雜訊或非單一光源情況下，該演算法仍能求得相同之特徵值。
- (6) 原始圖上裂縫部分畫記紅線比對以驗證其辨識準確率。

2.2.6 其它橋梁檢測設備

除了上述橋梁檢測設備與技術外，輔助檢測之監測網路亦已普遍被使用。由於橋梁構件(如大梁、橫梁、橋面版和支承等)多達20餘種(圖2.14)。換言之，一座橋梁可能有數百甚至上千個構件。為使橋梁檢測更即時和簡便，在橋梁重點構件上安裝敏感性感應器(如地震儀、風速計和光纖網路)後，檢測人員可掌握橋梁的結構情況(如位移、速度、加速度和溫度)，進而達成橋梁檢測目的。例如，一旦橋梁構件感應器發出異常訊息時，橋梁檢測人員可以透過監視設備觀察現場並做出判斷。此外，針對特殊目的，例如裂縫寬度、混凝土崩落厚度，所設計的特定檢測儀器(圖2.15)亦可用於橋梁檢測上，唯僅能獲得有限的檢測資料。

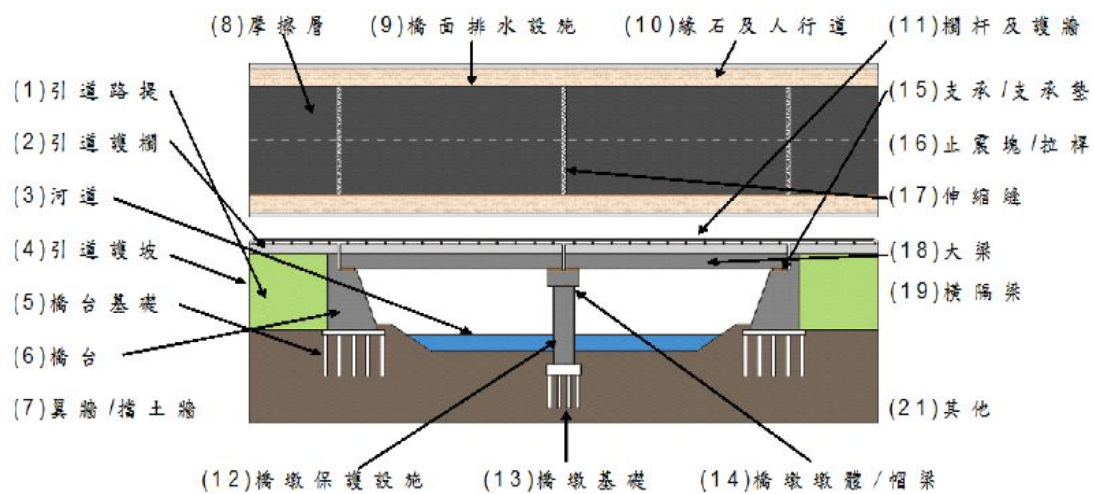


圖 2.14 橋梁構件說明圖



圖 2.15 裂縫觀察儀

以國立中央大學橋梁中心針對新竹縣市所建構的橋梁安全預警系統為例(圖2.16)。為偵測橋墩傾斜與崩落，需先將落橋偵測裝置安裝於橋梁元件，包含雙軸

向傾斜計、落橋偵測迴路、電位控制器和無線通訊模組。然而，臺灣約有3萬座橋梁，基於維護成本考量，要在每一座橋的每個構件均安裝感應器並不容易。



圖 2.16 新竹中正大橋與橋梁安全預警系統

2.3 國際特殊橋梁檢測設備

由於世界各國因自我需求與政策建造了各式各樣的橋梁，為管理這些橋梁，不同國家也各自發展出特殊的檢測設備。相同的目的均為協助檢測人員接近橋梁構件進行目視檢測。本計畫列舉數項可供國內參考的檢測設備，包含：

- (1) 長桿攝影機:如圖 2.17，檢測人員使用一根長桿架上攝影機，如為跨河橋時，可搭載裝置長桿攝影機之船進行橋下檢測。由於該桿材質為輕量化多段伸縮式碳桿，故機動性尚稱優良且竿長可伸展達 9-11m。檢測人員可一邊透過手中螢幕確認影像，一邊遠端操作攝影機之快門、縮放、傾斜機能。

ポールカメラ(ボート+ポールカメラ)

(デジタルカメラ撮影)

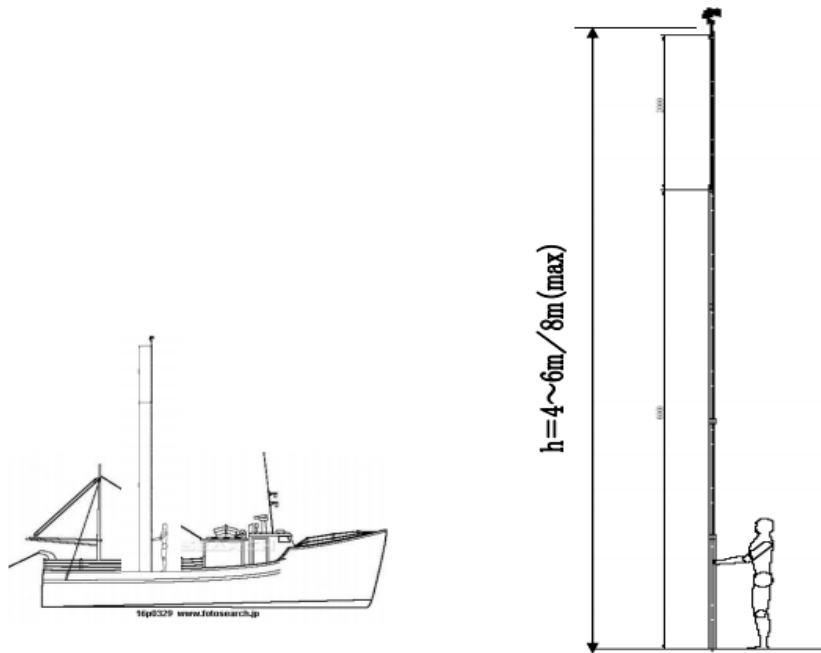


圖 2.17 長桿攝影機

- (2) 紅外線掃描車：如圖 2.18，這是結合紅外線攝影與影像辨識技術於行走車輛的橋梁檢測技術。藉由車輛經過橋梁時，利用紅外線廣泛掃描路面後，藉由筆記型電腦的數據分析查看橋梁構件是否有異常。儘管這裝置對於橋梁交通的影響甚低，因為一般行車速度下(80KM/Hr)，該裝置亦可運作，但無法接近的橋梁構件則無法同時檢測。



圖 2.18 紅外線掃描車

- (3) 超音波鐵路橋檢測車：鐵路橋為橋梁分類的一種，且是常見的大眾運輸網，往往幅員遼闊。如圖 2.19，為確保鐵軌的安全性，國外廠商利用行走車輛加裝超音波感應器的方式進行相關檢測。但鐵路橋與一般橋梁有較多不同構件且安全標準不同，故該檢測方式較不適用於一般公路橋梁檢測。



圖 2.19 超音波鐵路橋檢測車

- (4) 爬行檢測車：如圖 2.20，藉由小型爬行裝置運行於橋梁構件上進行構件檢測。這類的裝置的優勢在於可攀附於水泥表面，若再搭載攝影設備即可進行影像擷取。但目前相關研究顯示其電池續航力及附載能力仍待克服，故爬行檢測車僅出現於學術研究，並無實際執行案例。



圖 2.20 爬行檢測車

- (5) 遙控潛艇：如圖 2.21，由於水下基礎並不易目視檢測，因此有部分學者認為透過遙控潛艇或許可解決此限制。然而，目前無論國內外橋梁檢測的相關文獻均尚無真正以遙控潛艇執行橋下構件檢測之案例。主因為水下難以執行該裝置的自動定位、水下光源不足以致影像解析有困難、水下障礙物不易排除、須有足夠水深、全部零組件均需防水等。



圖 2.21 遙控潛艇

2.4 臺灣地區橋梁檢測設備應具備之功能需求

TBMS 係橋梁管理機關做為管理決策之參據，目前 TBMS 檢測設備應具備以下三項主要功能需求：

- (1) 確保檢測人員之工作安全性：臺灣地小人稠，多數橋梁均負載龐大之交通量，如果能讓檢測人員在車水馬龍的環境下安全地完成橋梁檢測，將是提升橋梁檢測效能的一大突破。
- (2) 確保橋梁檢測之合理效益性：臺灣橋梁管理單位每年僅能編列有限的橋梁檢測費用。如果能基於這些預算，讓橋梁管理單位完成眾多橋梁待檢測的需求，亦或檢測承攬商在有利潤下確實檢測，將使橋梁檢測效益達到最佳狀態。
- (3) 確保橋梁檢測之紀錄詳實性：臺灣地區的橋梁型式十分多樣且跨河橋的比例不算低，如果能讓檢測人員克服檢測路徑中的種種障礙，將能提高檢測紀錄的詳實性。

綜觀上述三項需求，UAV 為一可提升橋梁檢測效益之輔助工具。比較 UAV 與其他橋梁檢測設備後，表 2.2 顯示 UAV 屬低採購和維護成本、低人力需求、低檢測範圍(含長度與高度)限制、高可攜性、高安全性、快速資料蒐集和容易重複執行檢測。惟易受現地氣候影響，例如下雨和雷擊會導致 UAV 異常。

表 2.2 UAV 與其他橋梁檢測設備之比較

橋梁檢測設施	UAV	迷你橋檢車	3D 雷射攝影	行動裝置	輔助檢測之監測網路
橋梁檢測方式	儀器為主 使用者為輔	使用者為主 儀器為輔	使用者為主 儀器為輔	使用者為主 儀器為輔	儀器為主 使用者為輔
採購和維護成本(新台幣)	數千至數百萬元	數十萬至數百萬元	數十萬至數百萬元	數千至數萬元	數萬至數千萬元
設施運行位置	天空	地面	地面	地面	橋梁自體
可攜性	人員易攜帶	人員難攜帶	人員易攜帶	人員易攜帶	固定架設
人力需求	1-3 人	2-4 人	2-4 人	1-2 人	1-2 人
檢測人員安全	高	中高	高	中低	高
一次性自動蒐集全橋影像	可以	不可以	不可以	不可以	可以
檢測範圍限制	有	有	有	有	橋梁自體
檢測長度限制	數公里	數十公里	數公里	數十公里	數十公里
檢測高度限制	數十~百米	數十米	數十~百米	數米	數十~百米
影像擷取速度	快	慢	快	慢	快
辨識劣化能力	可以	可以	可以	可以	可以
重複執行檢測	容易	不易	容易	不易	容易
檢測資料完整	完整	完整	完整	不一定完整	完整
自行檢修設施	可以	可以	可以	可以	可以
整合 TBMS	可以	可以	可以	可以	可以
主要限制	現地氣候會影響檢測可行性	橋上狀況會影響橋檢車之運作	橋梁元件無法全部納入攝影範圍	地面障礙物會影響檢測可行性	需大量安裝於橋梁構件

第三章 使用 UAV 專家訪談

3.1 A 研究機構

受訪之A研究機構已有數年之UAV使用經驗，最早從定翼式機種開始實驗，但定翼式機種穩定度會隨著飛行翼的長度變長而提高，因此不適用於勘災或橋梁檢測等用途。例如，當機翼過長時，定翼式UAV難以進入山谷或狹窄區域，且一邊的機翼破裂將會導致嚴重的墜機事件發生。基於上述理由，該機構採用旋翼式機種，起初購置由專人組裝好的機種，但發現有些裝置或使用的難易度會因人而異，又或著零件損壞維修費用有時往往超過預算的限制，非常不經濟實惠。近年來，該機構開始自行組裝、設定程式、甚至製作需要零件，並已使用過四、六以及八軸機種於不同專案。根據使用經驗，該機構較推薦六軸機型(圖3.1)，因穩定度、負載重量均較四軸要來得高，而八軸機型因機體過大，較不適用於外業專案。

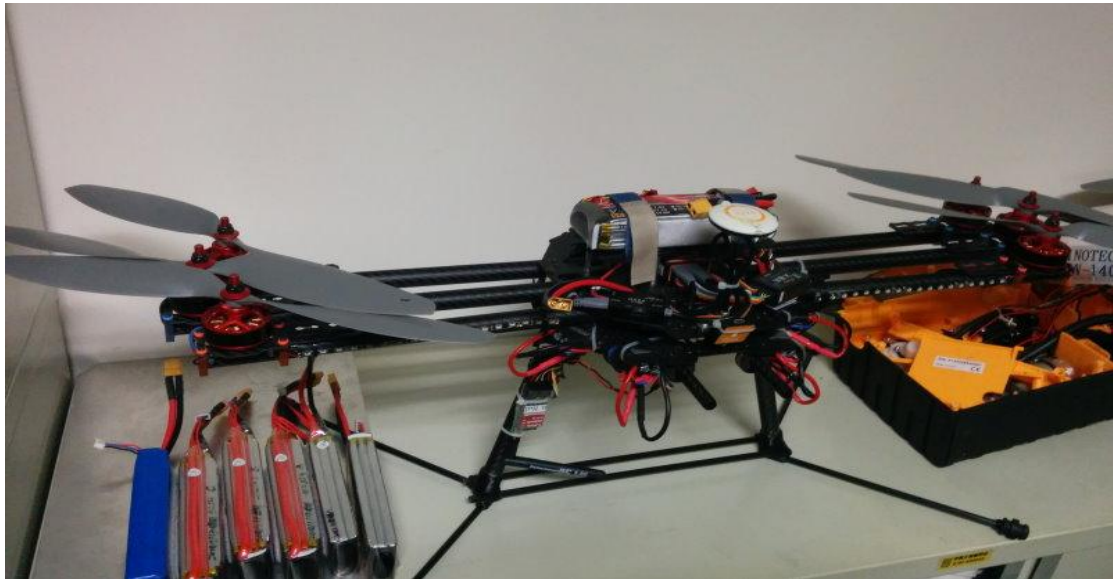


圖3.1 A研究機構使用之六軸UAV

目前該機構自行組裝之UAV價格介於10~25萬之間，且多使用手控飛行。機體上除了可架設能遠端變焦的數位攝影機外，亦可搭載小型的動態攝影機。關於飛行時間，若UAV機體(含加裝配備)控制在3.5~4公斤內，目前所測過的最長飛行時間為40分鐘，最遠控制範圍可到1.5公里，最高飛行高度為500米。

3.2 B 橋梁管理機關

B機關使用UAV之主要目的為判斷轄區內鋼橋鏽蝕情形，該機關至今已使用UAV檢測三座跨距長、難以前進至橋下(或僅能到達部分橋跨)、路燈多難以使用橋檢車進行檢測之橋梁。在使用UAV進行檢測後，該機關表示UAV不僅能保有

較佳紀錄，亦能有效判斷橋梁構件鏽蝕情況。

該機關目前使用之機種為旋翼式六軸UAV(圖3.2)，但仍採手控飛行。使用此機型的主要因為考量四軸UAV的承載力較小而八軸UAV的價格及成本較高。使用六軸UAV目前搭載動態攝影機(解析度為1920*1080)、GPS定位系統、電池裝置(兩顆4S 5000mAh)和攝影機雲台。該UAV的總重量為3公斤，飛行高度可達400米，飛行時間為20分鐘，承受的最大風力為4級風。根據實際經驗，雖然使用的UAV有裝載GPS定位系統，但若於山區作業時，仍面臨GPS訊號不佳而使飛機墜落或不聽使喚而失蹤，以致都以手動遙控較多。作業分組上，採三人一組，一人操作UAV，一人負責回報UAV位置，注意是否會撞到橋梁或障礙物，另一人負責注意附近來往車輛，確保團隊成員安全。



圖 3.2 B 橋梁管理機關使用之六軸 UAV

3.3 專家建議

根據使用UAV專家的訪談記錄，上述專家們除了認為使用UAV進行橋梁檢測能提升效益外，本計畫彙整了相關建議，包含：

- (1) 橋下攝影光線:橋體下半部某些構件位於陰暗處(例如，橫隔梁)，因光線會有不足情況，因此可能需要進行光線補充。
- (2) 環境風力干擾: 因 UAV 的抗風能力仍需改善，當河口風大時將較難控制 UAV，故可利用夏天或清晨較無風時進行橋梁檢測。
- (3) UAV 機身需求:UAV 於橋下飛行時需輕巧且靈活之機種，以便捕捉較隱蔽之構件，故 UAV 機身不宜過大。
- (4) 特殊構件劣化技術:若採用影像辨識於橋梁構件劣化上，相機部分或許可結合紅外線照相機來輔助檢測人員。

3.4 各國 UAV 法規綜整

為確保本計畫之 UAV 於現地使用時能符合基本安全要求，表 3.1~3.3 綜整各國有關 UAV 之使用限制與法律規範。整體而言，透過 UAV 擷取橋梁構件影像時，UAV 需限高、限重、不得遠離視線範圍、避免氣候不佳操作、不得妨礙飛航安全和不得於民眾聚集區域操作。

表 3.1 各國 UAV 相關法規整理 I

國家	韓國	日本	中國	新加坡	香港
限制高度	無	無	無	無	限高 300 米。
限制重量	無	無	無	無	限重 7 公斤 (不計燃料)。
操作範圍	在軍事或海洋傳輸區的行政區不得放飛。	不得在住宅區或重要市區放飛。	不得在機場 5 公里範圍內飛行。距離航路邊界 30 公里內禁止飛行。	不得在機場 5 公里範圍內飛行。	● 不得在機場交通區域或機場 5 公里範圍內操作。 ● 不得在任何人士、船隻、車輛或構築物上空或其 50 米範圍內飛行。 ● 起飛及降落時，不得在任何人士上空或其 30 米範圍內飛行，且操作員必須在場，起飛和降落地點應避免公眾地區。 ● 地面能見度不得少於 5 公里。
無線電	無	無	不得妨礙民用航空無線電專用頻率。	無	● 不得干擾航空交通操作或航空導航設備。
其他	需向政府申請才得已取得放飛資格。不得使用無人飛行	需向政府申請才得已取得放飛資格。不得裝載危險物品	具有中華民國國籍者可向民航局登記。未經批准不	需向 CAAS 填寫申請表才得已取得放飛資格。必須確保周遭環境以及	● 地面風速不得超過 20 海里。 ● 當暴雨警告、熱帶氣旋警告或強烈季候風信號生效

	具為營利目的。不得裝載危險物品及投下物品。	及不得投下物品。	得飛出國土。不得裝載危險物品及投下物品。	飛行器具之安全才得已放飛。	時，不得放飛。 ● 操作員有責任確保無人機系統不會危及任何人士或財產。 ● 不得裝載危險物品及投下物品。
文獻	韓國民航法	http://www.mlit.go.jp/ko/15_bf_000114.html http://www.mlit.go.jp/common/001013126.pdf	中國民航法	http://www.caa.gov.sg/caas/en/Regulations/Airspace_Management/Air_Navigation_Hazard_x_Obstruction_Policies/Flying_of_remote-controlled_Model_Aircraft.html	http://www.cad.gov.hk/chinese/Unmanned_Aircraft_Systems.html http://www.cad.gov.hk/chinese/model_aircraft.html

表 3.2 各國 UAV 相關法規整理 II

國家	澳洲	美國	加拿大	德國	俄羅斯
限制高度	限高 400 英尺以下	限高 400 英尺以下	無	限重 5.7~8.6 公斤	無
限制重量	無	重量在 55 磅以下(以上需申請審核)	限重 35 公斤以下(以上需申請審核)	無	無
操作範圍	不得在機場交通區域或任何機場 5.5 公里範圍內操作。不得在任何人士、船隻、車輛或構築物上空或其 30 米範圍內飛行。	不得在機場 5 英里範圍內飛行。起飛和降落地點應避免公眾地區。避免在噪音敏感地區飛行(學校、醫院、教堂、公園...)。	不得在機場 5 公里範圍內飛行。起飛和降落地點應避免公眾地區。避免在噪音敏感地區飛行(學校、醫院、教堂、公園...)。	機場邊界 1.5 公里不能飛行。	A、C、G 類航空領域皆可以使用無人機。
無線電	無	不得妨礙民用航空無線電專用頻率。	無	無	無
其他	必須攜帶相關與飛機通訊設備才能飛行。不可飛越任何管制區域。	不得使用無人飛行具為營利目的。	需向政府申請才能取得放飛資格。不得使用無人飛行具為營利目的。	無	擁有適航證照。
文獻	http://rpastraining.com.au/casr-101-uav-drone-legal-or-illegal/	http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=FAA-2014-0396-00011	加拿大民航法	https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20006791&ShowPrintPreview=True	http://xaribda.ru/?action=news&id=106 http://www.referent.ru/1/205463#h191 http://www.rg.ru/2010/04/13/vozdukhnoe-prostr-dok.html

表 3.3 各國 UAV 相關法規整理 III

國家	英國	法國	西班牙	瑞士	瑞典
限制高度	限高 400 英尺	無	無	限高 150 米	限高 400 英尺
限制重量	無	無	將無人機分成 25kg 以上，25kg 以下及不滿 2kg，其中 25kg 以上需登記航權。	限重 30 公斤	1A 類型機限重 1.5 公斤。1B 類型機限重 1.5-7 公斤。
操作範圍	不得在機場 5 英里範圍內飛行。不得在任何人士、船隻、車輛或構築物上空或其 50 米範圍內飛行。不得在 150 米內有住宅擁擠地區及室外集會地區放飛。操作員必須在場且不得離開視線範圍內飛行。	不得在軍事區、飛航地區放飛。不可在人口密集地區飛行。	無	方圓 100 米之內不能有人。不能在機場、軍事用地等方圓五公里之內飛行。	需在視線內飛行。
無線電	不得妨礙民用航空無線電專用頻率。	不得干擾航空交通操作或航空導航設備。			
其他	無	需向政府申請。	於 2014/7/14 日公布無人機操作監管框架。定義了無人機高空作業範疇為研究及開發、航空調查及空中偵察活動、其他特殊任務。	需要 FOCA 之許可證。當無人機重量超過 500 公克必須擔保有 10000 瑞士法郎以上的保險。	需申請相關許可才能飛行。1A 類型最大動能為 150J。1B 類型最大動能為 1000J。
文獻	英國民航法	法國民航法	http://www.fom	http://www.bazl	https://www.tra

			ento.gob.es/NR/rdonlyres/ADB1B08B-7E7A-4F1F-937B-E222DE5CADC9/125758/140704NPnormativadronesCM.pdf	.admin.ch/dienstleistungen/02658/03845/index.html?lang=de http://www.bazl.admin.ch/dienstleistungen/02658/index.html?lang=de	nsportstyrelsen.se/tsfs/TSFS_2009_88.pdf https://www.tra nsportstyrelsen.se/sv/Luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/Obero mannade-luftfartyg-UAS/
--	--	--	--	---	---

第四章 本計畫 UAV 與系統操控模組

4.1 UAV 組裝

本計畫採用之 UAV 零組件可歸納為五大模組，說明如下：

- (1) 飛行模組：UAV 支架-用以組合所有零組件於一體，支架長度多以兩相對軸的長度為主，單位則多以公厘為計算。此外，根據兩兩支架軸的交合角度又區分出 X(夾角均同)與 V(夾角相差 30°)型。飛行控制器-UAV 的主要核心，可傳送、接收、執行、計算、儲存所有飛行資訊、指令和紀錄。目前坊間已有超過十種以上的飛行控制器，表 4.1 顯示本計畫比較了五種受歡迎的飛行控制器。最後本計畫決定採用 Pixhawk 飛行控制器，主要原因在於使用高速運算處理器、支援國際規範、允許使用者開發套件、支援四至八軸、具備安全規範等。飛行馬達-透過順時針或逆時針的轉動產生氣流，進而輸出飛行動力。正反螺旋槳-配合飛行馬達的轉動方向安裝正槳(逆時針轉動)或反槳(順時針轉動)。電子變速器-當 UAV 動作時，例如前進、後退、旋轉，飛行馬達的轉速必須做出不同轉速，因此需要透過電子變速器達到此目的。

表 4.1 飛行控制器之比較

名稱	DJI NAZA	Pixhawk	SmartAP	APM Arduino	Autoquad
開發國別	中國	美國	俄羅斯	美國	德國
價格(新台幣)	10,000	10,000	10,000	9,500	15,000
支援軸數	4-8	4-8	4-6	4-8	4-12
自主開發軟體	不可	可	可	可	可
組態耗時	30 分鐘	30 分鐘	35 分鐘	30 分鐘	90 分鐘
包含配件	GPS + Compass	GPS + Compass	Compass	GPS + Compass	GPS + Compass
國際協定	無	Mavlink	Mavlink	Mavlink	Mavlink
支援記憶卡	無	有	有	無	有
圖示					

- (2) 定位模組：電子羅盤-允許 UAV 辨識基本的東西南北四方位。全球衛星定位器-相較於電子羅盤，此零組件可讓 UAV 取得更精確的地理位置，即經緯度。
- (3) 電力模組：電源配置器-同時提供電源給多顆飛行馬達使用，本計畫所採用的電源配置器可依據飛行馬達數量自行設定支援四、六或八個飛行馬達(圖 4.1)。電池-主要提供電力給飛行控制器和電源配置器，目前市面規格主要以 4S 或 6S Li-po 電池為主，且正常使用和運作下也非常安全。

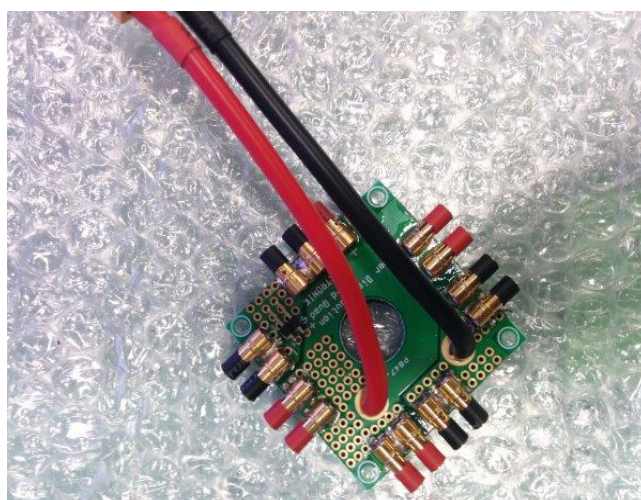


圖 4.1 支援 4-8 軸之電源配置器

- (4) 控制模組：訊號傳輸器-UAV 接收飛行指令的傳輸設備，例如 UAV 的模式切換。資料傳輸器-傳輸飛行指令以外的所有資料的必須設備，例如即時影像。如檢測人員僅一人時，亦可透過輔助支架將平板電腦架設於遙控器上以便觀看即時訊息，如圖 4.2 所示。



圖 4.2 輔助支架支撐平板電腦

- (5) 載重模組：攝影機-可在動態下擷取橋梁構件影像或拍照，表 4.2 為本計畫比較之三類型攝影機，最後選用 GoPro Hero3+ Black 版本。攝影機雲台-因為 UAV 飛行時，會受氣流影響或飛行姿態的改變，為使橋梁構件的擷取影像清晰穩定，因此本計畫加裝了攝影機雲台(圖 4.3)，其作用在於降低攝影機受 UAV 的晃動干擾。此外，單一攝影機恐不能滿足橋梁構件的拍攝，本計畫透過不同轉接頭(圖 4.4)使額外輔助攝影機能全方位的掛載到所使用的 UAV 上。經本計畫測試，如圖 4.5 所示，當 UAV 距離橋梁構件約 2 米時，該相機能拍攝到 0.3 公厘的線條，若距離在 8 米則僅能拍到 1.2 公厘以上的線條。

表 4.2 影像設備比較

	GoPro Hero3+ Black	ISAW A3 EXTREME	BENQ SP1
防水能力	40 米	60 米	60 米
重量(含電池)	72 公克	110 公克	78 公克
視角範圍	150	150	140
影片解析度	4K, 2.7K, 1440P, 1080P, 960P, 720P, 480P, WVGA	1080P, 960P, 720P, 480P	1080P, 960P, 720P, QGVA
相片解析度	4096x2160, 3648x2432, 1920x1080	4000x3000, 3648x2432, 3648x1052	4000x3000, 3200x2400, 2592x1944
使用時間	150 分鐘	120 分鐘	100 分鐘
遠端遙控	WiFi	WiFi	WiFi/2.4G
價格(新台幣)	14,000 元	12,000 元	7,000 元
照片			

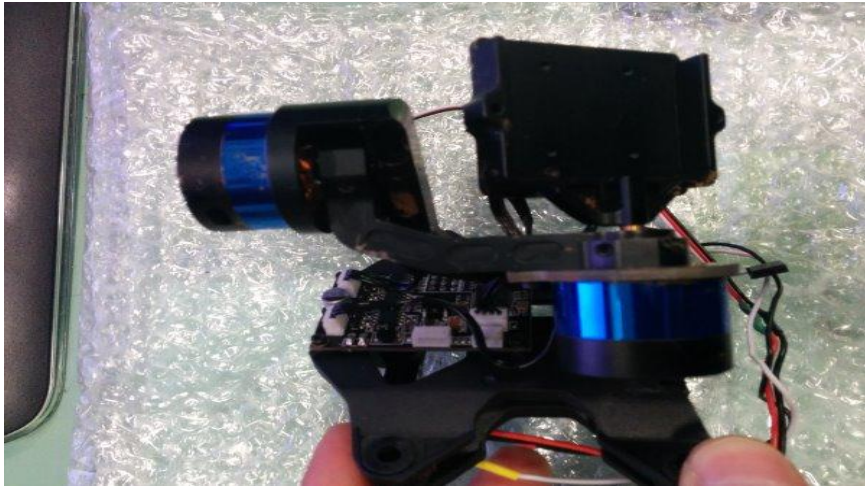


圖 4.3 本計畫使用之攝影機雲台

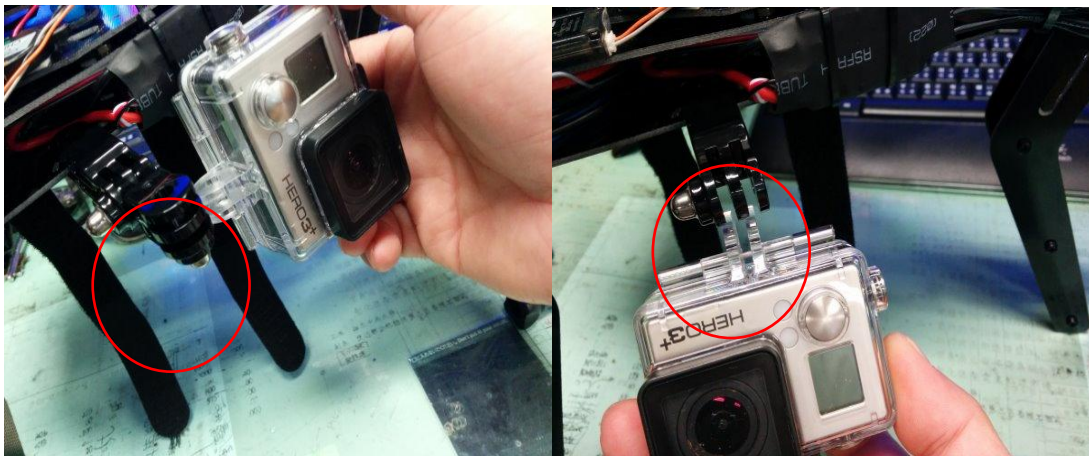


圖 4.4 本計畫使用之攝影機轉向接頭

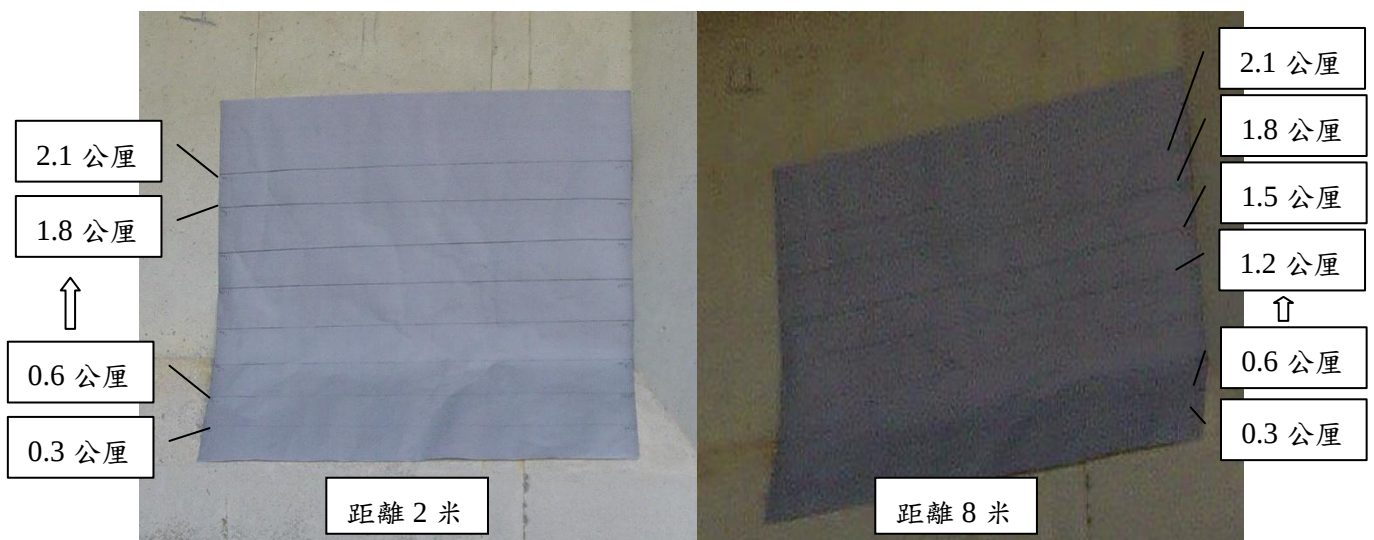


圖 4.5 本計畫模擬劣化拍攝

4.2 UAV 測試

本計畫於完成 UAV 和相關設備組裝後，於相同地點下進行了三個主要測試。表 4.3 為 UAV 穩定性測試以便篩選出適當的機型。表 4.4 為同一機型(Y-六軸)下的耐久性測試。測試過程中，本計畫透過手持式電子磅秤獲得測試 UAV 的總重(圖 4.6 左)；數位風速計量測測試時的風力等級(圖 4.6 中)；和數位電壓計取得測試電池的電量狀態(圖 4.6 右)。測試使用的電池共有五種規格(圖 4.7)，分別為 4S 5200mAh、4S 6200mAh、4S 8000mAh 和 4S 10,000mAh。表 4.3 和 4.4 測試過程中，本計畫均未將電池電力耗盡。相對地，當 UAV 偵測到電力殘存 20%時，UAV 會自動降落以避免墜毀。故該設定有助於現場橋梁檢測時的人機安全。表 4.5 為 Y-六軸 550mm 且同一 GPS 裝置(u-Blox 6H)之精確性測試。在不同三天的不同時段(早上 10 點至下午 2 點)，氣候狀態為多雲時晴下，均使用 4S 14.8V 6200mAh，本計畫透過自動飛行模式的方式分析經緯度之誤差範圍。誤差公式為：

$$\varphi_1 = \arctan((1-f)\tan\varphi_1) \dots\dots\dots (1)$$

$$\varphi_2 = \arctan((1-f)\tan\varphi_2) \dots\dots\dots (2)$$

$$P = (\sin\varphi_1 + \sin\varphi_2)^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$Q = (\sin\varphi_1 - \sin\varphi_2)^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma = \arccos(\sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2)) \dots\dots\dots (5)$$

$$X = \frac{\sigma - \sin\sigma}{4(1 + \cos\sigma)} \dots\dots\dots (6)$$

$$Y = \frac{\sigma + \sin\sigma}{4(1 - \cos\sigma)} \dots\dots\dots (7)$$

$$d = a(\sigma - f(PX + QY)) \dots\dots\dots (8)$$

d：兩點間距離。

a：地球半徑 6371.004 米。

(φ_1, λ_1) ：目標點經緯度。

(φ_2, λ_2) ：實際抵達經緯度。



圖 4.6 測試時使用之不同設備



圖 4.7 測試使用之不同電池

表 4.3 UAV 穩定性測試

測試編號	1	2	3
機體型式	V-四軸	X-四軸	Y-六軸
機體軸距	530mm	550mm	550mm
機體軸數	4	4	6
機體總重	1280g	1620g	2000g
馬達型式	810kv	810kv	810kv
槳型式	10x47	10x47	10x47
電池型式	14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh
負載設備	無	無	無
通訊強況	良好	良好	良好
最大陣風	6.1m/s(4 級風)	6.5m/s(4 級風)	6.7m/s(4 級風)
固定飛行高度	6m	6m	6m
滯空時間	10 分鐘	13 分鐘	12 分鐘
測試地點	中大工一館 4F	中大工一館 4F	中大工一館 4F
其他	電力殘存 20%	電力殘存 20%	電力殘存 20%
圖片			

表 4.3 UAV 穩定性測試(續 1)

測試編號	4	5	6
機體型式	X-六軸	X-八軸	V-八軸
機體軸距	680mm	550mm	930mm
機體軸數	6	8	8
機體總重	2910g	2400g	3600g
馬達型式	810kv	810kv	810kv
槳型式	10x47	10x47	10x47
電池型式	2 顆*4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh	2 顆*4S 14.8V 5200mAh
負載設備	無	無	無
通訊強況	良好	良好	良好
最大陣風	7.0m/s(4 級風)	6.1m/s(4 級風)	6.3m/s(4 級風)
固定 飛行高度	6m	6m	6m
滯空時間	15 分鐘	12 分鐘	14 分鐘
測試地點	中大工一館 4F	中大工一館 4F	中大工一館 4F
其他	電力殘存 20%	電力殘存 20%	電力殘存 20%
圖片			

表 4.4 UAV 耐久性測試

測試編號	1	2	3	4	5	6
機體型式	Y-六軸	Y-六軸	Y-六軸	Y-六軸	Y-六軸	Y-六軸
機體軸距	550mm	550mm	550mm	550mm	550mm	550mm
機體軸數	6	6	6	6	6	6
機體總重	1970g	2100g	2350g	2520g	3080g	3500g
馬達型式	810kv	810kv	810kv	810kv	810kv	810kv
槳型式	10x47	10x47	10x47	10x47	10x47	10x47
電池型式	4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 6200mAh	4S 14.8V 8000mAh	2 顆 4S 14.8V 5200mAh	2 顆 4S 14.8V 6200mAh	2 顆 4S 14.8V 10000mAh
負載設備	無	無	無	無	無	無
通訊強況	良好	良好	良好	良好	良好	良好
最大陣風	6.7m/s (4 級風)	6.5m/s (4 級風)	6.8m/s (4 級風)	6.1m/s (4 級風)	6.7m/s (4 級風)	7.2m/s (4 級風)
固定 飛行高度	6m	6m	6m	6m	6m	6m
滯空時間	9 分鐘	11 分鐘	13 分鐘	16 分鐘	19 分鐘	22 分鐘
測試地點	中央大學 工一館 4F	中央大學 工一館 4F	中央大學 工一館 4F	中央大學 工一館 4F	中央大學 工一館 4F	中央大學 工一館 4F
其他	電力殘存 20%	電力殘存 20%	電力殘存 20%	電力殘存 20%	電力殘存 20%	電力殘存 20%

表 4.5 GPS 精準性測試

測試編號	1	2	3
機體型式 (總重)	Y-六軸 550mm(1970g)		
馬達型式	810kv		
槳型式	10x47		
固定 飛行高度	10m		
航點總數 (總長)	19(504 米)		
測試地點	桃園高鐵站		
日期時間	2014.10.4 AM9:19	2014.10.4 AM10:19	2014.10.4 AM11:18
最大陣風	7.0m/s (4 級風)	5.9m/s (4 級風)	7.9m/s (5 級風)
定位衛星數	8-11	8-11	8-11
該次最大誤差 (發生位置)	8.4 米 (第 4 點)	4.2 米(第 9 點)	2.5 米 (第 2 點)
最小誤差	0 米	0 米	0 米
平均誤差	2 米	1.6 米	2.6 米
飛行路徑圖			

表 4.5 GPS 精準性測試(續 1)

測試編號	4	5	6
機體型式 (總重)	Y-六軸 550mm(1970g)		
馬達型式	810kv		
槳型式	10x47		
固定 飛行高度	10m		
航點總數 (總長)	19(504 米)		
測試地點	桃園高鐵站		
日期時間	2014.10.4 PM12:20	2014.10.4 PM1:20	2014.10.4 PM2:16
最大陣風	8.25m/s (5 級風)	6.72m/s (4 級風)	8.0m/s (5 級風)
定位衛星數	8-11	8-12	8-11
該次最大誤差 (發生位置)	3.1 米 (第 16 點)	2.0 米 (第 12 點)	2.2 米 (第 7 點)
最小誤差	0 米	0 米	0 米
平均誤差	2.1 米	1.5 米	2 米
飛行路徑圖			

表 4.5 GPS 精準性測試(續 2)

測試編號	7	8	9
機體型式 (總重)	Y-六軸 550mm(1970g)		
馬達型式	810kv		
槳型式	10x47		
固定 飛行高度	10m		
航點總數 (總長)	19(504 米)		
測試地點	桃園高鐵站		
日期時間	2014.10.5 AM9:10	2014.10.5 AM10:15	2014.10.5 AM11:14
最大陣風	3.6m/s (3 級風)	3.6m/s (3 級風)	7.8m/s (5 級風)
定位衛星數	8-11	8-12	8-11
該次最大誤差 (發生位置)	3.3 米 (第 10 點)	2.8 米 (第 3 點)	4.4 米 (第 8 點)
最小誤差	0 米	0 米	0 米
平均誤差	1.4 米	1.6 米	2.4 米
飛行路徑圖			

表 4.5 GPS 精準性測試(續 3)

測試編號	10	11	12	13
機體型式 (總重)	Y-六軸 550mm(1970g)			
馬達型式	810kv			
槳型式	10x47			
固定 飛行高度	10m			
航點總數 (總長)	19(504 米)			
測試地點	桃園高鐵站			
日期時間	2014.10.5 PM12:18	2014.10.5 PM1:12	2014.10.5 PM2:08	2014.10.9 AM10:01
最大陣風	9.9m/s (5 級風)	9.8m/s (5 級風)	9.9m/s (5 級風)	3.5m/s (3 級風)
定位衛星數	8-11	8-11	8-11	8-10
最大誤差 (發生位置)	3.1 米 (第 18 點)	1.7 米 (第 6 點)	2.4 米 (第 9 點)	4.6 米 (第 4 點)
最小誤差	0 米	0 米	0 米	0 米
平均誤差	1.7 米	1.3 米	1.6 米	3.1 米
飛行路徑圖				

UAV 穩定性測試之評估結果如下：

- (1) 比較試驗 1、2、3、5 可知當軸數越多時，電力消耗越快。
- (2) 基於試驗 4、6 可知當電池數越多時，可飛行的時間會較長。
- (3) 比較所有試驗後，可知電池數量並不和飛行時間成線性比例，因為機體軸長越長時，自身重量亦會越重，此外，額外增加之電池亦會使機體重量大幅增加。

依據上述評估結果，在有限電力下，X-四軸、Y-六軸及 X-八軸等 3 種機體應屬較好選擇。如再考量 UAV 負載能力與抗風能力後，Y-六軸和 X-八軸又優於 X-四軸。此外，由於 Y-六軸整體重量輕於 X-八軸，故本計畫針對 Y-六軸進行更進一步測試。為了解 Y-六軸與不同電池組間之關係，本計畫進行飛行耐久性測試，評估結果如下：

- (1) 比較試驗 1、2、3 後，可知電池的容量越大時，UAV 之飛行時間確實可以增長。
- (2) 比較所有試驗可知飛行要超過 15 分鐘，目前認為總電量至少需要 10000mAh 始有可能。
- (3) 試驗 6 可知飛行要超過 20 分鐘，目前認為總電量至少需要 20000mAh 始有可能。
- (4) 目前自動飛行設定為 3m/s，以一顆 8000mAh 電池而言，可飛行時間約為 16 分，故總飛行里程為 2.88 公里，對於一般中小型橋梁而言，應可以單次檢測完成影像擷取時。但對於大型橋梁而言，可能需要分次進行橋梁構件影像擷取。
- (5) 當強風下，飛行高度建議應超過 5m，因受風切與風向不確定情況，UAV 飛行高程易產生劇烈變化。

針對 GPS 精準度分析之分析結果如表 4.5，在 13 次的測試中，最大陣風範圍為 3-5 級風，定位衛星數為 8-12 顆，GPS 最大誤差約 8.4 米(多數小於 5 米)，平均誤差則多低於 3 米。造成最大誤差之可能原因應為瞬間最大陣風造成 UAV 的偏移，但整體而言，儘管天氣為陰天，GPS 之精準度仍可供檢測人員取得所需橋梁構件影像。

4.3 系統架構

本計畫開發之橋梁構件影像自動擷取系統係由 UAV 和地面控制程式所構成，如圖 4.8 所示。第 4.4 章節將介紹本計畫地面控制站各模組之關係。更細部之操作流程如附件三(UAV 橋梁構件影像自動擷取系統操作手冊)和附件四(教育訓練簡報內容)。

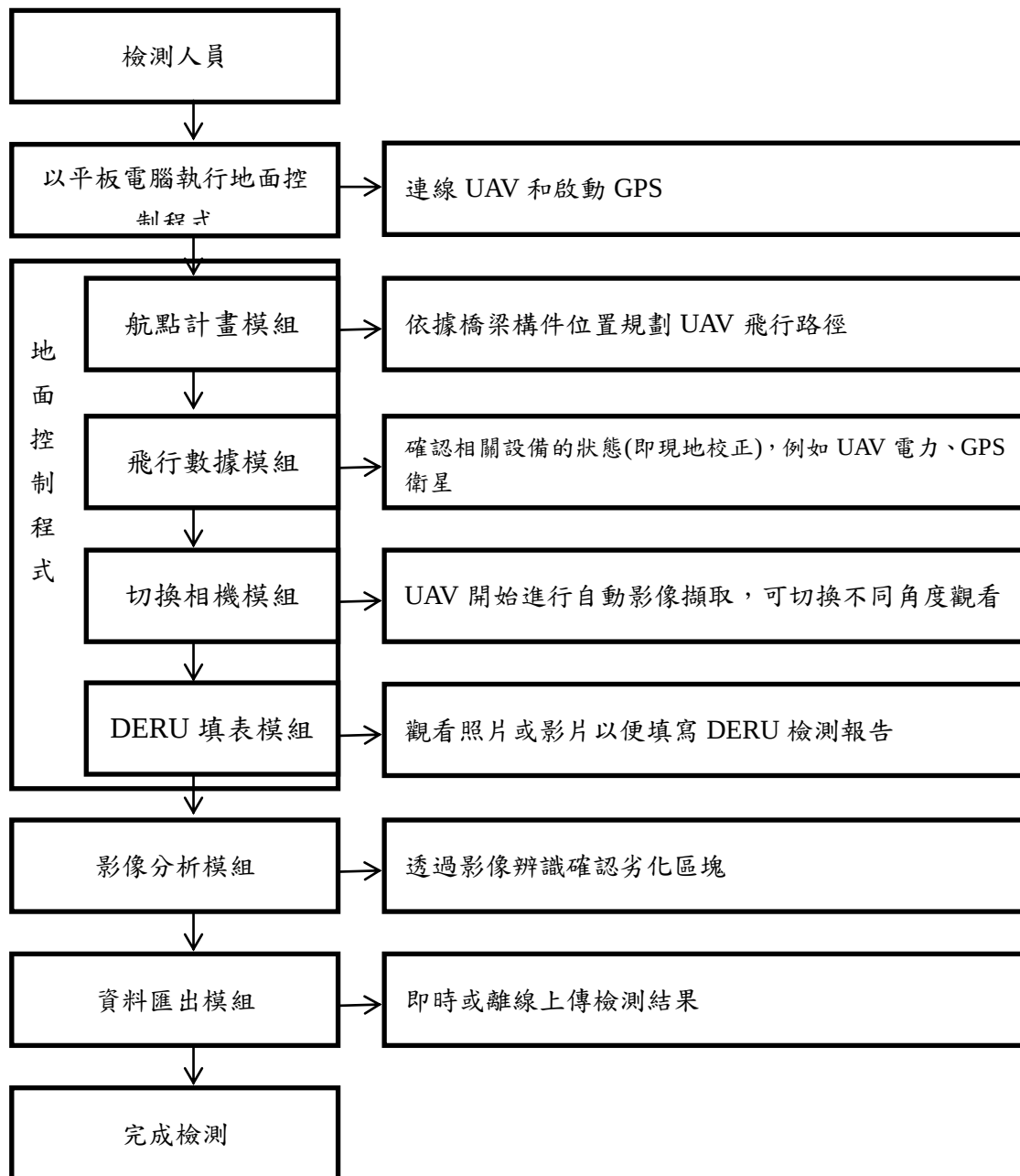


圖 4.8 應用橋梁構件影像自動擷取系統於橋梁檢測之流程圖

4.4 地面控制程式

地面控制程式是一個可與 UAV 進行即時溝通的應用軟體。這程式除了可即時地顯示 UAV 地狀態和位置，亦可隨時地接收新任務命令和設定參數。考量檢測人員攜帶筆記型電腦的不便和整合 TBMS2 APP 的需求，本計畫開發一可於 Android 平板電腦上運作的地面控制程式(簡稱 AutoCopter)。基於表 4.6 比較三款高階平板電腦後，本計畫決定採用 Samsung Tab Pro 8.4，因其具備較高運算能力、較精準定位能力和較大螢幕解析度。

表 4.6 Google Android 平板電腦比較

比較項目	Samsung Galaxy Tab Pro	Google Nexus	LG G Tablet
處理器	Qualcomm 四核心 2.3GHz	Qualcomm 四核心 1.5 GHz	Qualcomm 四核心 1.7 GHz
重量(含電池)	335 公克	290 公克	338 公克
記憶體	2GB	2GB	2GB
螢幕尺寸	8.4 英吋	7 英吋	8.3 英吋
無線傳輸	WiFi/藍芽	WiFi/藍芽	WiFi/藍芽
相機	前後鏡頭	前後鏡頭	前後鏡頭
作業系統	Android 4.4	Android 4.3	Android 4.2
定位能力	雙定位系統	單定位系統	單定位系統
價格(新台幣)	17,000 元	9,000 元	8,500 元
照片			

本程式主要包含四個系統模組，即飛行數據、航點計畫、切換相機模組和 DERU 填表模組。同時，檢測人員可依個人需求將地面控制程式設定為橫向(圖 4.9)或直向(圖 4.10)操作。本計畫將分別說明這四個模組的功用與內容。



圖 4.9 橫向操作地面控制程式

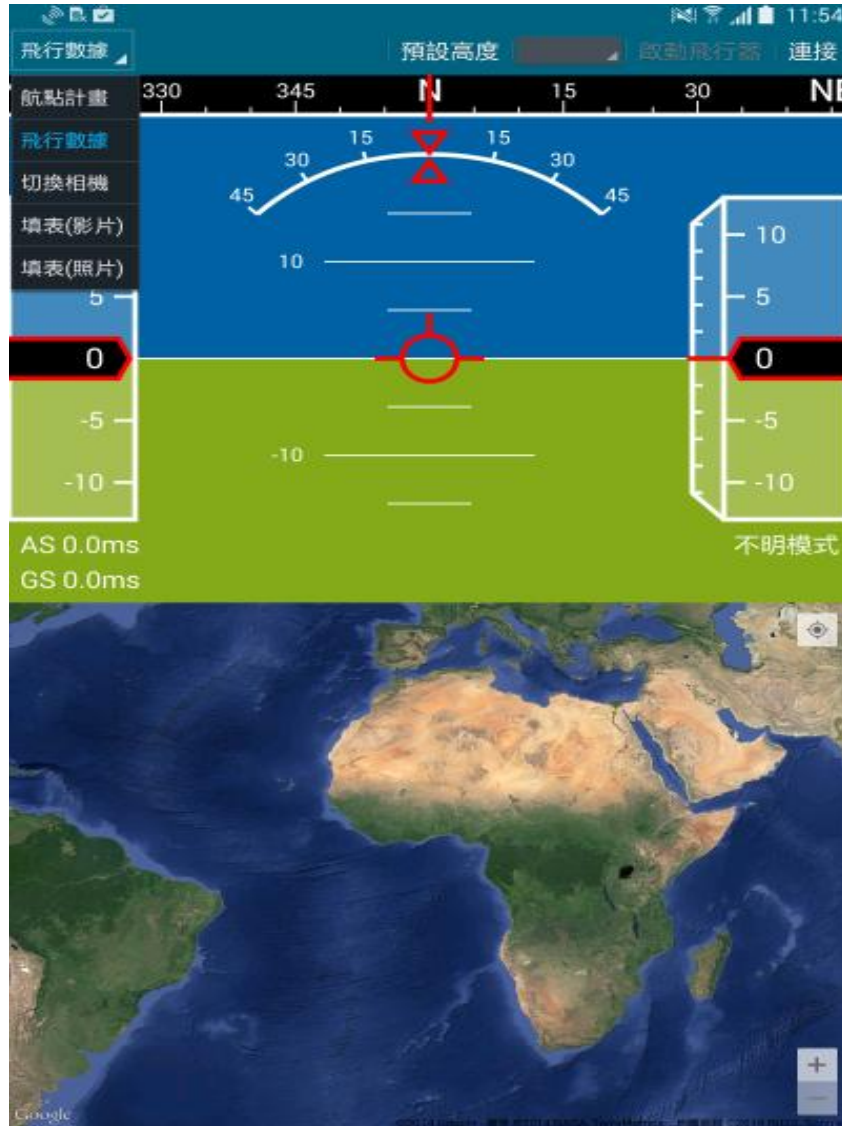


圖 4.10 直向操作地面控制程式

4.4.1 航點計畫模組

此模組主要是允許檢測人員快速且便利地處理 UAV 的飛行路徑。因此，本計畫透過 GIS 和手勢方法讓檢測人員依據橋梁構件位置規劃 UAV 的飛行路徑。當檢測人員點取行動裝置螢幕時，即可設置不同航點。這些航點會自動串聯成一飛行路徑。爾後，檢測人員可以針對這些航點的屬性進行影像擷取方式的修訂。例如，檢測人員可要求 UAV 於某一墩柱進行 90° 偏角的影像擷取。此外，在飛行路徑的建立過程中，本計畫提供了數項工具，包含：

- (1) 現場航點：本計畫考量到地理資訊與橋梁現地的差異性，檢測人員可於橋梁現場進行航線定位。圖 4.11 顯示本計畫現地量測發現 GIS 的圖資往往存在極大落差。例如，圖 4.11 中的第 5 點位已落於建築物外，這是不合理的情況，因此需要手動修正。但目前並沒有精準的修正方式，僅能依據個人經驗修改不合理的點位。

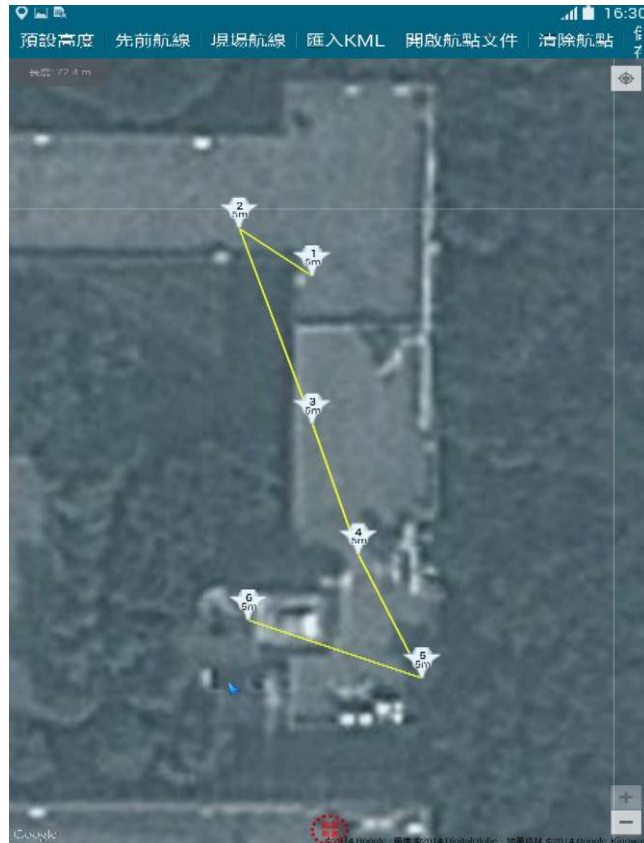


圖 4.11 現地確認 GIS

- (2) 歷史航點：本模組可記載所有執行過的飛行航線(圖 4.12)，waypoints 起始的檔案為製作後的檔案、Site 起始的檔案為現地量測後的檔案、Kml 起始的檔案為匯入的 KML 檔案；



圖 4.12 選擇飛行航線檔案

- (3) 先前航點:檢測人員可透過此功能下載 UAV 的前次飛行航線；
- (4) 匯入 KML: 為減少檢測人員於現場處理飛行航線的作業，本程式亦可透過匯入 KML 檔案自訂飛行路徑。

因應不同影像擷取需求，本計畫將航點類別區分成以下四類(圖 4.13)

- (1) 起飛:全自動模式下，設定某特定點為初始飛行點；
- (2) 航點:設定飛行航線中的特定飛行點；
- (3) 盤旋:要求 UAV 於某特定點進行轉動或停滯；
- (4) 降落:指定某特定點為飛行的終點並自動降落。

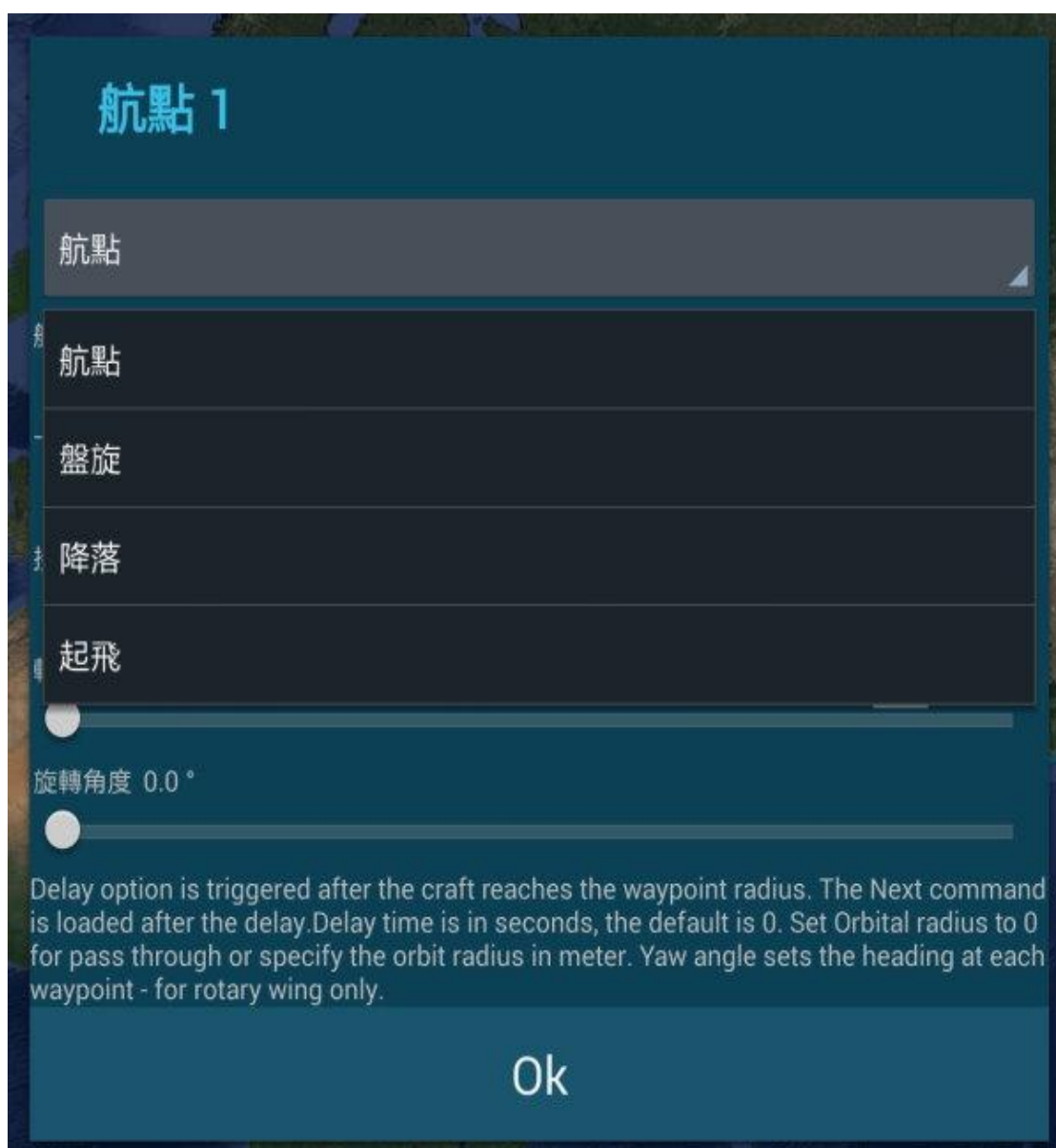


圖 4.13 設定航點類別

此外，搭配第二代 TBMS APP 之 3D 模組和不同橋梁構件之檢測需求，可採用以下 UAV 航點型式進行影像擷取[圖 4.14a、4.14b 及表 4.9]。

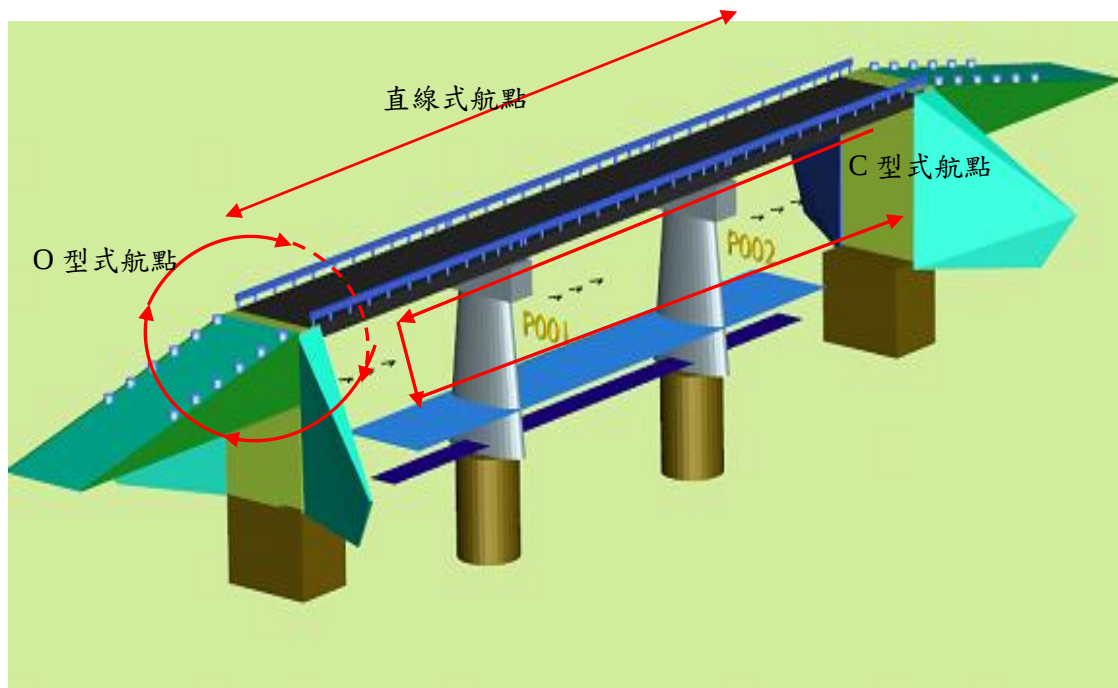


圖 4.14a 應對不同橋梁構件之 UAV 航點型式(I)

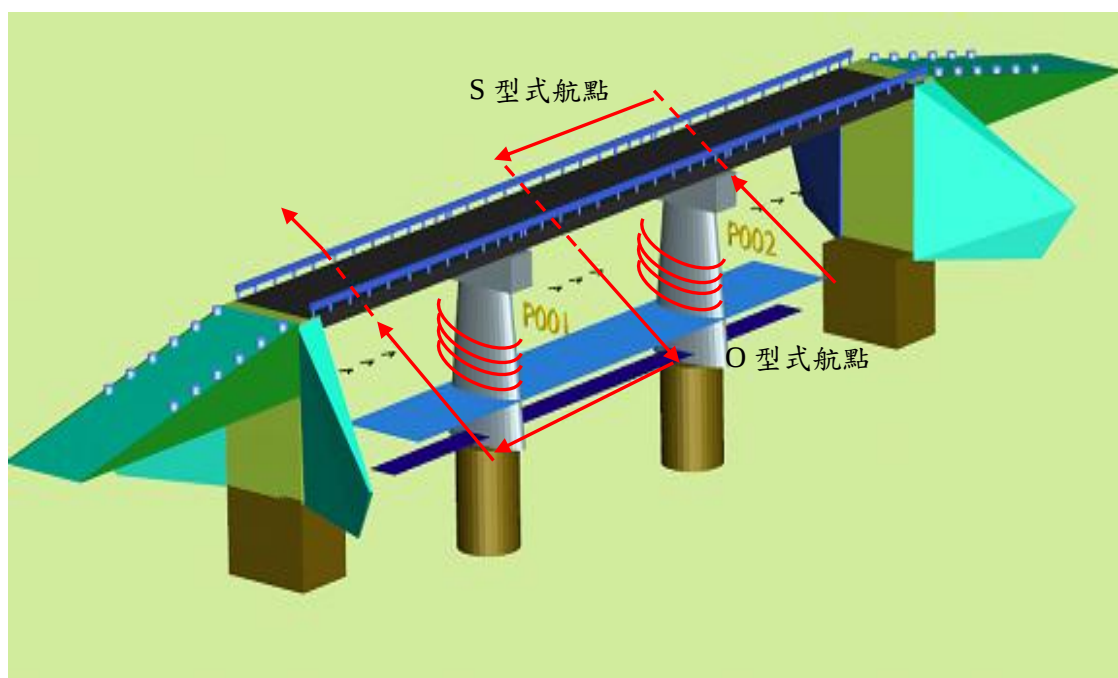


圖 4.14b 應對不同橋梁構件之 UAV 航點型式(II)

表 4.7 不同橋梁構件適用之 UAV 航點

航點類型	橋梁構件
直線式航點	伸縮縫、摩擦層、排水設施、護欄、緣石及人行道
C型式航點	橋墩基礎、橋墩墩體、橋墩保護設施、河道
O型式航點	橋台、橋台基礎、橋墩保護設施、部分支承墊、部分止震塊及防震拉桿、翼牆或擋土牆、引道路堤、引道路堤保護設施、引道護欄
S型式航點	橋面版或鉸接版、大梁、橫隔梁

- (1) 直線式航點：透過此航點設置，UAV 可擷取一定範圍之伸縮縫、摩擦層、排水設施、護欄、緣石及人行道影像。
- (2) C 型式航點：此航點路徑具備高程差的影像擷取，因此可將大梁兩側和河道影像真實擷取。
- (3) O 型式航點：可讓 UAV 繞行橋台，進而一次性地獲得橋台基礎、翼牆或擋土牆、引道路堤、引道路堤保護設施、引道護欄之影像。同樣地，UAV 可進行蒐集橋墩基礎、橋墩墩體、橋墩保護設施、部分支承墊、部分止震塊及防震拉桿等的 360° 影像擷取。
- (4) S 型式航點：由於大梁面與橫隔梁的分布較長，為避免 UAV 受大梁面與橫隔梁影響 GPS 精度，S 型式航點可滿足這類橋梁構件的影像取得。同時，在不同跨徑下，UAV 均可進行 S 型式航點。

上述建議航點並非固定解決方案，因為仍需依據橋梁結構與所處環境進行最終選用。對於部分特殊情況下，例如劣化發生於橋梁構件交接處、劣化狀態細微，檢測人員仍可以手動操控 UAV 之方式加強橋梁構件影像的擷取。

4.4.2 飛行數據模組

當檢測人員抵達橋梁現場時，基於行動裝置的全球衛星定位裝置，此模組會將檢測人員和鄰近橋梁的訊息顯示於地理資訊系統(GIS)上。在 UAV 擷取橋梁構件影像的前、中、後三個階段，此模組可提供檢測人員了解 UAV 的即時狀態。圖 4.15 顯示擷取橋梁構件影像前，橋梁檢測人員可知道 UAV 基本狀態，包含當前的電力、平衡狀態、通訊品質和全球衛星定位能力。擷取橋梁構件影像中，橋梁檢測人員可知道 UAV 基本狀態和檢測細節，包含 UAV 飛行路徑、即時任務狀態和檢測高程。擷取橋梁構件影像後，橋梁檢測人員可知道 UAV 基本狀態和任務完成結果。

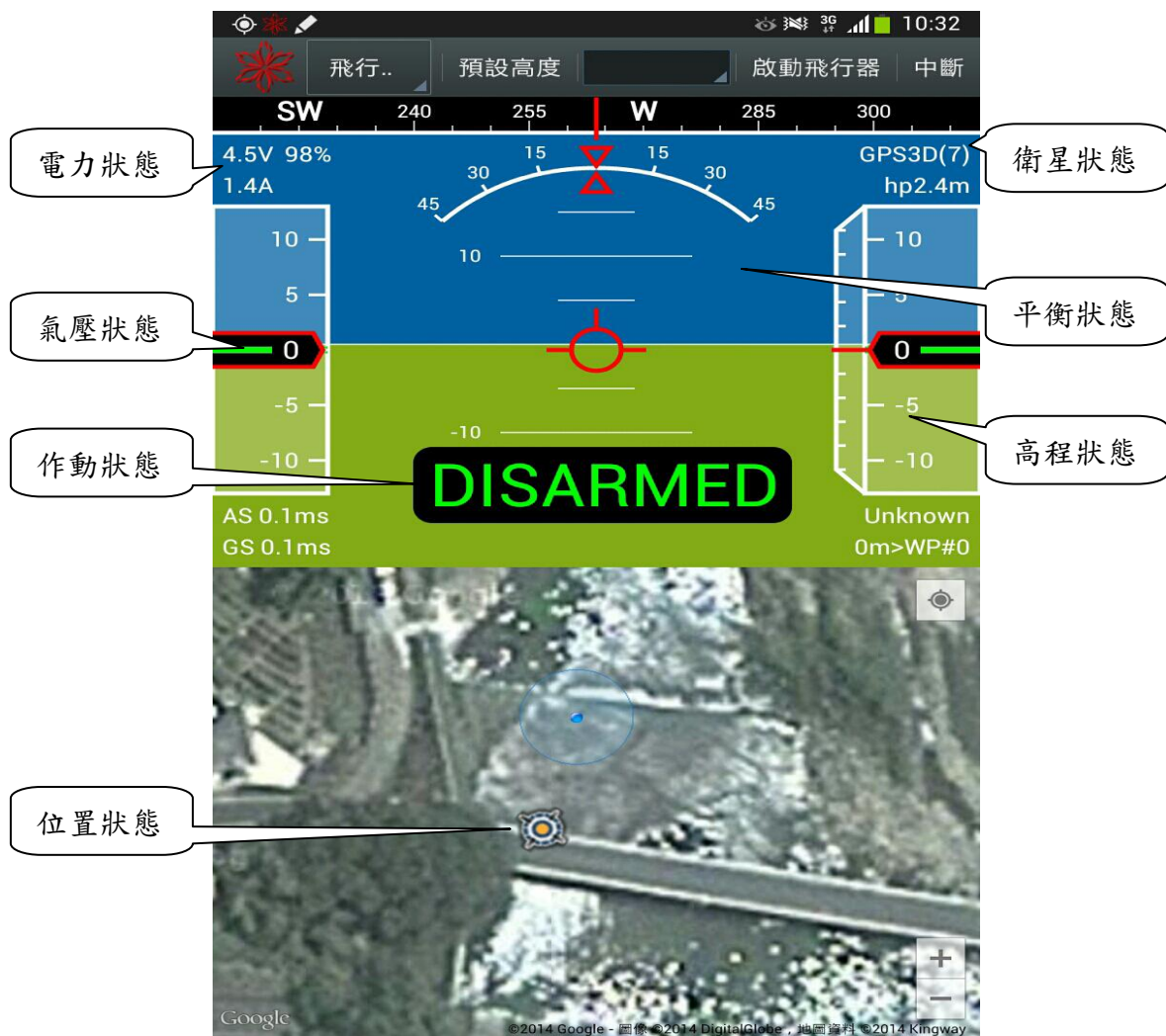


圖 4.15 UAV 即時狀態

4.4.3 切換相機模組

為盡可能地擷取飛行航線中的所有橋梁構件，本計畫可同時掛載兩組攝影。一組攝影機為擷取飛行航線中的上方橋梁構件影像，例如橋底橫隔梁；另一組攝影機則為擷取飛行航線中的水平或下方橋梁構件影像，例如大梁側面。當 UAV 運行於飛行航線時，地面控制程式會透過 2.4GHz 的無線網路與攝影機連線，故橋檢人員可即時於行動裝置上觀看橋梁影像，如圖 4.16 所示。同時，檢測人員可針對特定橋梁構件進行攝影或拍照模式的切換。此外，考量檢測人員於現地操作平板電腦時，易受強烈光源影響讀取螢幕訊息，本計畫亦在 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統中加入語音導引之功能。故當 UAV 開始進行自動飛行任務時，本系統會將 UAV 所在的航點、進行方向和電池剩餘電力以語音的方式進行回報。此優點可讓檢測人員不必一直觀看平板電腦上所顯示的訊息。

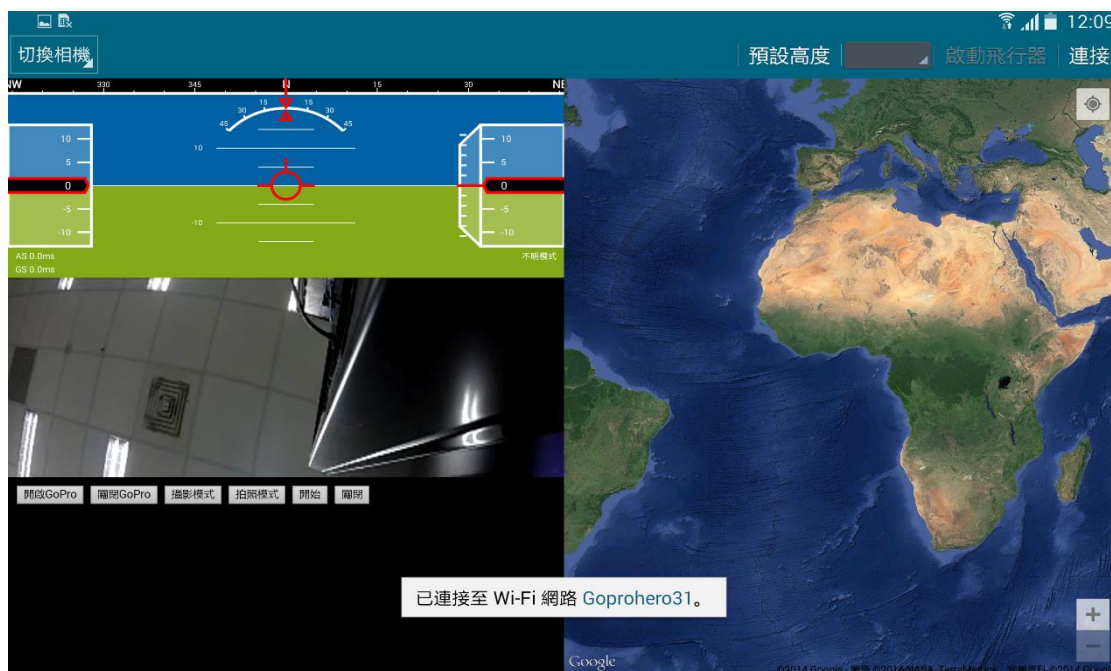


圖 4.16 切換攝影機鏡頭

4.4.4 DERU 填表模組

當 UAV 擷取完橋梁構件後，檢測人員將進行橋梁構件之影像辨別與檢測資料填寫。為便利橋梁檢測人員能於現地完成此作業，本系統能讓檢測人員以觀看影片或照片的方式進行橋梁構件檢測結果的填寫。由於市面上多數的動態攝影機均不具備地理標籤的功能，意即檢測人員僅觀看本系統所提供的橋梁構件影像並不容易判斷劣化發生的位置。為解決此問題，本計畫在影像展示過程中提供的影像與地理標籤的同步功能。如圖 4.17 和圖 4.18，當檢測人員載入本系統所擷取之影像時，UAV 的飛行路徑亦會同時載入於 Google Maps 上，該設計將可讓檢測人員清楚地了解影像與橋梁構件間的關聯性。例如當檢測人員觀看影片時，若發現橋梁構件出現劣化情形時，點選擷取按鈕後，本系統便會將劣化照片傳送至 DERU 表內(圖 4.19)。

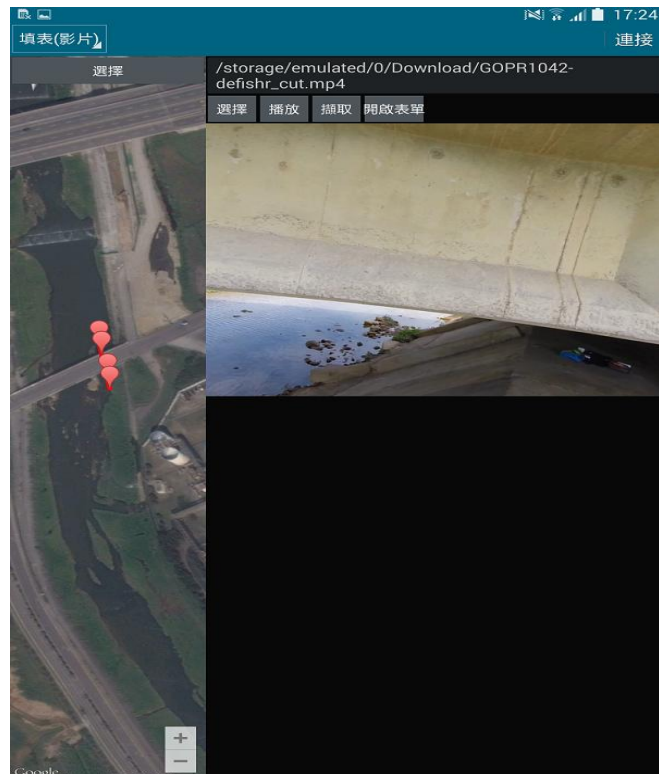


圖 4.17 由觀看影片填寫 DERU(I)



圖 4.18 由觀看照片填寫 DERU(II)

圖 4.19 DERU 檢測表

4.5 小結

依據前述說明及分析比較，本計畫橋梁構件影像 UAV 自動擷取系統可達成以下三項成果。

- (1) 提升橋梁檢測人員之作業安全：對於檢測人員難以到達橋梁或橋面交通量較大之橋梁，由於本系統可輕易到達且無礙交通運行，且檢測人員攀爬橋梁構件之需求可降低，故可確保工作安全性。
- (2) 增進橋梁檢測之作業效益：檢測人員僅需一可連線本計畫所開發之地面控制程式之 UAV，便可進行橋梁檢測。對於 UAV，除了正常零件耗損外，並無須額外負擔設備費用，相較於國內外重要文獻評估之橋梁檢測技術而言，本計畫尚屬低成本、高效益方案。
- (3) 確保橋梁檢測紀錄之詳實性：本系統可搭載 1~2 組高速攝影機，這類攝影機可透過不同角度及廣角拍攝橋梁構件影片或影像。檢測人員亦可同時拍攝影片和照片，並直接填寫檢測結果，進而確保檢測紀錄詳實度。

第五章 橋梁現地測試

5.1 測試流程

為確認本計畫 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統能於橋梁現地運作，本計畫針對新大崛溪橋、台 61 號快速道路、牛欄河 2 號橋、內灣大橋、羅浮橋和巴陵大橋進行測試。測試流程標示於圖 5.1。首先，透過現地環境評估，本計畫推估如何讓 UAV 自動飛行並擷取橋梁影像構件。礙於現階段的 UAV 自動飛行模式需倚賴 GPS 定位，故 UAV 所接收到的衛星數應至少六顆，該項限制會由 UAV 自體判斷，若衛星數不足，UAV 會發出警告並自動禁止任何模式之起飛。在 GPS 可定位的情況下，本計畫於 Samsung Tab Pro 8.4 平板電腦上描繪飛行路線並傳送給 UAV。UAV 收到飛行航線後，本計畫開始進行飛行路線初測(即讓 UAV 於現地進行第一次試飛)，同時，觀察 UAV 是否成功地完成任務。如偏離預期路線或其他狀況，本計畫將進行路線的人工修正(即移動航點以靠近橋梁構件)。反之，本計畫於 UAV 上掛載攝影機以進行橋梁構件自動擷取，即飛行路線實測。最後，本計畫針對所擷取的橋梁構件進行確認。

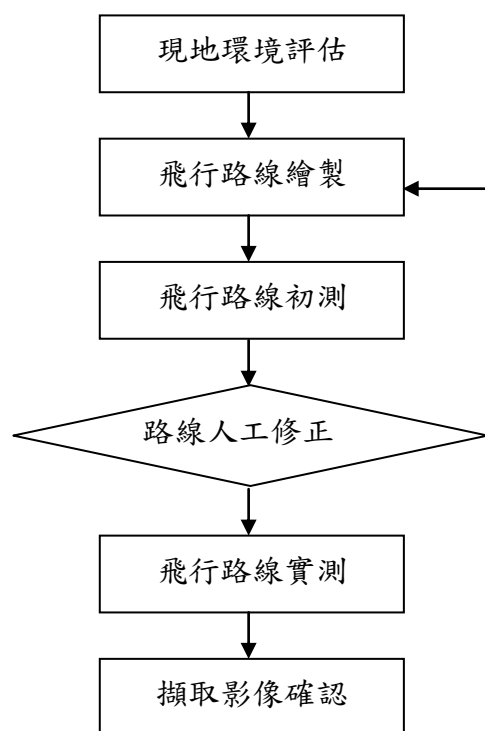


圖 5.1 現地測試流程圖

5.2 「新大崛溪橋」檢測概要

新大崛溪橋(圖 5.2)位於桃園縣觀音鄉，為桃園縣政府所管理，竣工於民國 80 年，全橋長為 91.2 米，總橋孔數為三，最大跨距為 30.4 米，橋面版最大淨寬為 12 米。由於觀音鄉臨海，故該橋周圍的風速往往較大。這情況對 UAV 穩定性是一大考驗。雖然新大崛溪橋僅有二橋墩，但橋墩總高低於 4 米。如果 UAV 無法穩定地保持某一飛行高程，檢測人員將不易達成橋梁構件的影像擷取任務。故本計畫透過新大崛溪橋的現地測試以確認所採用的 UAV 是否具備相當的穩定性。



圖 5.2 新大崛溪橋現況

5.3 「台 61 號快速道路桃科段」檢測概要

台 61 號快速道路(圖 5.3)又稱西部濱海快速公路，是縱貫臺灣西部沿海地區的快速公路。其路線北起於新北市八里區，南迄至台南市安南區。因桃科段為於新大崛溪橋下游，本計畫於桃科段亦進行一測試。台 61 號快速道路桃科段位於觀音鄉內，但橋面總寬超過 50 米，本計畫認為 UAV 運行於橋底時，GPS 訊號恐受干擾。此情況易造成 UAV 無法按預設的飛行路線進行。故本計畫透過台 61 號快速道路桃科段的現地測試以確認所採用的 UAV 在 GPS 訊號不穩定的情況下是否仍能透過其他方式完成橋梁構件的影像擷取。



圖 5.3 台 61 號快速道路桃科段現況

5.4 「牛欄河 2 號橋」檢測概要

牛欄河 2 號橋(圖 5.4)位於新竹縣關西鄉，為交通部國道高速公路局所管理，竣工於民國 82 年，全橋長為 700 米，總橋孔數為 10，最大跨距為 120 米，橋面版最大淨寬為 18.95 米。牛欄河 2 號橋同時跨越一省道、一河道和一資源回收站。檢測人員亦很難沿橋底進行目視檢測。此外，牛欄河 2 號橋的橋墩超過 15 米。如不使用橋梁檢測車，檢測人員很難直接觀測橋梁構件。這情況可凸顯本計畫對於橋梁檢測效益的提升。故本計畫透過牛欄河 2 號橋的現地測試以確認所採用的 UAV 是否能清楚擷取大梁構件的影像。



圖 5.4 牛欄河 2 號橋現況

5.5 「內灣大橋」檢測概要

內灣大橋(圖 5.5)位於新竹縣橫山鄉，為新竹縣政府橫山鄉公所管理，竣工於民國 89 年，全橋長為 203.1 米，總橋孔數為 5，最大跨距為 41.2 米，橋面版最大淨寬為 14 米，最高橋墩為 18.6 米。內灣大橋為著名觀光景點，若使用橋檢車檢測易造成交通阻塞，故本計畫透過內灣大橋的現地測試以確認所採用的 UAV 是否能在山區中成功地進行自動橋梁構件的影像擷取。



圖 5.5 內灣大橋現況

5.6 「羅浮橋」檢測概要

羅浮橋(圖 5.6)位於桃園縣復興鄉，為公路總局第一區養護工程處復興工務段管理，竣工於民國 83 年，全長 230 米，最大跨距為 160 米，最大淨寬 10.8 米，橋下淨高 20 米。該橋為剛架橋且位於山區，由於橋檢車不易進入且山谷甚深，故本計畫透過羅浮橋的現地測試確認所採用的 UAV 是否能在山區中成功地進行自動橋梁構件的影像擷取。



圖 5.6 羅浮橋現況

5.7 「巴陵大橋」檢測概要

巴陵大橋(圖 5.7)位於桃園縣復興鄉，為公路總局第一區養護工程處復興工務段管理，竣工於民國 94 年，全橋長為 220 米，總橋孔數為 1，最大跨距為 198 米，橋面版最大淨寬為 10.5 米，最高橋墩為 20 米。巴陵大橋為剛架橋且位於山區。橋檢車不易進入且山谷甚深，故本計畫透過巴陵大橋的現地測試以確認所採用的 UAV 是否能在山區中成功地進行自動橋梁構件的影像擷取。



圖 5.7 巴陵大橋現況

5.8 測試結果

本計畫於現場進行兩種飛行模式(自動飛行和手控飛行)測試，說明如下。

- (1) 自動飛行模式：過去多數研究多著眼於手控飛行。不同於這些研究，本計畫認為透過自動飛行模式可降低檢測人員使用 UAV 的操控經驗而達到有效率之橋梁構件影像擷取。本計畫先於橋梁現地透過 GPS 定位量測後。例如，圖 5.8 中，檢測人員沿橋面行走，為擷取橋大梁影像，檢測人員將飛行路徑修改至橋外緣。完成繪製後，將此飛行路徑傳遞給 UAV，爾後透過遙控器進行 UAV 自動飛行模式。表 5.1 記錄六次測試，每次測試均成功完成測試。圖 5.9-5.14 顯示了 UAV 飛行軌跡，圖中黃線為預設軌跡而藍線為實際軌跡。四次測試多著重於 UAV 穿越橋梁底部的困難任務，因為橋下 GPS 的訊號微弱，一旦 UAV 無法判斷所在位置，UAV 將可能斷訊而墜毀。由這項測試，本計畫認為所採用的自動飛行模式具備相當的可信度，例如在新大崛溪橋，本計畫之 UAV 可穩定的航行於離河床 1 米的高度。再者，從圖 5.15-5.20 可知，所擷取的橋下構件影像亦是相當清晰而有助橋梁劣化檢測。



圖 5.8 現地量測橋梁位置並繪製飛行路徑

表 5.1 自動飛行模式測試結果

測試編號	1	2	3	4	5	6
地點	新大崛溪橋	台 61 號快速道路橋	牛欄河 2 號橋	內灣大橋	羅浮橋	巴陵大橋
機體型式	X-四軸	X-四軸	X-四軸	Y-六軸	X-四軸	X-四軸
機體軸距	550mm	550mm	550mm	550mm	550mm	550mm
機體全重量	2250g	2250g	2250g	2620g	2250g	2250g
馬達型式	880kv	880kv	880kv	880kv	880kv	880kv
正反槳型式	10x47	10x47	10x47	10x47	10x47	10x47
電池型式	4S 14.8V 5200mAh					
GPS 訊號	橋下微訊	橋下微訊	橋下微訊	橋下微訊	良好	良好
GPS 型號	u-Blox 6H					
通訊強況	良好	良好	良好	良好	良好	良好
最大陣風	1.3m/s (1 級風)	6.1m/s (4 級風)	0m/s (0 級風)	2.8m/s (2 級風)	2.5m/s (2 級風)	2.8m/s (2 級風)
固定飛行高度	1m	2m	17m	6m	1m	1m
攝影機型式	單 GoPro Hero3+					
結果	成功	成功	成功	成功	成功	成功
附註	O 線路線 拍攝橋墩	S 型路線 拍攝橋底	S 型路線 拍攝橋底	半 S 型路線 拍攝橋底	直線路線 拍攝橋側	S 型路線 拍攝橋底

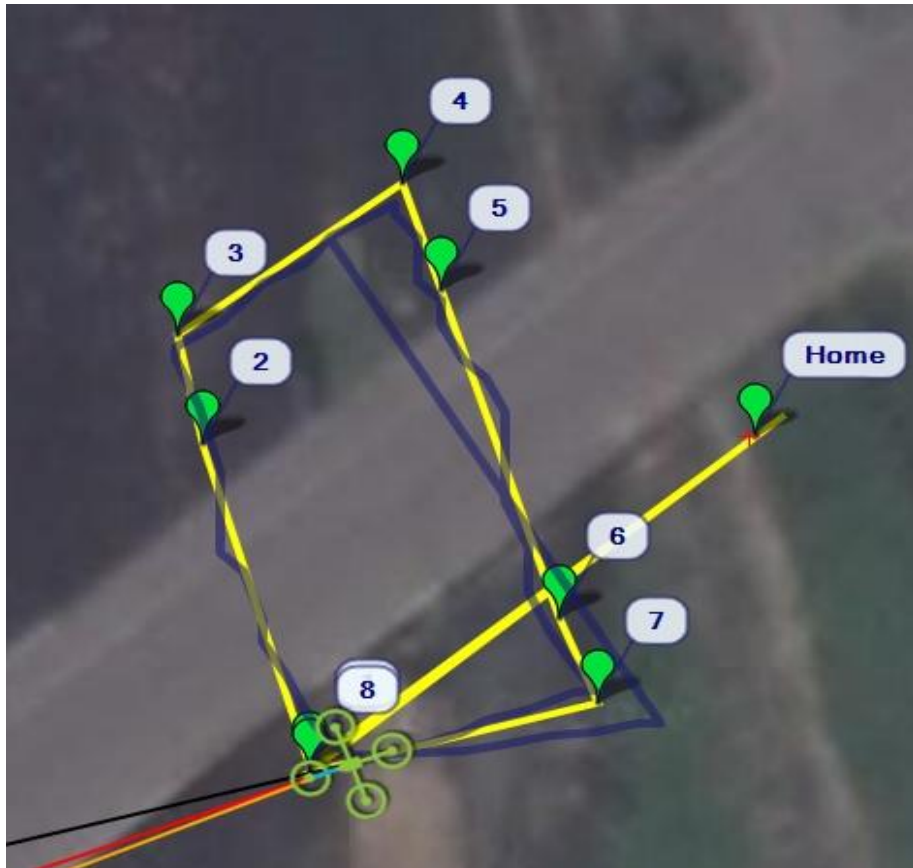


圖 5.9 O 型路線繞行新大崛江橋 P2 橋墩

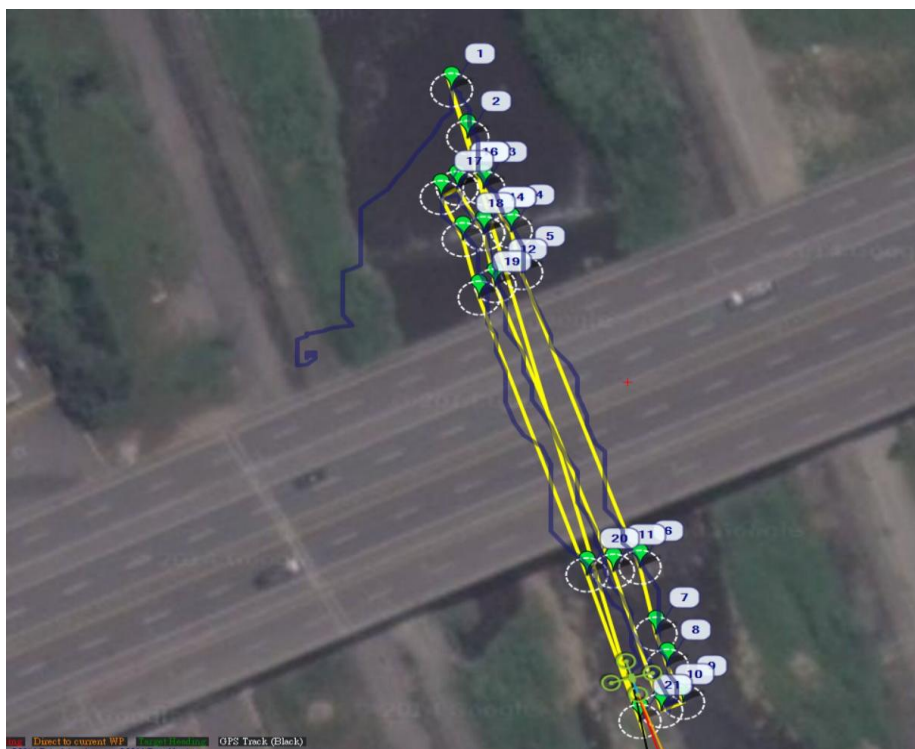


圖 5.10 S 型路線穿越台 61 號快速道路橋底

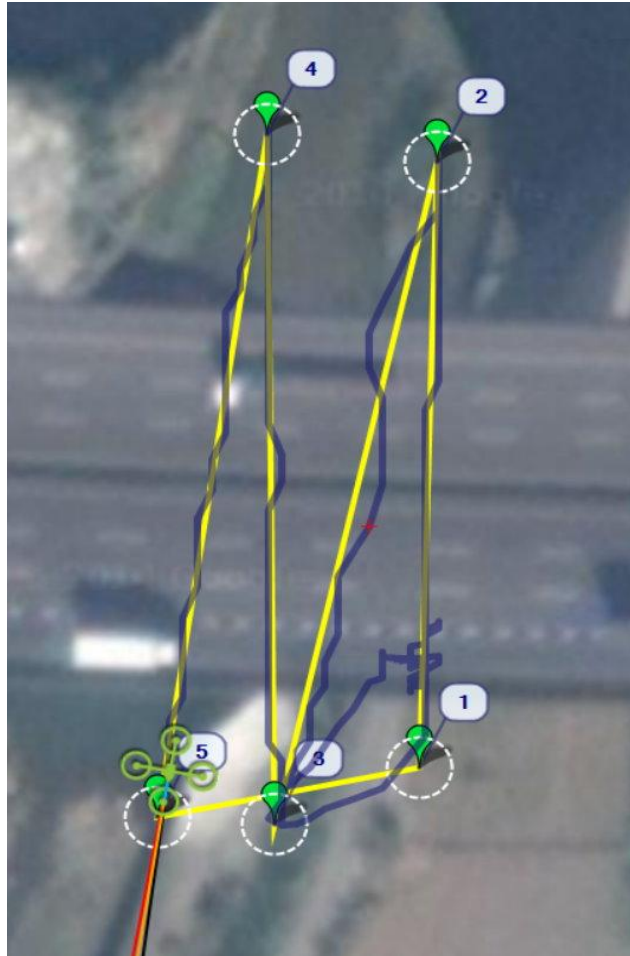


圖 5.11 S 型路線穿越牛欄河 2 號橋橋底

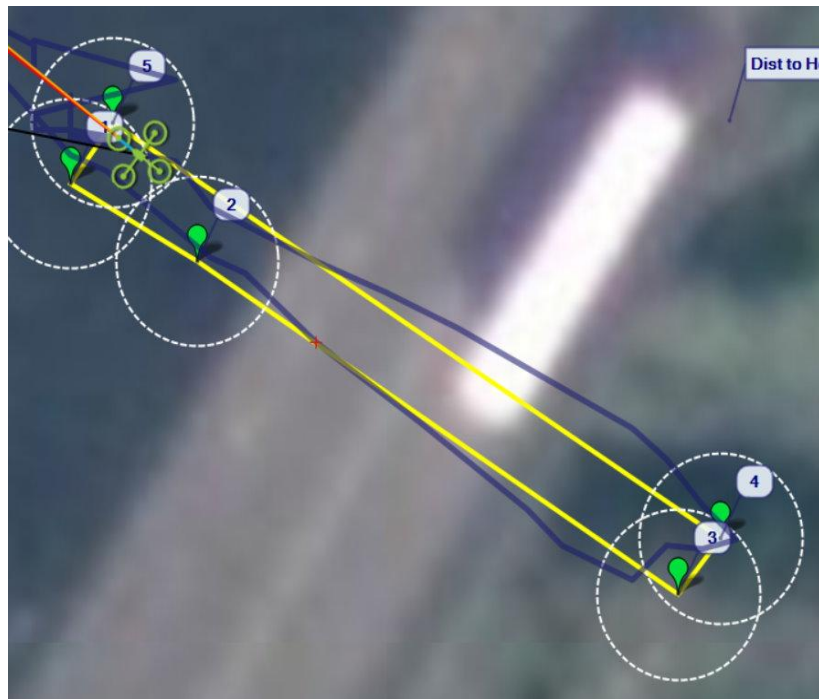


圖 5.12 半 S 型路線穿越內灣大橋橋底



圖 5.13 直線路線拍攝羅浮橋側

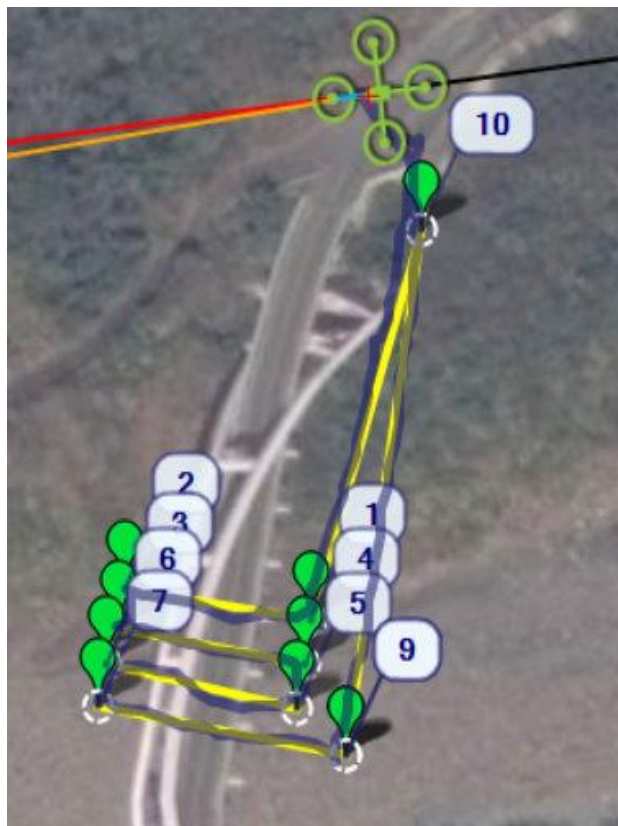


圖 5.14 S 型路線拍攝巴陵大橋底



圖 5.15 O 型路線下拍攝之新大崛江橋橋墩照片



圖 5.16 S 型路線下拍攝之台 61 號快速道路橋底照片



圖 5.17 S 型路線下拍攝之牛欄河 2 號橋橋底照片



圖 5.18 半 S 型路線下拍攝之內灣大橋橋底照片



圖 5.19 直線路線下拍攝的羅浮橋側照片



圖 5.20 S 型路線下拍攝之巴陵大橋底照片

- (2) 手控飛行模式：對於部分橋梁構件，例如止震塊和支承墊片，自動飛行模式並無法擷取完整的影像。因此，或許可透過手控飛行模式解決此限制。以新大崛溪橋的橋墩高度僅 3 米的條件下，本計畫訪問了 A 研究機構與 B 機關之 UAV 專家，兩位專家均一致認為手控飛行模式通過新大崛溪橋的困難度極高。以本計畫所做的四次測試中(表 5.2)，僅有兩次成功以手控飛行模式穿越橋底，意即手控飛行模式所遇到的變數仍相當多。此外，手控飛行模式的另一問題是飛行路線的不穩定。這情況將使所擷取的影像較易品質參差不齊。如圖 5.21 和 5.22，UAV 在手控模式下的飛行軌跡是無法預測的，以致擷取到的橋梁構件影像並非原本所預期的。故無論自動或手控飛行模式，目前透過 UAV 擷取少數特定橋梁構件的完整影像仍有困難，但在有足夠飛行空間下，自動飛行模式仍較手動飛行模式有較多優勢。



圖 5.21 UAV 手控模式下穿越新大崛溪橋

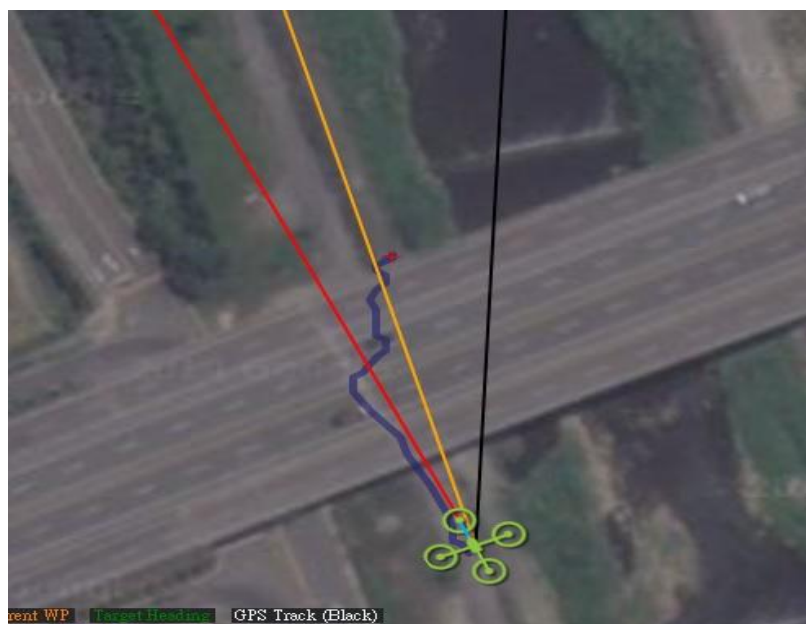


圖 5.22 UAV 手控模式下穿越台 61 號快速道路

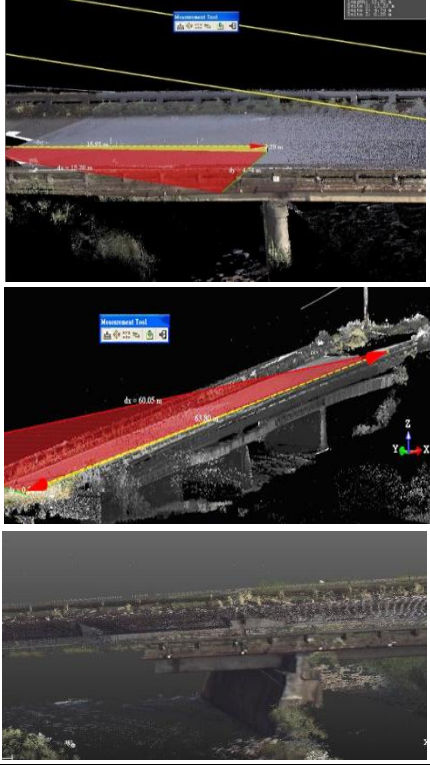
表 5.2 手控飛行模式測試結果

測試編號	1	2	3	4
地點	新大崛溪橋	新大崛溪橋	61 快速道路	61 快速道路
機體型式	X-四軸	X-四軸	X-四軸	X-四軸
機體軸距	550mm	550mm	550mm	550mm
機體軸數	4	4	4	4
機體總重	2200g	2200g	2300g	2300g
馬達型式	850kv	850kv	850kv	850kv
槳型式	10x47	10x47	10x47	10x47
電池型式	4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh
飛行模式	手控盤旋 (倚賴 GPS)	手控盤旋 (無需 GPS)	手控盤旋 (倚賴 GPS)	手控盤旋 (無需 GPS)
GPS 訊號	橋下微訊	橋下微訊	橋下微訊	橋下微訊
GPS 型號	u-Blox 6H	u-Blox 6H	u-Blox 6H	u-Blox 6H
通訊強況	良好	良好	良好	良好
最大陣風	1.2m/s (1 級風)	2.5m/s (2 級風)	6.1m/s (4 級風)	6.1m/s (4 級風)
飛行高度	1.8m	2m	3m	3m
攝影機	無	無	單 GoPro(向上)	單 GoPro(向上)
結果	成功通過橋底	無法通過橋底	無法通過橋底	成功通過橋底
附註	圖 5.12	撞擊河床	撞擊橋墩	圖 5.13

5.9 本系統與 3D 雷射掃描之比較

針對桃園自強橋(橋長 63m、橋寬 8m、橋墩高 3.4、總橋孔數 5 孔、單線道)，本計畫比較了本系統和 3D 雷射掃描的差別。選擇 3D 雷射掃描的原因是該檢測工具可讓檢測人員在不靠近橋梁構件的情況下，大範圍地擷取構件影像。兩檢測工具比較結果如表 5.3。本系統與 3D 雷射掃描所能擷取之橋梁構件均相同，但 3D 雷射掃描之設備成本較高且作業時間較長。以本系統而言，總完成時間為 15 分鐘 40 秒，其中 15 分鐘為現地航點規劃。此外，兩者產生之原始資料不同。本系統可直接取得 GPS、影片及照片，而 3D 雷射掃描則由點雲資料加以套合、分析，並將不同角度掃描結果利用事先選定之共軛點位進行橋梁模型之製作、連接。在橋梁構件的劣化分析上，3D 雷射掃描需較長時間於資料彙整，產出之圖資亦為再製影像。

表 5.3 本系統與 3D 雷射掃描比較結果

檢測工具	本系統	3D 雷射掃描
檢測橋梁	桃園自強橋(桃園大園鄉公所管理)	
參與人力	1 人	2 人
設備成本	X-八軸(15 萬)	Trimble TX5(200 萬)
完成時間	15 分鐘 40 秒	40 分鐘
拍攝位置	橋右側	
設定方式	以現地量測結果建立橋頭橋尾之飛航路徑，飛行高度 4 米。	橋頭橋尾兩端及側面，並在測站與測站間設立四個共軛球。
影像		

5.10 本系統與船艇之比較

針對圓山橋北上(橋長 671m、橋寬 15.6m、橋墩高 12.1m)，本計畫比較了本系統和船艇於跨河橋跨下的檢測差別。該測試的當日風速約 6 級風，橋跨長度約 105m。參與測試的人員來自交通部運研所、高公局、民間橋檢公司和航發會。船艇測試的數據來源為民間橋間公司所提供。本系統測試數據則為 UAV 自動飛行所得之結果。兩檢測工具的比較結果列於表 5.4。由結果可知，本系統拍攝橋梁構件的所需時間較短(現地航點規劃使用 20 分鐘)、人力需求較少、能拍攝之橋梁構件相似。儘管本系統單次設備費用較高，但所繪製之飛行路徑可反覆使用且於多數橋梁均可使用。

表 5.4 本系統與船艇比較結果

檢測工具	本系統	船艇
檢測橋梁	圓山橋(高工局北區工程處管理)	
參與人力	1 人	2 人以上
設備成本	X-四軸(10 萬)、Y-六軸(13 萬)	300 元/時(租賃)
完成時間	22 分鐘	40 分鐘(估計)
拍攝位置	橋右側、橋底	
設定方式	在本系統之 GIS 圖資上直接繪製一飛航路徑，飛行高度設 6 米。	人工操作船艇至橋跨下並進行目識檢測和拍照紀錄。
影像		

5.11 小結

基於測試結果，本計畫 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統具備超越人為操控 UAV 進行橋梁檢測之優勢。同時，本計畫的地面控制系統更可彌補 GIS 與橋梁現地資料不吻合之問題。然而，此系統仍具操作限制，主要有：

- (1) 機型選用：過大機體不僅自身重量大且靈活度較低。例如 UAV 腳架過高時，在低橋墩下，機體碰撞河床之可能性將遽增。因此，檢測人員應視橋梁現地環境進行機體選擇。以新大崛溪橋為例，軸距 550 公釐 X-四軸比 680 公釐 X-六軸具更好飛行能力。歷經七個現地測試後，機型建議如表 5.5。在三級風以下，X-四軸應已足夠。若考量風力影響(四-六級風以下)，Y-六軸或 X-八軸能具備較佳穩定性。因為 X-八軸又可與 X-四軸共用機架，且電力耗損與 Y-六軸相差不遠，故 X-八軸是一較佳方案，唯後續維修會較 X-四軸和 Y-六軸較費時。七級風以上(輕度颱風約八級風)已不適合使用 UAV。

表 5.5 機型選用建議

UAV 機型	X-四軸	Y-六軸	X-八軸
價格(新台幣)	100,000-120,000	110,000-140,000	130,000-150,000
軸距	550 公厘		
風速	3 級風以下	4 級風以下	6 級風以下
飛行時間 (4S 5200mAh)	14 分鐘	13 分鐘	10 分鐘
最大載重	1.5 公斤以下	2.5 公斤以下	3.5 公斤以下
周圍淨空	半徑 3 米		

- (2) 橋面寬度：因為橋底 GPS 訊號微弱或斷訊，本計畫建議應用 UAV 於橋梁檢測時，該橋面最長寬度應小於 60 米(表 5.6)；

表 5.6 橋梁限制

項目	版橋	梁式橋	箱型橋	拱橋
橋面寬度	60 米以下			
橋下淨高	5 米以上			
橋跨長度	10 米以上			
橋墩型式	單柱			

- (3) 橋下淨高：當橋下淨高過低時，UAV 容易撞擊橋底或河床，故本計畫建議應用 UAV 於橋梁檢測時，橋下淨高應大於 5 米。
- (4) 橋跨長度：橋跨長度過短時，UAV 容易撞擊兩側橋墩或其他附加設備，故本計畫建議試用本系統之於橋跨最短長度應大於 10 米。

- (5) 橋墩型式：儘管本計畫之 UAV 可以順利穿過橋底，但橋墩為多柱排列時，例如台 61 號快速道路，本 UAV 十分困難進行繞行拍攝，主要原因為 GPS 難以定位和 GIS 無法判讀這些橋墩的位置。
- (6) 航線距離：由於電池供電限制，檢測人員規劃飛行路線時，應避免以低毫安培電力進行過長飛行。以本計畫之 UAV 為例，當使用單顆 4S 5200mAh 電池時，最長航線距離應控制於 800 米以內。
- (7) UAV 與橋梁構件關係：航點規畫時，UAV 所在高程為基準點。若 UAV 與橋梁在同一水平面上，基準點以下將視為負高程的檢測(圖 5.23)。本系統的正高程與負高程可達 100 與 20 米。然而，直接將 UAV 架設於橋面對人車均有一定危險性，故本計畫建議在現地檢測時，UAV 應設法架設在低於橋梁的位置。同時，UAV 的水平與垂直範圍 6 米(半徑 3 米)內應完全無障礙物(如樹、電線桿)存在。

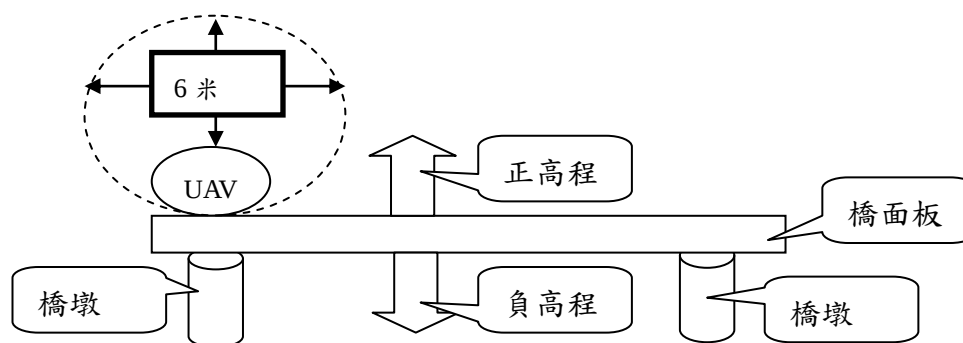


圖 5.23 UAV 與橋梁構件關係圖

- (8) 航點規劃：各公司的 GIS 所使用的圖資和經緯度標準均不同。這情況會導致現場環境與 GIS 圖資的定位落差，且部分橋梁構件並無法從這些圖資上清楚辨識。本計畫建議檢測人員在情況許可下應於現地進行現場量測後再行規劃飛行航點。
- (9) 攝影位置：UAV 自動飛行時，機頭必須朝前，如要側拍橋梁構件時，攝影機必須與機頭保持直角。換言之，檢測人員必須先考量 UAV 機身應保有能讓攝影機調整安裝的位置。此外，攝影機在拍攝橋底構件時，會因為光源瞬間差異而導致攝影品質的驟變，故可讓 UAV 自強光區進入弱光區時先行盤旋，並讓攝影機自動調整光源。基於目前 GoPro 攝影機並不具備光圈調整與變焦功能，未來如有具備上述功能之動態攝影機將有助擷取細微影像。
- (10) 影像扭曲：由於攝影鏡頭因素，目前已知所擷取的橋梁構件影像會呈現球面展示(俗稱魚眼效應)，故未來需針對影像扭曲情況進行修正。如圖 5.24(左圖)為拍攝原圖，圖 5.24(右圖)為本計畫透過影像編輯軟體進行圖片校正的比較。



圖 5.24 影像修正比較圖

- (11) 檢測時間:在歷經多次不同時間點的現場試驗後，本計畫認為最適合影像擷取的時間應是早上 11 點至下午 1 點間，因為陽光接近正射，攝影鏡頭較無逆光問題，如圖 5.25(左圖)為本計畫於上午 11 點在新崛溪橋所擷取的橋梁構件影像。圖 5.25(右圖)為本計畫於下午 4 點進行同樣試驗。兩者相較下，圖 5.25(左圖)較適宜進行橋梁劣化判斷。



圖 5.25 拍攝時間點之比較

- (12) 突發故障:UAV 多數零組件為電子產品，本系統目前無法偵測與避免突發故障的發生。以七座橋梁現地試驗為例，飛行總數超過 50 次，單次飛行距離均超過 250 米，過程中曾發生 1 次馬達不運轉而導致 UAV 摔落。因此，進行現地檢測前，裝備的反覆檢查可降低突發故障的發生。
- (13) 其他：本計畫所採用之 UAV 尚不具障礙物辨識功能，因此全自動飛行仍具危險性，因此，本計畫建議採取半手控飛行，即先手控 UAV 至空曠地點再行自動飛行。

第六章 構件影像初步劣化辨識

6.1 劣化演算法

針對橋梁構件影像的劣化辨識，本計畫透過影像色階正規化後，進行物件邊緣偵測，基於偵測出的物件再進行圖案比較。因為混凝土剝落或鋼筋外露的一重要特徵為圖案色塊會較周邊物件的色階較深或不同，故這些連續異常區塊即可被初步劃定為劣化區塊。相關演算法如下：

$$S_k(A) = \cup_{k=0}^K S_k(A) \dots\dots\dots(1)$$

$$S_k(A) = \cup_{k=0}^K \{(A \ominus k B) - [(A \ominus k B) \circ B]\} \dots\dots\dots(2)$$

$$(A \ominus k B) = ((\dots (A \ominus B) \ominus B \ominus \dots) \ominus B) \dots\dots\dots(3)$$

$$K = \max\{k | (A \ominus k B) \neq \emptyset\} \dots\dots\dots(4)$$

$$A = \cup_{k=0}^K (S_k(A) \oplus k B) \dots\dots\dots(5)$$

$$C = [A - (A \ominus B)] \dots\dots\dots(6)$$

$S(A)$ 為所有像素； A 為特定像素； Kb 為特定色階； K 為連續相同色階區塊； C 為標示出之目標區塊。

6.2 劣化區塊

基於上述劣化演算法，本計畫以微軟公司之 C++.Net 語言，開發可利用桌上型電腦使用之初步橋梁劣化區塊影像辨識程式。如圖 6-1，本計畫針對新大崛溪橋擷取之混凝土剝落照片進行影像辨識後，該程式能顯示出劣化區塊(圖 6-2)。圖 6-3 為新大崛溪橋鋼筋裸露之原圖，經影像辨識後得圖 6-4。圖 6-5 為內灣大橋鋼筋裸露的原圖，經影像辨識後得圖 6-6。顯然，目前辨識結果已能讓檢測人員節省時間於尋找劣化區塊。但該程式目前不能百分之百精準的分辨出劣化類型和劣化範圍。影響辨識結果的主要原因在於劣化影像仍參雜著雜訊。以圖 6-1 為例，混凝土剝落之區塊緊鄰更大孔洞，這將造成程式誤判此孔洞亦為一劣化區塊。因此，未來仍須針對不同劣化類型進行更進階的演算法建立與實例測試。



圖 6.1 新大崛溪橋混凝土剝落原圖

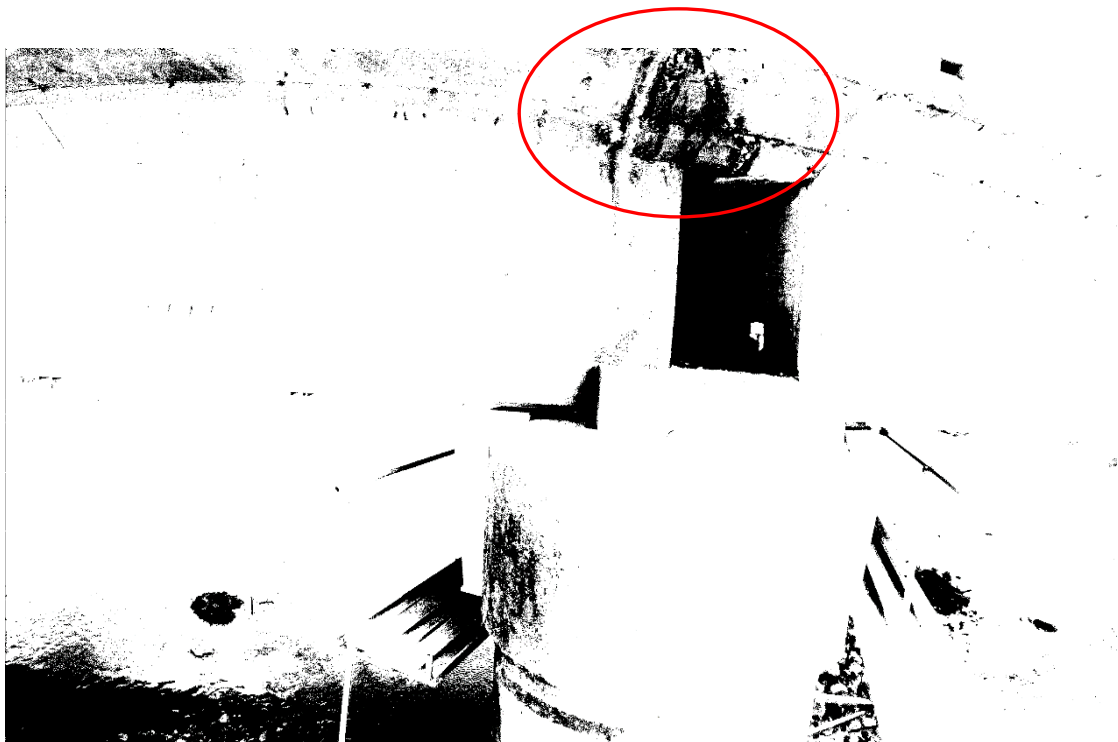


圖 6.2 新大崛溪橋混凝土剝落辨識結果



圖 6.3 新大崛溪橋鋼筋外露原圖

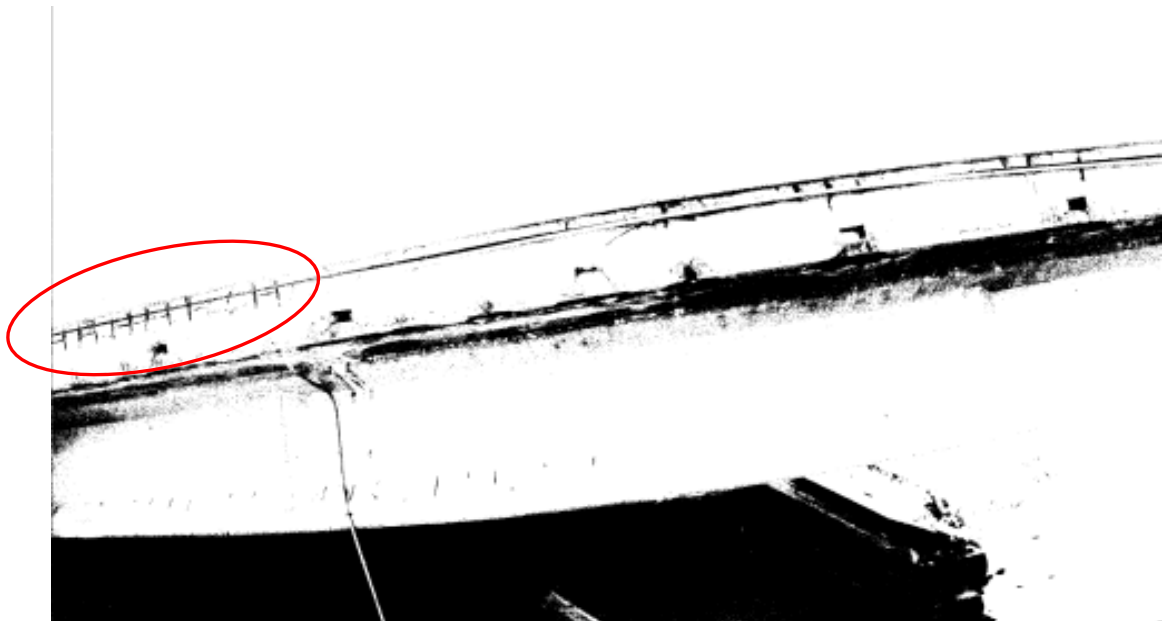


圖 6.4 新大崛溪橋鋼筋外露辨識結果



圖 6.5 內灣大橋鋼筋外露原圖

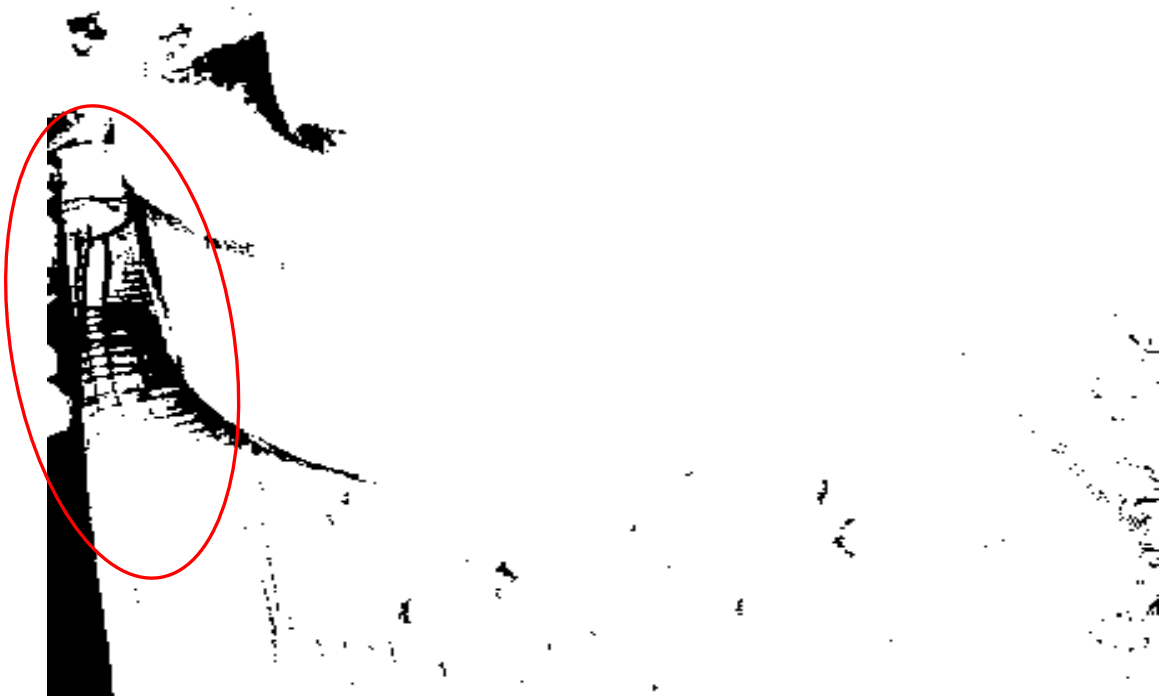


圖 6.6 內灣大橋鋼筋外露辨識結果

第七章 教育訓練

7.1 訓練內容

為利橋梁檢測相關單位了解本系統如何提升工作效益，本計畫分別於 11 月 14、20 及 21 日舉辦 UAV 橋梁構件自動影像擷取系統教育訓練，參訓人數共計 126 人(北部場次 52 人、中部場次 36 人、南部場次 38 人)。教育訓練內容(表 7.1)主要分室內講解和室外操作兩部分。室內講解偏重於本系統的介紹，課程內容如附件四。室外操作則偏重指導參訓人員現場觀看本系統運作情況，如圖 7.1~7.3 所示。本計畫準備了四台同款之四軸 UAV 和三台已安裝 UAV 橋梁構件自動影像擷取系統(簡稱 AutoCopter)之平板電腦。

表 7.1 教育訓練內容議程

時間	課程名稱	講員
13:10~14:00	UAV 橋梁檢測輔助工具簡介	中央大學蔡閔光博士
14:00~14:30	休息並移動至示範場地	
14:30~15:40	UAV 實地示範與操作	中央大學蔡閔光博士
15:40~16:00	休息並移動回教室	
16:00~16:30	意見交流	中央大學姚乃嘉教授

7.1.1 北部場教育訓練

時間：11/21(五)

地點：中央大學

參訓人數/報名人數：52/59



圖 7.1 北部場教育訓練

7.1.2 中部場教育訓練

時間：11/14(五)

地點：中國醫藥大學

參訓人數/報名人數：36/41



圖 7.2 中部場教育訓練

7.1.3 南部場教育訓練

時間：11/20(四)

地點：高雄應用科技大學

參訓人數/報名人數：38/45



圖 7.3 南部場教育訓練

7.2 意見綜整

教育訓練課程結束後，本計畫為了解參訓人員之背景與參訓心得，相關問卷結果整理如表 7.2~7.15。

一、個人橋檢經驗

表 7.2 橋梁檢測年資彙整

橋梁檢測年資						
	無	1~2 年	3~4 年	4~5 年	5 年以上	無填寫
縣市政府	15	15	1		2	2
公路總局	5	9	7	2	15	1
高公局	4	1		1		
鐵路局		4	1	1		
顧問公司	4	7	5	1	3	1
其他	1	4	1		2	
小計	29	40	15	5	22	4

表 7.3 使用過之橋檢工具彙整

使用過之橋檢工具						
	橋檢車	橡皮艇	纜索	升降梯	其他	無填寫
縣市政府	7	1	4	2	14	10
公路總局	34	3	3	3	3	3
高公局	5	1				1
鐵路局			1		2	3
顧問公司	11	8	5	3	1	7
其他	5	2	2	5	1	
小計	62	15	15	13	21	24

表 7.4 目前所使用之橋檢工具是否造成不便彙整

目前所使用之橋檢工具是否造成您的不便						
	是	百分比	否	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	6	17.1%	17	48.6%	12	34.3%
公路總局	14	35.9%	22	56.4%	3	7.7%
高公局	2	33.3%	4	66.7%		0.0%
鐵路局	2	33.3%	2	33.3%	2	33.3%
顧問公司	7	33.3%	10	47.6%	4	19.0%
其他	2	25.0%	5	62.5%	1	12.5%
小計	33	28.7%	60	52.2%	22	19.1%

二、UAV 操作

表 7.5 UAV 特色之滿意度彙整

對於 UAV 特色之滿意度										
單位	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	9	25.7%	20	57.1%	4	11.43%		0.00%	2	5.71%
公路總局	6	15.4%	17	43.6%	15	38.46%		0.00%	1	2.56%
高公局	2	33.3%	3	50.0%	1	16.67%		0.00%		0.00%
鐵路局	2	33.3%	4	66.7%		0.00%		0.00%		0.00%
顧問公司	2	9.5%	11	52.4%	8	38.10%		0.00%		0.00%
其他		0.0%	6	75.0%	2	25.00%		0.00%		0.00%
小計	21	18.3%	61	53.0%	30	26.09%		0.00%	3	2.61%

表 7.6 UAV 功能便利性彙整

對於 UAV 功能便利性										
單位	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	9	25.7%	22	62.9%	1	2.86%		0.00%	3	8.57%
公路總局	5	12.8%	18	46.2%	14	35.90%	1	2.63%	1	2.56%
高公局	2	33.3%	3	50.0%	1	16.67%		0.00%		0.00%
鐵路局	4	66.7%	2	33.3%		0.00%		0.00%		0.00%
顧問公司	3	14.3%	10	47.6%	8	38.10%		0.00%		0.00%
其他	2	25.0%	3	37.5%	3	37.50%		0.00%		0.00%
小計	25	21.7%	58	50.4%	27	23.48%	1	0.90%	4	3.48%

表 7.7 UAV 操作之解說滿意度彙整

對於 UAV 操作之解說滿意度										
單位	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	11	31.4%	19	54.3%	2	5.7%		0.0%	3	8.6%
公路總局	4	10.3%	20	51.3%	14	35.9%		0.0%	1	2.6%
高公局	2	33.3%	4	66.7%		0.0%		0.0%		0.0%
鐵路局	2	33.3%	3	50.0%		0.0%	1	16.7%		0.0%
顧問公司	2	9.5%	11	52.4%	8	38.1%		0.0%		0.0%
其他	2	25.0%	4	50.0%	2	25.0%		0.0%		0.0%
小計	23	20.0%	61	53.0%	26	22.6%	1	0.9%	4	3.5%

表 7.8 是否有助於工作效率提升彙整

是否有助於您工作效率提升								
單位	是	百分比	尚可	百分比	否	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	21	60.0%	10	28.6%	2	5.7%	2	5.7%
公路總局	18	46.2%	17	43.6%	3	7.7%	1	2.6%
高公局	6	100.0%		0.0%		0.0%		0.0%
鐵路局	3	50.0%	2	33.3%		0.0%	1	16.7%
顧問公司	9	42.9%	11	52.4%	1	4.8%		0.0%
其他	7	87.5%		0.0%	1	12.5%		0.0%
小計	64	55.7%	40	34.8%	7	6.1%	4	3.5%

表 7.9 是否已學會操作 UAV 彙整

是否已學會操作 UAV								
單位	是	百分比	尚可	百分比	否	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	11	31.4%	17	48.6%	5	14.3%	2	5.7%
公路總局	10	25.6%	16	41.0%	13	33.3%		0.0%
高公局	3	50.0%	3	50.0%		0.0%		0.0%
鐵路局	2	33.3%	3	50.0%		0.0%	1	16.7%
顧問公司	4	19.0%	13	61.9%	4	19.0%		0.0%
其他	3	37.5%	4	50.0%	1	12.5%		0.0%
小計	33	28.7%	56	48.7%	23	20.0%	3	2.6%

三、UAV 輔助應用程式

表 7.10 UAV 輔助應用程式整體使用之滿意度彙整

對於 UAV 輔助應用程式整體使用之滿意度										
單位	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	8	22.9%	18	51.4%	7	20.0%		0.00%	2	5.71%
公路總局	3	7.7%	20	51.3%	14	35.9%	1	2.56%	1	2.56%
高公局	1	16.7%	4	66.7%	1	16.7%		0.00%		0.00%
鐵路局	3	50.0%	2	33.3%		0.0%		0.00%	1	16.67%
顧問公司		0.0%	12	57.1%	9	42.9%		0.00%		0.00%
其他		0.0%	3	37.5%	1	12.5%		0.00%	4	50.00%
小計	15	13.0%	59	51.3%	32	27.8%	1	0.87%	8	6.96%

表 7.11 執行速度之滿意度彙整

對於執行速度之滿意度										
單位	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	8	22.9%	19	54.3%	6	17.1%		0.00%	2	12.5%
公路總局	4	10.3%	18	46.2%	15	38.5%	1	2.56%	1	4.8%
高公局	1	16.7%	4	66.7%	1	16.7%		0.00%		0.0%
鐵路局	3	50.0%	2	33.3%		0.0%		0.00%	1	25.0%
顧問公司	1	4.8%	11	52.4%	9	42.9%		0.00%		0.0%
其他	1	12.5%	3	37.5%		0.0%		0.00%	4	80.0%
小計	18	15.7%	57	49.6%	31	27.0%	1	0.87%	8	13.8%

表 7.12 功能便利性彙整

對於功能便利性										
單位	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	8	22.9%	19	54.3%	6	17.1%		0.00%	2	12.5%
公路總局	5	12.8%	17	43.6%	15	38.5%	1	2.56%	1	4.5%
高公局	1	16.7%	4	66.7%	1	16.7%		0.00%		0.0%
鐵路局	3	50.0%	2	33.3%		0.0%		0.00%	1	25.0%
顧問公司	2	9.5%	10	47.6%	9	42.9%		0.00%		0.0%
其他		0.0%	3	37.5%	1	12.5%		0.00%	4	80.0%
小計	19	16.5%	55	47.8%	32	27.8%	1	0.87%	8	13.3%

表 7.13 UAV 輔助應用程式是否有助於工作效能之提升彙整

UAV 輔助應用程式是否有助於您對工作效能之提升								
單位	是	百分比	尚可	百分比	否	百分比	未填寫	百分比
縣市政府	20	57.1%	12	34.3%	1	2.9%	2	5.7%
公路總局	16	41.0%	19	48.7%	3	7.7%	1	2.6%
高公局	5	83.3%	1	16.7%		0.0%		0.0%
鐵路局	2	33.3%	3	50.0%		0.0%	1	16.7%
顧問公司	7	33.3%	13	61.9%	1	4.8%		0.0%
其他	1	12.5%	3	37.5%		0.0%	4	50.0%
小計	51	44.3%	51	44.3%	5	4.4%	8	7.0%

表 7.14 是否已了解操作介面彙整

是否已了解操作介面								
單位	是	百分比	尚可	百分比	否	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	13	37.1%	19	54.3%	1	2.9%	2	5.7%
公路總局	13	33.3%	22	56.4%	3	7.7%	1	2.6%
高公局	3	50.0%	3	50.0%		0.0%		0.0%
鐵路局	2	33.3%	3	50.0%		0.0%	1	16.7%
顧問公司	5	23.8%	13	61.9%	3	14.3%		0.0%
其他	3	37.5%	1	12.5%		0.0%	4	50.0%
小計	39	33.9%	61	53.0%	7	6.1%	8	7.0%

UAV 操作與應用程式問卷總結：

- (1) 多數人均無橋檢經驗而主觀認定目前橋檢設備並無不便之處，但有橋檢經驗的人員大多認為目前橋檢設備受地形限制、交通維護不便、租借不易及檢測耗時等影響，造成橋檢困難。
- (2) UAV 之特色有高達百分之 70 的學員表示滿意。對於 UAV 的便利性，百分之 70 的人員表示滿意，且高達百分之 80 的學員認為 UAV 能提升目前橋梁檢測的工作效率。
- (3) 教學操作部分因考慮意外的發生，僅計畫人員示範操作，而學員對解說之滿意度僅 1 人感到不滿意，其餘均了解 UAV 應用程式及 UAV 機體操作。

表 7.15 問卷意見彙整

1.目前橋檢工具造成不便的原因
交通維護不易。
目視檢測耗時。
工具攜帶不便。
人員及設備不足。
橋檢工具租借不易。
在橋底無法直視構件。
地形及路寬限制，部分構件無法檢測。
墩柱高或河道上方受地形限制，不易觀測部分構件。
車輛老舊且容易故障。檢測時需爬至懸壁平台並設置安全附掛設施。
橋檢車太大及車輛調度時間過長。如遇標誌、路燈等障礙物時起降時程太久。
橋檢車無法進入部分山區、橡皮艇有水線問題、纜索有一定的危險性、升降梯有高度限制。
鐵路局自辦橋檢作業，工具不足僅望遠鏡目視。檢測頻率高人力不足，部分橋梁位處環境不佳之處。

2.對 UAV 操作解說之改善建議
增加訓練次數並親自操作。
增加現地操作時之影片。
希望能簡化並實際操作。
造價昂貴，操作尚顯複雜。
希望能加入影片輔助說明。
UAV 損壞保管責任是否由橋檢人員負責?如果是，建議委由中央大學負責執行操作保管。
購買資訊不明，是否能以中信局共同採購，初入手相關規格不熟悉有買後不洽用之疑問。
3.對於 UAV 輔助應用程式之改善建議
增加訓練次數。
持續改善，加油。
起飛前如何判斷風速?
希望能在人性化一點。
希望能簡化並實際操作。
如何減低價格使之更為普及。
應與橋檢系統採取統一系統。
UAV 是否可設計出 DER 自動辨別之能力。
程式複雜，建議委由中央大學負責執行橋檢業務。

第八章 結論與建議

我國橋梁約 3 萬座，主要由高公局、公路總局、臺鐵局及各縣市政府負責管養，依據公路法及相關規定，橋梁養護首重檢測，因此各橋梁管理機關除應適時針對所轄橋梁實施各項橋梁安全檢測作業外，並應針對損壞部分採取適當維修對策，方能確保橋梁及用路人行車安全。近年來各項可應用於橋梁檢測之儀器及技術不斷推陳出新，為協助提升橋梁檢測作業之品質及效率，本計畫評估多項儀器及技術運用於橋梁檢測作業之可行性，並針對 UAV 開發操作簡單、作業快速且成本相對較低之「橋梁構件影像自動擷取系統」，相關結論及建議事項如下。

8.1 結論

- (1) 資料蒐集：蒐集和說明國內外有助於提升橋梁檢測作業效率及品質之儀器、設備、技術及相關應用方式，包含迷你型橋梁檢測車、遙控飛機、3D 雷射攝影技術、影像辨識及其他特殊橋梁檢測設備。
- (2) 規劃可行方案：本計畫除評估前述儀器、設備及技術整合應用於橋梁目視檢測作業之可能性、經濟性及實用性外，並據以規劃應用 UAV 的橋梁構件影像自動擷取系統。
- (3) 進行系統開發：本計畫已建置一可基於檢測人員需求而形成之 4 軸或 8 軸 UAV，亦透過實地測試了解該 UAV 於強風下之穩定性、電力損耗情況和 GPS 精確情形，並針對該 UAV 開發可於 Android 平板電腦上使用之地面控制系統。
- (4) 現地測試及回饋修正：本計畫已完成應用橋梁構件影像自動擷取系統於八座橋梁(新大崛溪橋、台 61 號快速道路、牛欄河 2 號橋、內灣大橋、自強橋、羅浮橋、巴陵大橋和圓山橋)之現地測試，並針對測試中所發現之缺點進行修正。針對自強橋，本計畫比較了本系統與 3D 雷射掃描之差異。同時，對於測試期間所取得之影像，本計畫亦開發了一可初步辨識橋梁構件劣化之桌上型電腦應用程式。
- (5) 成果推廣：本計畫於 103 年 11 月辦理三場次教育訓練，除室內講解外，亦提供室外操作指導。依據問卷調查結果，88.6%學員認為本計畫針對 UAV 開發之「橋梁構件影像自動擷取系統」可提升橋梁檢測工作效能，顯示本計畫成果確有助於協助相關單位提升橋梁檢測作業效能。

8.2 建議

- (1) 全自動飛行與障礙物偵測：本計畫已實作出全自動飛行模式，但礙於現地障礙物之干擾，目前僅能讓 UAV 半手控飛行。如未來能加入障礙物偵測與迴避功能，全自動飛行模式將指日可待。

- (2) 定位系統的改善：本計畫 UAV 係透過 GPS 進行定位後始能達成自動飛行。儘管 GPS 在空曠地區具備極高之精確性，但遇到衛星訊號不穩定時(如橋面板下、氣候惡劣下)，UAV 的自動飛行將面臨不確定性而易生危險，因此，建構另一輔助定位系統或許可改善此項限制。
- (3) 完整檢測長大橋梁之測試：為檢測長大型橋梁，須研究目前機型延長飛行時間之方法、採購 UAV 商業機型規格之建議等。
- (4) 整合橋梁管理系統：本計畫已實作出可與 TBMS2 整合之橋梁構件影像自動擷取離型系統，未來可賡續強化相關功能，使橋梁檢測更有效率。
- (5) 橋梁劣化影像進階辨識：本計畫已完成橋梁劣化區塊之初步辨識功能，但如何更明確歸納劣化類型與劣化範圍將是未來可進行之研究方向。
- (6) 檢測其它交通設施之可行性：可透過現地實測方法了解 UAV 是否有能力進行其他交通設施。
- (7) 持續了解國內 UAV 法規限制：儘管目前國內尚無明確 UAV 的使用法規，但於本計畫進行期間，已知相關單位已著手研擬相關法規，故未來仍須持續了解國內法規限制。

參考文獻

1. 中華顧問工程司，混凝土、鋼橋一般檢測手冊，臺灣省住宅及都市發展局，1996。
2. 昭凌工程顧問有限公司，公路橋梁一般目視檢測手冊，交通部臺灣區國道高速公路局，1996。
3. 國立中央大學土木系橋梁工程研究中心，混凝土橋梁檢查手冊，臺灣省交通處公路局，1997。
4. 黃宣菁，臺灣地區公路橋梁管理系統架構之研究，碩士論文，國立中央大學土木工程學系，1997。
5. 姚乃嘉、任以永、李俊憲，「地理資訊系統在橋梁管理之應用」，營建管理季刊，第三十九期，P.20-29，1999。
6. 唐治平、蔣偉寧、施建志、莊秋明、林呈、周憲德，橋梁設計維修支援系統之建立(II)-國內現有自然災害危害評估及防治方法之整合研究，交通部科技顧問室，2000。
7. 蔣偉寧、姚乃嘉等，建立臺灣地區橋梁管理系統研究報告，交通部運輸研究所，2001。
8. 姚乃嘉、李俊憲，「以生命週期為導向之橋梁資訊管理系統之發展策略」，生命週期導向之橋梁管理系統研討會，2002。
9. 陳生金、黃慶東、楊國珍等，橋梁耐震能力評估準則之建立研究報告，交通部公路總局，2003。
10. 交通部，公路養護手冊，交通部技術標準規範公路類公路工程，2003。
11. 唐治平、蔣偉寧、莊秋明、李錫堤、林呈，高快速公路橋梁鄰近區域之自然災害度潛勢分析研究報告，交通部公路總局，2004。
12. 蔣偉寧、顏上堯、姚乃嘉、許文科、洪東謀，橋梁重要程度等級之建立研究報告，交通部公路總局，2004。
13. 蔣偉寧、姚乃嘉、王仲宇等，生命週期導向之橋梁資訊管理系統建立及維護管理作業自動化技術開發研究報告，交通部科技顧問室，2004。
14. 楊振翰，臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展之研究，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2005。
15. 廖先格、姚乃嘉，臺灣地區橋梁管理系統介紹，橋梁維護管理訓練講習課程講義，交通部運輸研究所，2006。
16. 國立中央大學，臺灣地區橋梁管理資訊系統橋梁資料檢核計畫研究報告，交通部運輸研究所，2007。
17. 國立中央大學，縣市政府老舊及受損橋梁整建計畫(二)研究報告，交通部運輸研究所，2009。
18. 國家地震研究中心，公路橋梁耐震評估及補強準則之研究成果報告，交通部公路總局，2009。

19. 國立中央大學，臺灣地區橋梁管理資訊系統橋梁資料查核計畫研究報告，交通部運輸研究所，2010。
20. 張文鴻，以三維模型輔助橋梁目視檢測之研究」碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2012。
21. FHWA, Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the National's Bridges, FHWA, 1995.
22. Dan M. Frangopol, Bridge Life-Cycle Cost Analysis And Life-Cycle Management: A Brief Retrospective And Future Trends, International Forum on Integrated Life-Cycle Management of Infrastructures-Bridges (2003) 1-21.
23. U.S. Department of Transportation, Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991, U.S. Department of Transportation, 1991.
24. Reed M. Ellis, Paul D. Thompson, Rene Gagnon, and Guy Richard, Design and Implementation of a New Bridge Management System for the Ministry of Transport of Québec, Bridge Maintenance, Safety and Management - IABMAS'10: Proceedings of the Fifth International IABMAS Conference, 2010.
25. Miguel E. Ruiz, Eduardo A. Castelli, and Tomás A. Prato, A new Bridge Management System for the National Department of Transportation of Argentina, Bridge Maintenance, Safety Management, Health Monitoring and Informatics - IABMAS '08: Proceedings of the Fourth International IABMAS Conference, 2008.
26. H. Furuta and E. Watanabe, Bridge maintenance and practical bridge management systems in Japan, Bridge Maintenance, Safety and Management - IABMAS'10: Proceedings of the Fifth International IABMAS Conference, 2010.
27. T. Matsui, Y. Wada, S. Sakai and T. Yasuzato, Approach for bridge management using BMS in West Nippon Expressway Company Limited, Bridge Maintenance, Safety and Management - IABMAS'10: Proceedings of the Fifth International IABMAS Conference, 2010.
28. Arne Henriksen, Bridge Management—Routine Maintenance: Recent Experience with the Routine Management Module in the DANBRO Bridge Management System, Transportation Research Board, Washington, DC, 2000.
29. Bryan T. Adey, Leo Klatter, and Jung S. Kong, Overview Of Existing Bridge Management Systems, The IABMAS Bridge Management Committee, 2010.
30. Nie-Jia Yau, Hsien-Ke Liao and Jean-Shiann Lee, "An Overview of Taiwan Bridge Management System (T-BMS)," Construction and Professional Practices, Proceedings of the tenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-10), Bangkok, Thailand, 3-5 August, 2006.
31. Nie-Jia Yau and Hsien-Ke Liao, "Development of Bridge Management System in Taiwan," Proceedings of the 5th International Conference on Construction Project

Management / 2nd International Conference on Construction Engineering and Management, 1-2 March 2007.

32. Nie-Jia Yau and Hsien-Ke Liao, "Visual Inspection and Evaluation for Special Bridges," Proceedings of 2007 International Symposium on Integrated Life-cycle Design and Management of Infrastructure, 16-18 May 2007.
33. J. Bien, "Modelling of structure geometry in Bridge Management Systems," Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vo. XI, No. 3, pp. 519-532, 2011.
34. Z. Mirzaei, B. Adey, L. Klatter, and J. Kong, The IABMAS Bridge Management ZCommittee Overview of Existing Bridge Management Systems, 2012.
35. InspectTech Collector Mobile, Bentley's software. <http://www.bentley.com/zh-TW/Free+Software/InspectTech+Collector+Mobile.htm>, accessed on December 22, 2013.

附件一 使用 UAV 專家訪談紀錄

UAV 專家訪談紀錄 I

日期: 2014/6/12(四)

地點: A 研究機構

訪問專家: 王○○、葉○○

UAV 規格	
UAV 型號	Microkopter、Microdrone
機體重量	目前機體本身控制在 1.5~3 公斤
價格	高階:30~100 萬以上 中階:10~25 萬 低階:3~8 萬 目前 A 研究機構使用中階
幾軸幾旋翼	四軸、六軸、定翼式。 目前都使用 6 軸。
電池數量及安培數	3S、11.1 伏特、5000mAh
操控裝置	☒ 遙控 ☐ 平板
是否為自組裝	☒ 是 ☐ 否
是否有 GPS 定位	有，mission planner (免費軟體)
最長飛行時間	10~15 分(基本)， 最長可高達 40 分(並聯四顆電池)
最遠距離	1~1.5 公里
最高飛行高度	500 米

攝影機規格	
攝影機型號	GOPRO
攝影	☒ 動態 ☐ 靜態
是否可遠端操控(變換焦距)	可，且能左右移動控制
是否可遠端操控變換角度	可，並且有加裝水平儀，讓機身在晃動時不至於讓鏡頭隨之移動(但劇烈的強風還是無法避免)。
是否可看到即時影像	可
操作 UAV 與拍攝是同一人或分兩人	同一人
攝回之影像如何應用	觀看水土保持的狀況並且分析。 使用回傳拍攝不同角度的照片做 3D 的建模。

橋梁檢測部分：

(1) 橫跨峭壁之橋梁如何檢測？

遇到順逆風時來回速度很難掌控，所以要注意風向以免造成飛機墜落。

(2) 是否使用過其他特殊橋檢工具？

熱氣球→但氦氣很貴不符成本，球體本身收放耗時且不好控制方向，球體大小也較侷限。定翼式飛機→如遇順逆風飛行時間耗時且難以控制。

其他：

葉○○：

希望 UAV 可廣泛使用在特殊橋，因特殊橋檢測費較高、橋的高度也相對高、距離長、河川湍急且邊坡陡峭難以到達。

王○○：

- (1) 因臺灣還未對 UAV 正式立法，所以都參考美國的法律，規定其行使高度控制在 500 米以下。
- (2) 目前本機構採半手控飛行，但此技術侷限於地形及環境的影響尚未克服。
- (3) 如要增加橋梁劣化辨識，相機部分可結合紅外線照相機。

- (4) 提供 UAV 檢測時的經驗步驟: (1) 拍攝影像→(2)利用拍攝回來的相片建模→(3)再利用不同的 sensor 拍攝(例如:紅外線)→(4)進行影像辨識。
- (5) 可向 A.I rider 進行訪談(全台第一個自裝 UAV)，因經驗豐富且有很多資訊可請教。

UAV 專家訪談紀錄 II

日期：2014/6/25(三)

地點：B 橋梁管理機關

訪問專家：徐○○、蕭○○

UAV 表	
UAV 型號	無
機體重量	3KG(含電池)
價格	10 萬元以內
幾軸幾旋翼	6 軸(因 4 軸載力較小，8 軸價格過高)
電池數量及安培數	4S 5000mAh x 2 (並聯)
操控裝置	☒ 遙控 ☐ 平板
是否為自組裝	☒ 是 ☐ 否
是否有 GPS 定位	有。山區(如北橫)GPS 訊號不佳時，使用 GPS 導航很容易因失去訊號而不受控制，因此還是以人工操控為佳。
最長飛行時間	20 分鐘
最遠距離	
最高飛行高度	300~400 米
平均飛行速度	
抵抗之風速	4 級以下
攝影機規格	
攝影機型號	GoPro
攝影機重量	72 克
價格	8,000~14,000
攝影	☒ 動態 ☐ 靜態

解析度	1920x1080(雖可有更高解析度，但 1080p 已相當足夠)
影像儲存設備	Micro SD Card
是否可遠端操控 (變換焦距)	可透過 Wifi 操控 GoPro 拍攝，但無法變換焦距。
是否可遠端操控 變換角度	可透過遙控器操作攝影機雲台，變換攝影機角度。
是否可看到即時影像	可，透過 OSD(5.8GHz)即時回傳。
是否防水	可裝防水殼。
操作 UAV 與拍攝 像是同一人或分兩人	操作 UAV 與拍攝是同一人，但另有一人負責回報 UAV 位置，注意是否會撞到橋梁或障礙物，另一人負責注意附近來往車輛，確保團隊成員安全。
攝回之影像如何應用	透過人工檢視，判斷橋梁是否有劣化、檢視邊坡滑動情形、紀錄施工過程。攝回之資料保存起來很重要，對之後接手的工程師（若有人事異動）有很大幫助。

橋梁檢測部分：

- (1) 使用 UAV 做過哪些橋梁檢測？
龍門橋、金龍橋、羅浮橋。
- (2) 為何使用 UAV 檢測這些橋？
跨度大、難以下至橋下(或即使下去也只能看到部分跨)、路燈多難以使用橋檢車進行檢測。
- (3) 超高橋墩橋梁如何檢測？
目前轄區無超高橋墩橋梁，且多以鋼橋為主。
- (4) 橋下非常難以到達之橋梁如何檢測？
使用橋檢車，但橋檢車一工處僅一台，各工務段需輪流使用。
- (5) 橋下水相當深又無可下橡皮艇處之橋梁如何檢測？
透過潛水人員進行檢測。
- (6) 橋下均為爛泥無法通行之橋梁如何檢測？
目前沒有該類橋梁。
- (7) 梁底距離水面不足 1 米之橋梁如何檢測？
目前沒有該類橋梁。
- (8) 橫跨峭壁之橋梁如何檢測？

使用橋檢車，或盡可能至能觀測之位置使用望遠鏡察看。

(9) 是否使用過橋檢車進行檢測？

有使用過，但梁深較深之橋梁不見得能夠拍得清楚。

(10) 是否使用過高空作業車進行檢測？

工務段沒有，但委外廠商有使用過。

(11) 是否使用過其他特殊橋檢工具？

沒有。

其他：

(1) UAV 之缺點：

隔梁因角度及光線關係，很難看清楚。

(2) 針對缺點有何建議方案？

河口風大較難操作，建議利用夏天或清晨較無風時進行檢測，8~9 點開始起風後就很難操控了。橋下飛行要輕巧，大台 UAV 雖穩但不夠靈活。

(3) 補充：

UAV 若損壞是自行維修。橋下光線雖不足，但使用 GoPro 攝回之影像在電腦上看是夠亮的。(也可針對不同構件，先在 GoPro 調光後再進行拍攝)。

請專業廠商來飛，一天要價 10 萬，或是一個定點 2 萬。

附件二 期中簡報委員意見回覆表

委員姓名	審查意見	研究團隊回覆	本所計畫 承辦單位 審查意見
鄭委員明淵	應用 UAV 進行橋梁檢測所需人數為何？如為 3 人一組，則報告書表 2.2 中有關 UAV 人力需求較低之比較結果需再調整。在檢測高度限制方面，報告書中提及 UAV 的高度規格是 5~7m，以現場實際環境而言，該限制其實很大，惟表 2.2 之比較結果卻顯示 UAV 在高度上之限制較低，其間論述不甚合理，請併檢討修正。	人力需求最多 2 人即可，若熟悉的話，1 人也可以操作。報告書中提及 UAV 的高度 5~7m 是指在飛行測試時的監控高度，非指真正可飛行的高度。本團隊估計國內橋梁的高度皆可用 UAV 檢測。在報告書的名詞上，團隊會作修正。	同意。
	不同橋型、不同部位的最適 UAV 檢測方式應不相同，建議研究團隊針對各種樣態提出建議，並提供操作手冊或注意事項供參。	目前找到最適合的 UAV 並撰寫控制的程式，證明使用 UAV 檢測橋梁是可行的。本團隊未來會進行注意事項的撰寫。	同意。
	報告書表 4.3 穩定性測試比較表、表 4.4 耐久性比較表及表 5.1 自動飛行比較表中，所比較的 UAV 型式不大一致，原因為何？請予說明。	期中報告 P31 頁已有相關說明，於現地是以 X-4 軸測試，未來會補充說明（因先決假設 X-4 軸是這三種機型裡面最差的，若最差的可以達成，更好的也可以達成），也會補上 X-雙 4 軸和 Y-6 軸的測試。	同意。
	各 UAV 機種的飛行距離限制及各種航線的飛行速度建議為何？如何設定自動飛行路線？UAV 於空中盤旋時，能否拍照？均請補充說明。	飛行長度是依據所選的電池計算。期中報告中的 P31 頁中有說明目前自動飛行設定為 3m/s，於往後的報告中，會更清楚說明此限制。	同意。
	未來可考慮將飛行路線及相關指令放到第 2 代 TBMS 中，讓使用者可將飛行路線或指令下達到 UAV 後自動飛行。	目前飛行上有困難的部分是因 TBMS2 系統內的 GPS 有誤差，本團隊會未來會盡量設法克服。	同意。

	報告書第 46 頁提及 UAV 自動飛行無法檢測所有的橋梁構件，故建議用手動控制，惟其它章節中卻又提及手動控制仍會有許多問題，相關文句論述不一，建議調整明確。	依委員意見辦理。	同意。
	報告書第 52 頁所示檢測成本及檢測橋數關係圖究係如何求得？評估方法及參數為何？請補充說明。	該頁係以目前的 UAV 方案與坊間的 UAV 商業服務做比較，而非所有檢測方法之比較。	同意。
陳委員進發	由目前研究成果來看，UAV 應該無法取代現有的橋梁檢測車，由於各類檢測工具均有其優劣，故表 2.2 所示比較表實應更客觀調整，並儘量用量化方式呈現。	依委員意見辦理。	同意。
	UAV 對於檢測臨海的長垮距橋梁應有幫助，但臨海環境常有強風出現，如能克服，則價值會很高。此外，UAV 對於一般很難檢測的斜張橋，也許會很有幫助，併供參考。	本團隊將對使用 UAV 的適用狀況做清楚的敘述，並說明應注意之事項。	同意。
趙委員啟宏	國內是否有 UAV 廠商，未來各橋梁管理單位使用 UAV 進行橋梁檢測時，是否會面臨特殊採購問題？另請補充說明國外是否已有其他運用 UAV 進行橋梁檢測案例。	國外已有運用 UAV 進行橋梁檢測案例，於先前的報告中有說明，日本用的設備金額大約是台幣 300-600 萬元左右並由專人操作。本研究計畫目標是希望將設備的金額控制在 10-20 萬左右，提供國內橋梁檢測多一項工具的選擇。	同意。
	操作 UAV 具有一定風險，現行 UAV 設備是否有防撞雷達功能，使用者如何能在不傷人情況下，把設備安全帶回，均為重要課題。	本團隊將於後續評估如何進行障礙物偵測以確保人機安全。	同意。
	使用 UAV 進行橋梁檢測會否有適法性問題？請補充。	國內目前尚未有具體的規範。大陸的規範為遙控半徑為 500 米，高度 120 米之內的情	同意。

		況下，是不需任何執照。	
	本研究 UAV 採用之通訊協定，與國內商業常用之頻譜範圍是否重疊？會否因而受到干擾？甚至衍生其它安全問題？請補充說明。	本計畫所採用之通訊頻率為 433MHz 屬符合 NCC 規範。	同意。
	UAV 並非唯一工具，其所能取代的狀況為何？應再釐清。	本團隊將對使用 UAV 的適用狀況做清楚的敘述，並說明應注意之事項。	同意。
邱委員永芳	人為手動操控的能力要超過自動時，才能取代自動，但實際上人為操控的難度非常高，如何訓練也是個問題。按過去研究經驗，由於手動操控的難度過高且人員訓練不易，故建議採用外包方式，讓專業人士辦理。	若有足夠的經費能夠委外拍攝，可採用此方式。但若考量到的是大量的橋梁，讓直升機能自動化飛行，就可相對節省經費。	同意。
	臨海橋梁的風速較高，經常會超過 4 級，且 GPS 誤差至少達 30M，故使用歷史飛行軌跡進行 UAV 檢測有其困難，依據過去研究經驗，透過影像處理方式，將所有拍回影像轉換為正射影像後，再作決策應用，會較為可行。	本團隊將於後續確認所使用 GPS 模組的誤差，並參考委員意見評估採用正射影像轉換的可行性。	同意。
	建議針對相同環境反覆測試比較，先嘗試律定出誤差範圍後，再進一步評估歷史飛行軌跡，會較可行。	依委員意見辦理。	同意。
許委員書耕	利用 UAV 進行橋檢之目的、需求及功能等課題應再釐清。	依委員意見辦理。	同意。
	在遙遠端利用 UAV 把現場資料拍攝回來，在技術上雖然可行，然因可能會衍生出許多安全及保安問題，故在法規上終究是不可能被允許的，因此在目的方面，UAV 主要是人員可抵達現場，但卻不易趨近檢	本團隊將對使用 UAV 的適用狀況做清楚的敘述，並說明應注意之事項。	同意。

	測橋梁時之替代工具。		
	在設備需求方面，建議先思考 TBMS2 所需要的料為何？因 UAV 作的是全域掃描，但實際需要的可能只是缺失記錄。	希望盡量將 TBMS2 所定義的構件全部都進行拍攝，以進行劣化缺失的判識。但也許部份構件（如支承墊）仍無法拍攝。	同意。
	歷史飛行軌跡的好處是可以重覆使用，但現場環境會不斷改變，故如何比對，甚或比較，均應思考清楚。	本團隊會測試使用重複軌跡的適用性。	同意。
	在功能設計方面，全自動飛行是一種方式，但隨後的自動辨識技術應跟進，才不會失去自動化意義。如現階段只能達到半自動化，則應提供其飛行時所需參考資料，如拍攝大梁時應該沿著某平行線或垂直線飛行拍攝？應該維持何種速度或條件才能兼顧穩定度？	本團隊希望能夠自動化，減少人力上的訓練。若人員所看到的裂化狀況，透過 UAV 盤旋後再繼續自動化飛行的路徑，也許是可進一步研究之方向。	同意。
交通部 路政司	使用 UAV 檢測橋梁及拍攝影片時，建議採與里程同向之方式檢測，除較符常規外，亦可增加影片資料的可讀性，使後續的讀片人員能快速直觀的了解過去調查結果。	於系統中有將 GPS 與拍攝的影像結合，點選系統畫面中的定點可看相對應的照片。	同意。
	除飛行檢測外，是否需在橋體上作適當記號，以讓後續讀片人員便於判斷、記錄，甚至開放用麥克風記錄現場人員口述內容，及如何將影片時點及位置串聯，以方便查詢，亦可再深入研究。	不需在橋體上作適當記號，因於系統中可將 GPS 與拍攝的影像結合。	同意。
	請針對國際上的橋梁檢測方式進行資料收集，以供參考。另請嘗試針對 UAV 橋梁檢測整理制度化 SOP 供參。	依委員意見辦理。	同意。
高公局	本案對現場橋梁檢測具正面助益，本局樂觀其成，請研究	本團隊會持續努力。	同意。

	團隊持續努力。		
公路總局	本局山區橋梁及長跨跨河橋梁較有需求，惟 UAV 受風力限制及 GPS 接收問題，建議多進行穩定性風力測試與採用自訂控自點及相對座標方式克服 GPS 接收問題。	本團隊將再測試各 UAV 機型承受風力的程度。 山區的部分，若可以使用控制點，加上相對座標或相對距離的測試，或許就可以脫離 GPS 不穩定或誤差的情況，但此部份仍須進一步測試。	同意。
	UAV 主要針對橋梁支承、大梁、橫梁、橋面版、帽梁、止震塊、橋墩等進行拍照檢測，建議再提供上述構件實際拍照情形與裂化判讀難易說明。	目前有困難，支承必須靠近大梁才看的到，目前本團隊只做大梁下的飛行，這部分本團隊會盡可能嘗試。	同意。
	UAV 路徑規劃、電池航行能力判斷、人員技術操控等等之相關問題，建議主辦單位規劃整體性訓練課程及建置相關手冊供參。	目前本計畫之成果與實用性仍有一段距離，本團隊將只能針對在某種限制之下，如何以 UAV 進行檢測做教育訓練。此部份將會盡量註明應注意之事項。	同意。
	UAV 應有變焦伸縮鏡頭，裂化狀態方能清晰判讀。	目前所採用的動態攝影機無此功能，本團隊將於後續評估搭載可變焦伸縮鏡頭攝影機之可行性。	同意。
鐵路局	本局進行橋檢時經常只能在遠處使用望遠鏡遙望，無法趨近觀察，故使用 UAV 進行橋檢實具發展潛力，特別是人力無法輕易抵達且存有安全疑慮之橋梁，相關操作安全性如能提高，本局樂觀其成。	本團隊將於後續進行障礙物偵測評估以提高使用安全性。	同意。
	報告書表 4.3 所列變數太多，實驗的地點也都不大一致，爰相關比較及建議結果之說服力較為薄弱，建議再予強化。	依委員意見辦理，未來會設法將一些變數做統一與一致性的設定之後，期末再提供一份穩定性測試的報告。	同意。
	對使用者而言，電力警示訊息非常重要，故請思考如何顯示相關資訊。此外，UAV 容易	系統可控制電力若在 10% 或 20% 以下，UAV 就要強制返回，其安全性較高。在注意事	同意。

	摔機，如能在使用說明書上列出相關責任分擔，則基層使用意願也許會較高。	項中會註明使用之注意事項，如使用者能遵守，即已盡其應注意之責任。	
本所 港研中心	使用 UAV 自動飛行，如何確認橋墩位置與設定飛行速度及盤旋速度？請予說明並納入操作手冊供參。	本團隊將對使用 UAV 的適用狀況做清楚的敘述，並說明應注意之事項。	同意。
	本中心過去曾前往台 21 線天福大橋進行 UAV 實測，按過去經驗，飛行是個問題，回來後的影像校正及定位也是個問題，由於相關資料分析及處理非常繁複，故能否透過自動化程式處理，請說明。	本團隊將於後續評估影像自動化處理之可行性。	同意。
	本案研究成果如何與 TBMS2 結合？如何與 3D 構件定位及匹配？UAV 適用條件及範圍為何？均建議再予釐清。	本研究目前可達成的部分，僅為將拍攝到的動態影像輸入到 TBMS2 做一紀錄。	同意。
本所 運計組	迷你橋檢車之作業效率、適用範圍、應用限制及每 m^2 檢測成本為？爬行檢測車於橋檢方面之發展情形及相關成本為何？請詳加說明。	遵照辦理並於期末報告中說明。	同意。
	請將「搖控潛艇」及「國外 UAV 相關法規」納入文獻回顧範圍，詳加搜集說明。	遵照辦理並於期末報告中說明。	同意。
	本研究 UAV 操控所採用之地面控制程式可否開放一般橋梁管理機關使用？請予說明。	本研究 UAV 操控所採用之地面控制程式按合約規定應者開放一般橋梁管理機關使用。	同意。
	使用者如何利用「航點計畫模組」判斷 GIS 圖資與現地間之差異？當差異值達多少應予校正？且如何校正？均請補充說明。	本團隊將進行相關測試，並於期末報告中說明。	同意。
	UAV 同機同航線之穩定性為何？如穩定性差異頗大，則可能影響因素為何？	遵照辦理並於期末報告中說明。	同意。

	地面控制程式「語音導引」功能及使用方式為何？請予說明。	此功能為 UAV 飛行過程中將所有訊息以語音方式回報給使用者了解，將於期末報告書中加以描述。	同意。
	請嘗試律定出各種條件(風速、衛星數)下的適用範圍(橋下空間、航點類型)。另飛行時間及飛行速度的建議為何？均請補充說明。	本團隊將對使用 UAV 的適用狀況做清楚的敘述，並說明應注意之事項。	同意。
	UAV 應用於橋梁檢測的作業效率、適用範圍及每平方米檢測成本(含後處理)為何？請予量化評估。	遵照辦理。	同意。
	使用 UAV 進行橋檢之整體操作流程為何？請補充。	遵照辦理。	同意。
	本研究 UAV 拍攝影像如何與 TBMS 結合，請予補充。	遵照辦理。	同意。
	報告書中照片請用原始比例呈現，不要扭曲。	遵照辦理。	同意。
	報告書中「台灣地區橋梁管理系統」文句，請調整為「臺灣地區橋梁管理資訊系統」。	遵照辦理。	同意。
主席結論	請研究團隊持續蒐集國內外相關應用案例，並提出適用範圍、條件及操作手冊供參。另能否運用參考座標或基地台提高操作穩定性？請予評估。	遵照辦理。	同意。
	本次期中報告審查原則通過，請研究團隊將與會委員及各單位代表所提意見納入考量，並製作對照表回應說明。	遵照辦理。	同意。

附件三 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統操作手冊

一、簡介

UAV 橋梁構件影像自動擷取系統為使用無人飛機於輔助橋梁目視檢測之工具。本系統可分成硬體（遙控直升機）和本計畫開發之操控軟體（AutoCopter）兩部分進行介紹。UAV 硬體泛指具飛行能力之遙控直升機。圖 1 為 UAV 硬體之分類。這些硬體均可視使用者需求而自行搭配組裝。若使用者無相關組裝經驗或知識，亦可直接採購坊間的整套 UAV。



圖 1 UAV 硬體模組

UAV 軟體係為具備能與 UAV 硬體進行資訊溝通之控制系統，又被稱為地面控制程式(Ground Control Program, GCP)。基於安裝 GCP 的裝置，例如筆記型電腦、平板電腦，使用者亦可選擇不同的 GCP。

由於目前坊間的 UAV 飛行控制器和 GCP 已多達數十種之多。這些 UAV 飛行控制器和 GCP 彼此之間可能不相容。為減少使用者花費過多時間於選擇 UAV 和 GCP，本手冊針對 Mavlink 通訊協定的 UAV 飛行控制器(例如 APM、Pixhawk、SmartAP 等)，介紹一安裝於 Android 平板電腦的 GCP，即 AutoCopter。

二、UAV 選購

根據本計畫的現地實測，過大的機體不僅自身重量大且靈活度較低。例如，若 UAV 腳架過高，在低橋墩下，機體碰撞河床的可能性將遽增。因此，檢測人員應視橋梁現地環境進行機體的選擇。以新大崛溪橋為例，軸距 550 公釐的 X-四軸可能比 680 公釐的 X-六軸有更好的飛行能力。在風力影響不大下(三級風以下)，本計畫認為 X-四軸即已足夠。若考量風力影響(四-六級風以下)，Y-六軸或 X-八軸能具備較佳穩定性。因為 X-八軸又可與 X-四軸共用機架，且電力耗損與 Y-六軸相差不遠，故 X-八軸是一較佳方案，唯後續維修會較 X-四軸和 Y-六軸較費時。七級風以上(輕度颱風約八級風)，本計畫認為已不適合使用 UAV。

若決定自行組裝 UAV，所需之主要零組件為有：

- 飛行模組:飛行控制器；
- 控制模組:GPS、數位傳輸器、遙控通訊器；
- 電力模組:Lipo 電池；
- 動力模組:電子變速器、無刷馬達、正反槳；
- 影像模組:雲台、數位相機、圖形傳輸器。

亦可洽詢下列廠商採購整套 UAV。

- 3D Robotics (<https://store.3drobotics.com/>)
- SteadiDrone (<http://www.steadidrone.com/drones/steadidrone-x>)
- DroneShop.Biz (<http://www.droneshop.biz/>)
- Victorian UAS (<http://www.victorianuastraining.com.au>)
- 中央大學防災中心 (<http://www.ncu.edu.tw>)

三、UAV 安全須知

根據各國相關 UAV 管理法規，操作者應注意的安全事項為：

- 飛行高度不應超過 120 米。
- 機體重量不應高過 5 公斤。
- 不得在機場交通區域或任何機場 5 公里範圍內操作。
- 不得在任何人士、船隻、車輛或構築物上空或其 50 米範圍內飛行。
- 不得在任何人士上空或其 30 米範圍內飛行，且操作員必須在場。
- 地面能見度不得少於 5 公里。
- 地面風速不得超過 20 海里(約 7 級風)。
- 當暴雨警告、熱帶氣旋警告或強烈季候風信號生效時，不得放飛。
- 操作員有責任確保無人機系統不會危及任何人士或財產。
- 不得裝載危險物品及不得投下物品。
- 不得干擾航空交通操作或航空導航設備。

四、適用 UAV 的橋梁

UAV 僅是一種輔助橋梁目視檢測之工具，並不能完全取代現在已存在的各種檢測方法。同時，受到橋梁類型與現地環境等因素，UAV 並不能蒐集到所有橋梁和構件之影像。圖 2 為適合使用 UAV 的橋梁，即牆面最長寬度小於 60 米、橋底距河面最小高度 5 米、橋跨最短長度大於 10 米、橋墩為單柱型式。同時，自動飛行的水平與垂直範圍 6 米內應完全無障礙物(如樹叢、電線桿)存在。

另外，UAV 的高程計算是以所在位置當基準點，若 UAV 與橋梁在同一水平面上，基準點以下將視為負高程(圖 2)。本系統的正高程與負高程可達 100 與 20 米。然而，直接將 UAV 架設於橋面對人車均有一定危險性。例如 UAV 升空時需要一定飄移空間。故本計畫建議在現地檢測時，UAV 應設法架設在低於橋梁的位置。

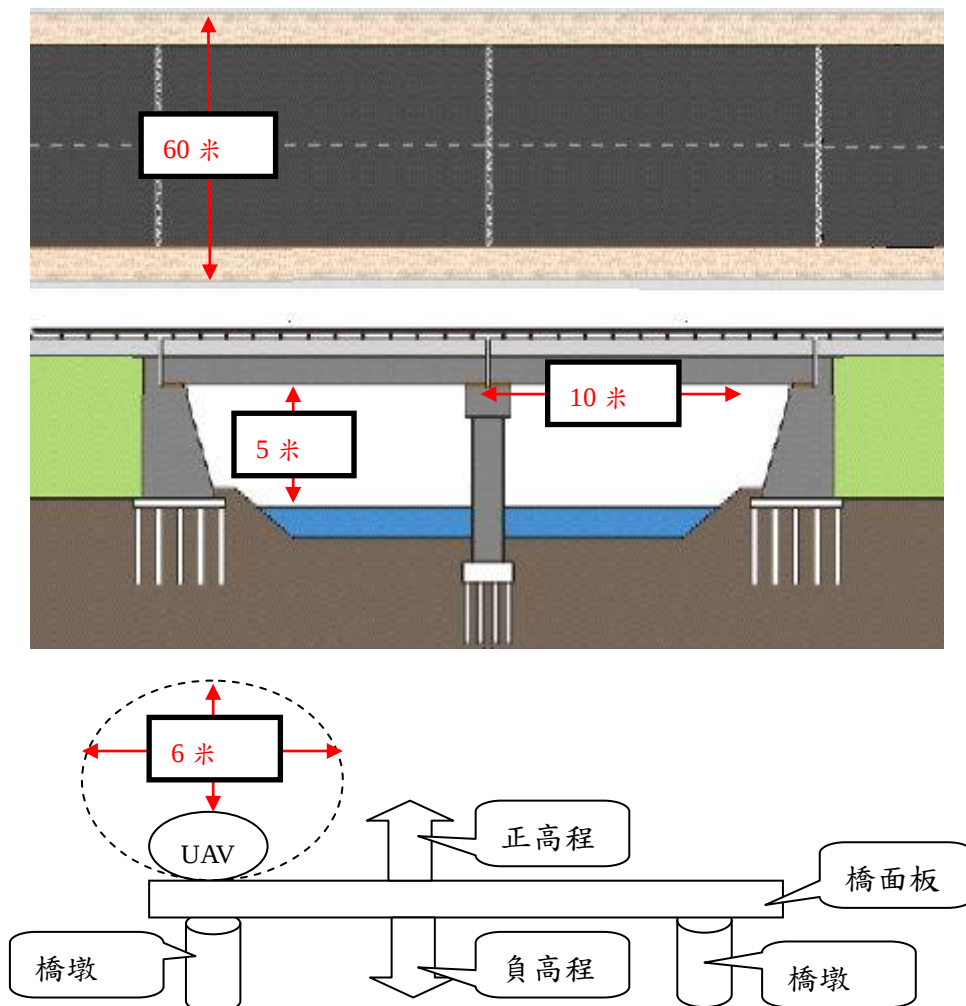


圖 2 橋梁高度、寬度、跨距與 UAV 架設限制

五、使用 AutoCopter 於橋梁檢測

當橋梁構造符合上述限制條件時，本手冊於此章節說明如何透過 AutoCopter 控制 UAV 以自動蒐集橋梁構件影像。礙於現階段的 UAV 自動飛行模式需倚賴 GPS 定位，故 UAV 所接收到的衛星數應至少六顆，該項限制會由 UAV 飛行器判斷，若衛星數不足，UAV 會發出警告且無法以任何模式啟動 UAV。同時，UAV 多數零組件為電子產品，本系統目前無法偵測與避免這些零組件的突發故障發生。以七座橋梁現地試驗為例，飛行總數超過 50 次，單次飛行距離均超過 250 米，過程中曾發生 1 次馬達不運轉而導致 UAV 摔落。因此，進行現地檢測前，裝備的反覆檢查可降低突發故障的可能性。

由於 AutoCopter 包含四個主要模組(航點計畫模組、飛行數據模組、切換相機模組和 DERU 填表模組)，圖 3 為這些模組於橋梁現地之使用時機與流程，說明如下。

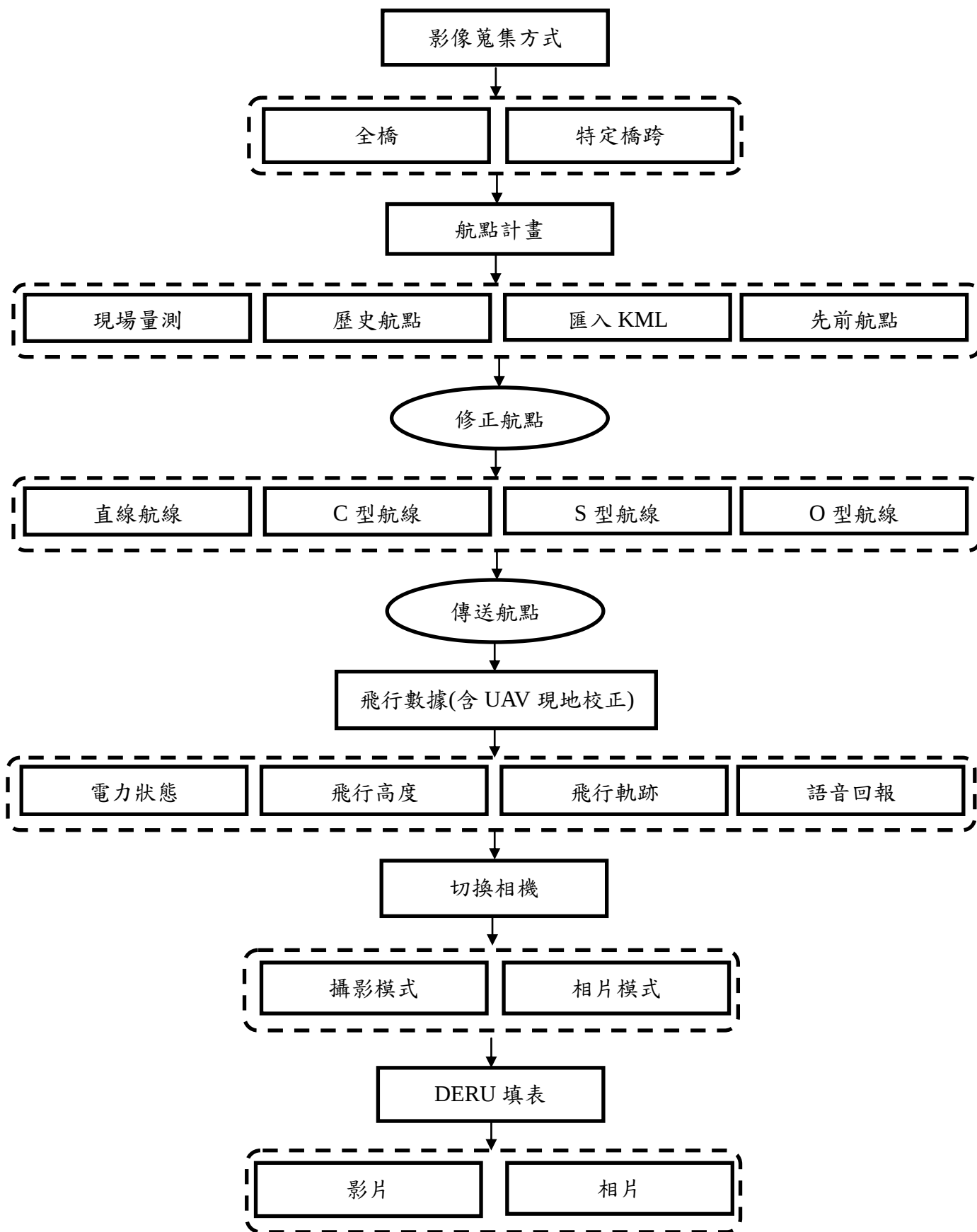


圖 3 使用 UAV 和 AutoCopter 蒐集橋梁構件影像流程

- 橋梁檢測方式：當使用者於橋梁現場時，可依據橋梁所處環境決定 UAV 將進行全橋或特定橋跨(例如圖 2 的第 2 橋墩為跨河橋墩)的橋梁構件擷取方式。
- 航點計畫：確定影像擷取方式後，使用者將規劃 UAV 飛行航線。圖 4 顯示 AutoCopter 提供了四種飛行計畫的產生方式。
 - (1) 現場量測 - Google Maps 所展現的地圖通常與真實環境具有數十公分至米的誤差。若直接於 Google Maps 上描繪飛行航線，UAV 恐有撞擊障礙物之虞。故本使用手冊建議使用者於橋面行走一次後，藉由 GPS 的定位取得參考基準線後，再依此基準線直接描繪飛行航線。
 - (2) 歷史航點 - 直接載入過去已儲存於 AutoCopter 的飛行航線。
 - (3) 匯入 KML - 載入使用者已預先規劃好的飛行航線(例如透過 Google Earth)，該航線為 KML 檔案。
 - (4) 先前航點 - 使用者匯入 UAV 飛行器所儲存的前次飛行航線。



圖 4 執行航點計畫

- 修正航點：由於橋梁構件多達 21 種，故使用者得依欲拍攝的橋梁構件將這些航點建立成四種主要航線。

(1) 直線航線(圖 5)- 透過此航線，UAV 可擷取一定範圍之橋面版或鉸接版、伸縮縫、摩擦層、排水設施、護欄、緣石及人行道影像；



圖 5 直線航線

(2) C 型航線(圖 6)-具備高程差的影像擷取，因此可將大梁兩側和河道影像真實擷取；



圖 6 C 型航線

- (3) S 型航線(圖 7) -由於大梁面與橫隔梁的分布較長，為避免 UAV 受大梁面與橫隔梁影響 GPS 精度，S 型式航點可滿足這類橋梁構件的影像取得。同時，在不同跨徑下，UAV 均可進行 S 型式航點；



圖 7 S 型航線

- (4) O 型航線(圖 8) -可讓 UAV 繞行橋台，進而一次性地獲得橋台基礎、翼牆或擋土牆、引道路堤、引道路堤保護設施、引道護欄之影像。同樣地，UAV 可進行蒐集橋墩基礎、橋墩墩體、橋墩保護設施、支承墊、止震塊及防震拉桿等的 360° 影像擷取。

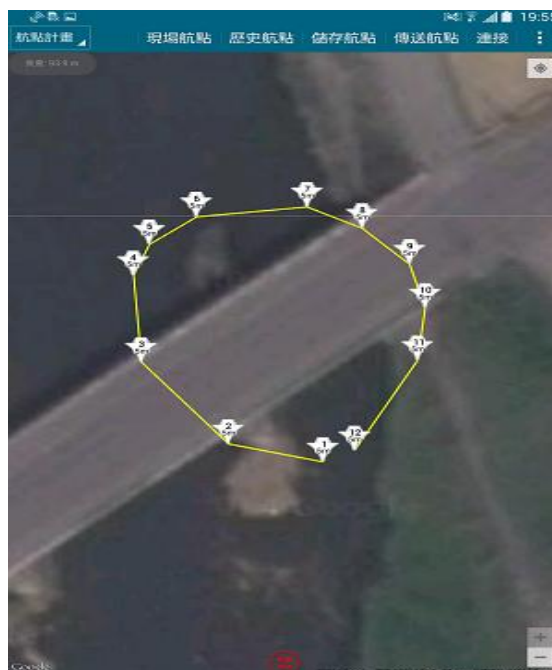


圖 8 O 型航線

使用者只需於畫面中點住並移動航點便可建立所需航線(圖 9)。此外，圖 10 顯示使用者可針對每一航點進行屬性設定。這些屬性包含起飛(全自動模式下，設定某特定點為初始飛行點)、航點(設定飛行航線中的特定飛行點)、盤旋(要求 UAV 於某特定點進行轉動或停滯)、降落(指定某特定點為飛行的終點並自動降落)。

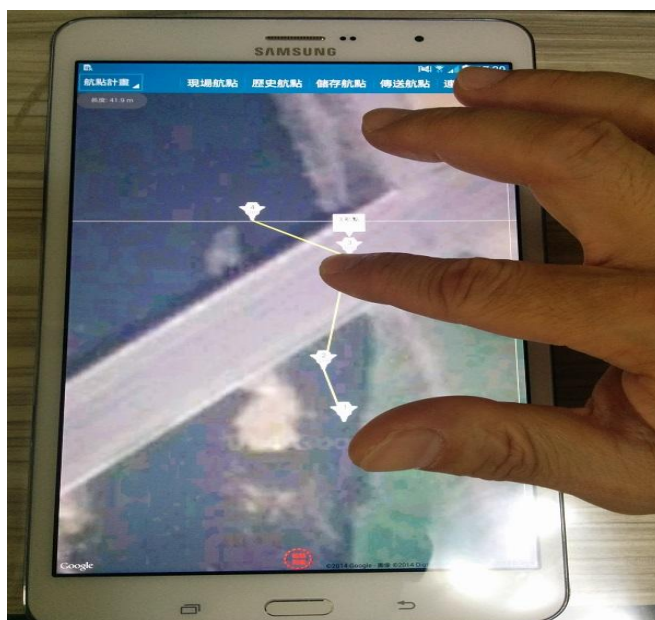


圖 9 選取航點

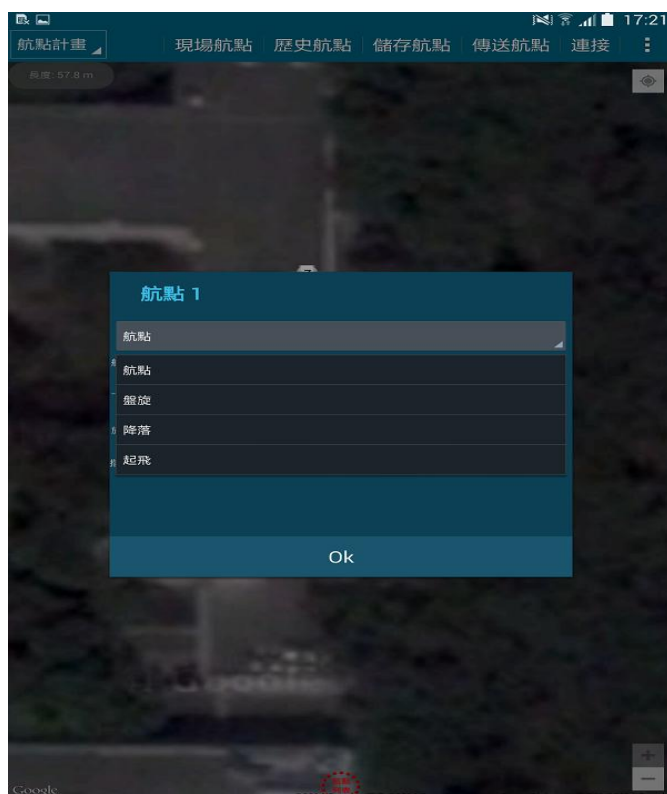


圖 10 設定航點屬性

- 傳送航線：確認飛行航線後，使用者便可將設定好的飛行航線傳遞給 UAV。
 - 飛行數據(含 UAV 現地校正)：完成航點計畫後，UAV 將開始進行自動任務。於任務開始前，檢測人員須先進行 UAV 現地校正，即確認安全鈕是否正常、以遙控器讓馬達低速轉動確保馬達均正常等。於任務期間，使用者可透過飛行數據了解 UAV 的各種狀態，如圖 11。
- (1) 電力狀態 - AutoCopter 會自動量測電池殘存電力並顯示於畫面中。本使用手冊建議當電力殘存不足 20%時，應避免再進行飛行以確保安全，或透過安全電力的設置以確保安全。由於使用者所使用的 UAV 設備均不相同，故本手冊無法精準評估所有 UAV 的電力耗損狀態。因此，僅提供一合理參考案例，一般 4S 5200mAh 可供四軸 880KV 馬達飛行約 10-12 分鐘。故當 UAV 飛行速度為每秒 3 米時，飛行航線應控制於 1800-2160 米。
 - (2) 飛行高度 - 當 UAV 擷取橋梁構件影像，使用者可由此數據確認 UAV 所在的高度。
 - (3) 飛行軌跡 - UAV 的實際飛行路線會於 Google Maps 上以藍線描繪，故使用者能即時確認 UAV 的所在位置。
 - (4) 語音回報 - AutoCopter 會於 UAV 飛行過程中，將 UAV 的任務執行狀態與電力狀態進行語音方式的解說。該設計可讓使用者不必一直觀看著平板電腦。



圖 11 執行飛行數據

- 切換相機：如 UAV 上有安裝兩個相機時，使用者可由此模組切換不同的相機，以即時接收即時影像(圖 12)。但礙於市面存有太多品牌與種類的相機，AutoCopter 主要支援 GoPro 公司的 Hero3+動態攝影機。該攝影機的優點即是動過程中亦能擷取高畫質之影像。因為 GoPro Hero3+動態攝影機能擷取影片與相片，為便利使用者切換不同功能，AutoCopter 已內建這些功能選項，如圖 13。

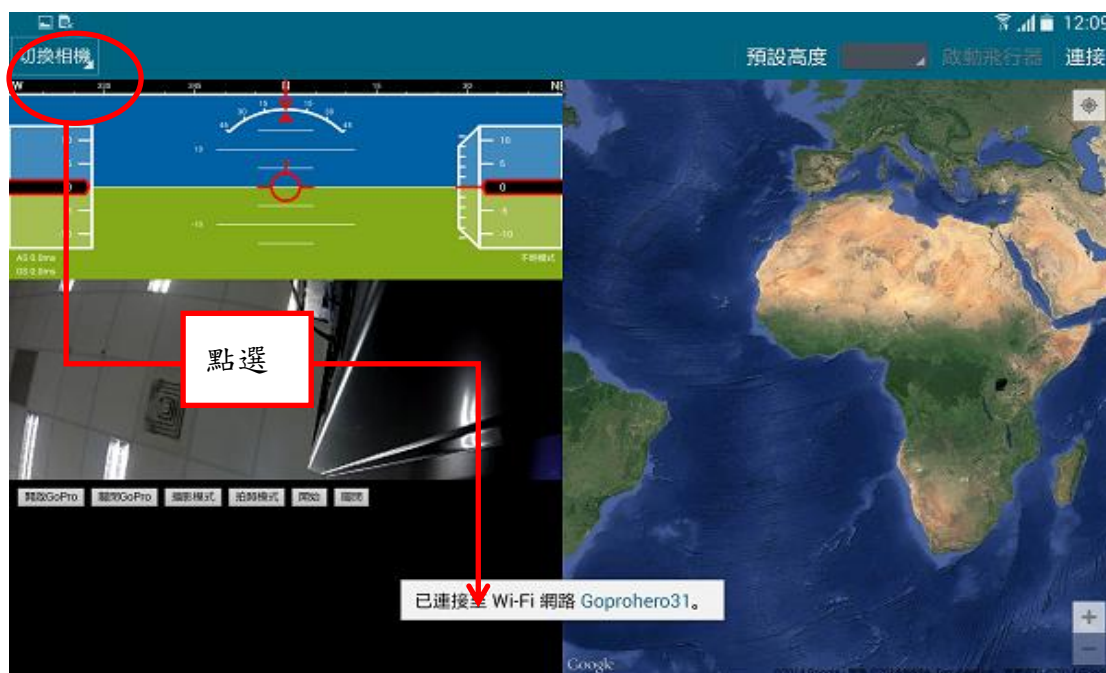


圖 12 執行相機切換



圖 13 控制 GoPro Hero3+攝影機

- DERU 填表：當 UAV 完成橋梁構件影像擷取後，使用者可觀看 UAV 所擷取的影像並填寫結果。AutoCopter 有兩種填表方式。

- (1) 影片-使用者於左側畫面選擇飛行航線後，於右側畫面選擇並撥放所拍攝的影片(圖 14)。影片播放過程中，如有看到任何劣化情勢，只需按下擷取，便可將該畫面輸出至填表畫面內並加以描述完成目視檢測結果。



圖 14 觀看影片填寫檢測結果

- (2) 相片 -由於飛行器於飛行過程中會將飛行狀態紀錄於記憶卡內。使用者將此飛行紀錄轉換為 gpx 格式並將所有照片存放於同一資料夾內。AutoCopter 會自動分析飛行紀錄與照片間的關係。如圖 15，比對結果將展現於 Google Maps，使用者只需點選地理標籤即可看到影像並填寫目視檢測結果。

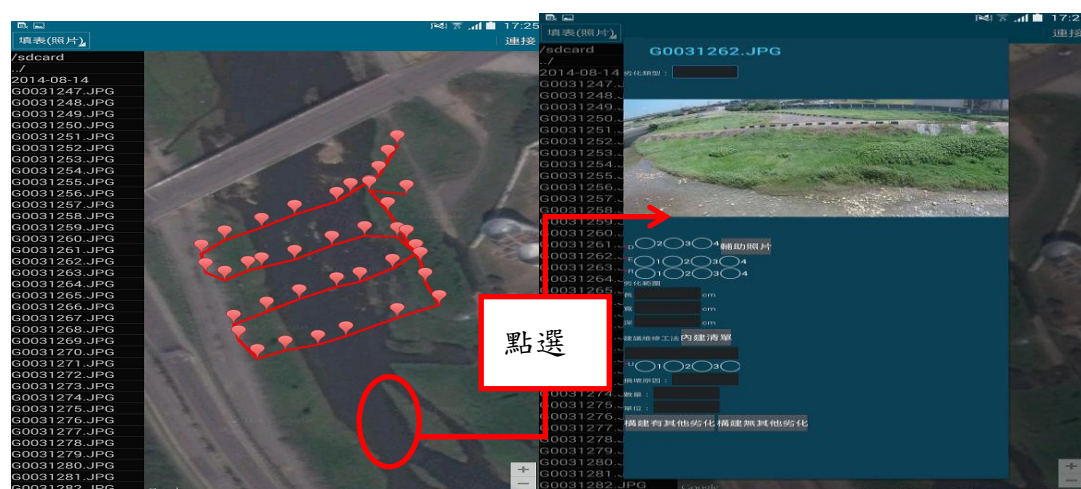


圖 15 觀看照片填寫檢測結果

六、案例一：新大崛溪橋

事前準備：

由 TBMS 系統了解新大崛溪橋之基本資料，如橋寬(12 米)、橋長(91.2 米)、橋墩高(4 米)等。由於新大崛溪橋僅雙線道，且鄰近為砂石場，車道多為砂石車往來，無論使用橋檢車或徒步目視檢測均有安全疑慮，故使用橋梁構件影像自動擷取系統進行橋梁檢測。

現地檢測：

步驟 1-觀察環境：圖 16 所示，新大崛溪橋兩側堤防可供 UAV 起降，但實際橋墩高僅 3 米，並不適宜使用 UAV 擷取橋下橫格梁與橋墩影像。換言之，UAV 無法進行 S 型和 O 型路線之飛行，故新大崛溪橋僅能擷取特定橋梁構件影像。



圖 16 新大崛溪橋

步驟 2-航點規劃：由 AutoCopter 內建之 Google Maps 發現 GIS 圖資與真實環境有精度差異，故重新執行現地量測。以直線方式由橋頭前進至橋尾。基於量測結果(圖 16)重新修正航點並以手動遙控 UAV 升空後取得適宜的檢測高度(5 米)。本案例中，建立了一直線航線(圖 17，擷取引道路堤、護欄、護坡、橋台、橋台基礎、翼牆、擋土牆、摩擦層、緣石及人行道、欄杆及護牆、伸縮縫、橋面板影像)和兩 C 型航線(圖 18，擷取橋左右側的河道、橋墩保護設施、橋墩基礎、橋墩墩體、支承及支承墊、止震塊、大梁影像)。

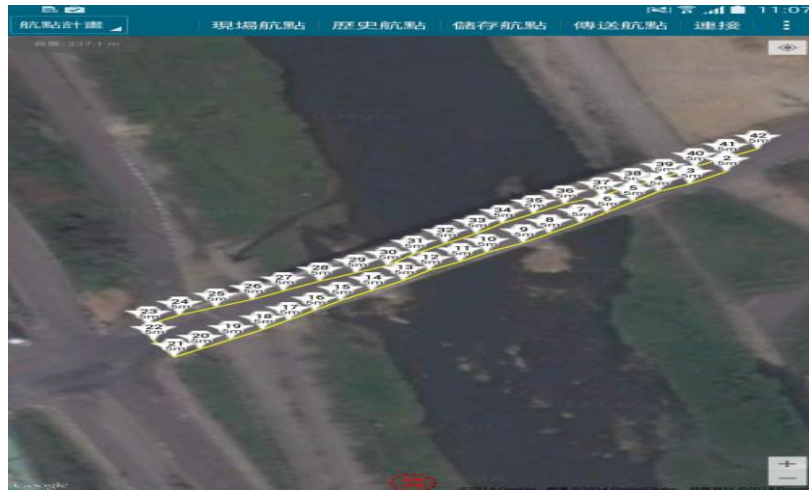


圖 16 現場量測結果

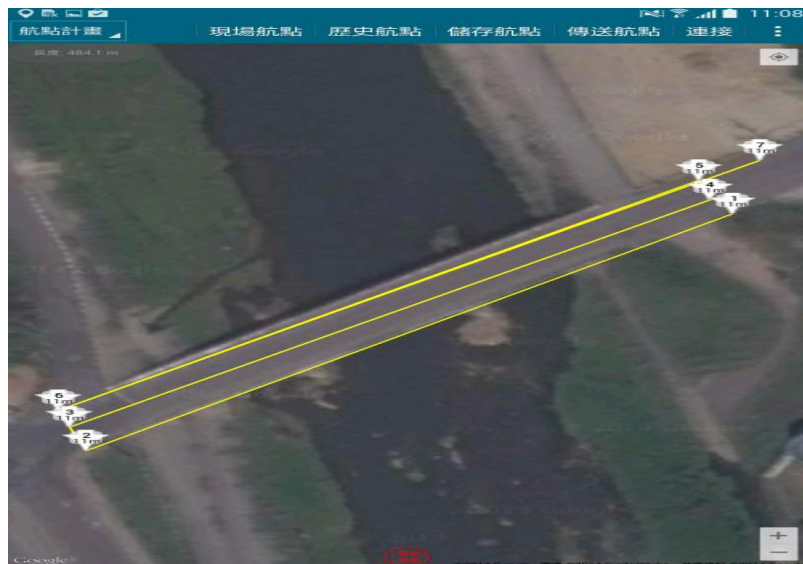


圖 17 建立直線航線

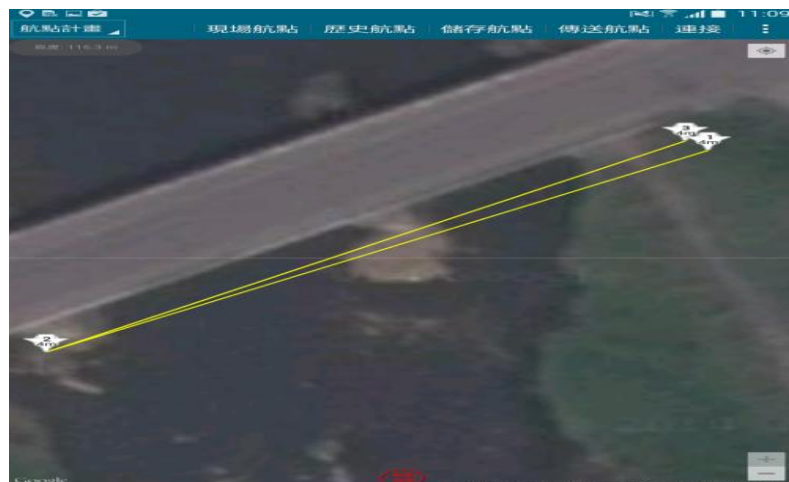


圖 18 建立 C 型航線

步驟 3-飛行數據：透過 AutoCopter 連接 UAV 後，將航點路線傳送到 UAV 並開啟 GoPro 攝影機。手動將 UAV 遙控到空曠處後，切換成自動飛行模式。當 UAV 開始執行任務後，AutoCopter 會自動語音回報目前 UAV 執行的航點位置與電池狀態，亦可透過 AutoCopter 之飛行數據確認飛行中的航線是否正確以及速度。完成任務後，UAV 會回到指定點位，再以手動方式將 UAV 降落。

步驟 4-檢測填表：將 GoPro 所擷取之照片與影片複製到平板電腦後，選擇填表後，開始進行 DERU 之填寫。

檢測成果：

表 1 顯示新大崛溪橋所獲得的構件影像及劣化情況。

表 1 新大崛溪橋影像擷取結果

構件名稱	影像
(1)引道路堤	
(2)引道護欄	
(3)引道護坡	
(4)橋台	
(5)橋台基礎**	
(6)翼牆/擋土牆**	
(7)摩擦層	
(8)伸縮縫	
(9)橋面排水設施	
(10)欄杆及護牆	
(11)大梁	
(12)河道	
(13)支承/支承墊*	
(14)止震塊/拉桿*	
(15)橋墩敦體/帽梁*	
(16)橋墩基礎**	
(17)橫隔梁	無法拍攝
(18)橋面版	無法拍攝
(19)橋墩保護設施	無此類設施
(20)緣石及人行道	無此類設施
(21)其他	無此類設施

*僅能取得構件之部分影像;**非外露構件

七、案例二：內灣大橋

事前準備：

由 TBMS 系統了解內灣大橋之基本資料，如橋寬(14 米)、橋長(203.1 米)、橋墩高(18.6 米)等。由於內灣大橋僅雙線道，如使用橋檢車將嚴重影響交通順暢；為跨河橋梁，如使用橡皮艇或是徒步皆有人員安全疑慮存在，故使用橋梁構件影像自動擷取系統進行橋梁檢測。

現地檢測：

步驟 1-觀察環境：須了解 UAV 飛行路徑內是否有障礙物、有無適合停機之地點等。由圖 19 可知，因第 2 號橋墩至第 4 號橋墩皆有電線外掛，UAV 無法進行 S 型和 O 型路線之飛行，故內灣大橋僅能針對特定橋跨擷取特定構件之影像，如橋墩或橋墩基礎。



圖 19 內灣大橋

步驟 2-航點規劃：開啟 AutoCopter 內建之 Google Maps，並使用航點計畫中之現場量測描繪實際檢測路線。待 GPS 數值無變動後，以直線方式由橋頭前進至橋尾。量測之結果發現實際路線與 GIS 圖資有差異，如圖 20 紅色圈的測量點已落於橋外，故需修正航點。由於航點高度無法僅用目測判斷，本計畫以手動遙控 UAV 升空並以 AutoCopter 顯示的高度來判斷適宜檢測高度為 12 米。本案例中，建立了一直線航線(圖 21 擷取橋右側大梁與橋墩影像)和半 S 型航線(圖 22 擷取第一跨的橋下橫格梁影像)。航線修正中，本案例修正了 UAV 飛行位置(增加、刪減及移動航點)和高度。此外，AutoCopter 亦顯示了航點間與完整飛行之距離。



圖 20 現場量測結果

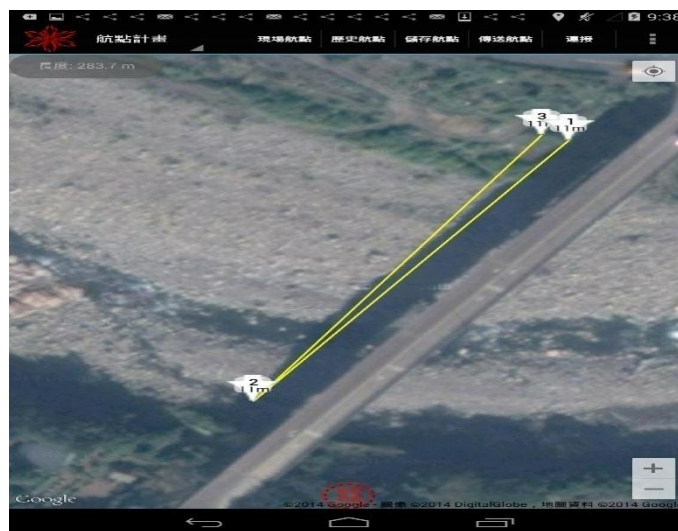


圖 21 建立直線航線



圖 22 建立半 S 型航線

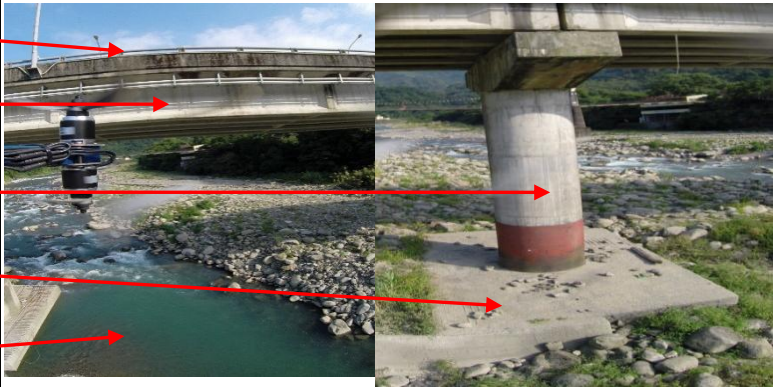
步驟 3 -飛行數據：透過 AutoCopter 連接 UAV 後，將以繪製好的航點傳送至 UAV 並開啟 GoPro 攝影機。以手控方式將 UAV 升空遙控至空曠且安全地點後切換成自動飛行模式，方可從平板上讀取 UAV 飛行高度、剩餘電力、航線、速度。UAV 完成所有航點路線後會自動回到使用者所指定點位，確定 UAV 穩定後再切換至手動模式將其降落。

步驟 4-檢測填表：將 UAV 搭載 GoPro 攝影機所截取之照片及影片複製到平板電腦，選擇填表後便可開始觀察影片及照片來填寫橋梁檢測所需之 DERU 值。

檢測成果：

表 2 顯示內灣大橋所獲得的構件影像及劣化情況。

表 2 內灣大橋影像擷取結果

構件名稱	影像
(1)欄杆及護牆	
(2)大梁	
(3)橋墩保護設施	
(4)橋墩基礎	
(5)河道	
(6)橋面版	
(7)橫隔梁	
(8)橋台	
(9)橋墩墩體/帽梁	
(10)橋台基礎*	
(11)翼牆/擋土牆*	未拍攝
(12)橋面排水設施	
(13)摩擦層	
(14)伸縮縫	
(15)引道護坡	
(16)引道護欄	
(17)引道路堤	
(18)緣石及人行道	
(19)支承/支承墊	無法拍攝
(20)止震塊/拉桿	無法拍攝
(21)其他	無此類設施

*非外露構件

八、案例三：巴陵大橋

事前準備：

由 TBMS 系統了解巴陵大橋之基本資料，如橋長(220 米)、橋跨(198 米)、橋墩高(20 米)等。由於巴陵大橋僅雙線道，如使用橋檢車將嚴重影響交通順暢；且為跨河橋梁，如使用繩索攀爬有人員安全疑慮存在，故使用橋梁構件影像自動擷取系統進行橋梁檢測。

現地檢測：

步驟 1-觀察環境：須了解 UAV 飛行路徑內是否有障礙物、有無適合停機之地點等。由圖 23 可知，因巴陵大橋的四週具備足夠空間，因此很適合使用 UAV 擷取全橋構件影像，惟 UAV 起降的位置需注意人車安全。



圖 23 巴陵大橋

步驟 2-航點規劃：開啟 AutoCopter 內建之 Google Maps，並使用航點計畫中之現場量測描繪實際檢測路線。待 GPS 數值無變動後，以直線方式由橋頭前進至橋尾。量測之結果發現實際路線與 GIS 圖資有差異，如圖 24 紅色圈的測量點已落於橋外，故需修正航點。此外，UAV 的架設位置與橋面同高，故橋下的航線須設定為負高程。例如，本計畫建立了一 S 型航線(圖 25 擷取橋下影像)和 C 型航線(圖 26 擷取橋台影像)。

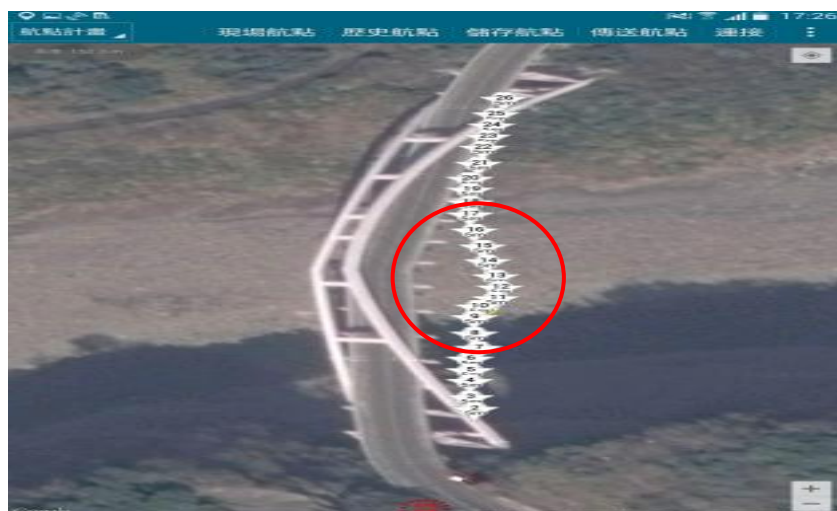


圖 24 現場量測結果



圖 25 建立 S 型航線

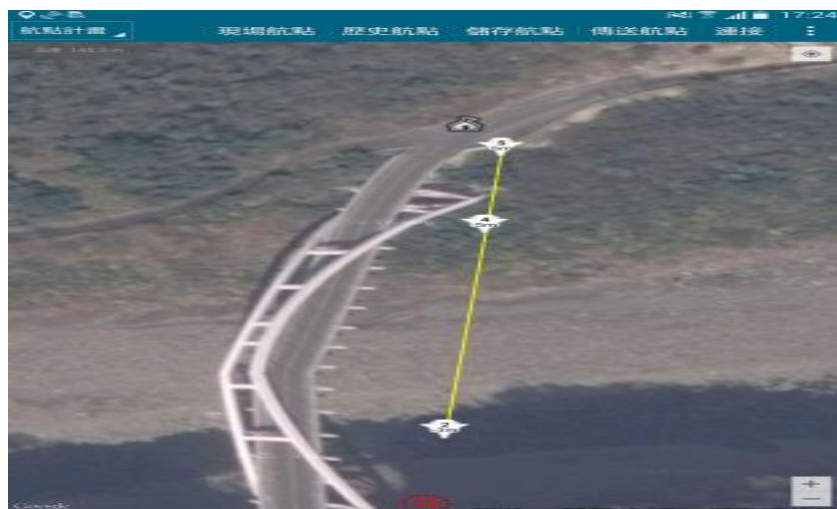


圖 26 建立 C 型航線

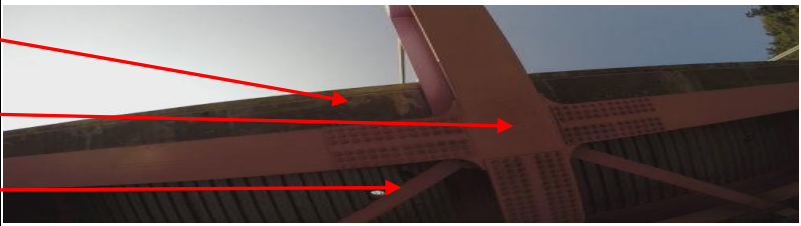
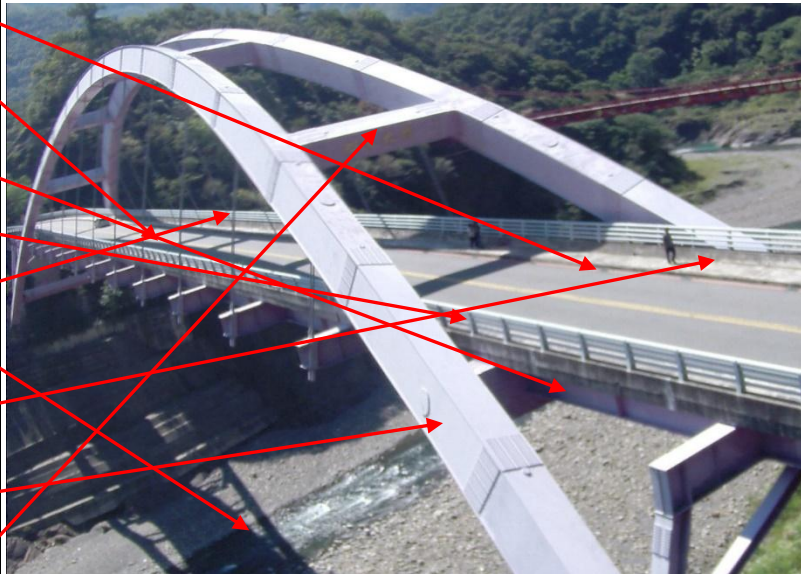
步驟 3 -飛行數據：透過 AutoCopter 連接 UAV 後，將以繪製好的航點傳送至 UAV 並開啟 GoPro 攝影機。以手控方式將 UAV 升空遙控至空曠且安全地點後切換成自動飛行模式，方可從平板上讀取 UAV 飛行高度、剩餘電力、航線、速度。UAV 完成所有航點路線後會自動回到使用者所指定點位，確定 UAV 穩定後再切換至手動模式將其降落。

步驟 4-檢測填表：將 UAV 搭載 GoPro 攝影機所截取之照片及影片複製到平板電腦，選擇填表後便可開始觀察影片及照片來填寫橋梁檢測所需之 DERU 值。

檢測成果：

表 3 顯示巴陵大橋所獲得的構件影像及劣化情況。

表 3 巴陵大橋影像擷取結果

構件名稱	影像
(1)橋面版	
(2)橫隔梁	
(3)止震塊/拉桿	
(4)橋墩墩體/帽梁	
(5)橋台	
(6)引道路堤	
(7)翼牆/擋土牆	
(8)橋台基礎*	
(9)引道護坡	
(10)引道護欄	
(11)橋面排水設施	
(12)摩擦層	
(13)大梁	
(14)欄杆及護牆	
(15)吊材/立柱	
(16)河道	
(17)緣石及人行道	
(18)拱圈	
(19)橫桿	
(20)橋墩保護措施	無法拍攝
(21)橋墩基礎*	無法拍攝
(22)橋墩	無法拍攝
(23)伸縮縫	未拍攝
(24)其他	無此類設施

*非外露構件

附件四 教育訓練簡報內容



交通部運研所、國立中央大學合辦
計畫主持人：姚乃嘉教授
協同主持人：陳明正教授、蔡閔光助理研究員
民國103年11月14日

1



簡報大綱

- 一、簡介
- 二、UAV橋梁構件影像自動擷取系統
- 三、UAV硬體與操作
- 四、UAV軟體與操作(附件)
- 五、案例介紹
- 六、實地示範與操作(PM2:30-3:40)
- 七、意見交流(PM4:00-4:30)

2



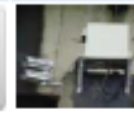
一、簡介 (1/3)

- 橋梁會隨氣候及環境之交替而逐漸**老舊劣化**，故需**定期巡檢**
- 橋梁定期檢測係為及早發現損傷情形而定期針對橋梁實施之全面性檢測，其作業方式係以徒步、搭乘橋梁檢測車或高空作業車儘可能**接近橋梁結構物**後，再以**目視**或必要儀器判定橋梁狀況
- 橋梁檢測工具不斷推陳出新，包含迷你型檢測車、遙控飛機、3D 雷射攝影技術、影像辨識等

3



一、簡介 (2/3)

橋梁檢測設施	UAV	橋檢車	3D雷射攝影	行動裝置	輔助檢測之監測網路
橋梁檢測方式	遠端為主 使用者為輔	使用者為主 遠端為輔	使用者為主 遠端為輔	使用者為主 遠端為輔	遠端為主 使用者為輔
採購和維護成本(新台幣)	數千至數百萬元	數十萬至數百萬元	數十萬至數百萬元	數千至數萬元	數萬至數百萬元
設施運行位置	天空	地面	地面	地面	橋梁自體
可攜性	高	低	高	高	低
人力需求	低	高	中	高	低
檢測人員安全	高	中	高	中	高
一次性自動蒐集全橋影像	可以	不可以	不可以	不可以	可以
檢測範圍限制	中	中	中	中	中
檢測高度限制	低	低	中	低	中
檢測寬度限制	低	高	中	高	中
橋梁檢測速度	快	慢	快	慢	快
辨識劣化能力	中	中	中	中	中
重複執行檢測	容易	不易	容易	不易	容易
檢測資料完整	完整	完整	完整	不一定完整	完整
設施維護簡易	中	中	中	中	中
主要限制	現地氣候會影響檢測可行性	橋上狀況會影響橋檢車之運作	橋梁元件無法全部納入攝影範圍	地面障礙物會影響檢測可行性	需大量安裝於橋梁構件
					



一、簡介 (3/3)

- 基於橋檢現場安全性、檢測效益性、資料完整性，UAV可輔助橋梁檢測，但UAV成本範圍甚廣



數萬: 娛樂用途



數十萬: 橋檢用途



數百萬: 軍用規格

- 故本計畫將開發操作簡單、適用範圍較廣、作業效率較高且成本較低之「UAV橋梁構件影像自動擷取系統」
- 本系統未來可與第二代台灣地區橋梁管理系統 (Taiwan Bridge Management System, TBMS2) 進行檢測資料的整合，俾能增進橋梁檢測作業之品質及效率

6



二、UAV橋梁構件影像自動擷取系統 (1/3)

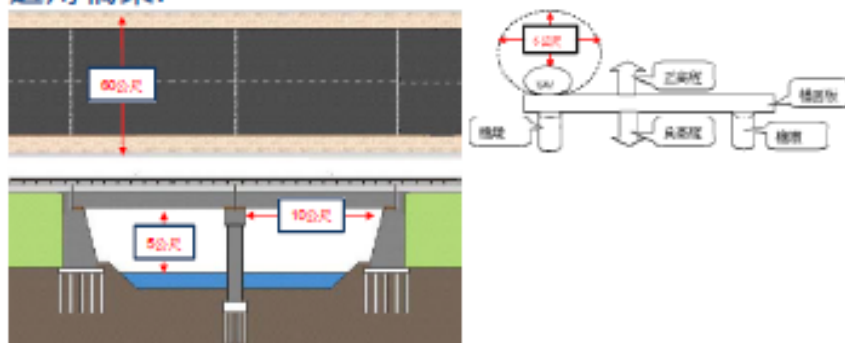
- UAV橋梁構件影像自動擷取系統可分成硬體 (遙控直升機，目前僅Mavlink協定) 和本計畫開發之操控軟體 (AutoCopter，目前僅Android版本) 兩部分進行介紹
- 適用時機: 檢測設備不易抵達現場、檢測過程嚴重影響交通、人員不易靠近橋梁構件、保留完整構件影像、取得特定構件影像

6



二、UAV橋梁構件影像自動擷取系統 (2/3)

- 適用橋梁:



- 可拍攝構件: 橋梁21構件中，僅**支承墊、止震塊、非外露構件**(橋台、墩基礎、擋土牆)較不易拍攝外，其餘多可擷取影像

7



二、UAV橋梁構件影像自動擷取系統 (3/3)

- 使用限制:

- 飛行**高度**不應超過**120米**且機體**重量**不應高過**5公斤**
- 不得在機場交通區域或任何機場**5公里**範圍內操作
- 不得在任何人士、船隻、車輛或構築物**上空**或其**50米**範圍內飛行
- **起飛及降落**時應避免公眾地區，並不得在任何人士上空或其**30米**範圍內飛行，且操作員必須在場
- 地面**能見度**不得少於**5公里**，同時，地面風速不得超過**20海里(約7級風)**
- 操作員有**責任確保**無人機系統**不會危及**任何人士或財產
- 不得**干擾**航空交通操作或航空導航設備

8



三、UAV硬體與操作 (1/4)

- UAV組成模組



三、UAV硬體與操作 (2/4)

- UAV建議規格

- 三級風以下-軸距550公釐的X-四軸
- 四~六級風-軸距550公釐的Y-六軸或X-八軸
- GPS衛星6顆以上(UAV會自行判斷)



X-四軸



Y-六軸



X-八軸



三、UAV硬體與操作 (3/4)

• UAV選購

– 自行組裝

- 飛行構組:飛行控制器(Pixhawk or APM);
- 控制構組:GPS(uBlox 6H)、數位傳輸器(433Mhz)、遙控通訊器(7 Channels);
- 電力構組:Lipo電池(4S 6200mAh);
- 動力構組:電子變速器(30A)、無刷馬達(880kv)、正反轉(10x47);
- 影像構組:雲台(非必要)、數位相機(GoPro Hero3+)、圖形傳輸器(非必要);



– 整組採購

- 3D Robotics (<https://store.3drobotics.com/>)
- SteadiDrone (<http://www.steadi drone.com/drones/steadi drone-x>)
- DroneShop.Biz (<http://www.drone shop.biz/>)
- Victorian UAS (<http://www.victorianuas training.com.au>)

11



三、UAV硬體與操作 (4/4)

• UAV啟動

- UAV需按下安全鈕
- UAV模式在上
- UAV警示燈為綠色

• UAV方向

• UAV模式



12



四、UAV軟體與操作 (1/8)

- 建議平板:8吋螢幕、Android V4
- AutoCopter包含四個主要模組:航點計畫模組、飛行數據模組、切換相機模組、DERU填表模組



13



四、UAV軟體與操作 (2/8)

- 航點計畫：規劃UAV飛行航線
 - 現場量測 – 了解Google Maps與真實環境的誤差
 - 歷史航點 – 直接載入過去已儲存的飛行航線
 - 匯入KML – 載入已預先規劃好的KML檔案
 - 先前航點 – 匯入UAV飛行器所儲存的前次航線



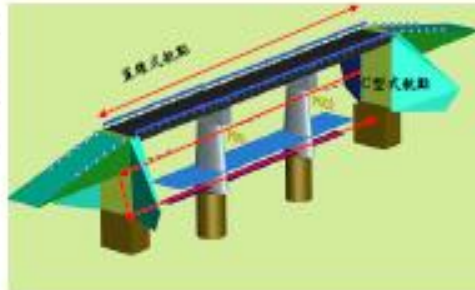
14



四、UAV軟體與操作 (3/8)

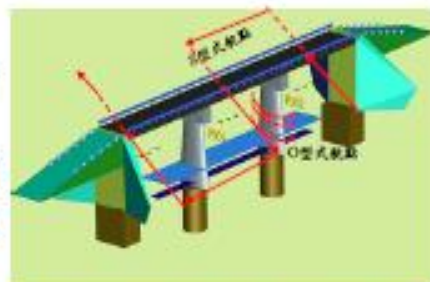
- 建議航線：

- **直線**航線: 擷取橋面板、伸縮縫、摩擦層、排水設施、護欄、緣石及人行道影像
- **C型**航線: 具備高程差的影像擷取, 如大梁兩側和河道



四、UAV軟體與操作 (4/8)

- **S型**航線: 橋面板下GPS會受干擾, S型式航點可拍攝大梁面與橫隔梁
- **O型**航線: 繞行一範圍, 可拍攝橋台、橋台基礎、翼牆或擋土牆、引道路堤、引道路堤保護設施、引道護欄之影像、橋墩基礎、橋墩墩體、橋墩保護設施、支承墊、止震塊及防震拉桿等的全影





四、UAV軟體與操作 (5/8)

• 航點屬性：

- 可飛行高度為正高程100米、負高程20米
- 起飛(全自動模式下，設定某特定點為初始飛行點)
- 航點(設定飛行航線中的特定飛行點)
- 盤旋(要求UAV於某特定點進行轉動或停滯)
- 降落(指定某特定點為飛行的終點並自動降落)



17



四、UAV軟體與操作 (6/8)

• 飛行數據：了解UAV的各種狀態

- 電力狀態：自動量測電池殘存電力並顯示於畫面中
- 飛行高度：確認UAV所在的高度
- 飛行軌跡：即時確認UAV的所在位置
- 語音回報：語音方式回報任務執行與電力狀態

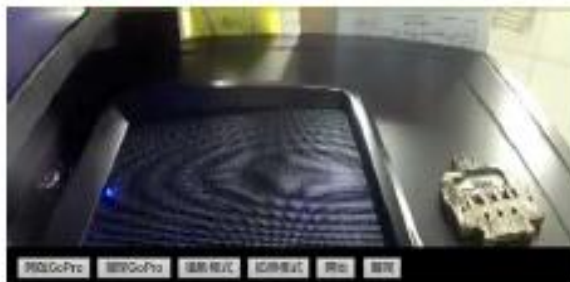


18



四、UAV軟體與操作 (7/8)

- 切換相機：安裝兩個相機時，由此切換相機
 - 目前僅支援GoPro Hero3+

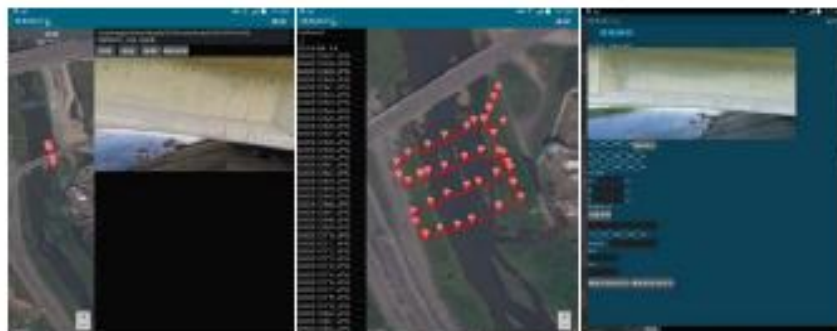


19



四、UAV軟體與操作 (8/8)

- DERU填表：觀看UAV所擷取的影像並填寫結果
 - 影片：影片播放過程中，如有看到任何劣化情勢，只需按下擷取，便可將該畫面輸出至填表畫面內並加以描述完成目視檢測結果
 - 相片：點選地理標籤即可看到影像並填寫目視檢測結果





五、案例介紹 (1/3)

• 案例一：新大崛溪橋

– 事前準備：由TBMS系統了解新大崛溪橋之基本資料，如橋寬(12米)、橋長(91.2米)、橋墩高(4米)等。

– 現地檢測：

- 步驟1－觀察環境
- 步驟2－航點規劃
- 步驟3－飛行數據
- 步驟4－檢測填表

– 檢測成果：

檢測項目	檢測結果
1. 橋面寬度	12.0米
2. 橋面長度	91.2米
3. 橋墩高度	4.0米
4. 橋面坡度	0.0%
5. 橋面材料	瀝青混凝土
6. 橋面狀況	良好
7. 橋墩材料	預力混凝土
8. 橋墩狀況	良好
9. 橋面排水	良好
10. 橋面照明	無
11. 橋面標誌	良好
12. 橋面安全設施	良好
13. 橋面噪音	無
14. 橋面空氣品質	良好
15. 橋面水質	良好
16. 橋面土壤	良好
17. 橋面植被	良好
18. 橋面其他	良好
19. 橋面總評	良好
20. 橋面建議	無



五、案例介紹 (2/3)

• 案例二：內灣大橋

– 事前準備：由TBMS系統了解內灣大橋之基本資料，如橋寬(14米)、橋長(203.1米)、橋墩高(18.6米)等。

– 現地檢測：

- 步驟1－觀察環境
- 步驟2－航點規劃
- 步驟3－飛行數據
- 步驟4－檢測填表

– 檢測成果：

檢測項目	檢測結果
1. 橋面寬度	14.0米
2. 橋面長度	203.1米
3. 橋墩高度	18.6米
4. 橋面坡度	0.0%
5. 橋面材料	瀝青混凝土
6. 橋面狀況	良好
7. 橋墩材料	預力混凝土
8. 橋墩狀況	良好
9. 橋面排水	良好
10. 橋面照明	無
11. 橋面標誌	良好
12. 橋面安全設施	良好
13. 橋面噪音	無
14. 橋面空氣品質	良好
15. 橋面水質	良好
16. 橋面土壤	良好
17. 橋面植被	良好
18. 橋面其他	良好
19. 橋面總評	良好
20. 橋面建議	無



六、實地示範與操作

- 地點:中正公園
- 時間:PM2:30-3:40



七、意見交流

- 地點:中國醫藥大學立夫大樓5樓視聽教室
- 時間:PM4:00-4:30

25



簡報結束 敬請指教

26

附件五 教育訓練問卷

橋梁檢測工具效能提升計畫－問卷調查（XX 場）

日期：103 年 月 日

一、個人橋梁檢測經驗（請填選☑代表選取）

1. 您的橋梁檢測年資
☐無 ☐一~兩年 ☐三~四年 ☐四~五年 ☐五年以上
2. 您使用過之橋檢工具
☐橋檢車 ☐橡皮艇 ☐纜索 ☐升降梯
☐其他
3. 您目前所使用之橋檢工具是否有造成您的不便？
☐否 ☐是，原因

二、無人直升機(UAV)操作（請填選☑代表選取）

1. 您對於 UAV 之特色滿意度
☐很滿意 ☐滿意 ☐尚可 ☐不滿意
2. 您對於 UAV 之功能便利性
☐很滿意 ☐滿意 ☐尚可 ☐不滿意
3. 您對於 UAV 之操作解說滿意度
☐很滿意 ☐滿意 ☐尚可 ☐不滿意
4. 是否有助於您工作效能之提昇
☐是 ☐否 ☐尚可
5. 您是否已學會簡單操作 UAV
☐是 ☐否 ☐尚可
6. 您對操作解說之改善建議

三、UAV 橋梁構件影像自動擷取系統（請填選☑代表選取）

1. 您對於本系統之整體使用滿意度
☐很滿意 ☐滿意 ☐尚可 ☐不滿意
2. 您對於本系統之執行速度之滿意度
☐很滿意 ☐滿意 ☐尚可 ☐不滿意
3. 您對於本系統之功能便利性
☐很滿意 ☐滿意 ☐尚可 ☐不滿意
4. 本系統是否有助於您提昇工作效能
☐是 ☐否 ☐尚可
5. 您是否已了解本系統之操作介面
☐是 ☐否 ☐尚可
6. 您對本系統之改善建議

四、使用 UAV 進行橋梁檢測之意願（請填選☑代表選取）

1. 您有意願使用本計畫所開發之 UAV 系統進行橋梁檢測嗎？
☐很有意願 ☐願意嘗試 ☐意願不大 ☐完全沒意願
2. 您的補充說明？

填表人資料

機關名稱：_____

姓 名：_____

職 稱：_____

聯絡電話：_____

電子信箱：_____

附件六 期末簡報委員意見回覆表

委員姓名	審查意見	研究團隊回覆	本所計畫 承辦單位 審查意見
鄭委員明淵	以目前成果看來，研究團隊較建議使用何種類型 UAV？相關價格及限制條件(如橋長、橋高、橋寬...)為何？均建議列表呈現。	感謝委員意見及建議，已於報告書第 5 章說明。	同意。
	DERU 檢測法是否適用於鋼結構橋梁？	感謝委員意見，中華顧問公司已有 DERU 檢測法適用於鋼結構橋梁。評分標準依鋼結構之劣化情形作判斷。	同意。
	報告書及簡報檔對於「全自動」及「半自動」之定義較為模糊，建議予以完整定義。	感謝委員建議，已於報告書補充說明。	同意。
	建議研究團隊提供操作軟體及 SOP 操作手冊，俾利後續推動。	感謝委員建議，已於報告書附件三提供操作手冊。	同意。
	報告書中所提「可信的定位系統」是否真屬可行？由於可行的範圍非常廣泛，故建議修正相關用語。	感謝委員建議，已配合修正相關用語。	同意。
曾委員志煌	UAV 的運用非常廣泛，其重要性不容忽視，故本計畫仍有持續發展必要。	感謝委員肯定，本團隊會持續努力。	同意。
	建議於橋梁四周架設 GPS 發射器，以利精準掌握飛行檢測路線。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	UAV 其實是在取代目視檢測，特別是人員不易抵達位置，實為本案研究重點，此外，如 GPS 問題無法解決，則也可考慮其它能靠近橋梁構件之迷你爬行機器人。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。

委員姓名	審查意見	研究團隊回覆	本所計畫 承辦單位 審查意見
	TBMS2 構件化後需檢測項目頗多，故將 UAV 和 TBMS2 搭配將會是個絕佳組合。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	後續應有測試飛行 SOP 流程，且需有校飛功能，以免發生意外。	感謝委員建議，已於報告書中補充說明。	同意。
葉委員韓生	UAV 在各方面的運用非常蓬勃，目前遭遇的許多限制條件，多是經費有限所致，由於 UAV 將有可能大幅提升橋梁檢測效率，故建議後續可考慮提高研發經費。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	本案 UAV 拍攝速度過快，建議以一般人員目視檢測速度拍攝，取得畫面才能較為清晰易判讀。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	建議提供 UAV 相關軟、硬體及 SOP 手冊，以方便後續使用者測試推廣。	感謝委員建議，已於報告書附件提供操作手冊。	同意。
	建議於期末報告定稿中，針對載重量、滯空時間、規格等名詞進行一致性定義說明。	感謝委員建議，並已依委員建議修改。	同意。
	我國在 UAV 方面的法規為何？	感謝委員意見，已於報告書補充說明。	同意。
	對於無法使用目視觀測的劣化間隙，能否開發小型機器代替。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	後製影像軟體的處理能力可提升 UAV 使用價值，建議納入後續研發考量。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	是否能於圖片上直接標示出橋墩編號？	感謝委員意見，軟體會自動將圖片與路徑結合，能於軟體螢幕上顯示位置。於圖片上直接顯示將納入未來研究方向。	同意。
	建議將本案 UAV 與民間 UAV	感謝委員建議，基於商業考	同意。

委員姓名	審查意見	研究團隊回覆	本所計畫 承辦單位 審查意見
	進行比較(費用、限制...)。	量，國內 UAV 廠商多不願意提供所使用 UAV 之細部規格，故較難予以比較，僅能就服務收費進行說明。	
郭委員呈彰	本案係以人員無法抵達的橋梁為主要研究對象，但從測試對象來看，多是檢測規模較小橋梁，且為數不多，建議後續研究可再更為深入。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	在混凝土劣化判斷上，目前看起來只做到剝落判斷，至於其它類型劣化該如何判斷？能辨識之劣化範圍(寬度)能達多少 mm？	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	坑洞也算是一種劣化，建議納入後續研究範圍。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	在 UAV 的飛行速度、操作控制及影像品質上，建議報告書可再多加著墨。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	若只看影片，則路徑規劃時易因不知道實際位置而發生混淆，故建議能以對應畫面呈現。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
王委員瑞麟	定位非常重要，故如何精準且穩定飛行是主要待克服問題。此外，影像判讀也非常重要，如能將擷取的影像做正確判讀，則本研究便具有實質作用。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	本案建議能用最好的設備測試，以確知 UAV 極限，目標是希望能辨識出 0.3mm 寬的劣化。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	建議儘早與民航局針對 UAV 使用法規部分達成共識，以免	感謝委員建議，已於報告書第 85 頁列為未來研究建議。	同意。

委員姓名	審查意見	研究團隊回覆	本所計畫 承辦單位 審查意見
	往後無法正常使用 UAV 進行橋梁檢測。		
許委員書耕	本案如要強調自動化飛行，則軟體本身應要能自動檢查所有構件是否已被全數拍攝。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	本案研究成果能否讓使用者透過指定地點方式，讓 UAV 自動將單一構件清楚拍攝？	感謝委員意見，目前本系統已具備此功能。	同意。
	團隊所展示的影片有背光不清楚情形，如能有補強補光功能，便能清楚判讀構件及劣化情形。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
	本案未來可思考不靠 GPS 飛行，看能否透過防撞及辨識功能，自動往前飛行。	感謝委員建議，將列為未來研究方向。	同意。
高速公路局	本局現正評估自辦橋梁檢測之可行性，經初步分析，相關人事費用可能會超出委外經費甚多，如能透過 UAV 提升檢測效率，則推動自辦檢測之可行性會更高。	感謝補充。	同意。
	公路總局在 UAV 損壞維修上之經費係如何核銷？	復興段及景美段因有人員本身就會自行組裝及修復 UAV，此費用會提出申報。	同意。
公路總局	報告書第 60 頁實測牛欄河 2 號橋時，最大陣風為 0m/s，惟路徑仍不穩定，建議釐清路線不平穩原因。	已於報告書補充說明。	同意。
	各 UAV 機型之高度、風力與結構物近距離等限制說明請補充，並一併請載明附掛重量限制。	已於報告書補充說明。	同意。

委員姓名	審查意見	研究團隊回覆	本所計畫 承辦單位 審查意見
	報告書第 97 頁針對本局前次意見，自動飛行自訂控制點之格點座標飛行，並與橋梁里程結合部分，研究單位尚未於本次報告中釐清測試結果與可行性，建議後續納入。	已列為未來研究建議。	同意。
	報告書第 98 頁本局前次意見建議 UAV 裝設伸縮鏡頭可行性，本次報告仍未釐清，建議後續納入。	已於報告書補充說明。	同意。
	有關研究單位針對各委員及各單位意見回覆表內，請標明增列於期末報告書何處。	並依建議修改。	同意。
本所 港研中心	報告書第 67 頁用影片擷取的解析度是否足夠？對風速之建議值，以及 UAV 與被拍攝物之建議距離為何？	該影片解析度為 1280×720P，已可滿足初步裂化辨識。如檢測人員須更高解析度，可再自行調整。本計畫並無特別針對風速與拍攝距離的測試。	同意。
	GoPro 的影像有魚眼效應，目前系統能否自動校正？	目前已有套裝軟體可修正，未來是否納入該功能需再評估。	同意。
	請說明目前的影像品質可辨識多寬的裂縫。	已於報告書第 33 頁說明。	同意。
	第八章標題建議改為結論與建議。	已修改。	同意。
	報告書第 104 頁提及少於 6 顆衛星時 UAV 會無法飛行，此時，手動及自動操作的流程是否改變？	除手動外，其餘模式均無法起飛 UAV，故流程與現行模式一致。	同意。
	適合 UAV 飛行之橋梁有一千多座，該篩選條件為何？	最高橋墩高度大於 5 公尺且橋面版淨寬小於 10 公尺(橋檢車無法通過)	同意。
本所 運計組	各單位如想使用本計畫地面控制程式，應如何安裝下載？各單位實際使用或據以營利	未來可透過 TBMS 網站下載安裝。另外，各單位實際使用或據以營利時，不會發生侵權	同意。

委員姓名	審查意見	研究團隊回覆	本所計畫 承辦單位 審查意見
	時，會否與飛控廠商(Pixhawk)間發生侵權問題？	問題，因沒修改廠商硬體。	
	報告書部分圖號與文句不一致(如圖 4.9、4.10、4.11...)	已進行修正。	同意。
	圖 5.1 所述「飛行路線初測」及「路線校正」如何進行？	已於報告書說明。	同意。
	依據表 4.5 實測結果，UAV 飛行最大誤差為 8.4m，故報告書第 68 頁建議之 UAV 適用橋跨長度(10m)及橋墩高度(5m)風險頗高，請予檢討調整。	該限制僅為最低要求，檢測人員可自行放寬安全標準。	同意。
	報告書第 42 頁比較結果認為 Y-六軸為較佳選擇，惟相關實測卻多以 X-四軸為主(如表 5.1)，原因為何？請予說明。另請將國道 1 號圓山橋測式結果納入表 5.1 供參。	已於報告書說明。礙於圓山橋僅進行部分檢測，故已獨立成第 5.10 節。	同意。
	報告書第 65 頁所述自強橋「3D 雷射掃描」之作業方式為何？請予補充。	已於報告書說明。	同意。
	日本 ZIVIL 公司迷你橋檢車之作業效率及每 m2 檢測成本為何？請補充。	由於日本 Zivil 沒提供檢測面積，故無法取得檢測成本。	同意。
	表 5.4 所列「完成時間」，應將抵達現場後所花費的前置作業及資料後處理時間納入比較。表 5.5 亦有類似情形，併請調整。	已於報告書說明。	同意。
	報告書第 83 頁提及：「坊間 UAV 解決方案和本系統約於檢測第 5~7 座橋梁時，所花費的成本即彼此相當」，該數據係如何估算？請補充說明。	已於報告書說明。	同意。

委員姓名	審查意見	研究團隊回覆	本所計畫 承辦單位 審查意見
	報告書內相關算式請改以文字檔輸入(如第 35、71 頁)。	已進行修正。	同意。
主席結論	應用基地台的 GPS 似乎較保險，建議寫於報告書建議中。	感謝委員建議，已列為未來研究建議。	同意。
	預估目前 UAV 檢測時之價錢。	感謝委員建議，已於報告書補充說明。	同意。
	將適合 UAV 飛行之橋梁之限制條件表列出並給予建議。	感謝委員建議，已於報告書補充說明。	同意。
	SOP 操作流程第一步需先現地校正。	感謝委員建議，現地校正應於實際飛行前才需，換言之，在 UAV 不起飛前，檢測人員應能進行航點規劃，故本計畫將現地校正列於飛行數據模組。	同意。
	於報告書內提及法規部分得持續追蹤。	感謝委員建議，已列為未來研究建議。	同意。
	本次期末審查原則通過，請研究團隊將各與會所提意見納入考量及製作對照表回應說明後，於 2 週內(103 年 12 月 24 日前)依本所規定格式函送修正報告書，並接續辦理驗收結案等行政事宜。	感謝委員建議，將如期繳交報告。	同意。