

107-068-1407
MOTC-IOT-105-PEB019

UAV 結合 VR 技術之先期研究 暨水下橋檢工具初探



交通部運輸研究所

中華民國 107 年 7 月

107-068-1407
MOTC-IOT-105-PEB019

UAV 結合 VR 技術之先期研究 暨水下橋檢工具初探

著者：蘇振維、張舜淵、楊幼文、江明益、黃俊豪、
姚乃嘉、陳柏翰、廖先格、彭念豪、韓仁毓、
葉啟章、蔡閔光、呂斌豪、周宏宇

交通部運輸研究所

中華民國 107 年 7 月

UAV 結合 VR 技術之先期研究暨水下橋檢工具初探

著者：蘇振維、張舜淵、楊幼文、江明益、黃俊豪、姚乃嘉、陳柏翰、
廖先格、彭念豪、韓仁毓、葉啟章、蔡閔光、呂斌豪、周宏宇

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 107 年 7 月

印刷者：九茹印刷有限公司

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：UAV 結合 VR 技術之先期研究暨水下橋檢工具初探			
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 107-068-1407	計畫編號 105-PEB019
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：張舜淵 計畫主持人：蘇振維(前主管) 研究人員：楊幼文、江明益、黃俊豪 聯絡電話：(02)23496805 傳真號碼：(02)25450428	合作研究單位：國立中央大學 計畫主持人：姚乃嘉 研究人員：陳柏翰、廖先格、韓仁毓、彭念豪、葉啟章、蔡閃光、呂斌豪、周宏宇 地址：桃園市中壢區中大路 300 號 聯絡電話：(03)4227151 ext. 34034	研究期間 自 105 年 6 月 至 105 年 12 月	
關鍵詞：無人飛行載具、虛擬實境、水下檢測工具、三維橋梁模型			
摘要： 我國橋梁約3萬座，並分由臺鐵局、高公局、公路總局及各縣市政府負責管養。依據目前之相關養護規範，橋梁檢測以目視為主，儀器為輔，故一般進行檢測作業時，多以徒步及攀爬方式儘可能接近橋梁結構物後，再以目視判定橋梁構件之狀況。但遇高橋墩或跨河橋梁時，相關橋檢作業仍有精進空間。 本所於103年啟動「橋梁檢測工具效能提升計畫」研究計畫(以下簡稱前期計畫)，初步成功整合低價位無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, 簡稱UAV)及相關軟硬設備，即藉由無人機掛載之鏡頭，自動擷取橋梁構件之影像以供檢測之用。前期計畫更透過影像組合方式，成功產出3D橋梁影像。惟為求3D影像品質更加細緻化且應用更加廣泛，本計畫希望藉由搭載多鏡頭方式，除由UAV所拍攝之一般橋梁影像建立3D模型外，並利用UAV搭載環景攝影機拍攝橋梁之3D環景影像，建立該橋梁3D虛擬實境(Virtual Reality, VR)之環境，以做為橋梁檢測人員訓練之模擬操作。 此外，針對水面下橋基表面情形或沖刷深度等現象，傳統上仍透過檢測人員穿著潛水裝備進行檢視。本計畫以可伸縮之長桿（長達12公尺），於長桿末端結合攝影與補光設備，探討長桿入水深度、距橋墩距離、水之濁度以及補光強度等相關影響影像拍攝品質之因子，最後並建立以此長桿檢測工具檢測水下結構物之作業程序。 綜上，本計畫已透過UAV附掛多鏡頭拍攝橋梁影像，藉以建立3D橋梁模型並結合3D環景影像，成功建立該座橋梁3D虛擬實境之初步模型。此外，本計畫所建立之長桿水下檢測工具，其所拍攝之影像已接近以潛水人員進行水中檢測之成果。因此，本計畫秉持以「智慧檢測+身歷其境」之理念，已為提升橋梁檢測作業品質及效率建立相當之研究成果。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
107 年 7 月	192	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： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 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 : A Pilot Study on Integrating UAV and VR technologies and a Pilot Investigation of Underwater Bridge Inspection Tools			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 107-068-1407	PROJECT NUMBER 105-PEB019
DIVISION : Planning Division DIVISION CHIEF : Shuen-Yuan Chang PRINCIPAL INVESTIGATOR : Cheng-Wei Su(Former Director) PROJECT STAFF : Yu-Wen Yang, Ming-Yi Jian, Jyun-Hao Huang PHONE : 886-2-23496805 FAX : 886-2-25450428			PROJECT PERIOD FROM June 2016 TO December 2016
RESEARCH AGENCY : National Central University PRINCIPAL INVESTIGATOR : Nie-Jia Yau PROJECT STAFF : Po-Han Chen, Hsien-Ke Liao, Jen-Yu Han, Nei-Hao Perng, Chii-Jang Yeh, Ming-Kuan Tsai, Bin-Hao Lu, Hung-yu Chou ADDRESS : No. 300, Zhongda Rd., Zhongli District, Taoyuan City 32001, Taiwan (R.O.C.) PHONE : 886-3-4227151 ext. 34034			
KEY WORDS : Unmanned aerial vehicle, Virtual reality, Underwater inspection tool, Bridge inspection, 3D bridge model			
ABSTRACT :			
<p>Currently, there are around 30 thousand bridges in Taiwan that are managed and maintained by the Taiwan Railways Administration, the Taiwan Area National Freeway Bureau, Directorate General of Highways, and city and county governments. According to bridge maintenance manuals and codes, these bridges are inspected visually and assisted by devices if necessary. Normally, the visual inspection is performed by inspectors who approach bridge components by walking or climbing. For bridges having high piers or crossing deep rivers, inspection trucks or boats are utilized to perform such inspection. However, for bridges having large amount of traffic volume or being located in rural areas, those trucks are too bulky to be used. There is much room for improvement for the task of bridge inspection.</p> <p>The Institute of Transportation (IOT) has conducted a research project from 2014 to 2015 using a low-cost unmanned aerial vehicle (UAV) to improve the efficiency of bridge inspection. The UAV is automated by preplanned flying routes to capture images of bridge components using its onboard cameras. Three dimensional (3D) bridge models were built in that project. Thus, in the current project, better quality of captured images of bridge components using more stabilized UAVs carrying cameras with higher resolution or special surround cameras is expected, in order to build better 3D bridge models. The popular virtual reality (VR) technology is then incorporated to view the built 3D bridge models so that simulation of bridge inspection can be performed.</p> <p>In addition, due to the facts that scouring is a serious problem and is very hard to inspect for the bridges in Taiwan, a special underwater inspection tool is developed in this project to replace the need of having divers approaching underwater bridge piers. The underwater inspection tool is an extendable 12 meters long rod fastened with a camera and an adjustable lighting device at the tip end, that are integrated with a tablet computer on which underwater images are displayed in real time. Underwater depth of the inspection rod, distance to the inspected pier, turbidity of water, and visual illumination are identified factors that affect the quality of underwater images. Consequently, a standard operation procedure for using such tool is also established.</p> <p>In summary, based on the concepts of “smart inspection as if personally onsite,” this project has successfully developed a prototype VR system for bridge inspection using images captured by UAVs, and a useful underwater inspection tool that captures high quality images similar to that taken by divers. The developed VR system and underwater inspection tool are expected to improve the efficiency and quality of bridge inspection in Taiwan.</p>			
DATE OF PUBLICATION July 2018	NUMBER OF PAGES 192	PRICE Not for Sale	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

圖目錄	V
表目錄	VIII
第一章 緒論	1
1.1 計畫背景	1
1.2 研究內容與工作項目	2
1.3 研究範圍與對象	2
1.4 報告架構	2
第二章 國內外重要文獻回顧	3
2.1 臺灣地區橋梁管理資訊系統	3
2.2 常見之橋梁檢測輔助工具	6
2.2.1 橋梁檢測車	6
2.2.2 吊索及橡皮艇(船艇)	7
2.2.3 雙索懸吊式輕量橋檢系統	8
2.2.4 三維雷射掃描器	9
2.2.5 機械手臂	9
2.2.6 橋梁檢測工具之比較	10
2.3 無人飛行載具	11
2.3.1 國外各領域應用 UAV 之現況	11
2.3.2 國內各領域應用 UAV 之現況	12
2.4 以二維照片建置三維模型之軟體探討與分析	16
2.4.1 VisualSFM	16
2.4.2 Photosynth	17
2.4.3 iWitnessPRO-Agilis	18
2.4.4 Acute3D	18
2.4.5 Agisoft PhotoScan	19
2.4.6 Pix4D Mapper	20
2.5 虛擬實境技術	23
2.5.1 VR 發展過程	24
2.5.2 VR 產品開發	25
2.5.3 VR 產業趨勢	26
2.6 水下檢測技術相關文獻探討	29
2.6.1 水下影像擷取	29
2.6.2 國內外橋梁水下檢測方法及原理	33
2.6.3 水下檢測影響因子	34
2.7 水下檢測技術之成像改善與應用	35
第三章 以 UAV 橋梁構件影像自動截取系統建置三維模型	37
3.1 UAV 組裝	37
3.2 障礙物偵測模組	40
3.3 UAV 自動截取影像系統架構	41
3.4 地面控制程式	42
3.4.1 飛行數據模組	42
3.4.2 航點計畫模組	42
3.4.3 切換相機模組	45

3.4.4 DERU 填寫模組	45
3.5 利用 UAV 自動截取之照片生成三維模型	47
3.6 UAV 橋梁檢測之限制與篩選橋梁	49
3.6.1 UAV 檢測時之限制條件	49
3.6.2 篩選橋梁	50
3.7 小結	53
第四章 以虛擬實境技術建置橋梁三維模型	55
4.1 虛擬實境	55
4.1.1 簡介	55
4.1.2 VR 技術於工程上之應用	55
4.2 現地資料取得	56
4.2.1 資料取得方法評估	56
4.2.2 影像處理軟體簡介	60
4.2.3 影像處理軟體比較	60
4.2.4 環景相機成像比較	65
4.3 虛擬實境技術之實現	70
4.3.1 VR 顯示器	70
4.3.2 三維模擬引擎	71
4.4 成果展示與討論	73
第五章 水下檢測工具初探之研究方法與進行步驟	77
5.1 水下檢測工具組成及使用要點	77
5.1.1 水下長桿檢測工具組成	77
5.1.2 長桿檢測工具使用步驟及要點	79
5.1.3 水下檢測遭遇之問題與解決措施	79
5.1.4 長桿水下檢測限制及可檢測構件項目	81
5.2 水下檢測影響因子評估	82
5.3 橋梁水下檢測現地試驗	86
5.3.1 外店橋	88
5.3.2 仁德橋	94
第六章 結論與建議	99
6.1 結論	99
6.2 建議	101
參考文獻	103
附錄一 研究成果推廣會	107
附錄二 期中審查意見回覆	113
附錄三 期末審查意見回覆	121
附錄四 水下檢測工具操作手冊	131
附錄五 研究成果投稿之論文摘要	149
附錄六 期末審查簡報檔	151

圖目錄

圖 2.1 第一代臺灣地區橋梁管理資訊系統首頁畫面.....	3
圖 2.2 第二代臺灣地區橋梁管理資訊系統首頁畫面.....	4
圖 2.3 第二代臺灣地區橋梁管理資訊系統之 3D 模型生成畫面.....	4
圖 2.4 行動裝置應用程式之 3D 模型生成畫面.....	5
圖 2.5 第二代臺灣地區橋梁管理資訊系統之篩選高風險橋梁清單畫面.....	5
圖 2.6 吊籃式橋檢車.....	6
圖 2.7 桁架式橋檢車.....	7
圖 2.8 迷你橋檢車.....	7
圖 2.9 橡皮艇.....	8
圖 2.10 長桿攝影機.....	8
圖 2.11 雙索吊式輕量橋檢系統.....	9
圖 2.12 三維雷射掃描儀.....	9
圖 2.13 機械手臂.....	10
圖 2.14 德國 Norman Hallermann 及 Guido Morgenthal 使用之配備.....	12
圖 2.15 德國 Norman Hallermann 及 Guido Morgenthal 之高塔檢測結果.....	12
圖 2.16 災前及災後花蓮壽豐溪河道面積比較圖.....	13
圖 2.18 以 UAV 空拍之建模成果.....	14
圖 2.19 以三維雷射掃描後之建模成果.....	15
圖 2.20 將二維照片匯入 VisualSFM 後產生之點雲.....	16
圖 2.21 將二維照片匯入 VisualSFM 後產生之 3D 模型.....	17
圖 2.22 以 Photosynth 建置之數值表面模型.....	17
圖 2.23 iWitnessPRO-Agilis 建置模型步驟.....	18
圖 2.24 Acute3D 團隊建置三維城市模型.....	19
圖 2.25 Agisoft PhotoScan 產生初步點雲.....	19
圖 2.26 Agisoft PhotoScan 產生之三維模型.....	20
圖 2.27 Pix4D Mapper 自動校正相機參數.....	21
圖 2.28 Pix4D 團隊建置 Chillon Castle 之 3D 模型.....	21
圖 2.29 VR 裝備外觀示意圖.....	23
圖 2.30 VR 環境示意圖.....	24
圖 2.31 VR 之三「I」內涵.....	25
圖 2.32 google cardboard.....	26
圖 2.33 虛擬實境行走器.....	26
圖 2.34 VR 於娛樂(遊戲)方面之應用.....	28
圖 2.35 VR 應用於汽車內部的虛擬設計.....	28
圖 2.36 潛水員著裝下水.....	30
圖 2.37 水下拍攝概況.....	30
圖 2.38 遙控式水下載具 ROV.....	31

圖 2.39 水下聲納技術	32
圖 2.40 底質探測系統作業示意圖	33
圖 2.41 水下目標的雷射雷達成像示意圖	33
圖 2.42 濁度計	35
圖 3.1 支援 4 至 8 軸的電源配置器	38
圖 3.2 輔助支架支撐平板電腦	38
圖 3.3 前期計畫使用的攝影機雲台	39
圖 3.4 前期計畫使用的攝影機轉向接頭	39
圖 3.5 光學辨識偵測障礙物	40
圖 3.6 聲波辨識偵測障礙物	40
圖 3.7 前期計畫採用之 UAV 防撞措施	41
圖 3.8 應用橋梁構件影像自動擷取系統於橋梁檢測的流程圖	41
圖 3.9 UAV 即時狀態	42
圖 3.10 現地確認 GIS	43
圖 3.11 選擇非飛行線檔案	43
圖 3.12 應對不同橋梁構件的 UAV 航點型式(I)	44
圖 3.13 應對不同橋梁構件的 UAV 航點型式(II)	44
圖 3.14 由觀看影片填寫 DERU 值	46
圖 3.15 由觀看照片填寫 DERU	46
圖 3.16 直接於軟體內填寫橋梁檢測 DERU 值	47
圖 3.17 南山大橋橋側 3D 模型	47
圖 3.18 南山大橋第六橋孔 3D 模型	48
圖 3.19a 以 UAV 拍攝彩虹二橋橋頂鏽蝕原始照片	48
圖 3.19b 以 UAV 拍攝彩虹二橋橋頂鏽蝕原始照片生成 3D 模型	48
圖 3.20a 以 UAV 拍攝蘇樂橋橋台原始照片	49
圖 3.20b 以 UAV 拍攝蘇樂橋橋台原始照片生成 3D 模型	49
圖 3.21 UAV 限制示意圖	50
圖 4.1 以 VR 模擬橋面連接的工程	56
圖 4.2 光達技術掃描成果	57
圖 4.3 光達技術掃描成果	57
圖 4.4 單一方向多相機機型	57
圖 4.5 兩顆魚眼鏡頭之機型	58
圖 4.6 南靖橋實地拍攝之全景影像	58
圖 4.7 雙溪橋實地拍攝之全景影像	58
圖 4.8 無人飛行載具	59
圖 4.9 由 UAV 影像產製之橋梁三維模型	60
圖 4.10 南靖橋勘查照片	61
圖 4.11 ContextCapture 軟體解算之成果	63

圖 4.12 Pix4D Mapper 軟體解算之成果.....	64
圖 4.13 Agisoft Photoscan 軟體解算之成果.....	65
圖 4.14 環景相機實測照片.....	68
圖 4.15 Unity 呈現之環景影像.....	69
圖 4.16 本研究建立虛擬實境之架構.....	70
圖 4.17 頭戴顯示器 Oculus Rift.....	71
圖 4.18 虛擬實境示意.....	71
圖 4.19 Unity 支援的 VR 顯示器.....	71
圖 4.20 Unity 簡要流程.....	72
圖 4.21 Unity 開發環境.....	72
圖 4.22 未加入全景影像球的模型樣貌.....	73
圖 4.23 加入全景影像球的模型樣貌.....	73
圖 4.24 VR 眼鏡中畫面.....	74
圖 4.25 操作與呈現畫面.....	74
圖 4.26 在 VR 中模型模式與環景模式的對應.....	75
圖 5.1 水下檢測工具研究流程.....	77
圖 5.2 方案一之構想圖.....	80
圖 5.3 方案二之構想圖.....	80
圖 5.4 長桿檢測工具裝設 WIFI 延長天線與電腦做連接.....	81
圖 5.5 WIGO 軟體.....	81
圖 5.6 橋梁檢測項目範圍.....	82
圖 5.7 桿件裝設示意圖.....	83
圖 5.8 TDS 水質檢測筆.....	84
圖 5.9 水下流速檢測示意圖.....	85
圖 5.10 后圳橋水下流速檢測過程.....	85
圖 5.11 外店橋地圖位置.....	88
圖 5.12 外店橋.....	89
圖 5.13 水下檢測橋墩基礎位置.....	90
圖 5.14 鏡頭中心與墩體拍攝距離.....	90
圖 5.15 外店橋 TDS 為 78ppm.....	91
圖 5.16 仁德橋地圖位置.....	94
圖 5.17 仁德橋形式.....	95
圖 5.18 水下檢測橋墩基礎位置.....	96
圖 5.19 鏡頭中心與墩體拍攝距離.....	96
圖 5.20 仁德橋 TDS 為 238ppm.....	96

表目錄

表 2.1 橋梁檢測工具之比較	10
表 2.2 無人飛行載具應用範圍	11
表 2.3 三維雷射掃描與 UAV 空拍之效益比較	14
表 2.5 VR 顯示器之比較	25
表 2.6 水下檢測技術之比較	32
表 3.1 不同橋梁構件適用之 UAV 航點	45
表 3.2 篩選結果(一)	50
表 3.3 篩選結果(二)	51
表 3.4 篩選結果(三)	51
表 3.5 篩選結果(四)	51
表 3.6 篩選結果(五)	51
表 3.7 篩選結果(六)	52
表 3.8 橋梁構件使用 UAV 檢測對照表	52
表 4.1 資料蒐集方法評估	59
表 4.2 軟體測試細節	62
表 4.3 環景、360° 環景與 720° 環景差異	66
表 4.4 環景相機規格比較	67
表 4.5 VR 顯示器之比較	70
表 5.1 水下長桿檢測工具清單	78
表 5.2 橋梁水下構件使用長桿檢測對照表	82
表 5.3 水下水深及補光差異	83
表 5.4 水下檢測影響因子彙整表	86
表 5.5 水下檢測影響因子評估表	87
表 5.6 外店橋基本資料	88
表 5.7 拍攝橋基資料表	89
表 5.8 水下檢測拍攝成果	91
表 5.9 仁德橋基本資料	95
表 5.10 拍攝橋基資料表	95
表 5.11 水下檢測拍攝成果	97

第一章 緒論

1.1 計畫背景

橋梁會隨氣候及環境之交替而逐漸老舊劣化，需定期巡檢，並籌編足額經費適時改善。我國橋梁約 3 萬座，並分由臺鐵局、高公局、公路總局及各縣市政府負責管養，按公路法相關規定，橋梁養護首重檢測，各橋梁管理機關除應適時針對所轄橋梁實施橋梁檢測作業外，並應針對損壞部分採取適當維修對策。

依據「公路養護規範」、「公路鋼結構橋梁檢測及補強規範」及「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」規定，我國橋梁檢測作業可分成「經常巡查」、「定期檢測」及「特別檢測」三類。其中「經常巡查」係於平時以乘車目視方式所實施之經常性檢查；「定期檢測」係透過步行、攀爬、作業車輛或船隻等方式，儘可能接近橋梁構件後，以目視判定橋梁狀況之定期性檢測。「特別檢測」係重大事故或災害發生後，為了解損傷程度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，由於檢測車體積較大、操作費時且成本較高，因此相關巡檢作業仍有精進空間。

本所於 103 年啟動「橋梁檢測工具效能提升計畫」研究計畫(以下簡稱前期計畫)，初步成功整合低價位無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, 簡稱 UAV)及相關軟硬設備，開發出有助於提升橋梁檢測作業品質及效率之無人旋翼機橋梁檢測離型模組。前期計畫中以 3D 生成模組最具特色，此即藉由無人機掛載之鏡頭，將影像自動擷取，並透過影像組合方式，成功產出 3D 橋梁影像，惟為求 3D 影像品質更加細緻化且應用更加廣泛，希望藉由搭載多鏡頭或環景鏡頭方式，於 UAV 飛行過程中，可穩定訊號之接收品質並降低雜訊干擾，再者，3D 影像產出後，如能結合時下熱門之虛擬實境(Virtual Reality, VR)功能，一來有助於後端人員詳細確認橋梁構件劣化之位置及狀態，二來亦可做為橋梁檢測人員於入門訓練之模擬操作。

另外，針對水面下橋基表面情形或沖刷深度等現象，傳統仍透過檢測人員穿著潛水裝備進行檢視，惟此舉不但耗費人力，且於深水處或水質混濁情形下，其傳統方式則無法接進水下結構物且深具危險，因此，本期研究考量市面上針對長距離攝影支架或延長桿等工具，且可應用於水下結構物之目視檢測作業，以改變傳統人為親自潛水方式。

綜上所述，本計畫透過 UAV 附掛多鏡頭與結合 VR 功能，並初步開發水下檢測工具等方式，提升橋梁目視檢測效益與後端應用價值，以「智慧檢測+身歷其境」之理念，持續提升橋梁檢測作業之品質及效率。

1.2 研究內容與工作項目

本計畫主要研究內容與工作項目可分為以下幾項：

- 一、蒐集資料：回顧前期計畫執行歷程及各階段研究成果，並持續蒐集國內、外有助於提升橋梁檢測作業效率及品質之儀器設備、技術應用、發展情形。
- 二、水下檢測工具初步開發：藉由市面上長距離攝影支架或延長桿等工具，結合防水功能之攝影機或相機，進行建置組裝，進行橋梁水下檢測試驗(以 2 座短橋及進行試驗)，並比較各種方式之優劣與解決對策。
- 三、3D 影像生成可行性探究：藉由多鏡頭、環景鏡頭或其他優質攝影設備掛載於無人飛行載具等方式，探究全橋飛行 3D 影像生成效果(以 2 座短橋及進行試驗)，並比較各種方式之優劣與解決對策。
- 四、虛擬實境(VR)結合可行性：針對上述產出之全橋 3D 模型資料，嘗試導入於 VR 相關產品，體驗並提出各種產品之成效及優劣。
- 五、綜合評估及推廣應用：評估研究成果之實施成效及環境限制，並提出 3D 影像生成結合 VR 檢測構想與目前橋梁目視檢測方式之差異、效益及適宜性。以全生命週期觀點，分析採購、租用或引進相關軟硬體設備所需成本，供橋管單位衡量參考，並辦理研究成果推廣(至少 1 場)。
- 六、其它：依合約規定期程進行期中及期末報告審查，並編撰操作手冊，另需選擇適當研究成果投稿至國內外期刊或學術研討會(至少 1 篇)。

1.3 研究範圍與對象

3D 與虛擬實境(Virtual Reality, VR)環境建置部分，以目前市面上最新的技術來做整合，盡可能達到最佳的虛擬實境環境，以利之後相關模擬之進行。

此外，水下長桿檢測部分，思考能否透過長桿連接攝影機之方式，深入水下檢視橋墩或橋基狀態，並探討長桿影響影像拍攝品質因子，最後建立以此長桿檢測工具檢測水下結構物之作業程序，減少人力潛水檢測的危險性。

1.4 報告架構

本研究報告共分七章。第一章為緒論，說明計畫背景、研究內容等。第二章則為國內外有關橋梁檢測技術的重要文獻回顧。第三章為前期計畫之研究成果，第四章說明本期計畫開發橋梁檢測虛擬實境模型，第五章為水下檢測設備與操作手冊，第六章則為本期計畫之研究成果教育訓練，第七章說明本期計畫執行結果之結論與建議。

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

橋梁為陸上運輸重要節點，對於山多平原少的臺灣地區，橋梁更是不可或缺的重要交通設施，許多鄉、鎮部落更只有少數聯外橋梁以保持對外交通，當橋梁中斷易與外界隔絕，影響甚鉅。我國橋梁主要管轄單位可分為公路總局、高公局、鐵路局、縣市政府、營建署以及觀光局，為了確實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，本所於民國 88 年與國立中央大學共同合作開發「臺灣地區橋梁管理系統」(Taiwan Bridge Management System, TBMS)，供交通部、內政部營建署和其所屬單位，及各縣市政府乃至於各鄉鎮市公所使用。TBMS 系統於民國 89 年正式上線，開放全國各橋梁管理機關使用，透過 TBMS 之資料儲存及資訊同步分享功能，除可有效改善各橋梁管理機關人員離職異動致資料遺失之狀況外，並可協助各橋梁管理機關即時快速的掌握橋梁狀況，達到橋梁管理之最基本要求，我國自此全面踏出橋梁管理的第一步。

TBMS(如圖 2.1)自開放使用迄今已 16 年，期間我國遭逢多次重大颱風豪雨侵襲，並因而發生多起橋梁斷落、人員傷亡之不幸事件。臺灣地區位處板塊交界，地震頻繁且地質條件複雜多變，同時每年颱風豪雨頻繁，河川劇烈沖刷淤積情形十分普遍，加上橋體老舊劣化、早年興建之橋梁施工品質良莠不齊、車輛超載及河川砂石盜採等不利因素影響下，橋梁劣化受損之風險也常隨之不斷增加。



圖 2.1 第一代臺灣地區橋梁管理資訊系統首頁畫面

為強化 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，並利各橋梁管理機關確保 TBMS 各項資料之完整與詳實程度，與及開發行動裝置以提升橋梁檢測之效率及品質，運研所於 102 年開始分三期委託中央大

學進行「第二代臺灣地區橋梁管理資訊系統建置規劃」(以下簡稱為 TBMS2)。相較於第一代 TBMS，第二代 TBMS(如圖 2.2)主要著眼於三項改進：

一、構件化

具備生成大多數橋梁型式之「橋梁構件生成模組」，俾讓使用者能循序逐構件建置各橋梁之概略圖像模型(如圖 2.3)，並能讓使用者將橋梁檢測結果儲存於相應構件內，以利管理者能快速掌握各構件之變化歷程，更可進一步了解橋梁例行檢測作業之完整度及詳實情形。



圖 2.2 第二代臺灣地區橋梁管理資訊系統首頁畫面

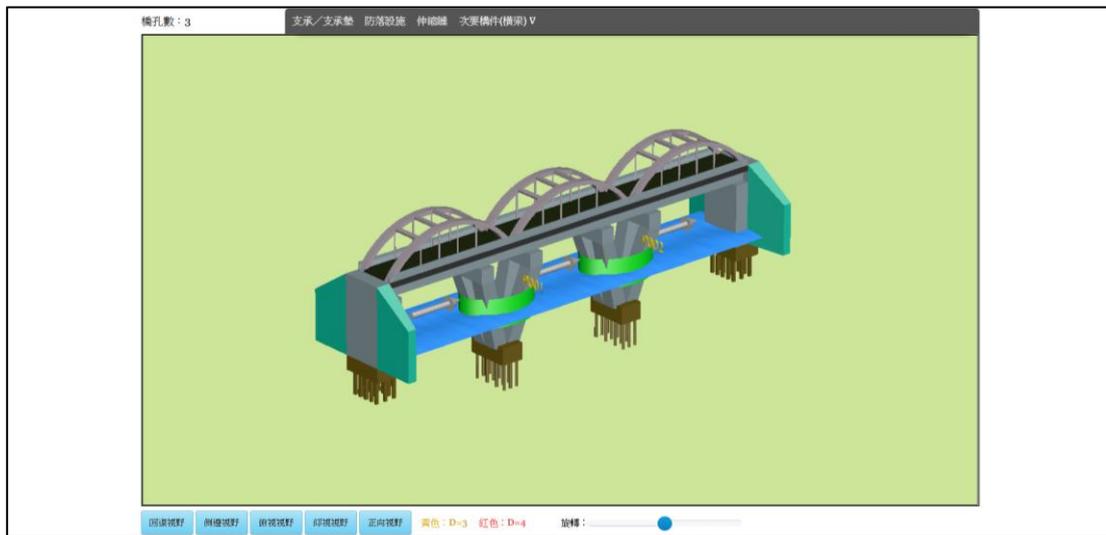


圖 2.3 第二代臺灣地區橋梁管理資訊系統之 3D 模型生成畫面

二、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或相關應用程式(如圖 2.4)，以提升橋梁檢測作業之效率及品質。

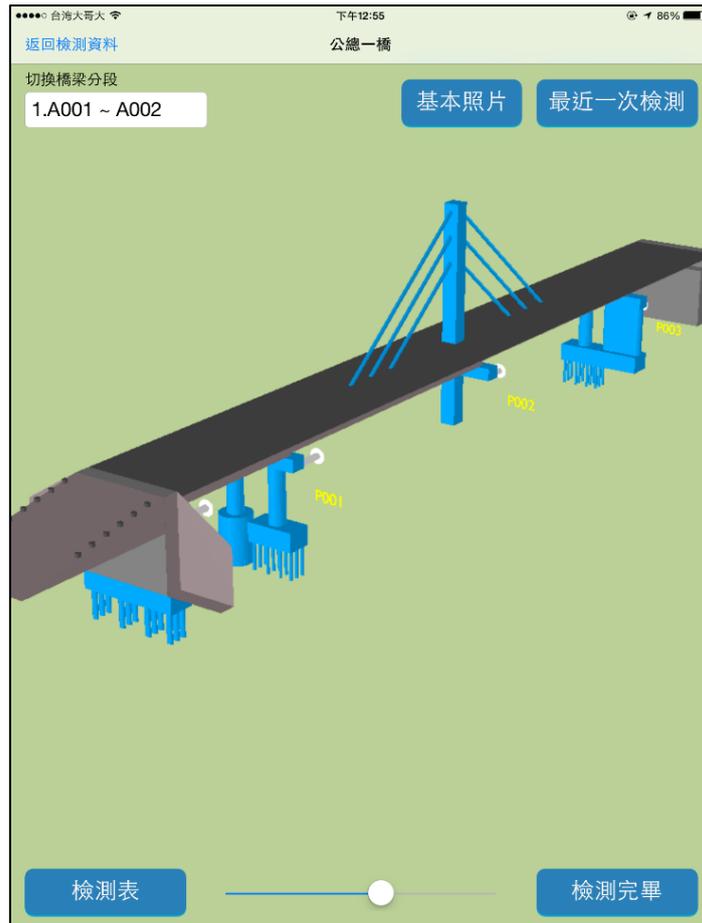


圖 2.4 行動裝置應用程式之 3D 模型生成畫面

三、客製化

強化 TBMS 對橋梁耐洪能力、耐震能力、載重能力及老劣化情形之掌握，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 2.5 第二代臺灣地區橋梁管理資訊系統之篩選高風險橋梁清單畫面

然而，不管當前 TBMS 之 3D 模型自動生成技術如何完備，管理者仍需自行想像橋梁本體與現地環境之對應關係，故若可提供一套虛擬實境系統予橋管單位運用，帶領管理者身歷其境，可提升維護管理策略於現地適用性。

2.2 常見之橋梁檢測輔助工具

2.2.1 橋梁檢測車

橋梁檢測車為目前最常使用橋梁檢測的工具之一，橋梁檢測車最早出現在歐美，奧地利 PALFINGER 公司，美國 HYDRA 公司、Aspen Aerials 公司，德國 MOOG 公司等已有用於橋梁檢測的檢測車。橋梁檢測車是由汽車底盤和工作手臂所組成，可為橋梁檢測人員在檢測過程中提供作業平台站立於上，平台上則裝有橋梁檢測儀器等相關設備。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[1]。

根據工作裝置的不同，橋梁檢測車主要分為吊籃式(如圖 2.6)和桁架式(如圖 2.7)兩種[2]。吊籃式橋梁檢測車也稱折疊臂式橋梁檢測車，其結構不大，受橋梁結構制約少，工作靈活，既可檢測橋下也可升起檢測橋梁上部結構，有時候還可以作為高空作業車使用，價格相對桁架式橋檢車低。桁架式橋梁檢測車採用通道式工作平台，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台或返回橋面。兩者各有其優缺，但對於橋面道路淨寬較小時，兩者均不適用。



資料來源：[2]

圖 2.6 吊籃式橋檢車

相較於體積龐大的橋檢車，為因應都市繁忙的交通或山區狹隘的道路，日本 Zivil 公司研發一種迷你型橋梁檢測電動車(如圖 2.8)[3]。此檢測車將高性能的影像攝影機安裝於車臂前端，檢測人員可於車內控制車臂前端下伸至橋下拍攝構件。如橋寬大於 15 公尺，必須裝載可放大影像之攝影機，因橋檢車之手臂水平長最長為 7.2 公尺，中間之結構和構件無法清楚照攝到，所以必須裝置具有放大功能之攝影機；鉛直竿長 10.7 公尺，能檢測到至少 3~4 公尺高的桁架。



資料來源：[2]

圖 2.7 桁架式橋檢車



資料來源：[3]

圖 2.8 迷你橋檢車

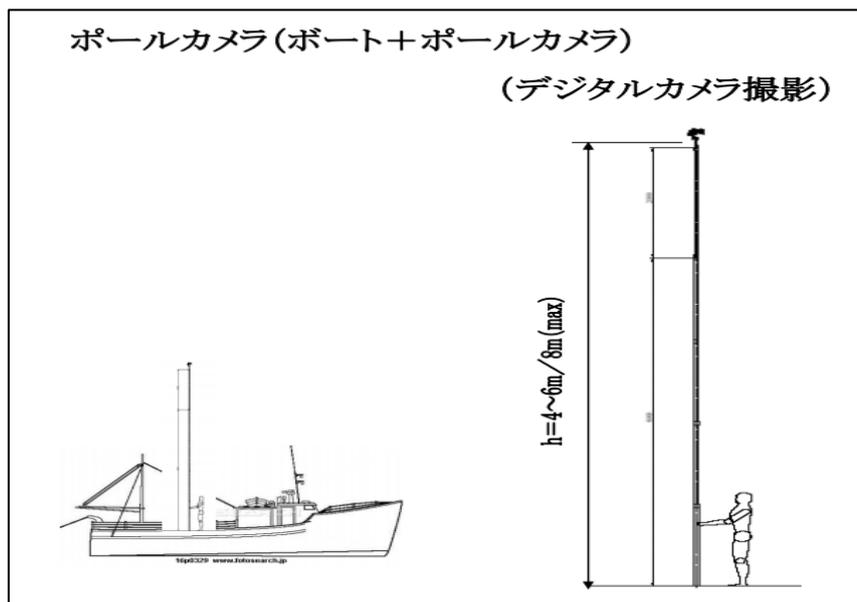
2.2.2 吊索及橡皮艇(船艇)

當遇到橋檢車無法進入之橋梁，通常會使用吊索及橡皮艇(如圖 2.9)作為替代工具[4]。檢測人員使用吊索懸掛於橋下近距離靠近構件進行檢測，但橋長過長，作業時間相對增加，對橋檢人員不僅負擔大，安全也存有疑慮。橡皮艇則可用於檢測跨河橋，檢測人員攜帶望遠鏡及高倍數相機進行橋底檢測。但遇河流湍急時，橡皮艇控制不易易發生危險；而遇高橋墩橋梁時，即使於水面上使用望遠鏡及相機，也不易察覺橋底裂縫。日本 Zivil 公司研發長桿攝影機(如圖 2.10)[3]，可裝設於船艇或橡皮艇上，使用一根長桿，桿上端裝置相機或攝影機，駛於橋底可拍攝橋面結構物狀態。由於此長桿材質為輕量化的多段收縮式碳桿，檢測人員可一邊透過手中螢幕了解目前狀況，一邊遠端操作攝影機。



資料來源：[4]

圖 2.9 橡皮艇

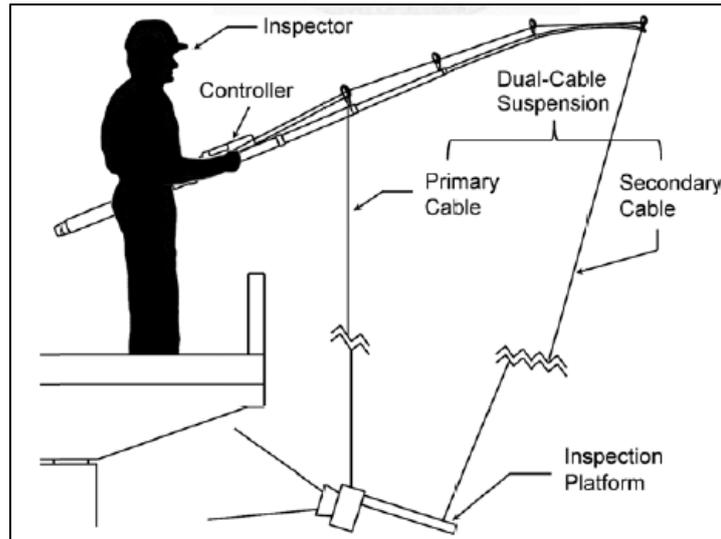


資料來源：[3]

圖 2.10 長桿攝影機

2.2.3 雙索懸吊式輕量橋檢系統

透過雙索懸吊式系統(如圖 2.11)，搭配監測端與檢測端進行橋梁下半部結構檢測，提升橋梁檢測效率、節省不必要的金錢開銷、保障檢測人員安全以及防止大型工具佔據用路人使用權利。此機制僅適用於小型橋梁，需兩人進行作業，作業區域小，需架設三角錐警示用路人，不然極為容易不注意而發生車禍。[5]



資料來源：[5]

圖 2.11 雙索吊式輕量橋檢系統

2.2.4 三維雷射掃描器

三維雷射掃描技術(如圖 2.12)為建立三維資料所衍生的高科技產品，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[6]。體積小，速度可達每秒數萬點，短時間內就可量測大量觀測資料進行分析，精度都能達到公厘(mm)等級，亦可對裂縫、變形等作長期比對。三維雷射掃描器體積雖小，但費用極高、重量頗重，攜帶不易，許多工務段除非必要，並不會使用該工具。



資料來源：[6]

圖 2.12 三維雷射掃描儀

2.2.5 機械手臂

機械手臂(如圖 2.13)以氣、液壓系統結合感應馬達，於手臂末端裝上微型攝影機(CCD Camera)取代肉眼觀察，安全地檢測裂縫。系統採用關節旋轉方式，將各節旋至所欲之位置。機械臂並加裝配重以平衡手臂及零件之自重，將彎曲力矩(bending moment)轉成正下力，使機械臂處於一個水平狀態，減低馬達的

動力輸出，達到低扭力推動高重量之要求。而控制方式以工業級 PC，操作者只需輸入角度或座標以計算各元件的運動軌跡，並加以驅動而達到檢測位置。[7]



資料來源:[7]

圖 2.13 機械手臂

2.2.6 橋梁檢測工具之比較

在臺灣，橋檢車、吊索或是橡皮艇皆為橋檢時最常使用的工具。對於工作項目與檢測品質持續提升，但所使用的橋梁檢測輔助工具還無法解決龐大的應檢測橋梁數目與檢測資料，因此勢必要對檢測作業所使用的工具做個改變，表 2.1 為各橋檢工具之比較。

表 2.1 橋梁檢測工具之比較

檢測工具	橋檢車	船艇	雙索系統	三維雷射掃描	機械手臂
主要功能	為橋梁檢測人員在檢測過程中提供作業平台的專用汽車。作業平台裝備在汽車底盤上，可以隨時移動位置，能安全、快速、高效地讓作業人員進入作業位置	橡皮艇用於檢測跨河橋，檢測人員攜帶望遠鏡及高倍數相機進行橋底檢測	將檢測端垂放至橋面下，搭配無線傳輸技術以及事先規劃之檢測策略，取得橋面下之檢測影像	用來偵測並分析現實世界中物體或環境的形狀與外觀資料，蒐集到的資料常被用來進行三維重建計算，在虛擬世界中建立實際物體的數位模型	機械手臂以氣、液壓系統結合了感應馬達，並於手臂末端裝上微型攝影機（CCD Camera）以取代肉眼觀察
主要限制	橋面狀況影響檢測車的運作	河流湍急或氣候不佳會影響檢測狀況	現地氣候及橋面狀況會影響人員檢測	儀器能夠掃描最大之距離及現地氣候及架設環境狀況	橋面狀況影響機械手臂運作
單價	數百萬至二千萬元	數千至數萬元	數萬至十餘萬元	數百萬元	數百萬元

2.3 無人飛行載具

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)最早開發於一戰後，二戰中曾以 UAV 為靶機用於訓練防空炮手之外，美國與德國都嘗試以飛機攜帶大量炸藥，經由飛行員直接或是透過另外一架飛機控制，對特殊目標進行高精確度的攻擊。

第二次世界大戰之後有 UAV 則有數種發展路線。第一種是以退役的 UAV 改裝成為特殊研究機種或者是靶機。第二種是以專門設計的小型 UAV 擔任特殊的偵查或者是試驗任務，第三種是以小型 UAV 取代大型飛機的任務。隨著技術進步，UAV 擔任偵查任務的角色上開始展露靈活性與重要性。近年來非軍用之 UAV 蓬勃發展，其低成本、高效能、易攜帶與質量輕的特性，備受矚目，常運用於商業、採樣等用途，如表 2.2 所示，配合其目的所需而使用不同類型之 UAV。[8]

表 2.2 無人飛行載具應用範圍

類別	應用範圍
治安	情蒐、邊界海岸巡邏、搜尋、反恐、反毒品走私、空中偵察
災害防救	火災偵測及撲救、搜救、水災災害評估、早期警報、氣象資料蒐集、暴(颶)風早期預報
空氣標本採樣	生化或輻射偵測及監控、早期警報系統
商業	書信或包裹投遞、交通系統監控、油管及油田監控、視訊與通信之轉播、魚訊監控追蹤、汙染監控、航空測繪、地熱探查測繪、房地產勘查
其它	大型群眾活動監控、各項活動轉播、交通量計算與監控

2.3.1 國外各領域應用 UAV 之現況

一、美國

美國 RAI&M 公司使用 UAV 進行煙囪、塔台、石油鑽機、風力發電機…等進行檢測；加拿大 RAM 公司主要是輔助高空作業，如天線、摩天大樓或是高聳的橋梁，使用傳統輔助工具不僅檢測時間費時還得讓檢測人員暴露在高危險地域。為了有效檢測此類型之結構物，UAV 具備高空影像擷取能力、地理量測以及熱感應分析幫助檢測人員避免不必要的風險，也能節省時間及成本。[9][10]

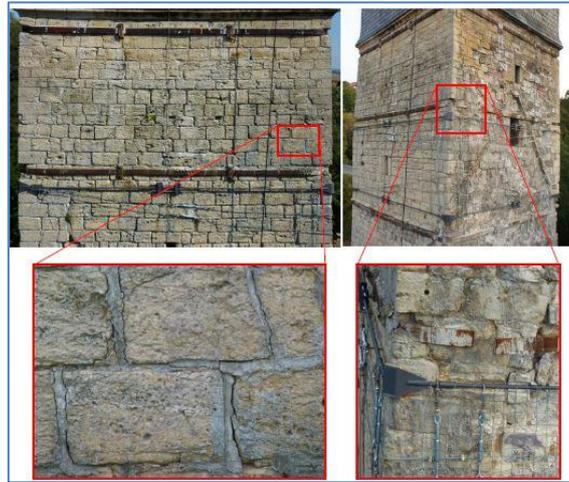
二、德國

位於德國 Bad Frankenhausen 一座具有 630 年歷史教堂高塔，為天然石材砌築而成，高 56 公尺、寬 9.5 公尺，因當地土壤環境不佳，塔尖傾斜置地面約 4.7°，為世界上最傾斜的高塔之一。檢測人員不僅不易檢視高塔上部構件，其建築物亦不適用破壞性檢測減損其壽命。德國 Norman Hallermann 及 Guido Morgenthal 先生使用 8 軸旋翼式 UAV，搭配高畫質相機(如圖 2.14)為高塔進行拍攝，成功為高塔檢測出石材剝落、鋼片鏽蝕等問題(如圖 2.15)。[11]



資料來源：[11]

圖 2.14 德國 Norman Hallermann 及 Guido Morgenthal 使用之配備



資料來源：[11]

圖 2.15 德國 Norman Hallermann 及 Guido Morgenthal 之高塔檢測結果

三、蘇格蘭

位於蘇格蘭的跨河橋 Stirling Bridge，高度甚高，在進行橋梁檢測時較為不便且危險，蘇格蘭採用了 Cyberhawk 有限公司提供的提供的小型 UAV 獲取高度較高或檢測人員較無法到達之位置取得橋梁劣化之影像。使得檢測人員團隊無需使用支架、作業梯或升降梯等大型工具，提升檢測人員之安全性。使用機型為八軸，需兩位作業員(一為操作 UAV 者，一為攝影鏡頭調整者)。[12]

2.3.2 國內各領域應用 UAV 之現況

國內有數家專門使用 UAV 執行任務的公司及機關，如逢甲大學營建及防災中心、大地技師公會、中興顧問社、本所以及交通部公路總局等，其應用有以下幾種：

一、河道面積變化

逢甲大學營建及防災研究中心使用 UAV 對花蓮壽豐溪進行拍攝，利用 UAV 連續拍攝之特性進行影像接合處理，將溪流區域拍攝照片疊合後，進行面積計算調查。接合影像快速定位後可立即比對歷史資料，比對河道災前、災後之面積差異(如圖 2.16)。[13][14]

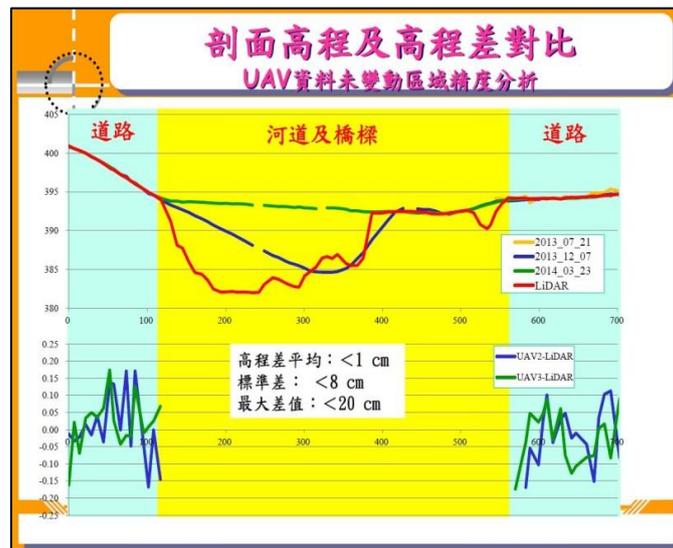


資料來源：[14]

圖 2.16 災前及災後花蓮壽豐溪河道面積比較圖

二、大地測量

中興工程顧問社有鑒於國外應用 UAV 進行高空遠景拍攝，而其業務多為野外進行地質探勘及邊坡勘災，其業務性質與 UAV 特性可說是十分適合匹配，故其近十年來開始對 UAV 進行深入的研究。起初使用定翼式 UAV，因其飛行時間與距離較長，非常適合於高空中執行遠景拍攝任務。雖說定翼式機種穩定度會隨著機翼長度變長而提高，但越長的機翼也越難執行較複雜的任務，故定翼式機種較難適任於勘災或橋梁檢測等用途，因此，中興顧問社漸漸轉向可定點盤旋之旋翼式 UAV。其先前購入市面上廠商組裝之機種，使用後發現操作難易度因人而異、且無法客製化、維修需送回廠與價格較高等問題。故近年開始自行組裝、設定程式、甚至使用三維列印機製作所需零件。至今中興顧問社已使用過四、六及八軸 UAV 運用於不同專案拍攝。[15]



資料來源：[16]

圖 2.17 荖濃溪逐年剖面高程及高程差之對比

臺北科技大學張國禎教授團隊，使用 UAV 搭載精密三維雷射掃描儀，對荖濃溪河道附近地形每半年建模一次，分析其剖面高程及高程差之對比，以分析荖

濃溪河道變遷 (如圖 2.17) 。[16]

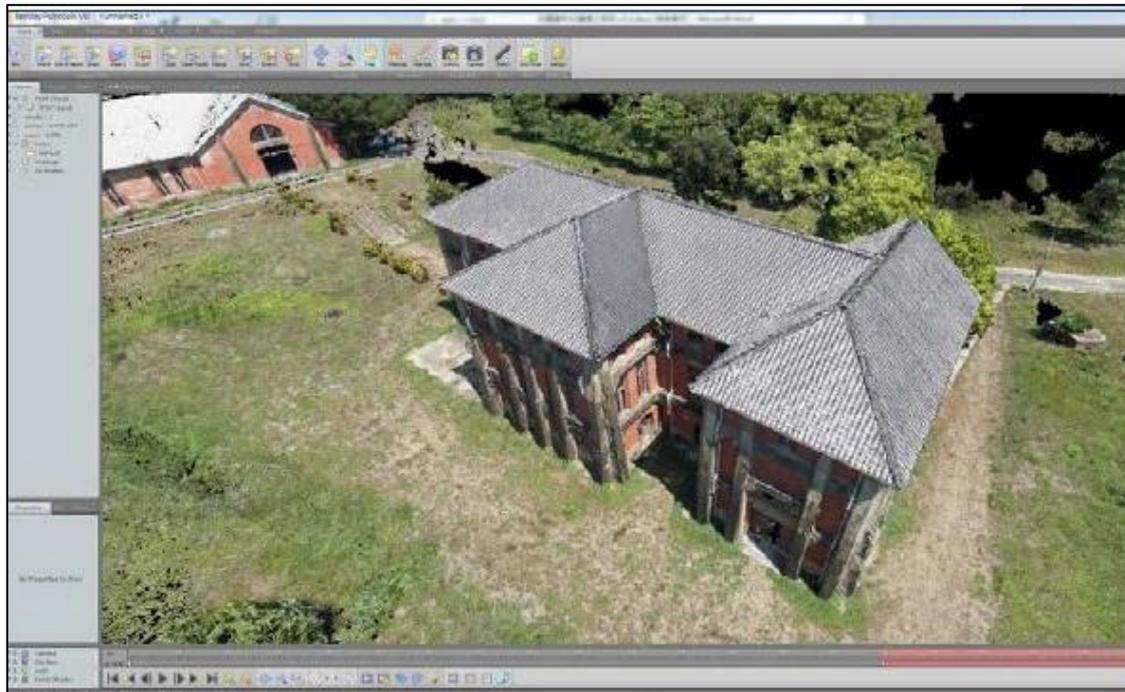
三、建築物三維建模

正修科技大學田坤國教授團隊，使用六軸 UAV 環繞台南水道古蹟建築物進行人工空拍作業(如圖 2.18)；並比較使用三維雷射掃描儀於建築物四周架設掃描站，於每站進行 15 分鐘左右之掃描作業之建模分析(如圖 2.19)。將 UAV 及三維雷射掃描取得之點雲資料匯入 Bentley Pointools V8i 軟體中進行點雲編輯、三維模型建置及動態影片製作。

其成果如表 2.3 所示，三維雷射掃描之解析度比 UAV 空拍高，因此三維建築物之建模較為精細，但所花費成本及資料處理時間相對於 UAV 方式均較高。[17]

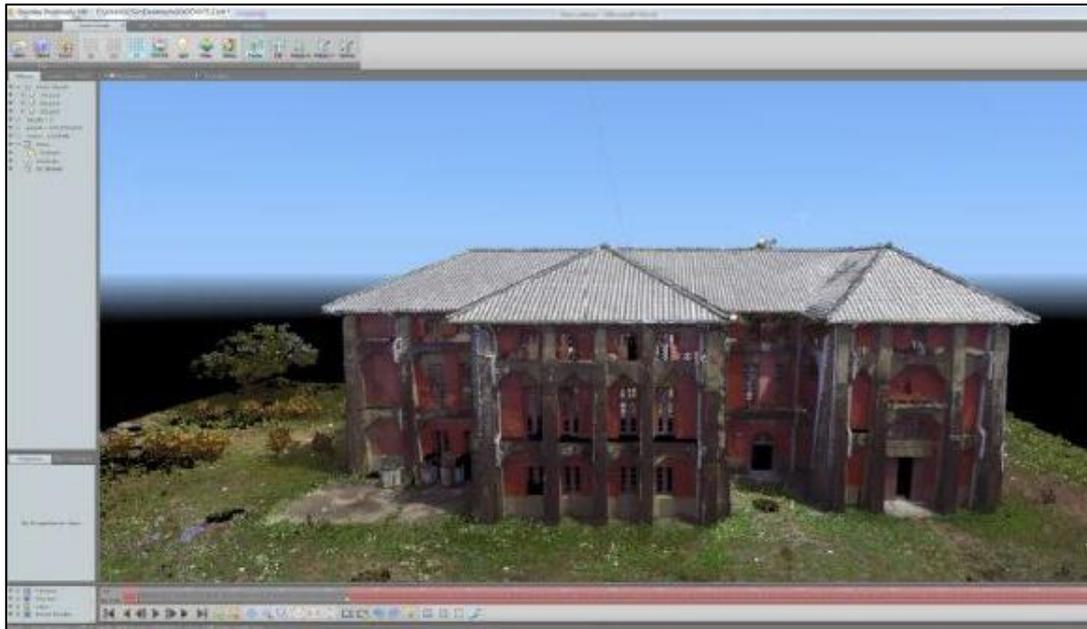
表 2.3 三維雷射掃描與 UAV 空拍之效益比較

項目	UAV 環繞拍攝	三維雷射掃描
解析度	1.2cm	0.2cm
設備經費	約新臺幣 15 萬元	約新臺幣 250 萬元
資料蒐集所需時間	30 分鐘	2 小時
資料處理所需時間	2 小時	12 小時
電腦配備需求	中	高



資料來源：[17]

圖 2.18 以 UAV 空拍之建模成果



資料來源：[17]

圖 2.19 以三維雷射掃描後之建模成果

四、橋梁檢測

橋檢車數量少，各機關、廠商須輪流登記使用，如遇山區橋梁、檢測時天候不佳、或位於交通要道之橋梁等情況則更增檢測困難度。UAV 進行橋梁檢測時具有快速蒐集資料及降低現地人員安危之特性，故現今國內已有許多機關、廠商開始使用 UAV 進行橋梁檢測。

公路總局景美工務段、復興工務段為配合總局推動創新作為的政策共同合作，使用 UAV 來檢測特殊或不易進行檢測之橋梁。雖然現今市面上已有許多廠商販售 UAV 或接洽 UAV 飛行任務，但費用極高，對於有限的橋檢預算上無法再多加負擔，故此兩工務段採用自行組裝之 UAV，整組約花費十萬元以內，除了比起市面販售之 UAV 便宜許多，另自行組裝之 UAV 亦有許多優點，自行組裝不但可節省送回原廠維修，亦可自行選購較便宜的替換零件為有限的橋檢預算省下不少間及金錢；此兩工務段至今已使用 UAV 檢測過龍門橋(景美工務段)、金龍橋(景美工務段)和羅浮橋(復興工務段)，主要檢測目的為鋼橋的銹蝕狀況判斷。上述三座橋，因跨度大、難下至橋底及路燈多難以使用橋檢車，而希望藉由旋翼式 UAV 能於空中盤旋的特性，到達所需檢測位置。

曾子峻(2010)使用自行組裝之旋翼式 UAV 進行局部橋檢，並運用雷射光點影像回傳辨識橋梁劣化程度填寫 ABCDN 檢測表格[18]，開啟國內使用 UAV 進行橋梁檢測之先端。

施旻汶(2015)使用自行組裝自動化飛行之旋翼式 UAV 檢測國內七座不同類型之橋梁，並歸納出一般橋梁定期檢測 21 個構件中，除支承墊與止震塊/拉桿兩項構件無法擷取影像，橋墩基礎、橋台基礎及翼牆/擋土牆僅能取得部分影像外，其餘 16 個構件皆能清楚擷取影像。而依其自組 UAV 之限制條件(1)橋下最低淨高大於等於 5 公尺、(2)橋面版淨寬小於等於 60 公尺、(3)自起飛水平計算，正

高程可達 100 公尺，負高程可達-20 公尺，使用臺灣地區橋梁管理資訊系統，篩選縣市政府、公路總局、高速公路總局，可使用 UAV 進行橋梁檢測之橋梁數共高達 4,807 座。其研究成果顯示國內 UAV 之技術已達成熟之階段，可應付大多數極端狀況之橋梁檢測。[15]

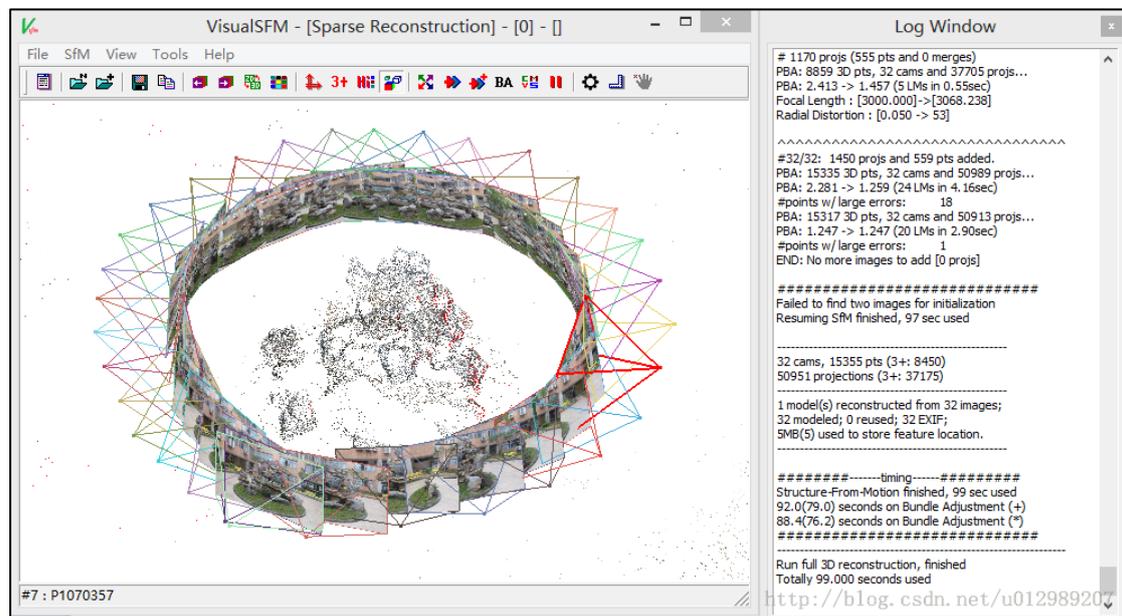
2.4 以二維照片建置三維模型之軟體探討與分析

使用者可將 UAV 所拍攝的二維照片匯入建置三維模型之軟體，其平台透過其獨有的影像辨識技術，利用各個連續拍攝影像之特徵值，將 UAV 所拍攝的連續影像依其特徵值進行疊合，進而將二維相片建置成三維模型。

2.4.1 VisualSFM

VisualSFM 是華盛頓大學的 Changchang Wu 所開發的軟體。這是由 Bundler (進行多視點調校，並製作低密度點雲)、CMVS/PMVS (計算高密度點雲)、SIFT(尺度不變特徵轉換，Scale-Invariant Feature Transform)所構成的開放原始碼架構的副產物。[19][20]

VisualSFM 的基本理念為 SFM (Structure From Motion)，為根據多重影像疊合匹配之結果，利用射影定理計算得到相機位置等場景信息，再運用場景信息與原始照片，得到照片中物體的三維點雲(如圖 2.20)，最後根據三維點雲構建三維模型，其畫面如圖 2.21。



資料來源：[19]

圖 2.20 將二維照片匯入 VisualSFM 後產生之點雲



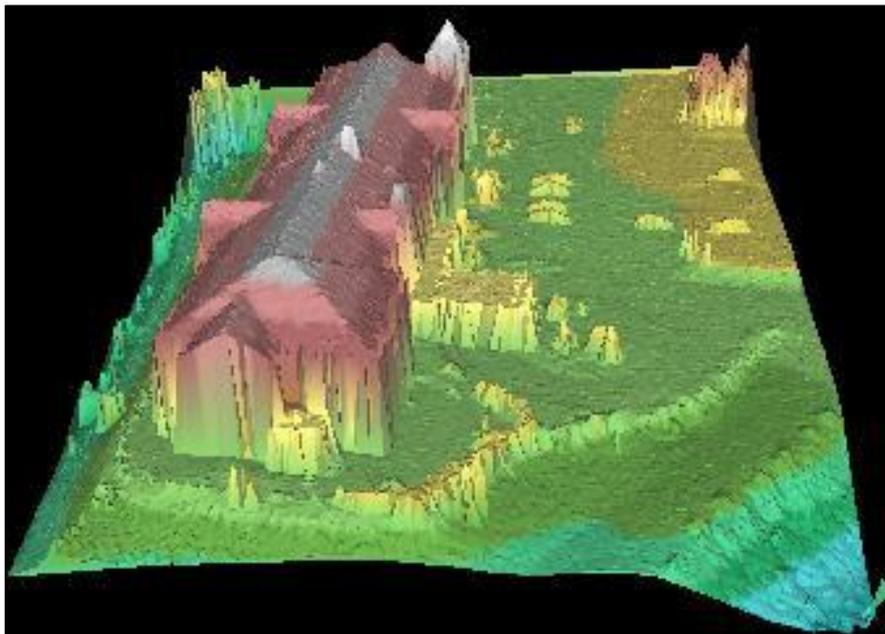
資料來源：[19]

圖 2.21 將二維照片匯入 VisualSFM 後產生之 3D 模型

2.4.2 Photosynth

Photosynth 為微軟公司與華盛頓大學合作的一項技術，原名稱是 Photo Tourism。Photosynth 透過空間場景中的大量照片，找出照片中相似的特徵、角度、位置自動拼接及完成三維空間照片影像。Photosynth 最特別之處在於使用者只需要指定照片，其軟體會自動接合照片，並且處理複雜的空間運算。[21][22][23]

Photosynth 建置後的三維模型類似類三維的視覺效果，透過建置後的點雲進行修編，產生如圖 2.22 之數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)[24]。



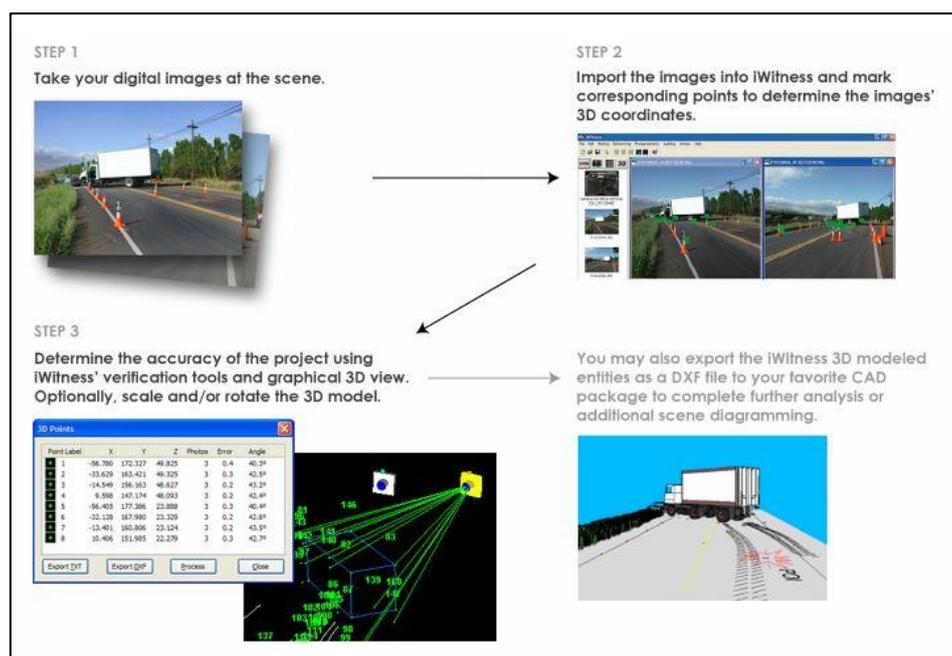
資料來源：[39]

圖 2.22 以 Photosynth 建置之數值表面模型

2.4.3 iWitnessPRO-Agilis

iWitnessPRO-Agilis 支援來自多個連續圖像的匹配組合，其可捕捉各圖像相似的區塊，自動生成高分辨率的三維模型。通過圖像紋理產生匹配點雲和網格式的密集化圖像，生成數值表面模型(DSM)和正射鑲嵌影像，其影像生成步驟如圖 2.23 所示。[25]

iWitnessPRO-Agilis 採用解析法單像繪圖系統 (Digital Monoplotting System, DMP) 之概念，利用攝影單面向圖像，從圖像中擷取特徵點產生三維點雲，其使用上與 UAV 進行拍攝連續影像之特性十分符合，藉由連續拍攝圖像，使圖像三維化後，即可還原現場資訊。



資料來源：[25]

圖 2.23 iWitnessPRO-Agilis 建置模型步驟

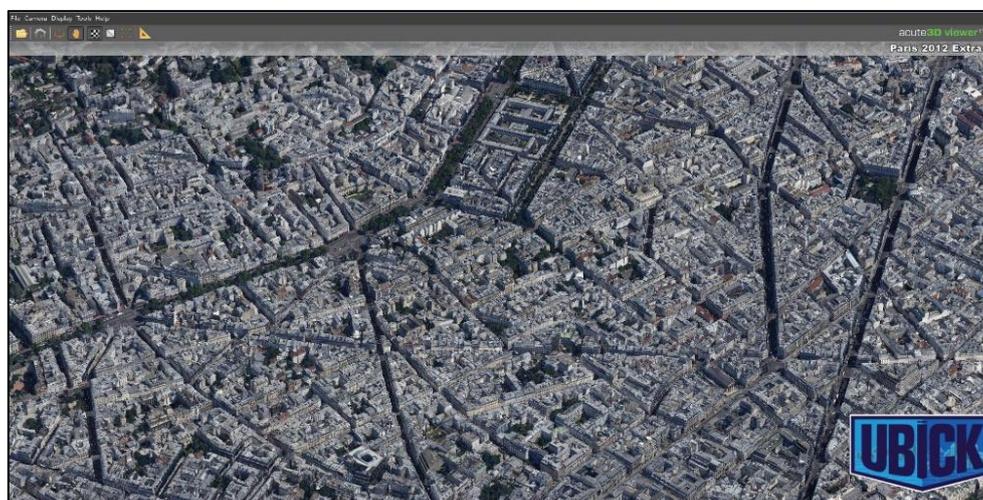
2.4.4 Acute3D

2011 年 Jean-Philippe Pons 與 Renaud Keriven 創立 Acute3D，以製作工業級精度模型為主，其開發之 Smart3DCapture(現已被 Bentley 公司收購，改名為 ContextCapture) 現實建模軟體可將現有條件的觀測結果，處理成與設計建模和施工建模環境中的背景相吻合的表示形式。Acute3D 生成的不是利用大量離散點雲，而是三維的「現實網格」，就幾何圖形而言，這與工程模型有異曲同工之妙，因此很容易與真實背景相吻合。[6][26][27][28][29][30]

而 Acute3D 所發展的 ContextCapture 自動化軟體，可以以高階析度航空影像、電腦視覺與幾何計算演算法的三種基礎之下，由高階析度影像進行三維資訊重建。將不同角度所拍攝的連續的照片及相機參數匯入 ContextCapture 中，獲得高分辨率的彩色三角網格資訊，進而將三角網資訊輸出各種三維格式。

無論是高度專業的相機抑或是內嵌在智慧手機中的相機，Acute3D 軟體都可利用其拍攝的數碼照片自動生成具有高解析度的三維模型。Acute3D 建模之精

度僅受照片數量與品質的限制，可以確保在所有基礎設施資產的建造、工程、施工和運營中都能同時將現有條件納入考慮中。因其擁有工業級精度和不受限制的可擴展性，Acute3D 成為許多廠商使用 UAV 進行測量後建模所選軟體之一。圖 2.24 即為使用此軟體建置法國巴黎市之三維模型。



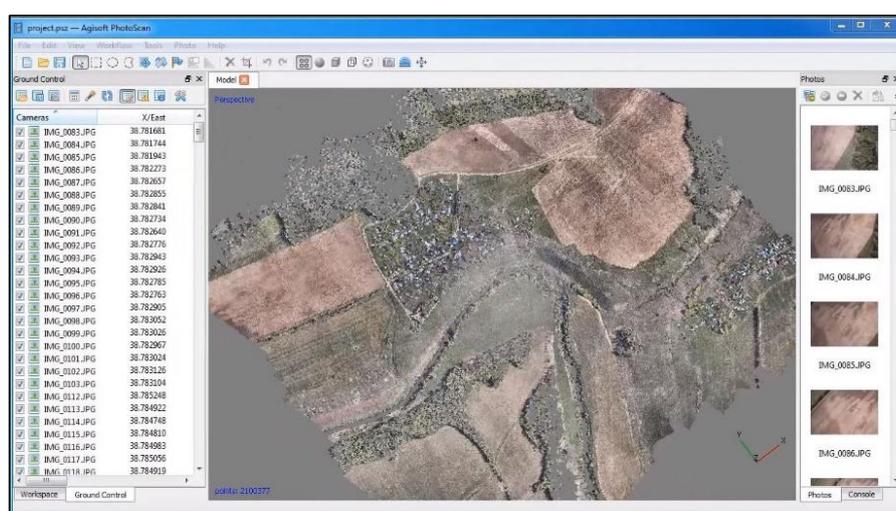
資料來源：[30]

圖 2.24 Acute3D 團隊建置三維城市模型

2.4.5 Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan 為利用數位照片簡單且快速地建立具有色彩和紋理的三維模型軟體，能夠生成高解析度的地理正射影像圖(精度可達 5cm with GCP)和極為精細的 DEM/具有紋理的三維模型。以全自動化的工作流程讓使用者即使不是專家也能用桌上型電腦處理數千計的航拍圖像，並產生專業級的攝影測量資料。其照片處理和三維模型構建過程主要分為三個階段。[31][32]

第一階段為照片疊合。Agisoft PhotoScan 會搜尋照片上的共同點及拍照時攝影機的位置，為畫面細化攝影機校準參數，最後產生初步的點雲(如圖 2.25)。



資料來源：[31]

圖 2.25 Agisoft PhotoScan 產生初步點雲

第二階段為建設幾何形狀。產生點雲後，Agisoft PhotoScan 可基於所估計的相機位置和圖片本身產生三維多邊形網格(如圖 2.26)。Agisoft PhotoScan 提供四種演算法的方法應用於三維網格生成：任意 - 平滑、任意 - 銳利、功能變數 - 平滑、高度場 - 銳利方法。此外，另有基於稀疏點雲基礎的方法可快速進行幾何生成。構建幾何網格後，亦可對產生之模型其進行編輯，做出一些修正，如網狀抽取、去除分離的元件等功能。



資料來源：[31]

圖 2.26 Agisoft PhotoScan 產生之三維模型

對於更複雜的編輯，則必須使用外部三維編輯器工具。Agisoft PhotoScan 可匯出大多數的三維模型檔案格式，使用者可用其他軟體來繼續編輯三維模型。

2.4.6 Pix4D Mapper

Pix4D Mapper 是由瑞士政府資助的科研專案，為瑞士洛桑聯邦理工大學電腦視覺實驗室所開發。利用新研發的運算方法及雲端運算技術，能夠在短時間內對使用者上傳的一張張的空拍圖進行接圖，並根據內建的演算法將這些平面圖轉換成三維模型及貼圖材質。[33][34][35]

Pix4D Mapper 為一套專為航空遙測所開發的軟體，其能處理任何相機拍攝之航空、傾斜與地面影像精確至公分等級；Pix4D Mapper 可全自動完成所有率定，產製高解析度的正射影像、精確點雲、數值地表模型、等高線等，同時提供繪製三維線段、標註物件、計算體積等功能，其可匯入多種影像格式，如 JPG、BMP、TIFF 等，組合成的三維模型亦可匯出成 PDF、KMZ、KML 等檔案格式，用於多種用途之上。

Pix4D Mapper 並具備自動偵測拍攝相機並校正相機誤差之功能(如圖 2.27)，無論使用何種型號相機，Pix4D Mapper 皆會經由自動搜尋相機型號及其參數之功能，於系統中修正相片以減少建置模型之誤差，使用者無須再透過後續影像編輯軟體編修相片。於建置模型過程中，亦可利用相片 GPS 座標、飛行路線等輔助相片定位之功能，校正特徵值比對之誤差。



圖 2.27 Pix4D Mapper 自動校正相機參數

Pix4D 團隊使用 UAV 拍攝瑞士歷史古蹟 Chillon Castle，建置室內與室外的三維模型，使用設備包括 DJI Phantom 2 Vision、GoPro Hero 3+、Canon 6D、Sony alpha 7r 等數位相機進行拍攝。擷取拍攝之成果使用 Pix4D Mapper 軟體轉換成約 9 千 5 百萬個的高密集三維點雲。完成點雲後生成三維模型，其準確度介於 5mm~20cm。本研究將上述軟體整併進表 2.4 比較。



資料來源：[34]

圖 2.28 Pix4D 團隊建置 Chillon Castle 之 3D 模型

表 2.4 五種建模軟體功能及費用比較表

	Visual SFM	Photosynth	iWitnessPRO -Agilis	Acute3D	Photocan	Pix4D
功能	根據多重影像疊合匹配之結果，得到相機位置等場信息，進而解算得到照片中物體的三維點雲並產製三維模型	將大量涵蓋區域有重疊的照片，透過電腦視覺的方法，找出特徵點以及空間中的相對關係，建構 3D 空間的場景	捕捉各圖像相似的區塊，自動生成高分辨率的三維模型。通過圖像紋理產生匹配點雲和網格式的密集化圖像，生成數值表面模型 (DSM) 和正射鑲嵌影像	由高階析度影像進行三維資訊重建。解算後獲得高分辨率的彩色三角網格資訊，進而將三角網資訊輸出各種三維格式	利用數位影像產製具有色彩和紋理的三維模型，可生成高解析度的地理正射影像圖及極為精細的 DEM	產製高解析度的正射影像、精確點雲、數值地形模型、等高線等，並具備自動測攝機校正相誤差之功能
價格	免費	免費	USD\$995-1,995	USD \$3,750	USD \$179-3,499	USD \$350/月
解算模式	近景	近景	近景	空載/近景/UAV	空載/UAV	空載/近景/UAV
輸入格式	Images	img	Img/video	Img/video	img	img
解算限制	不適合用於 UAV 影像解算	不適合用於 UAV 影像解算且無法自動產製模	不適合用於 UAV 影像解算	斜拍影像不適用		

	Visual SFM	Photosynth	iWitnessPRO -Agilis	Acute3D	Photoscan	Pix4D
		型				

2.5 虛擬實境技術

虛擬實境，亦作虛擬現實（Virtual Reality，簡稱VR），也稱靈境技術或人工環境，是利用電腦模擬產生一個三度空間的虛擬世界，提供使用者關於視覺、聽覺、觸覺等感官的模擬，讓使用者如同身歷其境一般，可以即時、臨場地觀察三度空間內的事物。使用者進行位置移動時，電腦可以立即進行複雜的運算，將精確的三維世界視頻傳回產生臨場感[36-37]。



資料來源：www.yalescientific.org

圖 2.29 VR 裝備外觀示意圖



資料來源：www.coches20.com

圖 2.30 VR 環境示意圖

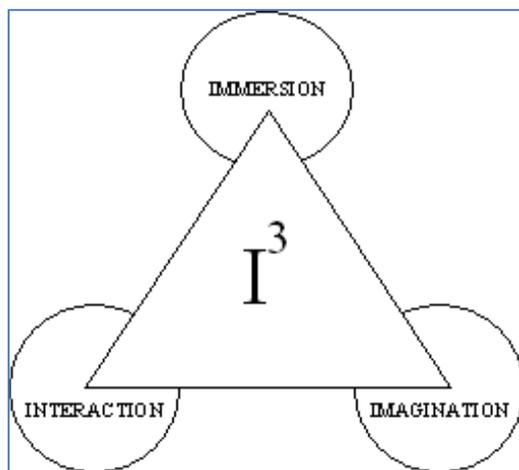
2.5.1 VR 發展過程

1957 年 Morton Heiling 發明了 Sensorama，一種可以生成 3D 影像的模擬器，並具有香味、風、雲等設計，試圖創造出如真實般的幻覺。接下來的 30 年間，不僅科學家投入研發，產業界如日本遊戲公司 Sega 和任天堂攜手合作推出 Sega VR-1 和 Virtual Boy，然而因為設備成本過高，落得叫好不叫座的下場。1968 年，VR 進入實用領域，由 NASA 開發的一款設備用在訓練太空人上，若是直接把人員送到外太空訓練時間和資金成本都消耗太大，因此著手開發在 VR 空間內模擬宇宙空間訓練的設備。1989 年，美國人杰倫·拉尼爾成立的創業公司 VPL Research，在介紹其產品 data glove 時使用了 VR 畫面。從那時起，VR 這個詞才成為了我們現在所熟知的這個意思。另一個原因是日本的松下電工（現 Panasonic）在進行一體式廚房訂製時發現通過詳細畫面很難講解明白，因此開發了利用 VR 展示尺寸的技術。這就讓 VR 技術受到了來自全球的關注，也提高了其在日本的知名度。

2012 年，VR 技術受到注目的一年。Oculus Rift 登錄在群眾募資平台 Kickstarter 上的計畫，不僅籌得 160 萬美元，更在 2014 年獲得 Facebook 青睞，以 20 億天價收購，該產品已於 2016 年第一季陸續出貨。2014 年 Google 利用 20% 工作以外時間計畫所推出的 Google Cardboard，以低廉的成本外加使用者的手機，即可體驗 VR 的威力，被認為是加速 VR 普及率的關鍵點。2016 年，隨著 HTC 的 vive，智能機設備 GearVR 和 PS4 設備 PSVR 的粉墨登場，人們紛紛把 2016 年成為 VR 元年。

從技術的角度來說，虛擬實境系統具有下面三個基本特徵：即三個「I」immersion-interaction-imagination（沉浸—互動—構想）（圖 2.31），它強調了在

虛擬系統中的「人的主導作用」。在未來的虛擬系統中，將是由資訊處理系統去「滿足」人的需要，而不是強迫人去「湊合」那些 user-unfriendly 的電腦語言 [38-39]。



資料來源：<http://designer.mech.yzu.edu.tw/>

圖 2.31 VR 之三「I」內涵

2.5.2 VR 產品開發

VR 技術的實現，除了平台內容的製作外，相關硬體的搭配使用亦是能否提供優異的沉浸式體驗的重點，在視覺展示裝置的部分，為了讓顯示器顯示的圖像足夠欺騙人腦，圖像的顯示頻率要超過 60 幀/秒目前較常見的顯示裝置有頭盔型顯示器(Helmet-Mounted Displays, HMD) Oculus Rift、HTC Vive 及 Playstation VR(比較表如表 2.5 所示)，由於每秒需要傳送 15~20GB 的資料，故皆以有線的形式外接電腦，接送來自於電腦重新計算的展示成果，三者最大的不同在於定位使用者所在位置及身體運動方向的方式，HTC 使用的技術是在空間內設置兩個發射基站，透過基站在空間內佈滿雷射光，計算雷射光與基站之間的距離關係，計算頭部的的位置變化;Oculus 則是使用內建的運動感測器(陀螺儀及加速度)抓取使用者的運動變化;Playstation VR 則是在頭盔上裝了 9 顆 LED 燈，由 PS4 上的攝像鏡頭進行 360° 的頭部追蹤。

表 2.5 VR 顯示器之比較

	Oculus Rift	HTC Vive	PlayStation VR
畫面解析度	每眼 1080×1200	每眼 1080×1200	每眼 960 × 1080，
更新頻率	90Hz	90Hz	120Hz
外接硬體	電腦	電腦	PS4
價格	中	高	低
定位精準度	中	高	低
定位系統	低	高	低

架設難易度			
優點	市面上周邊資源 相對較多	畫面顯示明亮度 較高	遊戲內容豐富 操作整合度高
價格	USD\$649	USD\$942	USD\$432

除上述的外接 VR 顯示器選項外，Google 亦有推出基於手機上的簡易型 VR 體驗裝置 Google cardboard(圖 2.32)，透過此裝置配合相對應的 APP，亦可創造出類似上述頭盔型顯示器的效果。



圖 2.32 google cardboard

顯示器提供使用者視覺上的資料接收，為了讓使用者有更好的虛擬實境體驗，傳送到顯示器上的內容，要隨著使用者移動的距離、軀幹及頭部轉動的角度等資訊，反饋到模型內，即時重新計算顯示內容，故開發了行走器裝置(圖 2.33)，一方面記錄使用者移動的距離，另一方面幫助使用者進入全方位的虛擬環境。



資料來源：<http://www.virtuix.com/>

圖 2.33 虛擬實境行走器

2.5.3 VR 產業趨勢

現行大部分的虛擬實境技術都是視覺體驗，通過電腦螢幕、特殊顯示裝置或立體顯示裝置完成，在一些模擬中還包含了其他的知覺處理，比如從音響和耳機中獲得聲音效果，某些高階的模擬還包含了觸覺資訊，也叫作力反饋，在醫學和遊戲領域都有這樣的應用。但就目前的實際情況來說，它還很難形成一個高逼真的虛擬實境環境，這主要是技術上的限制造成的，這些限制來自電腦處理能力，影像解析度和通訊頻寬。

目前常見的 VR 應用領域如下[40]：

- 1.娛樂：電腦遊戲、電動玩具機、虛擬電影院等 (圖2.34)。
- 2.教育：虛擬天文館、立體觀念教學、虛擬科學實驗室、專業領域的教育訓練、青少年數理教學、生活教育等。
- 3.訓練：飛行、駕駛、滑雪、各式儀器與設備操作、機械人操作模擬、安裝與檢修訓練、火災救災演練等。
- 4.醫學：外科手術、身體復健、遠程遙控手術等。
- 5.設計：室內、景觀、器材、建築、土木、機械人輔助設計等 (圖2.35)。
- 6.商業：廣告、財務分析、虛擬購物中心等。
- 7.簡報：紀念館、博物館、捷運車站簡介與遊客導覽系統等。
- 8.軍事：飛行模擬、各式軍車、軍艦、武器操控及軍事演習等。
- 9.太空：太空訓練、模擬駕駛等。
- 10.藝術：動態藝術、虛擬音樂、虛擬演員等。
- 11.監控：電信網路、交通監控、即時性股市行情顯示、分析等。
- 12.科學視覺化：行星表面重建、分子結構分析、虛擬風洞試驗等。
- 13.聽覺評估：室內音響模擬、防止噪音測試等。
- 14.刑事調查：犯罪現場模擬等。
- 15.網路應用：即時性、互動式的廣告、虛擬銀行、商店、博物館、校園、分散式互動模擬、多人互動式教學、遊戲等。



資料來源：<http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5073104>

圖 2.34 VR 於娛樂(遊戲)方面之應用



資料來源：<http://designer.mech.yzu.edu.tw/>

圖 2.35 VR 應用於汽車內部的虛擬設計

未來的主要應用發展可能有以下五大方向：

1. 直播活動，這個發展方向還是在影音娛樂的方面，但這是一個垂直跨度的升級。現階段的 VR 影像內容技術需要預先錄製，而目前還沒有技術可以突破到直播賽事與娛樂傳播。美國職業籃球聯賽已經開始嘗試下一代的 VR 技術，直播金州勇士隊的比赛。未來還會有環球和 iHeartRadio 一起直播音樂會。
2. 地產實境，房地產商將 VR 應用於讓消費者或顧客體驗購買房屋或是土地前，觀看房屋內部結構與規劃設計或是土地周遭的環境狀況。這個發展方向對顧客或房地產商是雙贏的應用，因為 VR 打破時間與空間上的限制。對於顧客

而言，透過 VR 與網路，可以隨時隨地觀看目標房地產，再也不需要與仲介配合時間。另外一方面，房地產商可以藉此拓展市場，因為原本依賴地緣關係的交易，透過 VR 打破距離。

3. 時尚產業，最近紐西蘭的 8i 以開路先鋒之姿採用測量體積的 VR (即為可以從任何角度看到人們穿什麼衣服的 VR 技術)。雖然已經有這樣的技術存在，但 8i 尚未討論出誰將會是夥伴。不過值得期待的是，已經有幾家時尚大廠與 8i 談合作事宜。
4. 醫療訓練，過去訓練醫生需要大體老師練習手術手感，而現在一些醫療技術已經可以透過較為精細的 VR 技術完成訓練。不僅只是醫生的手術訓練，還包括護士等醫學專業的訓練都可以透過 VR HealthNet 所開發的模組進行。對於醫療人員與病人而言都是一大福音。
5. 軍事模擬，如同醫療訓練，軍事訓練也可以用 VR 完成。而且已經有專家預估 VR 用在軍事產業上將會產生 93 億美元的產值。目前英國與韓國已經開始試驗期訓練效果，期待 VR 之成效。

2.6 水下檢測技術相關文獻探討

2.6.1 水下影像擷取

為了順利拍攝水下構件來輔助目視檢測，作為檢測人員判斷的依據，傳統仍透過檢測人員穿著潛水裝備進行檢視，不但耗費人力及時間，且於深水處或水質混濁情形下，其傳統方式則無法接進水下結構物且深具危險，本節針對國內外常見之水下橋梁檢測工具與設備進行回顧以及資料蒐集，提出水下檢測擷取影像的影響的原因，探討如何提高影像清晰度，提出解決方案和辦法。

一、潛水員水下檢測

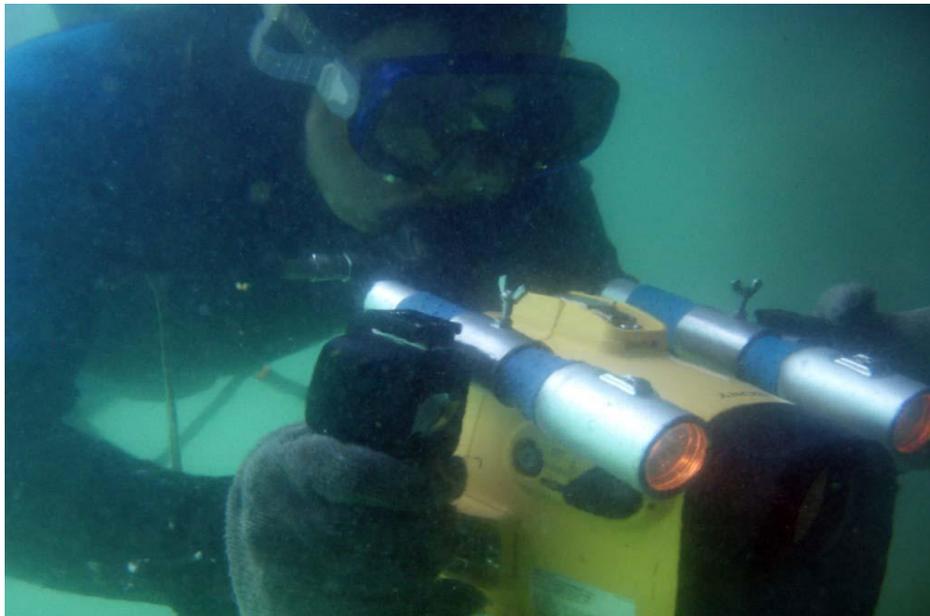
在傳統水下檢測，透過專業潛水員由目視和水下照相或使用攝影機進行拍攝，於橋基礎了解水下結構的劣化情況，或是檢測水下生物的生長、覆蓋率等情況，進行全面地探索、檢測、錄影，如圖 2.36 及圖 2.37 所示。

目前潛水員對於水下檢測欠缺橋檢專業訓練及劣化辨識程度，多仰賴於岸上專業人員的指揮，雖然可適用港灣、河域廣闊的橋梁，可是潛水人員安全堪慮，加上水中濁度過高，會影響辨識程度，所以此方法檢測效率較低。



資料來源：[41]

圖 2.36 潛水員著裝下水

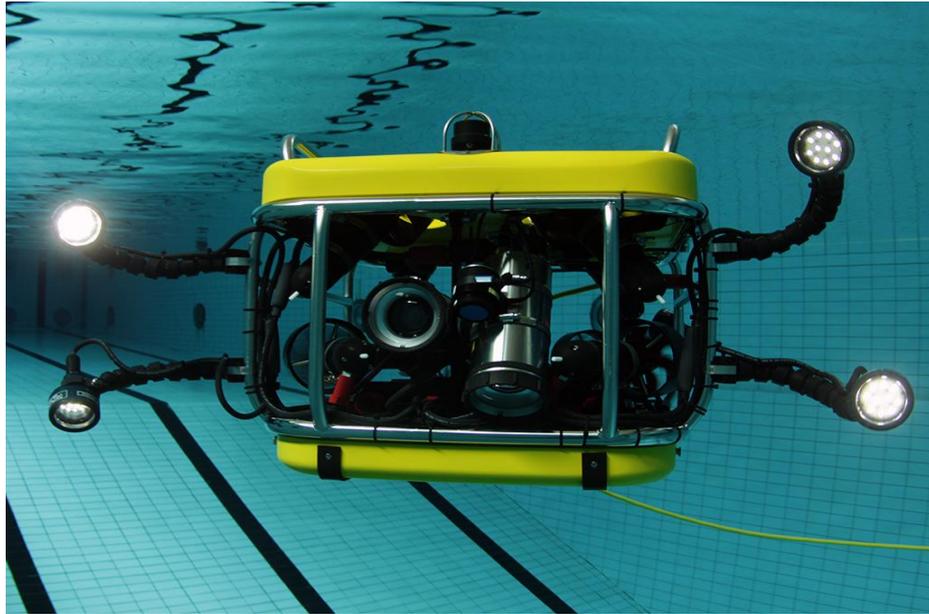


資料來源：[41]

圖 2.37 水下拍攝概況

二、水下機器人(ROV)

遙控式水下機器人又稱為遙控式水下載具 ROV (remotely operated vehicle) (圖 2.38)，基本上可以簡單分為遙控式水下機器人、自主式水下機器人二種，它們靠著一條內有銅線或光纖束的繫纜與海面上的工作母船（研究船）連結，以提供水下機器人運動所需的電力、傳遞控制命令，並傳回在海下所蒐集到的資訊。ROV 現已逐漸取代潛水人員而成為水下作業的主流，因為可以隨探勘目的加裝機械手臂，所以也使用於採集樣本、海底打撈及探勘作業。



資料來源：[42]

圖 2.38 遙控式水下載具 ROV

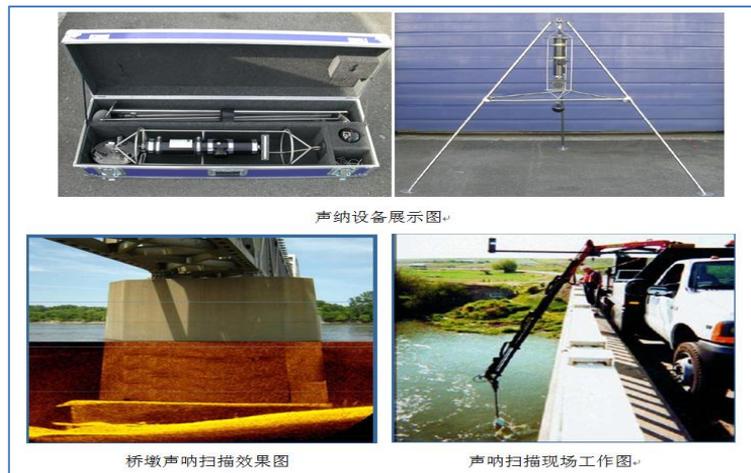
ROV 可克服高度危險環境、受污染環境及能見度低的水域中，代替檢測人員在水下長時間作業，ROV 功能提供即時視頻、聲納圖像，機械臂能抓起重物。主要配備有聲納系統、攝像機、補光燈和機械臂等裝置水下機器人在石油探勘、海底生物研究和軍事等領域，目前國內外皆在研發，得到各界廣泛應用。

但水下機器人運作過程當中，因環境複雜變化大，水中信號的雜訊大，且普遍水聲感測器普遍存在問題於精度較差、跳變頻繁過多等缺點，因此，水下機器人運動主要控制系統中，濾波技術顯得極為重要，值得改善的課題。

三、聲納掃描探測

水下聲納技術(圖 2.39)可分為主動及被動聲納兩類。主動聲納的原理為系統一般是由發射機、換能器(水聽器)、接收機、顯示器和控制器等幾個部件組成，發射機用於產生需要的電信號，以便激勵換能器將電信號轉變為聲信號向水中發射，水聲信號若遇到水下目標便會被反射，以聲納回波的形式返回到換能器(水聽器)，換能器(水聽器)接收到後又將其轉變為電信號，電信號經接收機放大和各種處理，再將處理結果反饋至控制器或顯示系統。最後，根據信息可測出目標的位置，判斷出目標的性質等，提供檢測人員水下狀況的資訊。

聲納掃描主要優勢經濟、迅速、有效得大範圍調查區域，都應用在海底構造調查、環境之應用及漁業等。依照需求選擇合宜的頻率進行檢測，低頻優點為可進行廣域探測，但圖像解析程度較低，高頻則反之。



資料來源：[43]

圖 2.39 水下聲納技術

綜合以上三種水下檢測技術，分析比較其檢測技術於國內人員資格、適用環境及其所需費用，列出整理水下檢測技術如表 2.6 給予各單位參考，以利後續編列預算或訓練等作業參考。

表 2.6 水下檢測技術之比較

檢測技術	潛水員檢測	ROV	聲納探測
人員資格	一、持有依法設立之訓練項目載有職業潛水職類之職業訓練機構，依中央主管機關公告之課程、時數、設備及師資所辦理之職業訓練結訓證書 二、領有中央主管機關認可之潛水人員技術士證 三、於國外接受訓練，並領有相當職業潛水之執照，經報請中央主管機關認可	須經儀器操作訓練	須經儀器操作訓練
適用環境	水流平緩	水流平緩	無降雨、雷電干擾
影像品質	依據擷取影像之器材及水域之濁度而定	依據擷取影像之鏡頭及水域之濁度而定	依回訊的聲波強弱透過記錄器處理成深淺濃淡的灰階二維圖像。回訊越強，聲納圖像上的顏色越濃；反之，若回訊較弱，圖像上的顏色則較較淡
單價	數千至數萬元	數萬至數百萬元	數萬至數十萬元

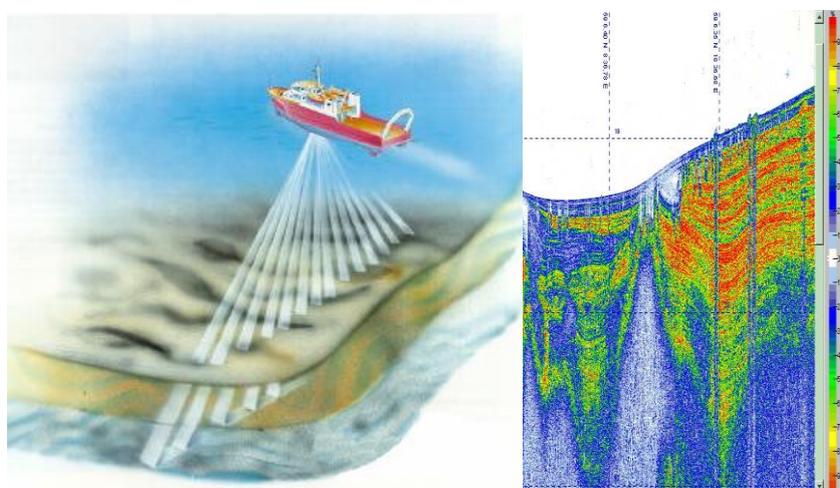
2.6.2 國內外橋梁水下檢測方法及原理

對於國內外水下檢測方法及原理，進行回顧以及資料蒐集，其中包含各種檢測原理找出適當方法作為檢測人員的參考依據，達到輔助目視檢測的功效。

一、聲波透射法(圖 2.40)

聲波檢測以人為操控由介質(被測物件)發射聲波，在一定距離上接收經介質物理特性所變化的聲波(反射波、透射波或散射波)，由觀測和分析聲波在介質中傳播時聲學參數和波形的變化，對被測物件的缺陷、幾何特徵、結構態樣、力學性質進行推斷[44]。

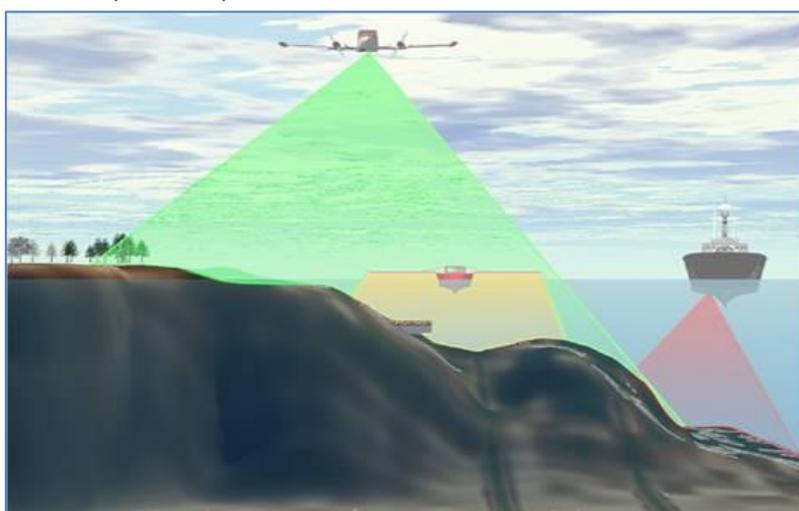
聲波透射法的優點在於測試精度高，不受場地限制，缺陷的判斷上全面，檢測範圍無盲點，缺點在於需要預埋聲測管，檢測成本相對較高，對樁身直徑也有一定的要求[44]。



資料來源：[45]

圖 2.40 底質探測系統作業示意圖

二、激光雷達掃描(圖 2.41)



資料來源：[47]

圖 2.41 水下目標的雷射雷達成像示意圖

激光雷達是以發射激光束探測目標的位置、速度等特徵量的雷達系統。LiDAR(Light Detection and Ranging)，是激光探測及測距系統的簡稱，另外也稱 Laser Radar 或 LADAR(Laser Detection and Ranging)。

工作原理是經由目標發射探測信號(激光束)，然後將接收到的從目標反射回來的信號(目標回波)與發射信號進行比較，作適當處理後，就可獲得目標的有關信息，如目標距離、方位、形狀等參數，用激光器作為發射光源，採用光電探測技術手段的主動遙感設備。激光雷達是激光技術與現代光電探測技術結合的先進探測方式。由發射系統、接收系統、信息處理等部分組成[46]。

三、水下微光成像系統

於水下弱光條件下和散射介質密集環境的侷限下，水下微光成像系統對水中環境在過程和發生的事件進行清晰成像和快速記錄。彌補人眼視覺特性在水下時間、空間、光譜和能量解析度的局限性，達到輔助的功能。

水下微光成像系統的作用距離，受目標特性、水下工作環境和攝像機自身的技術性能三方面的影響。在應用面，面對複雜的應用環境，快速運動的目標擷取滿意的實況觀測圖像，需充分驗證理論正確性[48]。

2.6.3 水下檢測影響因子

在水中攝影，經常會有影像品質的問題存在，對於影像清晰度有一定影響力。除了要解決好水下攝影設備的密封、耐壓、防腐、電絕緣之外，在實際應用中，研究解決水中光的散射、折射、吸收以及水的浮力、水流的衝力等對水下攝影成像質量的不利影響。如影像模糊不清晰、取景不準確或畫面不穩、彩色影像缺少飽和度。本文分析了產生這些影響因子的主要成因，並找出解決辦法。

一、深度與光線關係

水對光波有吸收和散射作用，可造成光在水中的衰減，水對光的選擇性吸收可使水下拍攝物體的顏色隨著其所處深度的增加而發生變化，使成像系統不能有效接受到資訊。在設計成像系統時，應充分得知水的光學特性對水下光學成像的影響，提高系統設計的針對性，達到提高水下成像系統整體性能[49]。

自然光進入水層後，因為水層的深度會影響光線的呈現，而不同深度對光線的影響是有不同的，所以使光線的強度與波長上均有改變。

二、拍攝距離

在水下攝影作業時，水下照相機或攝影機離被攝物體的拍攝距離越近，光在水中的傳輸過程受到水的散射作用就越小，拍攝的影像也就越清晰[50]。同時可避免閃光燈因距離過遠而減弱修正色溫的能力。因此，在水下多不建議使用長焦距的鏡頭。

三、濁度

濁度指水中的密度大，浮力也比空氣容易讓懸浮微粒浮在水中，而造成的混濁情形，不管是自然光或攝影燈光透過懸浮微粒反射，會產生物化的情形，拍攝時盡可能減少移動，縮短拍攝距離，讓影像更為清楚。濁度的單位是 NTU (nephelometric turbidity unit)，當 1 公升的水中含有 1 毫克 (mg) 的二氧化矽

(SiO₂) 時，此時水樣的混濁程度稱為 1 NTU 或 1 度，如濁度計(圖 2.42)可測定渾濁程度多寡，來判斷水質狀況。



圖 2.42 濁度計

四、補光程度

水體會吸收、反射光線，因此水底光線較為昏暗，即使只是浮潛至水下 1~5 公尺，也很容易因光線不足而拍出晃動模糊的照片。

建議於早上 11 點~下午 2 點之間陽光強烈的時分下水拍攝。此時光源較強再加上頂光的直射，但在水中卻因為較少反射光損耗，能使水面下的亮度增加而提升拍攝成功機率。拍攝時使用高 ISO 提高快門速度，並將光圈調整為最大光圈，將有助於快門速度的提升。另外，亦可採用廣角端拍攝，一來此端光圈值較大，再者安全快門需求亦較低，適合水底環境的拍攝需求。

2.7 水下檢測技術之成像改善與應用

在水下檢測技術應用方面，蔡營寬(2006)開始探討同步使用側掃聲納、地層剖面儀及磁力儀，針對水下靜態目標物進行偵搜、辨識與定位之具體成效。郭春楊(2008)則開發壩堤檢測水下無人載具執行水面控制系統，經過海上和水池試驗驗證，該系統具有可行性與較好機動性及實用性。Evans James A. (2010) 確定使用聲學成像可使用在沿海及水利工程之水下檢查；顏端吾(2012) 應用掃描式聲納(Scanning Sonar)透過影像分析與海床目標物辨識技術，使潛水人員事先透過掃描式聲納的工作原理了解水下環境與目標物可能位置。Daniel G. Stromberg (2012)發現聲納掃描在潛水作業過程中，除可引導水下檢測員發現潛在的缺陷，還能生成接近照片品質的圖像，顯示結構物的全部或大部分狀況。

在成像改善方面，沈凌敏(2009)設計特定條件下必須的輔助照明系統用於提高成像品質；劉云鵬(2011)則是以增強真實的水下圖像，改善成像品質，使其更

加符合人們的視覺特性和機器識別的要求。馬原(2012)將水下圖像之低頻部分和高頻部分分離，對低頻段使用 Retinex 增強方法去除霧化效應，調節整體亮度，並對高頻段進行加強以增強細節，其實驗證實該方法對提高水下圖像對比度，消除模糊有較好效果。

第三章 以 UAV 橋梁構件影像自動截取系統建置三維模型

前兩期計畫(MOTC-IOT-103-PEB017 及 MOTC-IOT-104-PEB019)之研究成果主要為組裝適合橋梁檢測使用之 UAV，並開發行動裝置應用程式，透過航點設定，使其進入自動飛行模式，以降低人為操作之不確定性。此外，該研究亦利用 UAV 自動截取之二維照片匯入三維模型生成軟體，組成較細緻之橋梁實際模型供橋管人員使用。

3.1 UAV 組裝

依據當前民航局草擬之民航法修正草案，前期計畫所使用之無人飛機重量(低於 5 公斤)屬地方政府管理，且飛行高度已限定於 400 呎內，所採用的 UAV 零組件可歸納為五大模組，說明如下：

一、飛行模組

1. 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 度)型。

2. 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。前期計畫決定採用 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。

3. 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。

二、定位模組

1. 電子羅盤

允許 UAV 辨識基本的東西南北四方位。

2. 全球衛星定位器

相較於電子羅盤，此零組件可讓 UAV 取得更精確的經緯度。

三、電力模組

1. 電源配置器

同時提供電源給多顆馬達使用，前期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 3.1)。

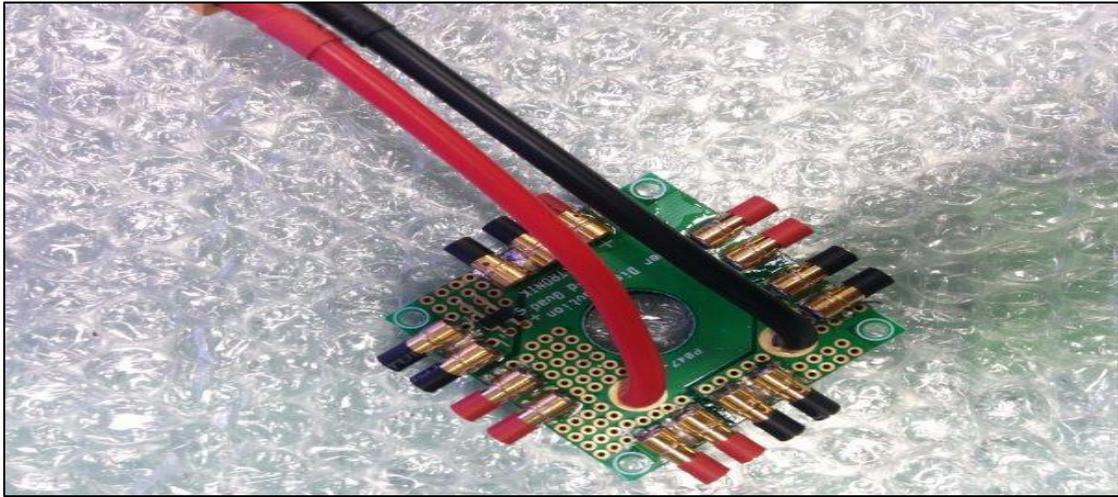


圖 3.1 支援 4 至 8 軸的電源配置器

2. 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。

四、控制模組

1. 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。

2. 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 3.2 所示。

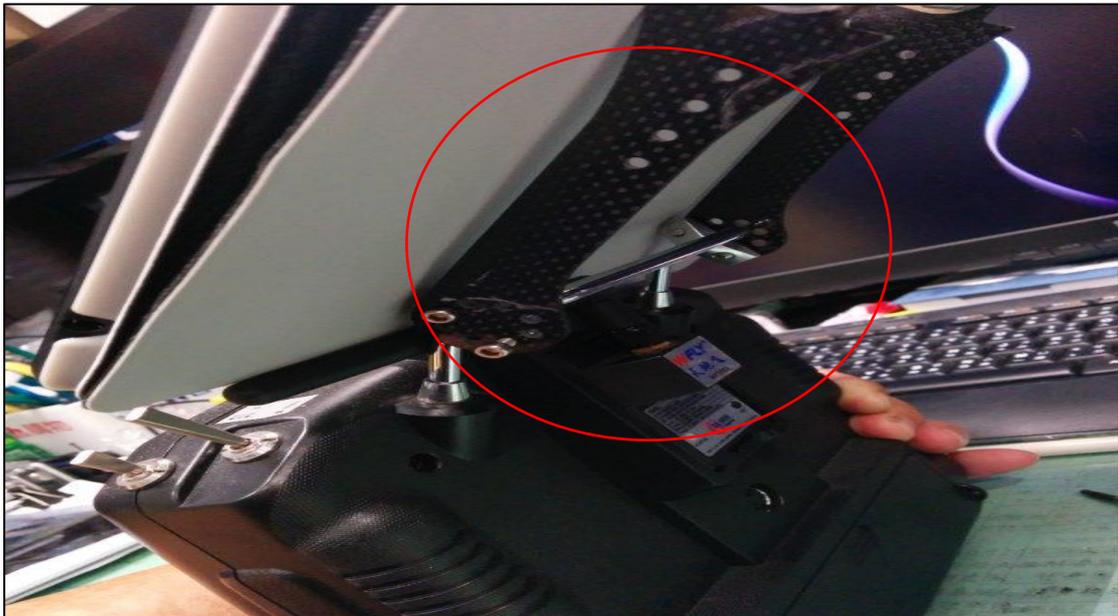


圖 3.2 輔助支架支撐平板電腦

五、負載模組

1. 攝影機

可在動態下擷取橋梁構件影像或拍照，前期計畫比較了三類型攝影機，最後選用 GoPro Hero3+ Black 版本。

2. 攝影機雲台

因 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，因此前期計畫加裝了攝影機雲台(圖 3.3)，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，前期計畫透過不同轉接頭(圖 3.4)使額外輔助攝影機能全方位的掛載到所使用的 UAV 上。

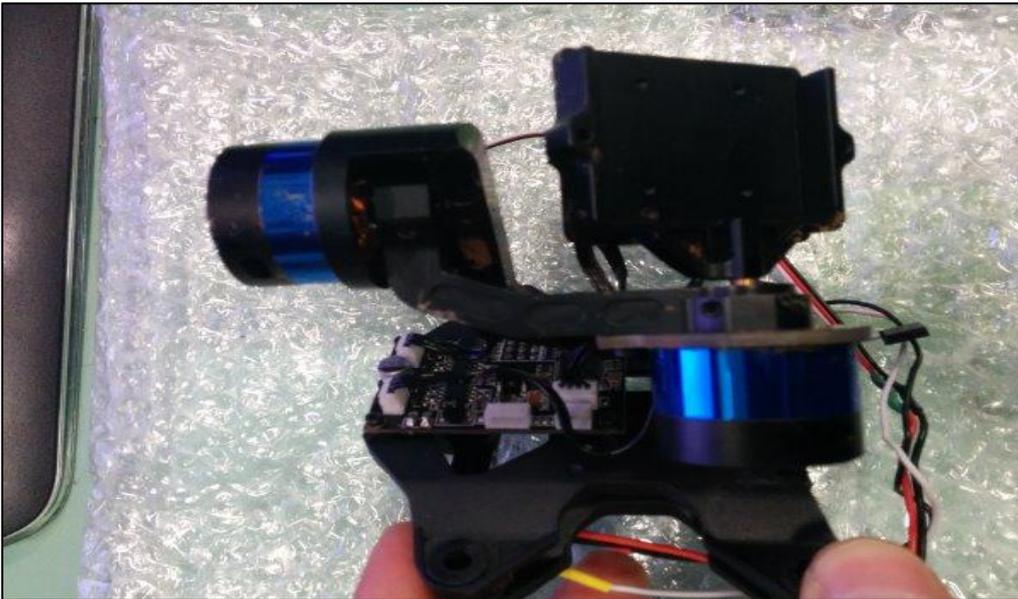


圖 3.3 前期計畫使用的攝影機雲台

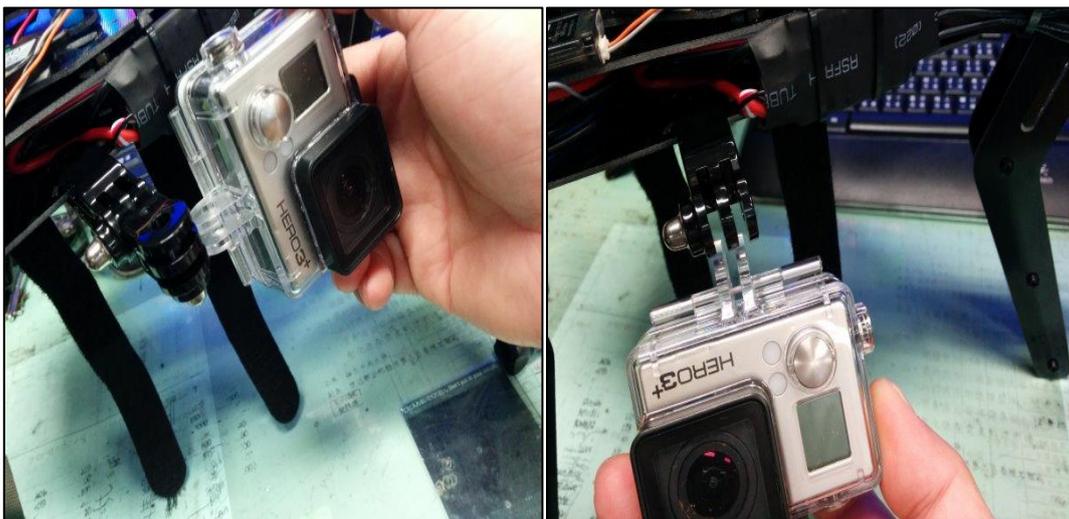


圖 3.4 前期計畫使用的攝影機轉向接頭

3.2 障礙物偵測模組

UAV 透過光學辨識或透過聲波辨識能自動偵測障礙物的存在。圖 3.5 為光學辨識的案例。當 UAV 於飛行過程中，飛行控制器可以計算出當前飛行速度(即 speed)、距離(即 distance)和離地距離(即 altitude)，又因搭載之光學辨識感測器有其影像解析度和擷取範圍(即 resolution pixels 和 field of view)。故透過方程式 1 可換算出感測器範圍內的影像變化率(即 sensor value)。當影像變化率超過 20% 就是有障礙物出現，此時，感測器會回饋一個訊號給飛行控制器。收到此訊號時，飛行控制器會自動進行閃避飛行。

$$distance\ moved = \left(\frac{sensor\ value * altitude}{sensor\ 's\ resolution\ in\ pixel * scalar} \right) * 2.0 * \tan\left(\frac{field\ of\ view}{2.0}\right) \dots 式 1$$

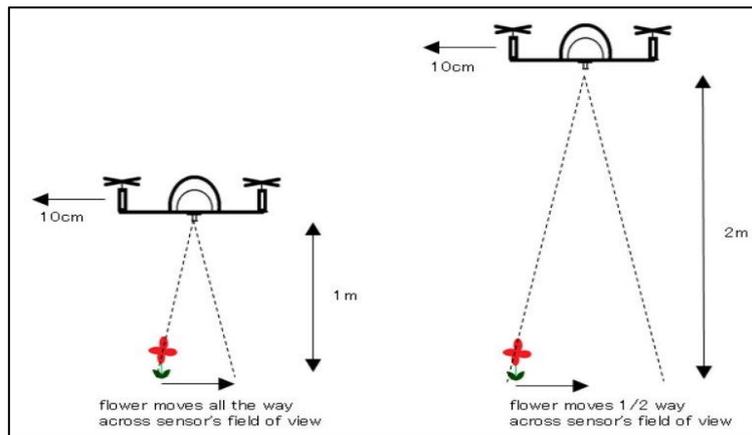


圖 3.5 光學辨識偵測障礙物

圖 3.6 為聲波辨識案例，當 UAV 於飛行過程中，聲波感測器會不斷發出以音頻為基礎的波動。當障礙物出現於飛行範圍內時，此波動會因碰撞障礙物而反射。當聲波感測器接收到反射波時，可以計算出反射波的接收率(即 k)、接收時間(即 t[發出時間]和 T[回收時間])，故基於飛行速度(即 V)，利用方程式 2 可以計算出聲波感測器和障礙物之間的距離(即 fd)。同時，聲波感測器會將偵測到障礙物的訊號傳遞給飛行控制器。飛行控制器再依此分析結果進行閃避。圖 3.7 為前期計畫採用之防撞措施。

$$V = \frac{V_1}{2} - \frac{V_2}{2} = k \sin \pi f_d T \cos \left[2\pi f_d \left(t + \frac{T}{2} \right) \right] \dots 式 2$$

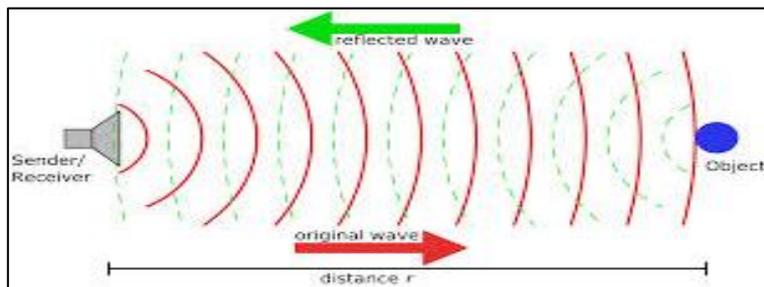


圖 3.6 聲波辨識偵測障礙物



圖 3.7 前期計畫採用之 UAV 防撞措施

3.3 UAV 自動截取影像系統架構

前期計畫所提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 3.8 所示。

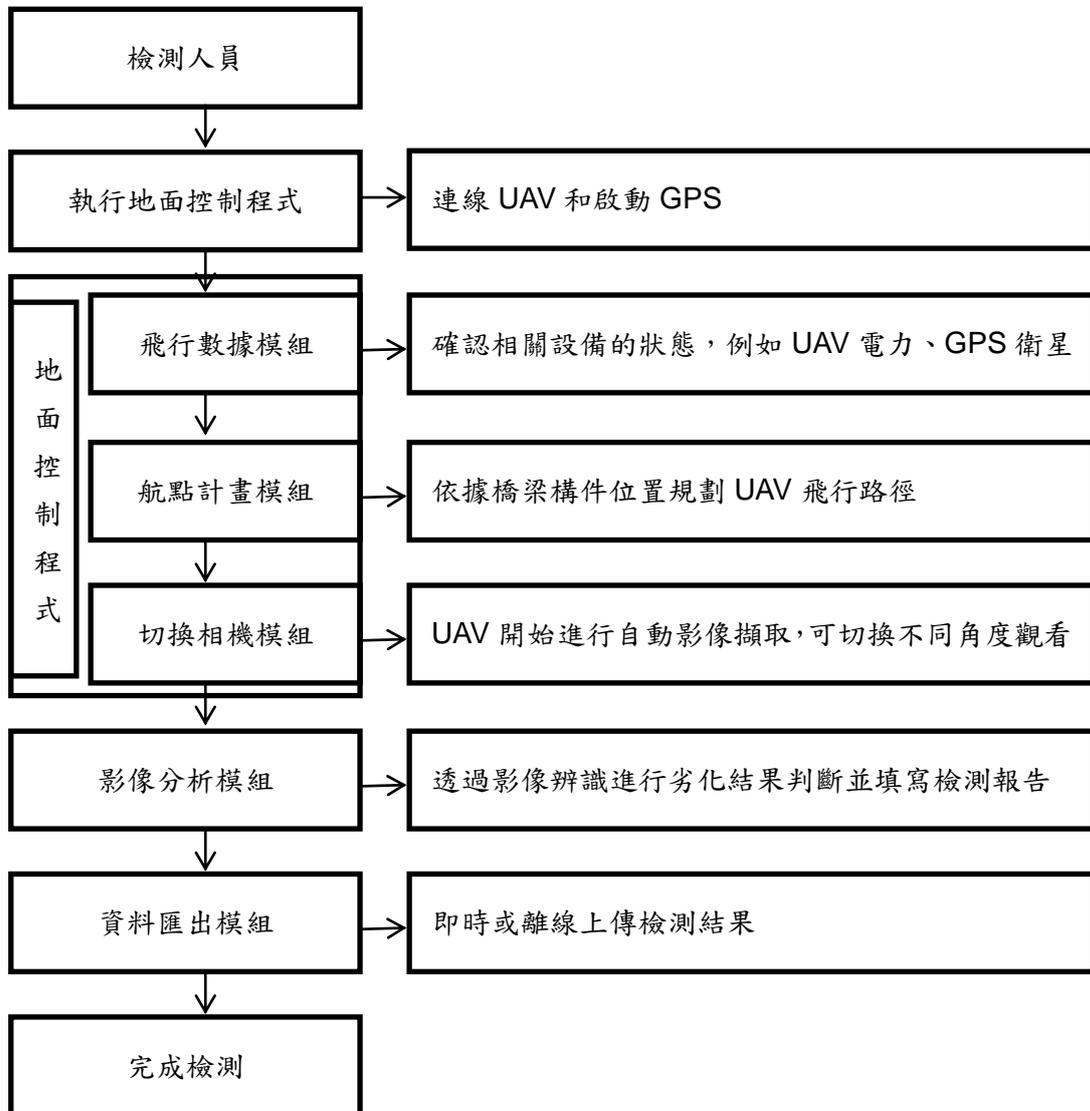


圖 3.8 應用橋梁構件影像自動擷取系統於橋梁檢測的流程圖

3.4 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，前期計畫開發可於 Android 系統之平板電腦上運作的地面控制程式，並採用 Samsung Tab Pro 8.4 為顯示平台。

本程式主要包含三個系統模組，即飛行數據、航點計畫和切換相機模組。同時，檢測人員可依個人需求將地面控制程式設定為橫向或直向操作。

3.4.1 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 3.9 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 3.9 UAV 即時狀態

3.4.2 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，前期計畫透過 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 度偏角的影像擷取。

1. 現場航點

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精準的航線定位。圖 3.10 顯示前期計畫現地量測發現 GIS 的圖資往往存在極大落差，因此需要手動修正。



圖 3.10 現地確認 GIS

2. 歷史航點

模組可記載所有執行過的飛行航線(圖 3.11)，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。

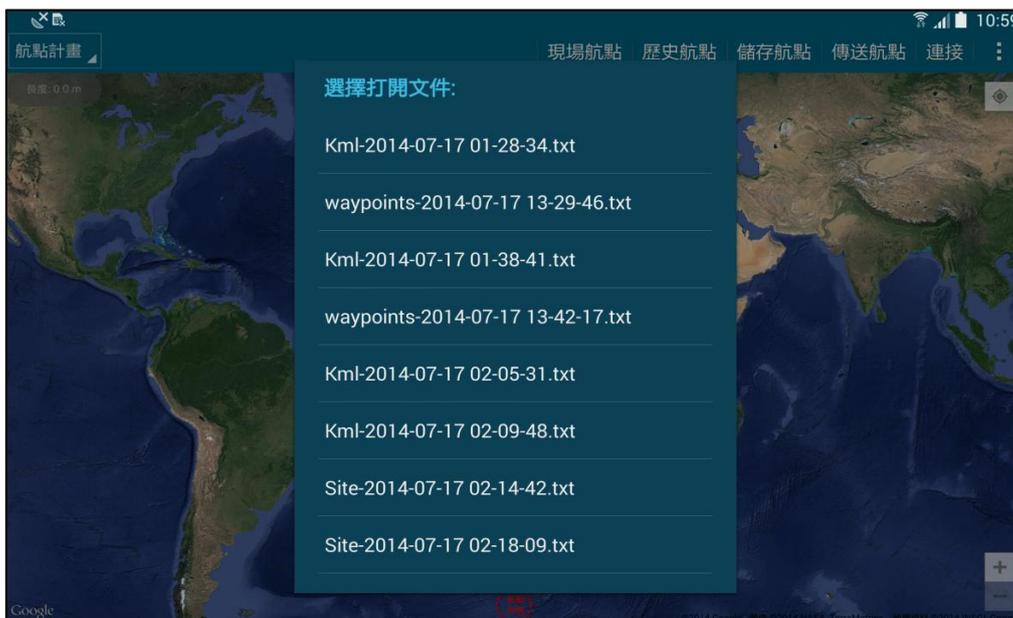


圖 3.11 選擇非行航線檔案

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。

為配合不同的影像擷取需求，前期計畫又將航點類別區分成四類，包含：

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。

此外，搭配第二代 TBMS App 之 3D 模組和不同橋梁構件，前期計畫建議下列數種 UAV 航點型式以便進行影像擷取(如圖 3.12、圖 3.13 以及表 3.1)

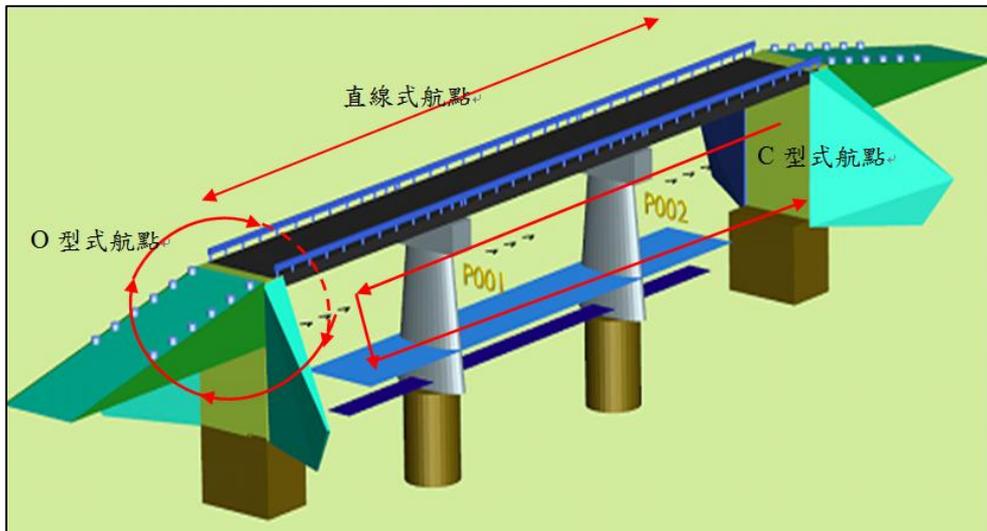


圖 3.12 應對不同橋梁構件的 UAV 航點型式(I)

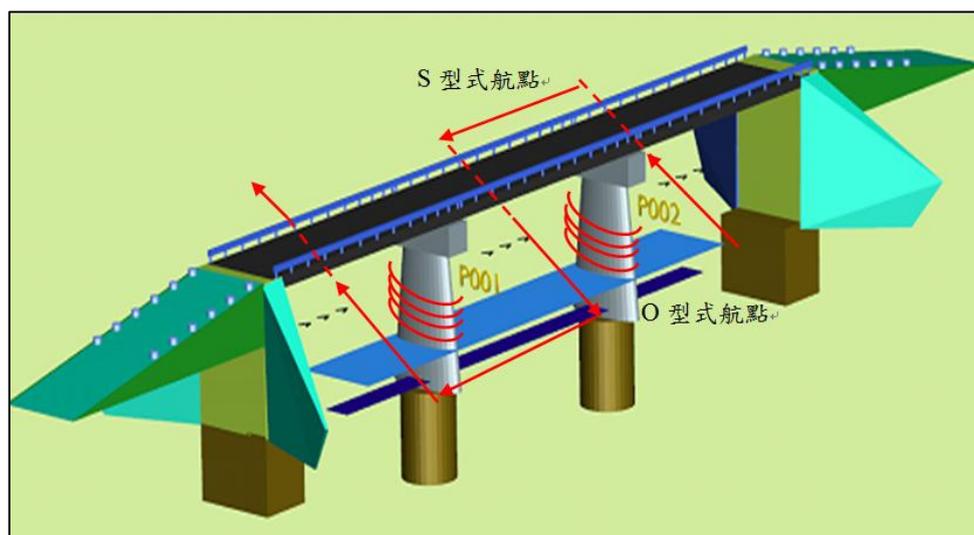


圖 3.13 應對不同橋梁構件的 UAV 航點型式(II)

表 3.1 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	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
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、支承墊、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	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；
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、支承墊、止震塊及防震拉桿等的 360o 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。

3.4.3 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，前期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。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，前期計畫亦在 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統中加入語音導引之功能。

3.4.4 DERU 填寫模組

當 UAV 擷取完橋梁構件後，檢測人員將進行橋梁構件的影像辨別與檢測資料填寫。為便利檢測人員於現地完成此作業，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，前期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 3.14 和圖 3.15，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，若發現橋梁構件有劣化時，點選擷取按鈕後，本系統便會將劣化照片傳遞至 DERU 表內(圖 3.16)。

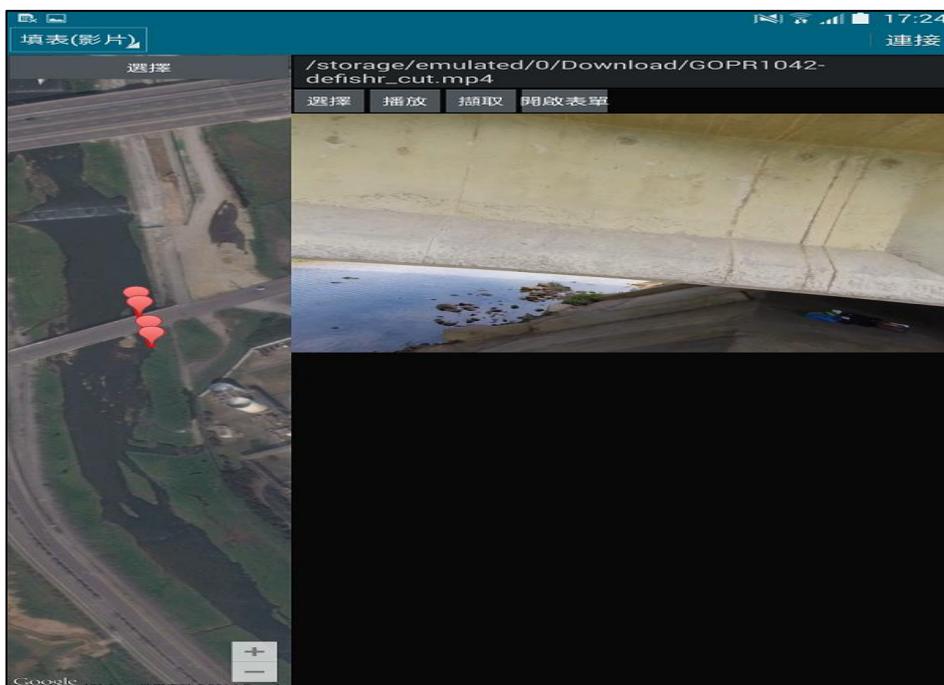


圖 3.14 由觀看影片填寫 DERU 值

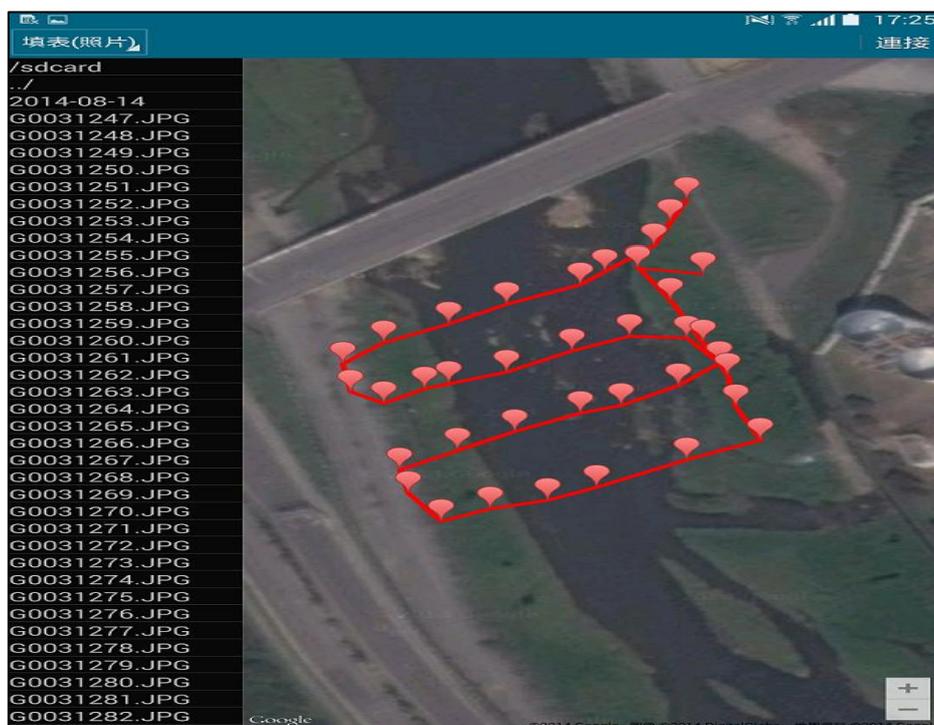


圖 3.15 由觀看照片填寫 DERU

填表(影片)

填寫資訊

劣化類型：混凝土裂縫



D 2 3 4 輔助照片

E 1 2 3 4

R 1 2 3 4

劣化範圍

長 cm

寬 cm

深 cm

建議維修工法

內建清單

U 1 2 3 4

損壞原因：

數量：

單位：

構建有其他劣化 構建無其他劣化

圖 3.16 直接於軟體內填寫橋梁檢測 DERU 值

3.5 利用 UAV 自動截取之照片生成三維模型

首先將飛行紀錄檔案匯入程式，再將拍攝的照片匯入程式。於程式中選取快速比對並生成模型。不同橋梁構件的 3D 成果為：圖 3.17 為南山大橋之橋側；圖 3.18 為南山大橋第六橋孔之大梁；圖 3.19 為彩虹二橋拱圈；圖 3.20 為蘇樂橋橋台。可知，若橋梁構件原先已具備劣化情事時，生成的 3D 模型中亦能看出劣化。



圖 3.17 南山大橋橋側 3D 模型



圖 3.18 南山大橋第六橋孔 3D 模型



圖 3.19a 以 UAV 拍攝彩虹二橋橋頂鏽蝕原始照片



圖 3.19b 以 UAV 拍攝彩虹二橋橋頂鏽蝕原始照片生成 3D 模型



圖 3.20a 以 UAV 拍攝蘇樂橋橋台原始照片



圖 3.20b 以 UAV 拍攝蘇樂橋橋台原始照片生成 3D 模型

3.6 UAV 橋梁檢測之限制與篩選橋梁

3.6.1 UAV 檢測時之限制條件

UAV 橋梁檢測時所面臨的限制條件。此些限制條件包含：

- 一、橋面板寬度(如圖 3.21):因 UAV 飛行於橋底時會使 GPS 訊號微弱或斷訊，前期研究有進行「61 號快速道路桃科段」試驗(橋面板淨寬大於 50 公尺)，雖可順利通過橋底，但為了保險起見，建議使用 UAV 檢測橋底時，橋面板淨寬應小於等於 60 公尺。
- 二、橋下最低淨高(如圖 3.21):自動飛行之 UAV 會因受風力或 GPS 不穩定之影響而產生誤差，前期研究試驗「新大崛溪橋」(橋下最低淨高約 3 公尺)時，當時風速為 1 級風，且天候極佳，並無產生大礙，但為了保險起，必須給予 UAV 有足夠的飛行空間，建議橋下淨高應大於 5 公尺。

三、正負高程：若 UAV 與橋梁之摩擦層於同一水平面上，基準點以上稱為正高程，以下稱為負高程，而大多數橋梁多可使用正高程飛行，但一些位於山谷區或是無法行走於橋下之橋梁(如巴陵大橋與羅浮橋)，此種檢測作業必更加艱鉅。前期研究程式設計之 UAV 正高程與負高程可達 100 公尺與-20 公尺。

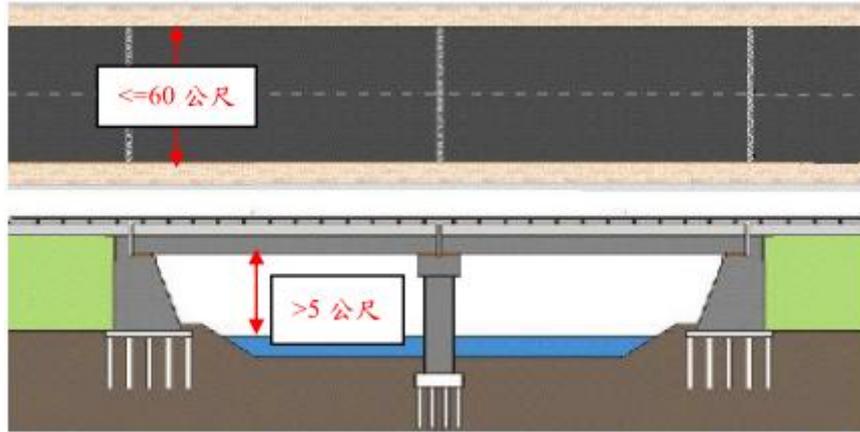


圖 3.21 UAV 限制示意圖

3.6.2 篩選橋梁

因檢測一般公路橋梁為主，故統計高速公路總局、公路總局以及縣市政府所管轄之橋梁。經由整理的限制條件進行橋梁的篩選，並整理可使用 UAV 之橋梁數量給予各單位參考，以利後續編列預算或訓練等作業。

一、「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」與「橋面版淨寬小於等於 60 公尺」(表 3.2)：所有欲使用 UAV 進行橋梁檢測之橋梁，皆須符合此兩種限制方能進行作業。表 3.2 顯示，僅縣市政府因所轄橋梁於市區居多，且大多短小，徒步檢測便於使用工具，故所能檢測橋梁數較少，但公路總局及高速高路總局所轄橋梁可使用 UAV 進行檢測平均高於 50%。

表 3.2 篩選結果(一)

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	1,780	8.4%
公路總局	2,938	1,921	65.3%
高速公路總局	2,446	1,106	45.2%

二、「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」、「橋面版淨寬小於等於 60 公尺」與「是跨河橋」(表 3.3)：雖符合 UAV 可檢測之橋梁，但對於檢測難度偏高之跨河橋梁，或多或少需要利用非橋檢車之輔助工具進行檢測。故篩選為跨河橋之橋梁來提高使用工具之安全性。

表 3.3 篩選結果(二)

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	1,291	6.1%
公路總局	2,938	494	16.8%
高速公路總局	2,446	498	20.4%

三、「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」與「橋面版淨寬大於 5 且小於等於 16 公尺(假設車道平均寬度為 4 公尺)」(表 3.4)：此種限制條件為欲找出橋檢車可駛入，但嚴重影響交通順暢之橋梁。許多產業道路橋梁僅雙線道(如羅浮橋)，如使用橋檢車檢測，必然佔據一線道，而可能有交通壅塞情況發生。

表 3.4 篩選結果(三)

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	975	4.9%
公路總局	2,938	1,191	40.5%
高速公路總局	2,446	499	20.4%

四、「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」、「橋面版淨寬大於 5 且小於等於 16 公尺(假設車道平均寬度為 4 公尺)」與「是跨河橋」(表 3.5)：接續表 3.4，如為跨河橋，勢必更加深橋梁檢測之難度，故須採用 UAV 之機率更高。

表 3.5 篩選結果(四)

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	692	3.3%
公路總局	2,938	116	4%
高速公路總局	2,446	233	9.5%

五、「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」與「橋面版淨寬小於等於 5 公尺(假設車道平均寬度為 4 公尺)」(表 3.6)：此種限制條件為欲找出橋檢車無法駛入，故必須使用其他檢測工具之橋梁。

表 3.6 篩選結果(五)

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	381	1.8%
公路總局	2,938	32	1.1%
高速公路總局	2,446	27	1.1%

六、「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」、「橋面版淨寬小於等於 5 公尺(假設車道平均寬度為 4 公尺)」與「是跨河橋」(表 3.7)：接續表 3.6，為跨河橋，又無法使用橋檢車，故須採用 UAV 之機率更高。

表 3.7 篩選結果(六)

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	308	1.5%
公路總局	2,938	3	0.1%
高速公路總局	2,446	16	0.7%

前期研究現地測試結果得知，可使用 UAV 檢測之構件(表 3.8)，雖未能所有構件均全數檢測，但 21 個構件可檢測到高達 19 個構件；與傳統工具比較，UAV 在時間及安全上確實占了絕大的優勢，但可檢測之構件數略顯不足；依三點限制條件，可使用 UAV 進行檢測的橋梁高達四千多座，表 3.2 至表 3.7 之篩選結果可供橋檢單位參考，以利其編列預算與分配人力。

UAV 不僅有橋面版淨寬、橋跨長度、橋下淨高及正負高成的限制外，另有額外建議及提醒之處：

- 一、UAV 之安全距離：UAV 於起飛與降落時建議半徑 3 公尺內應無障礙物(如樹、電線)存在，且設法架設於空曠位置(以不影響車輛與行人為主)，以免發生意外。
- 二、飛行距離：由於電池之電力提供有限，應避免以低毫安培電力飛行過長的距離。當使用單顆 4S5200mAh 電池時，最長飛行距離應控制於 800 公尺以內。
- 三、攝影位置：目前本研究之 UAV 無法於飛行時自動控制攝影方向。拍攝橋側，攝影機必須與機頭保持垂直；拍攝橋底(橫隔梁、大梁等)，攝影機必須與機頭平行，且鏡頭朝上。然而，拍攝橋底時會因光源問題而造成影像模糊不清，故由強光進入弱光區時，先行盤旋動作，並讓攝影機自動調整光源，影像才得以清晰。
- 四、其他：因本研究之 UAV 不具辨識障礙物功能，故自動飛行前確認飛行航線無任何障礙物或須避開障礙物外，得先手動控制 UAV 升空，確定其穩定後便可進行自動飛行模式。

表 3.8 橋梁構件使用 UAV 檢測對照表

檢測構件	是否可使用 UAV 進行檢測
(1)引道路堤	是
(2)引道護欄	是
(3)河道	是
(4)引道護坡	是
(5)橋台基礎	是(部分影像)

檢測構件	是否可使用 UAV 進行檢測
(6)橋台	是
(7)翼牆/擋土牆	是(部分影像)
(8)摩擦層	是
(9)橋面排水設施	是
(10)緣石及人行道	是
(11)欄杆及護牆	是
(12)橋墩保護設施	是
(13)橋墩基礎	是(部分影像)
(14)橋墩墩體/帽梁	是
(15)支承/支承墊	否
(16)止震塊/拉桿	否
(17)伸縮縫	是
(18)大梁	是
(19)橫隔梁	是
(20)橋面板	是
(21)其他	是

3.7 小結

前期研究已成功以 UAV 自動飛行截取橋梁影像，並利用 Pix4D Mapper 生成橋梁 3D 模型，惟下列幾點仍可調整：

1. 為改善多數運動型攝影機的魚眼效應，改採用 Canon S120 數位攝影機。由影像結果可知，更換相機對於 3D 模型生成有所助益。唯此類數位攝影機較重，所以無法附掛過多的數位攝影機於 UAV 上。換言之，檢測人員可能須針對全橋構件影像擷取分數次進行。
2. 3D 模型生成模組確實能將拍攝的照片組合出 3D 物件，但該產出模型僅能供橋梁檢測參考，因模型為相片的再製且影像合成常發生錯位情況，故影像顆粒仍嫌粗糙，恐不適宜完全作為橋梁構件劣化的判斷依據。
3. 3D 模型生成需有多張(至少須超過 5 張)相同構件的拍攝照片且光源應均衡。若多數照片光源不依，十分容易造成 3D 模型生成的失敗或錯誤。

第四章 以虛擬實境技術建置橋梁三維模型

4.1 虛擬實境

4.1.1 簡介

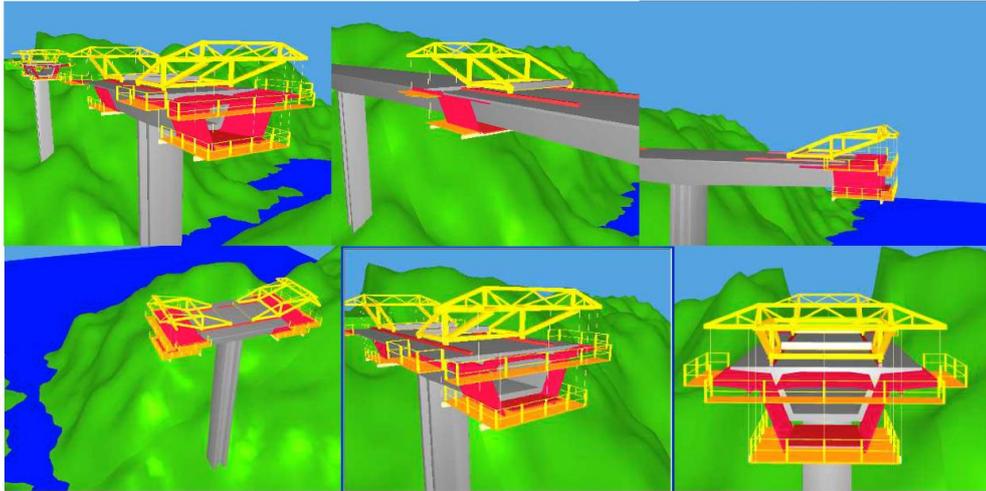
虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 通常是指利用電腦運算產生逼真的圖像，並結合聲音、及其他感知來模擬真實環境，最大的特色在於其互動性與即時性，透過模型處理引擎模擬產生一個三度空間的虛擬世界，讓使用者如同身歷其境一般，可以即時、自由的觀察該模擬空間內的各種事物。

有別於以往僅能使用鍵盤與滑鼠與資料進行互動，VR 技術透過多種感測器感測使用者與環境的互動關係，隨著使用者的自由意志移動，即時進行複雜的運算，調整 3D 模型，透過 VR 顯示器模擬真實左右眼的影像，產生視差，進而產生臨場感，此技術可提供使用者非常近似於真實環境的感受，故從 80 年代起，美國軍方投入大量研究經費開展飛行頭盔和軍用仿真模擬器的研發。結合先前虛擬實境的技術，完成了一系列技術的開發，內容包括顯示器、頭部跟蹤器、語音識別、計算機生成圖像、數據手套和三維虛擬聲源技術等等，大大提高虛擬實境的擬真度，以上述技術創造出的 VR 環境允許新兵在受控的條件下進行訓練，以便對不同類型的戰鬥情況作出正確的反應，並允許訓練員在更短的時間內進行多次的重複訓練，身臨其境的訓練環境，使士兵們可以透過遠程通信在各種地形、情況和場景進行模擬訓練以增加臨場的熟悉感 (Fort Bragg, N.C., 2012)。

VR 也被用於空軍的飛行模擬中，使用模擬器進行起降的訓練來增加實際飛行的安全性，具經濟性亦可減少環境汙染 (Dourado, Antônio O. and Martin, C.A., 2013)。同樣，虛擬實境被用來作為跳傘訓練、坦克駕駛員的基礎駕駛訓練、消防員駕駛訓練等，近來由於周邊硬體及軟體資源逐漸豐富且相對平價，除了軍事上的訓練之外，虛擬實境技術開始可以被一般的消費者接觸到，並應用在各不同領域，包括娛樂、教育、訓練、設計及教學等，醫務人員能透過虛擬實境的訓練應對更多樣的醫療處理，一般人也能透過虛擬實境進行各種基本技能的重複訓練，以提高取得培訓認證的機率。

4.1.2 VR 技術於工程上之應用

虛擬實境可實現 4 維 (三維+時間軸) 的幾何模型 (圖 4.1)，在里斯本大學的課程中，以預鑄梁組成的懸臂橋面為目標，建立虛擬實境的環境，該模型允許使用者查看施工過程中的每個步驟和主要構造間相互的影響。為了開發虛擬實境的模型，必須詳細研究每個構造的組成與原理，才得以在正確的時間上進行恰當的施工工序，並允許使用者在不同的空間視角，觀看建設工作的整個開發過程，進而全盤瞭解此建設工法之施工過程。這樣的應用可加強學生和專業人員對於懸臂橋梁建設領域的認識。(Sampaio, A. Z. and Henriques, P, 2007) 此研究的目的即在於展示虛擬實境在於視覺模擬上的教學實用性，從而促進此教學方式的傳播。



(Sampaio, A. Z. and Henriques, P, 2007)

圖 4.1 以 VR 模擬橋面連接的工程

VR 於工程的應用面向不斷增加，目前多是以影像的方式進行品質管理，利用影像進行自動化缺陷偵測的判讀，如利用 multi-instance learning 進行焊縫缺陷的影像自動化檢核(Mera,C.et al,2016)或是依照紋理圖像進行缺陷偵測(Tomczak, L.,et al,2007)。若是能將影像的判讀與虛擬實境進行結合，藉由虛擬實境提供身臨其境的環境，再加上影像自動判讀的作業，既能加速作業，更能提供使用者栩栩如生的體驗，以提升未來在進行檢測時正確率與與時效性。

4.2 現地資料取得

4.2.1 資料取得方法評估

在橋梁結構物監測任務中，待監測目標常處於不佳的環境條件(如高橋墩或跨河橋梁)，在這樣的環境中經常導致傳統測量方法無法順利實施，或者是資料收集效率不彰等情況，因此如何針對橋梁結構物之特性，設計一可針對不同情況，有效提升資料收集效率，且便於使用者查看資料的方法是為一重要任務。

因應橋梁所在之不同場景及環境限制條件，本研究提出多種資料收集方法，期能藉由各不同方法各自的優勢，彌補彼此的不足，提供使用者最方便、快速且有效的資料蒐集及查看的解決方案。本研究所提出數種資料收集方法，方法包括有：光達(LiDAR)、Matteport、全景相機及無人飛行載具(附掛相機)。

光達(Lighting detection and ranging, LiDAR)屬於主動式感測系統，由儀器發射雷射光後，接收雷射光碰觸到待測物後的反射訊號，記錄下接收訊號的時間差(相位差)、角度及強度，進而重構物空間資訊。此技術具有快速、自動化、全面性收集高品質 3D 空間資訊的能力，其所獲得之成果為離散點雲(如圖 4.2 及圖 4.3 所示)，需透過後處理程序進行資料解析，隨著資料處理技術越發成熟，此一技術掃描所得之成果不僅可以用來做單純的資料展示，還可以針對不同應用，客製化開發軟體以有效滿足業主之需求。



圖 4.2 光達技術掃描成果

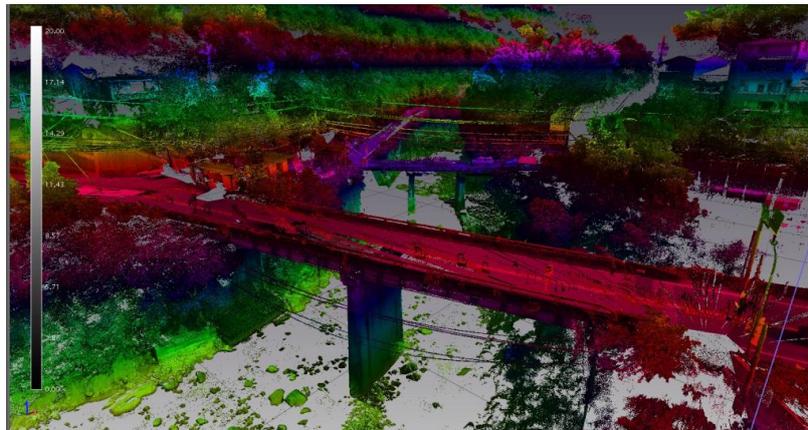


圖 4.3 光達技術掃描成果

一般相機在擷取時會受限於可視角範圍而無法記錄下空間中所有的資訊，若要使用多張影像自行拼接，則會因為拼接位置不當，或是因為照片拍攝前後有物體移動而留下殘影，導致影像品質受損，全景相機則是透過特殊的硬體及影像後處理技術來獲得空間資訊，一次拍攝即可記錄下空間中 360° 的資訊，特殊的硬體指的是在機身上同一方向上裝置數台相機(圖 4.4)，設備啟動後會自動旋轉 360° 蒐集資料，或是同時使用兩顆可視角度大於 180 度的魚眼鏡頭進行拍攝(圖 4.5)，如此單次拍攝即可記錄下所有資訊，並在檔案輸出時將照片自動接合成一個環景影像(圖 4.6)，供後續應用。



圖 4.4 單一方向多相機機型



圖 4.5 兩顆魚眼鏡頭之機型



圖 4.6 南靖橋實地拍攝之全景影像



圖 4.7 雙溪橋實地拍攝之全景影像

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)(圖 4.8)因其設備逐漸發展成熟，在飛行載具自身結構與重量，或其搭載相機設備之成果品質都有明顯的改善外，又具備高機動性、低成本及即時性等優勢，已成為一項高度可靠之量測技術，其上配置之數位相機，可記錄下豐富的地物反射光譜資訊，同時反映物體表面材

質特性及明顯特徵，影像資料以數位化格式紀錄，可進行後續資料處理，產製高密度點雲、DEM 等產品，延伸資料應用之範圍，近年來廣泛應用於結構物監測及管理之上，不但能大幅縮減人力，也可藉由遠端遙控的方式接近監測區域，進行影像的拍攝及傳輸，對於人員不易到達之監測場域，實為一利器。



圖 4.8 無人飛行載具

表 4.1 資料蒐集方法評估

	 光達掃描技術	 環景影像	 UAV+影像
精度	高	低	中
受環境影響程度	高	中	低
畫面細緻程度	高	低	中
模型建立方便程度	中	低	高
掃描費用	高	低	中
提供資訊範圍	大區域	局部	大區域

各儀器蒐集到的資料，在精度、細緻度、資料儲存格式等各方面均各有不同(如表 4.1)，光達點雲獲取到的資料精度最高;全景影像可以快速且完整的取得現地環境的小範圍影像;無人載具可不受地理條件之限制，輕易取得大面積的現地環境資料，並可經由軟體重建量測地區之三維模型。經團隊評估此計畫之各項需求後，選定使用無人載具搭載一般相機及全景相機進行待測地區之資料蒐集，以無人載具獲得之影像建立該地區大範圍之三維模型，以利後續虛擬實境技術使用，三維模型可提供使用者觀看大尺度的結構物，在細節呈現的細緻度上卻略顯不足，而全景相機可快速拍攝小區域局部影像，提供高細緻度的成果供使用者查看，但

是使用者無法直觀的察覺影像與結構物之間的相對關係，因此，團隊融合此兩種技術彼此的長處，期能透過後續的資料處理，將兩者的成果合併在同一個平台內展示，提供使用者優異的虛擬實境體驗。

4.2.2 影像處理軟體簡介

UAV 拍攝所得之影像需使用影像處理軟體進行後處理，以得知各影像之間的位置相對關係及彼此的重疊率，進而將平面影像進行重建，建立出物空間數位 3D 模型，常見的影像格式包含：*.JEPG、*.TIFF、*.PNG 及*.BMP 等皆可做為輸入之格式，且同一專案中支援使用不同相機及不同鏡頭所拍攝到的資料進行資料融合，原始資料經程式處理後，可輸出 Obj 格式的不規則三角網格模型、ASCII、LAS、LAZ、XYZ、PLY、google KML 及 3DS Max 等常見的 3D 資料格式。

UAV 影像透過攝影測量之空中三角計算，求得各影像之方位及地面特徵點位之坐標再進行加密運算，運算完成後可得到高密度之地表點雲成果，經由演算法組成不規則三角網(TIN, Triangulated Irregular Network)，搭配反投影取得三角網格中各面的紋理，此即為常見之地表三維模型(圖 4.9)。上述流程在諸多商業軟體中已可由自動化的方式產製完成(如 Pix4D Mapper 及 Agisoft PhotoScan 等)，但根據不同的地物性質(複雜度或同調區)及拍攝之規劃(影像重疊率及拍攝角度)等因素則會影響模型之細緻程度。



圖 4.9 由 UAV 影像產製之橋梁三維模型

在本研究中以橋梁作為目標物，其具有幾項不利建模之特性，如橋面鋪面為同調區、周圍環境多為樹木(同調區)及河流(移動物)、橋底板結構複雜且遮蔽物多等，因此以前述方法所建立之三維模型雖可看出地物之輪廓，但隨著各影像處理技術之運算模式不同，同一場景所重建出的三維模型之細節亦有些許差異。

4.2.3 影像處理軟體比較

本工作需進行建模之環境場景相對單純，主體為橋梁並附掛周遭之地物，在場景針對性很高的情況下，可使用不同的影像處理軟體，處理同一批相似場景的資料，測試何款軟體較適合本次計畫使用。

此次測試三套軟體，分別為 ContextCapture、Pix4D Mapper 以及 Agisoft Photoscan，Acute3D 所發展的 ContextCapture 自動化軟體，可以在高階析度

航空影像解算、電腦視覺與幾何計算演算法的三種基礎之下，進行三維資訊重建。Pix4D Mapper 為一套專為航空遙測所開發的軟體，其能處理相機拍攝之航空、傾斜與地面影像精確至公分等級，並具備自動偵測拍攝相機並校正相機誤差之功能，無論使用何種型號相機，Pix4D Mapper 皆會經由自動搜尋相機型號及其參數之功能，於系統中修正相片以減少建置模型之誤差。Agisoft PhotoScan 利用數位照片快速建立具有色彩和紋理的三維模型軟體，並生成高解析度的地理正射影像圖或是具有紋理的三維模型。其三維模型構建過程主要分為兩個階段，第一階段搜尋各照片上的共同點，反算拍照時攝影機的位置，產生初步的點雲，第二階段 Agisoft PhotoScan 基於所估計的相機位置和影像本身之資訊產生三維多邊形網格。

此次測試以新北市鶯歌的南靖橋(現地影像如圖 4.10 所示)為測試場，以 UAV 拍攝位於獲取之 286 張影像做為測試資料，為得到較好的模型成果，影像中除了有垂直橋面空拍的影像外，尚有其他多角度拍攝之影像。三套軟體實際用於建模的影像張數及產出模型的處理時間如表 4.2 所示，各自建立的模型成果如圖 4.11 至圖 4.13，圖中的順序依序為大範圍模型地貌、橋面模型成果及橋側面模型成果。



圖 4.10 南靖橋勘查照片

由表 4.2 中可以看出 ContextCapture 的處理時間最短，Agisoft Photoscan 次之，Pix4D Mapper 的處理時間最長，但是 ContextCapture 僅使用 105 張影像進行影像建模，是三個軟體中最少的，經檢視模型成果發現，ContextCapture 所產出之模型，在橋側及橋面下方均沒有資料，推估是軟體在進行初步影像篩選時，並沒有將側拍影像納入所導致。

查看各軟體重建之模型後發現，ContextCapture 建立之模型因無法納入側拍影像進行解算，因此在橋面下方與橋側均有資料空缺，無法為本工作使用，Pix4D Mapper 以及 Agisoft Photoscan 之模型，均可有效重建橋面模型及現地環境，就細節來看，Pix4D Mapper 有效重建出橋面上的欄杆但 Agisoft Photoscan 沒有建出來，在橋面(同調區)處理的部分，Agisoft Photoscan 有效的將來往的車輛等雜訊濾除，重建出乾淨的橋面區域，反觀 Pix4D Mapper 的橋面就存在許多雜訊，且在橋側與橋面下方之模型成果，Pix4D Mapper 也因為有雜訊影響的關係，而略遜於 Agisoft Photoscan。

表 4.2 軟體測試細節

	ContextCapture	Pix4D Mapper	Agisoft Photoscan
處理影像(張)	105	286	286
處理時間(小時)	6.5	10	8





圖 4.11 ContextCapture 軟體解算之成果





圖 4.12 Pix4D Mapper 軟體解算之成果





圖 4.13 Agisoft Photoscan 軟體解算之成果

上述 3 套軟體各有所長，就綜合模型細節查看結果、模型處理效率、軟體操作實用性及模型應用之考量，團隊最後選定使用 Agisoft Photoscan 作為影像處理之軟體，藉由其優異的模型處理能力，期能快速且正確的重構地物三維模型。

4.2.4 環景相機成像比較

環景、全景這個名詞的英文名稱為 panorama，應該翻譯為寬景，也就是水平視野廣闊的照片或繪畫。寬景照片的視野最多只能到達 180°，主要的原因是

人們所看到的世界都是以「透視投影 (perspective projection)」的方式所呈現，而透視投影最多只能展現到 180° 的視角。要展示超過 180° 視角的畫面，必須要採用不同的投影方式才能達成。由於這樣的投影方式不是正常人能夠看懂接受的（會產生影像變形），因此在電腦圖學發展之前，涵蓋 360 度環景的照片並沒有實質的應用。到了近年，尤其是電腦運算能力大幅提昇之後，即時轉換影像投影方式變成個人電腦可以負荷的運算作業後，才開始有了 360 度環景的應用。涵蓋水平方向 360 度視角範圍的照片，就稱為環景或 360° 環景。由於 360° 就是一個全圓周，因此也有人稱為全景照片。

環景攝影的概念源自於利用電腦播放軟體，如 QuickTime Player，讓使用者能依本身的需要，旋轉相片，產生一種有如身臨其境的視覺效果。為了產生這樣的相片，於是有了各種環景攝影技術的發明。在實際的應用上，根據使用者需求的不同，或攝影者本身的技術限制，有可分為寬景，環景跟全環景(如表 4.3)，可以單一相片欣賞，也可以利用軟體播放。

表 4.3 環景、360° 環景與 720° 環景差異

正式名稱	寬景	環景	球體環景 / 全環景
坊間名稱	環景	360° 環景、全景	720° 環景、全景
英文名稱	Panorama	360° panorama	Spherical panorama
水平視角	<180°	360°	360°
垂直視角	<180°	<180°	180°
投影方式 (常用方式)	透視投影 Perspective projection	等距柱狀投影 Equirectangular projection	等距柱狀投影 Equirectangular projection
長寬比例	>1.5 : 1	>2 : 1	2 : 1

本研究依據表 4.4 之環景相機使用之後，最終選擇使用環景相機為 Ricoh Theta S，原因為重量輕，機體細長容易掛載於 UAV 上，搭配 RICOH THETA APP 透過 Wi-Fi 連結 Ricoh Theta S 即可進入 Live View 模式拍攝，且其影像縫合之影像成像效果較好，無需額外使用軟體來進行編輯合成，機體本身拍攝完影像即可立即自動處理影像縫合，貼入 Unity 軟體程式中也顯較 Kodak SP360 4K 之影像扭曲變形少(如圖 4.15(a))；Kodak SP360 4K，需要兩台機體一起拍攝，將拍攝成果透過 PIXPRO 360 STITCH 做拼接，才可後製成球體環景，較為複雜麻煩，且影像縫合之影像成像會有明顯的錯位顯示(如圖 4.15(c))，球體環景影像不佳，其次要以 UAV 機身一邊同時承載 Kodak SP360 4K 雙機體，則會造成 UAV 機體的承載重量不均，飛行狀態下難以穩定操作飛行；至於 Samsung Gear 360 可搭配 Samsung Gear 360 Manager App，也可帶來取景、儲存影像等完整的操作，可惜的是此 App 僅支援 Samsung Galaxy S7、S6 與 Note 5 系列機種，不支援其餘 Android 與 iOS，支援度相較遜色於其他環景相機。雖然全景照片解析度較為其他兩台高出許多，但其影像是採雙球狀的影像呈現(如圖 4.14(b))，無法直接貼入 Unity 軟體程式做應用，所以不採用此機體。

表 4.4 環景相機規格比較

品牌	Ricoh	Samsung	Kodak
機型	Theta S	Gear 360	SP360 4K(雙機全天球組)
鏡頭	雙魚眼鏡頭	雙魚眼鏡頭	單魚眼鏡頭
全景照片解析度	14M	30M	8M
全景影片解析度	1920×1080 30fps	3840×1920 30fps	2880×2880 30fps
光圈	F2.0	F2.0	F2.8
感光元件大小	1/2.3	1/1.72	1/2.33 吋
感光元件種類	CMOS	CMOS	CMOS
重量	125g	153g	128g
價錢	NT\$14900	NT\$12900	NT\$33990
機體圖片			



(a) Ricoh Theta S



(b) Samsung Gear 360



(c) Kodak SP360 4K

圖 4.14 環景相機實測照片



(a) Ricoh Theta S



(b) Samsung Gear 360



(c) Kodak SP360 4K

圖 4.15 Unity 呈現之環景影像

4.3 虛擬實境技術之實現

建構完成的模型需引入三維模擬引擎並建立互動劇本，藉由三維模擬引擎即時將模型資料及使用者動作即時運算輸出至 VR 顯示設備中，即可達到虛擬實境之應用，架構圖如圖 4.16。

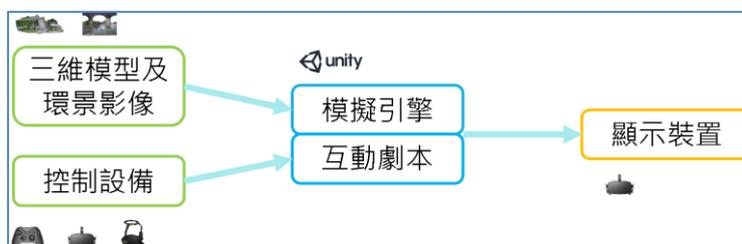


圖 4.16 本研究建立虛擬實境之架構

4.3.1 VR 顯示器

虛擬實境技術之展現可約略分為以下三個區塊，三維立體模型建立、視覺展示裝置及使用者意念輸入裝置。三維模型建立的部分，隨著各項技術不同而有所差異，而在視覺展示裝置的部分，為了讓顯示器顯示的圖像足夠欺騙人腦，圖像的顯示頻率要超過 60 幀/秒，目前較常見的顯示裝置有頭盔型顯示器 (Helmet-Mounted Displays, HMD) Oculus Rift、HTC Vive 及 Playstation VR(比較表如表 4.5 所示)，由於每秒需要傳送 15~20GB 的資料，故兩者皆以有線的形式外接電腦，接送來自於電腦重新計算的展示成果，三者最大的不同在於定位使用者所在位置及身體運動方向的方式，HTC 使用的技術是在空間內設置兩個發射基站，透過基站在空間內佈滿雷射光，計算雷射光與基站之間的距離關係，計算頭部的的位置變化;Oculus 則是使用內建的運動感測器(陀螺儀及加速度)抓取使用者的運動變化;Playstation VR 則是在頭盔上裝了 9 顆 LED 燈，由 PS4 上的攝像鏡頭進行 360 度的頭部追蹤，三者畫面解析度上相差無幾，因開發自由度及網路上可參考資源多寡的考量，團隊最後選用 Oculus Rift 做為本次工作之 VR 顯示器。

表 4.5 VR 顯示器之比較

	Oculus Rift	HTC Vive	PlayStation VR
畫面解析度	每眼 1080×1200	每眼 1080×1200	每眼 960 × 1080，
更新頻率	90Hz	90Hz	120Hz
外接硬體	電腦	電腦	PS4
價格	中	高	低
定位精準度	中	高	低
定位系統架設難易度	低	高	低
優點	市面上周邊資源 相對較多	畫面顯示明亮度 較高	遊戲內容豐富 操作整合度高

Oculus Rift 的外觀如圖 4.17 所示，內部構造在兩眼的部份各使用一片解析度為 1080*1200 的 OLED 面板，其更新頻率為 90Hz，其更新為全局重新整理，並非線掃式的更新，此舉可降低使用者對於畫面模糊或顫動的感受，鏡片之間的距離可藉由顯示器下方的轉盤進行調整，以適應不同使用者的瞳孔間距。在聽覺方面，Oculus 則是內建了耳機，並搭配 Visisonics 公司開發的 RealSpace3D Audio 技術，提供對應於顯示內容的立體聲響。



圖 4.17 頭戴顯示器 Oculus Rift

4.3.2 三維模擬引擎

本工作欲利用虛擬實境(VR)之呈現方式展示橋結構體之各項細節，而 VR 之概念在於取得場景模型及使用者資料(包含位置及視角姿態)後，搭配欲輸出之設定，隨著使用者移動或改變視角即時運算出影像輸出至 VR 設備，讓使用者有身歷其境之感覺，而核心計算則是靠三維模擬引擎來處理(圖 4.18)。

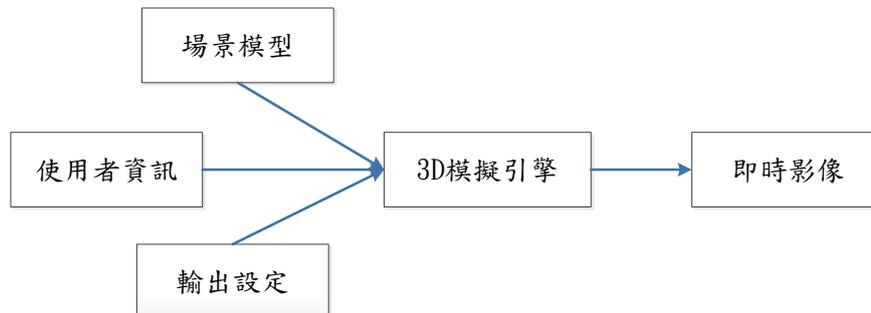


圖 4.18 虛擬實境示意

此外，本工作採用 Unity 作為模擬引擎，因其具備強大跨平台能力，可用於建置電動遊戲、建築視覺化模型、3D 動畫等類型的互動內容。經過處理及設計，其成果可發布於 PC、Mac OS、iOS、Android 手機、平板及各種 VR 顯示器之上(圖 4.19)。



圖 4.19 Unity 支援的 VR 顯示器

本工作之工作目標為利用 VR 設備查看監測場域，工作之簡要流程可如圖 4.20 所示。首先進行現地資料蒐集，蒐集的資料包括有平面影像及全景影像，平面影像經由軟體重構成三維模型後，即根據使用者的使用行為設計互動劇本，劇本內主要實現使用者查看資料之需求，視角移動、全景影像球插入、影像/模型切換、影像放大檢視等功能，確認劇本後，將資料匯入模擬引擎 Unity 進行整合處理，在 Unity 開發環境(圖 4.21)中設定模型相關的參數，包含模型位置、角度、光照角度，全景影像球位置，全景影像球角度等等細節，並撰寫相關程式碼，實現互動劇本中的各項功能，待設定完成後輸出檔案，使用者便可使用 VR 頭盔式顯示器及搖桿體驗虛擬實境的資料展示技術。其中，在全景影像球展示的部分，圖 4.22 為未加入全景影像球的模型樣貌，圖 4.23 為加入全景影像球的模型樣貌，當使用者按下切換紐時，程式便會自動尋找離使用者位置最近的球，並將使用者頭盔內的畫面，置換成該全景影像球的畫面供使用者觀看。

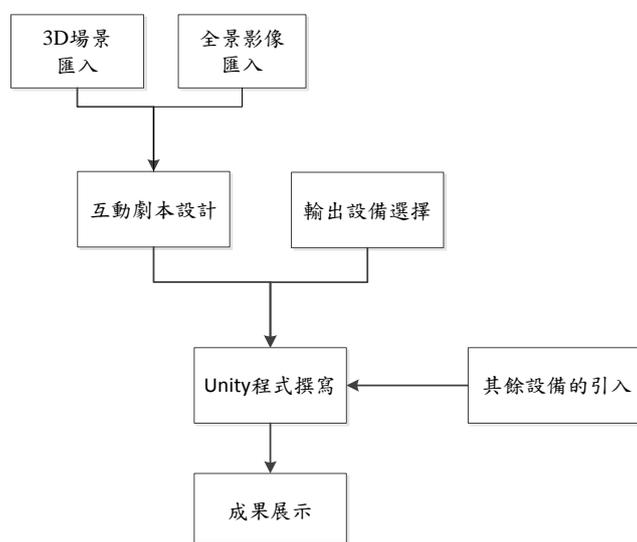


圖 4.20 Unity 簡要流程



圖 4.21 Unity 開發環境

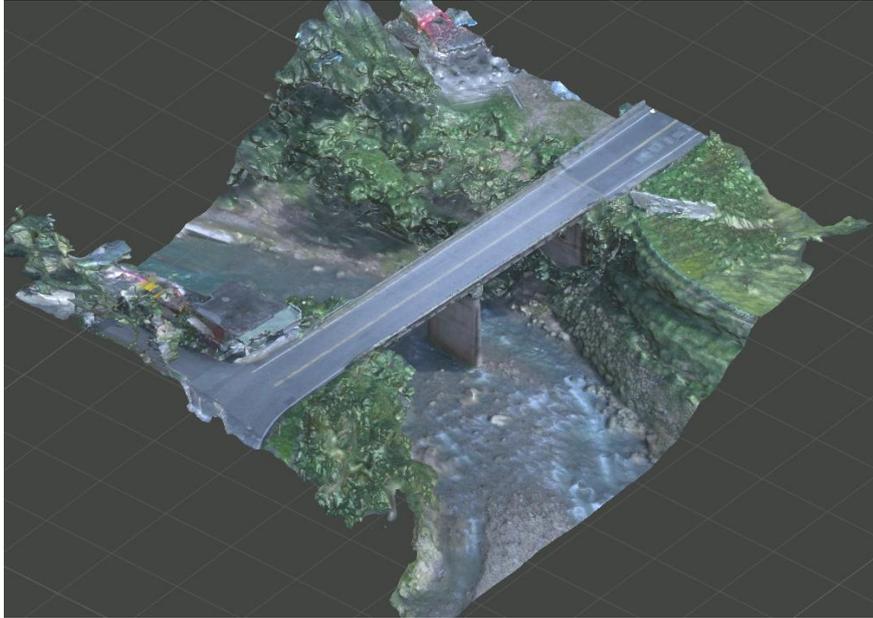


圖 4.22 未加入全景影像球的模型樣貌

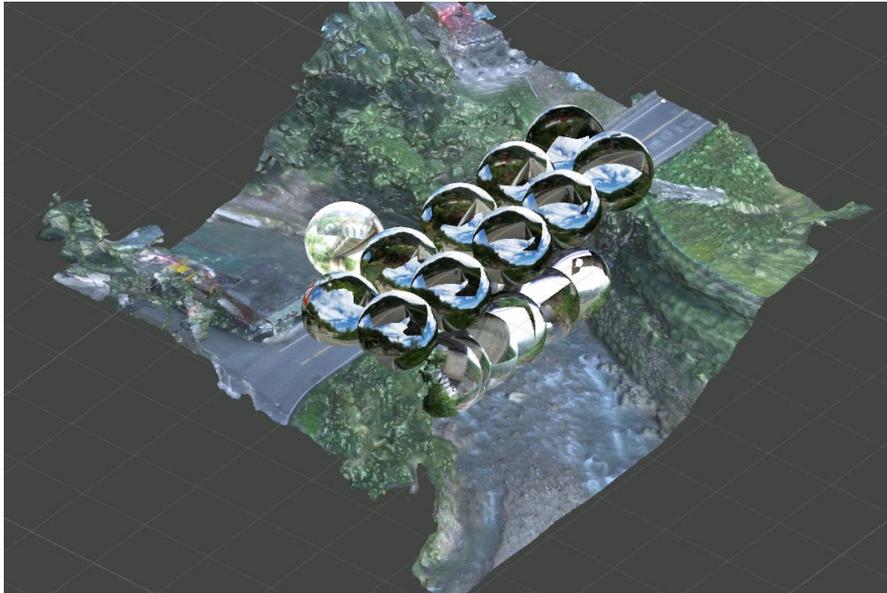


圖 4.23 加入全景影像球的模型樣貌

4.4 成果展示與討論

導入 VR 設備之成果可如圖 4.24 所示意，圖 4.24 右上為展示中之 VR 眼鏡，右下兩張小圖分別為左右眼螢幕中之影像，左圖為呈現於電腦中的畫面。VR 眼鏡中包含慣性設備，因此會根據使用者看的方向改變而即時運算出對應的影像，且兩眼影像具有些微視差可產生立體視覺之效果。

圖 4.25 為使用者戴上 VR 眼鏡及其操作示意，如圖 4.25 右下使用者可藉由搖桿操作在模型中的移動，並搭配眼鏡視角的改變，則可於模型中任意位置與視角觀看欲檢測之目標物，圖為使用者移動至橋下觀看橋柱側面及橋面下方。



圖 4.24 VR 眼鏡中畫面



圖 4.25 操作與呈現畫面

如同前述，藉由三維模型於 VR 中展示，可讓使用者對橋梁結構及周遭地物有初步之了解，並有身歷其境之感受，然而現階段以 UAV 拍攝之影像並藉由影像處理軟體自動建模所產生之三維模型，其解析度對於檢測之目的仍有不足，因此本研究中搭配環景影像嘗試達成此目的。使用者可於模型模式中，移動至欲檢測之目標物前再切換為環景影像模式，即可以較佳的影像品質來檢視目標區域(圖 4.26)，而環景模式仍具備 VR 之體驗可改變視角觀看 360 度的影像，但其不為連續資料，故僅可改變視角無法在環景影像移動。

圖 4.26 中分別檢視橋柱、橋柱與橋底板交界及橋底板，左側為模型模式之畫面，右側為環景模式之畫面，兩者之細緻度有明顯之差異。如圖 26 右側中顯

示，環景模式之影像可較清楚的看出結構物之細節，並可提供構件破損或修補之參考資訊。



圖 4.26 在 VR 中模型模式與環景模式的對應

由上述成果可得知，透過本工作所設計之系統架構及使用流程，使用者可於辦公室內藉由 VR 設備，身歷其境於目標橋梁之中，快速且直觀的了解橋梁結構及周遭環境等資訊，免除交通往返辛勞，大幅提升檢測效率，且除了大範圍的察看結構體外型，模型內亦搭配有全景影像模式，以較細緻影像作為檢測之參考，期能給予使用者最好的資料查看體驗。

在本計畫中以橋梁作為目標物，其具有幾項不利建模之特性如下：

1. 橋周圍及橋下結構物多不易飛行
2. 橋面鋪面多為同調區
3. 周圍環境多為樹木(同調區)及河流(移動物)
4. 橋底板結構複雜且遮蔽物多

因此現階段以 UAV 影像透過自動建模方式所產製之三維模型解析度較差，為此整合環景影像同樣以身臨其境的展示，但提供較好的影像品質作為補償。以目前實際作業時間，UAV 影像及環景影像的拍攝約半天至一天，軟體解算三維模型約一至二天，將成果導入 VR 約半天至一天，從選定完一座橋梁到導入 VR 至目前成果約三至五天時間。

後續的方向仍應以能建構出單一良好三維模型作為目標，在期中時曾嘗試以人工編修方式進行模型的優化，然而為保持模型的真實型，需以人工繪製出仿真

之結構物現況並貼上真實影像，其複雜度相當高需花費大量時間，就計畫中橋梁的橋面鋪面及欄桿的編修就花了二天時間，且繪製成果並不自然。另外部份之天然地物亦不可能由人工繪製出真實場景，因此本計畫才以整合環景影像之方式作為替代方案，而後續仍會持續追蹤國內外相關技術，評估是否隨著軟硬體及演算法之改算可提供較佳的成果品質，供貴所作更實際之應用。

第五章 水下檢測工具初探之研究方法與進行步驟

針對以長桿進行水下檢測之訊號傳輸問題，本研究已找出對策順利解決。此外，本研究亦改良長桿配備，以更適水下檢測所用。

本研究利用自組長桿檢測工具進行水下測試，擬嘗試改善即時影像傳輸及攝影照片清晰程度的問題。拍攝橋梁構件時，應調校影像清晰度及傳輸訊號。當訊號可成功傳遞至監控平板，便著手進行水下檢測。歷經多次現地實驗，本研究目前長桿檢測工具之配置方式，已可正常傳輸拍攝影像至監控平板。

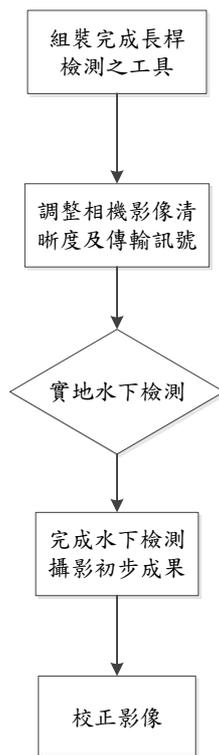


圖 5.1 水下檢測工具研究流程

5.1 水下檢測工具組成及使用要點

本研究利用自組長桿檢測工具進行水下測試，擬嘗試改善即時影像傳輸及攝影照片清晰程度的問題。拍攝橋梁構件時，應調校影像清晰度及傳輸訊號。當訊號可成功傳遞至監控平板，便著手進行水下檢測。歷經多次現地實驗，本研究目前長桿檢測工具之配置方式，已可正常傳輸拍攝影像至監控平板。

5.1.1 水下長桿檢測工具組成

目前，市面上並無可以自由伸縮高度且可以拍攝桁架橋上部構件之檢測工具，因此本研究為了符合其拍攝需求，自行組裝之長桿檢測工具，用以增加橋梁檢測效率以及節省成本花費。本次進度主要為解決水下 WiFi 訊號傳輸及拍攝影像清晰程度的問題。

長桿檢測工具所需之基本配備包含 GOPRO 攝影機、長桿(十二公尺)及平板電腦等，在選用動態攝影機的條件為輕巧、堅固、續航力強且可防水之攝影機，長桿的選用條件為長度達 12 公尺、輕巧、堅固且方便操作攜帶。

最後，因 GOPRO 攝影機具有重量輕、解析度高、使用時間長、可遠端操控並觀看即時影像等功能，且其周邊配件最為齊全，考量到長桿檢測工具組裝的方便性，本研究最後採用 GOPRO 攝影機為長桿檢測工具之動態攝影機，長桿選用方面，目前經由廠商詢問得知可分為鋁合金、碳纖維及玻璃纖維等材質，需考量輕巧且方便攜拿，而碳纖維會導電會有不安全之虞。最後，選用玻璃纖維製之十二公尺伸縮桿，其長桿檢測工具材料清單，費用總計 97,315 元，如表 5.1 所示。

表 5.1 水下長桿檢測工具清單

項次	名稱	規格/型號	單價 (NT)	主要用途
1	長桿(玻璃纖維)	12 m	3,700	主體用於延伸攝影鏡頭。
2	GOPRO 攝影機	HERO4 頂級旗艦版	20,700	架設於長桿的末端用於拍攝水下橋梁構件之狀況。
3	GOPRO 電池	HERO4 原廠鋰電池	1,150	備用所需。
4	記憶卡	sanDisk Extreme microSD 64GB	1,150	儲存攝影機資料。
5	GoPro HERO4 USB 電池充電器	AHBBP-401	2,200	用於充電攝影機之電池。
6	Howshot 箝制夾	訂製品無廠牌	450	將攝影機固定於長桿。
7	Howshot 球型燈頭	訂製品無廠牌/M5 螺絲	600	增加檢測工具拍攝角度及靈活性。
8	Howshot 圓球轉接座	訂製品無廠牌/窄版	750	增加檢測工具拍攝角度及靈活性。
9	潛水 LED 補光燈	H2O GEAR	9,500	為檢測工具之主動光源也可利用於水下檢測照明。
10	Howshot GoPro 球轉接頭	訂製品無廠牌	550	增加檢測相機拍攝角度及靈活性。
11	GoPro 萬能接頭	副廠零件	240	固定 GOPRO 攝影機。
12	平板電腦	Surface Pro 4	54,000	方便組裝 GOPRO 相關零件。
13	WIFI 無線網卡	A1000UA 飆速 AC 雙頻 USB 150Mbps(2.4GHz)+433Mbps(5GHz)	750	外接水下 WIFI 訊號與行動裝置的驅動。
14	WIFI 無線天線 (15m)	netSpace 8dB 全向式 Wi-Fi	1,575	外接至水下之天線連接水下號用。
金額總計：97,315 元				

5.1.2 長桿檢測工具使用步驟及要點

本研究彙整長桿檢測工具使用步驟及要點將其分成組成長桿檢測工具、橋梁構件可視性判定、擬定構件檢測計畫、構件拍攝與影像彙整、填寫橋梁構件檢測資料等步驟，詳細使用步驟及要點如下：

- 一、首先，依照本研究所建立水下檢測影響因子評估表，現地勘驗橋梁現況進行評估，填寫評估表判斷是否適合進行後續檢測事宜。
- 二、影響因子量測：先利用長桿所標示的尺寸記號進行量測水深度，以水深 6 公尺為基準，超過需要補光。最後，量測水中濁度(TDS)時否超過 100PPM，如有超過需調整離墩體的拍攝，以利於完成檢測依據。
- 三、長桿檢測工具組成須配備 GOPRO 攝影機、長桿(十二公尺)及平板電腦等，架設 GOPRO 攝影機於長桿上，須確認連接螺栓是否緊實拴緊並依照上步驟調整補光設定及拍攝距離。
- 四、訊號線與 WiFi 無線天線是否有連接，並確認平板電腦 WiGO 軟體接受到 GOPRO 攝影機訊號，方可下水。
- 五、擬定構件檢測計畫：擬定利用長桿檢測工具，進行檢測之構件的拍攝順序，防止拍攝照片與構件檢測資料混淆的狀況，建議依照本研究所提之構件編碼系統原則，依據主要拍攝構件少至多、由左而右、由上而下之原則進行檢測。
- 六、構件拍攝與影像彙整：執行構件拍攝，若發現無法拍攝之構件，則尋找其他檢測方法或檢測工具。
- 七、對於水下檢測，應評估當天氣的能見度及拍攝角度的設置，都會影響拍攝成果，且盡量不擾動水中懸浮微粒，產生過多造成相片品質不佳，有效保持良好拍攝距離及光線拿捏都是重要的環節。
- 八、填寫橋梁構件檢測資料：將拍攝完成之構件檢測影像，傳輸至平板電腦進行構件劣化程度的判斷與填寫，進而完成檢測任務。

水下長桿檢測於現地檢測以兩人為一個檢測單位，一人操作長桿進行水下橋梁構件劣化的拍攝，另一人手持平板即時監控影像並且拍攝劣化照片或影片，實測操作方式，可視現地狀況進行修正。

5.1.3 水下檢測遭遇之問題與解決措施

本研究為了改善水下檢測的訊號傳輸異常狀況，嘗試下述幾種方式，嘗試延長 WIFI 訊號進而改善即時影像傳輸的問題。

一、方案一：透過 OTG 接頭，將無線網卡插入行動裝置，並將無線網卡天線進行改裝延長入水下連接 GOPRO 訊號，如圖 5.2 所示。



圖 5.2 方案一之構想圖

1. 方案構想：此方案的構想為將 WIFI 接收天線延伸至水下收取 WIFI 訊號，並透過 OTG 接頭將訊號傳至手持平板內。
 2. 實驗結果：失敗
 3. 失敗原因：目前市售無線網卡並無支援 android 及 IOS 系統的驅動程式，因此行動裝置無法透過無線網卡接收 WIFI 訊號。
- 二、方案二：將 WIFI 分享器天線進行改裝延長入水下連接 GOPRO 訊號，並利用 WIFI 分享器中繼 GOPRO 的 WIFI 訊號，將水下訊號傳出，以連接行動裝置，如圖 5.3 所示。



圖 5.3 方案二之構想圖

1. 方案構想：此方案的構想為將 WIFI 接收天線延伸至水下收取 WIFI 訊號，並透過 WIFI 分享器中繼訊號傳至手持平板內。
2. 實驗結果：失敗
3. 失敗原因：WIFI 分享器確實可以中繼 GOPRO 的 WIFI 訊號，透過中繼過後的 WIFI 訊號，但 GOPRO APP 因為需先透過藍芽連接後進而以 WIFI 連接，因此無法辨識其 WIFI 訊號，因此無法傳送即時影像。

三、方案三：無線網卡連接於 WIN8 筆記型電腦，利用非官方的程式 WIGO，操控及傳輸 GOPRO 即時影像，並將無線網卡天線延長至水下連接 GOPRO WIFI 訊號，如圖 5.4 所示。



圖 5.4 長桿檢測工具裝設 WIFI 延長天線與電腦做連接

1. 方案構想：本方案嘗試將無線網卡連接於 WIN8 筆記型電腦，利用非官方的程式 WIGO，操控及傳輸 GOPRO 即時影像，並將無線網卡天線延長至水下連接 GOPRO WIFI 訊號，經過現地實驗過後，確實解決了 GOPRO 於水下影像傳輸問題。
2. 實驗結果：成功
3. 說明：透過共享程式 WIGO 軟體及 WIFI 延長天線，可以即時將 GOPRO 水下影像透過 WIFI 訊號即時傳輸至電腦並進行操控。



圖 5.5 WIGO 軟體

5.1.4 長桿水下檢測限制及可檢測構件項目

本小節針對長桿檢測工具於一般跨水橋進行水下檢測，提出水下構件執行概況及限制。長桿水下檢測確實提升橋檢的效率，經由多次測試及案例，長桿工具及透過攝影機擺放的角度不同，可以完成水下構件拍攝，但人員於橋面上使用長桿設備時，本研究使用之桿長為 12 公尺，對於高度甚高之橋梁無法於橋面上使用，且檢測範圍僅限於橋面兩側下方之水下構件，橋面中間下方之部

份需利用橡皮艇方能拍攝，目前水下構件 6 個構件皆可拍攝，可拍攝構件及範圍，如表 5.2、圖 5.6 所示。

表 5.2 橋梁水下構件使用長桿檢測對照表

檢測構件	是否可使用長桿進行檢測
(1)河道	是
(2)橋台基礎	是
(3)橋台	是
(4)橋墩保護設施	是
(5)橋墩基礎	是
(6)橋墩墩體/帽梁	是

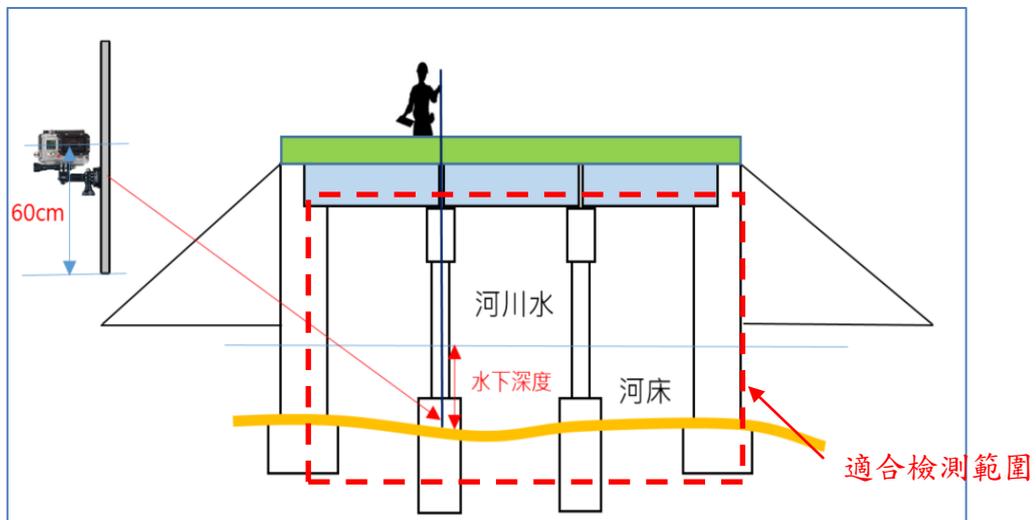


圖 5.6 橋梁檢測項目範圍

5.2 水下檢測影響因子評估

一、拍攝距離與水深關係

自然光進入水層後，因為水層的深度、厚度會影響光線的呈現，而不同深度對光線的影響是有不同的，所以使光線的強度與波長上均有改變。當可見光進入水層之後，大約在 6 公尺深時紅色首先被吸收，10 公尺時橘色也被吸收了，接著依序為黃、綠、藍等顏色，最後只有 10% 的藍光可達 100 公尺深的水中。

以基隆市和平橋橋台側驗證為例，屬於跨海橋。所以不考慮濁度的影響，藉由以下成果得知水深超過 6 公尺以上需補光，否則照片呈現不清楚的效果，影響判讀成果，以表 5.3 所示。

表 5.3 水下水深及補光差異

補光設定 水深範圍	無	有
7.0-8.0M		
		

二、拍攝距離

為了清楚拍攝橋墩基礎的劣化狀況，以近距離拍攝。水下照相機或攝象機離被攝物體的拍攝距離越近，光在水中的傳輸過程受到水的散射作用就越小，拍攝的影像也就越清晰。在本研究多次實驗下，得知在兼顧拍攝面積與清晰度之情況下，距墩體 30 公分為最佳。

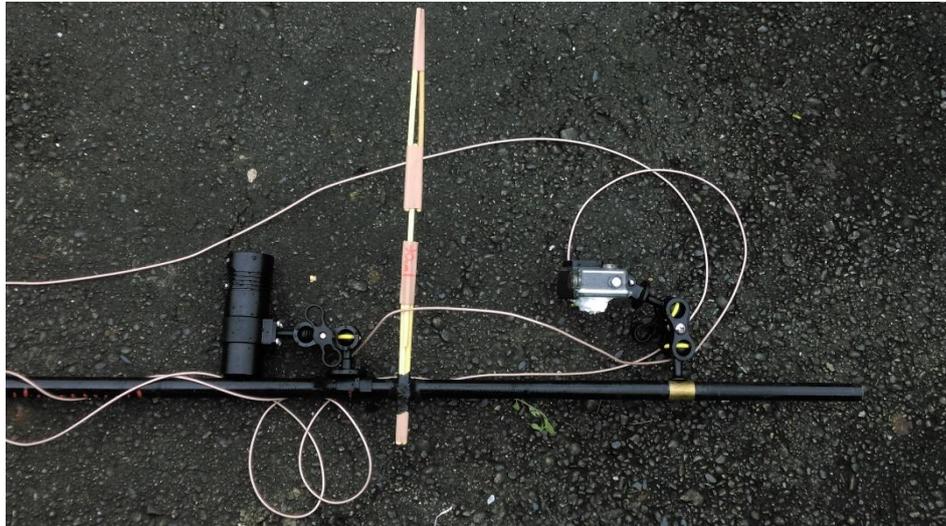


圖 5.7 桿件裝設示意圖

三、濁度

濁度的單位是 NTU (nephelometric turbidity unit)，當 1 公升的水中含有 1 毫克 (mg) 的二氧化矽(SiO₂) 時，此時水樣的渾濁程度稱為 1 NTU 或 1 度。近年來被廣泛運用之濁度單位為總溶解固體 (Total dissolved solids, 縮寫 TDS)，又稱溶解性固體總量，測量單位為 ppm 或毫克/升 (mg/L)，它表明一公升的水中溶有多少毫克溶解性固體。TDS 值越高，表示水中含有的雜質越多。總溶解固體指水中全部溶質的總量，包括無機物和有機物兩者的含量。其測量原理實際上是通過測量水的電導率，間接的反映出 TDS 值。在物理意義上來說，水中溶解物越多，水的 TDS 值就越大，水的導電性也越好，所以電導率值也越大。RO 水為 10-20ppm，於國際認可之 TDS 標準為 40，自來水的 TDS 約在 60-80 之間。圖 5.8 即為水質檢測筆。

因水中影響濁度之細微顆粒與雜質會沉澱，越深處濁度越高，即便流速高此情況亦同。因此本研究以淺水處單次取樣，就影響影像拍攝之效果而言，應具代表性。



圖 5.8 TDS 水質檢測筆

四、水流速率

為了清楚在拍攝水下構件過程中，水流速率對於檢測人員於橋面板上手持長桿穩定度被受影響，導致水下照相機或攝影機成像效果不佳，所以提出簡易檢測方法，主要量測用具為塑膠球、尼龍繩及碼錶。

首先，尼龍繩黏住固定塑膠球，以上游方向的橋面版投擲，開始計時，等待塑膠球到達另一端即可暫停碼表，計算所花費時間。代入公式為**水流速率=橋梁淨寬(bridge_width)/所需時間(Time=T₂-T₁)**，得出答案，如圖 5.9、5.10 所示

在本研究多次實驗下，得知於上游的橋墩面及兩側流速較強，而下游橋墩面皆不受流速影響，但常受限地形影響，如河道佈滿石頭，影響各階段流速變異，

而檢測人員的手持力道不同，承受流速有所不同，所以無衡量標準暫不列入考量影響因子評估，後續研究可以加裝輔助工具，減少水流速率的影響。

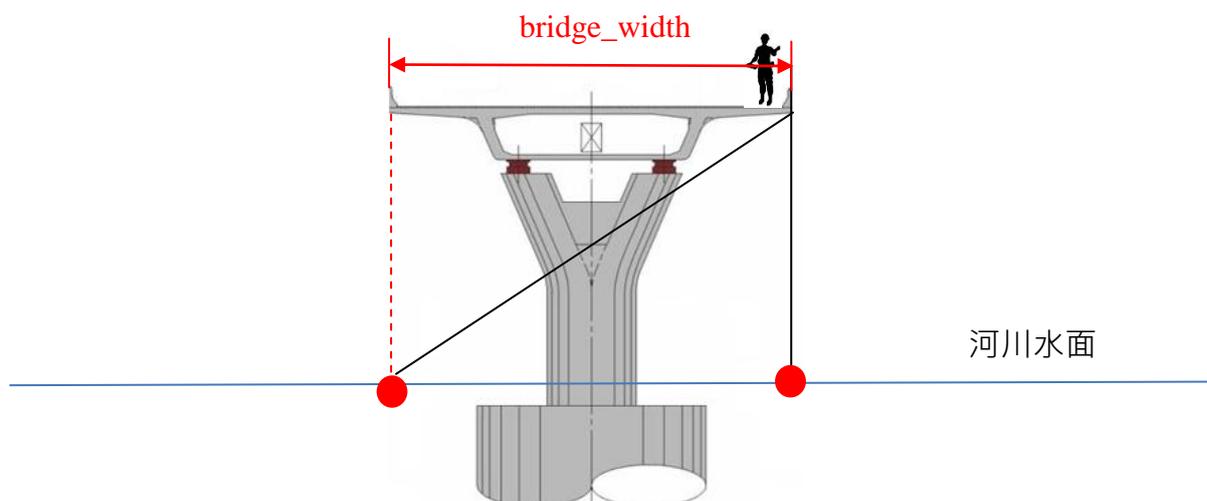


圖 5.9 水下流速檢測示意圖



圖 5.10 后圳橋水下流速檢測過程

本研究將上述三項因子製成水下檢測影響因子彙整表，如表 5.4 所示，檢測員於現地可利用本表檢核該河況是否適合進行水下作業。

表 5.4 水下檢測影響因子彙整表

項次	項目	檢測範圍					說明及補充
		水深<6m		水深>6m			
1	水下深度	自然光可到達。		以失去大量自然光，需要額外補光。			依照混濁度、天氣狀況調整基準。
2	距離墩體	30cm (最佳)	40cm (可)	50cm (勉強)			
3	總溶解固體 (TDS)	0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	>200ppm	
		良好	尚可	低	欠佳	很差	

表 5.5 水下檢測影響因子評估表，本表提供該橋梁之基本資料、結構資料與擬拍攝之墩位資料。進行影響評估時，檢測者需紀錄樁點位置、水下深度、具橋基距離、總溶解固體 TDS 值以及該處補光設定值。此外，本表最下方亦列出提醒事項以及不同測量值範圍是否適合進下水下拍攝。

5.3 橋梁水下檢測現地試驗

本研究為進行檢測水下構件的劣化程度及概況，評估水下檢測影響因子對於拍攝成像的驗證，分別針對外店橋及成功橋進行現地實測。首先，依序說明兩座桁架橋的基本資料及構件型式分佈，記錄當天橋梁外在因素，並利用水質檢測筆量測水中混濁度的概況，根據梁測結果調整長桿檢測的方式，依照橋孔數排定檢測樁點作為檢測的辦法，分析各樁點拍攝成果作比較分析，尋找出影像清晰度的成因。

最後，如果影像可供檢測人員作為檢測依據與該橋梁狀況是否能相符合，進而輔助目視檢測，增加檢測效率及減少人員的危險程度。本研究選定之現地檢測桁架橋皆為 1 至 2 橋孔數，且符合長桿工具的配備需求，比較橋梁的內外條件之優劣與因應解決對策。

表 5.5 水下檢測影響因子評估表

橋梁水下檢測結構物影響因子評估表										
天氣		檢測日期		檢測時間						
橋梁名稱										
管理機關				轄下機關			竣工年月			
參考地標										
使用狀態			設施種類			河川/水域名稱				
橋梁總長			橋梁淨寬			橋墩數			總垮數	
最高橋墩高度			最低橋下淨高				是否有竣工圖			
橋墩基礎結構資料										
結構形式			橋墩材質				橋墩基礎形式			
橋墩最淺基礎深度			橋墩最淺基礎深度				橋基(墩)保護工法			
拍攝橋基資料										
檢測橋點位置	水下深度	離墩體基礎的距離		總溶解固體			補光設定			
影響因子檢測範圍										
項次	項目	檢測範圍					說明及補充			
		水深<6m		水深>6m						
1	水下深度	自然光可到達。		以失去大量自然光，需要額外補光。			依照混濁度、天氣狀況調整基準。			
2	離墩體基礎的距離	30cm		40cm		50cm				
3	總溶解固體 (TDS)	0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	>200 ppm				
		良好	尚可	低	欠佳	很差				
	補光設定	流明度	2,400		1,200		600			
輸出段數		白光散光								
檢測橋墩基礎 示意圖										
檢測員意見										
備註欄										
檢測人員：										

5.3.1 外店橋

外店橋位處於新北市平溪區，橋齡不詳，結構形式為梁式橋，其橋梁狀況良好，檢測位置為平溪火車站附近，中華街連接靜安路二段之相關位置，如圖 5.11，其基本資料如表 5.6，現場照片如圖 5.12 所示。

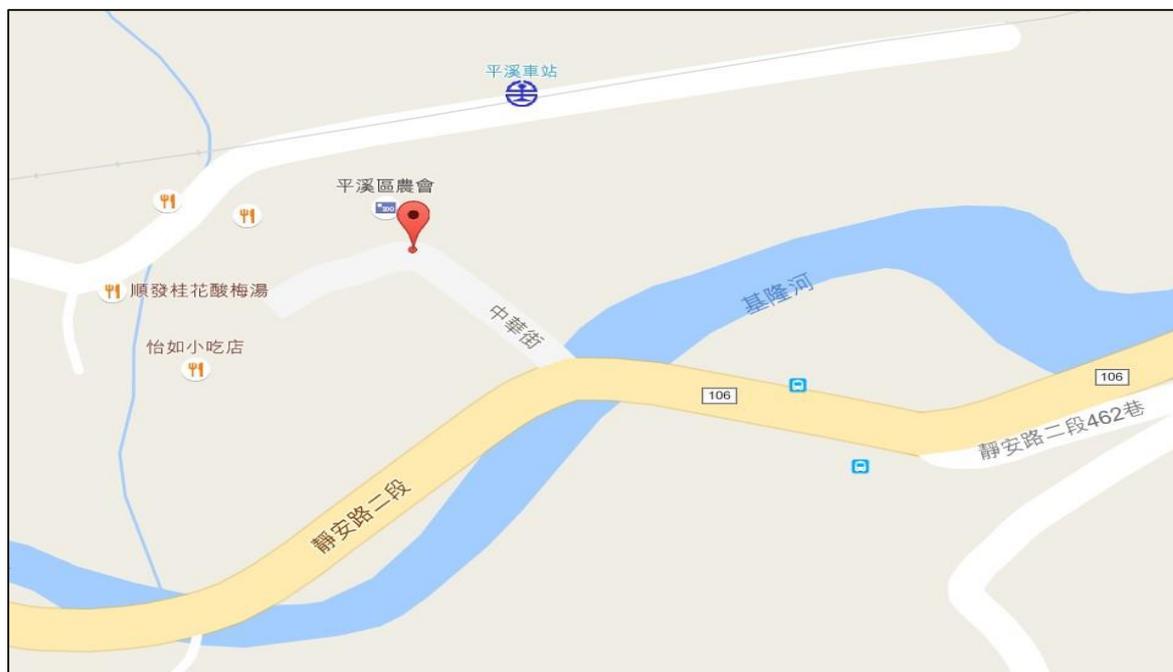


圖 5.11 外店橋地圖位置

表 5.6 外店橋基本資料

橋梁名稱	外店橋				
管理機關	新北市政府	轄下機關	平溪區公所	竣工年月	不詳年 不詳月
參考地標	平溪鄉石底街 26 號		使用狀態	正常使用	
設施種類	橋梁	河川/ 水域名稱	基隆河	橋梁總長	30.4M
橋梁淨寬	5.8M	橋墩數	1	總垮數	2
最高橋墩高度	6M	最低橋下淨高	6M	是否有竣工圖	否
結構形式	梁式橋	橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩基礎形式	直接基礎
橋墩最淺 基礎深度	不詳 M	橋墩最深 基礎深度	不詳 M	橋基(墩) 保護工法	其他



圖 5.12 外店橋

一、外店橋檢測樁點位置

以實地檢測影響因子評估表之設定值及構件劣化照片反應橋梁狀況，外店橋水下檢測位置，如圖 5.13 所示。後續並根據設定值提出適合檢測水下橋梁橋梁重要指標，當天屬於陰天，檢測水質狀況良好，外店橋橋基檢測資料，如表 5.7 所示。

表 5.7 拍攝橋基資料表

檢測位置	水下深度	離墩體 基礎的距離	總溶解固體 (TDS)	補光設定
右樁-1	1.4 m	30cm	78 PPM	1200 流明
右樁-2	1.2 m	30cm	78 PPM	1200 流明
右樁-3	1.3 m	30cm	78 PPM	1200 流明
左樁-1	1.2 m	30cm	78 PPM	1200 流明
左樁-2	1.1 m	30cm	78 PPM	1200 流明
左樁-3	1.2 m	30cm	78 PPM	1200 流明

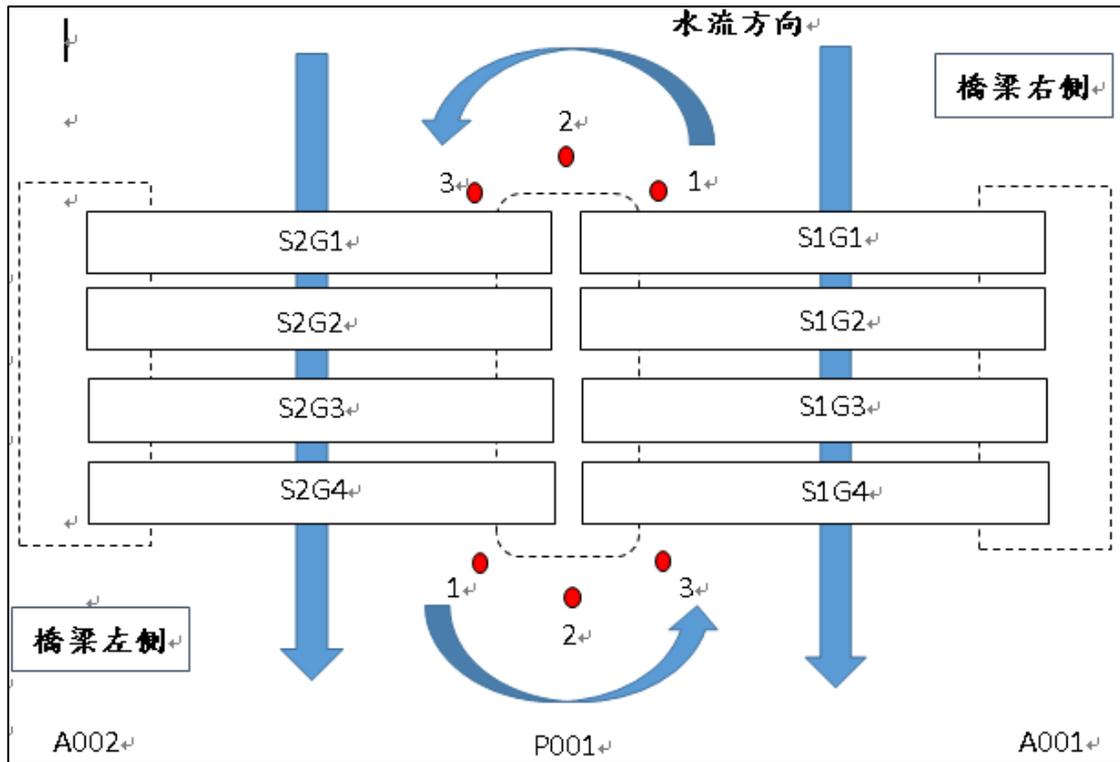


圖 5.13 水下檢測橋墩基礎位置

二、外店橋水下檢測拍攝成果

下表依照樁點位置拍攝水下結構物的狀況，輔助目視檢測所得構件劣化程度，拍攝距離的桿子的架設及確認是否有固定，如圖 5.14 所示，測定水中混濁度的情況，如圖 5.15 所示，整體拍攝成果為表 5.8。



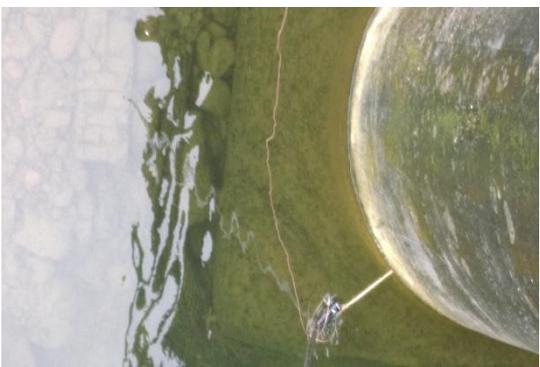
圖 5.14 鏡頭中心與墩體拍攝距離



圖 5.15 外店橋 TDS 為 78ppm

表 5.8 水下檢測拍攝成果

橋梁位置	樁號	照片
右側	1	

橋梁位置	樁號	照片
右側	2	
		
橋梁位置	樁號	照片
右側	3	
		

橋梁位置	樁號	照片
左側	1	
		
橋梁位置	樁號	照片
左側	2	
		

橋梁位置	樁號	照片
左側	3	
		

5.3.2 仁德橋

仁德橋位處於桃園市桃園區，橋齡 33 年，結構型式為梁式橋，其橋梁狀況良好，檢測位置為國道一號機場系統附近，永安路 1468 巷連接富國路 645 巷之相關位置，如圖 5.16 所示，其橋梁基本資料如表 5.9，現地照片如圖 5.17。

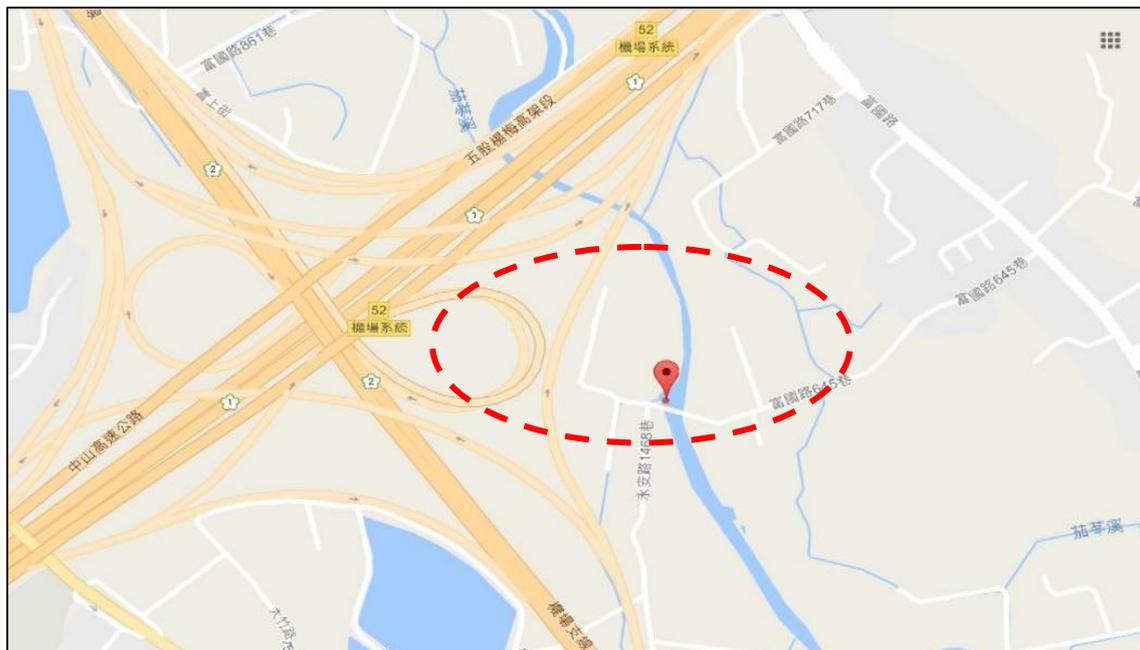


圖 5.16 仁德橋地圖位置

表 5.9 仁德橋基本資料

橋梁名稱	仁德橋				
管理機關	桃園市政府	轄下機關	桃園區公所	竣工年月	72年6月
參考地標	富國路 645 巷		使用狀態	正常使用	
設施種類	橋梁	河川/水域名稱	茄苳溪	橋梁總長	28.1M
橋梁淨寬	3.75	橋墩數	2	總垮數	3
最高橋墩高度	2.5M	最低橋下淨高	1.23M	是否有竣工圖	否
結構形式	梁式橋	橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩基礎形式	無法檢測
橋墩最淺基礎深度	不詳 M	橋墩最深基礎深度	不詳 M	橋基(墩)保護工法	多接跌水工



圖 5.17 仁德橋形式

一、仁德橋檢測樁點位置

以實地檢測影響因子評估表之設定值及構件劣化照片反應橋梁狀況，仁德橋水下檢測位置，如圖 5.18 所示。後續並根據設定值提出適合檢測水下橋梁橋梁重要指標，當天屬於陰天，檢測水質狀況良好，仁德橋橋基檢測資料，如表 5.10 所示。

表 5.10 拍攝橋基資料表

檢測位置	水下深度	離墩體基礎的距離	總溶解固體 (TDS)	補光設定
右樁-1	1.2m	30cm	238	1200 流明度
右樁-2	1.6m	30cm	238	1200 流明度
左樁-3	1.3m	30cm	238	1200 流明度
左樁-4	1.3m	30cm	238	1200 流明度

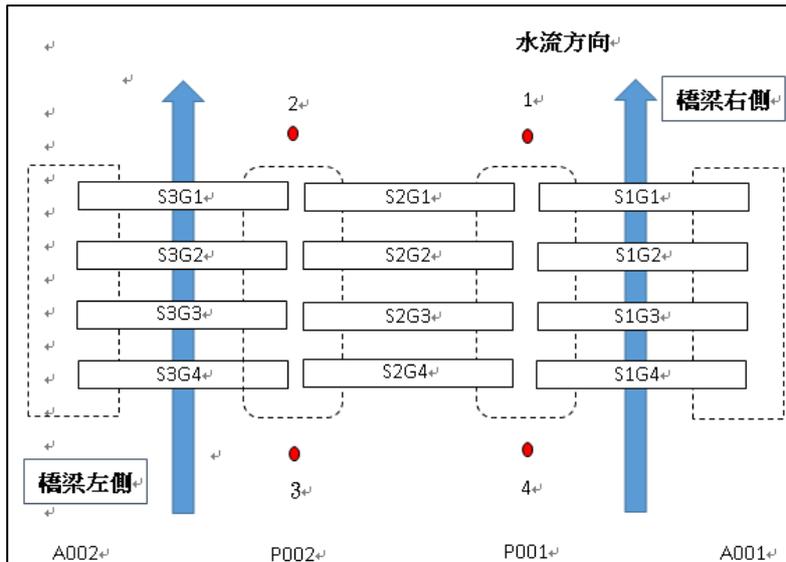


圖 5.18 水下檢測橋墩基礎位置

二、仁德橋水下檢測拍攝成果

下表依照樁點位置拍攝水下結構物的狀況，輔助目視檢測所得構件劣化程度，拍攝距離的桿子的架設及確認是否有固定，如圖 5.19 所示，測定水中混濁度的情況，如圖 5.20 所示，整體拍攝成果為表 5.11。



圖 5.19 鏡頭中心與墩體拍攝距離



圖 5.20 仁德橋 TDS 為 238ppm

表 5.11 水下檢測拍攝成果

橋梁位置	樁號	照片
右側	1	
		
右側	2	
		

橋梁位置	樁號	照片
左側	3	
		
左側	4	
		

第六章 結論與建議

本所於 103 年啟動「橋梁檢測工具效能提升計畫」研究計畫(以下簡稱前期計畫),初步成功整合低價位無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, 簡稱 UAV)及相關軟硬設備,即藉由無人機掛載之鏡頭,自動擷取橋梁構件之影像以供檢測之用。前期計畫更透過影像組合方式,成功產出 3D 橋梁影像。惟為求 3D 影像品質更加細緻化且應用更加廣泛,本計畫希望藉由搭載多鏡頭方式,除由 UAV 所拍攝之一般橋梁影像建立 3D 模型外,並利用 UAV 搭載環景攝影機拍攝橋梁之 3D 環景影像,建立該橋梁 3D 虛擬實境(Virtual Reality, VR)之環境,以做為橋梁檢測人員訓練之模擬操作。

此外,針對水面下橋基表面情形或沖刷深度等現象,傳統上仍透過檢測人員穿著潛水裝備進行檢視。本計畫以可伸縮之長桿(長 12 公尺),於長桿末端結合攝影與補光設備,探討長桿入水深度、距橋墩距離、水之濁度以及補光強度等相關影響影像拍攝品質之因子,最後並建立以此長桿檢測工具檢測水下結構物之作業程序。

6.1 結論

一、在 UAV 結合 VR 方面

- (一)本研究將 UAV 拍攝之影像,透過 3D 影像處理軟體,呈現橋梁三維模型,另輔以 UAV 搭載環景攝影機拍攝環景影像,共同匯入 VR 顯示設備內,成功產出橋梁 3D 虛擬實境模型。
- (二)在 3D 橋梁建模過程中,研究針對市面 3 套軟體 ContextCapture、Pix4D Mapper 以及 Agisoft Photoscan,透過實地測試(新北市鶯歌區南靖橋)進行建模比較,其中處理時間以 ContextCapture 最少,Agisoft Photoscan 次之,Pix4D Mapper 的處理時間最長,但是 ContextCapture 僅使用 105 張影像進行影像建模,是三套軟體中最少的,且 ContextCapture 所產出之模型,在橋側及橋面下方均呈現空洞,推估是軟體在進行初步影像篩選時,並未將側拍影像納入所導致。
- (三)就細膩度而言,Pix4D Mapper 能有效重建出橋面上的欄杆,但 Agisoft Photoscan 則無法呈現,而在橋面(同調區)部分,Agisoft Photoscan 能有效地將車輛等雜訊濾除,重建出乾淨的橋面區域,反觀 Pix4D Mapper 的橋面就存在許多雜訊,且在橋側與橋面下方之模型成果,Pix4D Mapper 也因為有雜訊影響的關係,而略遜於 Agisoft Photoscan。
- (四)綜上比較,本研究最後選定 Agisoft Photoscan 做為 3D 影像處理之軟體。
- (五)在環景攝影機拍攝部分,本研究選用 Ricoh Theta S 環景相機,其因為重量輕,機體細長容易掛載於 UAV 上,並搭配 RICOH THETA APP,可連結 Wi-Fi,且拍攝之影像縫合效果較好,無需額外使用軟體來進行編修合成,機體本身拍攝完影像即可立即自動處理影像縫合,再者,匯入 VR 顯

示器(Unity 軟體程式)中，其影像扭曲變形少。

(六)本研究產出之橋梁 3D 虛擬實境模型，於 VR 顯示器中，使用者可移動至欲檢測之目標物前，再切換為環景影像模式，即可以較佳的影像品質來檢視目標區域，並可改變視角觀看 360 度的影像，惟其影像不為連續資料，僅可改變視角，無法在環景影像內自由移動。

(七)本計畫中以橋梁作為目標物，從研究過程及經驗而言，同調性高(coherence，又稱相干性)或複雜度高的構件，均較不利 3D 影像建模，茲簡要說明如下：

- 1.UAV 在橋梁周圍及橋下結構物大多不易飛行。
- 2.橋梁鋪面具均質特性，於影項處理上屬高同調性，不易 3D 影像生成。
- 3.橋底板結構複雜且遮蔽物多，複雜度較高，影像處理上，亦不易 3D 影像生成。
- 4.至於橋梁周圍環境大多為樹木及河流，於影響處理上，則因具高複雜性，亦不易 3D 影像生成。

二、在長桿水下檢測方面

(一)本研究利用長桿(長 12 公尺)、GOPRO 攝影機及平板電腦，進行組裝水下檢測工具，其中長桿材質部分，考量長度、輕巧、方便性，選用玻璃纖維材質之伸縮桿。

(二)為了改善水下檢測的訊號傳輸異常狀況，本研究嘗試以無線網卡連接於平板電腦，利用共享程式 WIGO 軟體，操控及傳輸 GOPRO 即時影像，並將無線網卡天線延長至水下連接 GOPRO WIFI 訊號，經過現地實驗後，確實解決水下影像傳輸問題。

(三)考量水層的深度、厚度會影響光線的呈現，研究實驗得知，在不考慮濁度的影響下，當長桿入水深度超過 6 公尺以上，則須進行補光，否則影像清晰效果不佳，將影響判讀。

(三)為了清楚拍攝橋墩基礎的劣化狀況，以近距離拍攝。水下照相機或攝像機離被攝物體的拍攝距離越近，光在水中的傳輸過程受到水的散射作用就越小，拍攝的影像也就越清晰。在本研究多次實驗下，發現在兼顧拍攝面積與清晰度之情況下，距墩體 30 公分為最佳。

(五)因水中影響濁度之細微顆粒與雜質會沈澱，越深處濁度越高，即便流速高此情況亦同。因此在本研究多次實驗下，水中濁度(總溶解固體)於 50ppm 以下，尚可觀察橋梁水下結構物。

(六)本計畫除探討長桿入水深度、距橋墩距離、水之濁度以及補光強度等相關影響影像拍攝品質之條件外，並建立以此長桿檢測工具檢測水下結構物之作業程序。

6.2 建議

一、在 UAV 結合 VR 方面

依本計畫之研究評估，以目前軟硬體技術，進行自動化方式建立三維模型，其在品質上仍有一定極限。然而若加以人工編修，費時且模型不真實，故應用於實務上之橋梁檢測仍有一段差距。但在教育訓練上，未來若能以人工繪製的仿真模型，或以拍攝陸橋等可產生精度較佳 3D 模型之方式，搭配本計畫成果再輔以前進、後退、攀爬、垂降等體感設備，可建立一套「體感模擬橋梁檢測訓練系統」，相信橋梁檢測人員對於橋梁實際現場狀況、橋梁構件劣化、劣化檢測標準與橋梁檢測流程之認知上都將有相當程度之幫助。

二、在長桿水下檢測方面

後續可針對長桿性能提升及克服水下影響因子的限制為主要方向，提出以下幾點限制及建議：

- (一)目前伸縮長桿採用長 12 公尺、材質以玻璃纖維為主，但進行水下檢測考量延伸過長產生力臂過長，導致手持長桿穩定性不佳，應提出可固定長桿的輔助工具及另尋材質的選用。
- (二)本研究使用之桿長為 12 公尺，高度過高之橋梁無法於橋面上使用。
- (三)受限於橋梁檢測環境，人員於橋面上使用長桿設備，檢測範圍僅限於橋面兩側下方之水下構件，橋面中間下方之部份需利用橡皮艇方能拍攝。
- (四)水中混濁度及汙染程度過高時，拍攝成果模糊，無法提供檢測人員判讀，對於混濁度影響因子評定標準，採用 TDS (Total dissolved solids, 總溶解固體) 標準限於淡水測定，而對於沿海橋梁鹽分含量過高，導致測定結果不準確。後續可建議採用 NTU(nephelometric turbidity unit, 濁度)作為檢測依據。
- (五)本研究僅針對河川橋作為檢測對象，尚未納入沿海或港灣的橋梁，但因特性為水深且無法得知水下環境概況，後續可以使用 ROV (remotely operated vehicle, 遙控式水下載具) 或聲納作為應用。
- (六)本研究過程提出之對策與方法，未來可嘗試予以客製化，例如：
 - 1.長桿於不同深度呈現不同顏色，以利於觀測長桿入水深度。
 - 2.攝影機延長線埋入長桿內，以減少配線之混雜。
 - 3.建置開發橋梁水下檢測之 APP 應用程式。

參考文獻

1. 姚乃嘉、陳明正、蔡閔光，「橋梁檢測工具效能提升計畫(2/2)成果報告」，交通部運輸研究所，2015。
2. 王朝網路，橋梁檢測車。
http://tc.wangchao.net.cn/baike/detail_2880568.html. htm, accessed on May 20, 2016.
3. 日北 Zivill 公司。
<http://www.zivil.co.jp/service/003/>. htm, accessed on May 20, 2016.
4. 蔡欣局，「橋梁目視檢測作業及檢測規範說明」，國立中央大學橋梁中心，2010。
5. 楊基恩，「雙索懸吊式輕量橋梁檢測系統」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程學系，2012。
6. 訊聯光電有限公司。<http://www.linkfast.com.tw/>. htm, accessed on May 20, 2016.
7. 吳俊賢，「橋梁檢測之機械手臂研究」，碩士論文，國立中央大學機械工程學系，1999。
8. 無人飛行載具。
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%84%A1%E4%BA%BA%E8%88%AA%E7%A9%BA%E8%BC%89%E5%85%B7>. htm, accessed on May 20, 2016.
9. Hamel, N.M.a.T, "A UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits", Automation in Constrction, Vo.17, pp. 3-10, 2007.
10. Morgenthal, G., Hallermann, N, "Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle Based Visual Inspection Of Structure", Advances in Structural Engineering, 2014.
11. Morgenthal, G., Hallermann, N, "Unmanned Aerial Vehicle for the assessment of existing Structure", IABSE Symposium 2013, 2013.
12. CYBERHAWK, "Unmanned Aerial Vehicle spotted over Stirling Bridge". 2011.
13. 白絮成、劉益誠、蕭宇伸、連惠邦、林秉賢，「無人飛行載具掛載消費型攝影機應用於防災可行性研究」，Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 46 p. pp.142-149 , 2015.
14. 劉益誠，「無人載具應用於數值地型製作與 720 度影像之街景製作」，大地工程現地實務論壇(四) ，2015。
15. 施旻汶，「自動化無人飛行載具輔助擷取橋梁影像之研究」，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2015。
16. 張國禎，「精密地形資訊技術及災防工程應用」，大地工程現地實務技術論壇(四)，2015。
17. 田坤國，「應用 UAV 及 3D 雷射掃描儀於建築物 3D 建模之探討」，大地工程現地實務技術論壇(四)，2015。
18. 曾子峻，「多軸飛行器於橋梁檢測之應用研究」，碩士論文，國立高雄應用科

- 技大學土木工程與防災科技研究所，2011。
19. DIY 攝影測量：123D Catch 的開放原始碼替代方案。
<http://www.makezine.com.tw/make2599131456/diy123d-catch.htm>, accessed on May 20, 2016.
 20. VisualSFM 的使用方法。
<http://blog.csdn.net/u012989207/article/details/45032469.htm>, accessed on May 20, 2016.
 21. 蔡依庭，「UAV 航拍影像點雲產生 DSM 之研究」，碩士論文，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系，2012。
 22. 林農堯、鄭幸珍，3D 空間影像資料呈現技術簡介。
<http://content.teldap.tw/index/blog/?p=1666.htm>, accessed on May 20, 2016.
 23. Microsoft. Photo tourism Exploring photo collections in 3D.
<http://phototour.cs.washington.edu/>. htm, accessed on May 20, 2016.
 24. 3D, M. Digital Elevation Model (DEM).
<http://www.mosaic3d.com/en/products-service/dem/>. htm, accessed on May 20, 2016.
 25. iWitnessPRO-Agilis V3 has released!
<http://www.iwitnessphoto.com/support/AgilisV3.html>. accessed on December 22, 2013.
 26. Zhu. L, Bentley 收购 Acute3D，推动现实建模发展。
http://communities.bentley.com/communities/other_communities/chinafirst/b/blog/archive/2015/03/03/bentley-acute3d.htm, accessed on May 20, 2016.
 27. Acute 3D. <http://www.acute3d.com/>. htm, accessed on May 20, 2016.
 28. Lapierre. A, “3D City Geographic Information System –A Major Step Towards Sustainable Infrastructure”, A Bentley White Paper, August, 2015.
 29. Maher. K, “ ContextCapture : Bentley's new take on digital reality”, Graphic Speak, 2015.
 30. Turn photos into 3D models automatically with ContextCapture.
<http://www.acute3d.com/contextcapture/>. htm, accessed on May 20, 2016.
 31. 力弘科技股份有限公司。
<http://www.leadertek.com.tw/>. htm, accessed on May 20, 2016.
 32. (圖像 3D 建模) Agisoft PhotoScan Professional 1.1.4.
<http://www.ccnetmaster.com/photo-video/%EF%BC%88%E5%9C%96%E5%83%8F3d%E5%BB%BA%E6%A8%A1%EF%BC%89agisoft-photoscan-professional-114/>. htm, accessed on May 20, 2016.
 33. 群立科技公司。<http://www.geoforce.com.tw/#1=0>. htm, accessed on May 20, 2016.
 34. Pix4D 公司。<http://www.pix4d.com/>. htm, accessed on May 20, 2016.
 35. Pix4D 加 2D 空拍圖，混一混再除以二剛好就變成 3D 地圖了！
<http://chinese.engadget.com/2011/05/08/pix4d-turns-your-2d-aerial-photos-into-3d-maps-on-the-fly/>. htm, accessed on May 20, 2016.

附錄一 研究成果推廣會

為使橋梁檢測相關單位可以體驗以橋梁為主體之虛擬實境效果與水下檢測設備之研究斬獲，本計畫 12 月 1 日舉辦一場研究成果推廣會，參與人數共計 14 人，簽到表如後。此研究成果推廣會內容如表附一.1，於前半段首先講解本計畫如何以 UAV 搭配人工擷取橋梁影像，以及產生三維模型之理論與方法，接著再讓參與人員身歷其境感受。第二部份則講解水下檢測設備組成與水下拍攝影響因子，亦展示如何使用該裝置進行檢測。活動狀況如圖附一.1 至圖附一.8 所示。

表附一.1 研究推廣會議程表

時間	課程名稱
13：30~14：00	報到
14：00~15：00	UAV 結合 VR 技術操作說明 與 VR 體驗
15：00~15：10	中場休息
15：10~15：40	水下長桿橋梁檢測技術說明
15：40~16：00	意見交流
16：00	賦歸



圖附一-1 開場說明



圖附一-2 VR 建置理論與方法說明



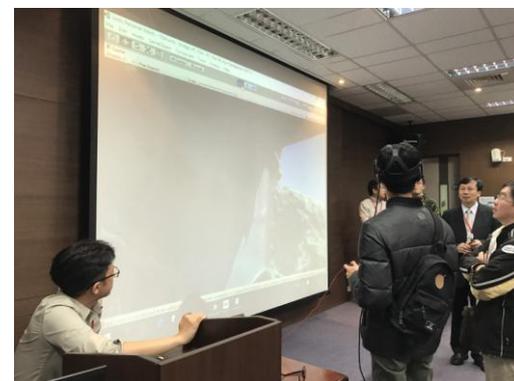
圖附一-3 展示影像擷取設備



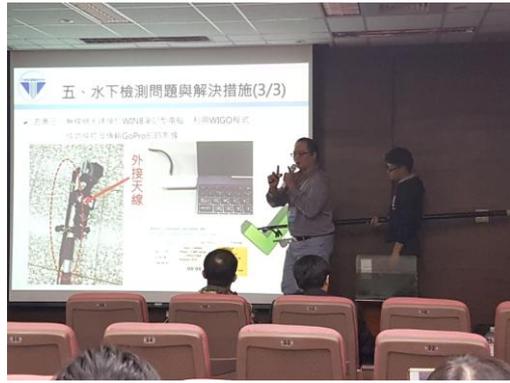
圖附一-4 意見交流



圖附一-5 VR 體驗(1)



圖附一-6 VR 體驗(2)



圖附一-7 水下檢測設備組成及拍攝影響因子說明



圖附一-8 展示水下檢測設備

研究成果推廣會簽到表

UAV 結合 VR 技術之先期研究暨水下橋檢工具初探之研究成果推廣會 簽到表

編號	姓名	服務單位	職稱	身份證字號	簽到	簽退
1	廖毅哲	交通部公路總局	工務員		廖毅哲	廖毅哲
2	邱毅	交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段	工務員		邱毅	邱毅
3	張弘志	交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段	站長		張弘志	張弘志
4	馮詩齊	交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段	工務員		馮詩齊	馮詩齊
5	黃俊天	交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段	工務員		黃俊天	黃俊天
6	余建平	交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段	工務員		余建平	余建平
7	柯旻成	交通部公路總局第四區養護工程處南澳工務段				
8	陳冠宇	交通部公路總局第五區養護工程處水上工務段	工務員		陳冠宇	陳冠宇
9	洪碩甫	高公局中工處南投工務段	工程師		洪碩甫	洪碩甫
10	胡佩文	臺北市政府工務局新建工程處	幫工程師		胡佩文	胡佩文
11	丘佳欣	臺北市政府工務局新建工程處	幫工程師		丘佳欣	丘佳欣
12	蔡伯中	萬鼎工程服務股份有限公司	資深工程師		蔡伯中	蔡伯中
13	吳炳昀	萬鼎工程服務股份有限公司	工程師		吳炳昀	吳炳昀
14	蔡一豪	台灣整合防災工程技術顧問有限公司	工程師		蔡一豪	蔡一豪
15	陳光宏	台灣整合防災工程技術顧問有限公司	經理		陳光宏	陳光宏

附錄二 期中審查意見回覆

國道高速公路局			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	本局近年來不斷嘗試使用新興工具進行設施維護管理，在 UAV 方面，由於該工具在橋梁下方時之 GPS 訊號較不穩定，故其在橋梁檢測方面之運用上，確實遭遇到較多困難。簡報所提之 3D 立體模型，係利用 S 型及 C 型飛行路線混搭生成？亦或是用各飛行路線分別生成？	利用 S 型及 C 型路線分別擷取影像後，混搭生成。	同意承辦單位之處理意見。
2	在水下檢測方面，水流湍急時，長桿之穩定性如何？此外，除了使用長桿外，採用重錘或其它方式檢測是否可行？	經測試，長桿拍攝之穩定性及位置準確度較易掌握。曾嘗試使用迷你潛水艇進行水下檢測，後因設備適用性而無法採用。	同意承辦單位之處理意見。

公路總局			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	透過高科技設備以提高橋梁檢測效率及減輕橋梁人員負擔，本局樂觀其成。運用 UAV 拍攝影像建立之橋梁 3D 模型及虛擬實境成果，該如何運用於實務檢測？另本次簡報時提及研究成果可運用於檢測人員培訓，相關運用方式為何	本計畫嘗試利用科技展示橋梁現地環境，期可利用三維模型進行檢測作業。本研究成果可應用在先期人員培訓，講師可利用 VR 環境指導學員於現地時應注意事項。	同意承辦單位之處理意見。
2	於水下使用長桿進行檢測時，雖然有機會判別出橋梁基礎裸露情形，然橋梁結構體表面常會被污泥或其他雜物覆蓋，故使用長桿進行水下檢測所拍攝之畫面，能否判別出橋體劣化情形及相關劣化態	以往檢測員於橋梁基礎多填寫「無法檢測」，若使用水下長桿檢測工具可成功探視水下結構物。此外，利用影像判定橋體劣化與劣化態樣需依賴影像清晰度，而本計畫目的即在解	同意承辦單位之處理意見。

樣？	決此問題。	
----	-------	--

臺鐵局			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	在 UAV 使用方面，受限於電桿及其可能衍生之感電問題，本局對於 UAV 飛行會有較多疑慮，因此相關飛行檢測較傾向於委託專業人士辦理。使用長桿進行水下檢測時，檢測人員係於橋面上、水面上或岸邊作業？	依現地狀況而定，若為高寬大橋梁，則需駕駛小艇於水面上施作。	同意承辦單位之處理意見。
2	參據簡報資料，目前市面上已有許多商業軟體可將 UAV 影像轉換為 3D 模型，對於 UAV 橋梁檢測而言，本案所提各商業軟體之適用性為何？建議適度補充。	感謝建議，本計畫將於期中報告增加各類軟體測試並列出優缺點。	同意承辦單位之處理意見。

王瑞麟委員			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	本案屬於前瞻性研究，計畫期程雖然頗為急迫，然相關研究方向尚符合計畫目標。 在水下長桿檢測方面，由於無線傳輸易受水面阻隔，故建議用有線方式傳輸影像及供電，此外，水下環境多變，為提升拍攝品質，適當之補光有其必要，建議納入後續研究參考。	謝謝委員建議，本計畫將於後進行實驗。	已於期末審查會中回應。
2	長桿之入水深度如何掌握？能否透過另行加裝水壓計或其他工具以量測深度資訊。此外，為了解劣化規模，建議可思考利用雷射光點當比例尺	謝謝委員建議，本計畫將於後進行實驗。	已於期末審查會中回應。

	並據以度量劣化規模之可行性。		
--	----------------	--	--

陳進發委員			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	在水下檢測方面，橋梁管理機關較關心的是影像清晰程度，本計畫倘能透過試辦過程律定出拍攝距離、流速、濁度及其它重要參數間之關聯性，相信會對後期研究有所幫助。	謝謝委員建議，本計畫將於後進行實驗。	已於期末審查會中回應。
2	在橋上使用長桿檢測水下狀況之作法雖然較為單純，但該作法只能觀測到單側橋基狀況，至於另 3 側則仍屬未明，若需再搭乘船艇圍繞觀測，則是否會對後續推廣應用造成限制？此外，倘若橋寬較寬如 60 公尺時，橋面下方之橋基構件如何觀測？另使用長桿進行水下檢測需要幾位作業人員？	現地狀況而定，若為高寬大橋梁，則需駕駛小艇於水面上施作。另外，利用長桿檢測需兩位作業人員。	同意承辦單位之處理意見。
3	前期之 UAV 研究係以橋下為主，本期重點雖係針對 3D 模型，然前期 UAV 拍攝之照片及影像是否足以判斷各構件損傷，定期檢測之 21 個檢測項目及颱風地震後之 6 個檢測項目，是否均能掌握？	UAV 無法拍攝支承墊與橋梁基礎，故其他項目皆可以 UAV 輔助檢測作業。	同意承辦單位之處理意見。
4	UAV 在橋梁生命週期扮演之角色為何？其融入橋梁生命週期之較佳時點為何？	UAV 可扮演的角色為監督或減少安全問題。於施工階段可全面檢討工安問題，於維護階段可代替檢測人員深入無法近距離拍攝之結構體。	同意承辦單位之處理意見。
5	民航局現正針對 UAV 之操作	目前草案僅限制不可於車	同意承辦單位之

	使用訂定法規，該法規通過後，由於操作人員需承擔操作責任，故會否對 UAV 之競爭優勢產生影響？是否會影響各交通單位對 UAV 之使用意願？建議適度評估說明。	輛正上方飛行，但本計畫發展之 UAV 於橋側及可拍攝影像。	處理意見。
--	--	-------------------------------	-------

曾志煌委員			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	本案屬先期研究，依據目前研究成果，短期間內 UAV 應無法取代人工檢測。 在 VR 互動劇本方面，建議先讓相關人員了解 VR 主要功能，才能進一步找出有效需求，並發展出較佳之互動劇本。另 VR 行動裝置之功能為何？能補足或解決哪些問題？請予說明。	謝謝委員建議，本計畫將於後進行需求蒐集。另行走裝置類似跑步機，體驗者可於上行走，該裝置將會自動計算行走距離以轉換模型場景。	已於期末審查會中回應。
2	水下長桿方面，由於水下環境較昏暗，故增加補光裝置，甚至逐段漸變光源非常重要。此外，光源之距離、角度及其他相關限制，亦應儘量律定成 SOP 供參。	謝謝委員建議，本計畫將於期末報告加入操作 SOP。	已於期末審查會中回應。
3	實務上，常會看到橋基欄位之檢測結果填寫無法判斷，但橋基是橋梁安全之關鍵，故此需發展水下檢測，才能確知橋梁安全。本案目前作法雖然像是土法煉鋼，但由於是個從無到有的階段，故仍應儘量嘗試各種可能作法。	謝謝委員建議，本計畫將於後進行實驗。	已於期末審查會中回應。
4	本期研究在 UAV 使用上發現之環境限制頗具參考價值，建議適度納入報告書供參。	謝謝委員建議，本計畫將於期末報告納入。	已於期末審查會中回應。
5	民航局現正針對 UAV 之操作	目前草案僅限制不可於車	同意承辦單位之

	使用訂定法規，該法規通過後，由於操作人員需承擔操作責任，故會否對 UAV 之競爭優勢產生影響？是否會影響各交通單位對 UAV 之使用意願？建議適度評估說明。	輛正上方飛行，但本計畫發展之 UAV 於橋側及可拍攝影像。	處理意見。
--	--	-------------------------------	-------

陳柏源委員			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	除了橋梁檢測外，VR 能否應用在其它設施領域？建議多加思考並於報告書中適度說明。	謝謝委員建議，VR 亦可用在施工階段之安全辨識，此部份會於期末報告時說明。	已於期末審查會中回應。
2	倘 UAV 及 VR 之成果無法成為立即檢測工具時，能否經過其他處理轉換成 3D 模型？甚至成為像是 BIM 的平台。另能否使用 UAV 搭載聲波感應設備量測出橋基之沖刷深度？	UAV 之拍攝成果已可透過軟體直接生成 3D 模型，但因飛行及環境限制影響模型清晰度，故本團隊考慮配合全景相機拍攝以改善三維模型。此外，UAV 為載具，可搭載許多資料擷取設備，若配合良好的飛行條件，未來有可能達成。	同意承辦單位之處理意見。
3	在水下檢測方面，除了使用長桿外，能否使用滑軌或其他工具輔助。此外，建議針對水下檢測增列文獻回顧，並搜尋國內外是否有其他在公路或水庫等方面之案例成果可供參考。	謝謝委員建議，本計畫將於期末報告納入。	已於期末審查會中回應。

姚辰安委員			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	在 UAV 之適用環境方面，本案研究成果之限制條件似乎較前期為多，原因為何？另本	前期研究於 UAV 飛行時已設定環境條件，而本期研究嘗試不限定環境條件	同意承辦單位之處理意見。

	案橋梁 3D 模型與前期研究之差別為何？增加了哪些內容？請予說明。	但遭遇非常多問題，本研究亦發現自動化飛行有相當多先天限制，故已租賃手動飛行 UAV 企以解決飛行問題。前期之三維模型較為粗糙，且不針對模糊處進行補強修正，本計畫企改善前者缺點並提升模型解晰度以建議 VR 環境。	
2	使用 UAV 進行橋梁檢測之目的係為了減輕人力負荷，故相關影像資料搜集及 3D 模型之建置方式，建議朝向自動化方式開發。	謝委員建議，本計畫將於納入考量。	已於期末審查會中回應。
3	在計畫進度管控方面，預計完成之工作項目及達成情形為何？建議適度呈現	目前進度受限於團隊整合與設備租用進口問題，而有些許落後，但於期末報告仍會完整呈現所有工作項目。	已於期末審查會中回應
4	在水下長桿檢測方面，持桿人員係於橋面上或船艇上作業？如係於橋面上作業，由於許多橋梁之橋下淨高已超過 12 公尺，故檢測桿所能檢測到之水下部份可能會十分有限，如係於船艇上作業，由於搭乘船艇趨近頗為費時，故是否會與提高效率之宗旨互相違悖，建議多加思考。	謝謝委員建議，本計畫將於後進行實驗，並撰寫操作 SOP。	已於期末審查會中回應。

附錄三 期末審查意見回覆

國道高速公路局			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	在水下檢測因素限制及範圍內，請研究團隊提出可水下檢測構件有哪些？此外，在實際應用方面，檢測項目能夠提供現地人員做為參考依據，評定是否可行？以上作為期末報告的補充，讓報告更完整。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 5.1.4 節。	已於定稿報告回應處理。
2	VR 影像劣化部分不清晰，本局於橋檢廠商履約做計價查驗是依據廠商空拍的清晰度，日後 UAV 結合 VR 技術可在影像部分技術加強，希望可以做為稽核廠商的依據。	VR 環境要實際用於橋梁檢測，亦或是稽核仍有難度。本研究組成 3D 模型雖加上環景影像，但因 UAV 飛行限制及影像截取設備解析度，只可識別大範圍劣化，細微裂縫待後續研究精進。	同意承辦單位之處理意見。
3	報告書內容宜再清楚明確，例如 3D 橋梁建模過程中，為何要使用環景影像進行補拍，原採 UAV 拍攝之困難處，亦要描述清楚，另長桿工具使用上之限制，亦請強化說明。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 3.6 節。	已於定稿報告回應處理。

臺灣鐵路管理局			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	針對水下檢測評估的結果，為何拍攝離橋墩距離以 30 公分最佳，一般思維上距離能越近越佳，建請敘明緣由，另目前研究成果確實可做為現地水下檢測之參考方法。	感謝委員意見，已將該結論修正為「在兼顧拍攝面積與清晰度之情況下，距墩體 30 公分為最佳」。	已於定稿報告回應處理。
2	冀望橋梁 3D 模型未來能如同 GOOGLE 實景地圖現場感，另目前二代橋檢系統上，已能自動生成 3D 橋梁雛型，且於電腦上還能旋轉觀	感謝委員意見，Google map 之街景畫面確實可呈現橋址環境。但虛擬實境以感官體驗為主，可讓使用者有身歷其境的感	同意承辦單位之處理意見。

	看，未來如何結合 VR，亦請團隊進一步思考。	受。	
--	------------------------	----	--

本所港研中心			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	在水下檢測過程中，應考量流速的因素，流速過強影響檢測人員手持長桿的穩定度時，檢測成果也會受影響，建議團隊提出解決方法，並納入報告表格。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 5.2 節。	已於定稿報告回應處理。
2	在期末報告中，對於水下檢測技術文獻探討說明，皆屬於工具及方法基本介紹及描述，應增加列舉技術的適用範圍及可適於水下檢測的成因。另建議比較水下檢測工具的優劣分析。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 2.6 節。	已於定稿報告回應處理。
3	UAV 結合 VR 其結果解析度用於橋梁檢測尚不足，就如同計畫摘要所言，是否建立一完整之橋梁 3D 虛擬實境加入聲音等，提供橋檢人員入門訓練。	感謝委員意見，本研究為初探計畫，且拍攝橋梁與建築物、山坡之實體照片不同，相較之下模型組合上還是有困難。此部份可待後續研究精進。	同意承辦單位之處理意見。
4	建立橋梁 3D 資料庫可在室內了解橋梁環境條件及橋梁特性等，有助於橋梁檢測前主要構件及威脅的判定、檢測後結果討論，掌握橋梁健全性。	感謝委員意見，3D 建模技術現階段仍無法建立橋梁 3D 資料庫，待技術演進後方可探討。	同意承辦單位之處理意見。

運計組(含書面意見)			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	有關 3D 影像透過人工編修之問題，請團隊就時間、人力、編修方式等面向，具體說明於報告內(量化更佳)。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 4.4 節。	已於定稿報告回應處理。

2	P2 研究範圍與對象僅說明 3D 橋梁模型與 VR 環境建置，未見水下橋檢工具開發，請補充明。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 1.3 節。	已於定稿報告回應處理。
3	2.2 橋梁檢測輔助工具部分，建議針對橋檢車、船艇、雙索系統、3 維雷射掃描及機械手臂，就主要功能、適合條件、單價等議題，進行列表比較，並補充於報告書。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 2.2.6 節。	已於定稿報告回應處理。
4	2.4 節所述各項軟體產品 (VisualSFM、Photosynth、iWitnessPRO-Agilis、Acute3D、Pix4D Mapper)，請就功能、限制、解析度及價格列表比較，並補充於報告書。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 2.4 節。	已於定稿報告回應處理。
5	報告書第 2.5 節針對虛擬實境技術敘述過於簡略，建請就發展過程、技術演進、產業趨勢、產品開發(含價格比較)、應用領域等議題，補充說明，俾利報告內容豐富且完整。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 2.5 節。	已於定稿報告回應處理。
6	2.6 水下檢測技術文獻探討乙節，請就潛水員檢測、ROV 與聲納探測等 3 種方式，進一步分析比較其人員資格、適用環境、所需費用、影像品質等議題。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 2.6 節。	已於定稿報告回應處理。

7	報告書第 3 章嘗試透過 UAV 不同飛行路徑所拍攝之影像，比較點雲模型及 3D 模型，建議列表呈現飛行路徑、拍攝構件及影像產出量，再進而探討各案例產出模型品質。	感謝委員意見，自動建模軟體係利用大量照片取得其點雲資料以建立 3D 模型。本研究無特定使用單一飛行路徑截取影像，故無法比較不同路徑產生之構件模型品質。但常用之飛行路線為直線式、O 型式、C 型式，並盡可能蒐集全橋畫面。	同意承辦單位之處理意見。
8	報告書第 2.5 節與 4.1 節內容似乎雷同，建請團隊評估是否必要。	感謝委員意見，為保持報告流暢度，仍維持原本章節配置。	同意承辦單位之處理意見。
9	4.4 橋梁三維模型於 VR 產出成果，建議相關圖像以彩色列印呈現，俾利凸顯研究成果。	感謝委員意見，已彩色輸出相關章節。	已於定稿報告回應處理。
10	表 5.1 水下長桿檢測工具組成清單，建議增列各項所需成本，以凸顯本計畫開發之工具其價值性。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿表 5.1。	已於定稿報告回應處理。
11	P70 有關濁度說明，內容敘述包含兩種辨別標準(NTU 與 TDS)，惟後續實驗操作均以 TDS 進行判別，爰有關 NTU 部分是否還有必要敘明，建請評估。	因測量 NTU 之儀器費用高昂，故本研究僅以 TDS 作為河水濁度之依據。	已於定稿報告回應處理。
12	有關團隊開發之水下檢測工具，是否有其環境限制條件，建議補充於報告中。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 5.1.4 節。	已於定稿報告回應處理。
13	5.3 進行水下現地試驗乙節，請依表 5.3 補充水下檢測影響因子評估表，以確實照 5.1.2 使用步驟之規定執行。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 5.1.2 節。	已於定稿報告回應處理。
14	依本研究工作項目要求，請研究團隊編撰水下檢測操作手冊，並補充於報告書之附錄。	感謝委員意見，已將水下檢測操作手冊補充於期末報告定稿。	已於定稿報告回應處理。
15	有關本所於期中審查所提之書面意見，經檢視本次期末報	感謝委員意見，本團隊深感歉意，已督促同仁全面	已於定稿報告回應處理。

	告初稿內容，團隊完全未進行修正或補充，請督促同仁詳實檢核，以確保報告品質。	檢視。	
16	研究成果建議分別針對「UAV 結合 VR 技術」與「長桿水下檢測」兩方面，提出後續精進建議，並排列優先順序，俾利後續研究參考；另針對組裝之水下檢測模組，請團隊評估申請專利可行性。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之第七章中。另，本團隊可協助申請「長桿水下檢測工具」專利之相關事宜。	已於定稿報告回應處理。
17	報告書印製，請採雙面列印，以節省紙張使用。	感謝委員意見，期末報告定稿將採雙面列印	已於定稿報告回應處理。
18	報告書章節架構部分，第七章修正為結論與建議，附件一二請改為附錄一二，另請增附期中期末簡報資料。	感謝委員意見，已修改對應處以及增附期中期末簡報資料。	已於定稿報告回應處理。
19	倘單純以陸橋做 VR 模型，3D 品質上是否優於一般跨河橋，請補充說明。	感謝委員意見，因拍攝之物件單純，自動建模品質較好。	已於定稿報告回應處理。
20	報告書格式請參考本所初版品規定(本組同仁會後提供)，至於摘要部分，亦請補充英文版。	感謝委員意見，期末報告定稿已採用本所初版品規定，亦補上英文摘要。	已於定稿報告回應處理。

行政院交通環境資源處姚科長辰安			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	在水下檢測過程中，清晰度是最著要的因素，長桿檢測解決檢測人員對於水下構件長期無法檢測的問題，未來應持續精進水下檢測工具，以提升水下檢測效益。	感謝委員意見，此部份可待後續研究精進。	同意承辦單位之處理意見。
2	對於水下檢測 SOP，在報告中並未提出實際水下檢測所耗費的時間多少，建請補充說明。	感謝委員意見，因每座橋梁橋址狀況與橋體狀況皆不相同，故無法準確估計實際耗費時間，但設備組立僅需 10 分鐘即可。	同意承辦單位之處理意見。

		本研究之拍攝水下檢測案例時，分別花費 1.5 小時及 1 小時(含組設備組立)。	
3	影像解析度一直是個問題，模型結合環景影像方式的呈現，還是會期待日後的進步，希望可以直看到影像，不用作影像與模型之切換，就可於模型上達到可幫助橋檢的程度。	感謝委員意見，建置高解析度模型將造成電腦計算負擔，耗費大量建置時間。利用本研究 UAV 搭載之 GoPro 相機之拍攝影像建模，需花費一至兩天；導入 VR 環境亦需半天作業時間，故建置時間至少需 3 天。其他部份可待後續研究精進。	同意承辦單位之處理意見。

交通部路政司陳技正柏源			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	目前遇到橋樑檢測，如水下檢測等其他方法，但對於沿海的橋樑，人員無法下做檢測等問題產生，後續研究部分可再做進一步提升工具效能，作為借鏡。	感謝委員意見，此部份可待後續研究精進。	同意承辦單位之處理意見。
2	光達掃描技術、環景影像、空拍，上述各種優缺點，建議列表並強化論述，另本研究不需局限於研究題目(利用 UAV 拍攝)來執行，應嘗試透過各種可能之拍攝方式，將 3D 建置成果以客觀的方式呈現。	感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 4.2.1 節。	已於定稿報告回應處理。
3	VR 目前技術還在發展，無法做到快速生成，實際上到現場檢測還是最直接方便的方式，倘二代系統(TBMS2)能跟 3D 模型結合，由積木進化至實景模型，確實可做為基本資料完整性的參考。	感謝委員意見，3D 建模技術現階段仍無法建立橋梁 3D 資料庫，待技術演進後方可探討。	同意承辦單位之處理意見。

台灣中油股份有限公司資產營運管理處曾處長志煌			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	目前水下檢測工具目成果，對於後續研究及第一線人員有一定幫助及基礎。	感謝委員意見。	同意承辦單位之處理意見。
2	實用上，水下長桿材質是否列入考量，太軟會影響拍攝的穩定度。	感謝委員意見，因硬材質長桿過重，本研究選定較輕之碳纖維與玻璃纖維製作長桿。後因碳纖維易導電，故最後採用玻璃纖維。	同意承辦單位之處理意見。
3	建議報告書將階段性與預期目標列出，俾利清楚比較，雖實際與預期目標會有所落差，但至少提供階段性研究成果，並瞭解後續精進方向，有助於日後研究。	感謝委員意見，已於第一章說明。	已於定稿報告回應處理。

財團法人中華顧問工程司王技師瑞麟			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	雖然目前研究對於水下檢測仍存有諸多限制，惟基本上確實可供部分橋梁進行檢測，於濁度不高、流速不快情況下，具有一定功效，值得肯定。	感謝委員意見。	同意承辦單位之處理意見。
2	長桿過長產生力臂過大，當人員進行橋下檢測，手持長桿穩定度明顯不足，後續研究是否提出輔助工具，提升拍攝穩定性。	感謝委員意見，此部份可待後續研究精進。	同意承辦單位之處理意見。
3	水下檢測的水中濁度及光學品質受一定限制，目前成果顯示兩者具有一定的影響力。	感謝委員意見。	同意承辦單位之處理意見。
4	UAV 結合 VR 技術之先期研究暨水下橋檢工具初探，不要受限於研究計畫名稱來做研	感謝委員意見，此部份可待後續研究精進。	同意承辦單位之處理意見。

<p>究，VR 模型可作為輔助人員訓練之效果，其重點在影像品質，可用更好的相機來做拍攝，不需侷限於 UAV 上，將影像品質提高體感裝置做結合，結合實際動作模擬。</p>		
--	--	--

交通部公路總局陳副總工程司進發			
編號	委員意見	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	<p>本研究案預期完成的項目，如 3D 影像生成結合 VR 檢測構想與目前橋梁目視檢測方式之差異、適宜性，似乎散見於報告，建議綜合評估整理於研究成果總結。</p>	<p>感謝委員意見，因目前模型精細度仍無法達到可直接進行橋梁檢測之水準，待技術演進後方可探討。</p>	<p>同意承辦單位之處理意見。</p>
2	<p>建議報告書先說明 UAV 於公路養護管理之限制，如橋梁支承墊、基礎先天限制無法拍攝。雲層厚、天氣差、橋面過寬，均會造成 GPS 無回應，而導致失控等限制條件。</p>	<p>感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 4.4 節。</p>	<p>已於定稿報告回應處理。</p>
3	<p>UAV 影像處理軟體是否需租用，對於橋梁背景環境，若拍攝到天空，會有空洞問題，無法建置成 3D，此時通常會用人工編修方式填補，惟此舉非常耗時，不符實際，因此上述種種限制，應於本報告明顯處交代其適用性，亦或列於後續研究課題。</p>	<p>感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 4.4 節。</p>	<p>已於定稿報告回應處理。</p>
4	<p>針對光達掃描、環景影像與 UAV 拍攝之方法，建議綜整評估，並於報告書補充說明，供後續研究引用。</p>	<p>感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 4.2.1 節。</p>	<p>已於定稿報告回應處理。</p>
5	<p>採用環景影像搭配 UAV，仍存有解析度問題，對於後端人員詳細確認橋梁構件劣化位置及狀態影響為何，建請說</p>	<p>感謝委員意見，已將說明補充於期末報告定稿之 4.4 節。</p>	<p>已於定稿報告回應處理。</p>

	明，另環景影像與 3D 橋梁模型差異為何，亦請補充於報告內。		
--	--------------------------------	--	--

編號	主席結論	團隊回覆	主辦單位 審查意見
1	本研究案期末報告審查通過，請研究團隊依各單位及委員的意見修正報告及製作審查意見回應表，並請於 105 年 12 月 27 日前提送修正後之期末報告，俾利依合約續辦相關作業。	感謝主席意見，本團隊將於期限內檢送期末報告定稿。	已於定稿報告回應處理。
2	有關水下工具試驗中，取樣位置(即水深)與流速是否影響濁度，且單次取樣是否足夠具有代表性，請於報告書補充說明。	感謝主席意見，已補充說明於 5.2 節。	已於定稿報告回應處理。
3	UAV 拍攝的橋梁照片如何與橋梁檢測規範做出對應，請團隊及早思考，以作為後續應用之參考依據。	感謝主席意見，遵照辦理。	同意承辦單位之處理意見。
4	本次水下檢測工具之開發，確實能供橋檢人員簡易操作之工具，請團隊後續與本所研議舉辦現地操作說明會，並廣邀各橋梁管理單位觀摩。	感謝主席意見，遵照辦理。	同意承辦單位之處理意見。
5	各單位及委員會後倘有相關意見，歡迎提出書面建議。	感謝主席意見。	同意承辦單位之處理意見。

附錄四 水下檢測工具操作手冊

UAV 結合 VR 技術之先期研究
暨水下橋檢工具初探

長桿水下檢測操作手冊

委託單位：交通部運輸研究所

執行單位：國立中央大學

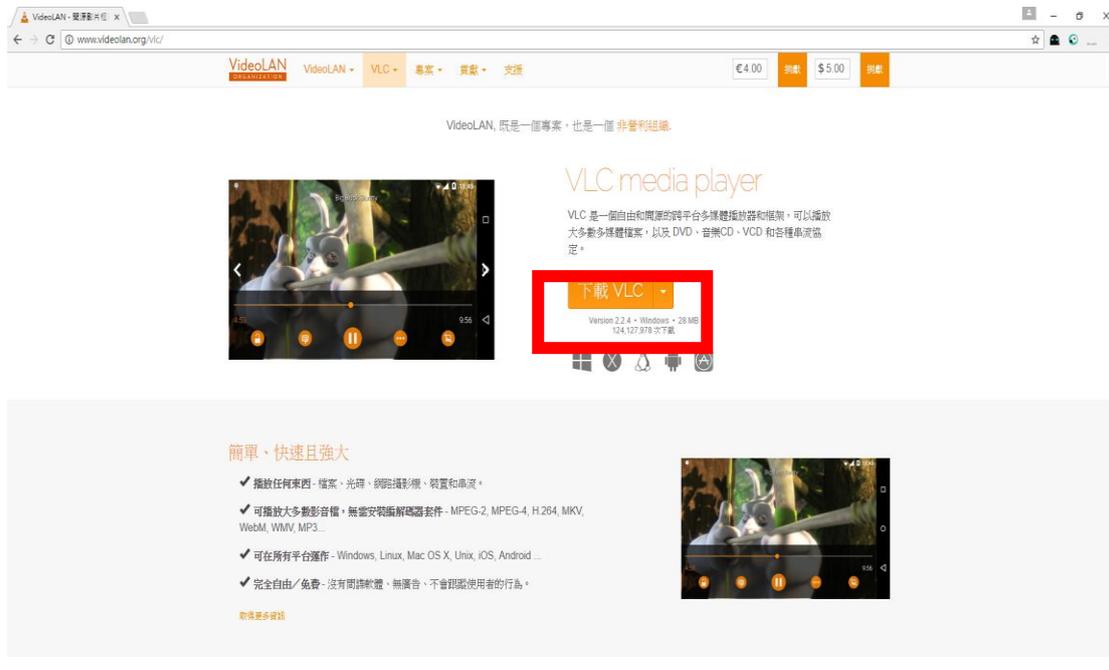
中華民國 105 年 12 月

一、VLC media player 軟體下載

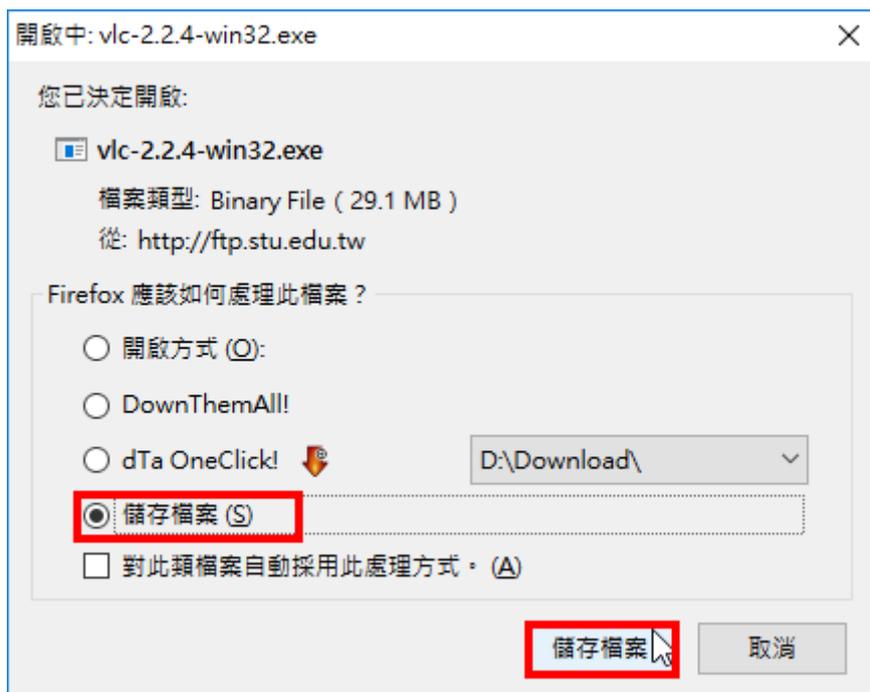
1. 連結到官方網站，點選「下載 VLC」。

32 位元： <http://get.videolan.org/vlc/2.2.4/win32/vlc-2.2.4-win32.exe>

64 位元： <http://download.videolan.org/pub/videolan/vlc/last/win64/>



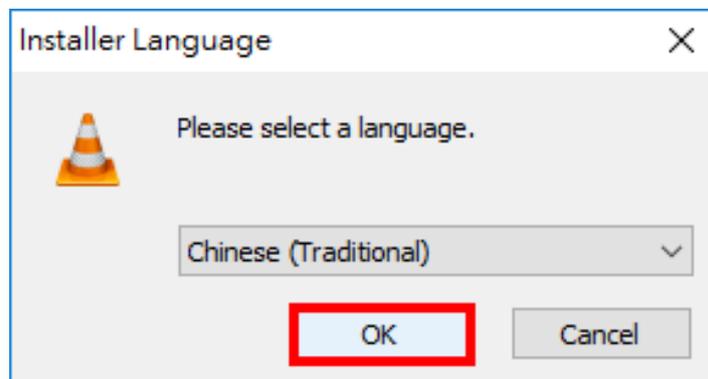
2. 選擇「儲存檔案」，點選「儲存」。



3. 開啟檔案總管，對著下載的檔案連續按兩下滑鼠左鍵，安裝 VLC Media Player。



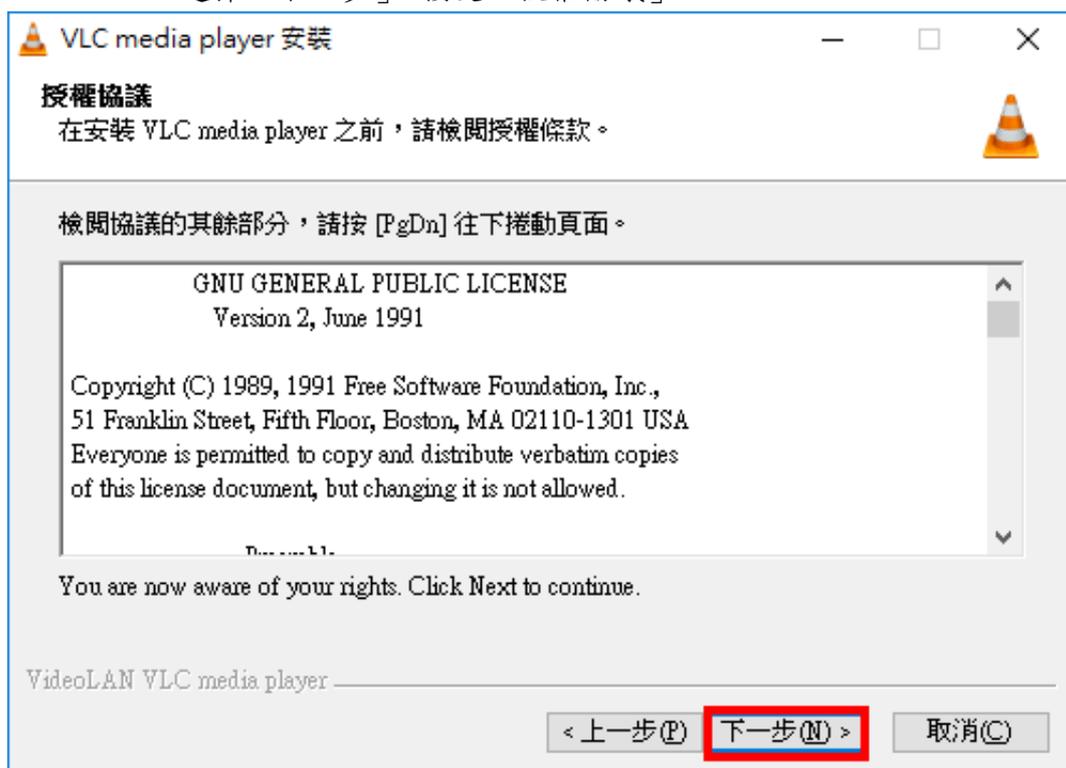
4. 使用預設的語言，點選「OK」。



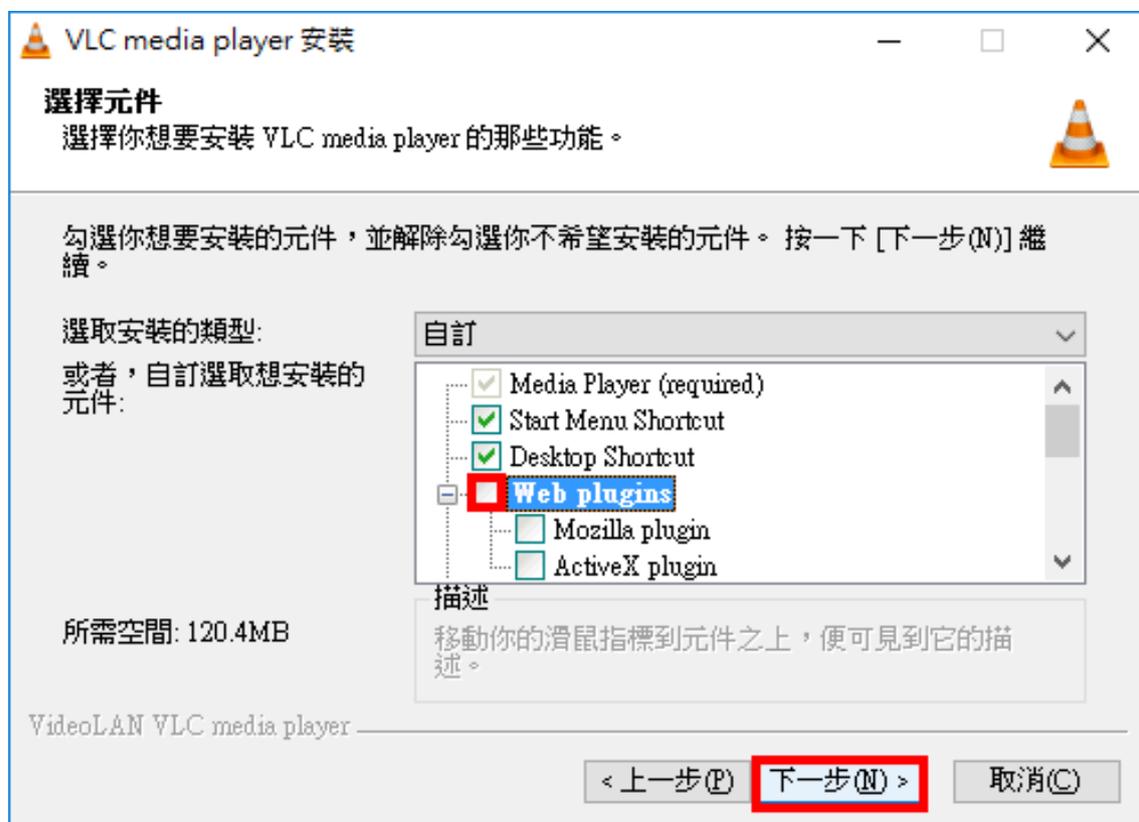
5. 點選「下一步」。



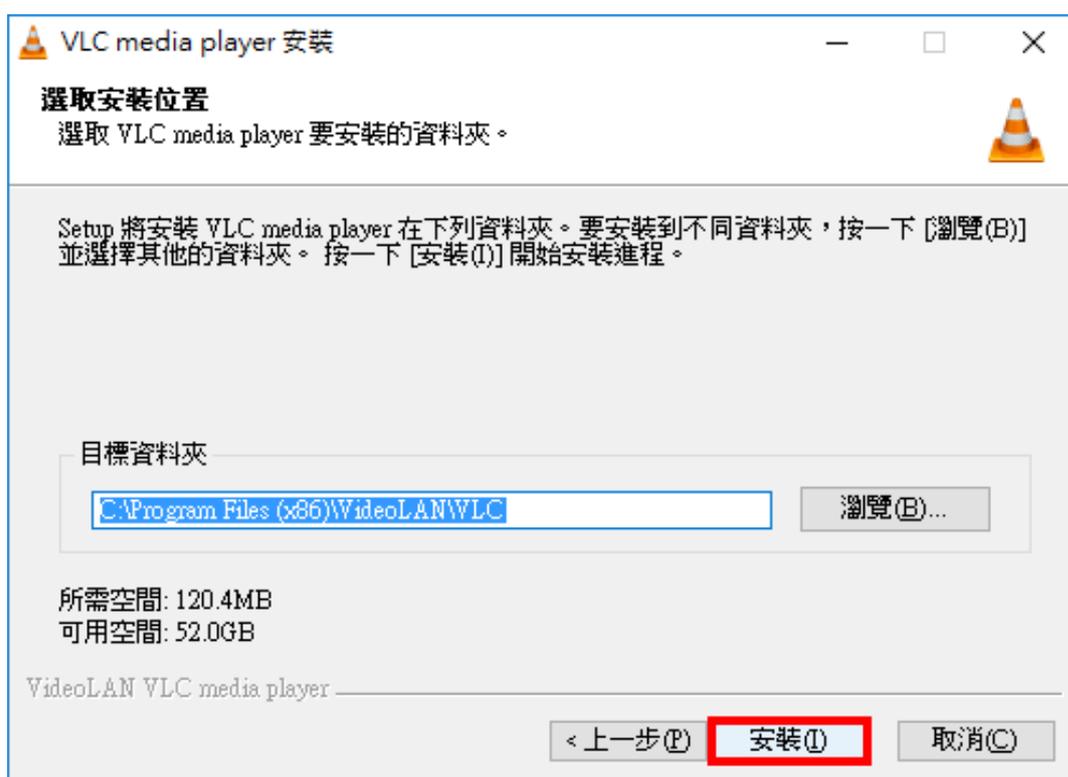
6. 選擇「下一步」，接受「授權協議」。



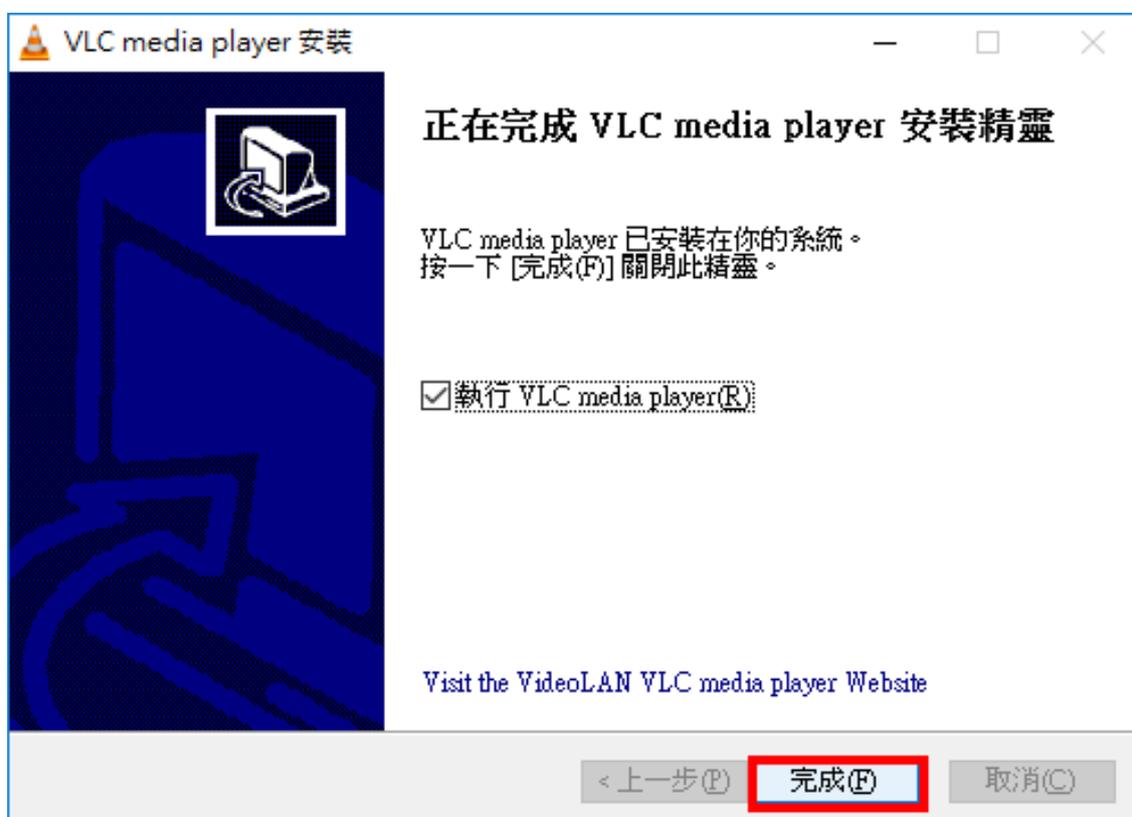
7. 使用預設的選項，點選「下一步」。



8. 使用預設的資料夾，點選「安裝」。



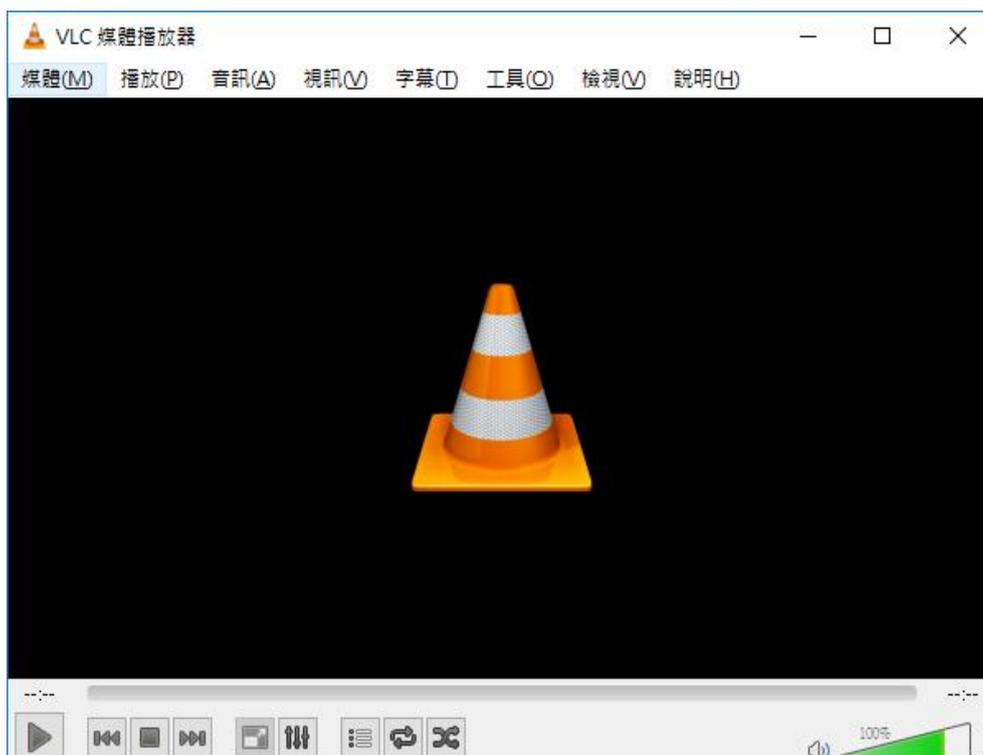
9. 安裝完成，點選「完成」，執行 VLC Media Player。



10. 出現「隱私和網路警告」的提示，使用預設的選項，點選「繼續」，如果你不想傳送媒體資訊給 VLC 官方網站，就取消勾選「Automatically retrieve media info」。



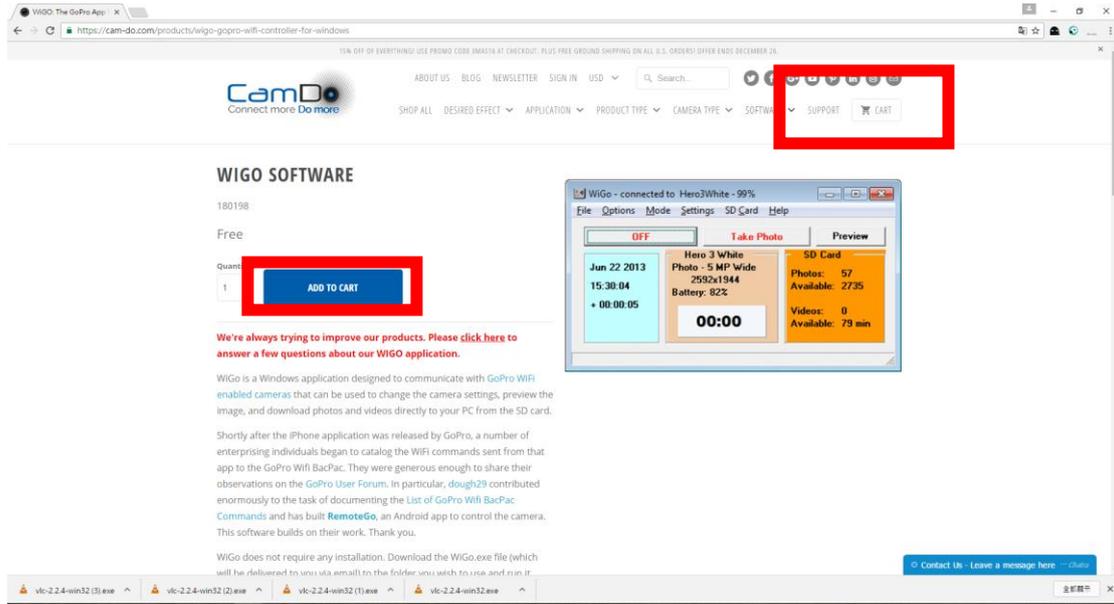
11. 開啟的 VLC Media Player，如下圖所示。



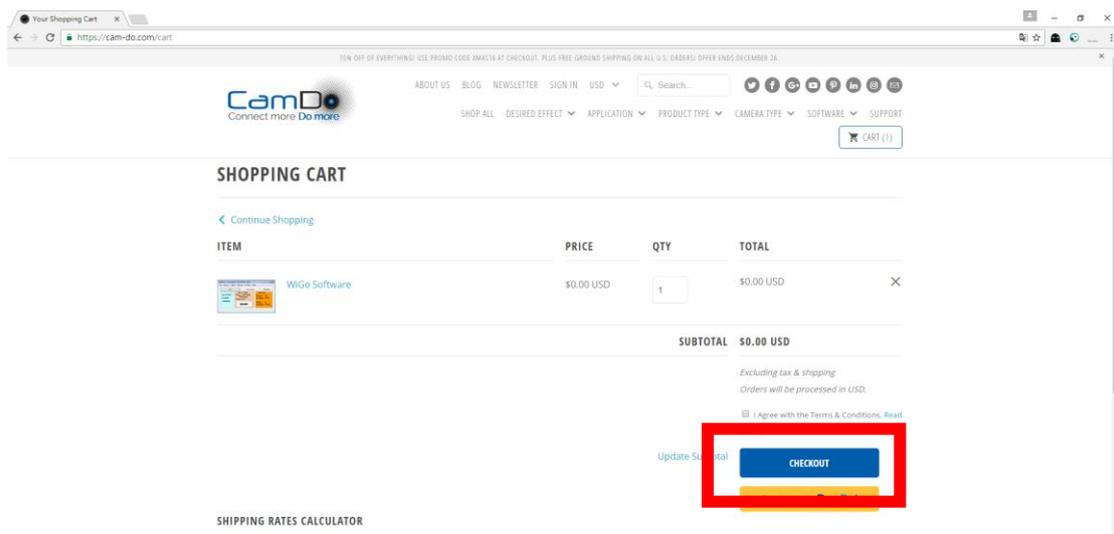
二、WiGO 軟體下載

1. 連結到官方網站

(<https://cam-do.com/products/wigo-gopro-wifi-controller-for-windows>)，點選「ADD TO CADT」，接續點選視窗右上的購物車並開啟。



2. 點選「CHECKOUT」，此軟體是免費下載請不用擔心。



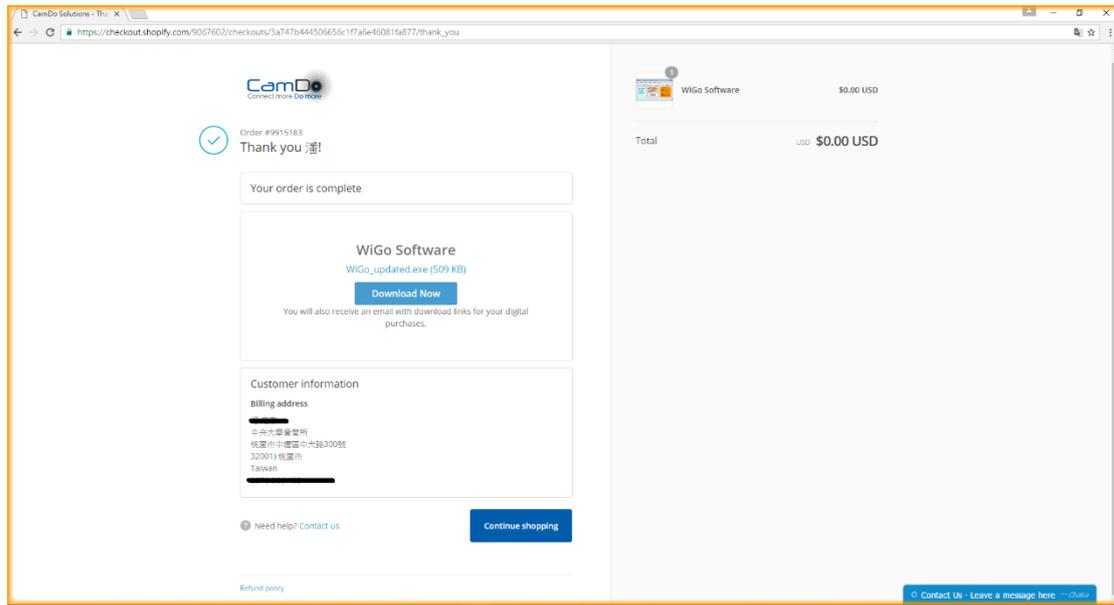
3. 填寫完基本資料，在點選「Continue to payment method」即可。

The screenshot shows the checkout page for CamDo. The left side contains the 'Customer information' and 'Billing address' sections. The 'Customer information' section has an email field. The 'Billing address' section includes fields for first and last name, company (with '中央大學醫學院' entered), address (with '桃園市平潭路中六路300號' entered), city (with '桃園市' selected), country (with 'Taiwan' selected), and postal code (with '33001' entered). There is a checkbox for 'Save this information for next time' which is checked. A blue 'Continue to payment method' button is at the bottom right. The right side shows a cart item 'WIGO Software' for '\$0.00 USD' and a 'Total' of 'USD \$0.00 USD'. There is a 'Discount' field and an 'Apply' button.

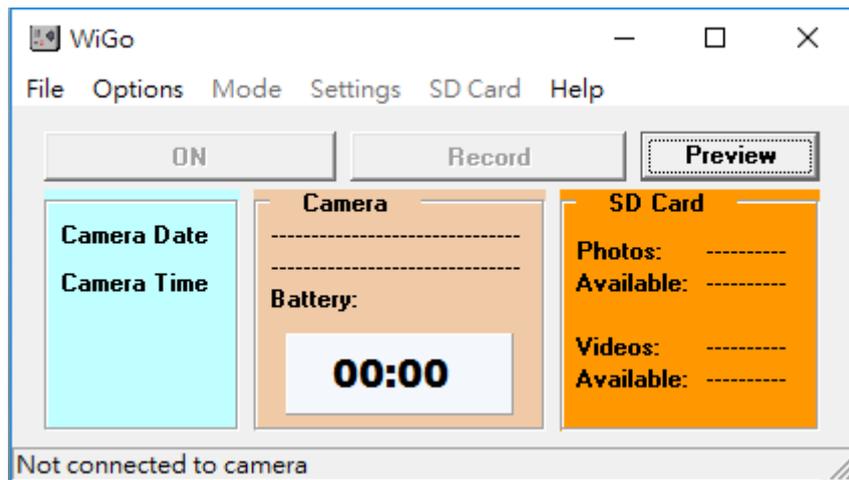
4. 點選「Complete order」即可。

The screenshot shows the checkout page for CamDo, now at the 'Payment method' step. The left side has a message 'Your order is free. No payment is required.' with a checkmark icon. Below this is a checkbox for 'Subscribe to our newsletter' which is checked. There is a link '< Return to customer information' and a blue 'Complete order' button. The right side shows the same cart item 'WIGO Software' for '\$0.00 USD' and a 'Total' of 'USD \$0.00 USD'. There is a 'Discount' field and an 'Apply' button.

5. 點選「Download Now」即可下載。

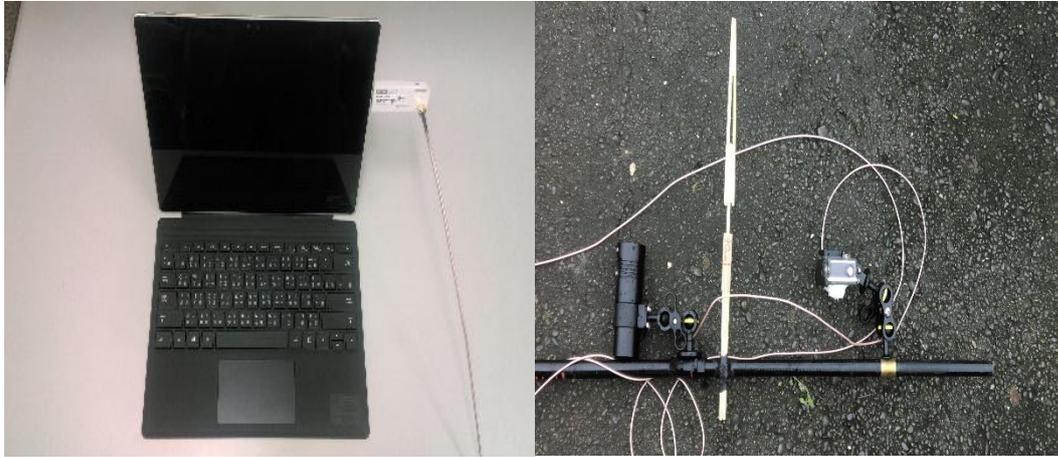


6. 點選檔案 開啟視窗即可使用。

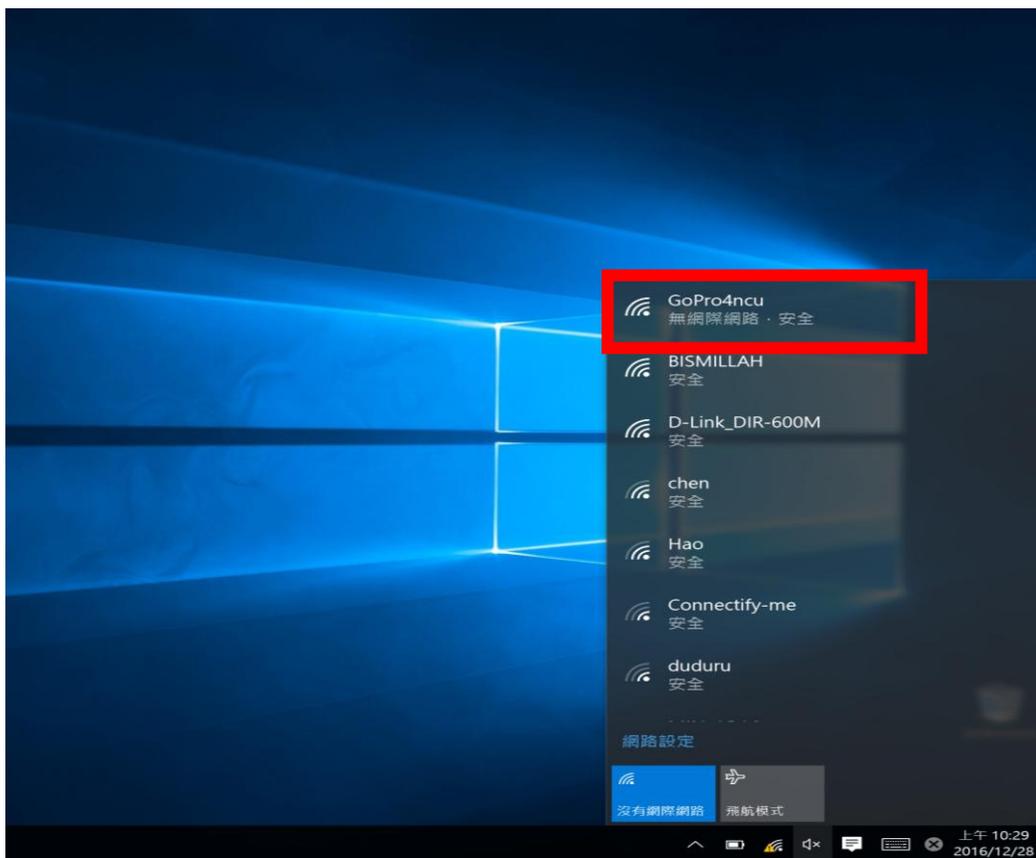


三、長桿組裝及軟體測試

1. 長桿相關配備組裝，如：補光燈、GoPro 照相機、天線埋設等。



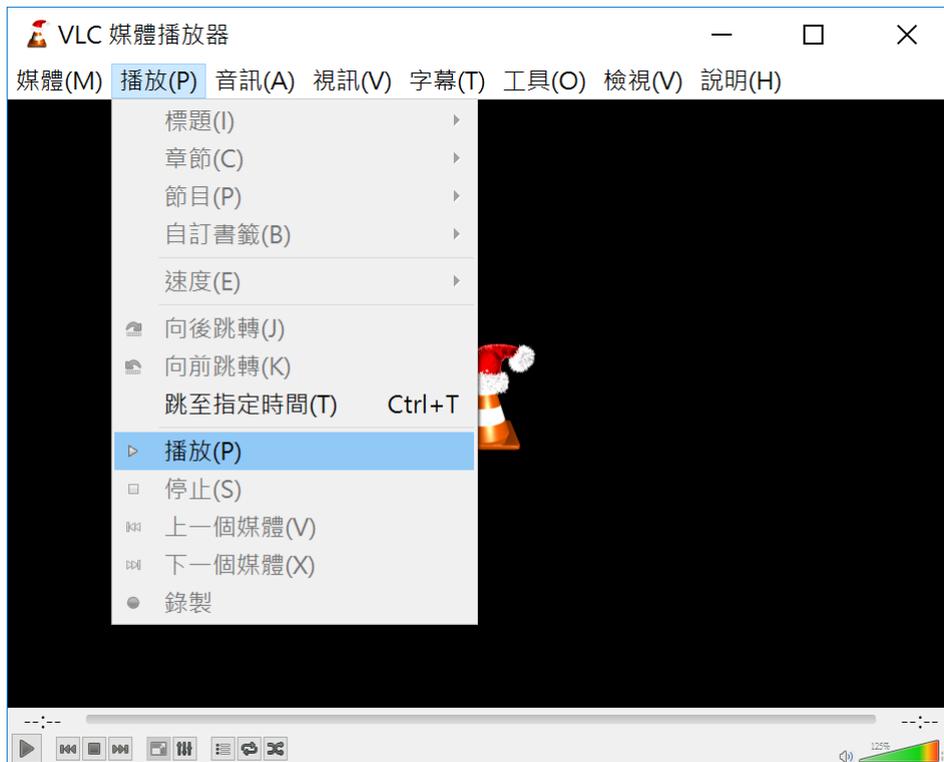
2. 設定完成電腦 WIFI 設定並連接 GOPRO 相機 WIFI 訊號即可。



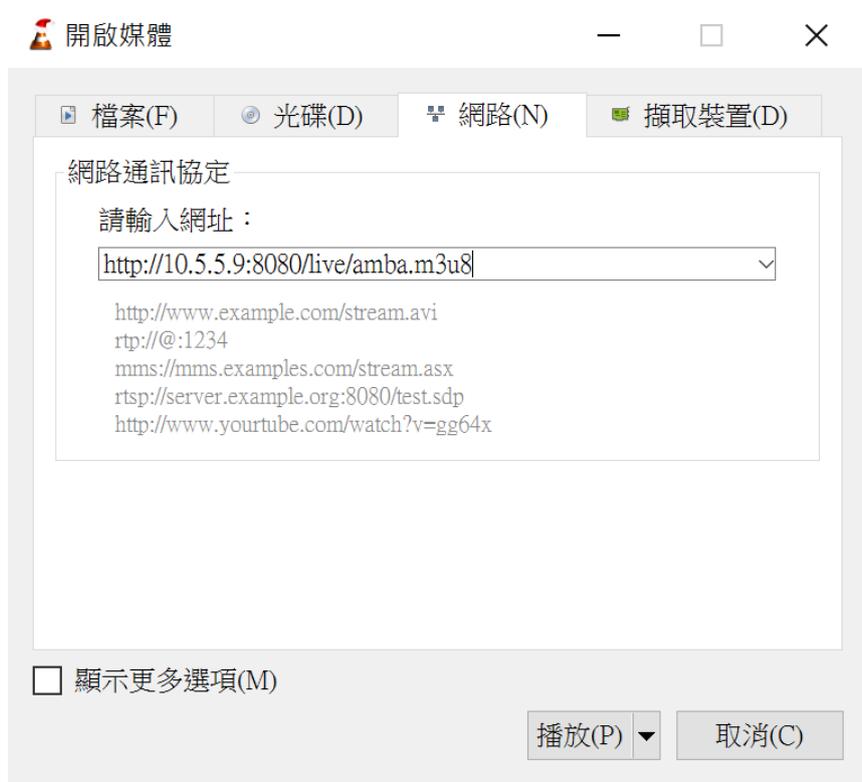
3. 開啟 VLC 媒體播放器。



4. 點選播放(P)。



5. 點選網路(N)→網路通訊設定→輸入網址
http://10.5.5.9:8080/live/amba.m3u8



6. 可以開始即時影像傳輸



7. 可以利用 WiGo 軟體控制 GoPro 照相機，進行錄製。



主要功能：

1. ON/OFF→攝影機開啟/關閉
2. Take Photo/record→功能有拍照/錄製
3. Preview→可選擇重新錄製

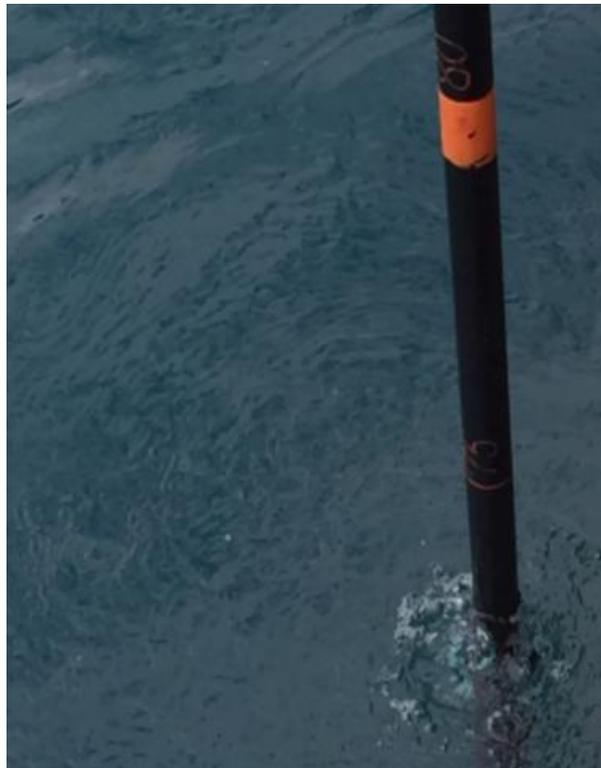
四、現地實測

1. 首先，依照本研究所建立水下檢測影響因子評估表(詳如附件一)，現地勘驗橋梁現況進行評估，填寫評估表判斷是否適合進行後續檢測事宜，如 4.1 表所示。

表 4.1 水下檢測影響因子彙整表

項次	項目	檢測範圍				說明及補充
		水深<6m		水深>6m		
1	水下深度	自然光可到達。		以失去大量自然光，需要額外補光。		依照混濁度、天氣狀況調整基準。
2	距離墩體	30cm (最佳)	40cm (可)	50cm (勉強)		
3	總溶解固體 (TDS)	0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	>200 ppm
		良好	尚可	低	欠佳	很差

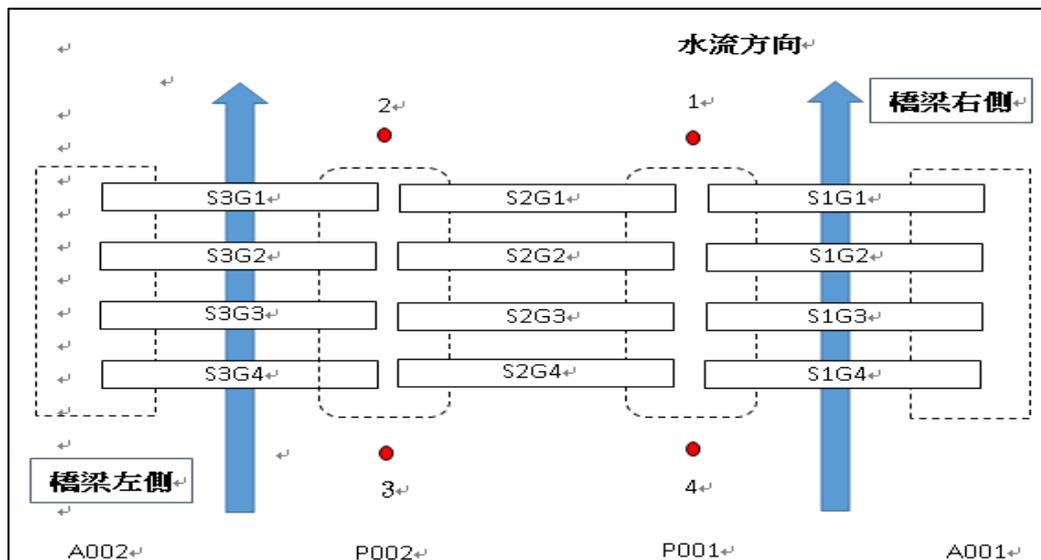
2. 先利用長桿所標示的尺寸記號進行量測水深度，以水深 6 公尺為基準，超過需要補光。



- 取橋梁下水質樣本，量測水中濁度(TDS)時否超過 100PPM，如有超過需調整離墩體的拍攝，以利於完成檢測依據。



- 長桿檢測工具組成須配備 GoPro 攝影機、長桿(十二公尺)及平板電腦等，架設 GOPRO 攝影機於長桿上，在一次確認連接螺栓是否緊實拴緊並依照上步驟調整補光設定及拍攝距離。
- 訊號線與 WiFi 無線天線是否有連接，並確認平板電腦 WiGO 軟體接受到 GOPRO 攝影機訊號，方可下水。
- 擬定利用長桿檢測工具，進行檢測之構件的拍攝順序，防止拍攝照片與構件檢測資料混淆的狀況，建議依照本研究所提之構件編碼系統原則，依據主要拍攝構件少至多、由左而右、由上而下之原則進行檢測，如桃園市仁德橋為例，橋樑型式可以分成 4 個檢測點，依序進行檢測。



7. 依照上步驟詳實填寫因子評估表，以利於後續量測結果做判定。

表 4.2 拍攝橋基資料表

檢測位置	水下深度	離墩體 基礎的距離	總溶解固體 (TDS)	補光設定
右樁-1	1.2m	30cm	238	1200 流明度
右樁-2	1.6m	30cm	238	1200 流明度
左樁-3	1.3m	30cm	238	1200 流明度
左樁-4	1.3m	30cm	238	1200 流明度

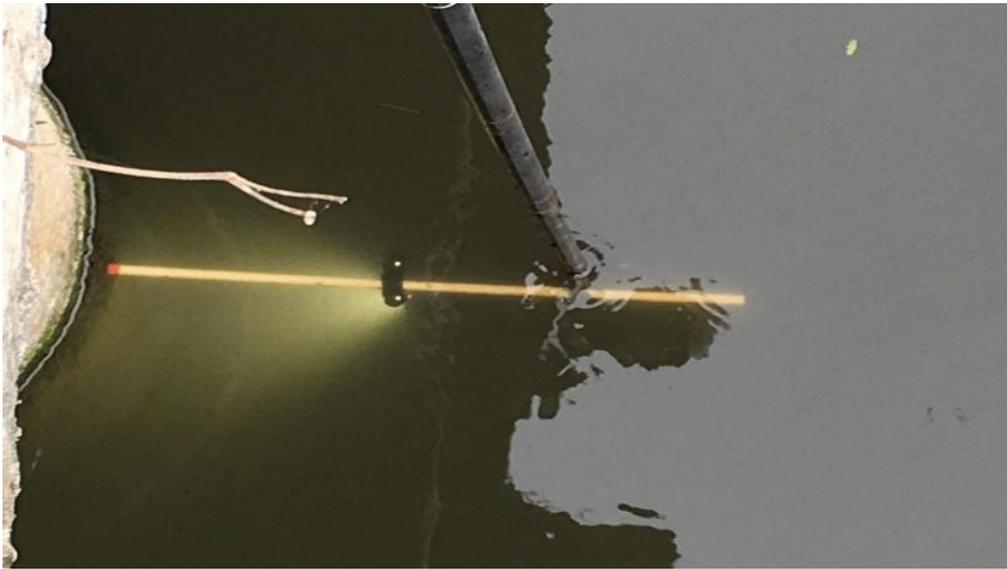


圖 4.2 鏡頭中心與墩體拍攝距離

8. 填寫橋梁構件檢測資料：將拍攝完成之構件檢測影像，傳輸至平板電腦進行構件劣化程度的判斷與填寫，進而完成檢測任務。

附錄五 研究成果投稿之論文摘要

Automatic Generation of 3D Models from UAV-captured Image Data for Immersive VR Applications

Nei-Hao Perng¹, Bo-Sheng Bai¹, Po-Han Chen^{1,*}, Jen-Yu Han¹, Ming-Yi Jiang²,
Jyun-Hao Huang², Cheng-Wei Su², and Po-Yuan Chen²

¹: National Taiwan University

²: Ministry of Transportation and Communications, Taiwan

*: Corresponding author

ABSTRACT

There are some twenty-nine thousand bridges in Taiwan, managed respectively by Taiwan Railways Administration, Taiwan Area National Freeway Bureau, Directorate General of Highways, and local governments. According to the current bridge maintenance guidelines in Taiwan, bridge inspection is mainly carried out through visual inspection, supplemented with equipment inspection. Bridge inspectors would usually approach the bridge structure for visual inspection. However, for high-rise or cross-river bridges, it would be hard to carry out visual inspection due to the difficulty in accessing the bridge structure.

In view of this, the Institute of Transportation under the Ministry of Transportation and Communications (MOTC) in Taiwan conducted a research project on "Enhancing the effectiveness of bridge inspection equipment" in 2014, and successfully carried out bridge inspection using a camera-mounted unmanned aerial vehicle (UAV). In this paper, the way to automatically convert UAV-captured image data to 3D models as well as the subsequent immersive virtual reality (VR) applications will be presented. It is expected that the proposed development would help identify the defects on the inspected bridge, and assist with the training of junior bridge inspectors.

附錄六 期末審查簡報檔

UAV結合VR技術之先期研究暨 水下橋檢工具初探



國立中央大學

計畫主持人：姚乃嘉教授

協同主持人：陳柏翰教授、廖先格博士

民國105年12月19日



簡報大綱

- 一、計畫摘要
- 二、期中審查意見回覆
- 三、建置虛擬實境之橋梁三維模型
- 四、水下長桿檢測工具
- 五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例
- 六、結論與後續建議
- 七、虛擬實境與水下長桿檢測工具展示



一、計畫摘要

- 藉由無人機搭載多鏡頭或環景鏡頭方式自動擷取橋梁構件之影像供檢測之用。
- 三維影像結合虛擬實境(Virtual Reality, VR)功能，助於後端人員詳細確認橋梁構件劣化之位置及狀態，亦可做為橋梁檢測人員於入門訓練之模擬操作。
- 針對水面下橋基表面情形或沖刷深度等現象，於深水處或水質混濁情形下，水下結構物難以接近且危險性極高，本計畫探討以長距離攝影支架或延長桿等工具，檢測水下結構物之可行性。
- 提升橋梁目視檢測效益與後端應用價值，以「智慧檢測+身歷其境」之理念，持續提升橋梁檢測作業之品質及效率。

3



二、期中審查意見回覆

4



二、期中審查意見回覆(1/15)

高公局

編號	委員提問	團隊答覆
1	本局近年來不斷嘗試使用新興工具進行設施維護管理，在UAV方面，由於該工具在橋梁下方時之GPS訊號較不穩定，故其在橋梁檢測方面之運用上，確實遭遇到較多困難。	謝謝委員意見
2	簡報所提之3D立體模型，係利用S型及C型飛行路線混搭生成？亦或是用各飛行路線分別生成？	利用S型及C型路線(GPS訊號微弱時改採控飛行)分別擷取影像後，混搭生成。
3	在水下檢測方面，水流湍急時，長桿之穩定性如何？此外，除了使用長桿外，採用重錘或其它方式檢測是否可行？	經測試，長桿拍攝之穩定性及位置準確度較易掌握。曾嘗試使用迷你潛水艇進行水下檢測，後因設備適用性而無法採用。

5



二、期中審查意見回覆(2/15)

公路總局

編號	委員提問	團隊答覆
1	透過高科技設備以提高橋梁檢測效率及減輕橋梁人員負擔，本局樂觀其成。	謝謝委員意見
2	運用UAV拍攝影像建立之橋梁3D模型及虛擬實境成果，該如何運用於實務檢測？另本次簡報時提及研究成果可運用於檢測人員培訓，相關運用方式為何？	本計畫嘗試利用科技展示橋梁現地環境，期可利用三維模型進行檢測作業。本研究成果可應用在先期人員培訓，講師可利用VR環境指導學員於現地時應注意事項。
3	於水下使用長桿進行檢測時，雖然有機會判別出橋梁基礎裸露情形，然橋梁結構體表面常會被污泥或其他雜物覆蓋，故使用長桿進行水下檢測所拍攝之畫面，能否判別出橋體劣化情形及相關劣化態樣？	以往檢測員於橋梁基礎多填寫「無法檢測」，若使用水下長桿檢測工具可成功探視水下結構物。此外，利用影像判定橋體劣化與劣化態樣需依賴影像清晰度，而本計畫目的即在解決此問題。

6



二、期中審查意見回覆(3/15)

臺鐵局

編號	委員提問	團隊答覆
1	在UAV使用方面，受限於電桿及其可能衍生之感電問題，本局對於UAV飛行會有較多疑慮，因此相關飛行檢測較傾向於委託專業人士辦理。	謝謝委員意見
2	使用長桿進行水下檢測時，檢測人員係於橋面上、水面上或岸邊作業？	依現地狀況而定，若為高寬大橋梁，則需駕駛小艇於水面上施作。
3	參據簡報資料，目前市面上已有許多商業軟體可將UAV影像轉換為3D模型，對於UAV橋梁檢測而言，本案所提各商業軟體之適用性為何？建議適度補充。	感謝委員建議，本計畫將於期中報告增加各類軟體測試並列出優缺點。

7



二、期中審查意見回覆(4/15)

王瑞麟委員

編號	委員提問	團隊答覆
1	本案屬於前瞻性研究，計畫期程雖然頗為急迫，然相關研究方向尚符合計畫目標。	感謝委員意見
2	在水下長桿檢測方面，由於無線傳輸易受水面阻隔，故建議用有線方式傳輸影像及供電，此外，水下環境多變，為提升拍攝品質，適當之補光有其必要，建議納入後續研究參考。	感謝委員建議，本計畫將於後進行實驗。
3	長桿之入水深度如何掌握？能否透過另行加裝水壓計或其他工具以量測深度資訊。此外，為了解劣化規模，建議可思考利用雷射光點當比例尺並據以度量劣化規模之可行性。	感謝委員建議，本計畫將於後進行實驗。

8



二、期中審查意見回覆(5/15)

陳進發委員

編號	委員提問	團隊答覆
1	在水下檢測方面，橋梁管理機關較關心的是影像清晰程度，本計畫尚能透過試辦過程律定出拍攝距離、流速、濁度及其它重要參數間之關聯性，相信會對後期研究有所幫助。	感謝委員意見
2	在橋上使用長桿檢測水下狀況之作法雖然較為單純，但該作法只能觀測到單側橋基狀況，至於另3側則仍屬未明，倘仍需再搭乘船艇圍繞觀測，則是否會對後續推廣應用造成限制？此外，倘橋寬較很寬如60公尺時，橋面下方之橋基構件如何觀測？另使用長桿進行水下檢測需要幾位作業人員？	依現地狀況而定，若為高寬大橋梁，則需駕駛小艇於水面上施作。另外，利用長桿檢測需兩位作業人員。
3	前期之UAV研究係以橋下為主，本期重點雖係針對3D模型，然前期UAV拍攝之照片及影像是否足以判斷各構件損傷，定期檢測之21個檢測項目及颱風地震後之6個檢測項目，是否均能掌握？	UAV無法拍攝支承墊與橋梁基礎，故其他項目皆可以UAV輔助檢測作業。



二、期中審查意見回覆(6/15)

陳進發委員(續)

編號	委員提問	團隊答覆
4	UAV在橋梁生命週期扮演之角色為何？其融入橋梁生命週期之較佳時點為何？	UAV可扮演的角色為監督或減少安全問題。於施工階段可全面檢討工安問題，於維護階段可代替檢測人員深入無法近距離拍攝之結構體。
5	民航局現正針對UAV之操作使用訂定法規，該法規通過後，由於操作人員需承擔操作責任，故會否對UAV之競爭優勢產生影響？是否會影響各交通單位對UAV之使用意願？建議適度評估說明。	目前草案僅限制不可於車輛正上方飛行，但本計畫發展之UAV於橋側及可拍攝影像。



二、期中審查意見回覆(7/15)

曾志煌委員

編號	委員提問	團隊答覆
1	本案屬先期研究，依據目前研究成果，短期間內UAV應無法取代人工檢測。	感謝委員意見
2	在VR互動劇本方面，建議先讓相關人員了解VR主要功能，才能進一步找出有效需求，並發展出較佳之戶動劇本。另VR行動裝置之功能為何？能補足或解決哪些問題？請予說明。	感謝委員建議，本計畫將於後進行需求蒐集。另行走裝置類似跑步機體驗者可於上行走，該裝置將會自動計算行走距離以轉換模型場景。
3	水下長桿方面，由於水下環境較昏暗，故增加補光裝置，甚至逐段漸變光源非常重要。此外，光源之距離、角度及其他相關限制，亦應儘量律定成SOP供參。	謝謝委員建議，本計畫將於期末報告加入操作SOP。

11



二、期中審查意見回覆(8/15)

曾志煌委員(續)

編號	委員提問	團隊答覆
4	實務上，常會看到橋基欄位之檢測結果填寫無法判斷，但橋基是橋梁安全之關鍵，故此需發展水下檢測，才能確知橋梁安全。本案目前作法雖然像是土法煉鋼，但由於是個從無到有的階段，故仍應儘量嘗試各種可能作法。	謝謝委員建議，本計畫將於後進行實驗。
5	本期研究在UAV使用上發現之環境限制頗具參考價值，建議適度納入報告書供參。	謝謝委員建議，本計畫將於期末報告納入

12



二、期中審查意見回覆(9/15)

陳柏源委員

編號	委員提問	團隊答覆
1	除了橋梁檢測外，VR能否應用在其它設施領域？建議多加思考並於報告書中適度說明。	感謝委員意見，VR亦可用在施工階段之安全辨識，此部份會於期末報告時說明。
2	倘UAV及VR之成果無法成為立即檢測工具時，能否經過其他處理轉換成3D模型？甚至成為像是BIM的平台。另能否使用UAV搭載聲波感應設備量測出橋基之沖刷深度？	UAV之拍攝成果已可透過軟體直接生成3D模型，但因飛行及環境限制影響模型清晰度，故本團隊考慮配合全景相機拍攝以改善三維模型。此外，UAV為載具，可搭載許多資料擷取設備，若配合良好的飛行條件，未來有可能達成。
3	在水下檢測方面，除了使用長桿外，能否使用滑軌或其他工具輔助。此外，建議針對水下檢測增列文獻回顧，並搜尋國內外是否有其他在公路或水庫等方面之案例成果可供參考。	謝謝委員建議，本計畫將於期末報告納入。

13



二、期中審查意見回覆(10/15)

姚辰安委員

編號	委員提問	團隊答覆
1	在UAV之適用環境方面，本案研究成果之限制條件似乎較前期為多，原因為何？另本案橋梁3D模型與前期研究之差別為何？增加了哪些內容？請予說明。	前期研究於UAV飛行時已設定環境條件，而本期研究嘗試不限定環境條件但遭遇非常多問題，本研究亦發現自動化飛行有相當多先天限制，故已租賃手動飛行UAV企以解決飛行問題。前期之三維模型較為粗糙，且不針對模糊處進行補強修正，本計畫企改善前者缺點並提升模型解晰度以建議VR環境。
2	使用UAV進行橋梁檢測之目的係為了減輕人力負荷，故相關影像資料搜集及3D模型之建置方式，建議朝向自動化方式開發。	謝謝委員建議，本計畫將於納入考量。

14



二、期中審查意見回覆(11/15)

姚辰安委員(續)

編號	委員提問	團隊答覆
3	在計畫進度管控方面，預計完成之工作項目及達成情形為何？建議適度呈現。	目前進度受限於團隊整合與設備租用進口問題，而有些許落後，但於期末報告仍會完整呈現所有工作項目。
4	水下長桿檢測方面，持桿人員係於橋面上或船艇上作業？如係於橋面上作業，由於許多橋梁之橋下淨高已超過12公尺，故檢測桿所能檢測到之水下部份可能會十分有限，如係於船艇上作業，由於搭乘船艇趨近頗為費時，故是否會與提高效率之宗旨互相違悖，建議多加思考。	謝謝委員建議，本計畫將於後進行實驗，並撰寫操作SOP。

15



二、期中審查意見回覆(12/15)

運研所運計組書面意見

編號	委員提問	團隊答覆
1	前期計畫透過飛行拍攝所生成之3D橋梁影像，其品質不甚良好，經團隊回應，係因雜訊干擾存在，以至於必須透過人工修正雜訊，此方式耗時耗人力，顯不實際，本計畫暨屬先期研究，有關受限於當前科技技術之問題，建議得於報告中說明，俾利瞭解研究需突破之困境。	感謝委員意見，本團隊將於期末報告納入。
2	考量UAV於橋梁檢測有其環境限制，如風速大於四級、橋面寬超過50公尺等，均無法執行，有關團隊開發之水下檢測工具，是否有其環境限制條件，建議補充於報告中。	感謝委員意見，本團隊將於期末報告納入。



二、期中審查意見回覆(13/15)

運研所運計組書面意見(續)

編號	委員提問	團隊答覆
3	建議團隊先建立一套完整3D橋梁環境場域，並透過UAV拍攝、手持環景鏡頭等任何方式相互支援，以呈現較具臨場感之3D橋梁模型。	感謝委員意見本計畫將於後進行實驗。
4	有關3D影像透過人工編修之問題(簡報14、15頁)，建議團隊就時間、人力、編修方式等面向，具體說明於報告內(量化更佳)。	感謝委員意見，因人工編修耗時，故本團隊以全景畫面取代人工編修，更可提升影像清晰度。

17



二、期中審查意見回覆(14/15)

運研所運計組書面意見(續)

編號	委員提問	團隊答覆
5	報告書第2.5節針對虛擬實境技術過於簡略，建請就發展過程、技術演進、產業趨勢、產品開發(含價格比較)、應用領域等議題，補充說明，俾利報告內容豐富且完整。	感謝委員意見，本團隊將評估後考量納入期末報告。
6	報告書第三章嘗試透過UAV不同飛行路徑所拍攝之影像，比較點雲模型及3D模型，建議以列表方式就飛行路徑、拍攝構件及影像產出量，再進而探討各案例產出模型品質。	感謝委員意見，本團隊將評估後考量納入期末報告。

18



二、期中審查意見回覆(15/15)

運研所運計組書面意見(續)

編號	委員提問	團隊答覆
7	建議後續針對點雲模型及3D模型呈現橋梁成果及優化之比較敘述，分別表列其優缺點，俾利越讀。	感謝委員意見，本團隊將評估後考量納入期末報告。
8	建議就完成之3D橋梁模型，以第1人稱角度完成一部簡短影片(3分鐘以內)，俾利研究後續推廣。	感謝委員意見，本團隊將嘗試拍攝。
9	報告書文字勘誤：P21頁段落文字「視頻」為簡體字，建請修正。	謝謝委員建議，已進行修正。

19



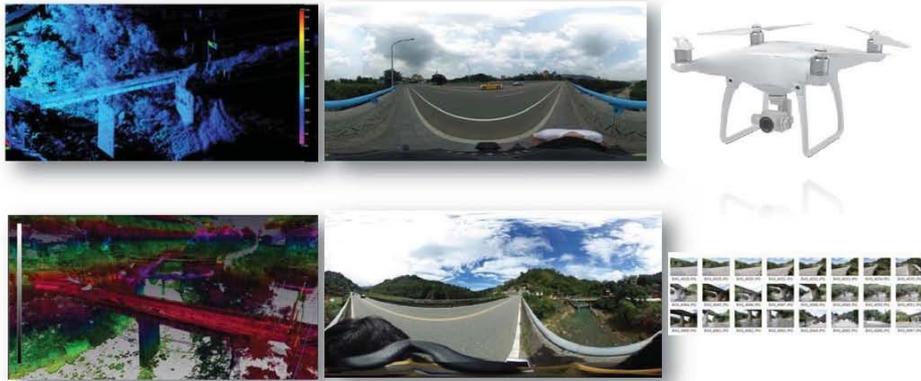
三、建置虛擬實境之橋梁三維模型

20



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(1/14)

- 資料蒐集方法評估



21



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(2/14)

- 資料蒐集方法評估



	光達掃描技術	環景影像	UAV + 影像
精度	高	低	中
受環境影響程度	高	中	低
畫面細緻程度	高	低	中
模型建立方便程度	中	低	高
掃描費用	高	低	中
提供資訊範圍	大區域	局部	大區域

22



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(3/14)

- 影像處理軟體簡介
 - 現行商業軟體已相當成熟且使用方便



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(4/14)

- 影像處理軟體簡介

現場照片



橋面



	ContextCapture	Pix4D Mapper	Agisoft Photoscan
處理影像(張)	105	286	286
處理時間(小時)	6.5	10	8

24



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(5/14)

• 影像處理軟體簡介

- 以橋梁為目標物具有幾項不利建模之特性
 - 橋周圍及橋下結構物多不易飛行
 - 橋面鋪面多為同調區
 - 周圍環境多為樹木(同調區)及河流(移動物)
 - 橋底板結構複雜且遮蔽物多
- 因此以前述方法所建立之三維模型雖可看出地物之輪廓，但對於需要細節資訊之橋梁檢測仍略有不足
 - VR環境之環景影像作為細節資訊之提供者
 - 環景影像可用一球形描述，使用者可在球中心利用不視角觀看不同角度之影像

25



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(6/14)

• 環景相機簡介

正式名稱	寬景	環景	球體環景 / 全環景
坊間名稱	環景	360° 環景、全景	720°環景、全景
英文名稱	Panorama	360° panorama	Spherical panorama
水平視角	<180°	360°	360°
垂直視角	<180°	<180°	180°
投影方式 (常用方式)	透視投影 Perspective projection	等距柱狀投影 Equirectangular projection	等距柱狀投影 Equirectangular projection
長寬比例	>1.5:1	>2:1	2:1

26



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(7/14)

- 本研究擬使用之環景相機種類

品牌	Ricoh	Samsung	Kodak
機型	Theta S	Gear 360	SP360 4K(雙機全天候組)
鏡頭	雙魚眼鏡頭	雙魚眼鏡頭	單魚眼鏡頭
全景照片解析度	14M	30M	8M
全景影片解析度	1920×1080 30fps	3840×1920 30fps	2880×2880 30fps
光圈	F2.0	F2.0	F2.8
感光元件大小	1/2.3	1/1.72	1/2.33吋
感光元件種類	CMOS	CMOS	CMOS
重量	125g	153g	128g
價錢	NT\$14900	NT\$12900	NT\$33990
機體圖片			

27



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(8/14)

- 環景相機原始圖檔與放入模型模擬引擎之比較
 - Ricoh Theta S



原始圖檔



Unity呈現之影像

28



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(9/14)

- 環景相機原始圖檔與放入模型模擬引擎之比較
– Samsung Gear 360



原始圖檔

Unity呈現之影像

29



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(10/14)

- 環景相機原始圖檔與放入模型模擬引擎之比較
– Kodak SP360 4K



原始圖檔

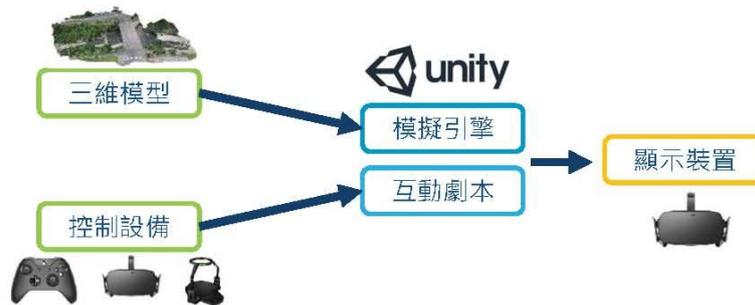
Unity呈現之影像

30



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(11/14)

- 以UAV建製之三維模型及環景影像作為模型資料
- Oculus頭載慣性設備及xbox控制器描述使用者行為
- Unity為模擬引擎
- 輸出至Oculus顯示器

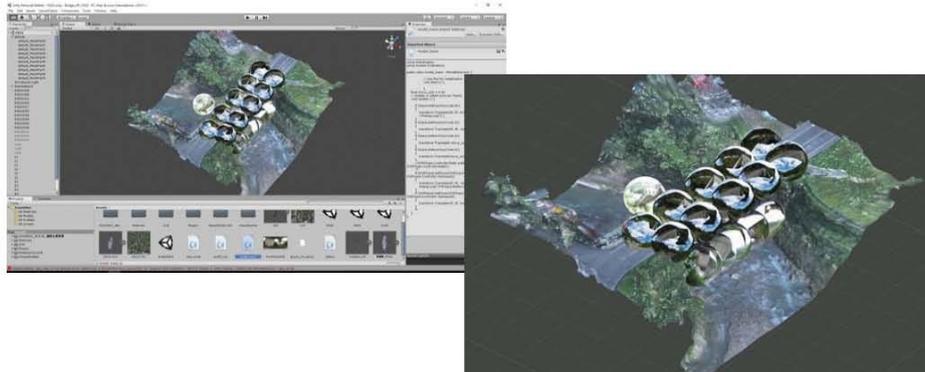


31



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(12/14)

- Unity為一種模擬引擎，其具備跨平台能力，並可用於設計互動內容，其成果可發佈於PC、Mac OS、iOS、Android手機、平板及各種VR顯示器之上。



32



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(13/14)

- 成果展示



33



三、建置虛擬實境之橋梁三維模型(14/14)

- 模型VS環景影像細緻度比較

三維模型

環景影像

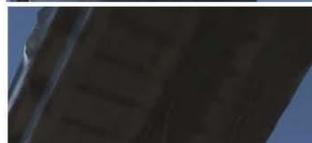
橋柱



橋柱與
橋面板交界



橋面板底部



34

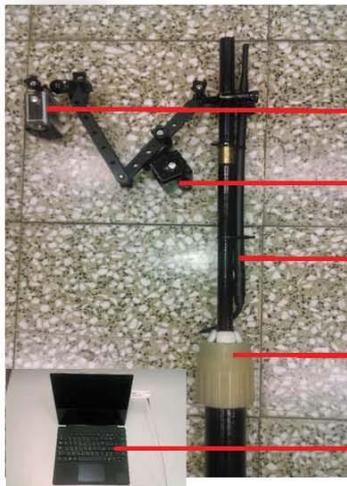


四、水下長桿檢測工具

35



四、水下長桿檢測工具(1/10)



長桿檢測工具所需之基本配備

GOPRO攝影機:

動態攝影機的條件為輕巧、堅固、續航力強且可防水之攝影機。

GOPRO潛水照明燈

WIFI 無線天線

伸縮桿(12公尺, 玻璃纖維製)

長桿的選用方面, 輕巧、堅固且方便操作攜帶因材質需輕巧且方便攜帶。

平板電腦、WIFI無線網卡,
為即時傳輸影像的媒介。

整套檢測工具費用
(含攝影機及平板電腦等)
共約97,000元

36



四、水下長桿檢測工具(2/10)

項次	名稱	規格/型號	主要用途
1	長桿(玻璃纖維)	12 m	工具主體，用於延伸攝影鏡頭。
2	GOPRO 攝影機	HERO4 頂級旗艦版	架設於長桿的末端，用於拍攝水下橋梁構件之狀況。
3	GOPRO 電池	HERO4 原廠鋰電池	備用所需。
4	記憶卡	SanDisk Extreme microSD 64GB	儲存攝影機資料。
5	GoPro HERO4 USB電池充電器	AHBBP-401	用於充電攝影機之電池。
6	GOPRO 單車固定架	CityBoss	將攝影機固定於長桿。
7	GOPRO 萬象轉頭	SP-Gadgets	增加檢測工具拍攝角度及靈活性。
8	GOPRO 延伸型手臂	GOPRO 副廠配件	增加檢測工具拍攝角度及靈活性。
9	GOPRO 潛水照明燈	Knog gudos	為檢測工具之主動光源，也可利用於水下檢測照明。
10	GOPRO 各式固定座	AGBAG-002	固定 GOPRO 攝影機。
11	平板電腦	Surface Pro 4	方便組裝 GOPRO 相關零件。
12	WiFi 無線網卡 (含天線版本)	EDIMAX 訊舟 EW-7711USn	外接水下 WiFi 訊號與行動裝置的驅動。
13	WiFi 無線天線	netSpace 8dB 全向式 Wi-Fi	外接至水下之天線，連接水下訊號用。
14	WiFi 訊號延長線	netSpace	連接水下天線，傳輸水下訊號用。
15	OTG 連接頭	Micro USB mini 直頭	將水下訊號傳至平板電腦中

37



四、水下長桿檢測工具(3/10)

一、長桿工具組成

須配備 GOPRO 攝影機、長桿及平板電腦等，架設 GOPRO 攝影機於長桿上，須確認連接螺栓是否緊實控緊。

二、訊號傳輸連接

線與 WiFi 無線天線是否有連接，並確認平板電腦 WiGO 軟體接受到 GOPRO 攝影機訊號，方可下水。

三、擬定拍攝順序

利用長桿檢測工具，進行檢測之構件的拍攝順序，防止拍攝照片與構件檢測資料混淆的狀況，建議依照本研究提之 構件編碼系統原則，依據主要拍攝構件 少至多、由左而右、由上而下 之原則進行檢測

四、構件影像彙整

構件拍攝與影像彙整：執行構件拍攝，若發現無法拍攝之構件，則尋找其他檢測方法或檢測工具。

五、評估影響因子

應評估當天氣的能見度及拍攝角度的設置，且盡量不擾動水中懸浮微粒，產生過多造成相片品質不佳，有效保持良好拍攝距離及光線拿捏都是重要的環節。

六、填寫構件資料

將拍攝完成之構件檢測影像，傳輸至平板電腦進行構件劣化程度的判斷與填寫，進而完成檢測任務。

38



四、水下長桿檢測工具(4/10)

• 現地水下長桿檢測人員配置

- 兩人為一個檢測單位。
- 一人操作長桿進行水下橋梁構件劣化的拍攝。
- 另一人手持平板即時監控影像並且拍攝劣化照片或影片。
- 實測操作方式，可視現地狀況進行修正。



39



四、水下長桿檢測工具(5/10)

• 水下檢測面臨的問題

- 訊號無法傳輸
 - 無法即時查看拍攝影像
 - 無法即時操作動態攝影機



40



四、水下長桿檢測工具(6/10)

• 問題解決之方案擬訂與試驗結果

- 方案一：透過OTG接頭，將無線網卡插入行動裝置



- 方案二：利用WIFI分享器中繼GOPRO的WIFI訊號



41



四、水下長桿檢測工具(7/10)

• 問題解決之方案擬訂與試驗結果

- 方案三：無線網卡連接於WIN8筆記型電腦，並利用獨立開發的程式WIGO，成功操控及傳輸即時影像。



外接天線



42



四、水下長桿檢測工具(8/10)

- 水下檢測影響因子評估
 - 拍攝距離與水深關係
 - 水層深度、厚度會影響光線的呈現。
 - 水深6公尺時，紅色光首先被吸收。
 - 水深10公尺時橘色光被吸收，接著依序為黃、綠、藍等顏色，最後只有10%的藍光可達 100 公尺深的水中。
 - 拍攝距離
 - 水下照相機或攝像機距拍攝物體越近，受水的散射作用就越小。
 - 本研究多次實驗下，以距離墩體30公分為佳。
 - 濁度
 - 本研究利用總溶解固體 (Total dissolved solids，縮寫TDS) 量測濁度。TDS值越高，表示水中含有的雜質越多。

43



四、水下長桿檢測工具(9/10)

- 水下檢測影響因子彙整表

項次	項目	檢測範圍					說明及補充
1	水下深度	水深 < 6m		水深 > 6m			依照混濁度、天氣狀況調整基準。
		自然光可到達		已失去大量自然光 (需要額外補光)			
2	離墩體基礎距離	30cm		40cm	50cm		
3	總溶解固體 (TDS)	0 ppm	50 ppm	100 ppm	150 ppm	> 200 ppm	
		良好	尚可	低	欠佳	很差	

44



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(1/11)

橋梁名稱	外店橋				
管理機關	新北市政府	轄下機關	平溪區公所	竣工年月	不詳年不詳月
參考地標	平溪鄉石底街26號			使用狀態	正常使用
設施種類	橋梁	河川/水域名稱	基隆河	橋梁總長	30.4M
橋梁淨寬	5.8M	橋墩數	1	總垮數	2
最高橋墩高度	6M	最低橋下淨高	6M	是否有竣工圖	否
結構形式	梁式橋	橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩基礎形式	直接基礎
橋墩最淺基礎深度	不詳M	橋墩最深基礎深度	不詳M	橋基(墩)保護工法	其他

47



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(2/11)



48



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(3/11)

• 外店橋水質TDS檢測

橋名	外店橋
TDS(PPM)	49



49



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(4/11)

• 右側橋墩水下檢測拍攝成果



散光 聚光

50



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(5/11)

- 左側位置拍攝為例，補光設定為**散光**

補光設定 與墩體拍攝距離	2,400 流明 (白光散光)	1200 流明 (白光散光)	600 流明 (白光散光)
30CM			
40CM			
50CM			



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(6/11)

- 左側位置拍攝為例，補光設定為**聚光**

補光設定 與墩體拍攝距離	1,000流明 (白光聚光)	500流明 (白光聚光)	250流明 (白光聚光)
30CM			
40CM			
50CM			



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(7/11)

橋梁名稱	仁德橋				
管理機關	桃園市政府	轄下機關	桃園區公所	竣工年月	72年6月
參考地標	富國路645巷			正常使用	使用狀態
設施種類	橋梁	河川/水域名稱	茄苳溪	橋梁總長	28.1M
橋梁淨寬	3.75	橋墩數	2	總垮數	3
最高橋墩高度	2.5M	最低橋下淨高	1.23M	是否有竣工圖	否
結構形式	梁式橋	橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩基礎形式	無法檢測
橋墩最淺基礎深度	不詳M	橋墩最深基礎深度	不詳M	橋基(墩)保護工法	多接跌水工

53



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(8/11)





五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(9/11)

- 仁德橋水質TDS檢測

橋名	仁德橋
TDS(PPM)	49



55



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(10/11)

- 右側橋墩水下檢測拍攝成果

橋梁位置	照片
右側-1	
右側-2	

56



五、水下長桿檢測工具實際拍攝案例(11/11)

- 左側橋墩水下檢測拍攝成果

橋梁位置	照片
左側-3	
右側-4	

右側橋墩

57



六、結論與後續建議

58



六、結論與後續建議(1/2)

1. 透過本工作所設計之系統架構及使用流程，使用者可於辦公室內藉由VR設備，身歷其境於目標橋梁之中，**快速且直觀**地了解橋梁結構及周遭環境等資訊，可提升檢測效率。
2. 除了大範圍的察看結構體外型，模型內亦搭配有**全景影像**模式，以較細緻影像作為檢測之參考，期能給予使用者較好的資料查看體驗。
3. 現階段利用UAV拍攝之影像，藉由自動化方式生成之三維模型仍略嫌粗糙，後續應嘗試**改善資料品質及模式**，或加入**人工編修**，以提供較佳之模型品質。
4. 研究中目前以搖桿作為移動使用者位置之裝置，但在前期構想中原希望搭配行走裝置，但受限於新創產品出貨量之問題無法取得，後續仍會嘗試取得前一設備，以期可更符合身歷其境之體驗。

59



六、結論與後續建議(2/2)

1. 本研究克服水下檢測即時**影像傳輸**問題，成果具實用性。
2. 水中濁度**超過100ppm**時，拍攝成果模糊，無法提供檢測人員判讀。入水深度**超過6公尺**時，需使用補光設備，最佳拍攝距離為距結構物**30公分**。
3. 本研究使用之桿長為**12公尺**，高度過高之橋梁無法於橋面上使用。人員於橋面上使用長桿設備，檢測範圍僅限於橋面兩側下方之水下構件，橋面中間下方之部份需利用橡皮艇方能拍攝。
4. 本研究建立**水下拍攝影響因子評估表**與**水下拍攝SOP**。
5. 未來可考慮長桿水下檢測工具**客製化**之研究。

60



七、虛擬實境與水下長桿檢測工具展示

61



簡報結束 敬請指教

62