

112-006-7D23

MOTC-IOT-111-H1CB001f

感潮河段橋梁梁底檢測工具研發(1/4)- 功能精進與新興科技導入評估



交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

112-006-7D23

MOTC-IOT-111-H1CB001f

感潮河段橋梁梁底檢測工具研發(1/4)- 功能精進與新興科技導入評估

著者：林晨光、鄭登鍵、賴瑞應、黃維信、葉隆吉、賴躍仁、胡啟文

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

感潮河段橋梁梁底檢測工具研發
(1/4)

— 功能精進與新興科技導入評估

交通部運輸研究所

GPN : 1011200147

定價 150 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

感潮河段橋梁梁底檢測工具研發. (1/4) : 功能
精進與新興科技導入評估 / 林晨光, 鄭登鍵,
賴瑞應, 黃維信, 葉隆吉, 賴躍仁, 胡啟文
著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究
所, 2023. 03

面 ; 公分
ISBN 978-986-531-472-9(平裝)

1. CST: 橋梁工程

441.8

112000937

感潮河段橋梁梁底檢測工具研發(1/4)-功能精進與新興科技導入評估
著 者：林晨光、鄭登鍵、賴瑞應、黃維信、葉隆吉、賴躍仁、胡啟文
出版機關：交通部運輸研究所
地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號
網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)
電 話：(04)2658-7200
出版年月：中華民國 112 年 3 月
印 刷 者：OOOOOOOOOO
版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊
書同時登載於交通部運輸研究所網站
定 價：150 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)2349-6789
國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)2518-0207
五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號・電話：(04)2226-0330

GPN：1011200147 ISBN：978-986-531-472-9 (平裝)

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：感潮河段橋梁梁底檢測工具研發(1/4)-功能精進與新興科技導入評估			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-472-9(平裝)	政府出版品統一編號 1011200147	運輸研究所出版品編號 112-006-7D23	計畫編號 MOTC-IOT-111-H1CB001f
本所主辦單位： 港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：賴瑞應 研究人員：鄭登鍵、胡啟文 聯絡電話：04-26587178 傳真號碼：04-26564418	合作研究/共同研究單位：大同大學 計畫主持人：林晨光 協同主持人：黃維信、葉隆吉、賴躍仁 研究人員：黃瑋晟、許力升、葉謙、張譯丰、曾裕傑 地址：臺北市中山區中山北路 3 段 40 號 聯絡電話：02-21822928		研究期間 自 111 年 2 月 至 111 年 11 月
關鍵詞：橋梁、感潮河段橋梁、橋梁檢測			
摘要： 目前市面可看到許多可應用於橋梁檢測之設備，如長桿、橋梁檢測車、橋梁檢測船、無人飛行載具、遙控船艇……，但不同的檢測設備都有其適用範圍，目前唯獨沒有合適的檢測工具可應用於感潮河段的橋梁檢測工作。因為感潮河段橋梁具有梁底淨高不足之問題，現有的檢測設備均難以深入其中拍攝梁底影像。為解決此實務工作面臨困難，本計畫研發用於狹小空間之橋檢設備，協助橋梁檢測人員，可以更快速、更安全、更正確的完成橋梁檢測工作。 本計畫所開發的檢測設備，已歷經多年的開發及測試，整體設備的操作性已相當穩定。利用自行設計的推車當成設備載具，兼具便利的移動性，可在人行道上進行檢測作業，利用小貨車即可進行載送。設備安裝快速，只需要 3 個人平均在 10 分鐘內就可完成。組裝時所需的作業寬度約為 3 公尺，檢測操作時所需之路面寬度為 1.5 公尺，設備操作限高至少需要 4 公尺，可跨越 1.5 公尺高、1.2 公尺寬之護欄，梁底淨高至少需 1 公尺。檢測桿件最長伸長距離可達 8 公尺，最佳操作長度為 5 公尺。經實測，一座橋面寬度 10 公尺、橋長 20 公尺，以每分鐘 2.5 平方公尺的量測速度做計算，約 90 分鐘即可完成全面的檢測作業。拍攝後之影像，可透過影像拼接技術，完成全橋體之影像，有助於橋梁檢測人員工作需。對於實際進行橋梁檢測可帶來相當高之便利性及穩定性。 成果效益與應用情形： 本計畫研究成果及檢測案例，可提供中央（內政部營建署、交通部高速公路局、公路總局等）、地方（縣市政府等）橋梁維護管理機關橋梁維護管理應用及參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
112 年 3 月	192	150	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。
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: Research and Development of Bridge Bottom Detection Tools in Tidal River Sections (1/4) - Functional Improvement and Emerging Technology Introduction Evaluation			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-472-9(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011200147	IOT SERIAL NUMBER 112-006-7D23	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-111-H1CB001f
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jui-Ying Lai PROJECT STAFF: Teng-Chien Cheng, Chi-Wen Hu PHONE: 04-26587178 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2022 TO November 2022
RESEARCH AGENCY: Tatung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen-Kuang Lin PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wei-Hsin Huang, Long-Jyi Yeh, Yueh-Jen Lai PROJECT STAFF: Wei-Cheng Huang, Li-Shung Hsu, Chien Yeh, Yi-Feng Chang, Yu-Chieh Tseng ADDRESS: #40 , Sec.3, Jhongshan N. Rd., Taipei, 104, Taiwan, R.O.C PHONE: 02-21822928			
KEY WORDS: Bridge, Tidal river bridge, Bridge inspection			
At present, there are many equipments that can be applied to bridge inspections in the market, such as long poles, bridge inspection vehicles, bridge inspection boats, unmanned aerial vehicles, remote control boats, etc., but different inspection equipments have their scope of application. Currently, only There is no suitable detection tool that can be applied to bridge detection in tidal river sections. Because the bridges in the tidal river section have the problem of insufficient clear height of the beam bottom, it is difficult for the existing detection equipment to go deep into it to take images of the beam bottom. In order to solve the difficulties, this project develops bridge inspection equipment for narrow spaces to assist bridge inspectors to complete bridge inspection work faster, safer and more accurately. The testing equipment developed by this research institute has gone through many years of development and testing, and the operability of the overall equipment has been quite stable. The self-designed cart is used as the equipment carrier, which is convenient for mobility, and can be inspected on the sidewalk, and can be carried by a small truck. The installation of the equipment is fast, and only three people can complete it within ten minutes on average. The working width required for assembly is about 3 meters, the road surface width required for inspection operation is 1.5 meters, the height limit for equipment operation is at least 4 meters, and the guardrail that is 1.5 meters high and 1.2 meters wide can be crossed. The clear height of the beam bottom must be at least 1 meter. The longest extension distance of the detection rod can reach 8 meters, and the optimal operating length is 5 meters. According to the actual measurement, a bridge deck with a width of 10 meters and a bridge length of 20 meters is calculated at a measurement speed of 2.5 square meters per minute, and a comprehensive inspection operation can be completed in about 90 minutes. The image after shooting can be used to complete the image of the whole bridge body through image stitching technology, which is helpful for the work needs of bridge inspection personnel. It can bring quite high convenience and stability to the actual bridge detection. BENEFITS AND APPLICATIONS: The results and testing examples of this study can provide application and reference for central (Construction and Planning Agency of MOI, Freeway Bureau of MOTC, Directorate General of Highways, etc.) and local (city-county) governments in bridge maintenance management by the competent authorities.			
DATE OF PUBLICATION Mar. 2023	NUMBER OF PAGES 192	PRICE 150	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

感潮河段橋梁梁底檢測工具研發(1/4)

-功能精進與新興科技導入評估

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
圖目錄	VII
表目錄	XV
第一章 緒論.....	1-1
1.1 背景分析.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-4
1.3 工作項目.....	1-4
1.4 計畫執行甘特圖.....	1-6
1.5 工作流程圖.....	1-7
1.6 名詞定義.....	1-8
第二章 橋梁檢測設備及新興科技應用	2-1
2.1 常見橋梁檢測設備.....	2-1
2.1.1 橋梁檢測輔助設備.....	2-1
2.1.2 橋梁檢測輔助載具.....	2-5
2.1.3 機器手臂型橋梁檢測設備.....	2-10
2.1.4 無人載具橋梁檢測設備.....	2-19
2.1.5 橋梁檢測設備應用小結.....	2-24
2.2 新興科技與橋檢工作之整合探討	2-26
2.2.1 微定位.....	2-26

2.2.2 AI 於橋梁檢測之應用	2-27
2.2.3 影像拼接.....	2-30
2.2.4 新興科技應用於橋梁檢測小結	2-31
2.3 不同檢測環境下之適應性能評估	2-32
第三章 感潮河段橋梁檢測設備之發展歷程	3-1
3.1 設備載具之設計演進.....	3-4
3.2 檢測桿件之設計演進.....	3-9
3.3 檢測設備控制方式之演進	3-11
3.4 影像拍攝設備之演進.....	3-14
3.5 檢測設備組立及操作之情形	3-17
3.5.1 車載型橋梁檢測設備.....	3-17
3.5.2 第一代推車型橋梁檢測設備.....	3-20
3.5.3 第二代推車型橋梁檢測設備.....	3-27
3.6 專家訪談建議.....	3-29
第四章 設備精進與成果	4-1
4.1 C 桿輕量化方案	4-1
4.2 C 桿推送裝置開發	4-3
4.3 C 桿推送裝置改良	4-6
4.4 C 桿前端攝影裝置開發.....	4-9
4.5 C 桿定位方案	4-14
第五章 實地測試及研究成果	5-1
5.1 第 1 次實地測試.....	5-1
5.1.1 設備改善情形.....	5-2
5.1.2 實地量測流程.....	5-5
5.1.3 量測影像.....	5-8

5.1.4 第 1 次實地測試問題.....	5-11
5.2 第 2 次實地測試.....	5-12
5.2.1 第 2 次實地測試問題.....	5-14
5.2.2 第 2 次實地測試問題改善.....	5-16
5.3 第 3 次實地測試.....	5-20
5.4 設備操作作業要求.....	5-25
5.4.1 設備載送建議.....	5-25
5.4.2 設備作業空間.....	5-25
5.4.3 設備操作人員配置.....	5-26
5.5 橋梁檢測作業績效.....	5-27
5.6 研究成果.....	5-29
5.6.1 線上成果推廣活動.....	5-29
5.6.2 研究成果投稿.....	5-31
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-3
6.3 研究成果與效益.....	6-4
6.4 提供應用情形.....	6-4
參考文獻	參-1
附錄一 期中報告審查意見及處理情形表	附錄 1-1
附錄二 期末報告審查意見及處理情形表	附錄 2-1
附錄三 期末報告簡報資料	附錄 3-1

圖目錄

圖 1.1 台 17 線臺南北門段鯤鯓橋橋梁底座鏽蝕與龜裂現象	1-2
圖 1.2 彰化線西田尾排水 8 號橋	1-3
圖 1.3 橋檢人員涉水檢測	1-3
圖 1.4 本計畫研究工作流程圖	1-7
圖 1.5 推車型橋梁檢測設備各部位之說明	1-8
圖 2.1 一節式長桿檢測設備	2-2
圖 2.2 鏡頭、照明及顯示設備	2-2
圖 2.3 固定型長桿檢測設備	2-3
圖 2.4 健行科大協助公路總局組立的長桿設備	2-4
圖 2.5 公路總局洛韶段自行組立的長桿設備	2-4
圖 2.6 長桿式敲擊式檢測設備	2-5
圖 2.7 輪型橋梁檢測車	2-6
圖 2.8 軌道型橋梁檢測車	2-6
圖 2.9 履帶型橋梁檢測車	2-7
圖 2.10 船型橋梁檢測車	2-7
圖 2.11 桁架式橋梁檢測車	2-8
圖 2.12 鋼索橋用吊籃式橋梁檢測車	2-8
圖 2.13 適用於路肩車道用橋梁檢測車	2-9
圖 2.14 向上抬舉式橋梁檢測車	2-9
圖 2.15 鋼索滑輪式橋梁檢測設備	2-10
圖 2.16 日本 Zivil 公司機械手臂型橋梁檢測車	2-11
圖 2.17 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車載送方式	2-11
圖 2.18 檢測臂組立作業情形	2-12
圖 2.19 檢測臂組立後情形	2-12

圖 2.20 水平延伸臂組立作業情形	2-12
圖 2.21 Zivl 機械手臂型橋梁檢測車組立作業情形	2-13
圖 2.22 4K 高解析度攝影機	2-13
圖 2.23 紅外線溫度攝影機及其檢測情形	2-14
圖 2.24 LED 燈照明	2-14
圖 2.25 裂縫尺規	2-15
圖 2.26 高壓水柱清除髒污	2-15
圖 2.27 縫隙檢查設備	2-15
圖 2.28 敲擊回音法檢測	2-16
圖 2.29 Zivl 機械手臂型橋梁檢測車實際作業情形(一).....	2-16
圖 2.30 Zivl 機械手臂型橋梁檢測車實際作業情形(二).....	2-17
圖 2.31 Zivl 機械手臂型橋梁檢測車控制台作業情形	2-17
圖 2.32 拍攝後影像由專業人員進行判讀及標示	2-17
圖 2.33 標示後的橋梁缺失影像資料	2-18
圖 2.34 機械手臂實機操作畫面	2-18
圖 2.35 定翼型 UAV	2-19
圖 2.36 單旋翼型 UAV	2-20
圖 2.37 Parrot 四軸旋翼型 UAV	2-20
圖 2.38 以 UAV Lidar 建立 DTM	2-20
圖 2.39 DJI Phantom 4 用碳纖維防護罩	2-21
圖 2.40 具防護功能並可貼附於橋梁面之 UAV	2-22
圖 2.41 具敲擊測試及攝影功能之 UAV	2-22
圖 2.42 具垂直攀爬功能之 UAV	2-22
圖 2.43 水平與垂直兩用 UAV	2-23
圖 2.44 可於特定橋梁構件中行走之 UAV	2-23

圖 2.45 Sonar EMILY	2-24
圖 2.46 AI、ML、DP 的差異	2-28
圖 2.47 裂縫缺失標記作業	2-29
圖 2.48 LOC6D 橋梁檢測系統	2-29
圖 2.49 鋼筋鏽蝕及混凝土污漬辨識結果	2-30
圖 2.50 吊籃式橋梁檢測車	2-33
圖 2.51 多節展臂吊籃式橋梁檢測車	2-33
圖 2.52 梁底與河面相當接近	2-34
圖 2.53 梁底附近植物叢生	2-35
圖 2.54 梁底有異物	2-35
圖 2.55 橋梁外側附掛物及路燈	2-36
圖 2.56 橋梁旁的管線設施及上方的電線	2-36
圖 2.57 梁底立體構造	2-37
圖 2.58 橋梁兩側設人行道	2-37
圖 3.1 第一代推車型橋梁檢測設備運作示意圖	3-3
圖 3.2 第二代橋梁檢測設備運作示意圖	3-3
圖 3.3 以廂型車為載具的橋檢設備	3-4
圖 3.4 鋁擠型推車載具雛型	3-5
圖 3.5 基座配重	3-6
圖 3.6 基座側邊配置控制器與線路	3-6
圖 3.7 推車頂部放置控制面板	3-7
圖 3.8 輪鼓馬達驅動裝置	3-7
圖 3.9 推車組立後的實際推送情形	3-8
圖 3.10 推車型橋檢設備運送	3-8
圖 3.11 檢測桿件組立於車頂之情形	3-9

圖 3.12 B 桿套管近照圖	3-10
圖 3.13 3 層 B 桿套管連結情形	3-10
圖 3.14 將檢測桿件轉出車頂架	3-11
圖 3.15 利用 B、C 桿之重量帶動往下延伸	3-12
圖 3.16 利用步進馬達將 C 桿推入橋梁底部	3-12
圖 3.17 以遊戲遙桿透過 Arduino 無線模組控制步進馬達	3-13
圖 3.18 PCB 版及其他控制器	3-14
圖 3.19 以智慧型手機進行梁底影像拍攝	3-15
圖 3.20 C 桿尾端攝影鏡頭及自配重裝置	3-15
圖 3.21 推車上控制臺即時顯示檢測回傳影像	3-16
圖 3.22 C 桿前端前端整合裝置	3-17
圖 3.23 C 桿前端前端整合裝置內 PCB 基板	3-17
圖 3.24 車載型檢測設備安裝完成情形	3-18
圖 3.25 推送 A 桿並用頂立架協助支撐	3-18
圖 3.26 送出 B、C 桿	3-19
圖 3.27 利用鋼索緩放出 C 桿	3-19
圖 3.28 利用步進馬達將 C 桿送入橋下	3-20
圖 3.29 「推車型橋梁檢測設備」設備搬運照	3-21
圖 3.30 「推車型橋梁檢測設備」實際推送情形	3-21
圖 3.31 B 桿以插銷固定於 A 桿上	3-22
圖 3.32 利用插銷將 C 桿固定於 B 桿末端	3-22
圖 3.33 「推車型橋梁檢測設備」組立完成情形	3-23
圖 3.34 「推車型橋梁檢測設備」組裝(一)	3-23
圖 3.35 「推車型橋梁檢測設備」組裝(二)	3-24
圖 3.36 「推車型橋梁檢測設備」組裝(三)	3-24

圖 3.37 「推車型橋梁檢測設備」操作(一).....	3-25
圖 3.38 「推車型橋梁檢測設備」操作(二).....	3-25
圖 3.39 「推車型橋梁檢測設備」操作(三).....	3-26
圖 3.40 「推車型橋梁檢測設備」操作(四).....	3-26
圖 3.41 第二代「推車型橋梁檢測設備」推送情形	3-27
圖 3.42 第二代「推車型橋梁檢測設備」設備整體分解圖	3-28
圖 3.43 第二代「推車型橋梁檢測設備」C 桿整體構造圖	3-28
圖 3.44 第二代「推車型橋梁檢測設備」操作情形	3-29
圖 3.45 車載型橋梁檢測設備採用的鋼索配置	3-32
圖 3.46 Zivil 公司機械手臂檢測設備之鋼索設置情形	3-32
圖 3.47 鋼索拉力帶來的分力情形	3-33
圖 4.1 108 年設計之 C 桿.....	4-1
圖 4.2 C 桿模組總承.....	4-2
圖 4.3 C 桿下垂量計算.....	4-2
圖 4.4 C 桿預傾角設計.....	4-3
圖 4.5 彈簧線管安裝方式	4-3
圖 4.6 彈簧線管推送機制	4-4
圖 4.7 推送機構配置位置	4-4
圖 4.8 推送機構示意圖	4-5
圖 4.9 引線收納設計裝置示意圖	4-5
圖 4.10 C 桿推送機構.....	4-6
圖 4.11 C 桿推送機構改良.....	4-7
圖 4.12 摩擦輪外型構造	4-7
圖 4.13 推送機構示意圖	4-8
圖 4.14 經實測後改善的 C 桿回收裝置.....	4-8

圖 4.15 C 桿前端攝影裝置.....	4-9
圖 4.16 照明模組	4-9
圖 4.17 樹梅派 Pi Zero 攝影控制板	4-10
圖 4.18 樹梅派外置天線	4-10
圖 4.19 雙軸轉向平台與其控制板	4-11
圖 4.20 第一代桿前攝影模組	4-12
圖 4.21 第二代桿前攝影模組	4-12
圖 4.22 第三代桿前攝影模組	4-13
圖 4.23 第三代桿前攝影模組搭配控制面板進行光線補強操作	4-13
圖 4.24 輪鼓馬達驅動裝置	4-14
圖 4.25 引線量距機制示意圖	4-15
圖 5.1 大佳河濱公園之堤外區域橋梁 Google Maps 路況	5-1
圖 5.2 量測現地人員布置狀況	5-1
圖 5.3 梁底構造與量測範圍示意圖	5-2
圖 5.4 110 年研究計畫設備展開所需淨高 6.1 公尺	5-3
圖 5.5 本計畫設備展開所需淨高 4.1 公尺	5-3
圖 5.6 110 年研究計畫設備展開所需淨寬 4.8 公尺	5-4
圖 5.7 本計畫設備展開所需淨寬 2.1 公尺	5-4
圖 5.8 檢測設備推送至量測起點	5-5
圖 5.9 B 桿展開並插上插銷.....	5-5
圖 5.10 安裝 C 桿模組.....	5-6
圖 5.11 設備安裝完畢	5-6
圖 5.12 桿件向外抬升	5-7
圖 5.13 桿件下降至定位	5-7
圖 5.14 B 桿下降至定位.....	5-8

圖 5.15 C 梁底量測實況.....	5-9
圖 5.16 影像擷取順序	5-9
圖 5.17 梁底實拍影像(A).....	5-10
圖 5.18 梁底實拍影像(B).....	5-10
圖 5.19 初步影像拼接成果	5-11
圖 5.20 第 2 次實地測試選址-彰水橋.....	5-12
圖 5.21 第 2 次實地測試情況	5-13
圖 5.22 第 2 次實地測試梁底影像	5-13
圖 5.23 C 桿轉正齒輪崩裂情形.....	5-14
圖 5.24 收線裝置鋼絲捲繞情形	5-15
圖 5.25 設備載重輪毀損狀況	5-15
圖 5.26 C 桿轉動中心配置前後對照(上前-下後).....	5-16
圖 5.27 C 桿內部配置前後對照(上前-下後).....	5-17
圖 5.28 齒輪強度改善	5-18
圖 5.29 引繩張力保持裝置	5-19
圖 5.30 C 桿前模組改良.....	5-19
圖 5.31 第 3 次實地測試選址彰化縣福興鄉-出水橋.....	5-20
圖 5.32 第 3 次實地測試選址彰化縣福興鄉-福寶橋.....	5-20
圖 5.33 「出水橋」實地測試情況	5-21
圖 5.34 「出水橋」實地測試梁底影像	5-21
圖 5.35 「福寶橋」實地測試情況	5-22
圖 5.36 「福寶橋」實地測試梁底影像	5-22
圖 5.37 大梁間伸縮縫及支承	5-23
圖 5.38 大梁間防落設施	5-23
圖 5.39 大梁、支承、帽梁(鋼筋斷面生鏽).....	5-23

圖 5.40 鋼筋突出及表面剝落	5-24
圖 5.41 白華.....	5-24
圖 5.42 具升降尾門小貨車	5-25
圖 5.43 貨車用斜板	5-25
圖 5.44 橋梁檢測設備尺寸示意圖	5-26
圖 5.45 檢測設備組裝	5-27
圖 5.46 橋梁檢測設備操作人員配置建議	5-27
圖 5.47 橋梁檢測流程	5-28
圖 5.48 成果發表會-蔡立宏主任致詞.....	5-30
圖 5.49 成果發表會-第 1 場次發表.....	5-30
圖 5.50 成果發表會-第 2 場次發表.....	5-30
圖 5.51 投稿接受證明	5-31

表目錄

表 1-1 工作執行甘特圖	1-6
表 2-1 橋梁檢測設備評估	2-25
表 2-2 定位技術比較	2-27
表 2-3 新興科技應用於橋梁檢測	2-32
表 5-1 檢測設備各動作之操作時間	5-28
表 5-2 線上成果發表會議程	5-29
表 5-3 參與成果發表會與會者單位分析	5-29

第一章 緒論

1.1 背景分析

橋梁是一種用來跨越障礙的構造物，如將交通路線(如道路、鐵路等)或其他設施(如管道、電纜等)跨越障礙物(如河流、海峽、峽谷、沼澤、公路、鐵路以及其他不適合通行路段)的構造物。建築橋梁的材料，從早期的木材、石頭和混凝土，到鑄鐵、鋼筋混凝土、預應力混凝土，修築橋梁的技術與工法不斷的翻新，造就這許多著名的橋梁^[1]。

臺灣地形以山地、丘陵、盆地、台地及平原為主，島上大小河川密布，長度超過 100 公里的河川更有 7 條。在交通建設上，為連結不同地域間的陸上交通，極需仰賴橋梁之基礎建設^[2]。依據交通部運輸研究所(以下簡稱本所)的「車行橋梁管理資訊系統」統計資料顯示，目前國內車行橋共計 22,971 座(含正常使用、維修中及停用)，其中交通部轄管橋梁 5,940 座，縣市政府轄管橋梁 16,810 座。交通部轄管橋梁主要集中於公路總局(3,409 座)及高速公路局(2,487 座)。

橋梁在交通運輸中扮演著非常重要的角色，但會隨著使用情形、氣候及環境交替而逐漸老舊劣化，若沒有進行適當的保養維護，則可能釀成重大災難。如 106 年 2 月 4 日上午發生在台 17 線臺南北門段的鯤鯓橋斷裂事件，當時橋面下陷 5~8 公分，且橋梁底座也出現龜裂情形(如圖 1.1 所示)。原本橋梁設計時，橋梁底部距離河面淨高具有一定高度，但當地質下陷後，使橋墩長期浸泡於水下，若保護層施作未落實或已喪失保護功能，易使氯離子進入混凝土內，就會造成鋼筋鏽蝕，進而混凝土膨脹剝落，降低橋梁的承載能力，導致橋梁發生斷裂情形。



圖 1.1 台 17 線臺南北門段鯤鯨橋橋梁底座鏽蝕與龜裂現象

為確保公路橋梁之安全，需定期進行巡查檢視並適時改善，以確保橋梁的使用安全。為此，國內各級公路養護單位依據交通部頒訂之「公路養護規範」^[3]，依據所管養公路之特性，修訂公路養護手冊，其中包含橋梁養護作業。橋梁養護首重檢測，各橋梁管理機關平時除應針對所轄橋梁辦理檢測作業外，並應適時針對損壞部分進行維修，以維橋梁安全。為迅速有效且經濟地評估橋梁劣化狀況，並將構件劣化狀況進行量化，以計算出全橋之狀況指標(Condition Index, CI)，目前橋梁目視檢測係採用 DER&U(Degree, Extent, Relevancy, and Urgency)評估法^[4]。

現行橋梁的檢查是以定期檢測為主，作業方式係以徒步、攀爬、搭乘橋梁檢測車或高空作業車盡可能接近橋梁結構物後，再以目視或必要儀器判斷橋梁狀況。執行檢測作業時，如遇高橋墩或跨河橋時，雖可利用橋梁檢測車、高空作業車或無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)輔助趨近橋梁構造物。但對於梁底淨高狹小之跨水橋或感潮河段橋梁(如圖 1.2 所示)，且人員及機具不易進入檢測，僅能利用退潮或是

枯水期，水位較低時涉水進入檢測(如圖 1.3 所示)，但橋梁底部作業環境較差，安全風險較高。



圖 1.2 彰化線西田尾排水 8 號橋



圖 1.3 橋檢人員涉水檢測

為提供更安全、更簡便的橋檢作業工具，本所自 106 年起即著手開發可應用於感潮河段橋梁梁底之檢測工具，目前已開發出三代不同的檢測設備，檢測設備之內容將於後續章節進行說明。

1.2 研究目的

為方便橋梁檢測人員於梁底淨空狹小之跨水橋或感潮河段橋梁進行檢測作業，本計畫延續前期計畫研究成果與經驗，以「第二代推車型橋梁檢測設備」為基礎，持續精進桿臂變位控制、輔助照明、機電化控制、檢測設備操作效率、檢測臂展開方式、結構強化及穩定性，並因應檢測環境實際狀況，如檢測時遇到橋梁護欄附掛之燈桿、標誌牌面等縱向支架阻礙，改良構件設計或作業方式等因應方案，藉以回傳梁底清晰影像，並進行影像定位等工作。同時探討導入可應用於橋梁檢測工具之新興科技。本計畫研究成果可供各橋梁管理機關應用參考，以提升橋梁檢測作業之確實性，落實橋梁檢測管理之政策目標。

1.3 工作項目

本計畫研究目的為改善梁底狹小空間人員、機具不易進入檢測之問題，以操作簡便、便攜、經濟且可施作空間為設計架構，研發可進入狹小空間作業之橋檢工具，透由穩定伸展至橋梁下方拍攝梁底影像，除可讓檢測人員可以瞭解橋梁底部實際狀況外，亦有助提升橋檢作業之品質、效率及人員作業安全。本(111)年度計畫工作項目說明如下：

1. 廣泛蒐集市面上可運用於本計畫橋檢工具之相關新興科技，探討其對橋檢工具加值應用之可行性。
2. 持續精進橋檢工具功能，以因應不同的使用情境與需求：
 - (1) 持續精進前期(110年)計畫橋檢工具之功能運作速率、展開方式、結構強化及穩定性。
 - (2) 持續提升檢測環境適應性能，如：橋檢工具桿件遇燈桿、標誌牌面桿等縱向支架阻礙橋上移動檢測時，構件設計或作業方式上之因應方案，以維持橋檢工具作業之連續性。

- (3) 提升橋檢工具機電化程度，如:檢測桿件展開、桿件伸縮及檢測工具推進等可電控化的作業方式，進行機電整合，減少操作人力，提升運作及檢測效能。
- (4) 提升鏡頭可檢測範圍，檢測鏡頭可檢視範圍除梁底構件外，應涵蓋支承、帽梁、橋墩等橋梁下部結構應檢測之構件，提出改良設計方案。
- (5) 運用前述改良方案，進行實地測試(至少3座橋梁)，並依實地測試結果，適時調整優化橋檢工具及相應之控制元件。
- 3. 探討相關新興科技可應用結合於橋檢工具之可行性，如:AI 辨識(鋼構及 RC 橋)、梁底面全景影像重建、5G 傳輸技術、VR、AR...等，做為後續功能增進規劃。
- 4. 評估本計畫研究成果之實施成效、建置成本及應用於檢測其他交通設施之可行性。以全國各橋梁維護管理機關及實際參與橋檢之顧問公司合格橋檢人員為對象，進行成果效益評估及成果推廣，並據以蒐集相關單位對於研發成果之建議及意見。
- 5. 計畫相關配合項目
 - (1) 配合計畫執行之狀況進行專家訪談或問卷調查，瞭解檢測工作對橋檢工具的需求與建議。
 - (2) 針對計畫重要成果，製作可供相關內部成果會議或活動展示之海報或影片電子檔。
 - (3) 研究成果投稿至少1篇論文至運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會。
 - (4) 說明本計畫對橋梁管理機關執行檢測作業之質化與量化效益。
 - (5) 參考「政府研究資訊系統(GRB)<http://www.grb.gov.tw>」—研究計畫管理—實際成果(研究計畫績效指標項目)中之「績效」及「佐證資料」，就本計畫研究成果之特性，填寫合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究成果及重大突破。本計畫績效指標項目至少包括下列項目：
 - a. 論文：提供至少 1 篇可供投稿之學術論文。(國內、外重要學術研討會或期刊論文)

b. 研究報告：完成 1 本研究報告。

1.4 計畫執行甘特圖

本計畫研究之工作執行甘特圖及查核點如表 1-1 所示。

表 1-1 工作執行甘特圖

月次 工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月
確定工作範圍及工作構想	****								
蒐集國內外可應用於本計畫之相關新興科技工具	****	****	****	****	****	****	****	****	****
探討相關新興科技可應用結合於橋檢工具之可行性				****	****			****	****
第二代推車型橋梁檢測設備之檢討	****	****							
不同檢測環境下之適應性能評估	****	****							
不同檢測環境下之適應性能解決方案規劃與測試			****	****	****	****			
第二代推車型橋梁檢測設備機電化程度提升				****	****	****	****	****	
C 桿推送裝置之精進		****	****	****	****				
影像拍攝設備之精進		****	****	****	****				
系統整合與測試					****	****	****		
實測與設備調校							****	****	****
研究成果投稿							****		
成果推廣					.				****
期中報告				****					
期末報告								****	
預定進度累計百分比 (%)	10	20	30	40	50	65	75	90	100

1.5 工作流程圖

本計畫研究工作流程如圖 1.4 所示。

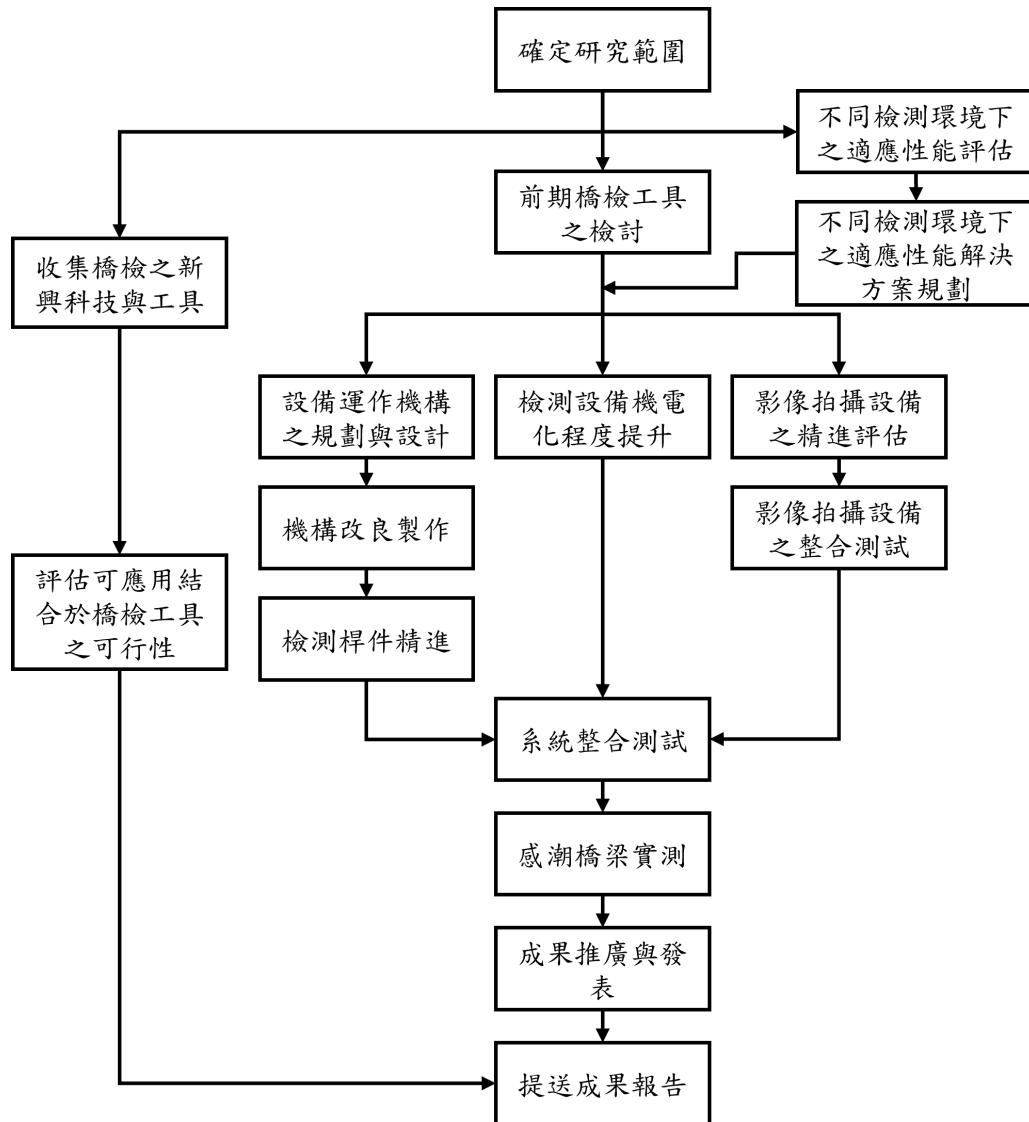


圖 1.4 本計畫研究工作流程圖

第二章 橋梁檢測設備及新興科技應用

交通部頒布的「公路橋梁檢測及補強規範」^[4]中提到：橋梁檢測之目的係為早期發現橋梁結構物的異常與損傷劣化，以掌握橋梁之安全與使用性。對於橋梁的檢測類別可區分為：定期檢測、特別檢測及詳細檢測。其中「定期檢測」亦是最頻繁進行橋梁檢測工作，新建橋梁於完工使用後 2 年內進行第 1 次定期檢測，爾後以每 2 年進行 1 次檢測為原則，若有特別情形，公路養護管理機關、公路養護單位得視實際狀況進行調整，惟不得超過 4 年。

進行橋梁定期檢測時，以直接目視或間接目視檢測為主，檢測人員以徒步儘可能接近檢測構件，必要時搭乘輔助載具，或使用其他觀測、量測設備取得相關資訊，判斷構件是否有劣化或異常情形。而為能協助橋梁檢測人員取得更清晰的橋梁構件影像資料，因此發展出各式各樣的檢測工具。另外，對於大量取得的橋梁構件影像，也發展出許多影像定位及影像辨識技術，以協助橋梁檢測人員判斷橋梁構件之狀況，本章將就常見的橋梁檢測用設備，及本計畫針對感潮河段所開發設計的橋梁檢測設備歷程進行介紹。

2.1 常見橋梁檢測設備

實施橋梁檢測工作時，考量作業環境、作業需求、經費等條件，可選擇不同的橋梁檢測設備，本節中將就常見的橋梁檢測設備進行整理介紹。

2.1.1 橋梁檢測輔助設備

在無法或不想動用大型橋梁檢測設備以取得橋梁構件的影像資料時，便會採用一些輔助設備(如長桿)，以盡可能的將鏡頭接近待測的橋梁構件。簡單來說，就是利用一根長型的桿件(單節或二節式)，將鏡頭固定在尾端，以人工手持或是將固定在橋梁護欄(或支撐架)上，將橋梁構件影像回傳給橋梁檢測人員。而為了確認橋梁裂縫大小，甚至還發展出虛擬尺規，便於第一時間量測裂縫寬度及長度。

如日本「首都高技術株式會社」輕量級立桿檢測設備(如圖 2.1 所示)，作業長度可達 8 公尺，且鏡頭旁配備 LED 可提供輔助照明，拍攝到的影像即時顯示在平板電腦中(如圖 2.2 所示)。



資料來源：<https://reurl.cc/Qb8Yqp>

圖 2.1 一節式長桿檢測設備



資料來源：<https://reurl.cc/Qb8Yqp>

圖 2.2 鏡頭、照明及顯示設備

除了靠手持握檢測設備外，日本三井住友建設株式會社所屬 SMC 土木技術股份有限公司(SMC Civil Technos)的檢測設備可安裝於橋梁護欄上，或是透過支撐架往上延伸進行檢測。檢測影像透過無線網路回傳至遠端的平板電腦中，檢測人員還可透過平板直接針對鏡頭進行操作(調整角度、平移或放大)(如圖 2.3 所示)



※1 Windowsは、米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標です。

資料來源：<https://reurl.cc/RXaknG>

圖 2.3 固定型長桿檢測設備

國內許多單位也都有自行組立的長桿檢測設備，尾端再搭配不同的攝影設備，即可進行橋梁檢測作業。為了有更好的檢測視野，通常會搭配一節橫桿，方便檢測人員進行更詳細的查看。不過由於都是靠雙手持握，當橫桿越長時所造成的扭力力矩越大，操作負荷也會大幅增加，因此，橫桿長度通常不超過 1 公尺(如圖 2.4、圖 2.5 所示)。



圖 2.4 健行科大協助公路總局組立的長桿設備



圖 2.5 公路總局洛韶段自行組立的長桿設備

除了裝設攝影鏡頭之外，也可安裝不同的檢測設備，如日本「首都高技術株式會社」利用長桿所開發的敲擊檢測設備(如圖 2.6 所示)。



資料來源：<https://reurl.cc/7p6Vjy>

圖 2.6 長桿式敲擊式檢測設備

2.1.2 橋梁檢測輔助載具

橋梁檢測最常使用的設備，非「橋梁檢測車」莫屬，它可以將檢測人員送到橋梁底部進行檢測。「橋梁檢測車」依據行進的作業方式，主要可區分為：輪型(如圖 2.7 所示)、軌道型(如圖 2.8 所示)、履帶型(如圖 2.9 所示)及船型(如圖 2.10 所示)。若依搭載人員的方式，則可區分為：吊籃式(如圖 2.12 所示)及桁架式(如圖 2.11 所示)。



資料來源：<https://reurl.cc/le3pZj>

圖 2.7 輪型橋梁檢測車



資料來源：<https://reurl.cc/eOjpWx>

圖 2.8 軌道型橋梁檢測車



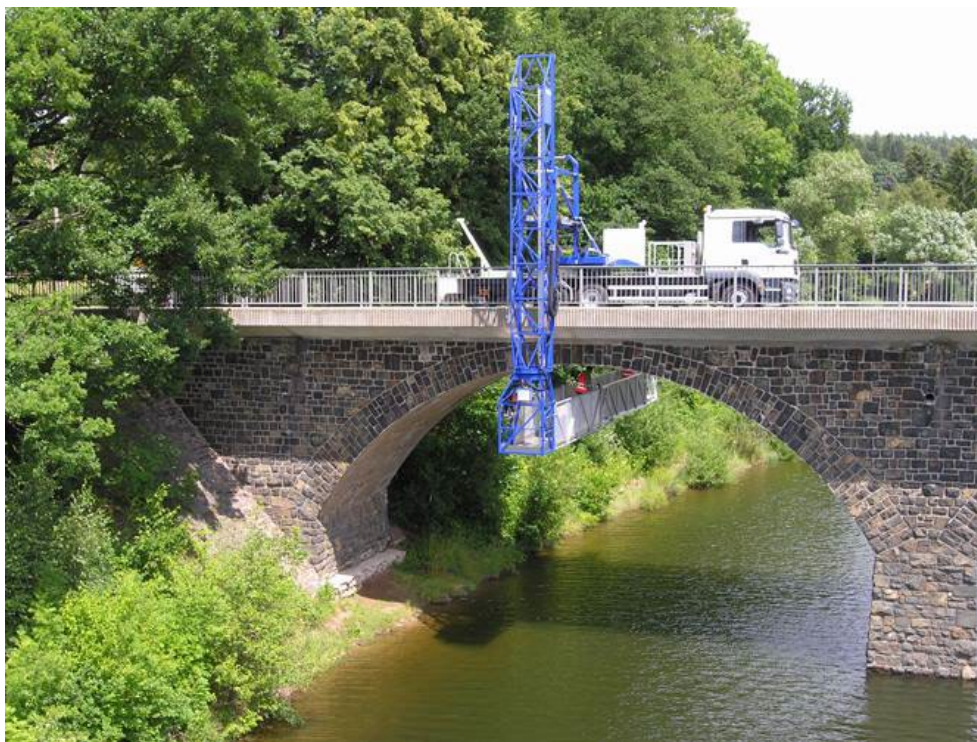
資料來源：<https://reurl.cc/pMQp94>

圖 2.9 履帶型橋梁檢測車



資料來源：<https://reurl.cc/pMQp94>

圖 2.10 船型橋梁檢測車



資料來源：<https://reurl.cc/W1pb9x>

圖 2.11 桁架式橋梁檢測車

由於橋梁結構樣式繁多，為能執行橋梁檢測作業，因此在檢測車的機構設計上，也會有不同的設計考量，如有特別適合鋼索橋結構的橋梁檢測車(如圖 2.12 所示)，或是可在路肩車道運行的橋梁檢測車(如圖 2.13 所示)。



資料來源：<https://reurl.cc/le3n9A>

圖 2.12 鋼索橋用吊籃式橋梁檢測車



資料來源：<https://reurl.cc/Qb8NLZ>

圖 2.13 適用於路肩車道用橋梁檢測車

除了從橋梁上方向下伸展的橋梁檢測車外，也有向上抬舉式的檢測車(如圖 2.14 所示)，亦稱為「高空作業車」，此類檢測車亦可用於路上設施(如燈桿、空中線路等)的維修作業。



資料來源：<https://reurl.cc/Qb8N4M>

圖 2.14 向上抬舉式橋梁檢測車

除前述的可移動式橋梁檢測設備外，亦有直接固定於橋梁上的桁架式檢測設備，通常適用於大型橋梁，於橋梁施工時便直接將其安裝在橋梁結構中，運行時只能在單一跨距間，因此，大型橋梁需要安裝多套設備。另外，亦有在橋梁兩側架設鋼索，將工作平台固在兩側的鋼索上(如圖 2.15 所示)。



資料來源：<https://reurl.cc/xQzeMe>

圖 2.15 鋼索滑輪式橋梁檢測設備

2.1.3 機器手臂型橋梁檢測設備

橋梁輔助檢測載具強調的是將檢測人員儘可能的運送到接近橋梁的地方，但此類檢測設備為了運作的穩定性，通常會需要相當大的作業空間，因此在進行橋梁檢測時，都會佔據至少一個車道。此外，並非所有的橋梁都適合這類大型的檢測設備，為解決此問題，日本 Zivil 調查設計株式會社(<https://www.zivil.co.jp/>)推出一款機械手臂型的橋梁檢測車(如圖 2.16 所示)，強調的是利用機械手臂掛載影像記錄設備及不同的感測設備，以記錄或拍攝橋梁的影像資料。Zivil 公司推出不同款的機械手臂型橋梁檢測車，可依需求選用不同的檢測車型，主要特色及功能介紹如下：



資料來源：<https://reurl.cc/MNnm0L>

圖 2.16 日本 Zivill 公司機械手臂型橋梁檢測車

1. Zivill 的機械手臂型橋梁檢測車總重約 2~3 噸，車寬約 1 公尺、車長約 3 公尺、車高約 2.3 公尺(機型不同略有差異)。垂直延伸臂下降深度可達 9 公尺，檢測臂最遠長度可達 7 公尺。
2. 以履帶取代輪胎，使用電力驅動行駛及控制設備作動，運送時利用其他車輛載送，待運送至待檢橋梁附近時，再由檢測車輛自行行駛(如圖 2.17 所示)。

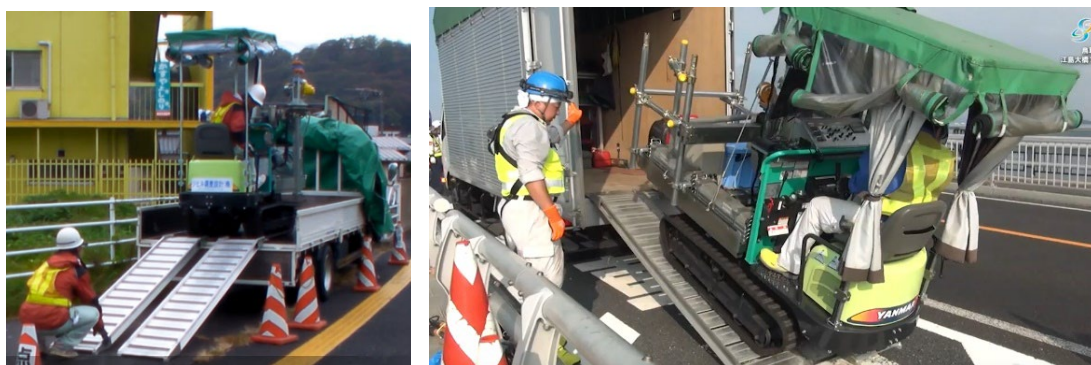


圖 2.17 Zivill 機械手臂型橋梁檢測車載送方式

3. 檢測臂以分段方式組立，彈性調整以符合作業需求(如圖 2.18、圖 2.19、圖 2.20 所示)，檢測用設備可直接在軌道中滑行調整檢測位置。由於須組立的構件多且重，一次組立作業約需 3~6 位作業人員(如圖 2.21 所示)。



圖 2.18 検測臂組立作業情形



圖 2.19 検測臂組立後情形



圖 2.20 水平延伸臂組立作業情形



圖 2.21 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車組立作業情形

4. 使用 4K 高解析度影像記錄設備(如圖 2.22 所示)、紅外線溫度攝影機(如圖 2.23 所示)，並利用 LED 燈協助補強光源(如圖 2.24 所示)。檢測時，影像記錄設備可在檢測桿中來回移動，並調整拍攝角度，以取得更完整的橋梁影像資料。



圖 2.22 4K 高解析度攝影機

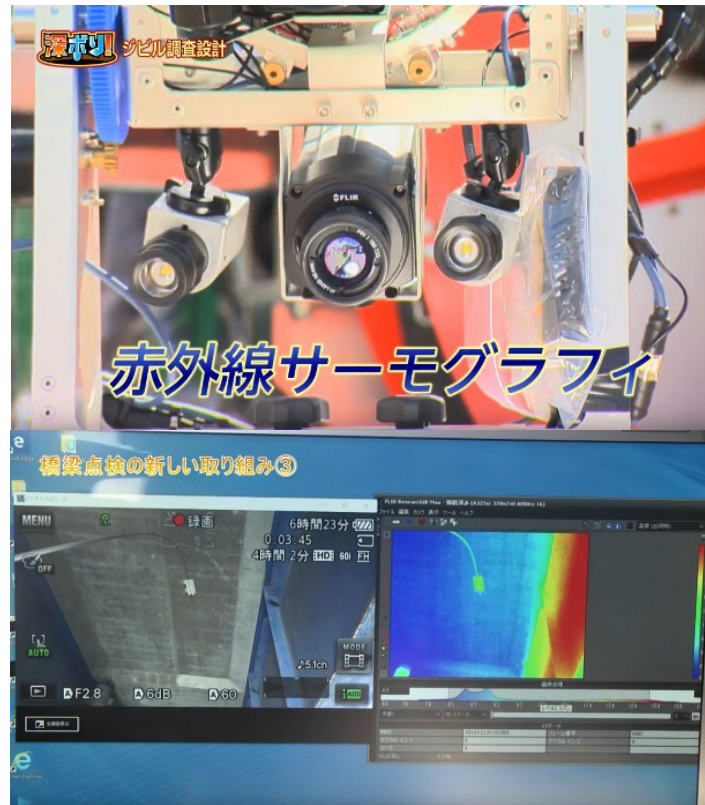


圖 2.23 紅外線溫度攝影機及其檢測情形



圖 2.24 LED 燈照明

5. 利用裂縫尺規量測裂縫大小(如圖 2.25 所示)，若橋梁結構中有髒污時，可利用高壓水注進行清洗(如圖 2.26 所示)。對於橋梁結構中的縫隙，可利用延伸設備將鏡頭伸入縫隙中進行檢查(如圖 2.27 所示)。必要時也可以利用敲擊回音法進行檢測作業(如圖 2.28 所示)。

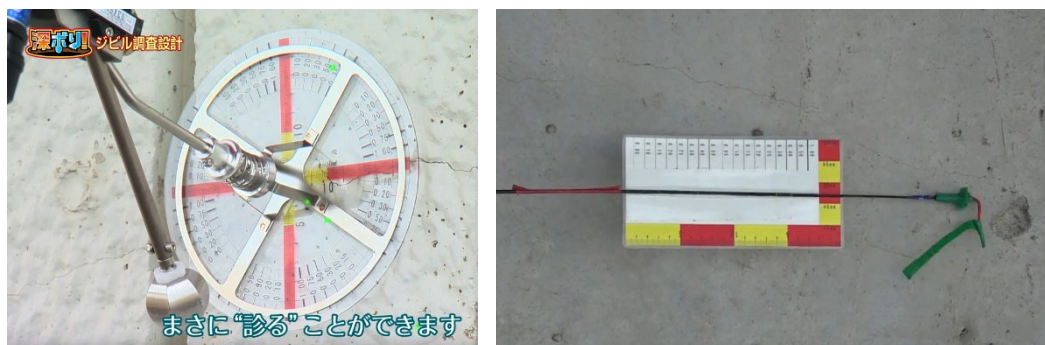


図 2.25 裂縫尺規



図 2.26 高圧水柱清除髒汚



図 2.27 縫隙検査設備



圖 2.28 敲擊回音法檢測

6. 在完成設備組立後，垂直延伸臂可依橋梁狀況，調整臂長進行檢測 (如圖 2.29、圖 2.30 所示)，檢測過程中可透過控制台裡的顯示螢幕 (如圖 2.31 所示)，隨時檢視橋梁情形。



圖 2.29 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車實際作業情形(一)



圖 2.30 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車實際作業情形(二)



圖 2.31 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車控制台作業情形

7. 檢測後的影像，由內部作業人員進行更詳細的判讀與缺失標記(如圖 2.32、圖 2.33 所示)。

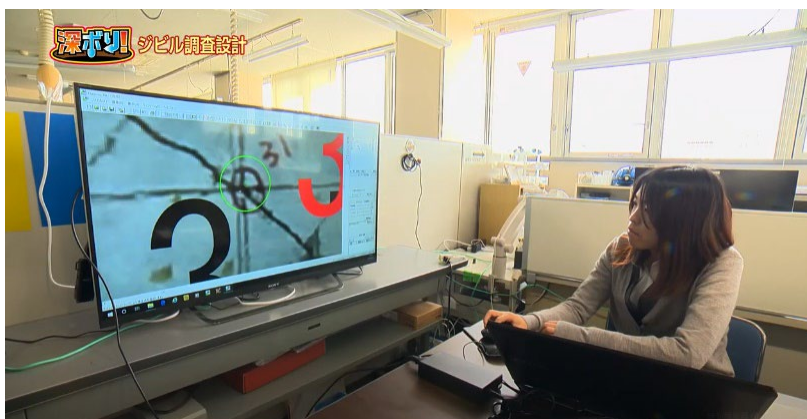


圖 2.32 拍攝後影像由專業人員進行判讀及標示

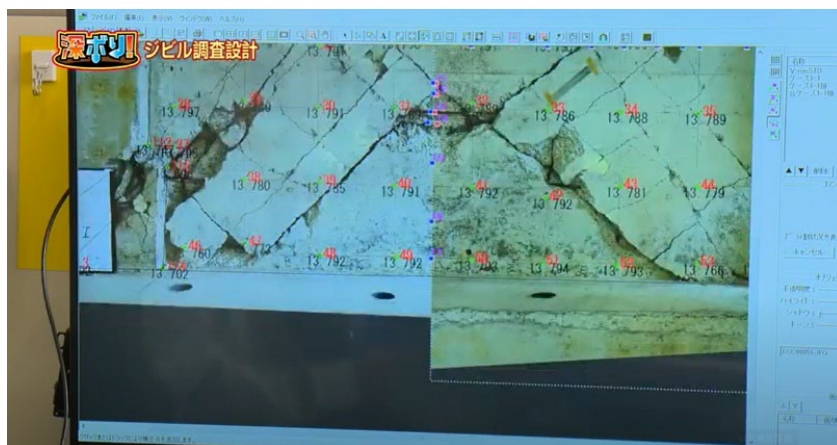


圖 2.33 標示後的橋梁缺失影像資料

本所「交通設施營運維護效能提昇計畫-橋梁檢測機械手臂研發進階計畫」^[5]，曾嘗試使用機械手臂進行橋梁檢測，當時的設計是 3.5 公噸的小型貨車做為機械手臂的載具，採 3 臂式機械手臂，附載 2 個紅外線 CCD 攝影機(如圖 2.34 所示)，拍攝並將影像同步傳輸給檢測人員，以輔助目前檢測人員直接深入橋面下方執行目測的方式。機械手臂檢測範圍以單邊檢測時可達 6~7.5 公尺為目標，來回雙向各進行 1 次，則可檢測橋面寬度 12~15 公尺之橋梁。

當時的設計是利用「力有機械」的 LY3A 油壓吊桿吊掛整個檢測設備，第 2 臂的最大下降高度為 4.5 公尺，第 3 臂最大伸長長度為 6 公尺，吊臂總重量為 11.83 公斤。



圖 2.34 機械手臂實機操作畫面

2.1.4 無人載具橋梁檢測設備

可應用在橋梁檢測的無人載具包含：無人航空載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)、遙控船艇(Unmanned Surface Vessel, USV)、遙控潛艇、仿生機器人等，尤其是 UAV 是目前最受矚目的檢測用設備。UAV 檢測設備可區分為「定翼型」、「單旋翼型」及「多旋翼型」三大類。

1. 定翼型 UAV

擁有一對如一般飛機般的機翼，當馬達產生推力後，透過機翼角度及攻角的調整來產生升力，或保持飛行高度，因此定翼型 UAV 可擁有更快的飛行速度、續航時間、更遠的飛行距離。但在進行橋梁檢測時，會需要定點觀看某一橋梁構件的影像，需要停留在某一位置，故此類 UAV 並不適合應用在橋梁檢測作業中。



資料來源：<https://reurl.cc/kEGjyL>

圖 2.35 定翼型 UAV

2. 單旋翼型 UAV

如同直升機般的造型，在頂部有一片螺旋槳，靠著螺旋槳的旋轉而帶動飛行，如同直升機的運作一般，具有自主停懸、速率控制及導航飛行的功能。但因為頂部配置螺旋槳的關係，攝影鏡頭只能固定在下方，並不適用於橋梁檢測作業需求。



資料來源：<https://reurl.cc/9pgYWx>

圖 2.36 單旋翼型 UAV

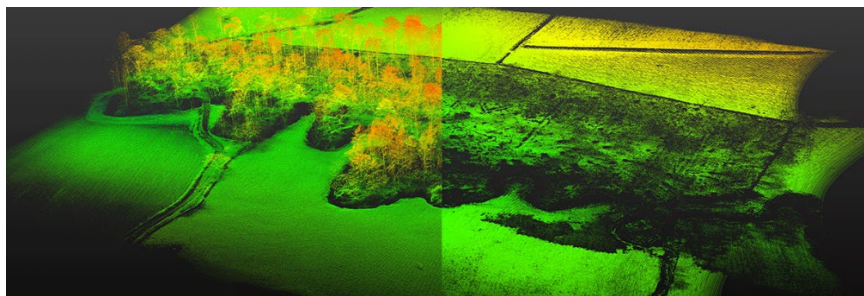
3. 多旋翼型 UAV

多旋翼型 UAV 為目前最主流的 UAV，其由多個旋翼所組成(可區分為三軸、四軸、六軸及八軸)(如圖 2.37 所示)，具有垂直起降、高機動性、高穩定性等功能，可在頂部、下方或前方裝載搭配雲台的攝影機或是單眼相機，進行不同旋轉軸向的轉動與自動補償功能，而且可以更貼近目標物以拍攝更清晰的影像。除了搭載影像記錄設備外，亦可配備其他檢測設備(如光達，稱 UAV Lidar)，進行更多應用的掃描(如圖 2.38 所示)。



資料來源：<https://reurl.cc/4p27k2>

圖 2.37 Parrot 四軸旋翼型 UAV



資料來源：<https://reurl.cc/Qb8AWb>

圖 2.38 以 UAV Lidar 建立 DTM

使用 UAV 進行橋梁檢測時，常用搭配使用高解析度相機，以取得清晰的橋梁影像。但是當相機的解析度越高時，重量也會隨之增加，此時採用的 UAV 則須有更大的酬載力，將會縮短可工作的飛行時間。若希望增加作業時間，則得想辦法讓 UAV 盡可能的接近橋梁，而又得保護 UAV 免受損壞，因此也發展出不同類型的 UAV。

4. 具防護罩型 UAV

為避免 UAV 深入橋梁內部後發生碰撞造成損壞，因此有廠商設計推出 UAV 專屬的防護罩(如圖 2.39 所示)，採碳纖維製造，有效減低 UAV 的負重，避免犧牲 UAV 的續航力。



資料來源：<https://reurl.cc/MNn5om>

圖 2.39 DJI Phantom 4 用碳纖維防護罩

5. 貼附移動型 UAV

利用不同螺旋槳的設計，還可以讓 UAV 貼附在橋梁底部行走(如圖 2.40 所示)，此款 UAV 還具備敲擊測試及攝影功能(如圖 2.41 所示)。

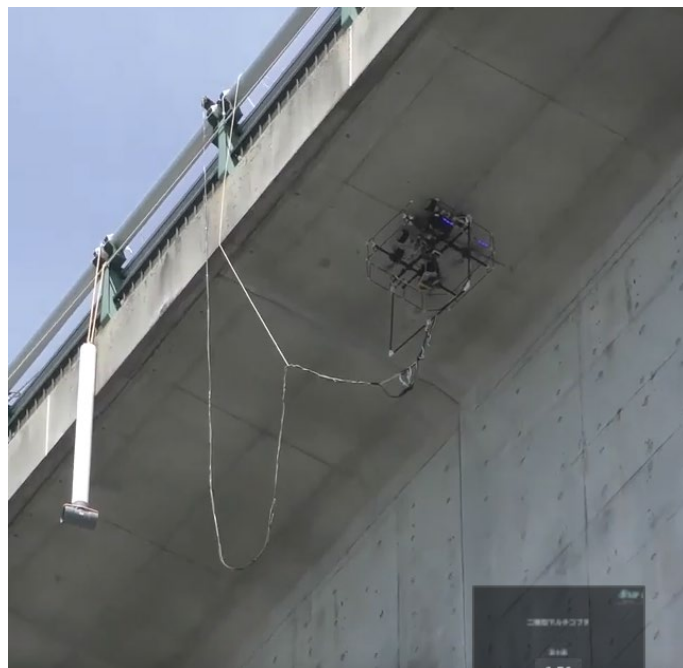


圖 2.40 具防護功能並可貼附於橋梁面之 UAV

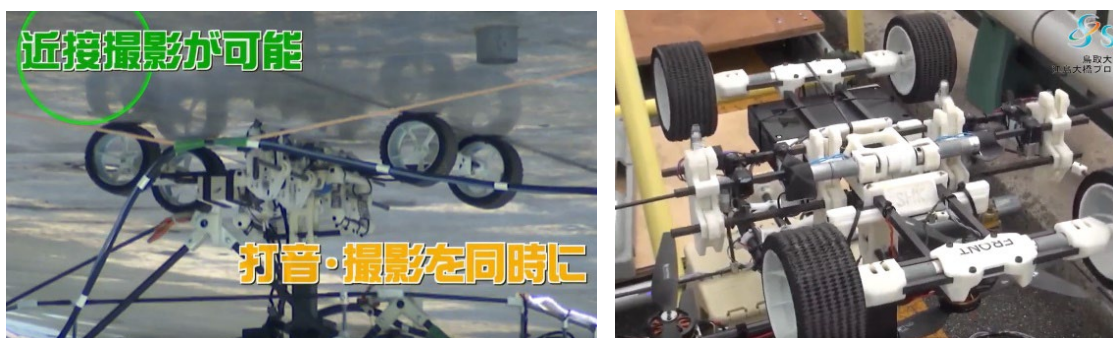


圖 2.41 具敲擊測試及攝影功能之 UAV

6. 攀爬行走型 UAV

除貼附橋梁底部之 UAV 外，也有可直接沿著橋柱垂直行走的 UAV(如圖 2.42、圖 2.43 所示)。

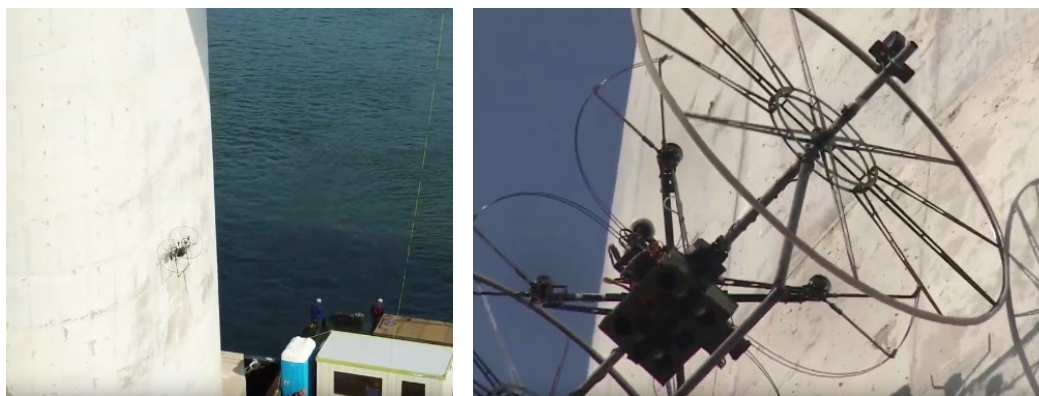
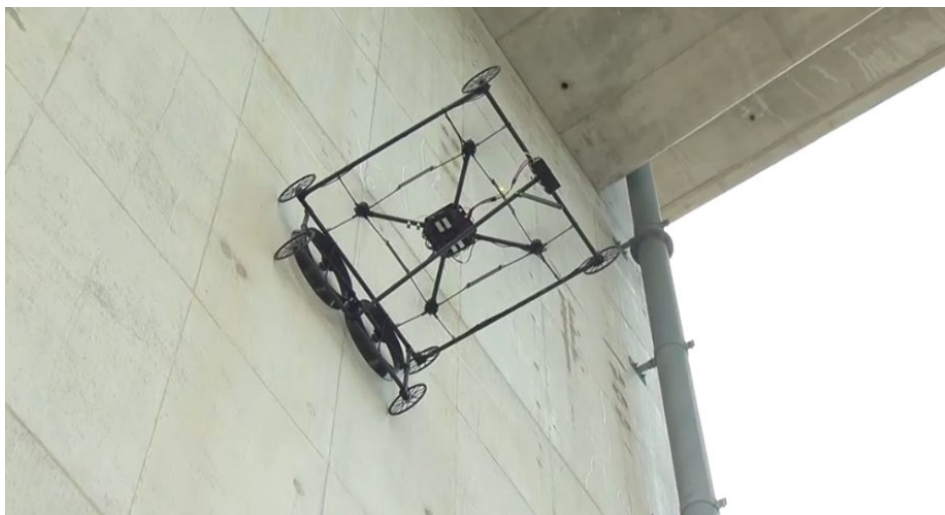


圖 2.42 具垂直攀爬功能之 UAV



資料來源：<https://bit.ly/2TVybug>

圖 2.43 水平與垂直兩用 UAV

另外，為檢測橋梁特定構件，也有外形增加輪圈功能之小型 UAV，可於橋梁構件中行走(如圖 2.44 所示)。



圖 2.44 可於特定橋梁構件中行走之 UAV

除可在天空中飛行的 UAV 外，還有可在河面上行駛的遙控船艇，及可在水面下使用的遙控潛艇。尤其是橋梁基樁長期受到河水沖刷，亦可能造成橋梁受損。為能確保橋梁檢測人員的安全，美國密西根州交通運輸部門(Michigan Department of Transportation, MDOT)開發出名為 Sonar EMILY(Emergency Integrated LanYard)的遙控船艇(如圖 2.45 所示)，除了搭載聲納可探測水底下的橋梁情形外，頂部還配備有 360 度的攝影機，可對橋梁下部結構周圍進行掃描。



資料來源：<https://reurl.cc/0XYrZ9>

圖 2.45 Sonar EMILY

2.1.5 橋梁檢測設備應用小結

針對本節所整理可應用於橋梁檢測之設備，其應用情境及優缺點整理如表 2-1 所示。

表2-1 橋梁檢測設備評估

檢測設備	應用情境	優點	缺點
長桿	由橋梁檢測人員手持長桿盡可能接近橋梁構造，尾端以裝設攝影機為主，亦可搭配特定的檢測設備。	使用簡便，可快速針對特定點的橋梁構造進行檢測。	1.以手持為主，考量操作人員手握支撐力，通常垂直桿件及水平桿件不會太長。 2.以特定點之檢測為主，沒辦法做大範圍的檢測。
橋梁檢測車(船)	將橋梁檢測人員送至橋梁底下，進行相關檢測作業，可目視或是使用檢測設備做輔助檢測。	由橋梁檢測人員直接做檢測，正確性高且完整。	1.作業成本高，且需要佔用較大的作業空間，對車流影響大。 2.若為檢測船，需有可航行的河道，目前國內使用需求低。
機器手臂檢測設備	將檢測設備安裝在機器手臂中，再將機器手臂推送至橋梁底部進行檢測，以拍攝橋梁底部各構件之影像為主。日本 Zivill 公司的檢測設備還可安裝不同的檢測設備，以輔助進行橋梁檢測作業。	佔用的作業空間小，以影像拍攝為主，後續再供橋梁檢測人員做判定。部份設備可搭載特定的輔助檢測設備，有助於橋梁檢測作業。	國內未有完整的機器手臂檢測設備，須自日本引進，但日本設備商僅租不賣，國內需自行發展相關檢測技術。
無人飛行載具 (UAV)	將 UAV 控制飛行於橋梁底部進行橋梁結構拍照，再提供橋梁檢測人員進行分析判讀。	1.可應用在大部份橋梁檢測工作，檢測成本較橋梁檢測車低，尤其可解決部份橋梁(尤其是大型橋梁)檢測車無法抵達之問題。 2.搭載光達設備，可快速建構橋梁模型，有助於橋梁檢測工作之進行。	1.橋梁底部需有一定的淨高，且需考量可能有瞬間陣風之影響。 2.拍攝後的大量影像，需要有自動化工具協助拼接。 3.可能會有橋下定位問題，需藉助其他的輔助定位工具。
遙控船艇	主要搭載聲納以探測水底下的橋梁情形為主，頂部可配備 360 度攝影機協助進行橋梁影像拍攝。	可應用在人員無法潛入水底或具危險性之橋墩檢測作業。	1.不易控制船艇行駛方向 2.若在非視線範圍內有障礙物，易造成設備損毀。

2.2 新興科技與橋檢工作之整合探討

2.2.1 微定位

在討論定位時，最常提及的非「全球衛星定位系統」(Global Positioning System, GPS)莫屬。GPS 是透過接收到的衛星訊號，以計算出接收器所在之位置，一般可區分為軍用及民用。軍用精度可達公分級，而民用精度約為 5~20 公尺(需視訊號狀況而定)。但 GPS 使用時可能受到外在環境的干擾而影響精度，如水泥實體障礙(如高樓大廈、橋梁、室內建築等)、濃密樹林或金屬物質屏蔽、高壓電塔……等等。尤其要應用於室內定位時，則得靠室內定位技術。同樣，若要定位橋梁缺失位置，以 GPS 所提供之定位精度，並無法滿足需求，也僅能考慮室內定位技術帶來的協助。

室內定位最早是以偵測 Wi-Fi 訊號之強度進行判斷，但 Wi-Fi 定位存在精度不佳、設備安裝複雜、得定時進行訊號校正、終端過於耗電等問題。近年來眾多無線訊號技術相繼出現，如藍牙、紅外線、RFID、ZigBee、超寬頻(Ultra Wide Band, UWB)、超聲波、飛行時間測距法(Time of Flight, ToF)等室內定位技術。其中精準度最高的為 UWB 技術可達公分級，並應用於室內無人機的飛行控制。

早期的一些無線訊號(如藍牙、Wi-Fi)雖可提供室內定位服務，但此類定位通常只能偵測訊號發射器位於某個圓形範圍內，而無法準確的獲知傳入訊號的方向。但在最新發展的微定位技術中，希望能提供更高精度的定位，甚至達到誤差 1 公尺以內的公分級精度。如 108 年藍牙技術聯盟公布的藍牙 5.1 核心規範，加入了可應用於定向的「測向功能」(Direction Finding)，傳入訊號的角度資訊將方向性納入考量，透過藍牙 5.1 規範中的「到達角」(Angle of Arrival, AoA)或「出發角」(Angle of Departure, AoD)，再結合「接收訊號強度指示」(Received Signal Strength Indication, RSSI)從訊號源的強弱，推算出物件距離，以達到微定位之目的。^[6、7]

UWB 是一種具備低耗電與高速傳輸的無線個人區域網路通訊技術，它不採用連續的正弦波，而是利用脈波訊號來傳送資料^[8]。也就是說，UWB 並非使用訊號強度來進行判斷，而是使用訊號從發射器到接收器所花費的傳播時間，亦即「飛行時間」(Time to Fly, ToF)來估算距離，甚至可達到 10 公分等級的精度^[7]。

針對常見的定位技術比較整理如表 2-2 所示，綜合精準度、耗電量、建置成本、行動設備結合度等比較項目，「藍牙」應該是目前室內定位較佳之技術。

表2-2 定位技術比較^[9]

	藍牙	紅外線/雷射	RFID	Wi-Fi	ZigBee	UWB
頻率	2.4G	無	125K/數百公尺	2.4G	2.4G	3-10G
精準度	***** (公分)	***** (公分)	*** (公尺)	*** (公尺)	*** (公尺)	***** (公分)
耗電量	*	***	**	****	*	*****
成本 (\$/100m ²)	** US\$5-10K	** US\$5-10K	*** US\$10-15K	*** US\$10-15K	*** US\$10-15K	***** >US\$20K
穿透性	***	*	**	***	***	*****
行動設備 結合度	*****	*	***	*****	*	*
缺點	軟體校正	•直接引導 •易遮蔽 •僅機器用	•距離極短 •傳輸量低	•施工複雜 •耗電量高	•易受干擾 •耗電量高	•價格極高 •施工複雜 •耗電量高

2.2.2 AI 於橋梁檢測之應用

目前臺灣橋梁的定期檢測是以直接目視檢測為主，對於發現的裂縫須由檢測人員將裂縫尺貼於裂縫上再進行量測，雖裂縫尺最小精度可達 0.05mm，但當人眼進行判釋時仍會存在一定的誤差。

為解決人為判釋上可能存在的問題，近幾年已開始大量運用「深度學習」(Deep Learning, DL)透過特定方式進行特徵擷取，再選擇合適之神經網路架構進行訓練。對於「人工智慧」(Artificial Intelligence, AI)、「機器學習」(Machine Learning, ML)、「深度學習」(Deep Learning, DL)的差別如圖 2.46 所示。簡單來說，AI 是透過電腦模仿人類思考

方式進而模擬人類的能力或行為；ML 是從大量資料中建立學習模型；DP 則是利用多層的神經網路學習建立資料表徵。

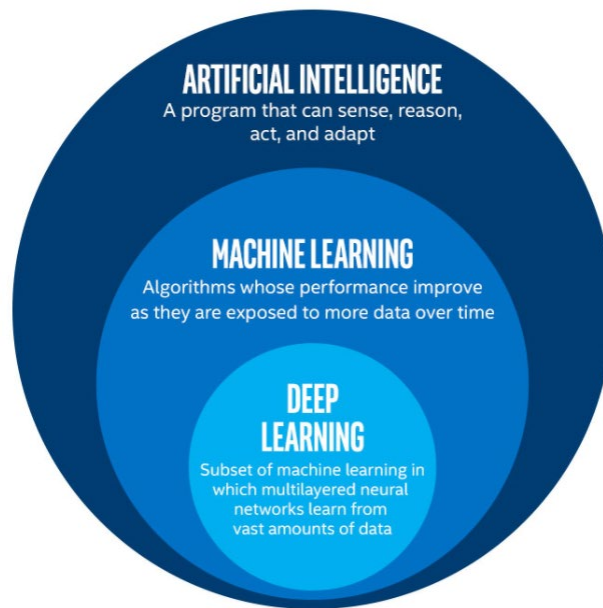


圖 2.46 AI、ML、DP 的差異

在深度學習中目前常用的深度學習類神經網路結構，主流的作法有 CNN(Convolutional Neural Network, 卷積神經網路)、RNN(Recurrent Neural Network, 循環神經網路)及 GAN(Generative Adversarial Network, 生成式對抗網路)。

在進行深度學習訓練前，須先針對訓練標的(如混凝土裂縫)由人工進行標記作業，此標記作業是深度學習訓練過程中最耗費時間及人力之工作。標記人員先利用滑鼠將劣化區域(混凝土裂縫)輪廓框選出來(如圖 2.47 所示)，並將標記出來的劣化區域進行歸類，如可命名為「裂縫」(Crack)。標記過程中，須針對取得的樣本資料進行標記，標記越完整，後續辨識的正確率及成功率會更高。待完成標記作業後，即可進行後續的訓練工作。

在泰國也有橋梁檢測人工智慧影像辨識研究，利用卷積神經網路以深度學習方式進行劣化區域之偵測，包含裂縫、剝落、鏽蝕與污漬之辨識(如圖 2.49 所示)。在該研究中，對於影像的資料分類以拍攝距離分成三大類：近距離(小於 3 公尺)、中距離(3-8 公尺)及遠距離(8 公尺以上)。以包含劣化的中距離影像做為訓練資料，最終可達到 89% 的辨識準確率^[12]。



圖 2.49 鋼筋鏽蝕及混凝土污漬辨識結果

從各研究結果中發現，將人工智慧導入橋梁檢測作業，可提升橋檢人員的作業效率，並確保檢測分析結果之品質，若能再建立更完善的標準作業程序，未來或許有機會逐漸取代人工辨識之工作，邁向智慧橋梁檢測之時代。

2.2.3 影像拼接

影像拼接(Image Stitching)是指將兩張或是更多張有重疊部份之影像，拼接成一張全景圖或是高解析度影像的技術。在進行影像拼接時有兩大關鍵技術：影像對準(Image Alignment)和影像混合(Image Blending)。為能有更好的拼接結果，影像要有同樣的投影中心，且影像重疊部份不宜太少或太多。重疊部份太少，會讓對準變得困難，重疊太多則會讓混合後的影像產生更多的瑕疵或失真，適當的重疊範圍為 15-30 度^[13]。

早期的影像拼接都得由研究人員自行撰寫拼接程式，現今已有許多套裝軟體可快速進行影像拼接作業，以下針對部份套裝軟體進行介紹。

1. Image Composite Editor(ICE)^[14]

此套工具是由微軟公司所推出的免費全景影像拼接軟體，可以將一堆彼此重疊的照片自動拼接成一張高解析度的全景影像。拼接後的影像可直接儲存成常用的 JPEG、JPEG XR、Photoshop、TIFF、BMP、PNG 和 Silverlight Deep Zoom，也可透過微軟的 Photosynth 平台提供 3D 瀏覽效果。該軟體沒有使用的圖片大小限制，還可以從動態影片中直接產生全景影像，支援的動態影像格式包括 MOV、AVI 或 MP4。

2. Hugin^[15]

Hugin 也是一套很簡便的環景影像拼接工具，只要載入欲進行拼接的照片後，設定鏡頭類型(可選擇直線、圓柱、全幀魚眼或是立體等不同的呈現方式)，再調整版面的縮放比例，可視需求手動移動拖曳照片的位置，完全編輯後即可創建全景圖片。

3. WidsMob Panorama^[16]

WidsMob Panorama 是一套相當容易使用的全景圖片拼接軟體，可以將照片組合成垂直、水平、360 度或是平鋪的全景圖。更提供許多照片調整功能，如手動對齊拼接點、手動調整混合功能、飽合度及對比度調整等。而且支援數百種相機類型，可透過各款相機內建之參數，提供最佳的調整參數。

4. Photo Stitcher^[17]

是一款可以將多張照片以垂直或是水平方式進行拼接的軟體，支援 Windows 和 MacOS 系統，另提供 Android 及 iOS 系統的 App，可讓使用者直接在手機中進行圖片的拼接處理。

2.2.4 新興科技應用於橋梁檢測小結

新興科技導入橋梁檢測作業，是為能加快橋梁檢測作業，尤其是當有大量橋梁影像時，如果自海量影像中篩選出有問題的橋梁影像，

對於本小節中所介紹的新興科技應用於橋梁檢測之綜整性說明整理如表 2-3 所示。

表 2-3 新興科技應用於橋梁檢測

新興科技	應用情境	優點	缺點
微定位	進行橋梁檢測作業時，當無法取得正確及穩定的 GPS 訊號，或是需要更精準的定位時，可以藉由微定位解決定位問題。	可輔助 GPS 定位之不足，或是提供更精準的定位。	須額外進行佈標，會增加額外的建置成本及橋梁檢測前置作業準備時間。
AI 辨識	當檢測設備拍攝回海量之橋梁影像資料時，無法單靠人力進行影像辨識，需要有更快速及準確的辨識輔助工具，AI 絕對是現階段的首選。	利用訓練好的影像樣本，可快速的自海量的橋梁影像中，辨識出符合標的的橋梁缺失影像，可大幅減輕人員逐幅辨識之工作量。	需要足夠的缺失影像訓練樣本，方可提高辨識的精確度。也得不斷的依據取得的缺失影像資料，進行 AI 模型訓練，方可應付實際作業需求。
影像拼接	當檢測設備拍攝回海量之橋梁影像資料時，無法快速辨識影像所屬之橋梁位置，若能組合成完整之影像，亦有助於橋梁檢測人員進行辨識。	可快速從海量的橋梁影像中，拼接出完整的一幀橋梁影像，有助於辨識缺失的位置。	須建立影像拍攝流程，且影像間需要足夠的重疊範圍，方能進行完整的拼接。

2.3 不同檢測環境下之適應性能評估

每座橋梁所處的環境不同，橋梁的設計也不盡相同，因此在進行橋梁檢測作業時，所選用的橋梁檢測備也要有不同的考量。最常見的吊籃式橋梁檢測車(如圖 2.50 所示)只要車道夠寬，基本上可針對大部份的橋梁進行檢測。但如果需要將吊籃往下做長距離的延伸，則得選用多節展臂型的吊籃式橋梁檢測車(如圖 2.51 所示)，但如果是針對鋼索橋時，所選用的吊籃式橋梁檢測車亦有所不同(如圖 2.12 所示)。

而如果要進行鐵道橋梁檢測時，在兼顧檢測設備的運輸便利性，且能夠在軌道上行走，則得選用具軌道行走功能的橋梁檢測車(如圖 2.8 所示)。當前往待檢橋梁的路線為崎嶇不平的道路時，可選用履帶

型橋梁檢測車(如圖 2.9 所示)。



圖 2.50 吊籃式橋梁檢測車



資料來源：<https://reurl.cc/rRN74y>

圖 2.51 多節展臂吊籃式橋梁檢測車

前述依使用環境所使用的橋梁檢測設備，係依其適應能力進行選擇。在進行橋梁檢測設備開發時，亦得先針對設定的使用情境進行評估。本計畫針對感潮河段所開發的橋梁檢測設備，其適用的橋梁環境狀況包括：

1. 橋梁底部與河面接近

因為橋梁底部與河面相當接近，甚至有可能會泡在水裡(如圖 2.52 所示)，因此橋梁檢測設備須具備「防水」功能，尤其是線路的部份，也須避免進水而造成線路短路。另外鏡頭用的防護罩，也需要具備「撥水」功能，避免水花停留在防護罩上，影響到梁底影像拍攝品質。



圖 2.52 梁底與河面相當接近

2. 橋梁底部有雜物且光線不足

河川可能因為淤積而生長植物(如圖 2.53 所示)，且因為梁底非常接近河川而造成光線不足，為此在進行橋檢設備開發時，得考量設備碰撞到障礙物時，須有一定的耐受性，不會因為輕微碰撞而損毀。但梁底也可能存在大型異物(如圖 2.54 所示)，此時則得考量如何發現異物，進來避開障礙物。考量梁底光線不足，須有補光設備提供拍攝時必要之光源。



圖 2.53 梁底附近植物叢生



圖 2.54 梁底有異物

3. 橋梁外側附掛物與路燈

在橋梁外側常會有附掛一些管線(如水管、瓦斯等)，甚至橋側還設置有路燈(如圖 2.55 所示)。因此在檢測設備的設計上，B 桿延伸臂需有足夠的長度可跨越橋梁外側的附掛物。對於路燈的部份，

考量機構設計之強度，且從國外橋梁檢測設備的設計經驗中發現，當進行橋梁檢測碰到路燈時，都是先將設備回收，移過路燈後再重新施放設備。因此設備的設計最好能具備快收、快放之功能。

另外，部份橋梁旁的管線設施並非緊鄰橋梁(如圖 2.56 所示)，甚至上方可能會有其他線路(如電線)，因此橋梁檢測設備設計時，須考量所需的操作空間。



圖 2.55 橋梁外側附掛物及路燈



圖 2.56 橋梁旁的管線設施及上方的電線

4. 梁底立體構造

每座橋梁底部之設計不盡相同，有些橋梁底部有其立體構造(如圖 2.57 所示)，因此檢測設備上的影像拍攝設備，最好能進行調整，以拍攝不同方位之梁底結構。



圖 2.57 梁底立體構造

5. 橋梁有兩側人行道

部份橋梁會在兩側設置人行道(如圖 2.58 所示)，因此橋梁檢測設備須考量可在人行道上操作，其設備寬度的設計須特別考量。



圖 2.58 橋梁兩側設人行道

第三章 感潮河段橋梁檢測設備之發展歷程

感潮河段橋梁檢測設備的開發，本所從 106 年開始執行的「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」^[18]研究計畫中，構想開發一組輕便易攜帶的橋梁檢測機構，總重量限制在 30 公斤以下，且可以很容易的固定在車頂架上，當檢測設備載運到要檢測的橋梁後，可以很容易的將檢測機構展開進行橋梁檢測作業，因此命名為「車載型橋梁檢測設備」。

106 年完成雛型開發實測後，所獲得之具體成果及發現一些實務應用上的問題，整理如下：

1. 驗證設計想法之可行性，的確可清晰回傳橋梁底部影像，有助於判讀是否有裂縫或其他橋梁損壞問題。
2. 設備無法直接使用廂型車載送，需要使用貨車載送，與當初之規劃設計有所出入。
3. 設備組立需要 3-4 人，且需耗時約 30 分鐘，且需要至少 3 人才可進行操作。
4. 需要使用頂立架協助支撐分擔 A 桿之受力，但卻造成無法移動前進之問題。
5. 橋梁底部的 C 桿僅有 4 公尺，只能檢測單向一車道之橋梁，應用性有限。
6. 部份橋梁外側會有人行道，可能會造成檢測設備無法靠近護欄，間接影響可檢測的橋梁寬度。

雖然「車載型橋梁檢測設備」仍有許多待解之問題，但至少可初步驗證此方向具可行性，後續再就發現的問題進行精進。

108 年執行的「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」^[19]研究計畫，主要是針對前一期發現的問題進行精進改善，改善之具體成果與發現之問題包括：

1. 以「推車」為設計主軸，將所有檢測設備整合並搭載於推車上，開發出「推車型橋梁檢測設備」。為能於人行道上使用，設備之寬度為 80 公分、長度 90 公分、高度 100 公分。
2. 使用 1.8 噸小貨車進行設備載送，到檢測橋梁附近後，卸下檢測設備後，即可推送至待檢橋梁進行檢測。
3. 使用插銷進行固定，只需要 1 個人 1 分鐘就可完成設備組立。
4. C 桿可伸長至 7 公尺，可應用於雙車道橋梁之檢測，更具實用價值。
5. C 桿使用海釣桿進行改造，尾端變形量明顯，且移動時攝影機晃動嚴重。
6. 橋梁底部可能會有光線不足問題，需要增加補光功能。

整體而言，設備組立時間及設備操作便利性已大幅提升，雖然檢測桿的長度大幅提升，但穩定度仍不足，無法取回清晰之梁底影像。後續可就檢測桿的穩定性再持續進行改善，以取回清晰的梁底影像。

110 年執行的「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」^[20]研究計畫中，透過模擬分析決定以碳纖維管取代海釣桿，並以多層套節的方式，延長檢測桿之長度，精進後的具體成果及問題整理如下：

1. 採用訂製的碳纖維管後，檢測桿完全伸展可達 7.1 公尺，且尾端的變形量約為 11.8 公分，已較前期使用的海釣桿大幅縮短。
2. 但由於組立後的碳纖維管重量增加，為避免檢測設備轉動時造成翻覆，除增加推車的配重外，也改變原本的轉動機制。檢測 A、B 桿就定位後，檢測桿從原本的轉動 90 度(如圖 3.1 所示)，增加為轉動 180 度(如圖 3.2 所示)。
3. 調整後的轉動機制需要有 6 公尺的淨空空域，但實際上橋梁旁邊可能會有電線或纜線，因此在操作上會產生新的問題。
4. C 桿鋼性增加後，拍攝設備的穩定度也大幅提升，且增加光源補光後，可拍攝到更清晰的橋梁底部影像。
5. 因為檢測桿件的重量大幅增加，需要提高馬達扭力，當未設防呆機制時，實測時曾造成 C 桿掉落河床的問題。
6. 且組立的時間約需 20 分鐘，且需要 3 個人才能順利組裝。

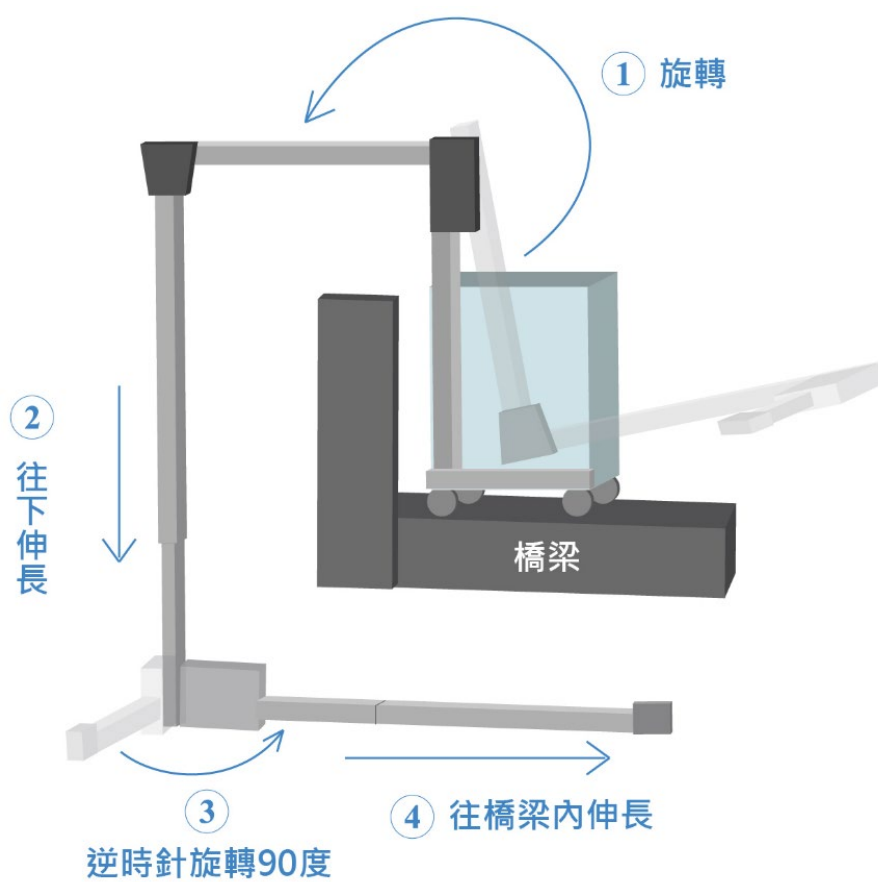


圖 3.1 第一代推車型橋梁檢測設備運作示意圖

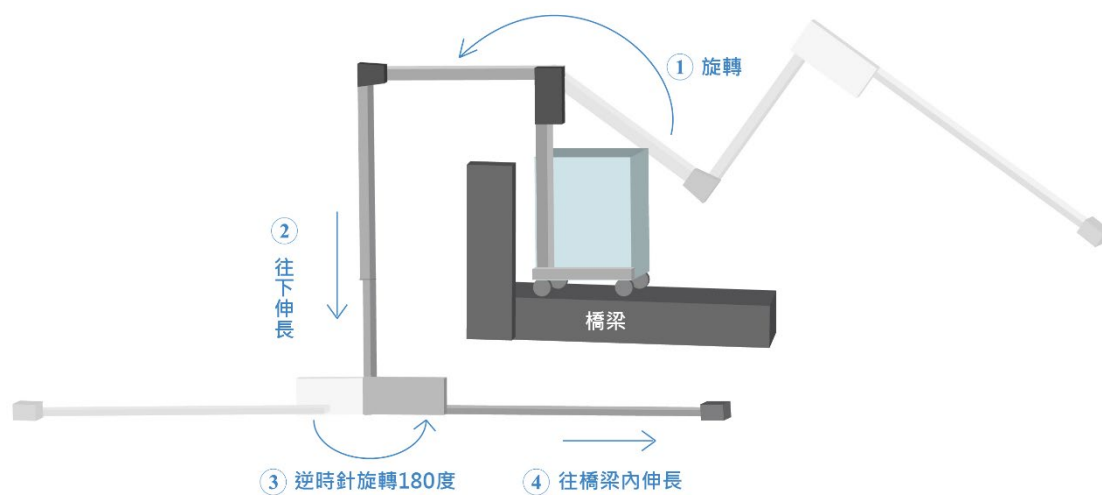


圖 3.2 第二代橋梁檢測設備運作示意圖

3.1 設備載具之設計演進

106 年進行橋梁梁底檢測設備雛型設備開發時，設想能否善用橋梁檢測之單位(如工務段或工程顧問公司)常見的廂型車做為檢測設備的載具，雖然有不同的車型，但如果只需更換車頂架，就可以隨時帶著檢測設備走，到了待檢橋梁後，同車的人員便可快速進行設備組立與檢測(期望的成果如圖 3.3 所示)，應該可以帶來相當大的便利性。因此雛型系統的開發便以廂型車為載具進行設計。



圖 3.3 以廂型車為載具的橋檢設備

但完成組立後發現以下問題，因而得進行精進。

1. 垂直桿(B 桿)設計的長度為 4 公尺，超過車身長度，依據道路交通安全規劃無法上路，因此需要另外安裝載送車輛。
2. 檢測用桿件使用鋁擠型管，因鋼性不足，當設備固定於車頂時，車輛行駛過程中會因為晃動而造成檢測桿件彎曲變形。
3. 若橋梁設有人行道時，檢測車輛將無法靠近護欄，將縮短 C 桿的可檢測工作長度。

延續 106 年的開發經驗，並參考日本 Zivil 公司的機械手臂型橋梁檢測車載送方式，並希望能在橋梁側的人行道上進行操作，因此重新進行載具設計。依據「市區道路及附屬工程設計標準」^[21]第 16 條第一款所述：人行道寬度依行人交通量決定，其供人行之淨寬不得小於 1.5 公尺。但道路寬度 12 公尺以下者，其淨寬不得小於 1.2 公尺，如受限於

道路現況，經該管主管機關同意者，其淨寬不得小於 0.9 公尺。

因此在 108 年改用鋁擠型管進行組立，最終設計出來的載具寬度為 80 公分、長度 90 公分、高度 100 公分(如圖 3.4 所示)。底部內除可放置電池(設備供電及配重)，亦可放置三角椎等檢測用具(如圖 3.5 所示)。基座側面則可固定各類控制器及線路(如圖 3.6 所示)，推車頂部則可放置操作用控制面板(如圖 3.7 所示)。另外，推車有一側設置較高的支柱，高過橋梁護欄並可當做支撐架，並與 A、B 桿進行連結，C 桿則到待測橋梁附近後再進行組立。



圖 3.4 鋁擠型推車載具雛型

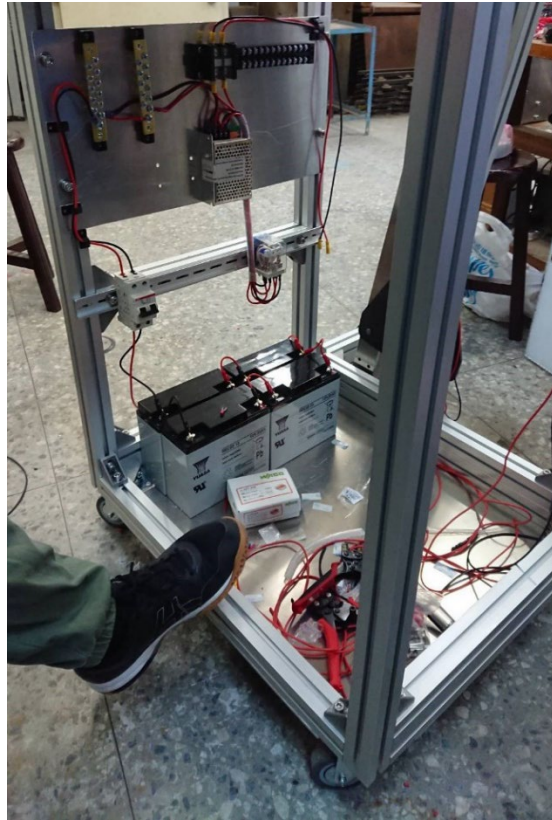


圖 3.5 基座配重



圖 3.6 基座側邊配置控制器與線路

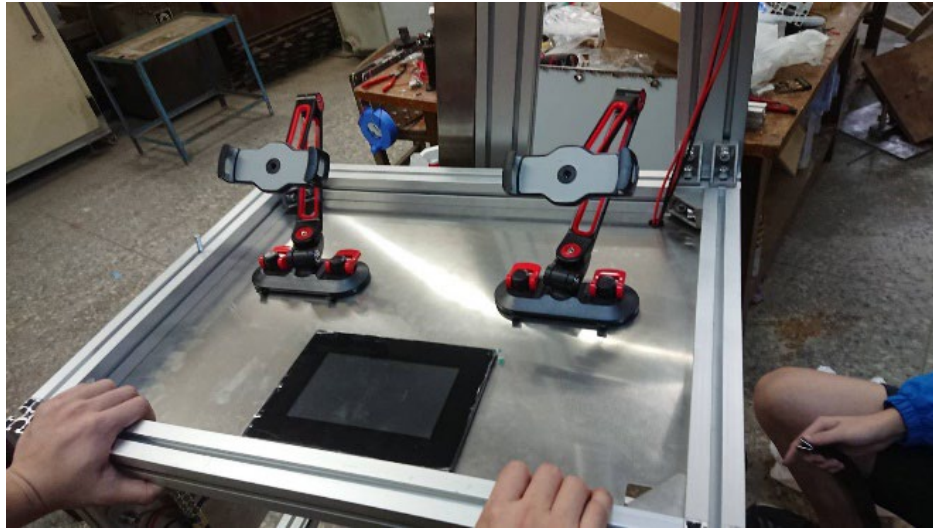


圖 3.7 推車頂部放置控制面板

為增加操作的便利性，及為未來影像定位做準備，在推車底部增設輪鼓馬達驅動裝置(如圖 3.8 所示)，當完成影像定位後，便可進行影像拼接。圖 3.9 為實際推送之使用情形。



圖 3.8 輪鼓馬達驅動裝置



圖 3.9 推車組立後的實際推送情形

組立後的推車及其設備約 30 公斤，以 1.8 噸的小貨車載送(如圖 3.10 所示)。由於此設計運送及操作已相當便利，後續均以此為基座進行上部檢測機構之設計改變。



圖 3.10 推車型橋檢設備運送

3.2 檢測桿件之設計演進

106 年進行雛型設計時，因為僅有 3 個月的計畫執行期間，為了加快檢測桿件的組立，決定採用鋁擠型管為組件主體。只需請廠商依設計好的尺寸，及指定好的型號進行裁切，後續再利用不同的支架與接頭，即可快速完成主體之組立。其中 A、B 桿直接依設計的長度進行裁切，為單桿式。而 C 桿則採兩節式套管，內管透過步進馬達進行推送，以將 C 桿送入橋梁底部。



圖 3.11 檢測桿件組立於車頂之情形

採用鋁擠型管的好處在於，此件管件型號多，且容易取得、裁切，如同樂高積木般，可依設計需求進行組立。

不同尺寸及型式的鋁擠型管件，其剛性亦有不同。在 106 年的實作經驗中得知，當 A 桿過長且在尾端有較重負荷時，若中間又沒有其他支撐，則容易造成彎曲甚至是斷裂。因此在 108 年時，檢測載具改成推車後，檢測設備可儘可能靠近護欄，因此可大幅縮短 A 桿的長度。而 B 桿的部份，從單桿改成 3 層式套管，由 3 種不同尺寸(60mm*30mm、50mm*25mm、40mm*20mm)的不銹鋼長方管構成，組立情形如圖 3.12、圖 3.13 所示。



圖 3.12 B 桿套管近照圖

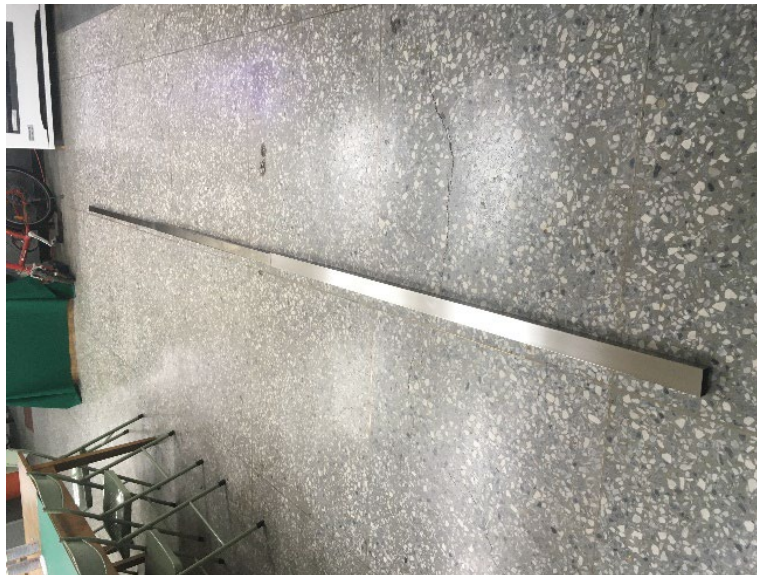


圖 3.13 3 層 B 桿套管連結情形

C 桿的部份，在 106 年時採用的是二節式套管，伸長長度為 4 公尺。而為增加檢測距離，在 108 年時曾評估選用碳纖維管做取代，但因為需求為特殊規格，且廠商出貨最少需要 100pcs，費用相當昂貴。經評估後先改用碳纖維桿做為 C 桿，規格為：前端(攝影端)外徑 25mm、壁厚 0.8mm，後端(設備端)外徑 38mm、壁厚 1.2mm。但實測後發現，當尾端負載為 150g 時，會產生的變形量(變位量)約為 400mm，而且加上檢測移動時尾端的晃動相當劇烈，因此拍攝的影像亦不甚清楚。

為了降低尾端的變形量及晃動，在 110 年的計畫中則先以 PTC Creo Simulate 進行模擬分析，決定採用 452 – 802 mm(尾端 45mm、頭端 80mm) 尾端壁厚為 1mm、頭端壁厚為 3mm 四節套管之方形管，當荷重為 500g 時，尾端的變形量為 37.157mm，重量約為 5.808kg。

依模擬分析結果訂製碳纖維桿實測後，發現尾端之變形量為 1,180mm 遠大於模擬時的 37.157mm，推測應該是因為製造過程所產生間隙與公差等製造因素，致使實際變形結果難以模擬方式準確計算。雖然變形量仍大，但移動時整體穩定度提升，可拍攝到更清晰之梁底影像。

3.3 檢測設備控制方式之演進

檢測桿件的驅動在 106 年時，是先由操作人員以手動的方式，將三個桿件一起轉出車頂架(如圖 3.14 所示)，然後利用 B、C 桿的重量將其往下延伸(如圖 3.15 所示)，待 C 桿放至水平後(利用鋼索牽引避免落下速度過快)，再利用 B、C 桿連結處的步進馬達將 C 桿送入橋梁底下(如圖 3.16 所示)。步進馬達的控制則由遊戲遙桿，透過 Arduino 無線模組控制(如圖 3.17 所示)，其電力來源由配置在 B、C 桿連結處的電池提供。



圖 3.14 將檢測桿件轉出車頂架



圖 3.15 利用 B、C 桿之重量帶動往下延伸



圖 3.16 利用步進馬達將 C 桿推入橋梁底部



圖 3.17 以遊戲遙桿透過 Arduino 無線模組控制步進馬達

在 108 年開發的推車型橋梁檢測設備中，A 桿轉出橋面後，同樣利用 B、C 桿件的重量，帶動檢測桿件往下延伸，並由透管內的鋼索控制下降速度，待下降至檢測位置後，將 C 桿轉入橋面，同樣透過步進馬達推出 C 桿。為減少設備中訊號線材的使用，系統以 Arduino 做為主要的控制核心，以控制馬達、近接開關等設備，並搭配 LoRa 無線通訊模組，用以傳送控制指令。

控制版的部份是以 Arduino Mega 板為基板，再將其他模組(LoRa 通訊模組、近接開關控制模組)放在同一個印刷電路板(Printed Circuit Board, PCB)中，並將其及電路固定在推中上(如圖 3.18 所示)，以自行開發的圖形化控制介面進行操控。步進馬達的電力，同樣由 B、C 桿連結處的電池提供。

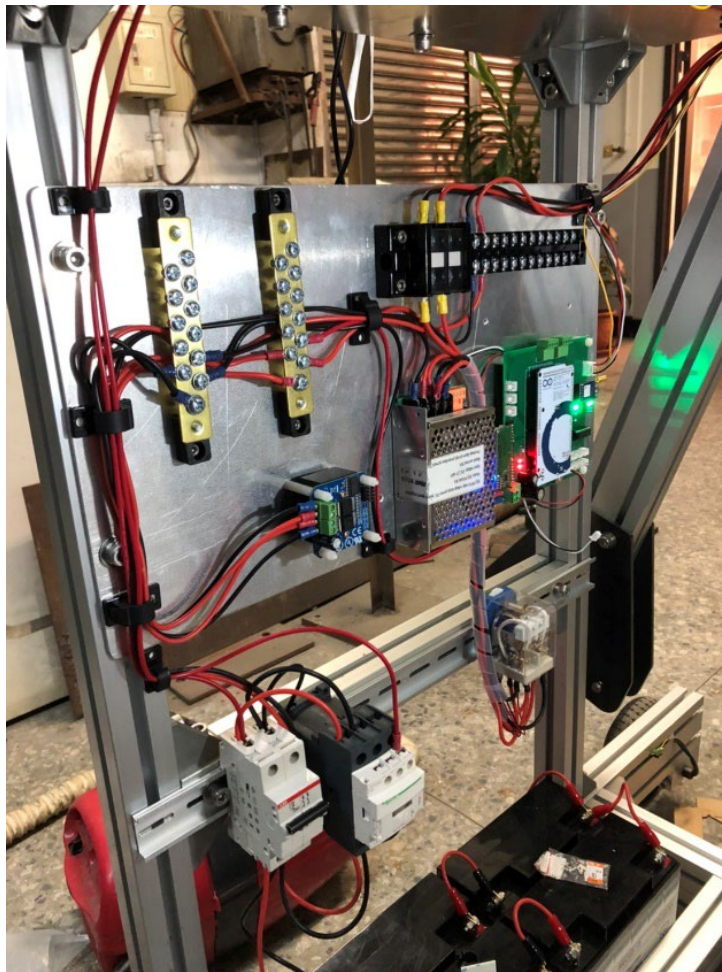


圖 3.18 PCB 版及其他控制器

3.4 影像拍攝設備之演進

在 106 年時為能在短時間內完成離型系統之建置，對於影像之拍攝採用智慧型手機，並將其架設於 C 桿尾端(如圖 3.19 所示)，操作時透過 4G 訊號將相機之影像傳送到檢測人員的平板電腦中，可進行即時觀看。同時將高解析度影像儲存在智慧型手機中，待完成檢查後再下載到電腦中。



圖 3.19 以智慧型手機進行梁底影像拍攝

108 年時因為 C 桿採用的是碳纖維釣桿，尾端荷重時變形量大，為減少變形，因此捨棄智慧型手機，改用無線針孔攝影機(1,200 萬畫素，並自製雲台以控制讓鏡頭可朝上拍攝(如圖 3.20 所示)。拍攝後的影像則透過 Wi-Fi 回傳到推車上的智慧型手機或平板電腦進行即時監控(如圖 3.21 所示)。

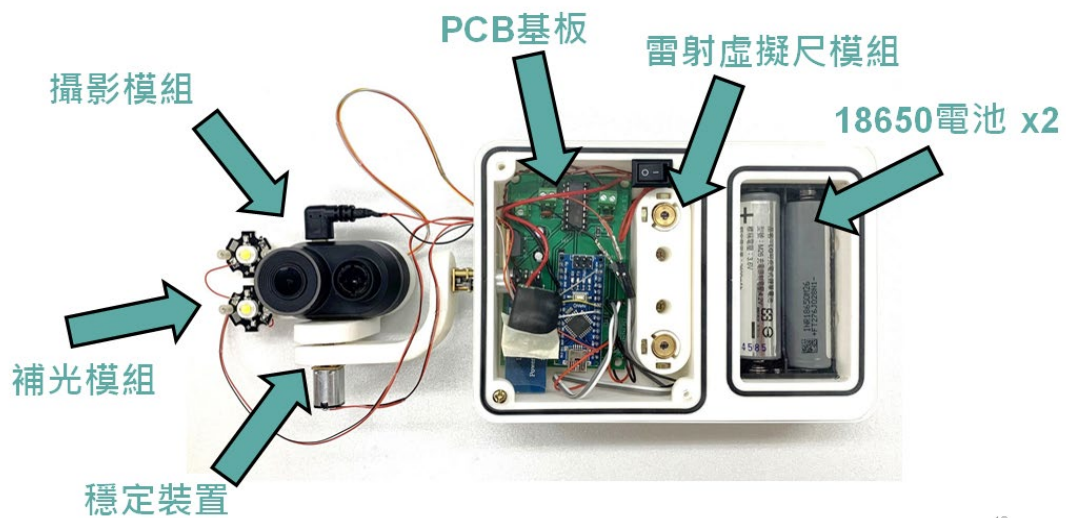


圖 3.20 C 桿尾端攝影鏡頭及自配重裝置



圖 3.21 推車上控制臺即時顯示檢測回傳影像

110 年為精進拍攝效果，將攝影模組、穩定器/轉向模組、補光模組、雷射虛擬比例尺放置在整合模組中(如圖 3.22 所示)。以常用 18650 磷酸鋰鐵電池 2 顆串聯為共用電源，可隨時替換供電電池，減少於實地檢測時設備充電所耗費之時間。在 PCB 基板上，包含通信模組、Arduino 微控制器、電源供應 IC、馬達驅動 IC(如圖 3.23 所示)。電源穩定 IC 可將電池提供之 8.4V 電壓降為 5V，為 C 桿前端整合裝置上所有模組供電。通信模組接受操作者之命令後，輸出信號至微控制器，微控制器處理後，再輸出信號至馬達控制 IC，控制穩定器/轉向模組動作。



10

圖 3.22 C 桿前端整合裝置

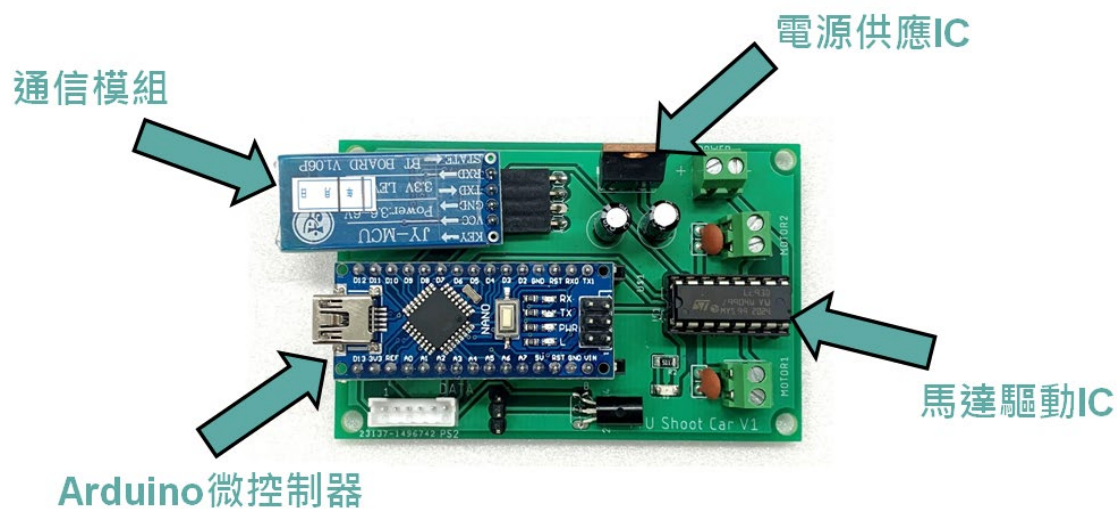


圖 3.23 C 桿前端整合裝置內 PCB 基板

3.5 檢測設備組立及操作之情形

3.5.1 車載型橋梁檢測設備

在 106 年以廂型車搭載橋檢設備完成組立後(如圖 3.24 所示)，其後續之操作說明如下：



圖 3.24 車載型檢測設備安裝完成情形

1. 旋轉橋梁檢測設備

先將 A、B、C 三桿轉向 90 度，與橋梁行車方向為垂直，並緩緩將 A 桿推出，為避免 A 桿荷重過重而造成彎曲變形，先使頂立架安置於橋邊支撐 A 桿(如圖 3.25 所示)。



圖 3.25 推送 A 桿並用頂立架協助支撐

2. 送出 B、C 桿

將 B、C 桿自 A 桿尾端滑動送出(如圖 3.26 所示)，並使 A、B 桿垂直後利用捲揚器與鋼索控制將 C 桿放出(如圖 3.27 所示)。待 C 桿放至水平位置後，即可透過無線控制搖桿操作步進馬達(以 Arduino 晶片控制)，將 C1、C2 桿伸入橋梁底部進行檢測(如圖 3.28 所示)。



圖 3.26 送出 B、C 桿



圖 3.27 利用鋼索緩放出 C 桿



圖 3.28 利用步進馬達將 C 桿送入橋下

3. 設備回收

將 C 桿自橋梁底部回收後，手動操作捲揚器與鋼索，將 C 桿回收至 B 桿上，再慢慢將 B、C 桿回收到 A 桿上，最後將所有檢測桿件轉回至廂型車上即可完成設備回收。

3.5.2 第一代推車型橋梁檢測設備

「推車型橋梁檢測設備」特色為方便搬運，改善「車載型橋梁檢測設備」須用 8 噸之大貨車載運檢測設備，檢測人員再另外駕駛休旅車到待檢測橋梁現場的設備載送問題。在「推車型橋梁檢測設備」中，設備只需使用 1.8 噸之小貨車(中華菱利)即可搬運，明顯提昇其便利性(如圖 3.29 所示)。



圖 3.29 「推車型橋梁檢測設備」設備搬運照

當「推車型橋梁檢測設備」運送至現場時，檢測人員可以推送之方法將檢測設備推至橋梁邊進行組裝與檢測。由於「推車型橋梁檢測設備」的寬度約為 80 公分，可直接在待測橋梁旁的人行道前進，推送照片如圖 3.30 所示。



圖 3.30 「推車型橋梁檢測設備」實際推送情形

待將「推車型橋梁檢測設備」推送至待檢測之橋梁附近後，便可進行組裝。A 桿與 B 桿是直接固定於推車載具上，僅需直接將 B 桿推出並利用插銷固定於 A 桿上，如圖 3.31 所示；再將 C 桿安裝於 B 桿末端，並同時以插銷固定之，如圖 3.32 所示。設備組立後如圖 3.33 所示。

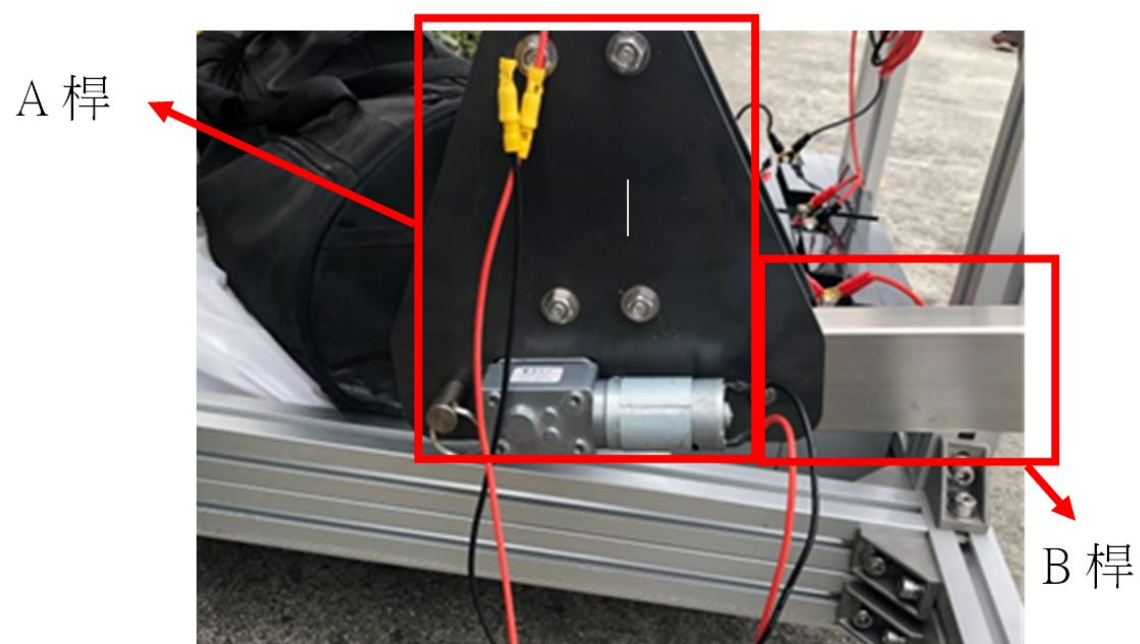


圖 3.31 B 桿以插銷固定於 A 桿上



圖 3.32 利用插銷將 C 桿固定於 B 桿末端



圖 3.33 「推車型橋梁檢測設備」組立完成情形

待完成上述設備組裝後，即可開始操作進行檢測，檢測人員使用人機介面上之操介面，將檢測設備延伸至護欄外，並依照現場情況調整檢測設備之位置，將影像設備送至梁底觀察梁底情況，以評估橋梁之使用狀況，設備組裝及操作情形，如圖 3.34~圖 3.40 所示。



圖 3.34 「推車型橋梁檢測設備」組裝(一)



圖 3.35 「推車型橋梁檢測設備」組裝(二)



圖 3.36 「推車型橋梁檢測設備」組裝(三)



圖 3.37 「推車型橋梁檢測設備」操作(一)



圖 3.38 「推車型橋梁檢測設備」操作(二)



圖 3.39 「推車型橋梁檢測設備」操作(三)

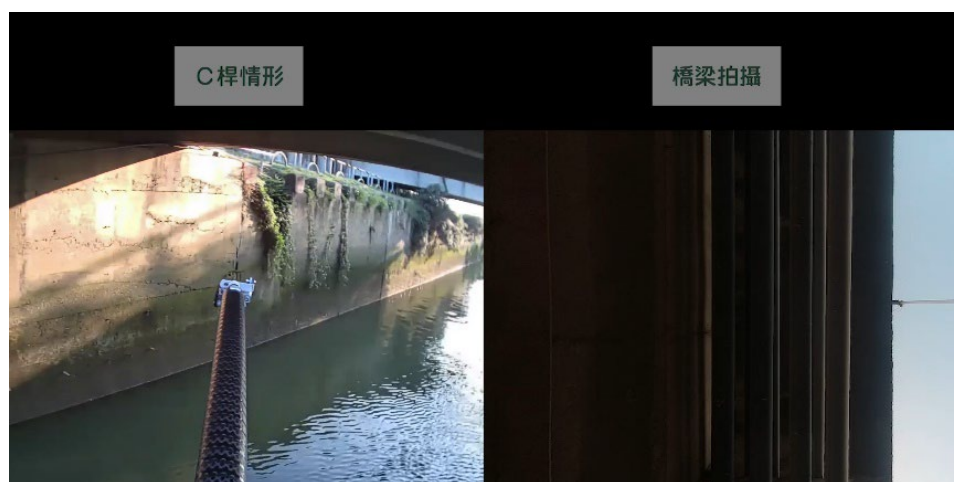


圖 3.40 「推車型橋梁檢測設備」操作(四)

「推車型橋梁檢測設備」組裝及操作過程說明如下：

1. 檢測人員先將 B 桿與 A 桿分離放下。
2. 利用插銷將 B 桿固定於 A 桿末端，此時兩桿呈現 90 度。
3. 將 C 桿模組安裝於 B 桿末端，並利用插銷固定之。

4. 利用人機介面上之介面操作本設備，使其 A 桿帶動 B 桿與 C 桿至護欄外。
5. 利用人機介面上之按鈕，使 B 桿降落至適當之檢測高度。
6. 利用人機介面上之按鈕，使 C 桿轉進橋梁梁底。
7. 檢測人員依平板回傳之影像控制 C 桿，並同時檢查橋梁梁底之使用狀況。

3.5.3 第二代推車型橋梁檢測設備

第二代推車型橋梁檢測設備之組立與操作大致與第一代相同，完成後的設備推送情形，如圖 3.41 所示，設備各組件及操作情形，如圖 3.42、圖 3.43、圖 3.44 所示。

因為 C 桿採用碳纖維管後重量增加，為確保檢測桿臂旋轉時不因過大的慣性力量造成推車翻覆，除在推車底部增加配重沙包外，也改變 C 桿與 B 桿的連接方式，也使得桿件運轉的方式也有所不同(可參考圖 3.45、圖 3.45 之示意圖)。也因為桿件連接的方式不同，故設備操作時，建議需有至少 6 公尺的淨空作業區。



圖 3.41 第二代「推車型橋梁檢測設備」推送情形



圖 3.42 第二代「推車型橋梁檢測設備」設備整體分解圖



圖 3.43 第二代「推車型橋梁檢測設備」C 桿整體構造圖



圖 3.44 第二代「推車型橋梁檢測設備」操作情形

3.6 專家訪談建議

應用於感潮河段之橋梁檢測設備歷經 3 期計畫之研究發展，已累積相當多寶貴的實務經驗，總結來說：

1. 「車載型橋梁檢測設備」原始構想是以善用既有之廂型車設備，只需要做車頂架之改裝，即可載送檢測設備赴現地進行檢測。但實測後發現，設備可能會超過車輛長度，在不符合交通安全規劃之要求下，無法正式上路。而且使用的鋁擠型管鋼性不足，放置於車頂時可能因為行駛晃動，造成檢測桿件變形。雖在短時間內已完成雛型設備之開發，但操作上相當依靠人力操作，且未考量設備移動之問題，離具實務應用尚有段距離。
2. 「第一代推車型橋梁檢測設備」主要是依據前一期的開發經驗，調整設備設計方式。以推車之型式進行設計，只需要用 1.8 噸貨車載送，到現地後可直接在人行道上操作檢測，設備組立簡便，且透過圖控操作，自動化程度高。但檢測桿以海釣桿進行改裝，因此尾端有荷重時會產生嚴重變形，且操作時晃動嚴重，梁底影像拍攝成果不甚理想。

3. 「第二代推車型橋梁檢測設備」係特別針對檢測桿做精進，採訂製碳纖維管，檢測桿可伸長至 7.1 公尺，且尾端變形明顯減少，拍攝設備可以清晰拍攝梁底影像。但檢測桿重量增加許多，在兼顧推車穩定性及安全性的考量下，只能改變桿件組立及操作方式，除增加設備組立時間外，亦需要更大的淨高作業空間，亦未能滿足實務上之需求，但在實務上會面臨橋梁旁邊常有電線、纜線之問題而無法使用，因此得再進行調整。

綜整來說，目前所開發的推車型橋梁檢測設備，以載具來說可直接在人行道上操作，而且載送、組裝已相當簡便，最需要解決的是 C 桿伸長時尾端的變形問題。研究團隊除持續進行各種改善方案的測試外，亦請外部專家給予建議，期能改善尾端變形之問題。共針對 2 位外部專家進行訪談：

1. 蕭兆宏，鑫威資訊公司總經理及負責人，代理 LS-DYNA 軟體(可應用於土木結構分析)，並長期從事機構相關之設計工作，具有模擬分析及實務應用之經驗。
2. 戴進福，亞鎂科技公司負責人，曾參與 105 年「橋梁檢測工具效能提升計畫」機構之設計與開發，長期從事機構設計，具有超過 30 年之實務經驗。

訪談內容記錄如下：

1. 此設備的作業環境是相當特殊的，除了橋梁底距離水面近作業空間有限之外，還得考量河床或梁底可能存在的異物，因此，可供選擇的改善方案較為有限。且又需兼顧設備輕量化之設計考量，增加過多的附加物品，反而有可能增加檢測設備的負擔。
2. 當檢測桿件延伸距離越長時，因自身之重量尾端都會產生變形，以實務設計做考量，都會想辦法在中間增加向上的拉力，以減少尾端之變形。
3. 由於作業環境檢測桿件距離水面相當近，建議考慮在尾端加上輕又可浮在水面上之物品，如保麗龍、氣泡海棉等。經討論後認為，還

是得考量順逆流問題，尤其當為逆流問題時，反而有可能會阻礙 C 桿的伸展。或是當河床上有雜物時，亦有可能影響 C 桿之動作。

4. 向上推力的部份，可評估能否像 UAV 一樣，在尾端或中間加掛一組螺旋翼，讓它產生向上的推力，也有機會減少尾端的變形。經討論後認為，如果要在桿件中間增加一組螺旋翼，除得評估選用的螺旋翼大小外，還得考量控制及電力問題，亦有可能增加桿件整體的重量，再加上可能鄰近河面，還可能會受到水及雜物的影響，可能無法發揮實際的效用。
5. 有無可能利用橋梁本身的結構，讓 C 桿可懸掛在橋梁的結構上，以產生支撐的力量。經討論後認為，橋梁的結構各有不同，並未有可供懸掛的地方，且懸掛後將無法移動，而無法進行檢測工作。
6. 向上拉力的部份，可以考慮如「車載型橋梁檢測設備」(如圖 3.45 所示)及日本 Zivil 公司檢測設備(如圖 3.46 所示)所採用的方式，如在 C 桿放置拍攝設備的另一端配置重物，透過力的平衡來減少尾端的變形(Zivil 公司亦採此設計如圖 3.46 所示)，或是在 C 桿中段增加一個固定點，利用鋼索往回拉時產生的垂直拉力(如圖 3.47 所示)，來減少尾端的變形。但因作業空間可能相當狹小，能產生的垂直拉力可能會相當有限，且得額外處理鋼索的控制問題，會讓整體系統變得更為複雜。



圖 3.45 車載型橋梁檢測設備採用的鋼索配置



圖 3.46 Zivil 公司機械手臂檢測設備之鋼索設置情形

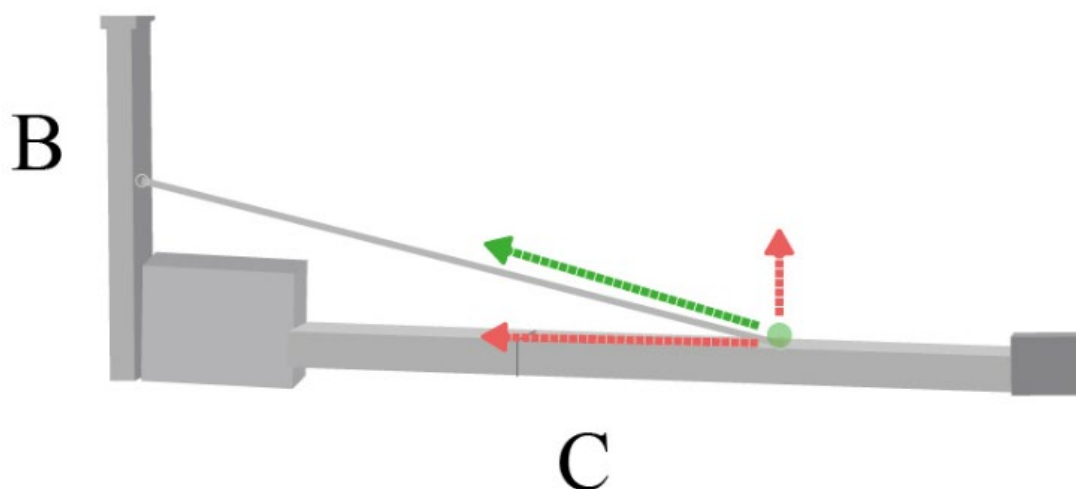


圖 3.47 鋼索拉力帶來的分力情形

7. 海釣桿和碳纖維管的強度不同，或許可以考慮 C 桿的第一節使用碳纖維管，裡面再套海釣桿做延伸。一來減輕全採用碳纖維管時的重量，二來有可以利用碳纖維管的強度，或許有機會減少 C 桿尾端的變形。惟要特別去尋找合適的尺寸，及兩種不同材質間的銜接整合問題。

第四章 設備精進與成果

本計畫延續 110 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」之成果，著重改善先前設備未完善之處。當時因過度強化 C 桿，造成設備整體使用方便性大幅降低，現場布置所需人力與時間大幅增加，且設備布置所需淨高提高至 6 公尺，操作場域受電線高度限制。為改善此缺點，本計畫著重於 C 桿強度與重量之取捨，並以改善 C 桿推送機制方式減輕重量。在輕量化的同時盡量降低 C 桿之變形量，期可在設備方便操作之前提下，降低 C 桿變形量，以符合感潮河段之量測狀況。除精進桿件以符合實務需求外，影像擷取方式更改以拍照取代錄影，得以使用較大光圈之鏡頭控制快門速度，降低桿件晃動之影響，以取得清晰之梁底影像。

4.1 C 桿輕量化方案

考量 C 桿自重所造成之尾端下垂變形，本計畫改採用結構較輕之長形釣竿構成，採用 108 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」之設計，該案中 C 桿以市售之 15 公尺釣竿為元件構成(如圖 4.1 所示)。考量量產成本與使用方便性，C 桿若採長形釣竿設計，即可符合量產原則降低採購成本，並且採用制式零件可降低設備維修週期。



圖 4.1 108 年設計之 C 桿

經搜尋市售之長形釣竿最長尺寸達 30 公尺，收縮長度為 155 公分，採前 7 節使用，C 桿淨重 2,500 克。以 C 桿轉動軸心至攝影機位置為量測標準，本計畫 C 桿碳纖維管設計最長可伸長至 8 公尺，現有 C 桿推送推送方案，實際使用可能依狀況適當減少節數，C 桿模組總承(如圖 4.2 所示)。因整體 C 桿下垂因素眾多，除 C 桿自身之下垂量之外，還包含了 B 桿之彎曲量，甚至推車本體之傾斜等因素。為使整體設備可延伸至感潮河段梁底之狹小空間，C 桿末端攝影機位置應盡量與 C 桿推送裝置保持水平位置，參考期中實測中 C 桿之側照中計算畫素，得知實際使用中 C 桿約下垂 4.7 度(如圖 4.3 所示)。後續 C 桿之安裝設計採用預傾角方式(如圖 4.4 所示)，以該角度安裝使 C 桿略向上伸出，最終攝影模組位置與 C 桿驅動模組等高，以減少整體下垂量。

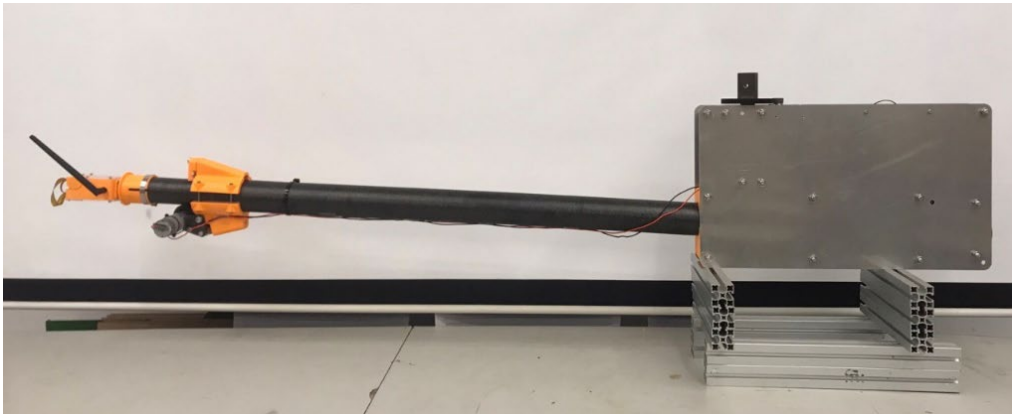


圖 4.2 C 桿模組總承

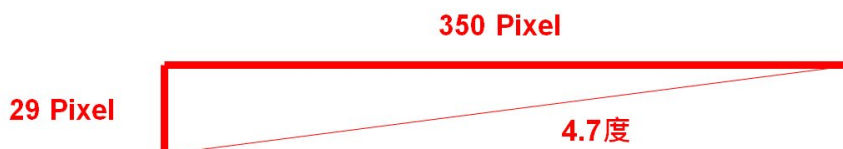


圖 4.3 C 桿下垂量計算



圖 4.4 C 桿預傾角設計

4.2 C 桿推送裝置開發

在 110 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」計畫中之設計為能應用於雙線車道之檢測，故採以 8 公尺長桿設計，但因彈簧線管挫曲造成推力不足，最終 C 桿僅能伸長 7 公尺(如圖 4.5、圖 4.6 所示)。彈簧線管自重為 250 克/公尺，若能以其他驅動形式取代，即可減輕桿件重量降低尾端下垂量。

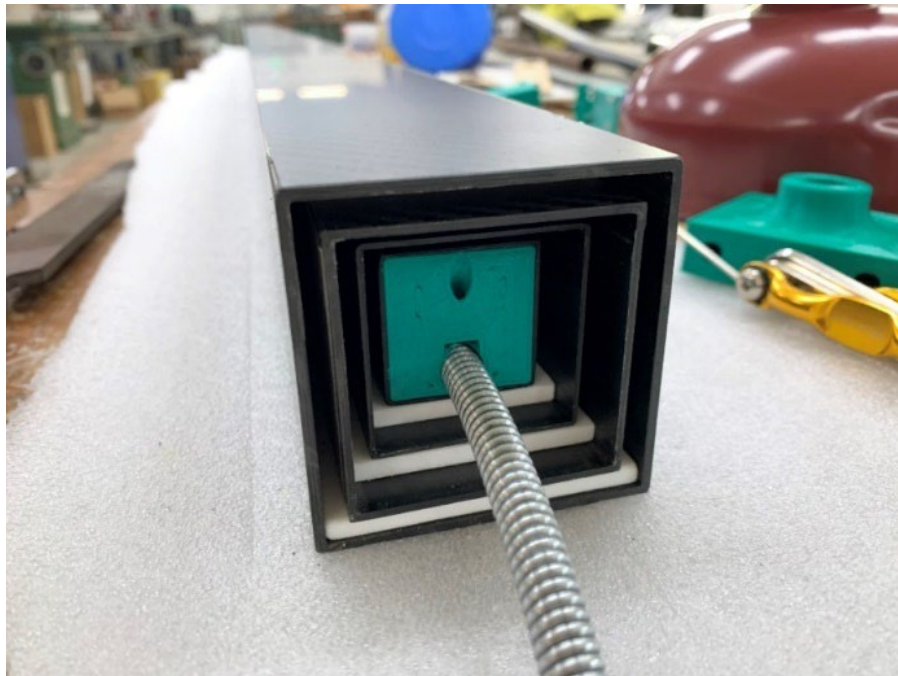


圖 4.5 彈簧線管安裝方式

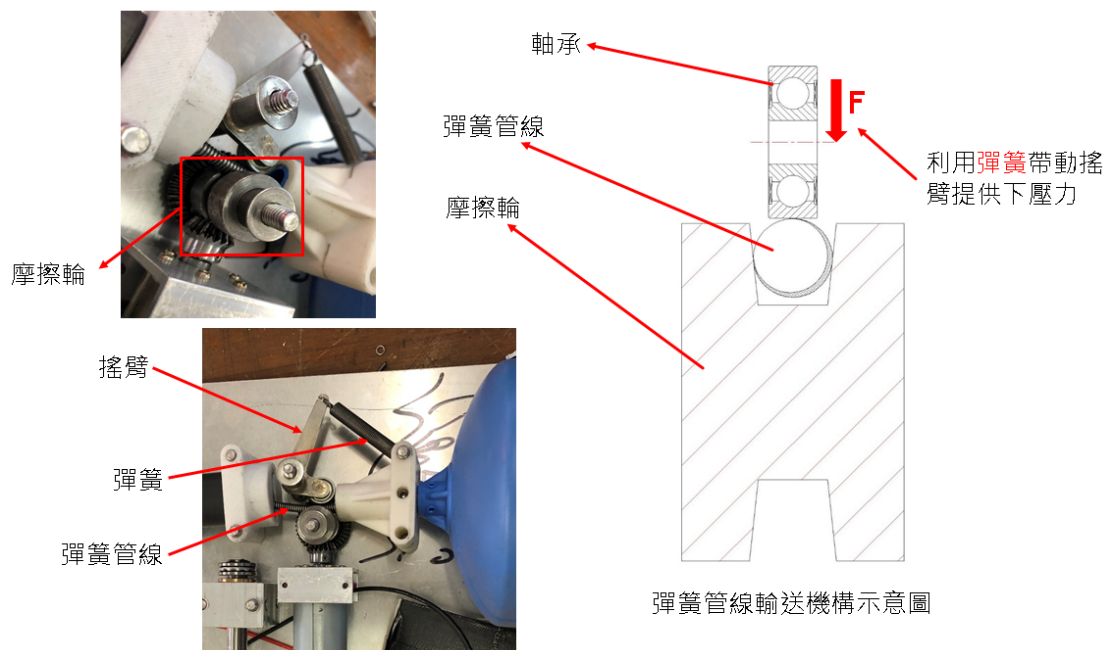


圖 4.6 彈簧線管推送機制

本計畫預計以磨擦輪形式之推送裝置取代現有彈簧線管裝置驅動 C 桿伸長，此裝置安裝於 C 桿外套管之末端(如圖 4.7 所示)，以橡皮磨擦輪轉動方式推送 C 桿，並有限制裝置限制 C 桿套節依次推出，整體構造示意圖如圖 4.8 所示。C 桿回收是以安裝於管內之引線拉回，引線可提供較大的拉力以保證 C 桿不會卡死，同時可藉此引線定位精確的伸長距離(如圖 4.9 所示)，以配合影像拼接之需求。

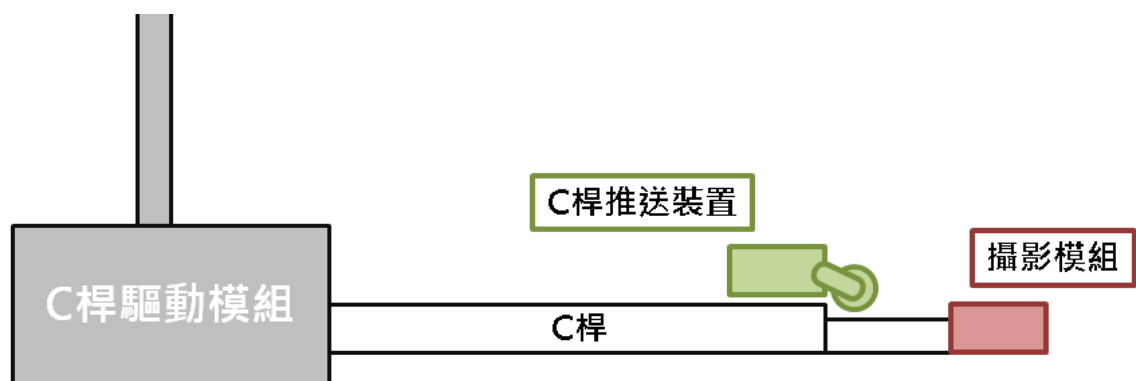


圖 4.7 推送機構配置位置

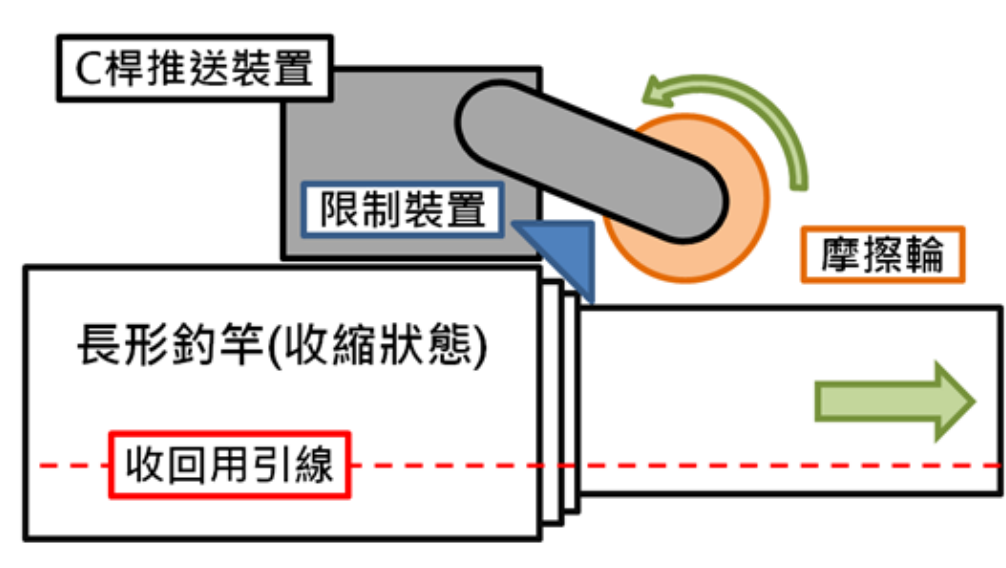


圖 4.8 推送機構示意圖

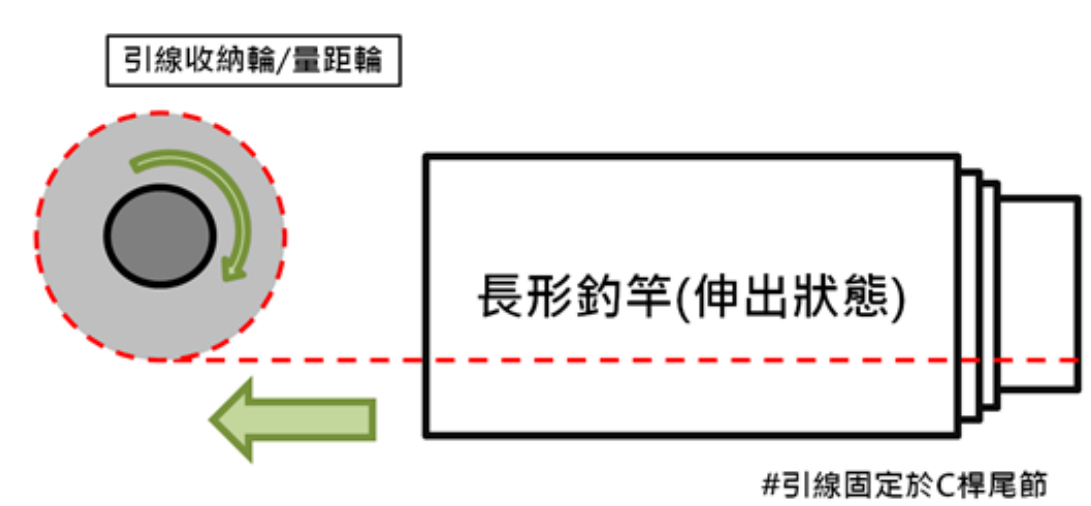


圖 4.9 引線收納設計裝置示意圖

C 桿驅動裝置如圖 4.10 所示，整體結構以 3D 列印製造，以 50rpm、20w 馬達驅動，內部有壓力彈簧與對應機構，可調整摩擦輪對釣竿之正向壓力。本次所採用之長型釣竿伸節數較少，因此配合錐度值與節間間隙較小，當 2 套結相對伸長至極限時，摩擦阻力遽增。伸長至 5 公尺後會產生推力不足之現象，後續將改良摩擦輪之型式，以夾角夾擠型式增加摩擦力，克服推送力不足之問題。

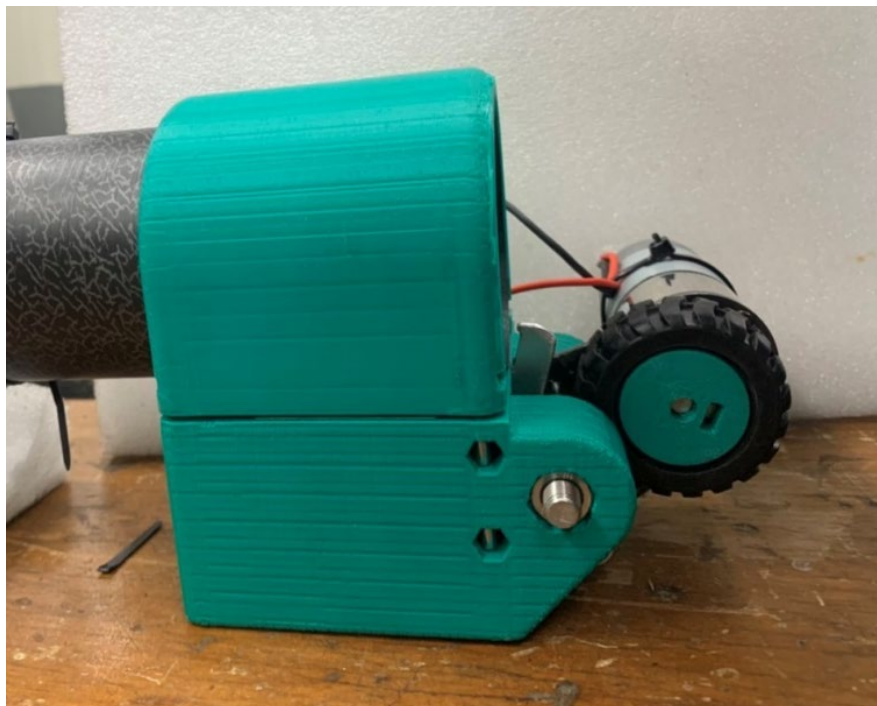


圖 4.10 C 桿推送機構

4.3 C 桿推送裝置改良

C 桿推送裝置安裝於 C 桿前端(如圖 4.11 所示)，整合套結限制裝置與長桿驅動機構以摩擦輪形式構成，為使摩擦輪與長桿接觸更確實，減少灰塵異物造成之打滑現象，表面加工為弧形曲面(如圖 4.12 所示)。套結限制裝置為某種刺爪機構，當推力超過定值時會依次釋放套結。回收則以引線方式收回，以防止摩擦輪推送力不足造成 C 桿卡死，引線回收裝置如圖 4.13 所示。

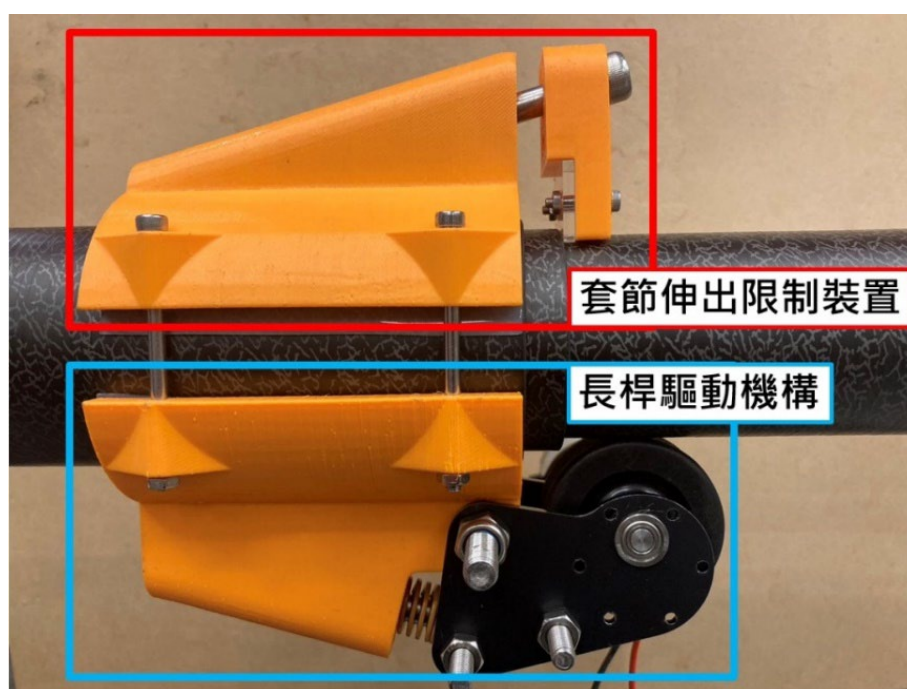


圖 4.11 C 桿推送機構改良

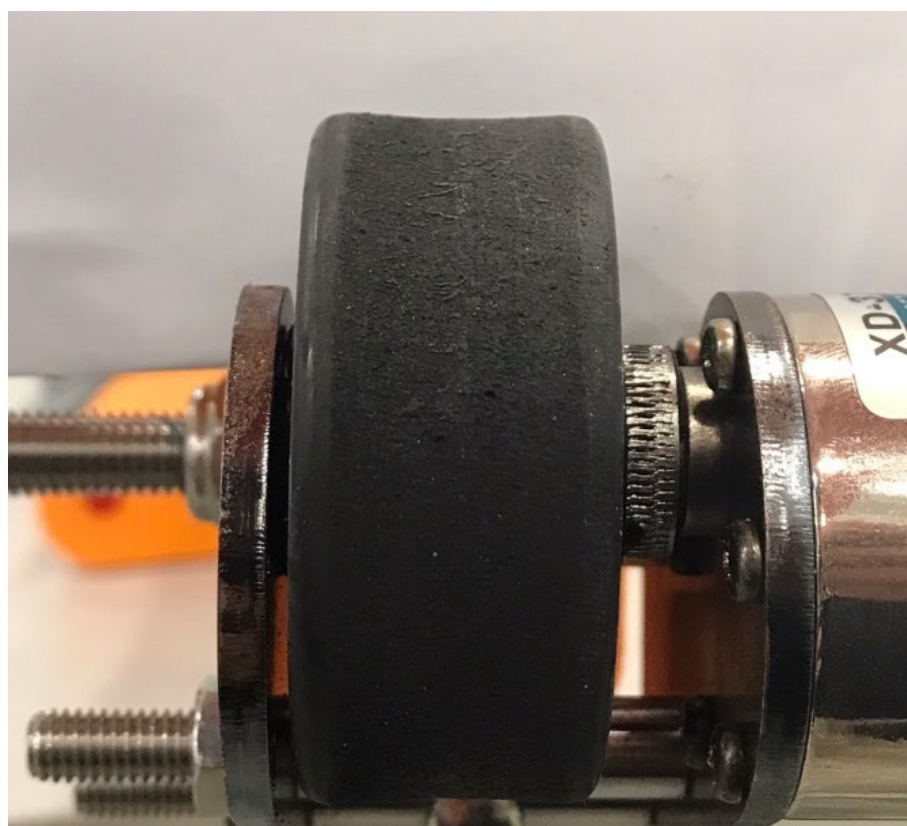


圖 4.12 摩擦輪外型構造

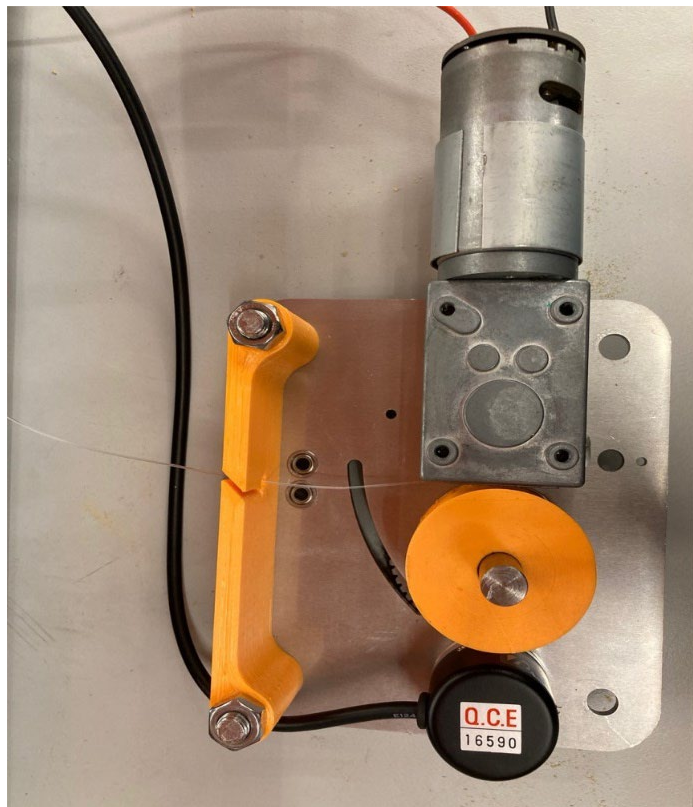


圖 4.13 推送機構示意圖

為改善實測後 C 桿回收裝置引線會斷裂的問題，持續針對 C 桿回收裝置進行改善，改善後的裝置如所示。

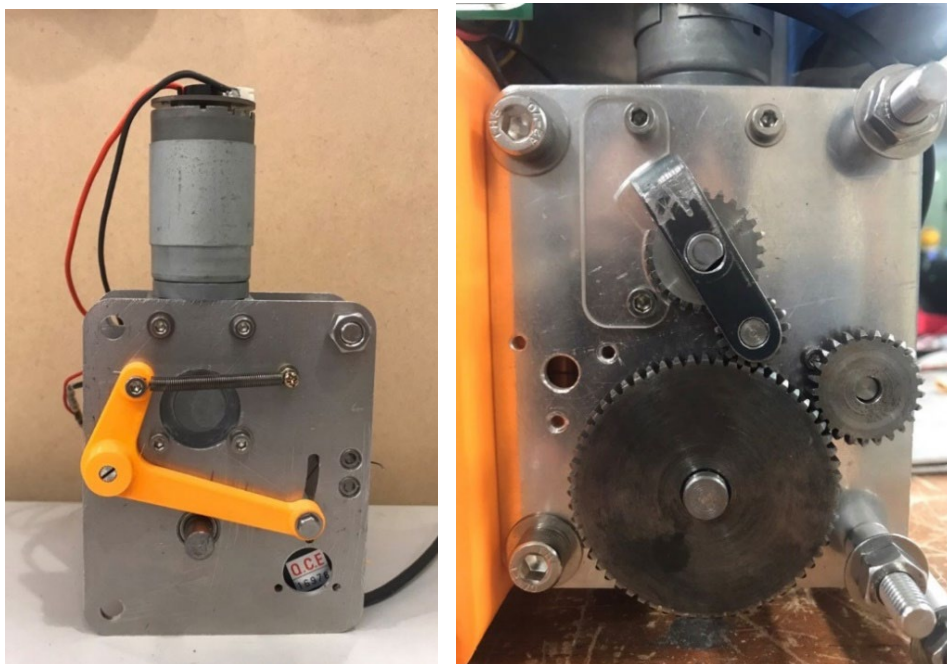


圖 4.14 經實測後改善的 C 桿回收裝置

4.4 C 桿前端攝影裝置開發

C 桿前端將裝置包含補光模組、穩定器/轉向模組、攝影模組(如圖 4.15 所示)總重 550 克，上方以圓形曲面壓克力罩包覆，達到防水效果。照明模組功率為 1.2W，補足梁底拍攝光線不足的問題(如圖 4.16 所示)。電源採用 18650 3S 模組化電池包，以三角包裝電池包，以利於將其安置在 C 桿內部，DC 電源接頭夠快速地安裝與更換，2600mAh 的容量能夠支持末端模組運作至少 1 小時。

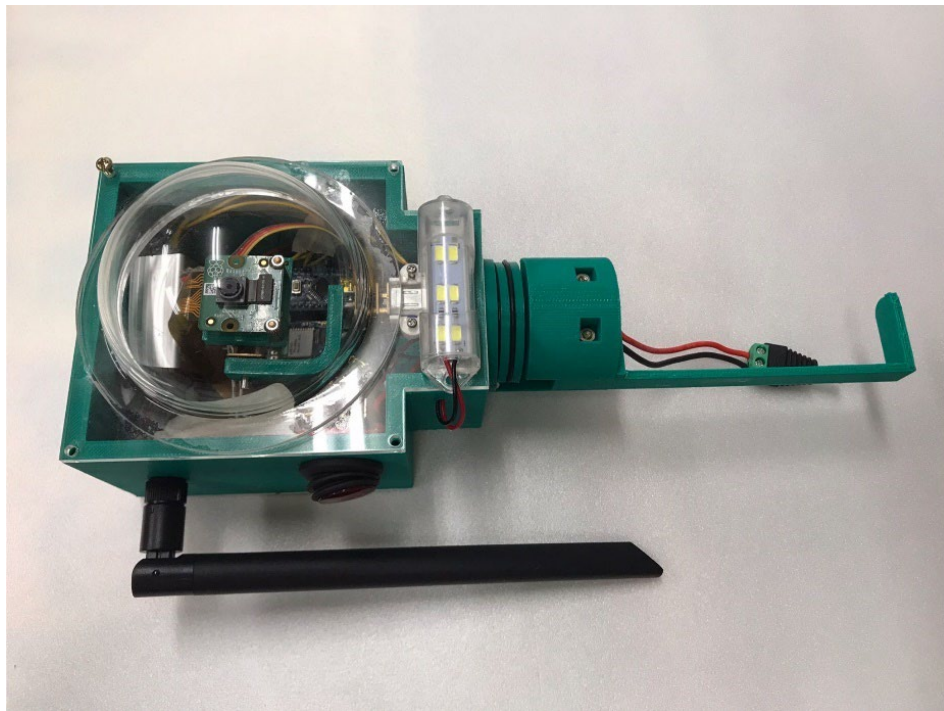


圖 4.15 C 桿前端攝影裝置



圖 4.16 照明模組

C 桿前端攝影模組使用樹梅派 PI cam(800 萬畫素)攝影(如圖 4.17 所示)，53 度窄鏡頭角度球面變形少便於後續影像拼接。以排線與樹梅派連接，便於構成雲台裝置。影像處理採用 PI zero，除體積較小外功耗也較低，供電 5V、1A 實際功耗約 2W，但其處理效能略低於標準版樹梅派，但已足以滿足本計畫攝影之需求。通訊方面則使用外置天線的 Wi-Fi 連接(如圖 4.18 所示)，可再增加樹梅派傳送影像時的效率。

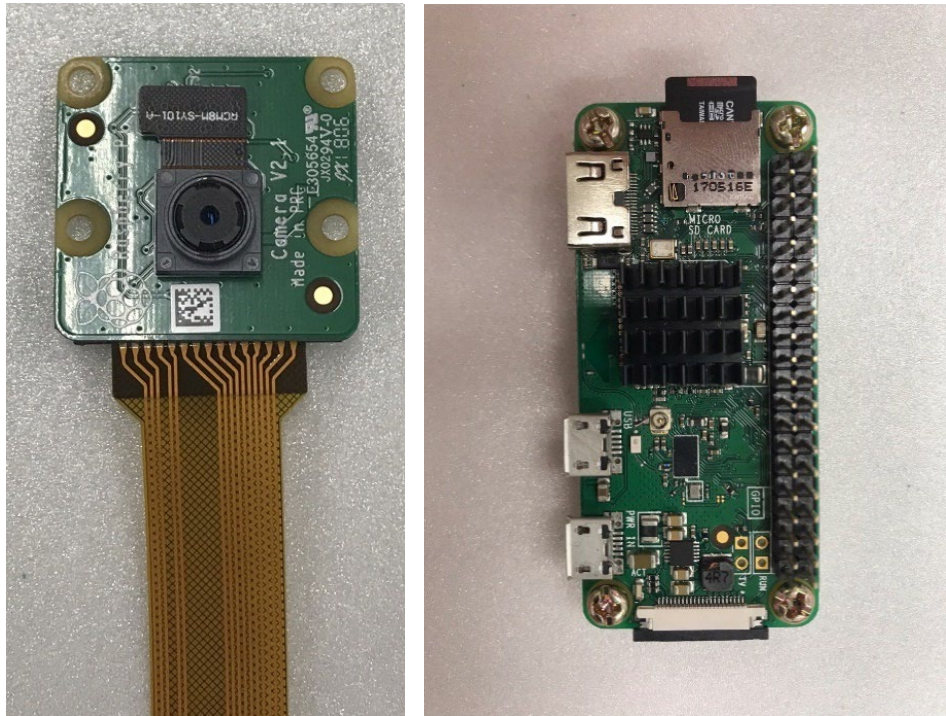


圖 4.17 樹梅派 Pi Zero 攝影控制板

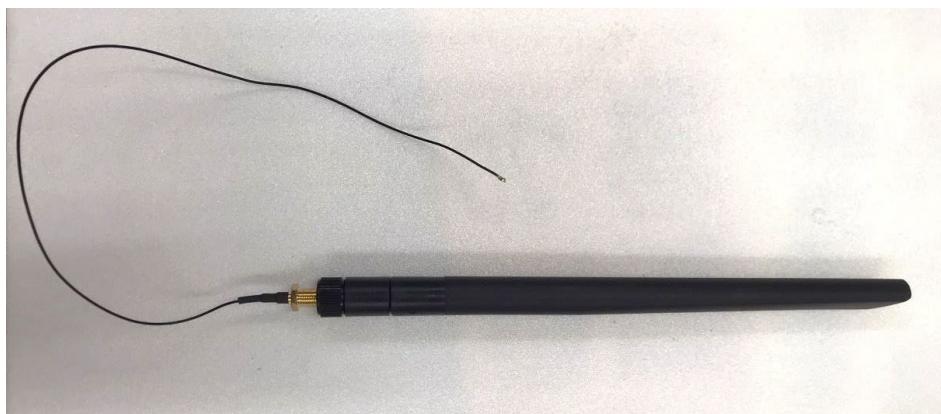


圖 4.18 樹梅派外置天線

雙軸轉向平台(如圖 4.19 所示) 使用 Arduino 作為主控版，搭載 L293D 馬達驅動器與 LoRa 模組，L293D 馬達驅動器用於控制兩軸雲台的兩顆 N20 馬達，藉由 LoRa 模組與主控制台通訊，可控制雲台的偏轉角度，或保持水平朝上拍攝。

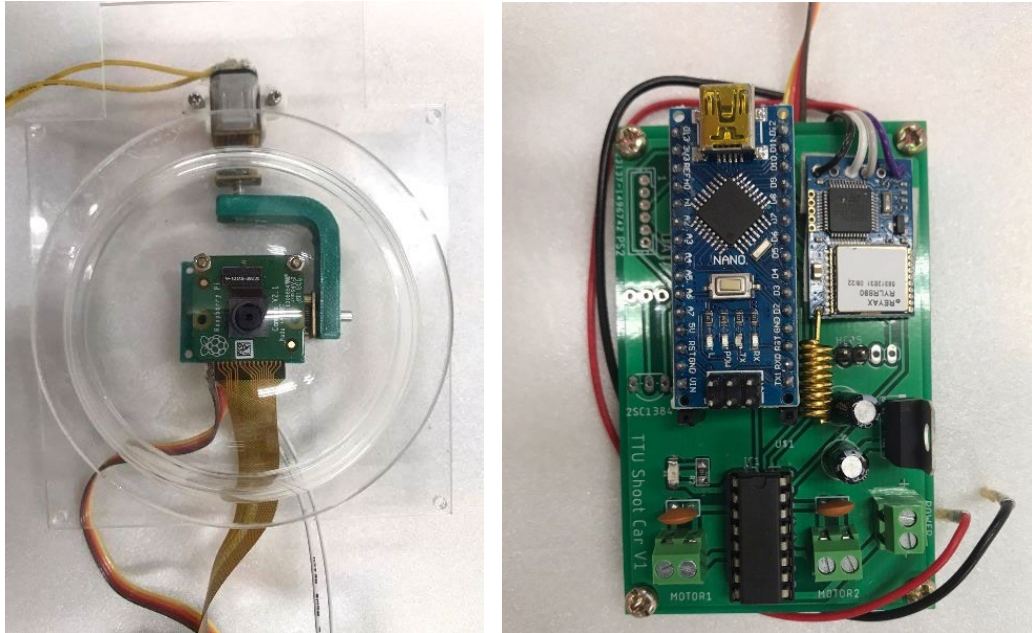


圖 4.19 雙軸轉向平台與其控制板

經過實測後，也不斷的針對實測時發現之問題進行設備改善，尤其為解決攝影鏡頭可以額外旋轉以拍攝不同位置之橋梁構件，因此將攝影鏡頭獨立出來，第三代的前端桿件攝影模組之設計變化如圖 4.20 至圖 4.22 所示，且可直接在推車上的控制面板，進行 LED 燈照明補強操作(如圖 4.23 所示)。



圖 4.20 第一代桿前攝影模組



圖 4.21 第二代桿前攝影模組

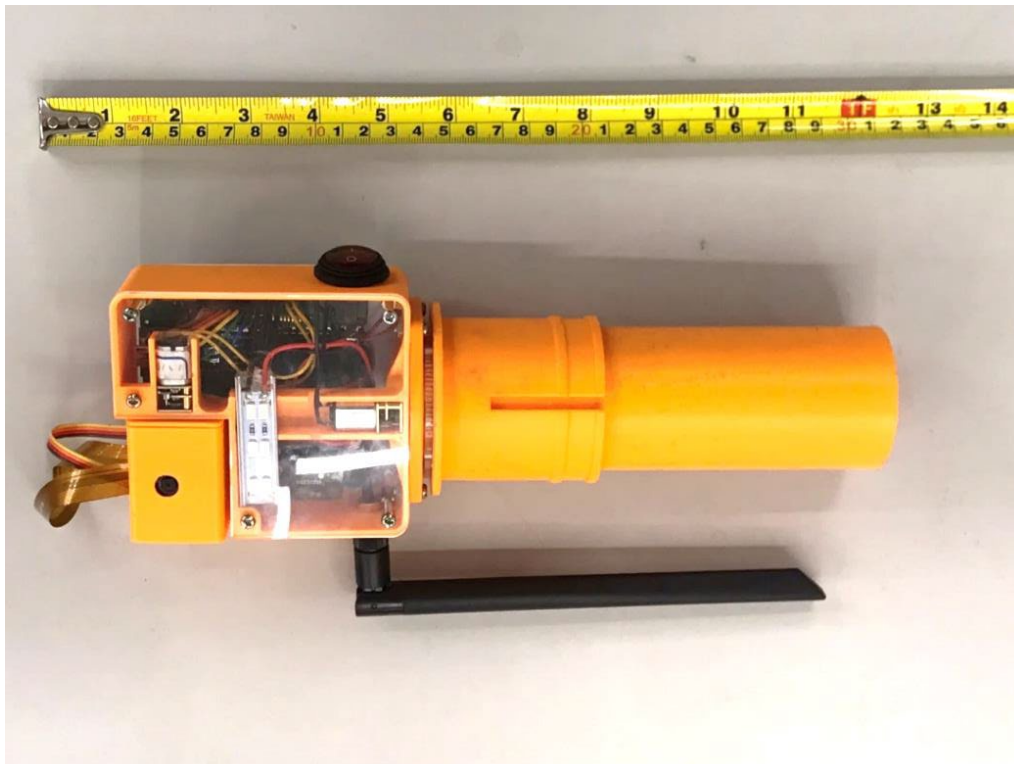


圖 4.22 第三代桿前攝影模組

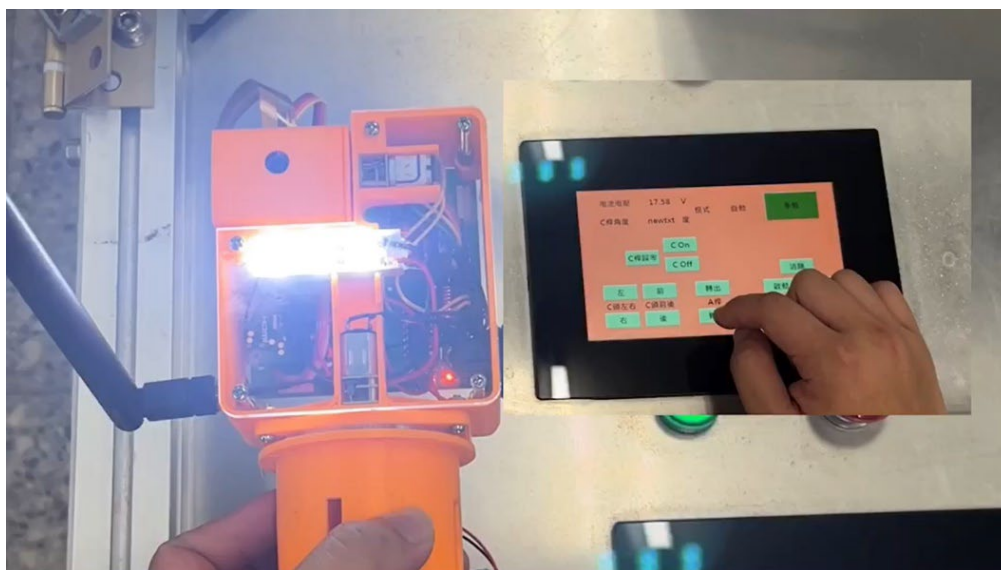


圖 4.23 第三代桿前攝影模組搭配控制面板進行光線補強操作

4.5 C 桿定位方案

配合影像拼接需求，設備底部驅動輪上與 C 桿驅動馬達上裝置編碼器，透過讀取編碼器資料控制馬達推送設備，達到定距離移動之功能。再配合影像拼接軟體，即可能達成免佈標之影像拼接。在 110 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」中，驅動器設定參數為每次前進 50 公分，控制 Y 軸(沿行車方向)等量前進，整體設備裝置如圖 4.24 所示。於平坦路面上測試，重複誤差約為 1 公分，已可達影像拼接標準。但於實測時因路況不同，誤差值可能有所不同。

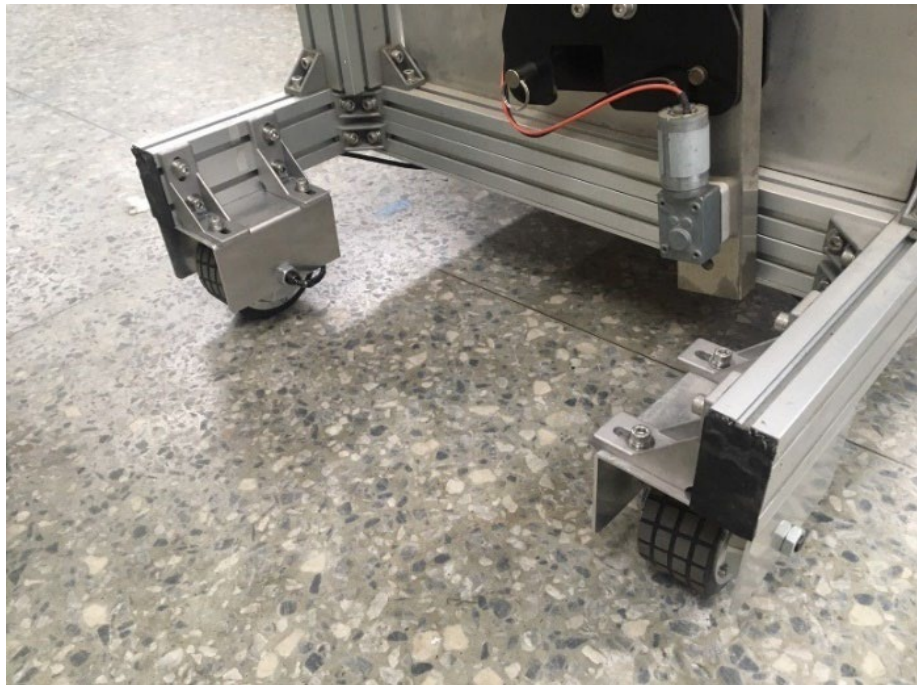


圖 4.24 輪鼓馬達驅動裝置

X 軸(沿河川流向)之方向定原以編碼器控制 C 桿推送距離，其原理為計算馬達轉動圈數，再推算末端裝置移動量，但驅動裝置存在打滑與推送彈簧線管挫曲問題，且 C 桿伸長後阻力增加，打滑現象與挫曲時間點難以完全預期並補償。本計畫於引線收納輪上安裝編碼器，以 C 桿內部回收用引線做為伸長距離之量測依據。引線收納輪以馬達提供低度張力，在不影響 C 桿動作之下，使得引線保持在緊繃狀態，雖然其長度依然受 C 桿彎曲幅度影響為非線性，但可透過實驗校正。相較於

現有之彈簧線管推送之方式存在著打滑之誤差，以及彈簧線管不可預期之挫曲誤差，此設計應可大幅提高 C 桿定位之精度，達成影像定位之功能，整體做動示意圖如圖 4.25 所示。

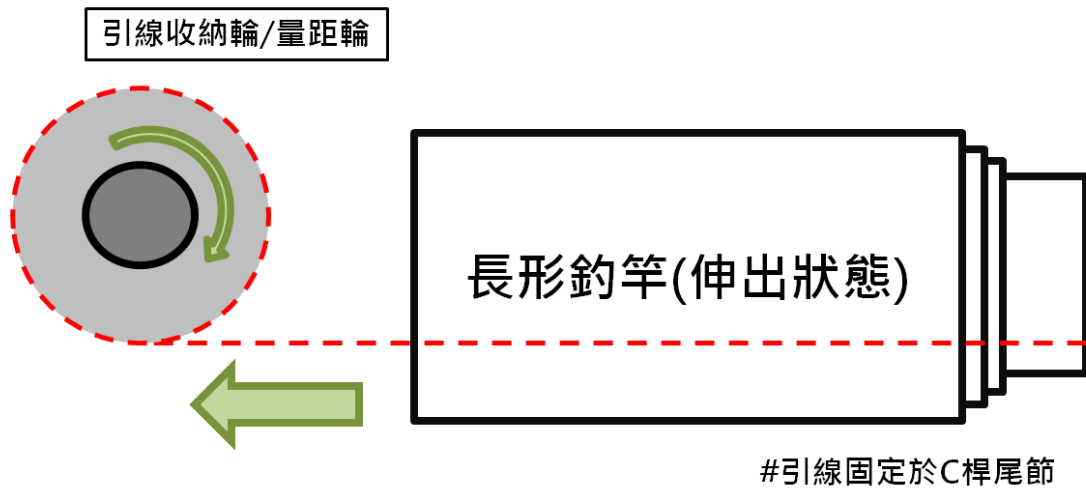


圖 4.25 引線量距機制示意圖

第五章 實地測試及研究成果

5.1 第 1 次實地測試

為提早發現設備問題，本計畫於期中報告前先行試測，實地測試選址於台北市大佳河濱公園之堤外區域橋梁(如圖 5.1 所示)。該橋梁最大淨寬約 11 公尺、最大跨距約 28 公尺，且位於堤外路段，僅行人與自行車通行，相當適合於測試性之量測。下方河道有河堤可供人員維修與遠方監控，量測現地人員配置如圖 5.2 所示。本次因設備設計未盡完善，僅以試驗性量測梁底部分範圍(如圖 5.3 所示)。



圖 5.1 大佳河濱公園之堤外區域橋梁 Google Maps 路況



圖 5.2 量測現地人員布置狀況

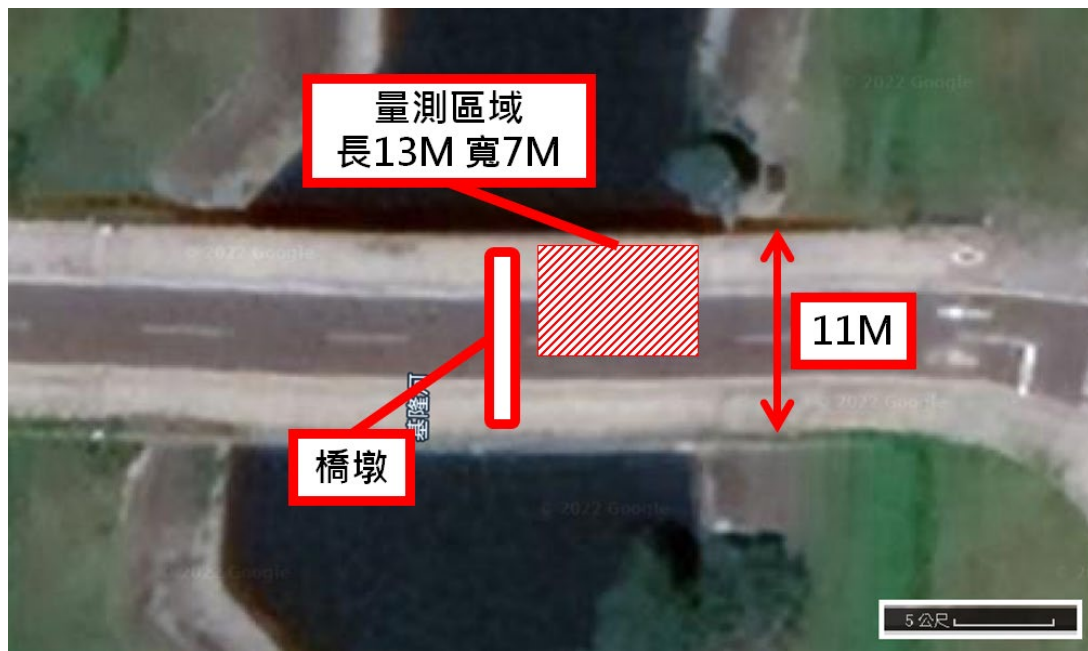


圖 5.3 梁底構造與量測範圍示意圖

5.1.1 設備改善情形

本計畫以長型鈎桿取代 110 年研究計畫採用的方形碳纖維管，C 桿驅動裝置總承之長度由 3 公尺減少至 2 公尺，重量減輕約 2 公斤。110 年研究計畫設備佈置需 5 名人員，約耗時 20 分鐘，本計畫設備佈置恢復至 3 名人員，設備組立時間 3 至 5 分鐘。

依經濟部「輸配電設備裝置規則」第 17-19 條(低壓架空接戶線離地面高度之限制)低壓架空接戶線離地面高度規定，接戶線跨越重要道路，應離地面 5.5 公尺以上。接戶線跨越非重要道路，應離地面 5 公尺以上。原有設備展開所需淨高為 6.1 公尺，造成設備使用上受場域限制。目前因整體設備輕量化，設備展開型式由原來的垂直於路面展開，改變為 C 桿平行於路面展開。因此展開所需淨高由 6.1 公尺降低至 4.1 公尺(如圖 5.4、圖 5.5 所示)。同樣因 C 桿配置型式改變，設備於展開時淨寬由 4.1 公尺降低至 2.1 公尺(如圖 5.6、圖 5.7 所示)，大幅降低設備使用門檻與方便性。

A桿轉正



圖 5.4 110 年研究計畫設備展開所需淨高 6.1 公尺



圖 5.5 本計畫設備展開所需淨高 4.1 公尺



圖 5.6 110 年研究計畫設備展開所需淨寬 4.8 公尺



圖 5.7 本計畫設備展開所需淨寬 2.1 公尺

5.1.2 實地量測流程

設備之定點後實地測試設備操作流程，本計畫設計 C 桿重量減輕，設備佈置僅需 3 名人員 3 至 5 分鐘即可開始量測，實際量測流程如圖 5.8 至圖 5.14 所示。



圖 5.8 檢測設備推送至量測起點

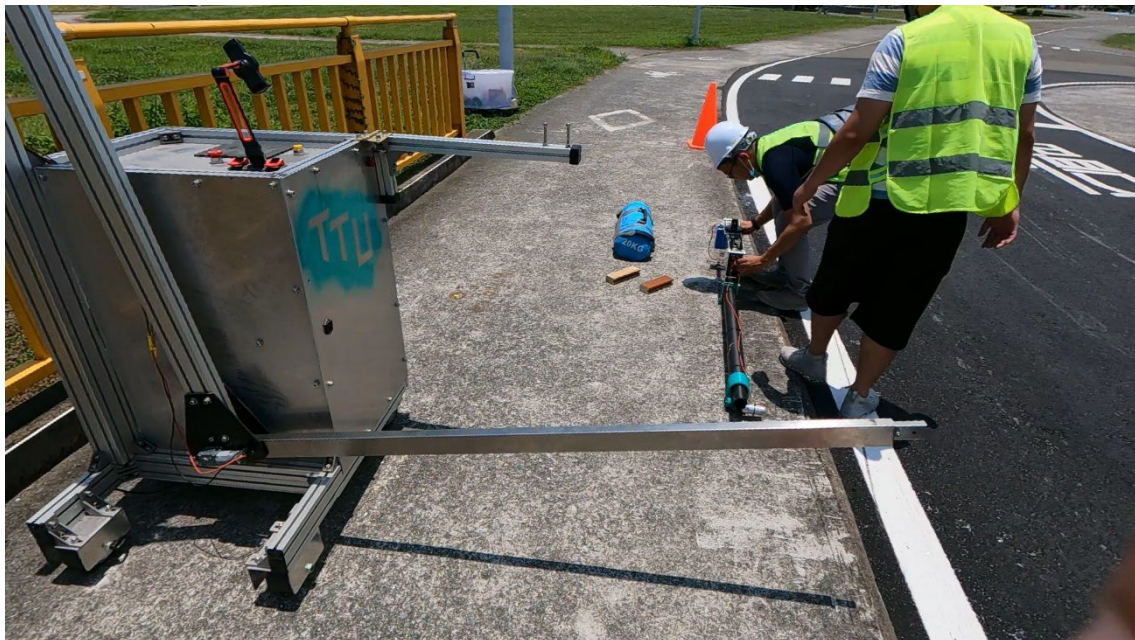


圖 5.9 B 桿展開並插上插銷



圖 5.10 安裝 C 桿模組



圖 5.11 設備安裝完畢



圖 5.12 桿件向外抬升



圖 5.13 桿件下降至定位



圖 5.14 B 桿下降至定位

5.1.3 量測影像

本次量測攝影設備距梁底約 2 公尺，設備展開狀態如圖 5.15 所示，影像擷取間距為 1 公尺，影像重疊率約 50%，擷取方式如圖 5.16 所示。量測影像為 800 萬畫素(如圖 5.17、圖 5.18 所示)。



圖 5.15 C 梁底量測實況

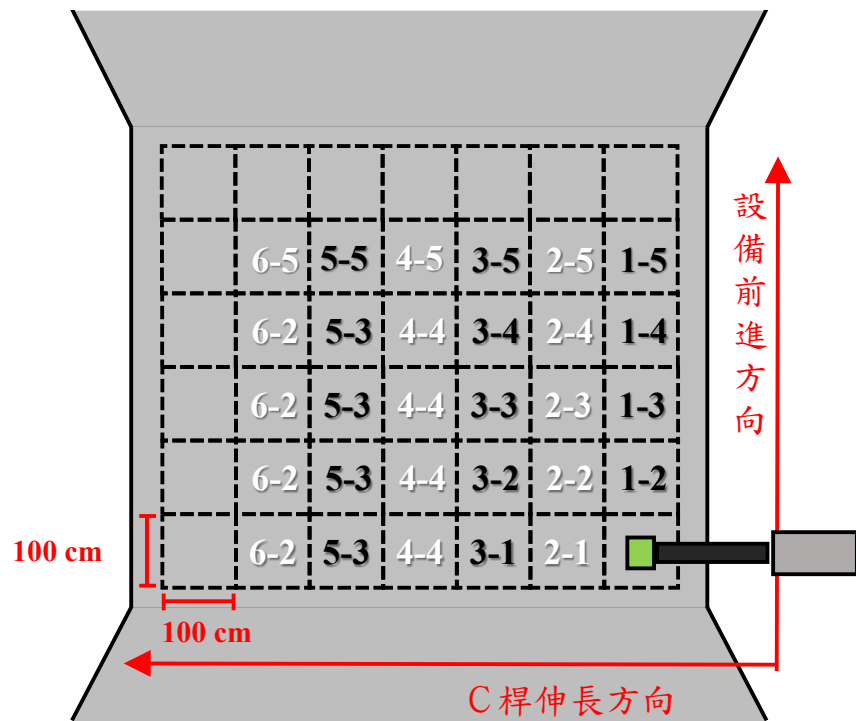


圖 5.16 影像擷取順序



圖 5.17 梁底實拍影像(A)



圖 5.18 梁底實拍影像(B)

本次量測因自動化設備改良未盡完善，因此以手動方式輔助設備推送進行攝影。影像拼接商請成功大學饒見有教授協助，初步影樣拼接成果如圖 5.19 所示。

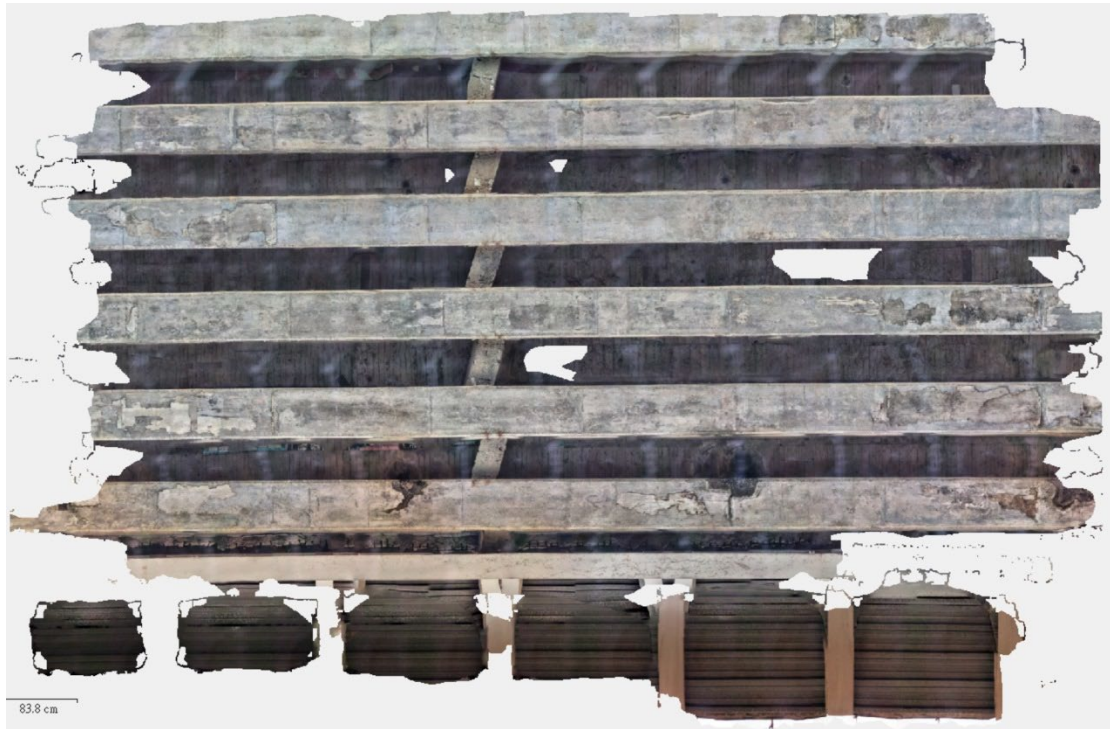


圖 5.19 初步影像拼接成果

5.1.4 第 1 次實地測試問題

本次量測主要目的在於及早發現設備之缺失以待後續改進，除尚未完成之機電系統外，本設備待改善之狀況如下：

1. C 桿推送力不足

本計畫之 C 桿以長型釣桿構成，當尾端附載且伸長時，伸長所需引力極大，遠高於初步預期值，後續將再更改 C 桿推送裝置之設計。

2. 攝影模組歪斜

當 C 桿模組伸至梁底時，設備現況難以保持 C 桿與路面方向垂直，此現象造成影像歪斜難以拼接。後續將考量此因素設計自動化機

電系統，使設備保持直進取得平行梁底之影像。

3. C 桿下垂量過大

本計畫旨在設計對應感潮河段橋梁檢測之設備，梁底淨高極小，設備設計中 C 桿下垂量須盡量降低以滿足此需求。除 C 桿自身之下垂量外，B 桿之彎曲量、甚至橋面設備之傾斜等種種因素都會造成 C 桿末端下垂。此現象可由增加 C 桿安裝時之預傾角補正，達到最小下垂量之效果。

5.2 第 2 次實地測試

第 2 次實地測試選址為彰化縣彰水橋(如圖 5.20)所示。該橋雖非感潮河段，但曾為黎明工程顧問公司受交通部委託量測之橋梁，測試設備於感潮河段以外應用之可能性。該橋樑上方佈有電線，無法使用橋樑檢測車進行檢測，且周邊堤防過高，垂降橡皮艇困難，最後人員僅能以攀繩方式至下方橋墩進行目視檢測。

台19線-彰水橋



黎明公司橋檢實例

1. 橋梁2側上方皆有電信線，無法使用橋檢車
2. 周邊堤防太高
無適合停放吊車吊掛船艇(且花費高)
3. 人員不易下至橋下



圖 5.20 第 2 次實地測試選址-彰水橋

該路段車流量大，但有人行道進行交管供本設備進行安裝，實地量測情形如圖 5.21 所示。本設備經改善後操作所需淨高低於依規範布置之電線高度，梁底實拍影像如圖 5.22 所示。



圖 5.21 第 2 次實地測試情況



圖 5.22 第 2 次實地測試梁底影像

5.2.1 第 2 次實地測試問題

第 2 次實測發現設備部分異常，其中 C 桿轉正用齒輪有崩裂情形(如圖 5.23 所示)，若其完全崩裂，將造成設備難以回收之狀況，因此當日實測僅取得少量梁底照片。C 桿縮短裝置也因鋼絲異常捲繞，造成 C 桿無法完全回收(如圖 5.24 所示)，當日測試在 C 桿未完全回收狀況下強制抬升 A 桿進行回收。C 桿前攝影模組雖可部分正常運作，但因控制程式存在錯誤，攝影機自動水平功能雖可正常運作，但會發生水平朝上/水平朝下兩者誤判之情況，造成無法全向旋轉拍攝橋墩之完整照片。另外，該路段車流量大，路面毀損情形較嚴重，測試人員未閃避路面排水孔，主動力輪結構較強輪徑較大可度過該障礙，但造成右後方承重輪損壞(如圖 5.25 所示)。



圖 5.23 C 桿轉正齒輪崩裂情形

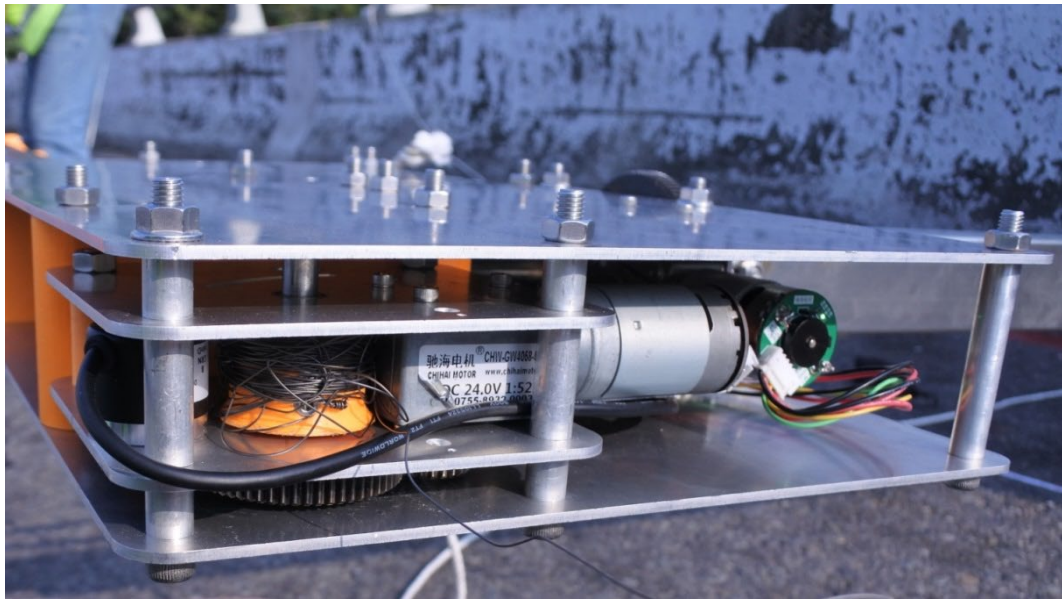


圖 5.24 收線裝置鋼絲捲繞情形



圖 5.25 設備載重輪毀損狀況

5.2.2 第 2 次實地測試問題改善

檢討 C 桿轉正齒輪崩裂之問題，主因為 C 桿配重不均所造成。於實驗室靜態測試時未發現異常，而實地操作中 A 桿抬升若操作多次，會因加速度所造成極大扭力，齒輪在往復受力之下崩裂。改善方式為重新布置 C 桿驅動模組之內部組件，將重心移動至 C 桿轉動中心，消除加速度所造成之扭力(如圖 5.26 所示)。因內部配置空間不足，將原有二級齒輪驅動機構改為一級齒輪驅動(如圖 5.27 所示)，因此驅動馬達則須對應採用更高規格與扭力之馬達。另外該齒輪自身軸徑過小無法強化，因此採用更高齒數，軸徑較大之齒輪，以提升齒輪芯部之強度(如圖 5.28 所示)。

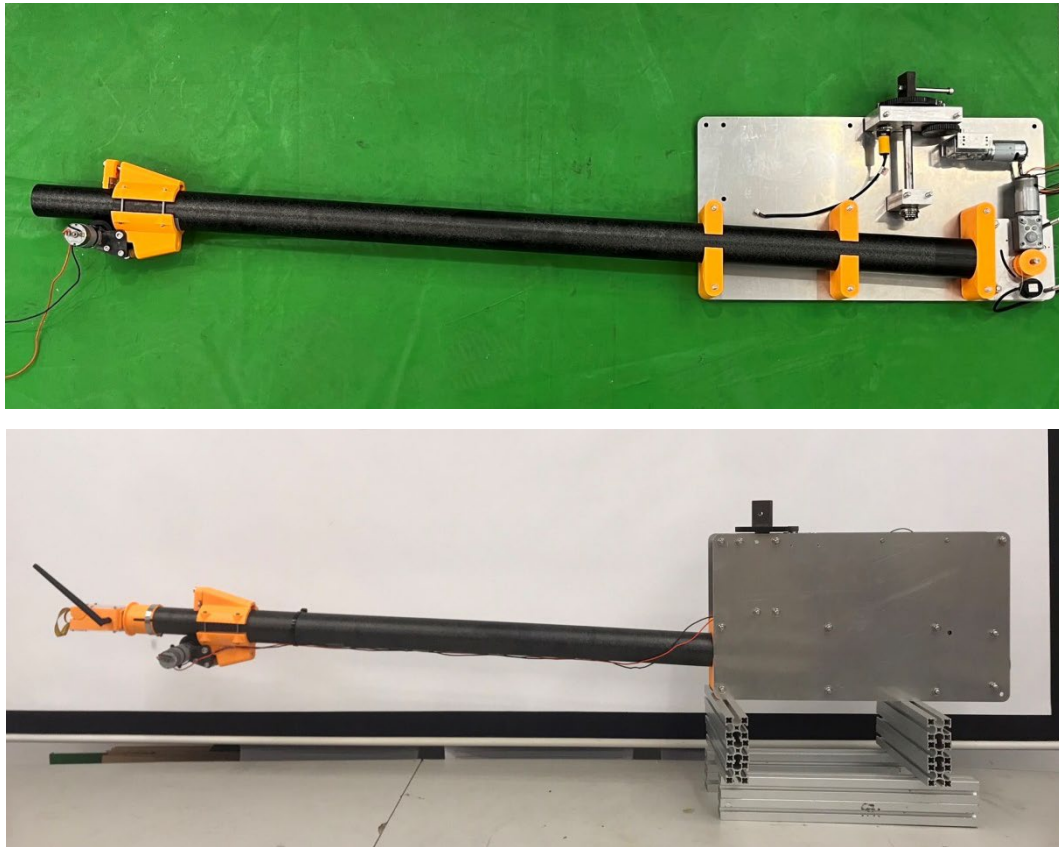


圖 5.26 C 桿轉動中心配置前後對照(上前-下後)

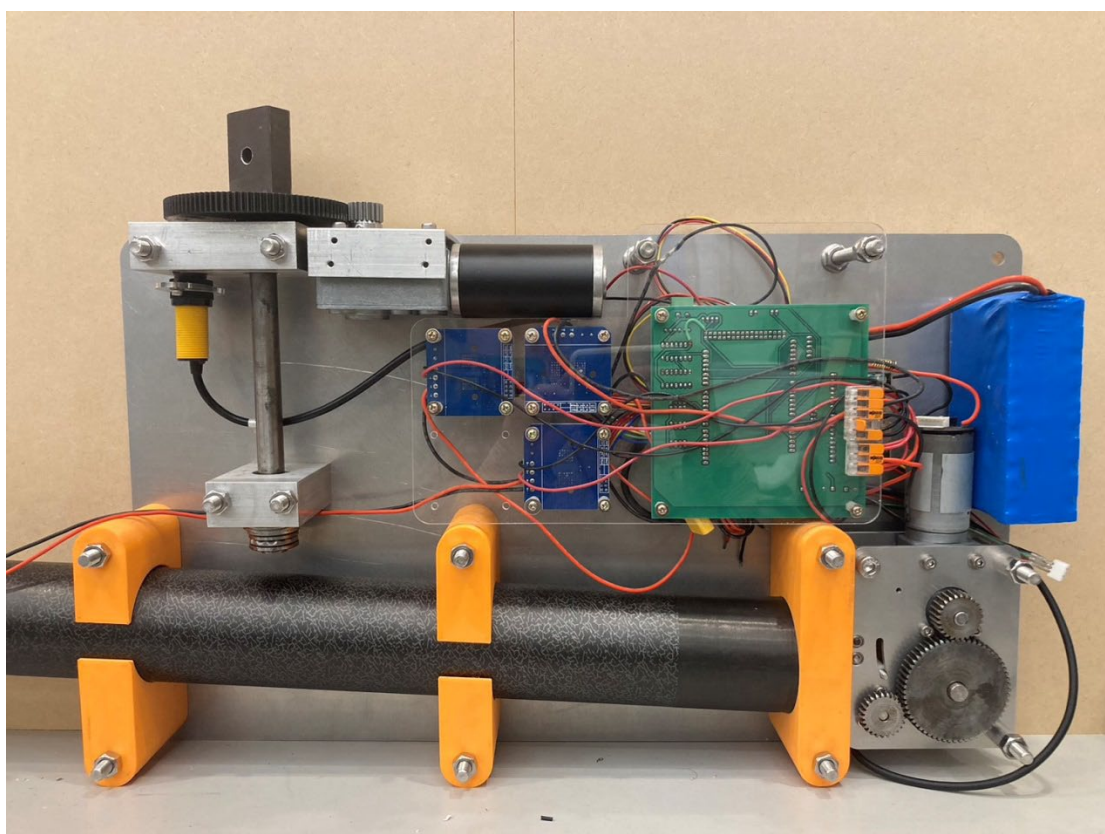
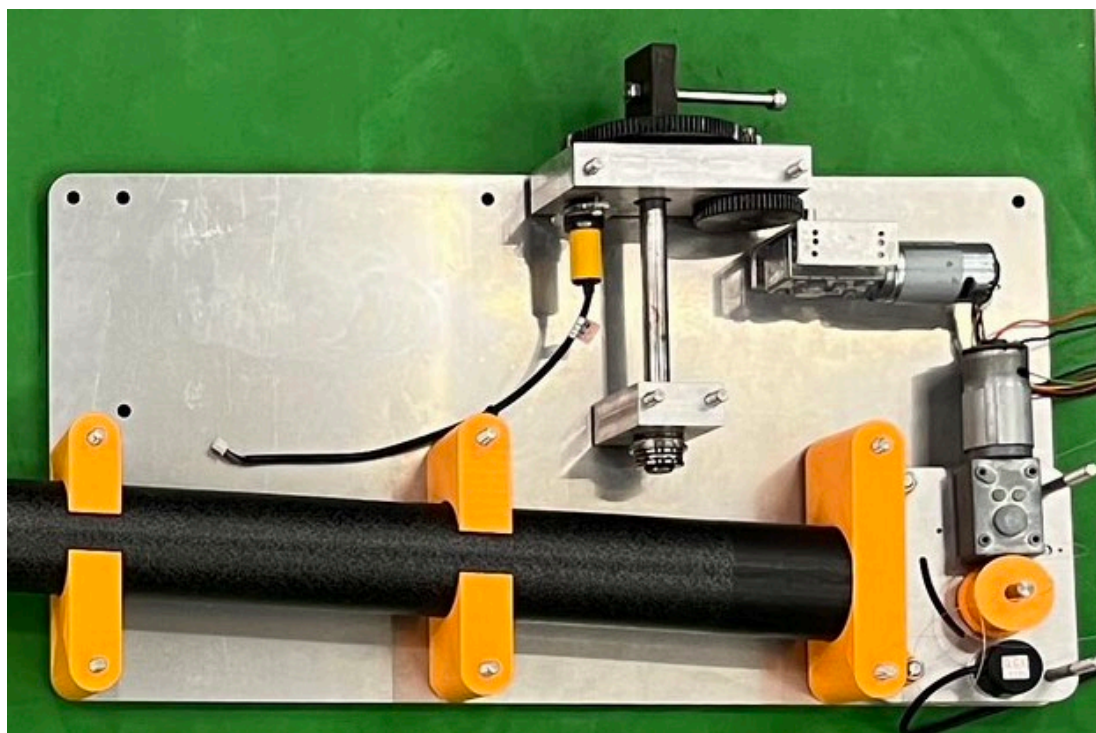


圖 5.27 C 桿內部配置前後對照(上前-下後)

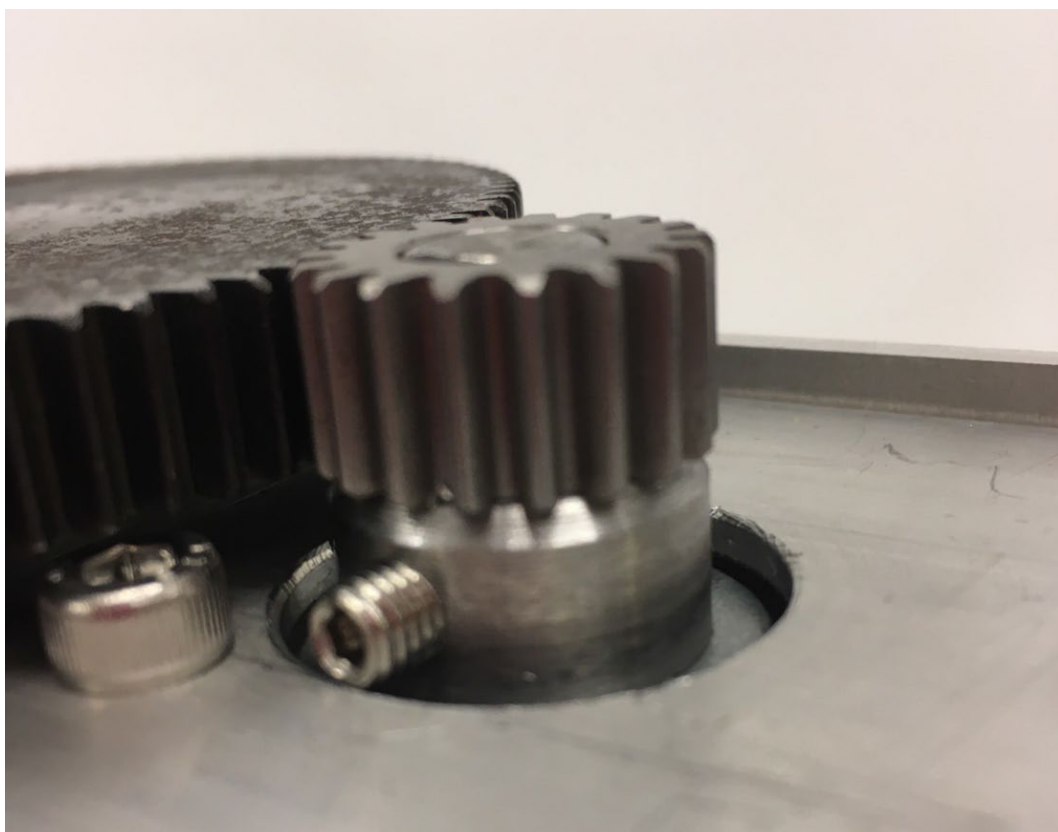


圖 5.28 齒輪強度改善

本設備在 C 桿縮短時，以引線方式回收，同時計算引線長度作為量距功能。本次實測因摩擦輪推送與引線放出之轉速難以協調，造成引線有滯線之狀況，而鬆弛之引線夾入轉動間隙遭剪斷(如圖 5.24 所示)。改善方案為在引線收回裝置上加裝張力保持器(如圖 5.29 所示)當引線張力減低時，控制馬達轉速降低，以減少滯線之情形。但目前該裝置因反應速度過慢，僅能減少滯線狀況發生，當重複數次後依然有打結甚至鋼絲剪斷之虞。



圖 5.29 引繩張力保持裝置

本次測試中發現攝影模組轉正功能異常，其原因為攝影模組為二軸向平台，控制程式中僅考慮 X、Y 兩軸向之定位，因此平台會誤判重力方向轉為正朝下攝影，後續已加入 Z 軸向之參數，使其可正常運作，並且改良外部包覆與轉動機構之設計(如圖 5.30 所示)，使其使用上妥善率更高。



圖 5.30 C 桿前模組改良

5.3 第 3 次實地測試

第 3 次實地測試選址為彰化縣福興「出水橋」(如圖 5.31 所示)及「福寶橋」(如圖 5.32 所示)。

彰化縣政府所轄橋梁

6. 福興出水橋

最大淨寬：10.1m
最低橋下淨高：2m



圖 5.31 第 3 次實地測試選址彰化縣福興鄉-出水橋

彰化縣政府所轄橋梁

8. 福興福寶橋

最大淨寬：9m
最低橋下淨高：1.5m



圖 5.32 第 3 次實地測試選址彰化縣福興鄉-福寶橋

經過前 2 次實測後，已累積更多的實測經驗，也針對先前實測時所碰到的問題進行改善。整體而言，實測過程已較為順利，但在針對「出水橋」進行實測時(實測情形如圖 5.33 所示，實測拍攝之橋梁影像如圖 5.34 所示)，還是有發生檢測桿回收鋼索卡住之情形，所幸經現場排除後，可繼續針對「福寶橋」進行檢測(實測情形如圖 5.35 所示，實測拍攝之橋梁影像如圖 5.36 所示)。



圖 5.33 「出水橋」實地測試情況



圖 5.34 「出水橋」實地測試梁底影像



圖 5.35 「福寶橋」實地測試情況



圖 5.36 「福寶橋」實地測試梁底影像



圖 5.37 大梁間伸縮縫及支承



圖 5.38 大梁間防落設施



圖 5.39 大梁、支承、帽梁(鋼筋斷面生鏽)



圖 5.40 鋼筋突出及表面剝落



圖 5.41 白華

5.4 設備操作作業要求

5.4.1 設備載送建議

對於設備之載送，及方便檢測設備上下貨車，建議可選用 1.8 噸且具有升降尾門之小貨車(如圖 5.42 所示)。或在 1.8 噸貨車尾部放置斜板(如圖 5.43 所示)，方便設備推送上下貨車。



圖 5.42 具升降尾門小貨車



圖 5.43 貨車用斜板

5.4.2 設備作業空間

依據檢測設備之尺寸(如圖 5.44 所示)，建議之作業空間如下：

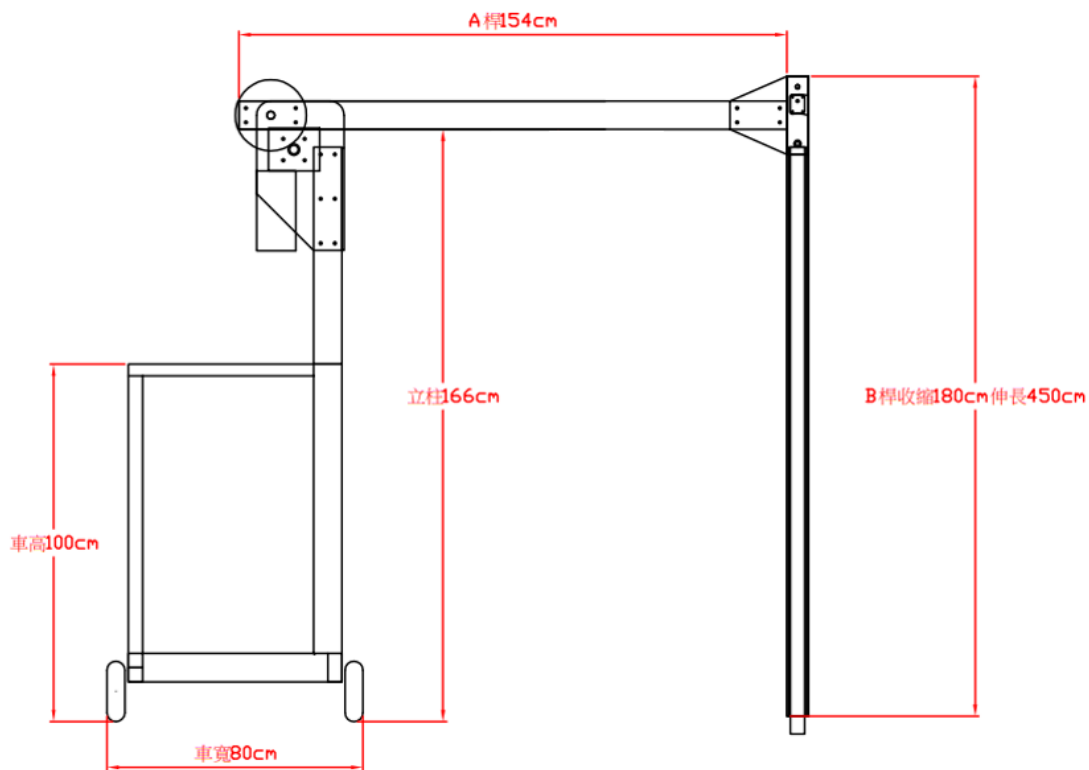


圖 5.44 橋梁檢測設備尺寸示意圖

1. 設備安裝作業空間約佔用路面寬度 3 公尺，建議以一車道寬度做管制。
2. 設備操作作業空間約佔用路面寬度 1.5 公尺。
3. 設備操作限高至少需 4 公尺(電線安裝規範至少須離地 5.5 公尺)
4. 設備行走路面(人行道)空間至少需 0.9 公尺以上。
5. 護欄高度須在 1.5 公尺以下，護欄寬度須在 1.2 公尺以內。
6. 梁底淨高建議至少 1 公尺以上

5.4.3 設備操作人員配置

本計畫所設計建置應用於感潮河段橋梁檢測設備，在設計階段即設定要盡可能減少設備操作所需之人員。對於設備之組裝，除了 C 桿須由專人持握攜帶至橋梁待檢處之外，其餘的設備均可由推車直接推送至橋梁待檢處。

在完成必要的交通管制作業後，安排必要的交管人員，設備組裝時 C 桿與 B 桿採用的是快拆設計，只需要 2 位人員即可在短時間內(平均

可在 1 分鐘內完成組裝)完成組裝(如圖 5.45 所示)。完成設備組裝後，只需要 1 位人員即可進行設備操作，另 1 人可至橋梁外遠距離協助確認設備操作時，檢測空間中是否有障礙物，或是會造成檢測設備毀損之外物，人員之配置建議，如圖 5.46 所示。



圖 5.45 檢測設備組裝

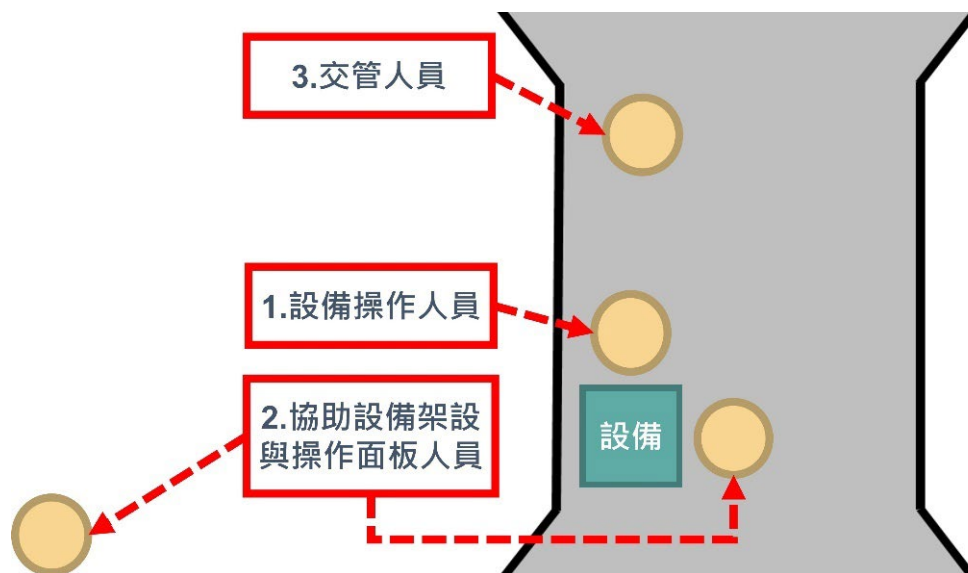


圖 5.46 橋梁檢測設備操作人員配置建議

5.5 橋梁檢測作業績效

本計畫所開發的感潮河段橋梁檢測設備，設備的運送及組裝已相

當簡便，對於檢測過程中各項設備操作之作業時間，整理如表 5-1 所示。完整的操作流程如圖 5.47 所示，在安裝流程的部份約需 3 分鐘，量測流程包含 C 桿伸長進行量測、完全伸長後收縮回原狀、推車設備前進，採用的檢測路徑為「S 型」，直至完成檢測作業後，再進入設備回收流程。經實測後，5 公尺*1 公尺的檢測範圍，需拍攝 10 張照片，量測速度每分鐘可達 2.5 平方公尺，所拍攝的影片彼此間須有三分之一重疊。

表5-1 檢測設備各動作之操作時間

設備動作	操作時間
C桿推送模組安裝	50秒
A桿轉正至定位	30秒
B桿下降至定位	45秒
C桿轉正	10秒
C桿伸出	1分鐘
設備推送	10秒
C桿收回	1分鐘
C桿轉回	10秒
B桿上升至定位	1分鐘
A桿轉回至定位	25秒
C桿推送模組拆卸	30秒

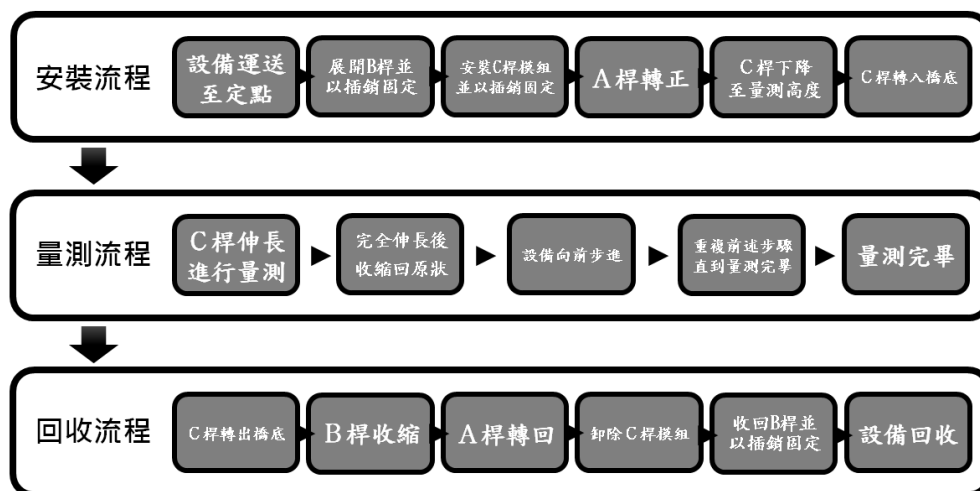


圖 5.47 橋梁檢測流程

以「出水橋」為例，橋面寬 10 公尺、橋長 20 公尺，以每分鐘 2.5 平方公尺的量測速度計算，約 90 分鐘可完成全梁底影像之拍攝作業。

5.6 研究成果

5.6.1 線上成果推廣活動

為能讓更多對於感潮河段橋梁檢測作業有興趣之單位參與，經討論評估後，此次成果推廣活動決定於 111 年 12 月 1 日(星期四)以線上方式進行，成果推廣活動議程表如表 5-2 所示。共有 71 人報名參加，參加人員之單位區分整理如表 5-3 所示。線上成果發表會進行情形如圖 5.48 至圖 5.50 所示。

表5-2 線上成果發表會議程

日期	時 間	講 題	主 講 人	主 持 人
12月1日 星期四	9:00-9:30	人員上線報到		
	9:30-9:40	開幕與主持人致詞		
	9:40-10:30	感潮河段橋梁梁底檢測工具 精進研究之研究成果分享	黃維信 副校長 大同大學	賴瑞應
	10:30-10:40	休 息		
	10:40-11:10	推車型橋梁檢測設備 實地檢測操作影片展示 及功能介紹	林晨光 助理教授 大同大學機材系	賴瑞應
	11:10-11:30	交 流 時 間		
		(人員離線結束)		

表5-3 參與成果發表會與會者單位分析

與會單位	與會人數
內政部營建署	3
交通部運輸研究所	1
交通部公路總局	9
交通部高速公路局	4
縣市政府	12
市鄉鎮區公所	6
土木技師公會	2
土木技師事務所	2
工程顧問公司	25
土木營造公司	7
合計	71



圖 5.48 成果發表會-蔡立宏主任致詞



圖 5.49 成果發表會-第一場次發表



圖 5.50 成果發表會-第 2 場次發表

5.6.2 研究成果投稿

本研究成果已投稿第 39 屆中國機械工程學會 111 年度年會暨全國學術研討會，目前已被接受發表，接受證明如圖 5.51 所示。



中國機械工程學會第三十九屆全國學術研討會論文集
中華民國一百一十一年十二月二、三日

國立聯合大學 苗栗市
論文編號: CA01-1234

橋梁梁底檢測用長桿推送機構設計

林晨光^{1*}、葉謙¹、賴耀仁¹、黃維信²、胡啟文³、鄭登鍵³、曾裕傑¹

¹ 大同大學機械與材料工程學系

² 大同大學媒體設計學系

³ 交通部運輸研究所港灣研究中心
(MOTC-IOT-111-H1CB001f)

*Email: cglin@gm.ttu.edu.tw

圖 5.51 投稿接受證明

第六章 結論與建議

感潮河段橋梁具有梁底淨高不足之問題，現有的檢測設備均難以深入其中拍攝梁底影像。為滿足此一需求，本所自 106 年起即著手推動可應用於感潮河段橋梁梁底檢測工具之開發，協助橋梁檢測人員，可以更快速、更安全、更確實的完成橋梁檢測工作。

本所開發的檢測設備，已歷經多年的開發及測試，整體設備的操作性已相當穩定。利用自行設計的推車當成設備載具，兼具便利的移動性，可在人行道上進行檢測作業，利用小貨車即可進行載送。拍攝後之影像，可透過影像拼接技術，完成全橋體之影像，有助於橋梁檢測作業之需求，對於實際進行橋梁檢測可帶來便利性及穩定性。

本計畫結論、建議、成果效益與應用情形說明如下：

6.1 結論

本計畫研究成果說明如下：

1. 新興科技與橋檢工作之整合探討

「微定位」近年發展迅速，主要是以藍牙及 UWB 最受矚目，經評估未來的整合性及建置成本，藍牙應該是可以多做考量。

在 AI 應用於橋梁檢測作業的部份，國內外已有相關的研究，經評估應該是可以，但是須先建立缺失影像資料庫，並建立一致性的影像拍攝作業方式，以提高辨識準確度。

影像拼接的部份，目前已有相當多成熟的軟體，可進行整合應用，應該也會有助於檢測後影像之應用。

2. C 桿輕量化

依先前之經驗發現，當 C 桿的重量提高後，為確保推車的穩定性及安全性(避免翻覆)，則得調整 C 桿的組立及整體機構運作方式。

當調整組立方式時，則會延長整體組立作業時間(從原本的約 5 分鐘拉長至約 30 分鐘)，且設備上方需要更大的操作空間(設備上方不能有電線等外物)，整體操作上反而更為不便。

為解決此一問題，目前已針對 C 桿進行輕量化設計，讓機構運作方式能回到「第一代推車型橋梁檢測設備」之運作方式，一來縮短設備組立的時間，二來也可縮小作業所需的淨高空間。

3. C 桿推送裝置開發

為能讓 C 桿有更長的作業長度，單靠彈簧線管的挫曲會有推力不足的問題，因此無法達到預期的作業長度。為此改用磨擦輪形式之推送裝置，以取代原本彈簧線管裝置驅動 C 桿伸長的操作方式。同步考量回收問題，利用 C 桿管內的引線，透過引線拉回的方式協助 C 桿進行回收，也可避免 C 桿回收卡死之問題，且利用引線做為定位輔助使用，以配合影像拼接之需求。

4. C 桿前端攝影裝置開發

重新設計 C 桿前端之攝影裝置，包含補光模組、穩定器/轉向模組、攝影模組，總重量約為 550 克。照明模組的部份，採用功率為 1.2W，可有效補足梁底拍攝時光線不足的問題。在供電的部份，則採用模組化電池包，可提供約 1 小時的運作外，且可以方便快捷更換，避免影響橋梁檢測作業之時間。在攝影模組中，使用樹梅派進行拍攝，拍攝後的影像透過 Wi-Fi 回傳，可即時觀看橋梁底部之檢測作業情形。

5. 自動化量測規劃

配合影像拼接需求，設備底部驅動輪上與 C 桿驅動馬達上裝置編碼器，透過讀取編碼器資料控制馬達推送設備，達到量測移動距離之功能。再配合影像拼接軟體，即可能達成免佈標之影像拼接。

6.2 建議

1. 推車載具

目前所開發之推車型載具已相當便利，可在一般的人行道中行走，未來可就此架構持續精進。

2. C 桿之發展

在這幾年的研究發展過程中，最想解決的就是 C 桿可伸長距離之問題。但在結構設計方面，採端點支撐時，當桿件伸長時必然會產生自然下垂之問題。雖然曾嘗試想改用碳纖維管做為 C 桿之材料，但增加之重量，除造成檢測桿件自橋面上旋轉帶至橋梁下時，所產生的力矩而可能造成推車翻覆，雖增加推車配重及改變桿件轉動方式可抵抗此力矩所帶來之問題，但卻需要更大的作業淨高空間。在實務上橋梁旁邊常會有一些纜線，反而無法進行設備操作。

此外，當推送出去的檢測件越重且越長時，桿件彎曲時會增加套管回收時的阻力，反而更容易造成回收鋼索斷裂。而若採用更粗的鋼索，又會增加 C 桿的重量，反而造成更大的彎曲變形。因此如何在兩者間取得平衡，便是最為重要之考量因素。目前採用的釣桿為規格品，容易在市面上取得，可增加未來設備維修及生產之便利性，且目前最穩定的 C 桿伸長長度為 5 公尺，可應用於雙車道之檢測。未來可持續在 C 桿桿件及鋼索回收機構之設計再做測試及改良，以逐步增加 C 桿之伸長長度。

3. 影像拍攝設備之精進

目前採用的設備影像解析度為 800 萬畫素，未來可採更高精度之影像拍攝設備或鏡頭元件，以提高所拍攝之影像品質。

4. 不同檢測環境下的適應性能評估

感潮河段有其作業的獨特性，未來在進行感潮河段橋梁檢測設備精進時，得再將更多不同的實際作業情形納入考量，以提供更符合

實務需求之檢測設備。

5. 結合實務橋梁檢測作業建立標準作業程序

本計畫以開發可應用於感潮河段橋梁檢測之設備為主，現階段之是以開發測試為主，未來應結合實際進行橋梁檢測作業之人員，搭配此設備進行操作，以訂定合適之標準作業程序。

6.3 研究成果與效益

1. 完成探討相關新興科技可應用結合於橋檢工具之可行性。
2. 持續精進前期計畫橋檢工具之功能運作速率、展開方式、結構強化及穩定性。
3. 持續提升本計畫橋檢工具檢測環境適應性能。
4. 完成鏡頭改良設計，提升可檢測範圍，可協助橋檢人員進入橋梁梁底空間擷取橋梁梁底梁、版、墩柱、支承等構件之清晰影像。

6.4 提供應用情形

本計畫研發之橋檢工具尚屬開發階段，各項軟硬體操作未臻成熟，經實地測試後雖已可初步代替橋檢人員進入橋梁梁底空間擷取構件影像，但整體使用及操作有待改善並持續精進，尚無法提供實際橋檢應用。

為推廣本計畫研究成果，於 111 年 12 月 1 日舉辦線上研究成果推廣，分享橋檢工具研發成果及檢測案例，展示橋檢工具操作及功能，邀請中央（內政部營建署、交通部高速公路局、公路總局等）、地方（縣市政府等）橋梁維護管理機關及土木技師公會，超過 30 位人員參與。透過此次的成果推廣，對於提升橋梁檢測與維護工作之安全及落實將有所助益。

參考文獻

1. 維基百科，橋，取自 <https://reurl.cc/RrGM7e>，查詢日期：2022 年 6 月 26 日。
2. 維基百科，臺灣地理，取自 <https://reurl.cc/M05EQL>，查詢日期：2022 年 6 月 25 日。
3. 交通部，「交通技術標準規範公路類公路工程-公路養護規範」，2012。
4. 交通部，「交通技術標準規範公路類公路工程-公路橋梁檢測及補強規範」，2018。
5. 交通部運輸研究所，「橋梁檢測工具效能提升計畫」，2016。
6. IT SQUARE，手機藍牙室內定位 AoA 精度亞米級，取自 <https://reurl.cc/2Z98L4>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
7. 新通訊，藍牙/UWB/Wi-Fi 各擁絕活 微定位技術三強較勁，取自 <https://reurl.cc/ZAk10A>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
8. 維基百科，超寬頻，取自 <https://reurl.cc/yr8mxD>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
9. 新通訊，2018 年版通訊產業關鍵報告：公分級精準度務實可行室內定位技術追上需求，取自 <https://reurl.cc/anY1z7>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
10. 劉世桐、陳毅銘、李坤哲、黃志杰、陳國睿，「非接觸式量測及 AI 自動偵測裂縫於橋梁檢測之應用」，臺灣公路工程第 47 卷第 3 期，2021 年 3 月。
11. 饒見有、詹鈞評、蔡欣局、周姿良、王瑞麟，「影像式智慧橋梁檢測作業系統之開發」，中華技術，第 127 期，190-199 頁，2020 年 7

月。

- 12.Kruachottikul, 2019, Bridge Sub Structure Defect Inspection Assistance by using Deep Learning, IEEE 10th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST) .
- 13.維基百科，影像拼接，取自 <https://reurl.cc/7D8dqN>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
- 14.What is Image Composite Editor?，取自 <https://reurl.cc/M0Qjqm>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
- 15.Hugin -Panorama photo stitcher，取自 <https://reurl.cc/Gx654y>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
- 16.WidsMob 全照圖，取自 <https://reurl.cc/n13qLd>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
- 17.PhotoStitcher，取自 <https://reurl.cc/Dy2KjE>，查詢日期：2022 年 6 月 27 日。
- 18.交通部運輸研究所，「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」，未出版，2017。
- 19.交通部運輸研究所，「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」，2019。
- 20.交通部運輸研究所，「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」，2021。
- 21.內政部，「市區道路及附屬工程設計標準」，2021。

附錄一

期中報告審查意見及處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫第 2 類

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-111-H1CB001f 感潮河段橋梁梁底檢測工具研發(1/4)-功能

精進與新興科技導入評估

執行單位：大同大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
(一) 李坤哲委員：		
1. 本計畫目的以操作簡便、便攜、經濟且可施作空間為設計架構，透過穩定伸展至橋梁下方拍攝梁底影像。建議以此為核心定位，專注開發重點，與其他檢測工具區隔。	謝謝委員建議，設備將持續朝此方向發展。	同意合作研究單位處理情形。
2. 建議整理本計畫適用條件橋梁，環境限制，量化數據。嘗試調查篩選某單位，或某路線橋梁，評估適用橋梁數量、比例。	謝謝委員建議，本研究後續會依現地實測結果，整理適用之橋梁資料。	同意合作研究單位處理情形。
3. 前案設備佈置需 5 人，耗時 20 分鐘，本次設備佈置 3 人，時間 3~5 分鐘，精進方向正確。設備需 1.8 噸貨車載送，一般橋檢人員常用之休旅車是否可載運設備？	曾評估過能否使用休旅車載運設備，但考量為能確保檢測設備之桿件剛性、設備搬運之便利性，及確保運送過程中設備不受損。經參考日本 Zivil 公司「機械手臂型橋梁檢測車」之載送方式，因此建議以 1.8 噸貨車進行設備載送，未來亦可選用 6 人座貨車，可兼顧人員及設備載送之需求。	同意合作研究單位處理情形。
4. 圖 46 長形釣竿構成之 C 桿，前方雲台是否可調角度？晃動程度如何？C 桿末端附載 600 公克，市面具相機、通訊、測距儀、手電筒、電池、防水... 等功能手機約 200 公克，是否考量部分取代自組設備？	為拍攝橋墩之狀況，前方攝影機具有轉動功能，若改以市售裝置組建，手機搭配雲台裝置重量則會大於 600 克。後續仍會持續評估是否有其他減重方式，以減少檢測桿尾端之變形。	同意合作研究單位處理情形。
5. 以圓形曲面壓克力罩包覆達到防水是否會造成影像變形？	此方面已參考影像處理專家學者之建議，預計將改為平面式玻璃。	同意合作研究單位處理情形。

6.原橋梁懸臂板、隔梁扭曲變形嚴重？報告第 65 頁論及增加 C 桿安裝時之預傾角補正，預計做法為何？	預計調整 C 桿安裝之支撐架之孔位尺寸，以減少變形之影響。	同意合作研究單位處理情形。
7.建議應在期中報告提出擬辦理實地測試橋梁名單及理由，獲同意後施做。	謝謝委員建議，後續將盡快提供實測橋梁名單供運研所審核，獲同意後再行測試。	同意合作研究單位處理情形，預計以西部沿海感潮河段橋梁為實測標的。
8.後續請建立研發工具現場操作之 SOP，例如檢測構件順序、C 桿下降高度...等。建議實地測試時應完整完成該座橋梁可以用該工具檢測之構件，產出檢測成果。並跟傳統檢測人力、經濟效益評估比較。	謝謝委員建議，後續將依實地測試過程整理操作 SOP，並進行效益之評估比較。	同意合作研究單位處理情形，相關比較、整理請於期末報告中呈現。
(二) 戴國政委員：		
1.建議將歷年的施作經驗及精進結果以量化的方式整理，於報告中進行呈現及比較，以利掌握改良的發展歷程。	謝謝委員建議，後續將在期末報告中將歷年設備精進成果，進行系統性的整理與比較，以呈現設備改良之發展歷程。	同意合作研究單位處理情形，相關比較、整理請於期末報告中呈現。
2.宜將擬改進的設備結構以 3D 模擬建構，具體呈現設備之開展及做動方式，亦可做為 CAE 分析及未來設備操作手冊之參考。	謝謝委員建議，設計過程已有進行相關的設計分析，後續會再以輔以 3D 動畫做為設備操作手冊之參考使用。	同意合作研究單位處理情形。
3.期中報告書中之工作流程圖宜依工作項目予以對應，同時應有完整的工作進度分析，以利掌握工作進度。	謝謝委員提醒，後續將再針對工作項目重新整理工作流程圖。	同意合作研究單位處理情形。
4.新興科技的導入評估宜考量如何應用於本計畫。	目前新興科技之評估，著重於 UWB 之定位可行性、橋梁缺失影像 AI 之辨識及影像拼接，目前以影像拼接為主，未來本計畫所拍攝之影像，將可與運研所其他計畫做整合，提供更完整的橋梁檢測解決方案。	同意合作研究單位處理情形。
(三) 盧昭暉委員：		

1. 國外相關之橋檢系統是否有可以參考借鏡之處？	目前搜尋到的國外橋檢設備，絕大部份為傳統橋梁檢測車，或是近期已逐步被採用的 UAV，僅有日本 Zivil 公司的「機械手臂型橋梁檢測車」與本計畫之設計相近，並做為本計畫之重要參考資料。	同意合作研究單位處理情形。
2. 今年之設備與前期計畫改進及精進之處為何？請於報告中進行呈現及比較。	謝謝委員建議，後續將在期末報告中將歷年設備精進成果，進行系統性的整理與比較，以呈現設備改良之發展歷程。	同意合作研究單位處理情形，相關比較、整理請於期末報告中呈現。
3. 本橋檢設備之定位準確度有多高？尤其 C 桿前進方向如何定位？是否有律定伸長距離及拍照頻率之標準？	檢測設備之行進定位，評估可結合雷射測距定位，精度可達公分級。C 桿之定位可結合機構連桿及引線長度，推算出定位資料。目前設計的 C 桿檢測長度以 8 公尺為目標，檢測過程中所拍攝的影像，考量到影像拼接，前後張之影像重疊率至少須有 30%，會以此為標準進行拍照頻率之設定。	同意合作研究單位處理情形。
4. 設備進行檢測實際需要多少時間？如報告中進行測試時拍攝 13 公尺*7 公尺之範圍需要多少時間？總共拍攝幾張照片？	後續將依實測結果提供更完整的檢測資料供委員參考。	同意合作研究單位處理情形，實測後之相關數據請整理後於期末報告中呈現。
5. C 桿之晃動自然頻率及震幅是否有計算或進行估計？	目前攝影模組有安裝減震雲台，可讓拍照之影像更為清晰。	同意合作研究單位處理情形。
6. 報告中梁底影像進行拼接後之效果似乎不夠清晰。	期中簡報呈現的拼接影像已請成功大學老師協助做處理，拼接後的影像已較報告更為清晰。	同意合作研究單位處理情形。
(四) 楊秉順委員：		
1. 本研究已長達 3 年，建議補充前期與本次研究的不同處，請採用相關量化或質化之比較表，以利清楚呈現差異性。	謝謝委員建議，後續將在期末報告中將歷年設備精進成果，進行系統性的整理與比較，以呈現設備改良之發展歷程。已整理於第三章中	同意合作研究單位處理情形。

2. 建議應扣合本計畫之主題，針對感潮河段橋梁之種類、狀況與問題歸納，找出最需要解決的問題，以尋求適合的桿長長度以避免每一期皆在調整長度與下垂問題。	謝謝委員建議，本研究將會考量實際應用情境，提出最適之解決方案。 已整理於第三章。	同意合作研究單位處理情形。
3. 影像清晰度與易於判讀 DERU 我認為是本計畫最重要一環，也是最根本的一環，建議應先完成此部分，後續才能進一步訂定相關拍攝 SOP 流程，以利有效發展 AI 及影像拼貼。	現以 800 萬畫素相機、距離 1.5 公尺拍攝影像，後續將本研究實地測試之照片與專家學者判讀劣化程度。	同意合作研究單位處理情形。
4. 請依契約規定，相關工作項目應有對應說明之章節，如第二章國內外相關檢測設備及新興科技應用未完成收集呈現於報告書中。	謝謝委員提醒，後續期末報告將調整呈現之章節順序。 已整理於第二章。	同意合作研究單位處理情形。
5. 報告第 2 頁，內容出現”錯誤！找不到參照來源”請修正。	謝謝委員提醒，期末報告進行檔案修改。	同意合作研究單位處理情形。
6. 報告第 7 頁，工作流程圖未包含所有工作項目，請修正。且本報告書缺漏工作期程甘特圖，請補充，以利業主控管期程。	謝謝委員提醒，期末報告將進行補充。 已補充於 P.1-8。	同意合作研究單位處理情形。
7. 報告第 23 頁 2.1 節與 2.2 節，扣合度不順暢，2.2 節應該屬於國內外文獻之新興科技的應用，建議報告內容各章節重新再組合。	謝謝委員提醒，後續期末報告將調整呈現之章節順序。	同意合作研究單位處理情形。
8. 報告第 50 頁，設備本體定位採用雷射光束定位，如位於曲橋如何定位另因目前橋梁管理系統皆有橋頭、橋尾 GPS 座標，建議可考量利用高精度 GPS 定位較為便利。	GPS 的定位誤差為 5-20 公尺，在橋梁底下還需考量遮蔽影響，經評估 GPS 定位結果並不適合做為影像拼接之參考。 目前設定的檢測橋梁以感潮河段為主，橋梁距離較短，應不會有曲橋之問題。	同意合作研究單位處理情形。
9. 報告第 68 頁，後續工作含有影像辨識技術，惟皆未提到使用方法及處理模式，請補充。	謝謝委員提醒，期末報告將進行補充。	同意合作研究單位處理情形。
(五) 林其璋委員：		

1.宜考量現場檢測時，現場環境風力造成檢測設備 A、B、C 桿側向及垂向變位，對拍攝影像精度之影響。	梁底之風向因河谷地形所致，且為順河流方向。本檢測設備設定的使用環境為感潮河段，經評估對本設備影響較小。	同意合作研究單位處理情形。
2.本計畫利用拍攝梁底影像判別梁底裂縫，宜建立量化指標以診斷損壞程度及後續之應變措施。	本研究以清晰取得梁底影像為主，後續的判斷將提供專門的橋檢人員做研判。	同意合作研究單位處理情形。
3.報告內容多處筆誤，如： (1)報告第 54 頁 4.1 節，實地測試選址...(如圖"52"所示)。 (2) 報告第 65 頁 3 小節，本研究..."桿朝"河段...。 (3) 報告第 68 頁 5 小節，預計以..."感"朝"河段...。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
4.考量本計畫所研發之檢測工具長度及拍攝影像精確度限制，建議提出應用實測橋梁類型，以供管理單位參考。	謝謝委員建議，後續將提供適用條件，供管理單位參考。	同意合作研究單位處理情形。
(六) 本所港灣技術研究中心第一科賴瑞應科長：		
1.建議期中報告第一章能增加本計畫預定進度甘特圖，以利檢核團隊期中報告內容是否符合預定進度。	謝謝委員提醒，後續將於期末報告中進行補充說明。	同意合作研究單位處理情形。
2.由第一章的工作項目內容，無法清楚於報告內檢視對應，請加強報告的撰寫，另外，本計畫規劃的主要機電化程度提升項目為何，請補充說明。	謝謝委員提醒，後續將於期末報告中進行補充說明。	同意合作研究單位處理情形，請於期末報告中加強說明。
3.本計畫規劃鏡頭可檢測範圍包括支承、帽梁、橋墩等橋梁下部結構，期中報告之資料顯示目前僅拍攝梁底影像，尚未測試拍攝支承、帽梁及橋墩等構件，後續實測請加強這些構件的影像取得拍攝。	C 桿末端攝影機具備轉動功能，本次實地量測未拍攝相關影像，期末報告將依委員建議補充，。	同意合作研究單位處理情形，於後續實測請執行拍攝相關橋梁構件影像，並將成果於期末報告中說明呈現。
4.報告第 36 頁，2.4 小節，建議修改為 2.4 小結，另外，第 3 點 AI 於橋梁檢測之應用及第 4 點影像拼接，均有提到要建立標準化的影像拍攝方式，請	謝謝委員提醒，後續待實測後將提供標準化的影像拍攝作業。	同意合作研究單位處理情形，請律定拍攝作業標準流程後，於期末報告中呈現。

問本計畫今年是否會研提標準化的影像拍攝方式?		
5.報告第 56 頁，倒數第 2 行，展開時淨寬由 6.1 公尺降低至 4.1 公尺，是否誤植，是否應修改為展開時淨寬由 4.8 公尺降低至 2.1 公尺，請確認。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
6.目前實測結果，C 桿件推送力不足，請團隊盡速改進，以利後續 3 座感潮河段橋梁的實測作業及相關精進工作。	依委員建議改善設備。	同意合作研究單位處理情形。
7.目前 C 桿前端以防潑水方式設計，但感潮河段橋梁水位面有可能很接近梁底，操作上 C 桿會與梁底有固定的距離以利拍攝，外加 C 桿的下垂與 B 桿的變位，前端裝置有可能浸泡於水中，建議未來 C 桿前端裝置能以防水設計為宜，以符實務需求。	依委員建議目前正改良 C 桿設備。	同意合作研究單位處理情形。
8.報告格式請依本所出版品規定撰寫。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
(七) 本所港灣技術研究中心蔡立宏主任：		
1.請於期末報告提出本計畫橋檢設備之研發成果對於橋梁之適用程度，如：可適用之橋梁、設備使用之限制、操作過程所花費之時間及人力...，以利於本年度計畫後續橋檢設備之推廣及應用說明。	依委員建議，待本研究實地測試時將記錄相關資料並建立設備使用規範。	同意合作研究單位處理情形，相關檢測數據資料，於實測記錄後，請整理於期末報告中呈現。
2.本橋檢設備之開發一定要以實地進行橋梁檢測人員之角度考量其實用性，設備成本雖亦須斟酌，但若較高階之配備能大幅改善重量或目前難以突破之瓶頸，亦應納入使用。	敬悉	同意合作研究單位處理情形。
3.本橋檢設備 C 桿之下垂雖影響其影像拼接效果無法還原梁底全貌，但若不影響拍攝構件之清晰影像，橋檢人員應即可透過影像初步判別梁底狀況。	敬悉	同意合作研究單位處理情形。
柒、主席結論：		

1.本研究期中報告審查結果，原則通過，請大同大學針對前開審查意見，配合檢視調整計畫相關內容。	謝謝，遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。
2.另請大同大學就前開審查意見，研提處理情形答覆意見表，逐項具體回應，配合修正報告書相關內容，並製作「期中報告審查意見處理情形表」發文送至本中心，做為修正報告之依據。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形。
散會：下午 3 時 20 分		

附錄二

期末報告審查意見及處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫第2類

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-111-H1CB001f 感潮河段橋梁梁底檢測工具研發(1/4)-功能
精進與新興科技導入評估

執行單位：大同大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
(一) 戴國政委員：		
1.建議將搜集的國內外資料，可以予以分類彙整，以利於比較其優劣之處。	謝謝委員建議，已分別整理於 2.1.5 小節及 2.2.4 小節中。	同意合作研究單位處理情形。
2.宜將計畫執行所產出的結果，以質量化方式呈現，透過圖表具體展現。	謝謝委員建議，已整理於 6.1 節及 6.2 節中。	同意合作研究單位處理情形。
3.預定未來小量產，是否有相關成本經濟評估？生產所必要的軟硬體設備是否建立材料清單表？	目前仍以雛型系統開發為主，待設備更穩定後會再建立量產所需之各項材料清單，以精準估算量產後之成本。	同意合作研究單位處理情形。
4.創新機構是否有專利搜尋？避免日後專利而影響量產。	先前研究成果已進行專利申請，專利事務所進行資料檢索後，並未發現有會觸及之專利，且目前的機構設計均為可思考所得之設計，應不會有專利之影響。	同意合作研究單位處理情形。
5.進行檢測宜建立標準作業程序，檢測時間點的設定應有規範。	目前的檢測作業係以雛型系統之開發測試為主，未來需配合實際進行橋梁檢測作業之人員，以此設備進行檢測後，再律定標準作業程序。	同意合作研究單位處理情形。
6.期末報告和 ppt 的結論初步成果(第 1 項)未符合。	謝謝委員提醒，報告已做修正。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 盧昭暉委員：		
1.缺計畫目標與完成項目、進度的說明。	已於 1.2 節補充說明計畫執行目的，且均已符合 1.3 節所列之工作項目。	同意合作研究單位處理情形。
2.報告內對成果的描述都是定性的，缺乏定量的說明，也沒有本套系統的規格說明。	謝謝委員建議，已整理於 6.1 節及 6.2 節中。	同意合作研究單位處理情形。
3.C 桿會晃動，缺乏晃動頻率、振幅的評估，也沒有說明側風	C 桿延伸時的確會晃動，但晃動情形不嚴重，影像	同意合作研究單位處理情形。

的影響。	拍攝設備具有影像穩定功能，可補償晃動所帶來之影響，目前所拍攝之影像均清晰可辨。	
4. 缺乏定位的說明，每一張照片究竟相對於橋梁的什麼位置？應有說明。	目前設備是以可拍攝橋梁底部之影像為主，後續結合其他研究計畫之影像拼接技術，即可完成影像定位功能。	同意合作研究單位處理情形。
5. 照片的剪接整理技術是否有進展？	影像拼接技術為運研所另一研究計畫所發展之技術，本研究曾提供拍攝後之影像，經證明可順利進行影像拼接。	同意合作研究單位處理情形。
6. 未能完成一次完整橋梁的檢測，無法評估系統的可靠性。	第三次實測已完成一次完整橋梁之檢測作業。	同意合作研究單位處理情形。
7. 照片品質是否符合橋梁檢測的要求，需有專家來判讀。	目前所拍攝之梁底影像是相當清晰，未來將提供橋梁檢測專業人員進行判讀。	同意合作研究單位處理情形。
8. 成果發表建議以橋梁實測展示來進行。	經與運研所討論，此次成果發表以線上方式進行，可讓更多有興趣的單位或人員參與。	同意合作研究單位處理情形，已於 111 年 12 月 1 日辦理線上成果發表，相關內容已於報告中補充。
(三) 李坤哲委員：(書面審查意見)		
1. P1，所述「國內公路橋梁共計 11,366 座..」，有誤，請再確認。	已使用「車行橋梁管理資訊系統」之資料進行更新。	同意合作研究單位處理情形。
2. P3，建議整理本計畫適用條件橋梁，環境限制，量化數據，例如橋下淨空間？前端攝影模組防塵防水性能？感潮河段可能含海水，防水性較一般 IP 等級更嚴苛。	已將相關數據整理於 6.1 節及 6.2 節中，目前建議梁底淨空需有 1 公尺之高度，且設備有初步防水功能，未來可再訂定更嚴謹的防水標準。	同意合作研究單位處理情形。
3. P80、P140，C 桿預傾角，將造成鏡頭與橋梁構件之拍攝角度及距離之變化，如何測量、計算？如有測距裝置，可以換算相片 Pixel 為構建劣化尺寸。	影像拍攝之相關數據資料，將提供給運研所另一研究案做分析，以應用於計算裂縫情形。	同意合作研究單位處理情形。
4. P86，以圓形曲面壓克力罩包覆達到防水是否會造成影像	目前已修改為平面式玻璃，已無影像變形之問題。	同意合作研究單位處理情形。

變形？(期中報告當時回覆將改採平面式玻璃)		
5.P88，雲台偏轉角度可操作角度？如何保持水平朝上拍攝？	X 軸(C 桿軸向)360 度、Y 軸±45 度，雲台即可保持鏡頭水平朝上。	同意合作研究單位處理情形，相關操作已於報告中呈現。
6.P105，「桿朝河段」筆誤，所述「慢車道」應為路肩。	謝謝委員提醒，已進行修正。	同意合作研究單位處理情形。
7.P107，請補充說明攝影機自動水平功能。目前整部裝置組立後全重？	因攝影機有搭配雲台，所以可自動維持水平。目前整套設備之重量不超過 100 公斤。	同意合作研究單位處理情形。
8.P112，彰水橋測試過程雖然儀器損毀，但從中發現問題，改善後可提升工具之妥善率及可靠度。改善後會再度前往彰水橋將實地驗證完成嗎？	目前已完成計畫所需的實測橋梁，未來會配合運研所指示再進行實測。	同意合作研究單位處理情形。
9.第五章，期末報告請建立研發工具現場操作之 SOP，例如檢測構件順序、C 桿下降高度..等。建議實地測試時應完整完成該座橋梁可以用該工具檢測之構件，產出梁、板、支承等檢測成果。並跟傳統檢測人力、經濟效益評估。	目前之測試以雛型系統開發階段為主，建議未來邀請實際進行橋梁檢測工作之人員參與，以此設備進行實際檢測，以訂定標準作業程序，屆時也可提出與傳統檢測作業之經濟效益評估。	同意合作研究單位處理情形。
(四) 楊秉順委員：(書面審查意見)		
1.前次審查意見回覆，請說明以補充於報告書何處。	已補充於期中審查意見中。	同意合作研究單位處理情形。
2.P1，背景分析所述公路橋梁數僅 11,366 座，請確認。	已使用「車行橋梁管理資訊系統」之資料進行更新。	同意合作研究單位處理情形。
3.P81，請補充伸長桿件後，所下垂量實際為何，必補充說明是否符合檢測效能，及影片影像穩定性問題。	C 桿伸長 8 公尺時，下垂量約為 30 公分；伸長 5 公尺時，下垂量約為 15 公分。以設備低標每分鐘檢測 2.5 平方公尺，一座橋面寬 10 公尺、橋長 20 公尺之橋梁，可在 90 分鐘內完成檢測，影像均相當清晰。	同意合作研究單位處理情形。
4.P96，所需淨寬為 4.8M 已有影響車道，建議研議縮減。	設備安裝時所需空間約為 3 公尺，但進行檢測所需之作業空間約為 1.5 公尺。	同意合作研究單位處理情形。
5.P103，影像拼接成果仍有空白，請說明原因，後續如何解決。目前所拍攝成果是否有辦	影像拼接後有空白，應是拍攝時影像有缺漏，後續再確認影像數量應可即時	同意合作研究單位處理情形。

法判斷 DERU 亦請補充說明。	進行確認。拍攝後之影像能否判斷 DERU，需請專業橋梁檢測人員做判斷。	
6.P106，第二次實測影像不清楚，請說明是否有辦法判斷 DERU？	會影響判斷，第三次實測影像已更為清晰。	同意合作研究單位處理情形。
7.P111，打結與鋼絲斷裂問題之解決對策與方案，請補充。	已從機構設計做改善	同意合作研究單位處理情形。
8.P113，請補充第三次實測影像成果與判斷 DERU 成效。	第三次實測之影像已更為清晰，後續的 DERU 判斷，需請專業橋梁檢測人員做判斷。	同意合作研究單位處理情形。
9.P115，初步成果提到 UWB 及 AI，惟實測成果皆未採用，建議補充，並本研究工作包含自動定位，請補充相關研究成果。另本次審查係期末報告，惟僅說明初步成果，建議應納入實際應用成效。	新興科技的探討，係評估是否適合引進橋梁檢測工作。本研究之成果著重於如何取得橋梁底部之影像，後續再交由運研所另一計畫之研究成果進行影像拼接。	同意合作研究單位處理情形。
10.P116，請補充說明自動化量測之內容；依表 1 及圖 4 所示，「不同檢測環境的適應性能評估」為本報告執行的前端，惟 6.2 節為後續工作重點，與甘特圖不符。	已修正第六章之內容	同意合作研究單位處理情形。
11.P117，請說明預計實測之橋梁為何？建議提出討論，以利審查適宜性。	第三次實測之橋梁為「出水橋」及「福寶橋」	同意合作研究單位處理情形。
12.P117，整體報告未有拍攝影片呈現，建議補充拍攝成果，並說明該影像解析度是否可納入深度學習訓練。	於最終繳交之成果中會包含拍攝之影片，若有拍攝到缺失影像，應可納入後續深度學習訓練使用。	同意合作研究單位處理情形。
(五) 林其璋委員：(書面審查意見)		
1.經現場實測後，現場環境風力造成檢測設備 A、B、C 桿側向及垂向變位，請說明對拍攝影像清晰度之影響及如何克服。	拍攝設備裝置於雲台上，可協助確保影像之清晰，以克服設備因風力或是操作所造成之晃動。	同意合作研究單位處理情形。
2.本計畫利用拍攝橋底影像判別梁底裂縫及其他構件劣化，請說明後續如何量化指標，以診斷損壞程度。	本研究所拍攝之影像，將提供運研所另一計畫進行影像拼接與損壞判讀，不在本計畫工作範圍。	同意合作研究單位處理情形。

3. 考量本計畫所研發之檢測工具長度及拍攝影像精確度及其他使用限制，建議說明本工具的使用環境限制，及使用之效率，並提供實測橋梁類型及相關數據，以供橋梁管理單位參考應用。	已於 6.1 節、6.2 節中補充說明。	同意合作研究單位處理情形。
(六) 本所港灣技術研究中心第一科賴瑞應科長：		
1. 第一章背景分析案例以國外橋梁災損案例做說明，建議以國內感潮河段的橋梁災損案例做說明。	已於 1.1 節中進行更換	同意合作研究單位處理情形。
2. 今年工作項目有展示影片製作，請於計畫結束前提供。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形，已提送相關成果影片。
3. 報告第 6 頁工作項目(4)，「說明本研究對橋梁管理機關執行檢測作業之質化與量化效益」，請於報告內補充。	已於 6.1 節、6.2 節中補充說明。	同意合作研究單位處理情形。
4. 第二章 2.6 節，不同檢測環境下之適應性能評估，有針對感潮河段的檢測環境做探討，並提出相對應的解決對策，建議本小節探討完後，能彙整感潮河段橋檢工具必備的功能需求，以利做為本計畫橋檢工具相關功能研發的依據。	已於 2.1.5 節及 2.2.4 節中進行彙整比較說明。	同意合作研究單位處理情形。
5. 第四章設備精進與成果除說明相關精進的項目外，建議最後能針對第二章感潮河段的檢測環境探討結果所需具備功能做比對，說明是否滿足相關需求。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形。
6. 報告第 95 頁，倒數第 2 行展開時淨寬由 6.1 公尺降低至 4.1 公尺，是否應修正為「展開時淨寬由 4.8 公尺降低至 2.1 公尺」，請確認。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
7. 報告未呈現今年鏡頭可檢測範圍含括支承、帽梁、橋墩等橋梁下部結構，建議補充相關的檢測照片。	已於第三次實測成果中進行補充	同意合作研究單位處理情形。

8.後續定稿報告請將成果推廣的狀況內容納入報告。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形，已補充相關內容於報告 5.6 節。
9.簡報第 27 頁至 33 頁的內容，建議可納入報告第五章實地測試，以 1 小節歸納本計畫研發的橋檢設備的操作環境限制、人力需求及所需時間。	已於 6.1 節、6.2 節中補充說明。	同意合作研究單位處理情形。
(七) 本所港灣技術研究中心蔡立宏主任：		
1.經 3 座橋梁實地檢測，發現設備有許多問題、限制及需再改良之處，應將問題整理並提出解決方式或建議方案，並將設備之限制及操作條件量化呈現，以利後續研究改進之進行。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形。
2.本案橋檢工具有許多精進項目，應分項說明各項目之精進成果條列呈現。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形。
3.本橋檢工具 C 桿檢測端之供電方式，若改以接線方式供電，是否能減輕 C 桿末端之重量？以降低桿件晃動程度。	曾評估過此方式，但會再增加電線回收之問題，經討論後仍決定以電池方式供電。	同意合作研究單位處理情形。
4.本橋檢工具各材料及零件之選用是否因經費之考量而有所取捨？若無經費限制，而選用市面各種更高規格之設備材料，是否能大幅提升本設備工具之功能及操作？請提出說明及建議，以利後續開發參考選用。	桿件因延伸距離較長時，必然會發生彎曲變形，進而增加各節套管間的壓力，會增加桿件回收之問題，已針對鋼索回收機制進行改善，未來可持續進行精進。	同意合作研究單位處理情形。
(八) 本所陳天賜副所長：		
1.本橋檢工具 C 桿目前能穩定伸長 5 公尺，操作相關拍攝功能取得清晰影像，相關設備使用條件及限制請於報告書中說明，而於實測中所遇到的問題(如鋼絲纏繞...)，亦應予客觀呈現，做為後續研究需持續精進之項目，以利未來製作本橋檢設備之操作手冊，進行推廣及應用。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形，相關內容於報告 5.4 節呈現。

2. 檢測桿之長度受限於目前材料及機構，以 5 公尺檢測桿設計本橋檢工具，未來是否能持續加長延伸，以符合更多橋梁之應用？若此極限難以克服，請就現況精進(如橋檢工具檢測之便利性)，並落實推廣應用。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形。
3. 後續除辦理線上成果推廣外，亦請安排本橋檢工具之實用性驗證。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形。
捌、主席結論：		
1. 審查會議各委員及與會單位之口頭及書面意見，請大同大學整理「審查意見處理情形表」，且逐項說明回應辦理情形，並充分納入報告之修正。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形。
2. 本計畫經徵詢審查委員意見，期末報告初稿審查通過，請大同大學後續依本所出版品印刷相關規定撰寫報告，期末報告書定稿請於 111 年 12 月 1 日前提交。	遵照辦理	同意合作研究單位處理情形。
散會：下午 3 時 30 分		

附錄三

期末報告簡報資料

期末報告簡報資料

感潮河段橋梁梁底檢測工具研發 功能精進與新興科技導入評估



期末簡報

簡報者：大同大學機械工程學系 林晨光 助理教授

1

目錄 CONTENTS

- 01 | 計畫背景分析
- 02 | 橋梁檢測設備現況
- 03 | 設備精進進度
 - C桿推送裝置改良
 - C桿前拍攝設備改良
 - 第二次實地測試
 - 第三次實地測試
- 04 | 本案成果

2



計畫背景分析

3

107感潮河段橋梁梁底檢測方式初探



在107年「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」研究計畫中，構想開發一組輕便易攜帶的橋梁檢測機構，總重量限制在30公斤以下，且可以很容易的固定在車頂架上，當檢測設備載運到要檢測的橋梁後，可以很容易的將檢測機構展開進行橋梁檢測作業，因此命名為「車載型橋梁檢測設備」。

4

109感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置



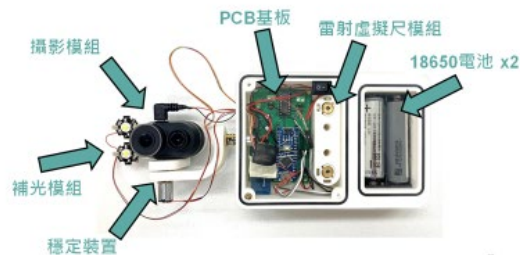
計畫



在2019年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」中研發第二代感潮河段橋梁檢測設備，以「推車型」為設計主軸，將所有檢測設備整合並搭載於推車上。考量檢測設備可於人行道上使用，寬度設計為80公分，長度90公分，高度100公分，機構操作保持A、B、C桿之設計。特色為方便搬運，設備只需使用1.9噸之小貨車即可搬運，明顯提昇其便利性。

5

110感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究



2021年的「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」中，整體機構的設計延續第一代「推車型橋梁檢測設備」之成果，著重於C桿件強度的提昇，以解決影像晃動與增設補光裝置解決橋底光源不足的問題為主。另為增加C桿的延展長度。

6



橋梁檢測設備現況

第二代推車型橋梁檢測設備之檢討

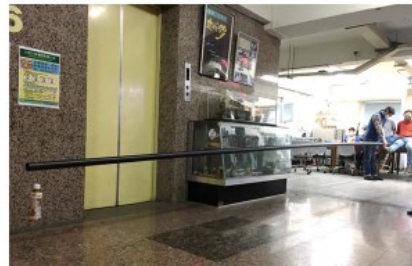


C桿增強所衍伸問題：

- C桿過重，設備會有輕微翻覆之情形。
- 安裝過程需完整占用一個車道。
- 整體設備抬升過程最高達6米，使用受上方電線限制。
- 大幅降低設備運送與安裝之方便性。前案設備佈置需三人員3至5分鐘，本案設備佈置人員增加至五人員，且時間增加至約20分鐘。

8

第二代推車型橋梁檢測設備之檢討



考量量產成本與使用方便性，C桿若採長形釣竿設計，即可符合量產原則降低採購成本。採用2019年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」之設計，該案中C桿以市售之15公尺釣竿為元件構成。本案採購更高強度之長形釣竿構成C桿，以下緣對應地面距離為基準，當C桿完全伸長，且末端附載600克重物時，把手端離地面間距為75.5公分，末端離地面間距為41.5公分，計算得知下垂量為34公分。

9



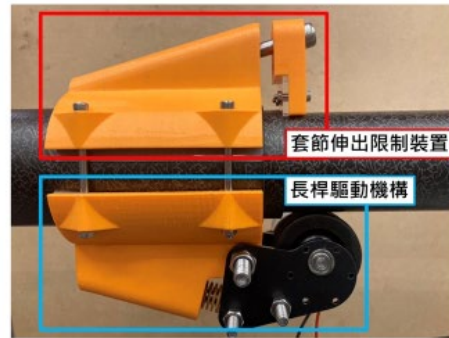
設備精進

10

C桿推送裝置



期中實地測試



第二次實地測試

C桿驅動裝置整體結構以3D列印製造，內部有壓力彈簧與對應機構可調整橡皮輪對釣竿之正向壓力。

11

C桿收縮裝置



第二次實地測試



第三次實地測試



12

桿前攝影模組改良



期中實地測試



第二次實地測試



第三次實地測試

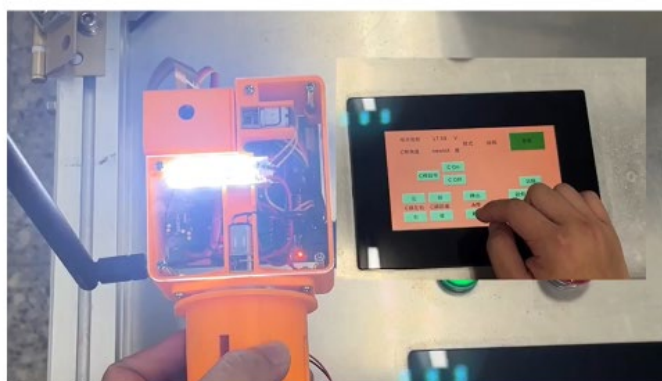
13

桿前攝影模組改良



14

桿前攝影模組改良



15

第二次實地測試狀況

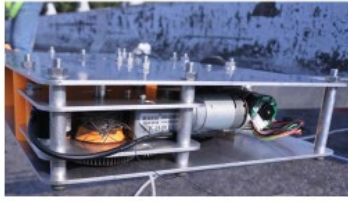
台19線-彰水橋



第二次實地測試狀況



第二次實地測試狀況



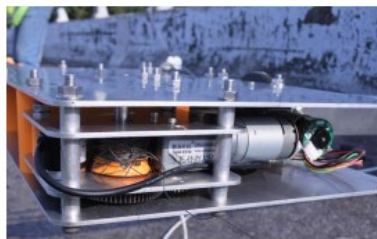
1. C桿轉正齒輪崩裂
2. C桿縮短鋼絲纏繞
3. 桿前模組轉正異常
4. 承重輪損壞

18

C桿功能改善



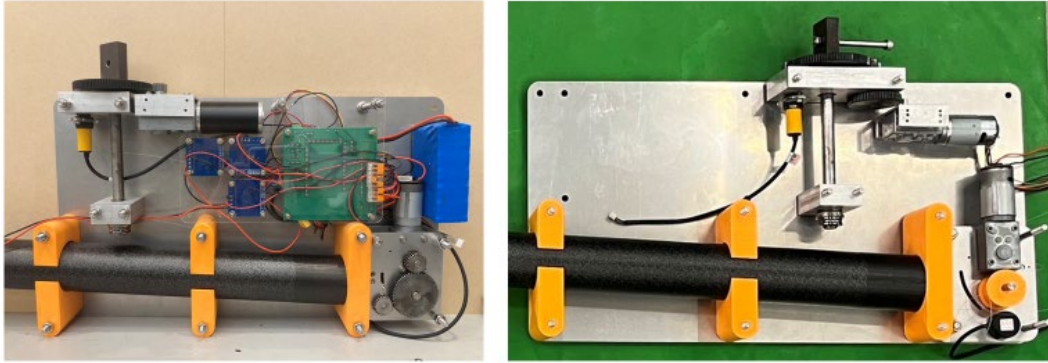
齒輪崩裂之問題，主因為C桿驅動模組配重不均所造成。



鋼絲纏繞問題為回收用鋼索張力控制不良造成

19

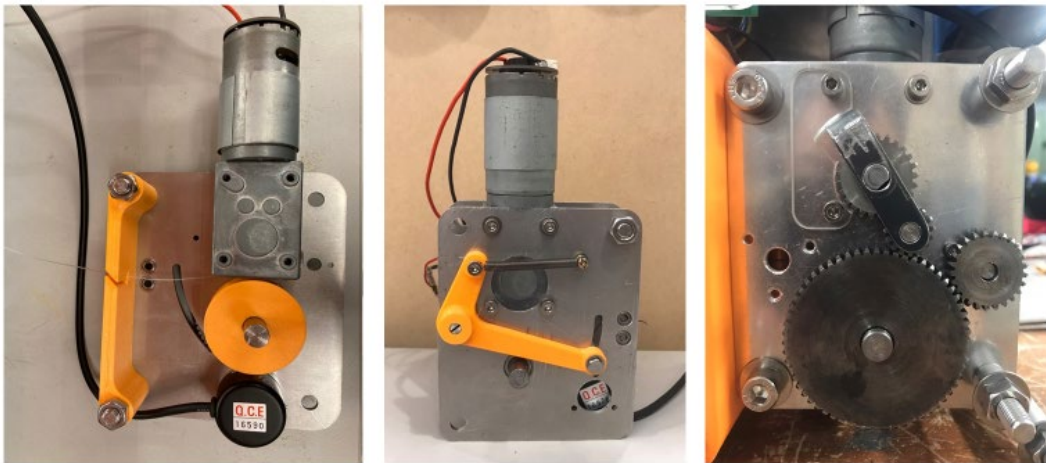
C桿轉正齒輪改善



重新布置C桿驅動模組之內部組件，將重心移動至C桿轉動中心，消除加速度所造成之扭力。因內部配置空間不足，將原有二級齒輪驅動機構改為一級齒輪驅動，因此驅動馬達則須對應採用更高規格與扭力之馬達。

20

C桿收縮用鋼絲纏繞



21

第三次實地測試



22

第三次實地測試



23

第三次實地測試



24

第三次實地測試狀況



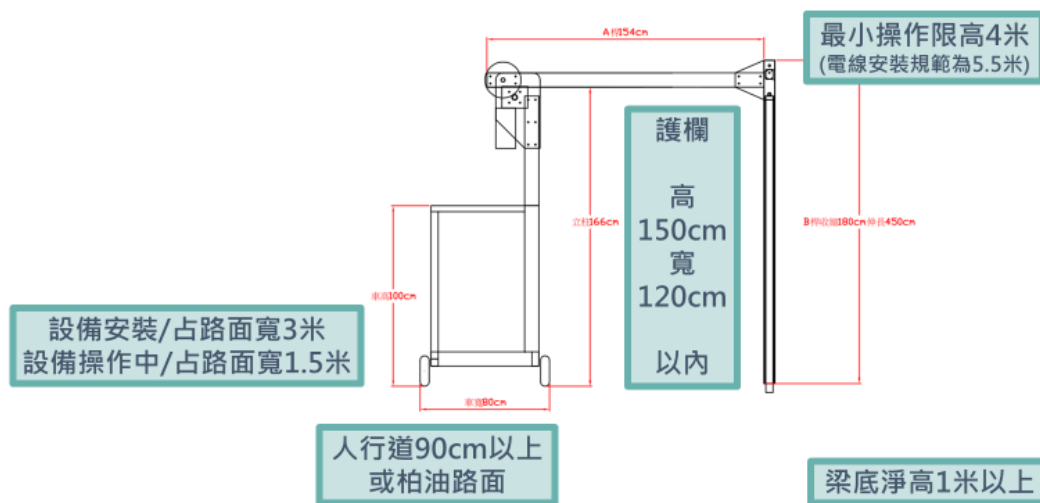
25

第三次實地測試狀況



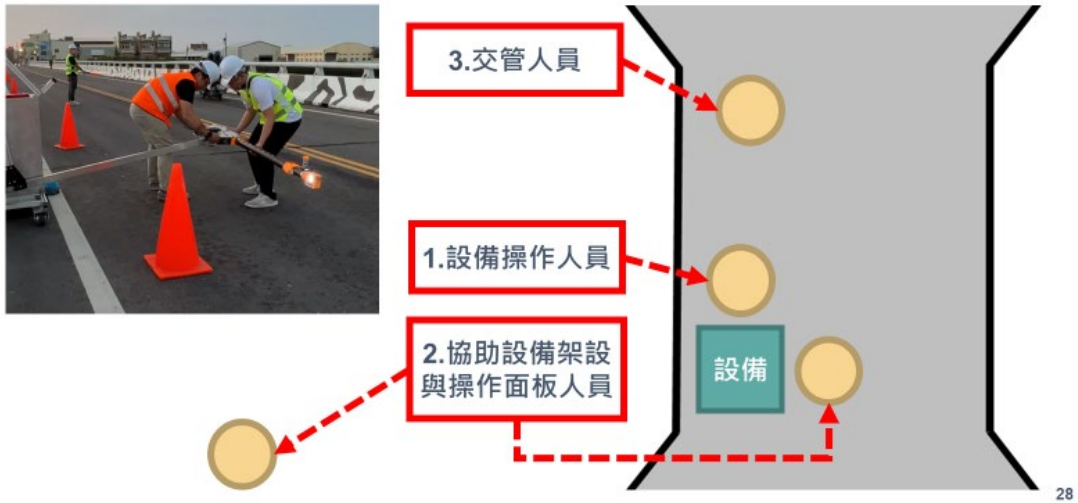
26

設備操作環境限制



27

設備操作人員需求



28

全面量測所需時間

設備動作	操作時間	
C桿推送模組安裝	50秒	S型量測 5米深、1米寬範圍、 共10張照片
A桿轉正至定位	30秒	
B桿下降至定位	45秒	
C桿轉正	10秒	
C桿伸出	1分鐘	量測速度: 約2.5米平方/分鐘
設備推送	10秒	
C桿收回	1分鐘	
C桿轉回	10秒	取得影像: 800萬畫素 107cm x 60cm範圍 (約1/3重疊)
B桿上升至定位	1分鐘	
A桿轉回至定位	25秒	
C桿推送模組拆卸	30秒	

一個量測週期:

29

全面量測所需時間

福興出水橋:

橋面寬10米、跨距20米

量測速度:約**2.5米平方/分鐘**(最慢狀況)

估計**90分鐘**可完成全面量測

取得影像:800萬畫素 107cm x 60cm範圍



30

全面量測所需時間

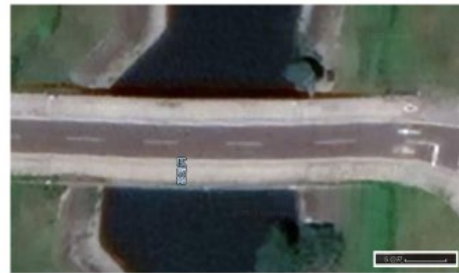
台北市大佳河濱公園之堤外區域橋梁:

橋面寬11米、跨距28米

量測速度:約**10米平方/分鐘**

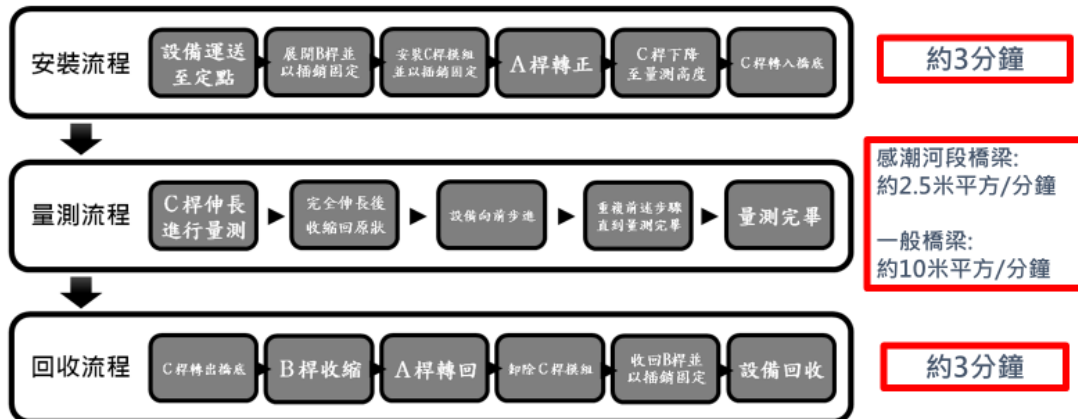
估計**30分鐘**可完成全面量測

取得影像:800萬畫素 200cm x 150cm範圍



31

全面量測所需時間



32

設備操作環境限制

設備規格	操作條件
設備重量	約100公斤
設備體積	100 x 80 x 180cm(可傾倒)
設備運送	3.5噸貨車(需油壓尾門)
量測速率	2.5至10米平方/每分鐘
操作人員	2人以上
設備安裝	占路面寬3米 最小操作限高4米 (電線安裝規範為5.5米)
設備操作	占路面寬1.5米 護欄高150cm寬120cm以內 梁底淨高1米以上 人行道90cm以上或柏油路面

33

無人機拍攝限制

- 梁底GPS信號遮蔽，難以定位
- 三角定位方式精度約10公分等級，且需布置基準站
- 梁底側風狀況無人機難以維持穩定
- 梁底雜草雜物等狀況難以克服

	定位精準度(公尺)	覆蓋範圍	保密性	穿透性	抗干擾	維護成本	建設成本	功耗
RFID	10~100	小	高	差	好	低	中	低
紅外線	10~100	小	差	差	好	低	中	中
藍牙Beacon	1~5	大	一般	好	差	高	低	低
ZigBee	3~10	大	一般	好	差	低	低	中
Wi-Fi	3~15	大	差	差	差	高	低	高
UWB	0.1~0.5	小	高	差	好	高	高	高
BLE AoA	0.3~1.0	大	高	好	中	低	中	低

34

本案成果推廣

線上成果推廣時間預計
12/1(四)舉辦



中國機械工程學會第39屆全國學術研討會

- 研討會論文發表
 - 全國機械群最大會議論文發表
 - 論文投稿截止日：2022/09/26
 - 論文定稿截止日：2022/10/17
- 111年度年會
 - 在地旅遊與晚餐
- 學生論文競賽

學門聯合成果發表

- 機械固力、熱流與能源聯合成果發表

CSME 2022 In NUU Miaoli 12/02-12/03

中國機械工程學會第三十九屆全國學術研討會論文集
中華民國一百一十一年十二月二、三日

國立聯合大學 苗栗市
論文編號: CA01-1234

橋梁梁底檢測用長桿推送機構設計

林晨光^{1*}、葉謙¹、賴耀仁¹、黃維信²、胡啟文³、鄭登健³、曾裕傑¹

¹大同大學機械與材料工程學系
²大同大學媒體設計學系
³交通部運輸研究所臺灣研究中心
 (MOTC-IOT-111-H1CB001f)
 *Email: cgtlin@gm.ttu.edu.tw

35

本案成果

不同檢測環境下的適應性能評估

感潮河段有其作業的獨特性，未來在進行感潮河段橋梁檢測設備精進時，得多考量實際的作業情形，以提供更符合實務需求之檢測設備。

C桿輕量化

目前已針對C桿進行輕量化設計，讓機構運作方式能回到「第一代推車型橋梁檢測設備」之運作方式，設備至定位後布置僅需3-5分鐘。

C桿推送裝置開發

改用磨擦輪形式之推送裝置，以取代原本彈簧線管裝置驅動C桿伸長的操作方式。同步考量回收問題，利用C桿管內的引線，透過引線拉回的方式協助C桿進行回收，也可避免C桿回收卡死之問題，且利用引線做為定位輔助使用，以配合影像拼接之需求。

C桿前端攝影裝置開發

重新設計C桿前端之攝影裝置，包含補光模組、穩定器/轉向模組、攝影模組，總重量約為500克，採用模組化電池包，可提供約1小時的運作外，且可以方便快速更換，拍攝後的影像透過Wi-Fi回傳，可即時觀看橋梁底部之檢測作業情形。

研究成果投稿

投稿至第39屆中國機械工程學會111年度年會暨全國學術研討會，預計年底前舉行。

36



報告完畢，謝謝聆聽！

37

