

111-016-7D00  
MOTC-IOT-110-H1CB001f

# 感潮河段橋梁梁底檢測工具 精進研究



交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月



# 感潮河段橋梁梁底檢測工具 精進研究

著者：林晨光、賴瑞應、鄭登鍵、黃維信、葉隆吉、  
賴躍仁、黃瑋晟、李奕鎰、吳宗翰、胡啟文

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

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精進研究 / 林晨光,  
賴瑞應, 鄭登鍵, 黃維信, 葉隆吉, 賴躍仁, 黃瑋  
晟, 李奕鉉, 吳宗翰, 胡啟文著. -- 初版. -- 臺北  
市: 交通部運輸研究所, 民 111.03

面; 公分

ISBN 978-986-531-369-2(平裝)

1.CST: 橋梁工程

441.8

111000733

感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究

著者: 林晨光、賴瑞應、鄭登鍵、黃維信、葉隆吉、賴躍仁、黃瑋晟、  
李奕鉉、吳宗翰、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](http://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 111 年 3 月

印刷者: OOOOOOOOO

版(刷)次冊數: 初版一刷 55 冊

本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: 1011100136 ISBN: 978-986-531-369-2 (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精進研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-369-2(平裝)	政府出版品統一編號 1011100136	運輸研究所出版品編號 111-016-7D00	計畫編號 MOTC-IOT-110-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：04-26587112 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、李奕鉉、吳宗翰 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 110 年 02 月 至 110 年 11 月
關鍵詞：橋梁梁底檢測、感潮河段橋梁、橋梁檢測設備			
<p>摘要：</p> <p>感潮河段水面受漲退潮影響，橋梁時常梁底浸泡於水下，此時若梁底水泥結構產生裂縫，受海水入侵梁體易造成鋼筋鏽蝕及橋體剝落，進而逐漸降低橋梁之承載能力，嚴重影響橋梁結構安全。本計畫延續 2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」之研究成果，利用梁底檢測機械手臂多節可伸縮之特性，將鏡頭探入狹暗橋梁底部空間，橋檢人員即可於橋面上操作，透過回傳影像即時檢查橋梁梁底狀況。本計畫精進獨立推車型工具，增長檢測臂桿至 8 公尺並以碳纖維改良檢測桿材質、結構，提升影像穩定度及清晰度，並新增 LED 補光照明、雷射虛擬尺功能及定位功能，經實地測試 3 座公路橋梁，已能穩定伸展並移動至橋梁下方拍攝梁底影像，除可用於檢測感潮河段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。</p> <p>成果效益與應用情形：</p> <p>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。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
111 年 3 月	173	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: The advanced development of bridge beam inspection equipment in the tidal river section			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-369-2(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100136	IOT SERIAL NUMBER 111-016-7D00	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-110-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) 26587112 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2021 TO November 2021
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, I-Hung Li, Tsung-Han Wu ADDRESS: #40, Sec.3, Jhongshan N. Rd., Taipei, 104, Taiwan, R.O.C PHONE: (02)2182-2928			
KEY WORDS: Bridge beam bottom inspection, Tidal river bridge, Bridge inspection robot			
ABSTRACT:  Where the water level of a river is affected by tidal action in the tide affecting zone, bridges in these areas may be soaked in the seawater during specific weather. If the bridge beams cracked under such circumstances the rebar inside will rust fast and jeopardize the structure of the bridge by keeping decreasing its bearing capability. Being a continuation of the outcomes of a 2019 research, “the development of bridge beam inspection equipment in tidal river section”, this study attempted at extending cameras into narrow and dark space under bridge beams by means of multi-section telescopic mechanism, whereby the bridge inspectors will be able to operate a beam bottom inspection robot on the bridge to inspect the condition of bridge beams through images transmitted back. In this study, a walk-alone cart-type robot was improved, which increased the detection arm to 8 meters, improved the material and structure of the detection rod with carbon fiber, improved image stability and clarity, furthermore, LED reinforcing light, Laser virtual ruler function and position function are added. On-site test at 3 highway bridges showed that such robot was capable of extending steadily and moving beneath a bridge beam to take images of its bottom, which not only serves to check on the real status of the beam bottoms of tidal bridge sections but also helps increasing the quality, efficiency and personal safety of bridge inspection.			
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 March, 2022		NUMBER OF PAGES 173	PRICE 150
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

## 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	XIII
第一章 計畫背景分析.....	1-1
1.1 背景分析.....	1-1
1.2 適用檢測設備之橋梁分析.....	1-4
1.3 研究目的.....	1-9
1.4 工作項目.....	1-11
第二章 橋梁檢測設備現況.....	2-1
2.1 國外橋梁檢測設備.....	2-2
2.1.1 橋梁檢測車（船）.....	2-2
2.1.2 機械手臂型橋梁檢測車.....	2-10
2.1.3 無人飛行載具檢測.....	2-17
2.1.4 鋼構橋檢測機器人.....	2-24
2.1.5 其他非破壞性檢測.....	2-26
2.2 機械手臂型橋梁檢測設備.....	2-26
2.3 推車型橋梁檢測設備.....	2-32
2.4 小結.....	2-43
第三章 設備精進與成果.....	3-1
3.1 C 桿強度提升方案.....	3-1
3.1.1 圓形碳纖維伸縮套管強度分析.....	3-2

3.1.2 方形碳纖維伸縮套管強度分析 .....	3-3
3.1.3 套節滑動面結構設計 .....	3-8
3.1.4 C 桿製作 .....	3-11
3.2 C 桿前端裝置開發 .....	3-13
3.2.1 攝影模組 .....	3-13
3.2.2 穩定器/轉向模組 .....	3-15
3.2.3 補光模組 .....	3-17
3.2.4 雷射參考尺模組 .....	3-18
3.2.5 雷射參考尺精度測試 .....	3-21
3.2.6 C 桿前端整合裝置 .....	3-23
3.3 影像定位方案 .....	3-25
3.3.1 GPS 影像定位方式 .....	3-27
3.3.2 編碼器定位方式 .....	3-29
3.4 專家訪談問卷 .....	3-33
3.5 小結 .....	3-38
第四章 實地測試與成果 .....	4-1
4.1 實地測試選址 .....	4-1
4.2 實地測試情形 .....	4-2
4.3 量測影像 .....	4-9
4.4 實測過程之問題 .....	4-11
第五章 結論與建議 .....	5-1
5.1 結論 .....	5-1
5.2 建議 .....	5-2
5.3 研究成果與效益 .....	5-3

5.4 提供應用情形.....	5-4
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 專家訪談問卷.....	附錄 3-1
附錄四 簡報資料.....	附錄 4-1



## 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 鯤鯓橋橋梁底座及橋墩長期浸在河中 .....	1-2
圖 1.3 2017 年「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」計畫設備 .....	1-3
圖 1.4 2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」設備 .....	1-3
圖 1.5 西部縣市與省道之路網圖層資料 .....	1-7
圖 2.1 吊籃式橋梁檢測車 .....	2-2
圖 2.2 鋼索橋應用吊籃式橋梁檢測車檢測作業 .....	2-3
圖 2.3 向上抬舉式橋梁檢測車 .....	2-3
圖 2.4 履帶型橋梁檢測車 .....	2-4
圖 2.5 軌道型橋梁檢測車 .....	2-4
圖 2.6 船舶型橋梁檢測車 .....	2-5
圖 2.7 桁架式橋梁檢測車 .....	2-6
圖 2.8 小型桁架式橋梁檢測車 .....	2-7
圖 2.9 永久式橋梁檢測設備 .....	2-8
圖 2.10 不同款式永久式橋梁檢測設備示意圖 .....	2-9
圖 2.11 日本 Zivil 公司機械手臂型橋梁檢測車 .....	2-10
圖 2.12 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車載送方式 .....	2-11
圖 2.13 檢測臂組立作業情形 .....	2-11
圖 2.14 檢測臂組立後情形 .....	2-12
圖 2.15 水平延伸臂組立作業情形 .....	2-12
圖 2.16 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車組立作業情形 .....	2-12
圖 2.17 4K 高解析度攝影機 .....	2-13
圖 2.18 紅外線溫度攝影機及其檢測情形 .....	2-13

圖 2.19 LED 燈照明 .....	2-13
圖 2.20 裂縫尺規.....	2-14
圖 2.21 高壓水柱清除髒污 .....	2-14
圖 2.22 縫隙檢查設備.....	2-15
圖 2.23 敲擊回音法檢測.....	2-15
圖 2.24 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車實際作業情形（一） .....	2-16
圖 2.25 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車實際作業情形（二） .....	2-16
圖 2.26 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車控制台作業情形.....	2-17
圖 2.27 Intel Falcon 8+無人機 .....	2-18
圖 2.28 橋梁實景影像.....	2-19
圖 2.29 使用 Intel Falcon 8+無人機建立之橋梁點雲影像.....	2-19
圖 2.30 空中/水下兩用無人機.....	2-20
圖 2.31 UAV 防撞護罩 .....	2-20
圖 2.32 具防護功能並可貼附於橋梁面之 UAV .....	2-21
圖 2.33 具敲擊測試及攝影功能之 UAV .....	2-21
圖 2.34 具垂直攀爬功能之 UAV .....	2-22
圖 2.35 水平與垂直兩用 UAV.....	2-22
圖 2.36 可於特定橋梁構件中行走之 UAV .....	2-23
圖 2.37 搭載超音波檢測設備之 UAV.....	2-23
圖 2.38 即時顯示超音波檢測設備之運作情形.....	2-24
圖 2.39 應用於管線檢測之 UAV .....	2-24
圖 2.40 鋼構橋檢測機器人.....	2-25
圖 2.41 UTS 受限空間檢查攀爬機器人 .....	2-25
圖 2.42 Infratek 檢測機器人.....	2-26

圖 2.43	機械手臂實機操作畫面.....	2-27
圖 2.44	機械手臂運作設計圖.....	2-27
圖 2.45	車頂架安裝.....	2-28
圖 2.46	A 桿與 B 桿安裝.....	2-29
圖 2.47	安裝 C 桿.....	2-29
圖 2.48	橋梁實測地點.....	2-30
圖 2.49	實測情形.....	2-31
圖 2.50	檢測設備手機及照明架設情形.....	2-31
圖 2.51	實測拍攝之影像（一）.....	2-31
圖 2.52	實測拍攝之影像（二）.....	2-32
圖 2.53	「推車型橋梁檢測設備」操作情形.....	2-33
圖 2.54	「推車型橋梁檢測設備」機構設計之設計圖.....	2-33
圖 2.55	「推車型橋梁檢測設備」C 桿伸縮模組簡圖.....	2-34
圖 2.56	「推車型橋梁檢測設備」C 桿伸縮實體照.....	2-34
圖 2.57	「推車型橋梁檢測設備」設備搬運照.....	2-34
圖 2.58	「推車型橋梁檢測設備」實際推送情形.....	2-35
圖 2.59	B 桿以插銷固定於 A 桿上.....	2-36
圖 2.60	利用插銷將 C 桿固定於 B 桿末端.....	2-36
圖 2.61	「推車型橋梁檢測設備」組立完成情形.....	2-37
圖 2.62	「推車型橋梁檢測設備」組裝（一）.....	2-37
圖 2.63	「推車型橋梁檢測設備」組裝（二）.....	2-38
圖 2.64	「推車型橋梁檢測設備」組裝（三）.....	2-38
圖 2.65	「推車型橋梁檢測設備」操作（一）.....	2-39
圖 2.66	「推車型橋梁檢測設備」操作（二）.....	2-39

圖 2.67 「推車型橋梁檢測設備」操作（三） .....	2-40
圖 2.68 「推車型橋梁檢測設備」操作（四） .....	2-40
圖 2.69 大佳河濱公園堤外橋梁梁底狀況.....	2-42
圖 2.70 美堤河濱公園堤外橋梁梁底狀況.....	2-42
圖 3.1 C 桿收縮長度示意圖 .....	3-1
圖 3.2 C 桿末端位移量示意圖 .....	3-2
圖 3.3 方管 C 桿變形量模擬條件 .....	3-3
圖 3.4 方管 C 桿變形量模擬 .....	3-4
圖 3.5 方形管 C 桿變形量模擬趨勢 .....	3-6
圖 3.6 變截面方管變形量模擬.....	3-7
圖 3.7 碳纖維管內鐵氟龍墊片（驅動端） .....	3-8
圖 3.8 碳纖維管內鐵氟龍墊片配置（驅動端） .....	3-9
圖 3.9 碳纖維管內鐵氟龍墊片(攝影端).....	3-10
圖 3.10 碳纖維管內鐵氟龍墊片配置(攝影端).....	3-10
圖 3.11C 桿完全伸長狀態 .....	3-11
圖 3.12 C 桿完全伸長狀態 7.1m.....	3-12
圖 3.13 C 桿完全收回狀態離地面距離 85.6cm.....	3-12
圖 3.14 C 桿完全伸長狀態離地面距離 73.8cm.....	3-13
圖 3.15 Garmin Dash Can Mini 車用行車紀錄器 .....	3-14
圖 3.16 Garmin Dash Can Mini 專用 App 操作介面 .....	3-15
圖 3.17 六軸感測器 MPU6050 .....	3-15
圖 3.18 六軸感測器回饋控制流程.....	3-16
圖 3.19 系統控制運作架構.....	3-16
圖 3.20 強光 LED 配置 .....	3-17

圖 3.21 補光設備照明之情形 .....	3-17
圖 3.22 等距雷射參考點產生方式示意圖 .....	3-18
圖 3.23 雷射虛擬比例尺模組 .....	3-19
圖 3.24 紅光雷射模組 .....	3-19
圖 3.25 雷射模組固定座 .....	3-20
圖 3.26 雷射虛擬比例尺調整機制 .....	3-20
圖 3.27 雷射虛擬比例尺模組效果 .....	3-21
圖 3.28 模擬 1mm 裂縫量測圖 .....	3-21
圖 3.29 模擬 3mm 裂縫量測圖 .....	3-22
圖 3.30 模擬 5mm 裂縫量測圖 .....	3-22
圖 3.31 C 桿前端整合裝置 .....	3-24
圖 3.32 C 桿前端整合裝置內 PCB 基板 .....	3-24
圖 3.33 C 桿前端整合裝置外部規格 .....	3-25
圖 3.34 影像相對座標轉換方式 .....	3-26
圖 3.35 GPS 座標與影像整合預想圖 .....	3-27
圖 3.36 GM-8031T GPS 模組 .....	3-27
圖 3.37 GM-8031T GPS 模組測試方法 .....	3-28
圖 3.38 設備進動示意圖 .....	3-30
圖 3.39 內建編碼器之驅動馬達 .....	3-30
圖 3.40 輪鼓伺服馬達 .....	3-31
圖 3.41 輪鼓伺服馬達驅動器 .....	3-32
圖 3.42 輪鼓馬達驅動裝置 .....	3-32
圖 3.43 C 桿推送誤差量測 .....	3-33
圖 3.44 本體機構設計圖 .....	3-39

圖 3.45 設備整體分解圖 .....	3-40
圖 3.46 C 桿整體構造圖 .....	3-40
圖 3.47 設備整體構造圖 .....	3-41
圖 4.1 新竹縣德和橋 Google Maps 路況 .....	4-1
圖 4.2 桃園市山外一橋 Google Maps 路況 .....	4-2
圖 4.3 桃園市土地公坡橋 Google Maps 路況 .....	4-2
圖 4.4 量測流程圖 .....	4-4
圖 4.5 檢測設備到場卸載情形 .....	4-5
圖 4.6 檢測設備推送狀態 .....	4-5
圖 4.7 展開 B 桿並以插銷固定 .....	4-6
圖 4.8 安裝 C 桿模組 .....	4-6
圖 4.9 A 桿上升 .....	4-7
圖 4.10 A 桿上升至最高點 .....	4-7
圖 4.11 A 桿轉正進入待下降狀態 .....	4-8
圖 4.12 C 桿下降至定位 .....	4-8
圖 4.13 C 桿轉正進入待量測狀態 .....	4-9
圖 4.14 梁底實拍影像(A) .....	4-10
圖 4.15 梁底實拍影像(B) .....	4-10
圖 4.16 轉動攝影裝置拍攝梁底橋台結構 .....	4-11
圖 4.17 B 桿內拉力彈簧損壞情形 .....	4-12
圖 4.18 C 桿摔落河床狀況 .....	4-12

## 表目錄

表 1-1 全國橋梁總數.....	1-4
表 1-2 公路總局、縣市政府及各部會橋梁淨高 6 公尺內，最大淨寬 8~14 公尺橋梁數.....	1-6
表 1-3 公路總局橋梁淨高 6 公尺內，最大淨寬 10~14 公尺橋梁數	1-6
表 1-4 行經西部縣市省道中淨高 6 公尺內，不同淨寬橋梁數.....	1-7
表 1-5 嚴重地層下陷地區淨高 6 公尺內，不同淨寬橋梁數.....	1-8
表 3-1 圓形管不同負載末端變形量.....	3-2
表 3-2 方管 C 桿變形量分析.....	3-5
表 3-3 方管 C 桿變形量模擬.....	3-7
表 3-4 模擬裂縫誤差值.....	3-23
表 3-5 GPS 位置誤差實驗.....	3-29
表 3-6 C 桿推送位置誤差實驗.....	3-33



# 第一章 計畫背景分析

## 1.1 背景分析

臺灣屬亞熱帶海島型氣候，四面環海、河川短急且夏季常遇颱風侵襲，西部平原區人口稠密土地高度開發交通路網遍布，極需仰賴橋梁等基礎建設滿足運輸需求。依據「臺灣地區橋梁管理資訊系統」(Taiwan Bridge Management System, TBMS) 統計資料，截至 2020 年底正常使用與維修中之車行橋梁約 29,025 座，橋梁維護管理工作有賴於各級橋梁管理單位，維管工作確實與否、品質好壞攸關民眾行的安全，因此，橋梁檢測工作是否能落實執行相當關鍵。

感潮河段為受潮汐影響之河川流域，特別是臺灣西部平原地區因長期抽取地下水而發生地層下陷，使該區域內橋梁之通水面積逐漸下降，甚至出現梁體浸泡水中現象，此時倘若橋體已存有裂縫，水中氯離子便容易沿著既存裂縫侵入橋體，加上感潮河段受漲退潮反覆浸泡，再與空氣接觸加速氧化作用，即易造成鋼筋鏽蝕膨脹致表面混凝土剝落，進而逐漸降低橋梁之承載能力。2016 年 2 月 4 日上午位於台 17 線臺南北門段的鯤鯓橋橋面下陷 5 到 8 公分，橋梁底座出現龜裂情形(如圖 1.1 所示)，其主因即為梁底長期浸泡於海水中(如圖 1.2 所示)，造成鋼筋鏽蝕與水泥劣化。

此類橋梁進行橋梁檢測時，檢測人員需乘坐橡皮艇，或穿著漁夫裝進入橋梁底部檢測，但因橋下狹窄近水、潮濕晦暗，檢測人員往往需冒著極高的危險趨近勘查檢測。有鑒於此，橋梁相關檢測若能自動化設備輔助，取代全人力檢測，除能落實檢測工作且降低檢測風險以提升檢測成效，保障用路人之安全。



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



圖 1.2 鯤鯓橋橋梁底座及橋墩長期浸在河中

本所於2017年「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」研究計畫與2019年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」中，開發出雛型檢測設備（如圖1.3、圖1.4所示），2017年為「車載型橋梁檢測設備」，2019年為「推車型橋梁檢測設備」，本計畫延續前期研究成果，持續進行設備精進及功能擴充。



圖 1.3 2017 年「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」計畫設備



圖 1.4 2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」設備

## 1.2 適用檢測設備之橋梁分析

依據「臺灣地區橋梁管理資訊系統」(Taiwan Bridge Management System, TBMS) 橋梁資料，橋梁依管轄單位，可區分為高速公路局、公路總局、臺灣鐵路管理局及縣市政府，全國各橋梁維護管理單位管轄橋梁總數，如表 1-1。其中高速公路局管轄之道路橋梁屬多車道路幅寬，已超過本研究開發之「推車型橋梁檢測設備」可檢測之長度，因此不納入分析對象。而鐵道橋梁有其特殊性，目前本研究開發的「推車型橋梁檢測設備」尚無法於軌道上運行，故亦不納入統計。因此，目前僅先針對公路總局、縣市政府及各部會所管轄之橋梁進行統計分析。

「公路總局」、「縣市政府」及「各部會」管轄橋梁資料庫，以設施種類為「橋梁」，使用狀態為「正常使用、維修中、停用」之條件進行橋梁統計。因本研究所開發橋梁檢測設備之目的，為輔助檢測橋梁底部狹窄近水不易進入之感潮橋梁，故以「最低橋下淨高」做為固定條件，以「橋梁淨寬」進行各橋寬數量統計，近年一般無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 技術應用廣泛，亦成為新型橋檢輔助工具，但操作環境有其特性及限制，故本研究設定之橋梁標的以最低橋下淨高 6 公尺以內，即以一般無人飛行載具最低安全飛行高度以下做條件設定，以區隔本研究設備之適用橋梁。於最低橋下淨高 6 公尺不同淨寬條件之橋梁數量整理，如表 1-2、表 1-3 所示。

表1-1 全國橋梁總數

單位：座

管理機關	正常使用	維修中	停用	合計
交通部高速公路局	3421	0	9	3430
交通部公路總局	3785	16	1	3802
交通部臺灣鐵路管理局	0	0	0	0

臺北市政府	428	0	4	432
基隆市政府	210	0	0	210
新北市政府	1205	3	5	1213
宜蘭縣政府	750	7	4	761
新竹市政府	248	5	0	253
新竹縣政府	985	0	0	985
桃園市政府	1056	4	0	1060
苗栗縣政府	1474	1	3	1478
臺中市政府	1960	2	28	1990
彰化縣政府	2441	48	5	2494
南投縣政府	2436	3	5	2444
嘉義市政府	139	0	0	139
嘉義縣政府	1121	0	9	1130
雲林縣政府	1594	70	0	1664
臺南市政府	1706	9	0	1715
高雄市政府	1357	5	9	1371
澎湖縣政府	20	0	0	20
屏東縣政府	1160	6	4	1170
臺東縣政府	357	1	4	362
花蓮縣政府	621	1	2	624
金門縣政府	86	0	0	86
連江縣政府	1	0	0	1
內政部	15	0	0	15
交通部觀光局	6	0	0	6
臺灣港務股份有限公司	22	2	1	25
營建署	0	0	0	0
內政部	15	0	0	15
教育部	17	0	0	17
國軍退除役官兵輔導委員會	10	0	0	10
文化部	0	0	0	0
民航局	5	0	0	5
桃園國際機場股份有限公司	6	0	0	6
經濟部	95	0	0	95

行政院農業委員會	34	0	0	34
原住民族委員會	0	0	0	0
科技部	55	0	0	55
交通部鐵道局	0	0	0	0
國立故宮博物院	1	0	0	1
總計	28842	183	93	29118

資料來源：TBMS

**表1-2 公路總局、縣市政府及各部會橋梁淨高6公尺內，最大淨寬8~14公尺橋梁數**

最大淨寬(m)	<=8	<=9	<=10	<=11	<=12	<=13	<=14
橋梁數(座)	11,895	13,523	14,723	15,566	16,647	17,282	17,738

資料來源：TBMS

**表1-3 公路總局橋梁淨高6公尺內，最大淨寬10~14公尺橋梁數**

最大淨寬(m)	<=10	<=11	<=12	<=13	<=14
橋梁數(座)	627	664	781	848	888

資料來源：TBMS

另外，本研究感潮河段橋梁之地域屬性進一步分析，統計西部鄰海縣市公路總局管轄之省道中，符合最大淨高6公尺以內及淨寬14公尺以內之橋梁分佈是否有其特殊性。利用縣市圖層（北從桃園市、南至屏東縣）與公路總局省道路線圖層（如圖 1.5 所示）比對，列出該省道符合感潮河段之橋梁數，如表 1-4 所示。本研究亦參考經濟部水利署「嚴重地層下陷地區」資料，以公告劃設地段之鄉鎮市區資料進行查詢，統計於該區域內省道路線之橋梁數量，如表 1-5 所示。

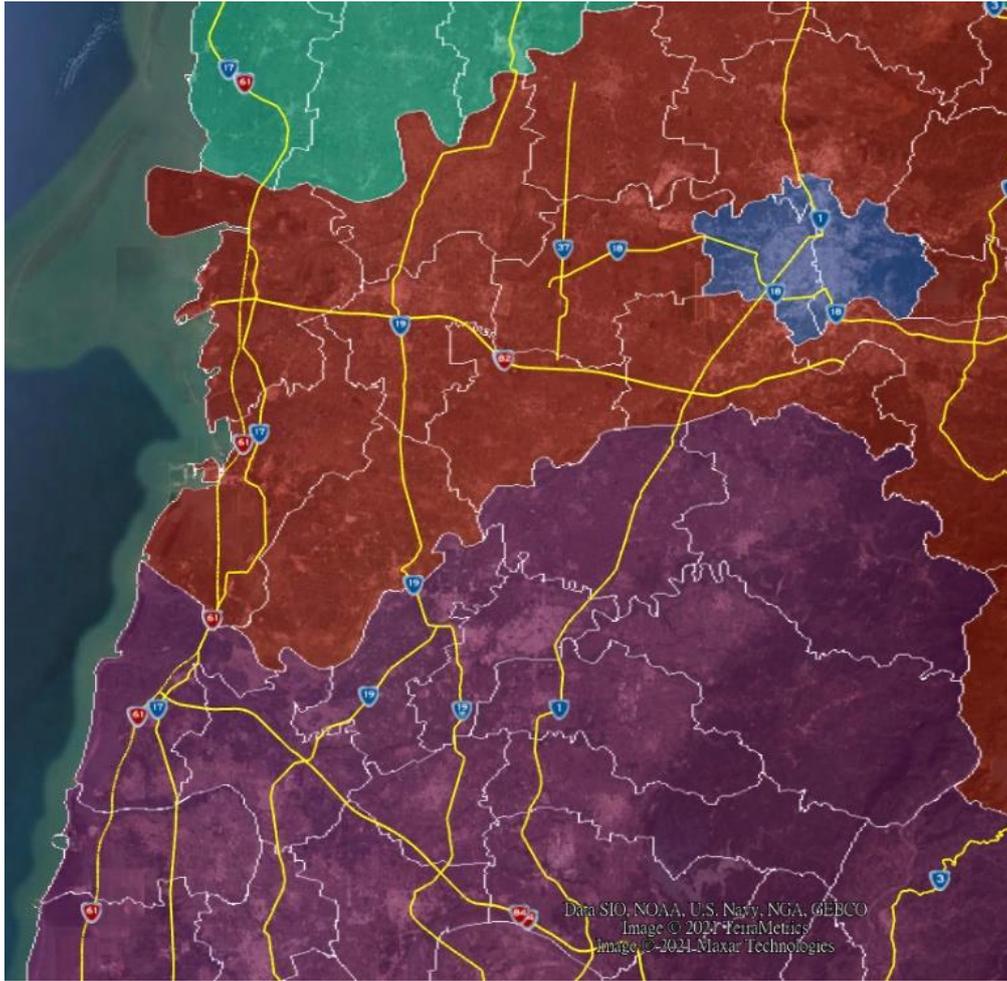


圖 1.5 西部縣市與省道之路網圖層資料

表 1-4 行經西部縣市省道中淨高 6 公尺內，不同淨寬橋梁數

路線編號	橋梁淨寬 (m)				
	<=10	<=11	<=12	<=13	<=14
台 1 線	0	0	0	2	2
台 6 線	3	3	3	4	5
台 13 線	2	2	2	3	3
台 14 線	10	11	11	11	11
台 15 線	10	10	10	10	10
台 15 甲線	0	0	0	0	0
台 17 線	11	11	11	11	12
台 17 甲線	2	2	2	2	2

路線編號	橋梁淨寬 (m)				
	<=10	<=11	<=12	<=13	<=14
台 19 線	0	0	1	1	1
台 19 甲線	3	3	6	6	6
台 20 線	28	29	29	29	29
台 22 線	0	1	1	2	2
台 26 線	4	4	7	7	7
台 27 線	4	5	7	8	12
台 29 線	28	28	33	35	36
台 31 線	2	2	2	2	11
台 39 線	3	3	3	3	3
台 61 線	20	20	20	20	20
台 9 線	28	31	66	81	86
台 11 線	3	3	13	18	19
合計	161	168	227	255	277

表 1-5 嚴重地層下陷地區淨高 6 公尺內，不同淨寬橋梁數

縣市	鄉鎮市區	區域內 橋梁數	橋梁淨寬 (m)				
			<=10	<=11	<=12	<=13	<=14
彰化縣	芳苑鄉	12	0	0	0	0	0
	大城鄉	8	2	2	2	2	2
雲林縣	麥寮鄉	5	0	0	0	0	0
	崙背鄉	0	0	0	0	0	0
	台西鄉	16	0	0	0	0	0
	土庫鎮	10	0	0	0	0	0
	褒忠鄉	8	0	0	0	0	0
	虎尾鎮	10	0	0	0	0	0
	東勢鄉	8	0	0	0	0	0
	元長鄉	9	0	0	0	0	0
	大埤鄉	1	0	0	0	0	0
	口湖鄉	29	10	10	10	10	10
	四湖鄉	4	0	0	0	0	0
	北港鎮	2	0	0	0	0	0

縣市	鄉鎮市區	區域內 橋梁數	橋梁淨寬 (m)				
			<=10	<=11	<=12	<=13	<=14
	水林鄉	0	0	0	0	0	0
嘉義縣	東石鄉	14	1	1	1	1	1
	布袋鎮	16	2	2	2	2	3
台南縣	鹽水鎮	3	0	0	0	0	0
	北門鄉	26	4	4	6	6	6
	學甲鎮	15	4	4	4	4	4
屏東鎮	東港鎮	6	0	0	0	0	0
	林邊鄉	3	0	0	0	0	0
	佳冬鄉	5	0	0	0	0	0
	枋寮鄉	7	0	0	0	0	0
合計		217	23	23	25	25	26

依統計資料所示，全國橋梁共計 29,118 座，不計高速公路局、臺灣鐵路管理局及鐵道局橋梁共 25,688 座，其中淨高在 6 公尺以內且最大淨寬 14 公尺以內共 17,738 座，佔全國橋梁總數的 60.91%，顯示本研究開發之橋梁檢測設備，有其必要性及廣泛之應用範圍。經公路總局所轄省道之橋梁地理分佈分析，符合淨寬 14 公尺以內、淨高 6 公尺以內之橋梁並無特別集中於西部地區之趨勢，統計顯示東部地區省道台 9 線及台 11 線亦有約百座橋梁符合此條件，故本研究所開發之橋梁檢測設備，除能改善感潮河段橋梁梁底狹窄近水難以檢測之現況，更能推廣適用於全國各地橋梁。

### 1.3 研究目的

為確保橋梁正常運作且安全無虞，依據交通部 2020 年 1 月 3 日頒布「公路橋梁檢測及補強規範」及「公路養護規範」之修正規定，公路養護管理機關應辦理橋梁定期、重大事故或災害後之檢測與維修程序。

而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，檢測以目視為主，儀器為輔，發現橋梁有異常或劣化時，須擬定合宜之計畫進行維修與補強。在實施橋梁檢測作業時必須盡可能接近橋梁結構物，實務上常採用之輔助工具為：橋梁檢測車、高空作業車、無人飛行載具等，但遇梁底淨高狹小之跨水橋或感潮河段橋梁，因檢測作業空間不足且環境惡劣，以當前之檢測輔助工具亦無法適用，橋檢人員則需改乘橡皮艇，或以其他方式盡量趨近待檢測構件以臻檢測落實，現行國內外橋梁檢測設備將於第二章詳細介紹。

2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」研究成果中，以碳纖維管製作伸縮檢測臂桿，並設置遙控裝置與人機介面控制伸縮臂，開發出操作簡易、便於攜帶且經濟實用之「推車型橋梁檢測設備」。此檢測設備經實地測試雖已可運作，但因檢測臂桿長度達 7 公尺，且設備整體重量較輕，造成檢測桿末端攝影模組晃動嚴重，致擷取之影像不穩定並有光源不足等問題。爰此，為增進橋檢設備之適用範圍、影像清晰度、設備穩定性及運作效率，期透過本研究持續提升我國橋梁檢測之品質及效率。

#### 1.4 工作項目

本研究工作項目如下：

1. 資料蒐集：廣泛蒐集市面上可運用於檢測狹小橋梁梁底空間之儀器、設備、技術及相關應用方式。
2. 功能增進：以前期計畫辦理專家座談蒐集之建議及意見，以及實地測試之經驗及所遇之問題為基礎進行檢討，並依據檢討結果規劃改良方案後進行開發整合。
3. 實地測試：以公路總局或縣市政府所轄之公路橋梁為對象，運用前述改良方案進行實地測試（至少 3 座），並依實地測試結果適時調整修正儀器設備及相應軟體，如能採用其他非破壞性技術進行同步測試更佳。
4. 成果推廣：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為對象進行成果推廣（至少 1 場），並據以蒐集相關單位對於研發成果之建議及意見。



## 第二章 橋梁檢測設備現況

橋梁是跨越峽谷、山谷、道路、鐵路、河流、其他水域、或其他障礙而建造的結構，是一種由水面或地面突出來的高架，用來連著橋頭橋尾兩邊路。橋的目的是允許人、車輛、火車或船舶穿過障礙，以達到人員及貨物運輸等之目的<sup>[1]</sup>。

橋可以被按照不同的分類方法進行分類。常見的分類方法是根據形式和構造、材料以及功能等。按形式和構造主要分為：梁式橋、桁架橋、拱式橋、斜張橋、吊橋、鋼架橋、組合橋。按建築材料分類可分為：木橋、索橋、圬工橋、鋼橋、鋼筋混凝土橋、預應力混凝土橋、混合橋、複合材料橋等。使用功能可分為：公路橋、人行橋、鐵路橋、運河橋等<sup>[1]</sup>。

常用的橋梁檢測方法大多僅能針對局部材料性質進行檢測(如超音波波速量測、音洩檢測、敲擊回音法…)，對於結構整體行為採用的檢測方法包括：微振量測、靜載重試驗與動載重試驗等。進行此類檢測時，往往需要封閉橋梁，為避免造成交通衝擊，導致僅可於凌晨進行檢測，且相當費時費力<sup>[2]</sup>。為能加快檢測分析，已發展出透過影像辨識技術，利用橋梁之特徵點，計算橋梁於不同動載重下之結構狀況，以快速判斷橋梁狀態。

此外，為縮短橋梁檢測作業時間，並解決橋檢人員無法接近橋梁之問題，許多研究單位持續開發不同形式之檢測工具，輔助橋梁檢測人員快速、系統化進行橋梁檢測工作，本章就現行使用之橋梁檢測工具進行介紹。

## 2.1 國外橋梁檢測設備

### 2.1.1 橋梁檢測車（船）<sup>[3]</sup>

橋梁檢測車為最常使用之橋梁檢測設備，其最大的特點為輔助檢測人員直接靠近待檢測橋梁構件，讓檢測人員能透過目視或是檢測儀器，針對橋梁狀況進行檢測。目前橋梁檢測車因應不同形式之橋梁檢測作業需求，已演變出許多不同型態，主要可區分為3大類型：

#### 1. 吊籃式橋梁檢測車

又稱為摺疊臂式橋梁檢測車（如圖 2.1 所示），伸展臂具有多個摺疊自由度，可跨越人行道或橋梁護欄甚至特殊造型之鋼構橋，能適用於多種不同結構橋梁之檢測工作（如圖 2.2 所示），依作業需求得上升或下降進行橋梁檢測（如圖 2.3 所示），進行橋梁檢測作業時，需根據橋梁結構形式和道路環境，彈性使用支撐腳並控制臂具伸出長度及方向，確保檢測作業之安全性，亦盡可能降低對車流之影響。



資料來源：(左) <https://bit.ly/3A3RHcB>；(右) <https://bit.ly/2BNedJY>

圖 2.1 吊籃式橋梁檢測車



資料來源：<https://bit.ly/31CvuWF>

**圖 2.2 鋼索橋應用吊籃式橋梁檢測車檢測作業**



資料來源：<https://bit.ly/31Ygk8A>

**圖 2.3 向上抬舉式橋梁檢測車**

此類型橋梁檢測車依檢測環境不同，往往需因地制宜，設計合適之移動機構，除常見之輪型載具外，亦有履帶型設備可因應不平整之地形（如圖 2.4 所示）；鐵道巡查進行鐵道橋梁檢測時，可改以鋼輪於鋼軌

驅動，便可於軌道上移動（如圖 2.5 所示）。此外，跨水橋梁檢測時亦可搭配船舶或水上移動平台方式載送，或直接將檢測設備安裝於船舶上，由水面向上抬升進行檢測（如圖 2.6 所示）。



資料來源：<https://bit.ly/2MZPYyA>

圖 2.4 履帶型橋梁檢測車



資料來源：(左) <https://bit.ly/2oBtKd0>；(右) <https://bit.ly/3xeguct>

圖 2.5 軌道型橋梁檢測車



資料來源：(上) <https://bit.ly/2NsNqbb>；(下)<https://bit.ly/2KPP4Uw>

**圖 2.6 船舶型橋梁檢測車**

吊籃式橋梁檢測車進行檢測時為不連續作業，一固定點範圍檢測完畢，需重新調整架設位置，才能進行下一段檢測作業，且檢測人員作業面積侷限於吊籃範圍，依臂具移動才能完成檢測工作，故某些特定檢測位置因移動上之限制而無法接近，其適用於中小型及特殊需求之橋梁檢測作業。

## 2. 桁架式橋梁檢測車

桁架式橋梁檢測車之工作支臂採用桁架結構，主臂（垂直臂）為舉升機構，垂直臂和伸縮臂之桁架結構中設有人員通道，檢測人員得於伸縮臂中進行檢測作業，依桁架結構得承載多位檢測人員同時進行檢測作業，特別適用於多車道之大型橋梁。但整體結構龐大，需要有寬廣之作業空間，且設備價格昂貴，常見之桁架式橋梁檢測車(如圖 2.7 所示)。因其提供人員作業空間較為寬敞，且可以多人同時作業，亦有廠商開發出小型桁架式橋梁檢測車（如圖 2.8 所示），兼具便利性及機動性，方便檢測作業進行。



資料來源：<https://bit.ly/3EKVZY2>

圖 2.7 桁架式橋梁檢測車



資料來源：<https://bit.ly/3BNyGeq>

**圖 2.8 小型桁架式橋梁檢測車**

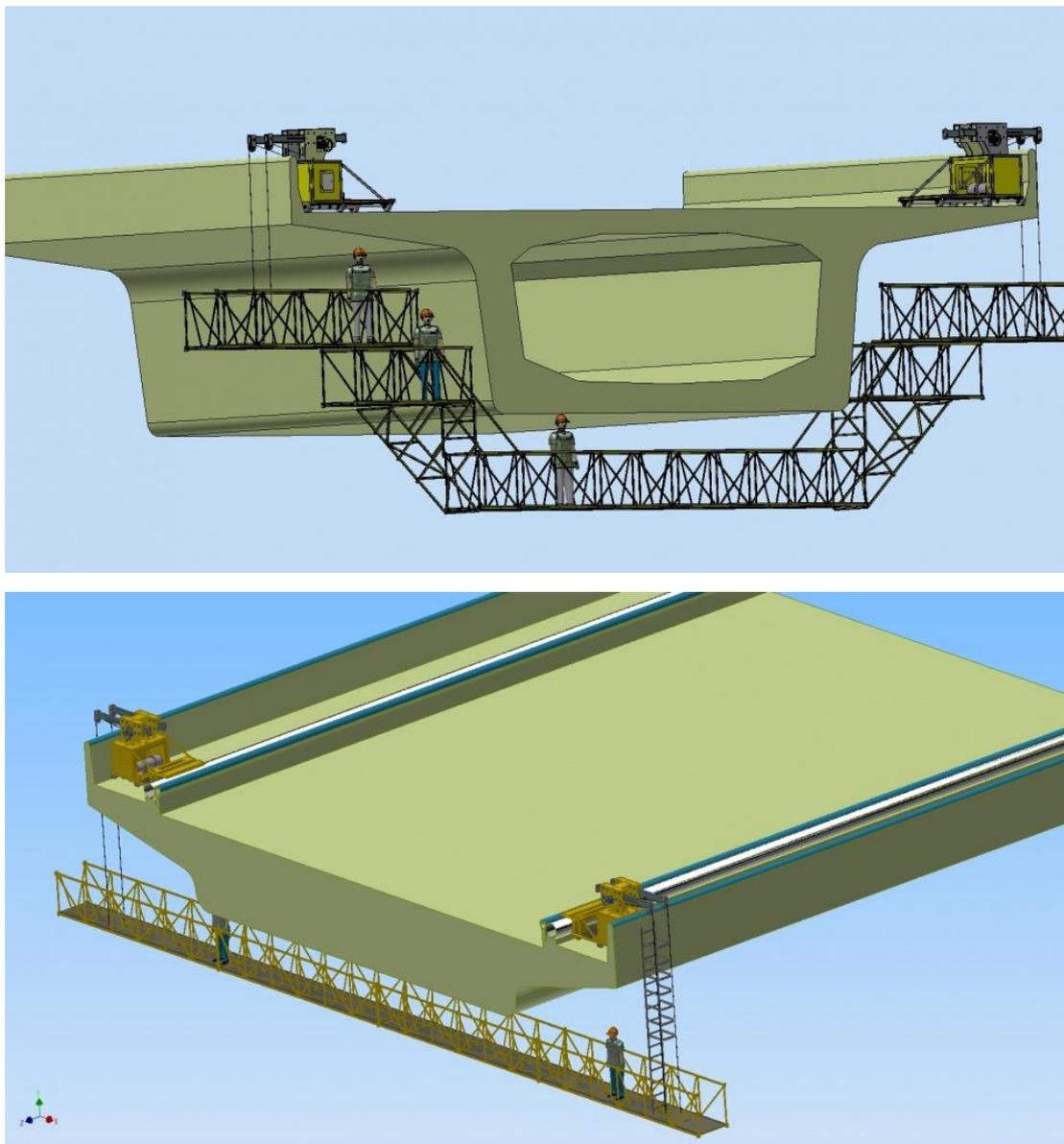
### 3. 永久式橋梁檢測設備

前述 2 類橋梁檢測車皆屬移動式，檢測時依橋梁結構、車道狀況等，選用合適之檢測機型即可作業。但特大橋梁（如大跨徑斜張橋或是懸索橋）則會在橋梁設計建造時，於橋梁上安裝永久式橋梁檢測設備，其桁架會橫跨整個橋梁斷面，透過桁架梁懸掛系統，將其連接、附著在主梁上，並固定於梁底之軌道，透過驅動及控制系統控制桁架移動，檢測人員即可經由檢修通道，由橋面下行至桁架通道中進行檢測（如圖 2.9 所示），此設備依橋梁結構不同，而有不同形式設計（如圖 2.10 所示）。



資料來源：<https://bit.ly/2ZU05hx>

**圖 2.9 永久式橋梁檢測設備**



資料來源：<https://bit.ly/2ZU05hx>

**圖 2.10 不同款式永久式橋梁檢測設備示意圖**

雖永久式橋梁檢測設備解決了大型橋梁的檢測需求，但設備須在橋梁設計及建造時期便同步進行規劃與安裝，且僅能於單一跨距內運作，1 座大型橋梁便需在各跨距皆安裝 1 套永久式橋梁檢測設備，建置成本相當高。

前述各類橋梁檢測車，由於設備造價及維修費用昂貴，出勤檢測成本高、作業時間長，且需進行封路交通管制，有其使用上之缺點及限制，且若橋梁橋面寬度不足，或橋下淨高不足時，則不適用前述橋梁檢測車。

### 2.1.2 機械手臂型橋梁檢測車<sup>[3]</sup>

實施橋梁檢測作業，除將檢測人員載送至接近待檢測構件之方式外，日本 Zivil 調查設計株式會社 (<https://www.zivil.co.jp/>) 推出之機械手臂型橋梁檢測車（如圖 2.11 所示），以機械手臂掛載不同感測儀器，利用感測儀器拍攝或量測橋梁各構件，拍攝影像及量測數據評估橋梁狀態。

Zivil 公司機械手臂型橋梁檢測車介紹說明如下：<sup>[4-10]</sup>



圖 2.11 日本 Zivil 公司機械手臂型橋梁檢測車

日本 Zivil 公司機械手臂型橋梁檢測車操作內容及特色說明如下：

1. 設備尺寸：Zivil 機械手臂型橋梁檢測車總重約 1.7 噸，車寬約 1 公尺、車長約 3 公尺、車高約 2.3 公尺（車體尺寸依機型略有差異）。垂直延伸臂下降深度可達 9 公尺，檢測臂長度可達 7.2 公尺。
2. 移動方式：以履帶取代輪胎，使用電力驅動行駛及控制設備作動，運送時以其他車輛載送至待檢橋梁，再由檢測車輛獨立行駛（如圖 2.12 所示）。



圖 2.12 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車載送方式

3. 檢測程序：檢測臂以分段方式組立，彈性調整以符合作業需求（如圖 2.13、圖 2.14、圖 2.15 所示），檢測設備可直接於檢測臂軌道中滑行調整檢測位置。由於組立構件多且重，單次檢測作業組立需約 6 位作業人員（如圖 2.16 所示）。



圖 2.13 檢測臂組立作業情形



圖 2.14 檢測臂組立後情形



圖 2.15 水平延伸臂組立作業情形



圖 2.16 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車組立作業情形

4. 影像擷取：使用 4K 高解析度影像記錄設備（如圖 2.17 所示）、紅外線溫度攝影機（如圖 2.18 所示），並以 LED 燈具協助補強光源（如圖 2.19 所示）。



圖 2.17 4K 高解析度攝影機



圖 2.18 紅外線溫度攝影機及其檢測情形



圖 2.19 LED 燈具照明

5. 檢測功能：利用裂縫尺規量測裂縫大小（如圖 2.20 所示），若橋梁結構檢測目標沾附髒污時，備有高壓水注進行清洗排除（如圖 2.21 所示）。對於橋梁結構之縫隙，則可利用延伸設備將鏡頭伸入縫隙中進行檢查（如圖 2.22 所示）。必要時可利用敲擊回音法進行檢測作業（如圖 2.23 所示）。

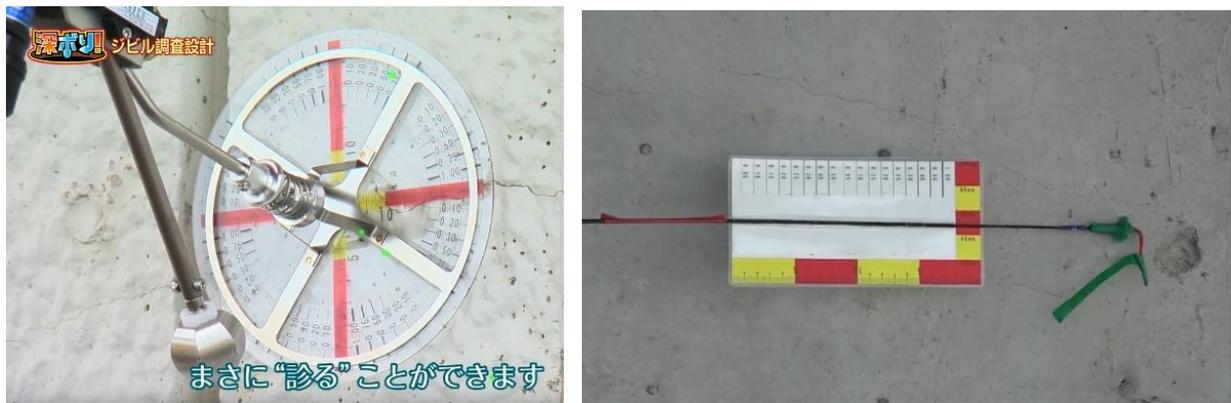


圖 2.20 裂縫尺規



圖 2.21 高壓水柱清除髒污



圖 2.22 縫隙檢查設備



圖 2.23 敲擊回音法檢測

6. 操作模式：設備組立完成後，垂直延伸臂可依橋梁狀況，調整臂長進行檢測（如圖 2.24、圖 2.25 所示），檢測過程中可透過控制台之顯示螢幕（如圖 2.26 所示），即時檢視橋梁情形。



圖 2.24 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車實際作業情形（一）



圖 2.25 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車實際作業情形（二）



圖 2.26 Zivil 機械手臂型橋梁檢測車控制台作業情形

### 2.1.3 無人飛行載具檢測<sup>[3]</sup>

無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）或稱無人飛機系統（Unmanned Aircraft System, UAS），俗稱無人飛機、無人機、蜂型機，廣義上為不需駕駛員登機駕駛之各式遙控飛行器（如圖 2.27 所示）<sup>[11]</sup>。目前 UAV 技術及應用範圍快速發展擴大，應用範圍包括：土地開發、土地利用查詢、房地產低空近距離攝影、房地產視野景觀、都市計畫、緊急災害現況調查、土石流監測、國道車流監測、環保稽查、農地調查……。為配合相關調查工作，UAV 之規格、功能即可搭載之設備包括：固定式光學動態攝影機、高畫質數位相機、高畫質動態攝影機、熱顯像夜視攝影機、輻射偵測器……<sup>[12]</sup>。

UAV 近來也廣泛應用於不同領域中，如飛行表演、無人機貨運等。隨著無人機快速發展，無人機操控及承載能力不斷提昇，如 Intel 研發之 Shoting Star 系統，甚至可同時控制上千台無人機進行客制化飛行表演；Intel 的 Falcon 8+ 無人機可搭載具備 42MP 的 Sony\* RX1R II 相機拍攝高精度影像，並建立物體點雲模型（如圖 2.28、圖 2.29 所示），若應用於橋梁檢測，可選擇搭載高解析度拍攝鏡頭甚至 3D 掃描儀器。雖

無人機實務上尚有其使用限制，例如需要足夠的作業空間，避免發生擦撞；可能受瞬間陣風影響，而影響飛行穩定性；感測及接收大量資料，需要大量計算進行重組與定位…。但隨科技發展，產品不斷推陳出新，前述限制都已顯著改善。

近年國內外亦將 UAV 應用於橋梁檢測作業，希望降低橋梁檢測成本，並減少橋梁檢測人員作業之風險。UAV 主要是以 GPS 進行定位操作，但用於橋梁檢測時 GPS 訊號可能受到橋體遮蔽而無法順利導航。但目前輔助定位技術已日趨成熟，可作業前設定巡航軌跡，即便沒有 GPS 訊號 UAV 還是可以自動巡航，或利用參考基地站，引導 UAV 依設定航線進行拍攝。UAV 發展應用於橋梁檢測介紹如下：



資料來源：<https://intel.ly/3h8RGM1>

**圖 2.27 Intel Falcon 8+ 無人機**



資料來源：<https://bit.ly/2UaBPob>

**圖 2.28 橋梁實景影像**



資料來源：<https://bit.ly/2UaBPob>

**圖 2.29 使用 Intel Falcon 8+無人機建立之橋梁點雲影像**

### 1. 水空兩用 UAV

美國新澤西洲 (New Jersey) 特拉華河灣管理局 (Delaware River Bay Authority, DRBA) 和羅格斯大學 (Rutgers University) 共同開發空中/水下兩用無人飛機「領航者」(Naviator) (如圖 2.30 所示)。使用時可快

速轉換水下操作或空中飛行模式，以因應不同檢測需求，目前已針對特拉華紀念大橋（Delaware Memorial Bridge）進行實測 [13]。



資料來源：<https://bit.ly/3w2UmjH>

**圖 2.30 空中/水下兩用無人機**

## 2. 防撞型 UAV

為了防止 UAV 因操作不當而發生墜機，目前部份 UAV 已導入避障功能，但仍很難完全避免，為解決此問題，已有新創公司開發防護罩（如圖 2.31 所示），可加裝於既有 UAV，以降低 UAV 墜落之損害。



資料來源：<https://bit.ly/2NqIo0D>

**圖 2.31 UAV 防撞護罩**

### 3. 貼附型 UAV

UAV 除具有防撞功能，並利用不同向之螺旋槳設計，讓 UAV 貼附於橋梁底部移動（如圖 2.32 所示），此款 UAV 具備敲擊測試及攝影功能（如圖 2.33 所示）。



圖 2.32 具防護功能並可貼附於橋梁面之 UAV



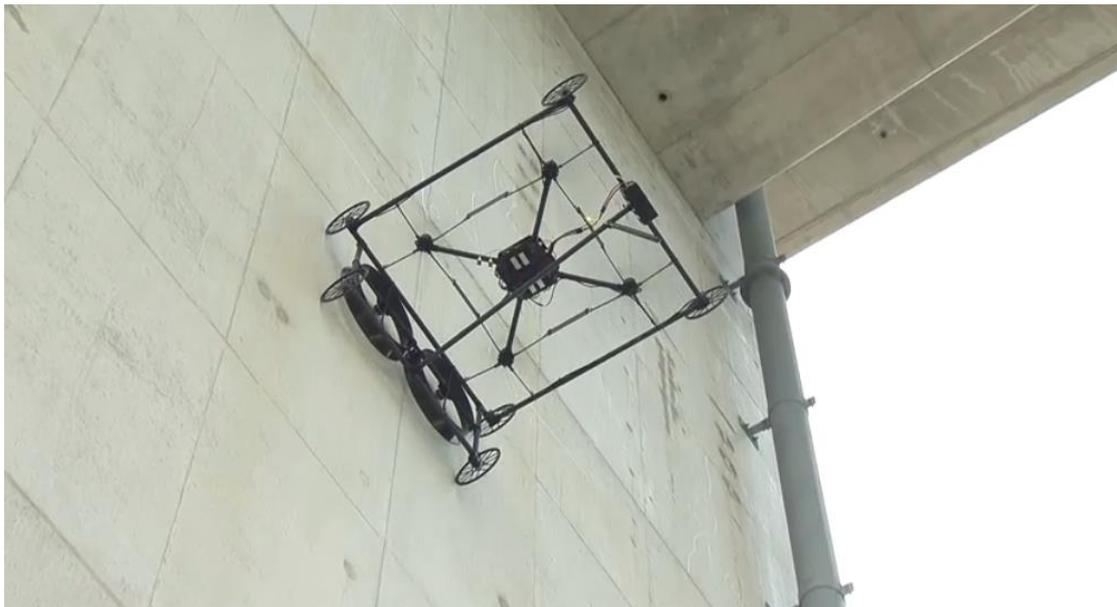
圖 2.33 具敲擊測試及攝影功能之 UAV

#### 4. 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之 UAV（如圖 2.34、圖 2.35 所示）。



圖 2.34 具垂直攀爬功能之 UAV



資料來源：<https://bit.ly/2TVybug>

圖 2.35 水平與垂直兩用 UAV

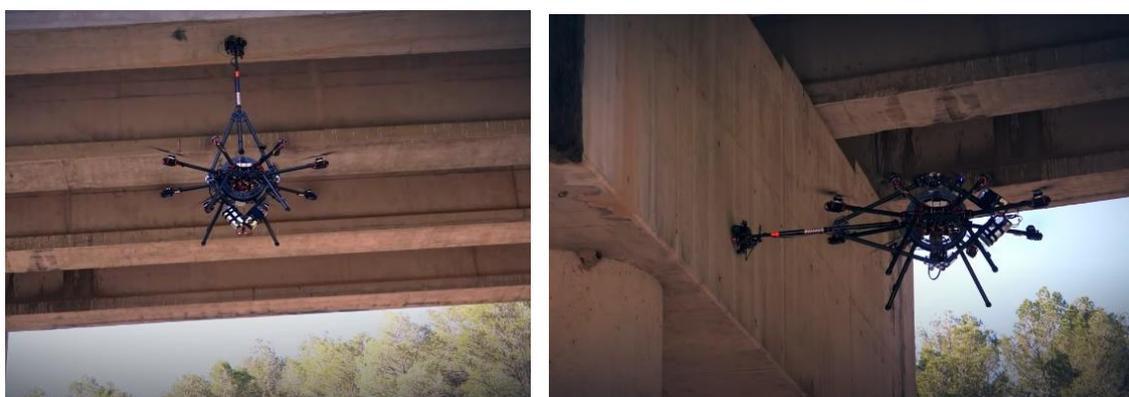
另外，為檢測橋梁特定構件，亦有外形增加輪圈功能之小型 UAV，可於橋梁構件中行走（如圖 2.36 所示）。



圖 2.36 可於特定橋梁構件中行走之 UAV

### 5. 搭載檢測設備之 UAV

由於 UAV 的載重及穩定性大幅提升，因此除了掛載更高解析度之相機外，亦能掛載不同功能之檢測設備，如 CATEC (Center for Advanced Aerospace Technologies) 無人機即搭載超音波檢測設備，可用於檢測橋梁底部或側面橋柱之狀況 (如圖 2.37 所示)，在監控室中可透過即時影像同步觀看檢測狀況，並以檢測分析軟體即時運算呈現相關檢測數據 (如圖 2.38 所示)。除了應用在橋梁檢測外，也可應用於金屬管線(柱)之檢測作業 (如圖 2.39 所示)。



資料來源：<https://bit.ly/2TVybug>

圖 2.37 搭載超音波檢測設備之 UAV



資料來源：<https://bit.ly/2TVybug>

**圖 2.38 即時顯示超音波檢測設備之運作情形**



資料來源：<https://bit.ly/2TVybug>

**圖 2.39 應用於管線檢測之 UAV**

#### 2.1.4 鋼構橋檢測機器人

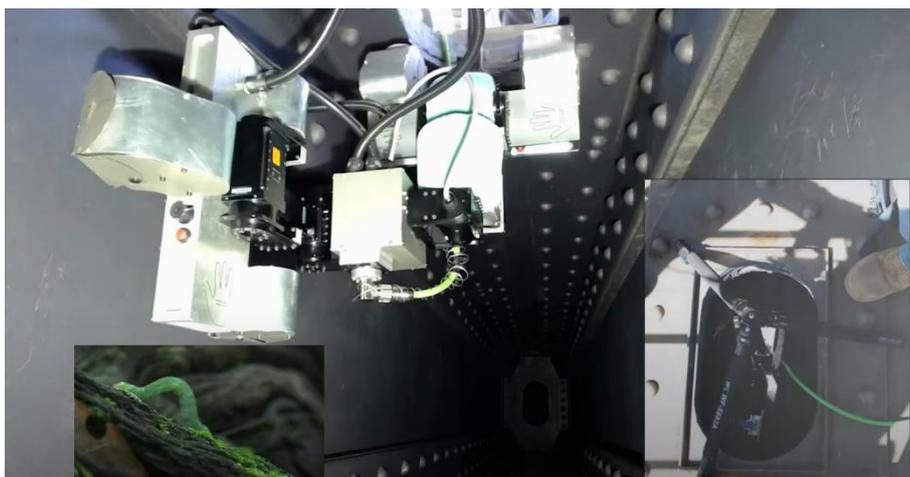
因鋼構橋之橋體性質，檢測機器人利用磁吸特性，透過電磁原理控制，讓機器人行走於鋼構橋上進行檢測（如圖 2.40 所示）。澳洲雪梨科技大學（University of Technology Sydney, UTS）開發應用於鋼構橋檢測之自主攀爬機器人，可用於檢查橋梁內部。受限空間檢查攀爬機器人（CROC）（如圖 2.41 所示）為自主機器人，藉由特殊磁腳，CROC 可

攀爬垂直鋼牆，避開障礙物，並在橋梁或其他鋼結構（如船體、輸電塔及石油鑽井平台）內之狹小空間旋轉。檢測過程中，收集記錄檢查數據，並與前期數據進行比較<sup>[14]</sup>。



資料來源：<https://bit.ly/2TVybug>

**圖 2.40 鋼構橋檢測機器人**

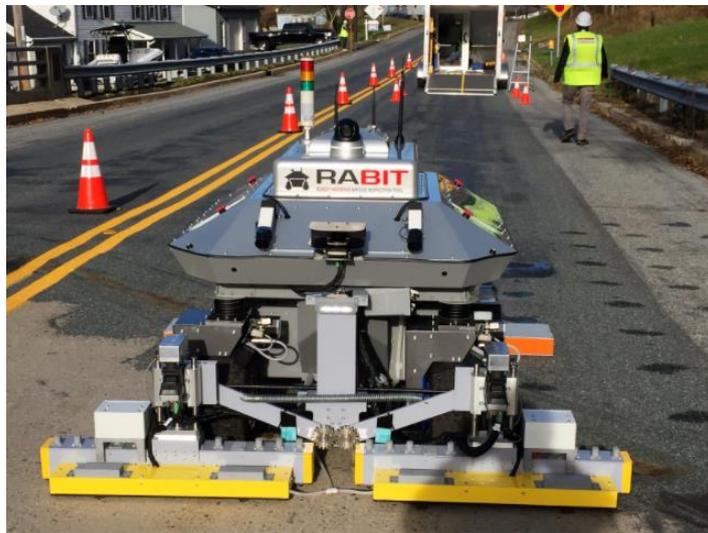


資料來源：<https://bit.ly/3xWv348>

**圖 2.41 UTS 受限空間檢查攀爬機器人**

### 2.1.5 其他非破壞性檢測

橋梁檢測除透過目視影像進行檢測外，亦可搭配其他非破壞性檢測方法，如透地雷達（Ground-penetrating radar, GPR）、敲擊回音檢測…。Infratek 公司出產 RABIT（Robot Assisted Bridge Inspection Tool）具備雷射掃描儀、高精度影像攝影系統、電阻率檢測器、衝擊回波和超聲波檢測儀、探地雷達及 GPS（如圖 2.42 所示）。



資料來源：<https://www.infrateksolutions.com/products/>

圖 2.42 Infratek 檢測機器人

## 2.2 機械手臂型橋梁檢測設備

在「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」<sup>[15]</sup>中，曾嘗試使用機械手臂進行橋梁檢測，當時以 3.5 公噸小型貨車做為機械手臂之載臺，採 3 臂式機械手臂，附載 2 具紅外線 CCD 攝影機（如圖 2.43 所示），拍攝影像並同步傳輸給橋面檢測人員，以代替檢測人員直接深入橋面下執行目測之方式。機械手臂檢測範圍以單

邊檢測達 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。

該計畫設計以「力有機械」LY3A 油壓吊桿吊掛檢測設備，第 2 臂最大下降高度為 4.5 公尺，第 3 臂最大延伸長度為 6 公尺，總重量為 11.83 公斤，運作設計圖如圖 2.44 所示。



圖 2.43 機械手臂實機操作畫面

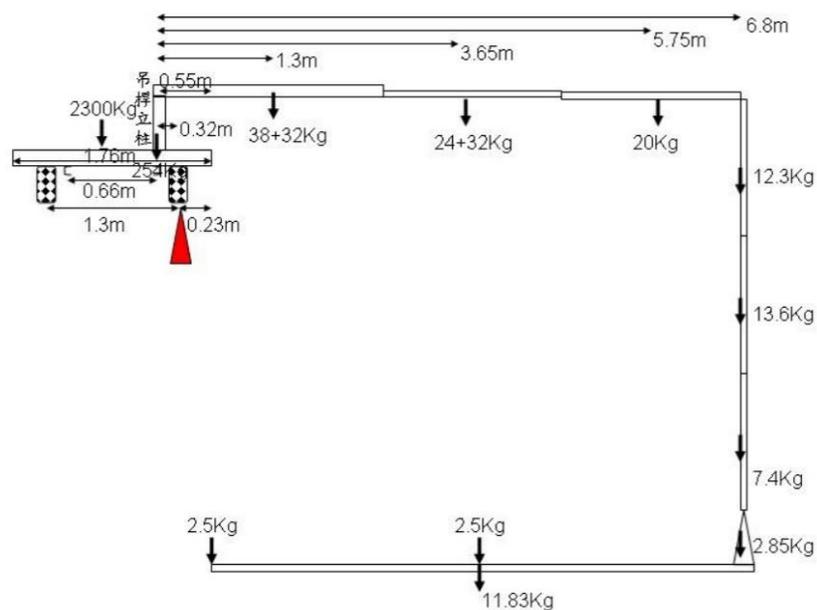


圖 2.44 機械手臂運作設計圖

本所於 2017 年「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」研究計畫中，以研發輕便易攜帶之橋梁檢測機構為目標，總重量 30 公斤以下，且固定於車頂架上，當設備載運至待檢測橋梁時，可輕易將檢測機構展開進行橋梁檢測作業，而開發出車載型橋梁檢測設備，介紹如下：

車載型橋梁檢測設備組立步驟：

#### 1. 安裝車頂機構底架

於休旅車上安裝車頂架，便於將車載型檢測設備固定於車頂。依採用車型選用搭配之車頂架，因此橋梁檢測設備安裝不受限於特定車輛，甚至可使用現有之車廂型進行加裝，降低車輛添購成本。該計畫使用車輛為 Toyota Sienta 5 人座（如圖 2.45 所示）。



圖 2.45 車頂架安裝

#### 2. 裝置 A 桿與 B 桿

車頂架安裝完畢後，將事先組裝完成之 A 桿及 B 桿安裝於車頂架並鎖上螺絲固定（如圖 2.46 所示）。



圖 2.46 A 桿與 B 桿安裝

### 3. 安裝 C 桿

A 桿與 B 桿安裝完成後，將 C 桿(一組 C1 和 C2 套合之方形鋁擠)與 AB 桿的轉動關節處做安裝與連結(如圖 2.47)，桿件安裝完成後，A 桿於最底層，B 桿於中間層，C 桿於最上層，於行車狀態時，桿件須予以固定。



圖 2.47 安裝 C 桿





圖 2.49 實測情形



圖 2.50 檢測設備手機及照明架設情形



圖 2.51 實測拍攝之影像（一）



圖 2.52 實測拍攝之影像（二）

綜合 4 次實測經驗，此設備檢測 1 座長 10 公尺雙車道橋梁（考慮路燈等外在干擾物）所需時間，設備安裝及布設約 30 分鐘，單側檢測時間 30 分鐘，橋梁 2 側梁底檢測完畢約需 2 小時。

### 2.3 推車型橋梁檢測設備

本所於 2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」中研發第二代橋梁檢測設備，經檢討第一代「車載型橋梁檢測設備」缺點：

1. 檢測操作時需占用車道，橋面兩側若為人行道或其他設施，則難以接近橋緣。
2. 依道路交通管理處罰條例汽車裝載規定，檢測車輛於道路行駛時，車載設備需拆卸以其他車輛載運，不得安裝於車頂直接前往現場。

為達更佳之可用性及便利性，改以推車獨立結構（如圖 2.53 所示），將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」，並考量檢測設備操作環境，尺寸設計寬度為 80 公分，長度 90

公分，高度 100 公分，機構操作臂桿維持 A、B、C 桿之設計，並依第一代車載型設備之缺失進行改善。機構設計圖如圖 2.54、圖 2.55 所示，檢測桿（C 桿）如圖 2.56 所示。第二代「推車型橋梁檢測設備」只需使用 1.9 噸小貨車即可載運，明顯提昇其便利性（如圖 2.57 所示）。



圖 2.53 「推車型橋梁檢測設備」操作情形

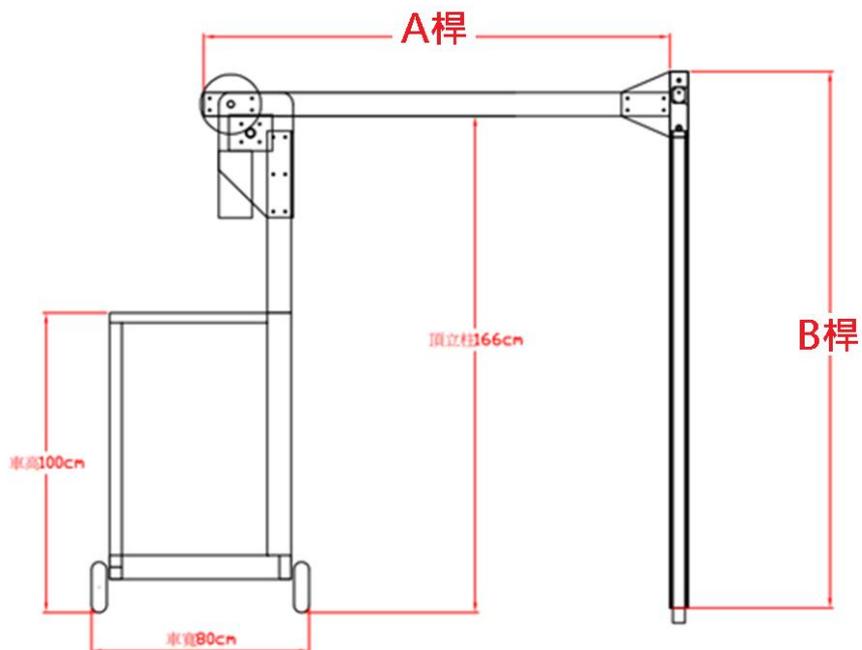


圖 2.54 「推車型橋梁檢測設備」機構設計之設計圖

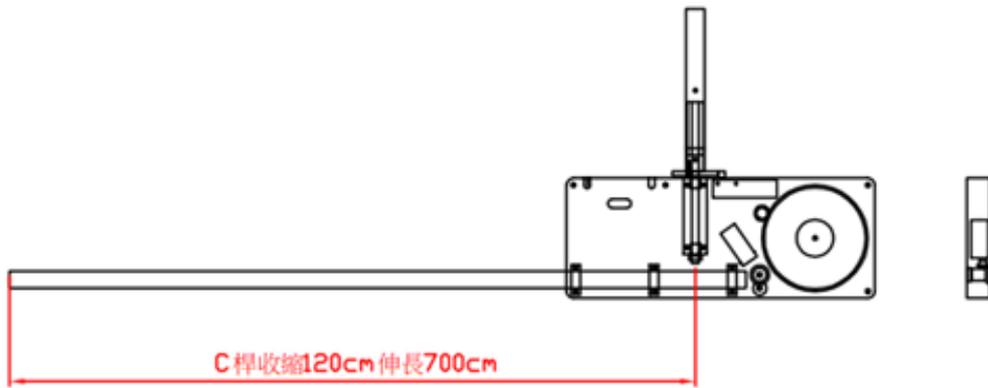


圖 2.55 「推車型橋梁檢測設備」C 桿伸縮模組簡圖



圖 2.56 「推車型橋梁檢測設備」C 桿伸縮實體照



圖 2.57 「推車型橋梁檢測設備」設備搬運照

於橋梁檢測現場，檢測人員將檢測設備推送至橋梁邊組裝，並進行橋梁檢測作業。因「推車型橋梁檢測設備」寬度為 80 公分，方便於橋梁旁之人行道操作與通行，推送照片如圖 2.58 所示。



圖 2.58 「推車型橋梁檢測設備」實際推送情形

推送至檢測點後檢測桿件進行組裝，A 桿與 B 桿為固定於推車載具上，僅需將 B 桿推出並利用插銷固定於 A 桿上（如圖 2.59 所示）；再將 C 桿安裝於 B 桿末端，並同時以插銷固定（如圖 2.60 所示）。設備組立後如圖 2.61 所示。

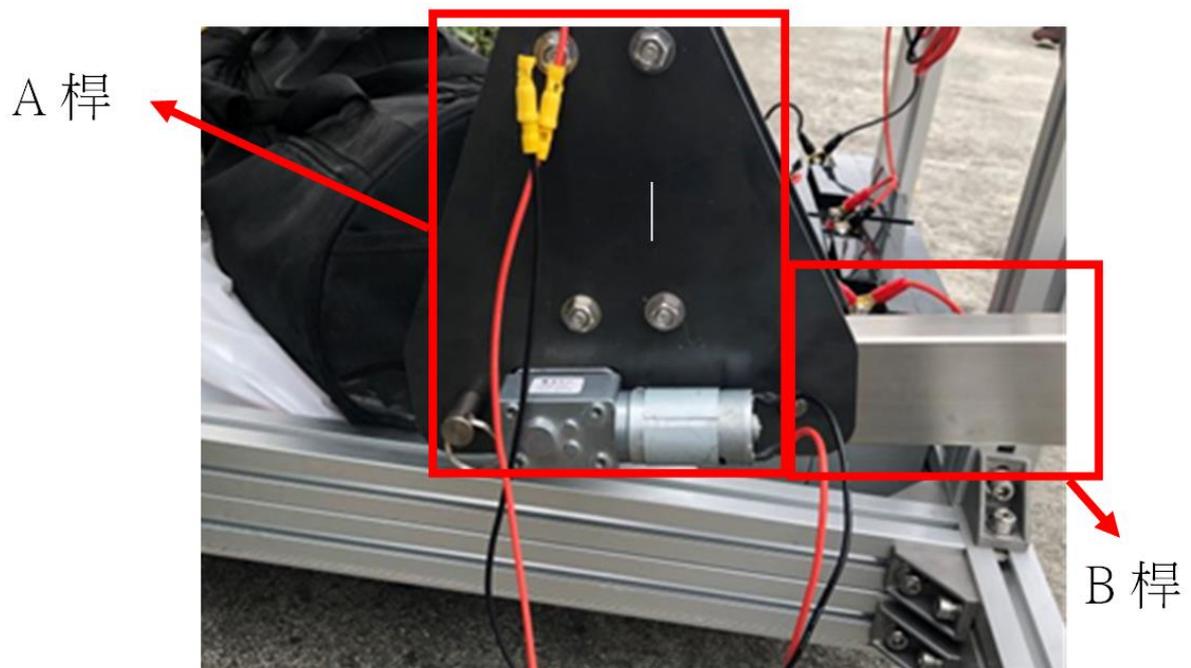


圖 2.59 B 桿以插銷固定於 A 桿上



圖 2.60 利用插銷將 C 桿固定於 B 桿末端



圖 2.61 「推車型橋梁檢測設備」組立完成情形

待完成上述設備組裝完成，即可開始進行檢測作業，檢測人員使用人機介面上之操作介面，將檢測設備延伸至橋梁護欄外，並依現場情況調整檢測設備位置，將影像設備推送至橋梁梁底檢測梁底情況，以評估橋梁狀況，設備組裝及操作情形如圖 2.62 至圖 2.68 所示。



圖 2.62 「推車型橋梁檢測設備」組裝（一）



圖 2.63 「推車型橋梁檢測設備」組裝（二）



圖 2.64 「推車型橋梁檢測設備」組裝（三）



圖 2.65 「推車型橋梁檢測設備」操作（一）



圖 2.66 「推車型橋梁檢測設備」操作（二）



圖 2.67 「推車型橋梁檢測設備」操作（三）

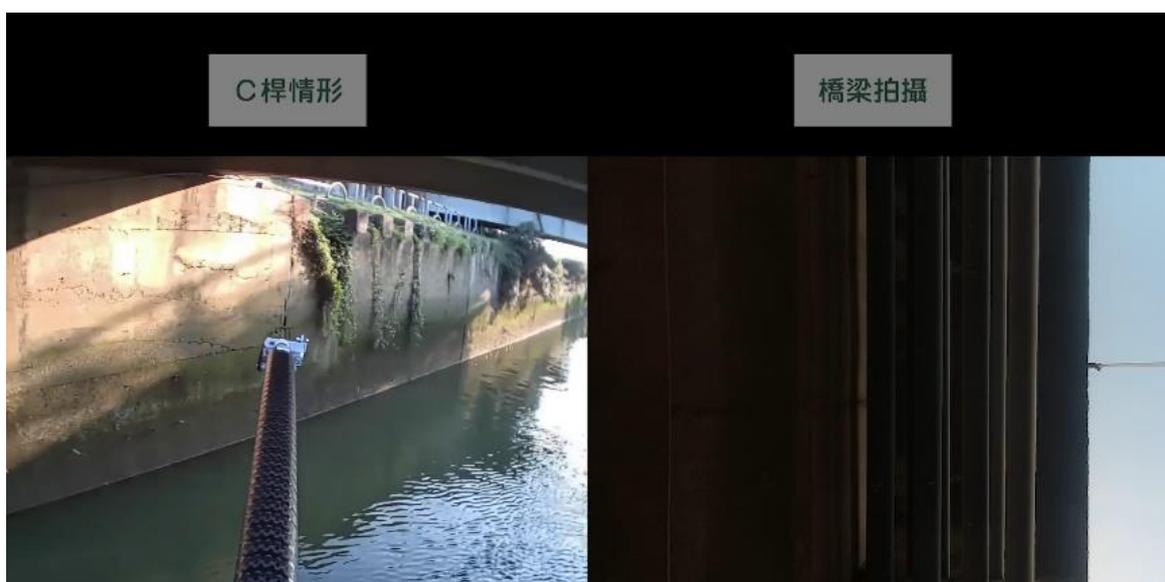


圖 2.68 「推車型橋梁檢測設備」操作（四）

「推車型橋梁檢測設備」組裝及操作說明如下：

1. 檢測人員將 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 A 桿帶動 B 桿與 C 桿至護欄外。
5. 利用人機介面上之控制鈕，使 B 桿降落至適當之檢測高度。
6. 利用人機介面上之控制鈕，使 C 桿轉進橋梁梁底。
7. 檢測人員依回傳影像控制 C 桿，並同時檢查橋梁梁底狀況。

「推車型橋梁檢測設備」選擇了 2 座橋梁進行實體測試，因考量感潮河段橋梁之橋面寬度與環境，故選擇環境相仿之橋梁，第 1 座為台北市大佳河濱公園堤外橋梁，第 2 座為臺北市美堤河濱公園堤外橋梁。第二代「推車型橋梁檢測設備」進行了 2 次實際測試，以小貨車將設備運送至現場，操作人員為 2 人，組裝時間從第一代「車載型橋梁檢測設備」約需 30 分鐘大幅縮短至 5 分鐘，並以人機介面操作設備進行檢測，實測得其 C 桿可伸長達 7 公尺，並以 Wi-Fi 訊號回傳橋梁梁底影像至載具上之平板電腦進行檢測。兩次實測之檢測成果，如圖 2.69 與圖 2.70 所示。



圖 2.69 大佳河濱公園堤外橋梁梁底狀況



圖 2.70 美堤河濱公園堤外橋梁梁底狀況

本設備可沿垂直於行車方向延伸至橋梁梁底 7 公尺處，可應用在雙向 4 車道之橋梁進行檢測。當時 C 桿以長釣竿組成尾端的變形嚴重，並且設備移動中有明顯晃動現象，本研究預計以客製化方形管降低檢測桿尾端之變形，並且改良攝影裝置加裝輔助光源，以取得更清楚的橋梁底部影像。

## 2.4 小結

綜觀國內外之現行橋檢設備及本所前期研究成果，現行橋梁檢測車雖型式眾多，但設備龐大且造價不斐，新興無人機檢測設備雖方便且成本低，但其使用受環境限制。本研究因感潮河段橋梁環境有其特殊性及落實檢測之必要性，針對此類橋梁檢測工具進行研發，透過本章蒐整之各類檢測設備，參考應用於本研究開發橋梁檢測設備之相關功能，從經濟性、便攜性、實用性且易操作為目標，期有助於輔助橋梁檢測進行，便於第一線人員使用。

本所前期計畫 2019 年研發成果「推車型橋梁檢測設備」已達造價成本低、機動性高，且檢測人員可於橋面即可檢視橋梁梁底狀況，已逐步達成經濟、便攜且容易操作之目標，唯影像清晰度及設備穩定性尚待改善，本研究即以此基礎架構雛型持續精進，優化設備之操作及影像穩定性並擴增相關功能，提升設備實用性及可靠度，以臻未來推廣應用。



### 第三章 設備精進與成果

本研究為 2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」之延伸，特別著重強化前期研究成果設備未完善之處。前期設備攝影機影像晃動嚴重與橋底光源不足，首應加強攝影穩定性，即為增加整體結構強度，本設備強度設計瓶頸於 C 桿件，該桿件為縱橫比極大之長桿，爰此，應著重於加強 C 桿之強度，即能同時解決影像晃動並可增設補光裝置，以解決橋底影像光源不足之問題。

#### 3.1 C 桿強度提升方案

C 桿件需有足夠長度將攝影設備送至梁底拍攝影像，並能便於收納運送，故 C 桿設計以套管形式具備伸長與收縮功能。為便於運送，依小貨車車斗長度，C 桿裝置收縮後長度需小於 2.8 公尺，且伸長需達 7 公尺，設計以 4 節形式組成（如圖 3.1 所示）。前期研究以超長型釣竿實現此功能，唯釣竿剛性不足造成 C 桿前端設備需輕量化，衍生影像不穩定且光源不足等問題，為徹底解決此缺陷，本研究提出下述之 C 桿強度提升方案：

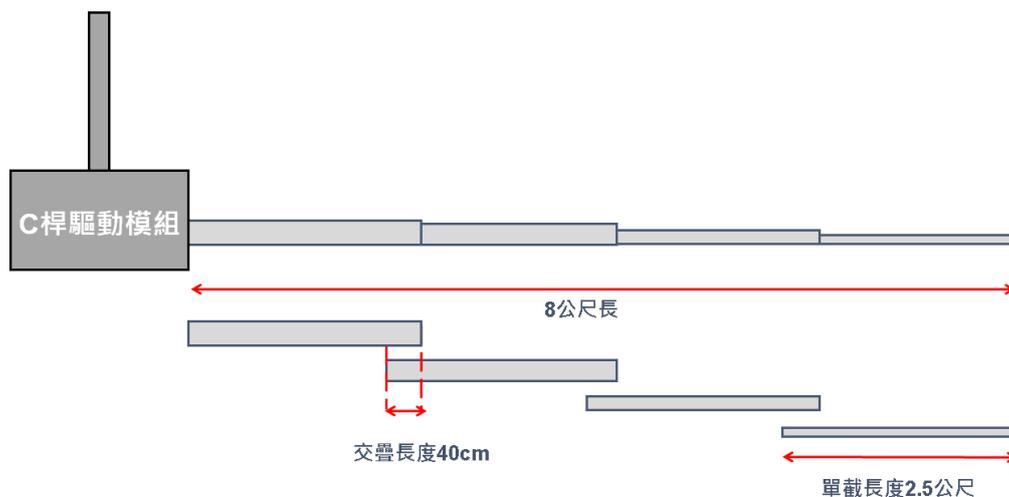


圖 3.1 C 桿收縮長度示意圖

### 3.1.1 圓形碳纖維伸縮套管強度分析

前期研究 C 桿材料使用長型釣竿，以多節圓型伸縮套管組成，前端（攝影端）外徑 25mm、壁厚 0.8mm，後端（設備端）外徑 38mm、壁厚 1.2mm，前端負載 150g，於此狀態設備實際變形量（變位量）約 400mm。

本研究研擬使用碳纖維管製作，先以軟體模擬分析方式決定 C 桿適當尺寸，但套節間隙對變形量之影響難以模擬，故研以均勻錐度管代替實際套結方式分析，得知相對提升強度。以前期研究所採用的圓形管參數分析，其末端變形量為 295.85mm，合理低於實際 400mm，若以前期研究之 C 桿掛載 500g 之負重時，末端變形量為 519.32mm（如表 3-1、圖 3.2 所示），後續分析將以此為參考基準，比較 C 桿強化後相對強度提升量。

表3-1 圓形管不同負載末端變形量

圓管直徑(前端-後端)	負載(g)	末端變形量(mm)
25 <sup>2</sup> - 38 <sup>2</sup> mm	150	295.85
	500	519.32

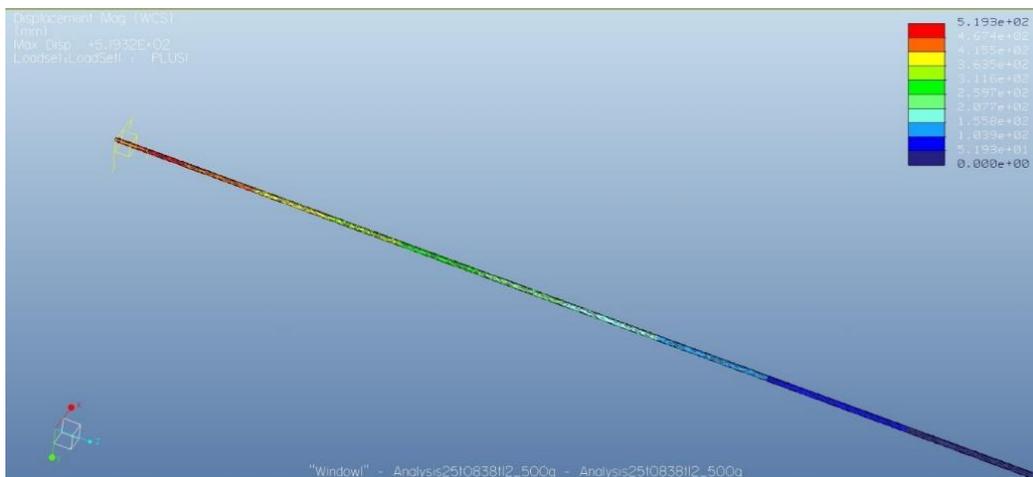


圖 3.2 C 桿末端位移量示意圖

### 3.1.2 方形碳纖維伸縮套管強度分析

本研究為提升 C 桿強度，預計以方形截面管替代原有之圓形截面套管，模擬前端附載設定為 500g，依市面較常見尺寸分析(厚度 1mm、1.5mm、2mm、2.5mm、3mm)，後端管徑設定為可配合 B 桿末端設備，且以較常見尺寸為標準，採用 80mm、65mm、55mm 取樣分析。前端管徑對應後端管徑設計，預計 4 截套管結構，最終將相對漸縮 35mm，因此前端以 45mm、30mm、20mm 取樣分析，並且以錐度管代替多截方管，如圖 3.3 所示為後端方管 55mm、前端方管 20mm 之近似模型，其模擬結果如圖 3.4 所示。

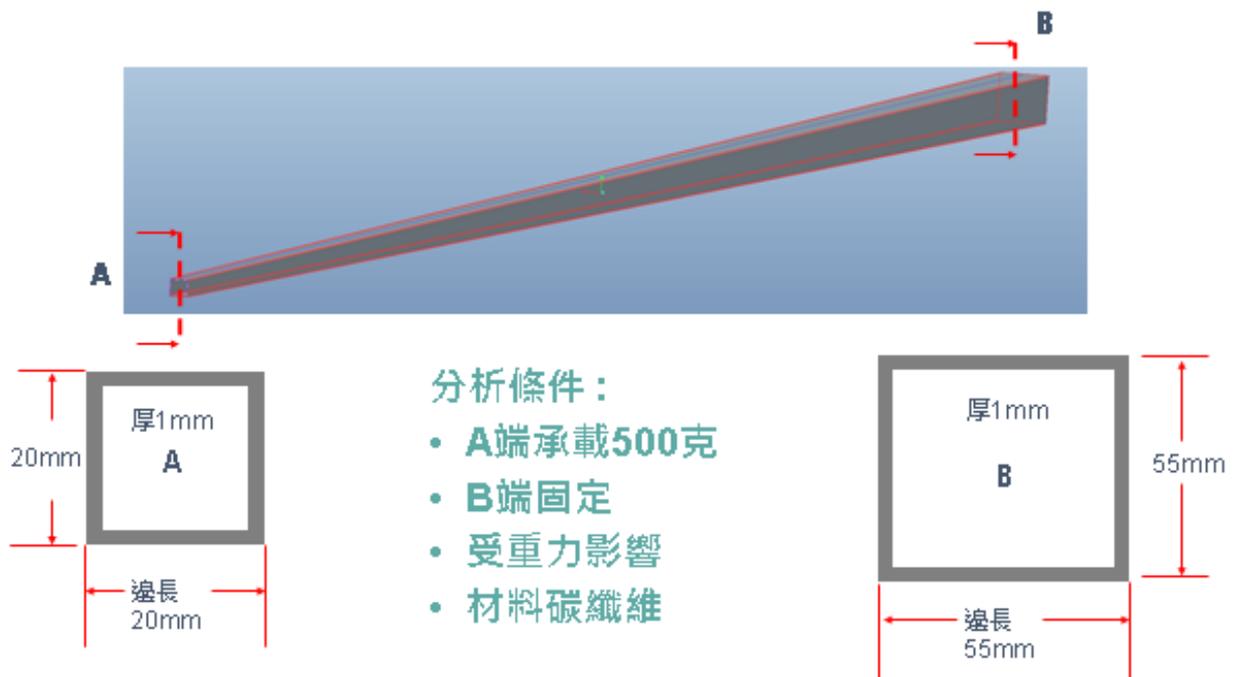
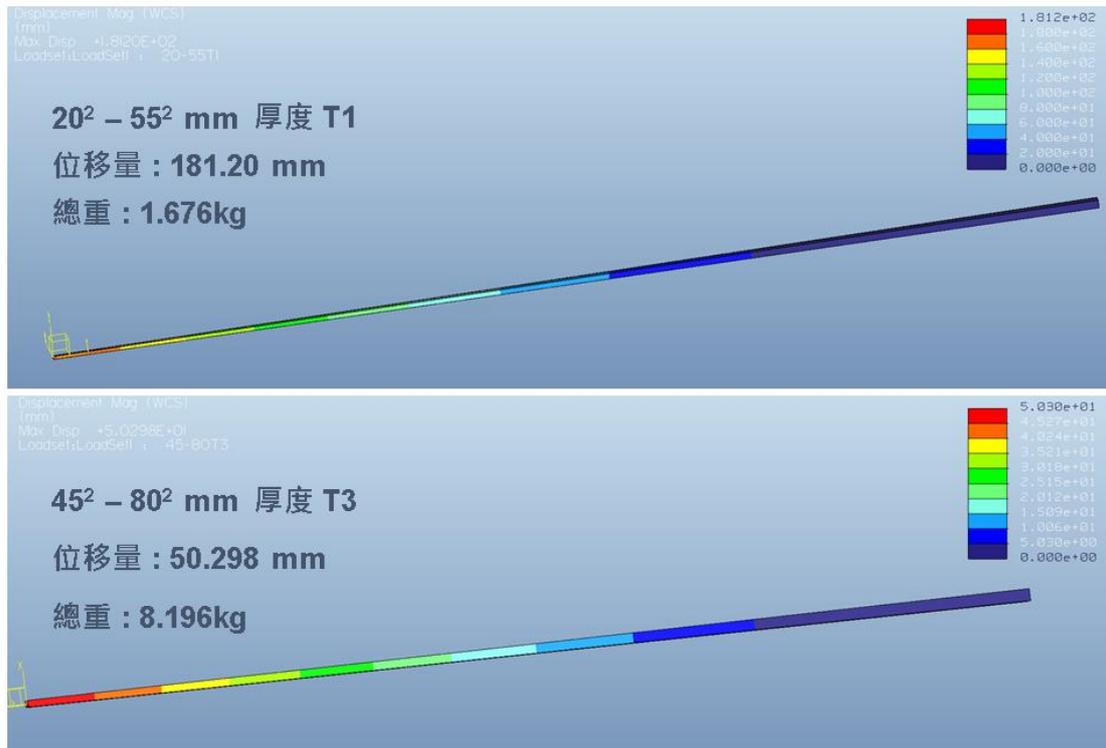


圖 3.3 方管 C 桿變形量模擬條件



(T 表示厚度尺度：單一視圖表達厚度均勻之形態)

**圖 3.4 方管 C 桿變形量模擬**

整合數筆模擬資料，結果如表 3-2 所示，可見外型尺寸對變形量影響極大，而壁厚影響則相對較小，如面積慣性矩計算法則，本次模擬結果可知，壁厚 2.5mm 與 3mm 之方形管變形量相差甚微。以前端 45mm、後端 80mm 方形管為例，壁厚 2.5mm 時前端變形量為 51.339mm；壁厚 3mm 時前端變形量為 50.298mm，變形量僅減少 2.2%，而總重卻增加了 19.0%。依本次分析趨勢取捨（如圖 3.5），除變形量之取捨外，需考慮整體重量之限制，本研究可能採用前端 45mm、後端 80mm 方形管，壁厚 2mm 較符合本研究設計之需求。

表3-2 方管C桿變形量分析

外型尺寸(前端-後端)	厚度(mm)	總重(kg)	變形量(mm)
20 <sup>2</sup> - 55 <sup>2</sup> mm	1	1.676	181.20
	1.5	2.479	151.24
	2	3.260	136.97
	2.5	4.018	128.98
	3	4.752	124.12
30 <sup>2</sup> -65 <sup>2</sup> mm	1	2.135	110.57
	1.5	3.168	95.144
	2	4.178	87.872
	2.5	5.166	83.866
	3	6.130	81.488
45 <sup>2</sup> - 80 <sup>2</sup> mm	1	2.824	65.677
	1.5	4.201	56.497
	2	5.556	53.149
	2.5	6.888	51.339
	3	8.196	50.298



圖 3.5 方形管 C 桿變形量模擬趨勢

為探求適當之壁厚，本研究以變截面方形管，模擬前後端改變方形管壁厚之方案。以前端外徑 45mm 後端外徑 80mm 方型管，分析前端至後端壁厚改變 1mm-3mm 及 3mm-1mm 兩種狀況之變形量(如圖 3.6 所示)。分析結果顯示當前端壁厚減少，後端壁厚增加，前端變形量低於全採用厚管壁，如表 3-3 所列，在外型尺寸相同之下，整體採用 3mm 厚度之方形管材，前端變形量為 50.298mm；前端採用 1mm、後端採用 3mm 之方形管材，前端變形量則為 37.157mm，大幅減少變形量 26.1%，且總重減少了 29.1%。因成本考量無法採用價格較高的變截面方管，依模擬結果，本研究採用 4 截厚度不同之方形管組成。

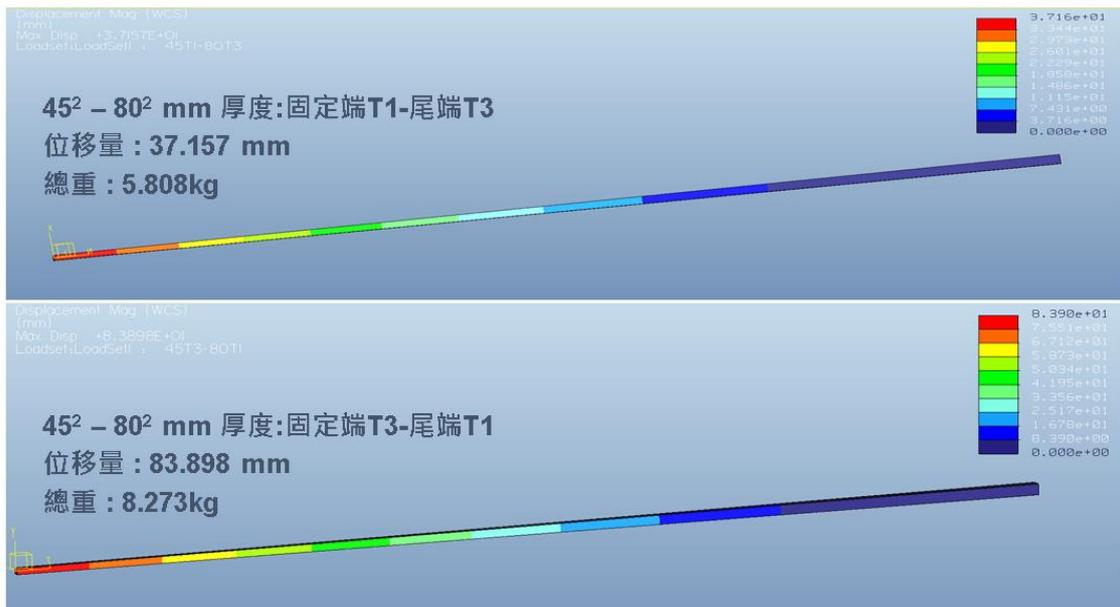


圖 3.6 變截面方管變形量模擬

表3-3 方管C桿變形量模擬

外型尺寸 前端-後端	厚度(mm)	總重(kg)	變形量(mm)
45 <sup>2</sup> – 80 <sup>2</sup> mm	1	2.824	65.677
	1.5	4.201	56.497
	2	5.556	53.149
	2.5	6.888	51.339
	3	8.196	50.298
45 <sup>2</sup> – 80 <sup>2</sup> mm	<u>1 – 3</u>	<u>5.808</u>	<u>37.157</u>
	3 – 1	5.273	83.898

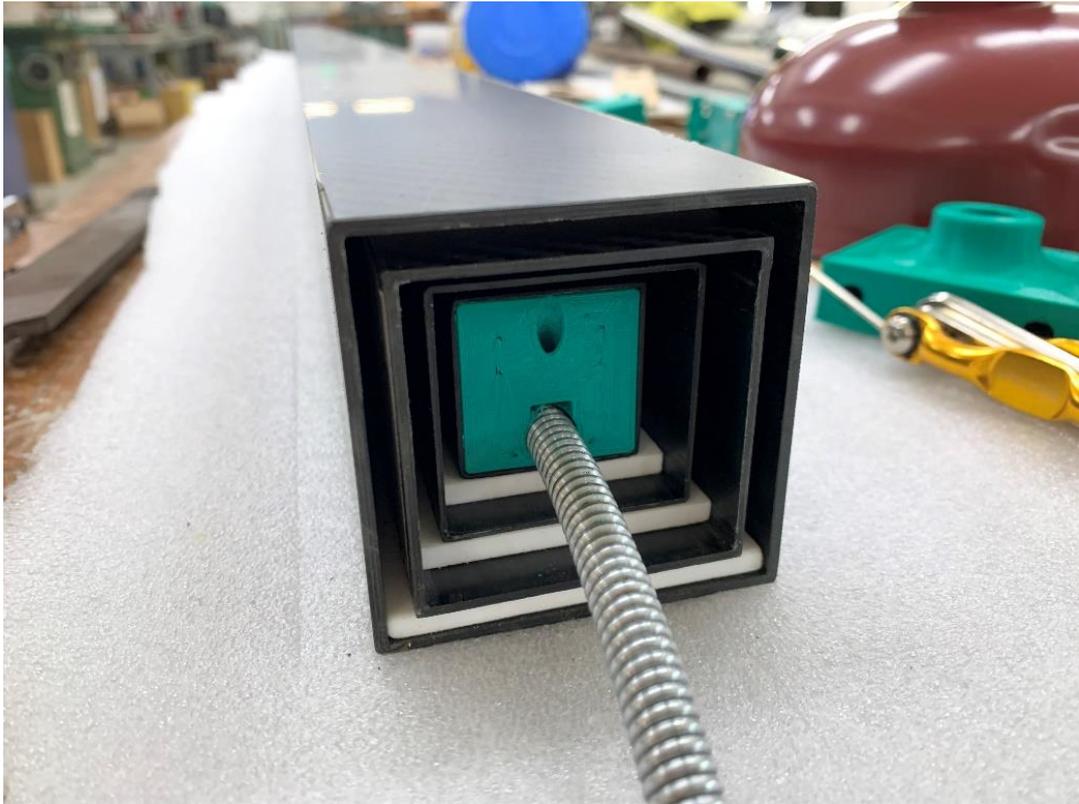
### 3.1.3 套節滑動面結構設計

前期研究所採用之圓管為長釣竿改裝，其外型為錐度管形成套節，現採用碳纖維方管為直通管，需增加限制凸緣形成套節形式，且碳纖維管不耐磨耗，成本較高，本研究考量設備實際商業運轉之情形，需減少高成本零件之替換率。以環氧樹脂與成形壓克力片構成凸緣結構，再鑲入可替換鐵氟龍片為磨耗材，鐵氟龍摩擦係數極低且材料易取得，可減少碳纖維管磨耗降低維護成本。

當碳纖管伸長時僅有 40cm 之交疊範圍，因此受力極大，本設計以鐵氟龍墊片為主要受力面，承受碳纖管伸長之彎距，再以壓克力凸緣限制鐵氟龍墊片之位置（如圖 3.7 所示），四節套管間皆以類似方式製作（如圖 3.8 所示）。



圖3.7 碳纖維管內鐵氟龍墊片（驅動端）



**圖3.8 碳纖維管內鐵氟龍墊片配置（驅動端）**

攝影端受力較小，其主要功能為碳纖管收入時保持攝影裝置穩定，因此設計上以面積較小之鐵氟龍墊片接觸（如圖 3.9 所示），並以壓克力凸緣包圍鐵氟龍墊片，4 節套管間皆以類似方式製作（如圖 3.10 所示）。

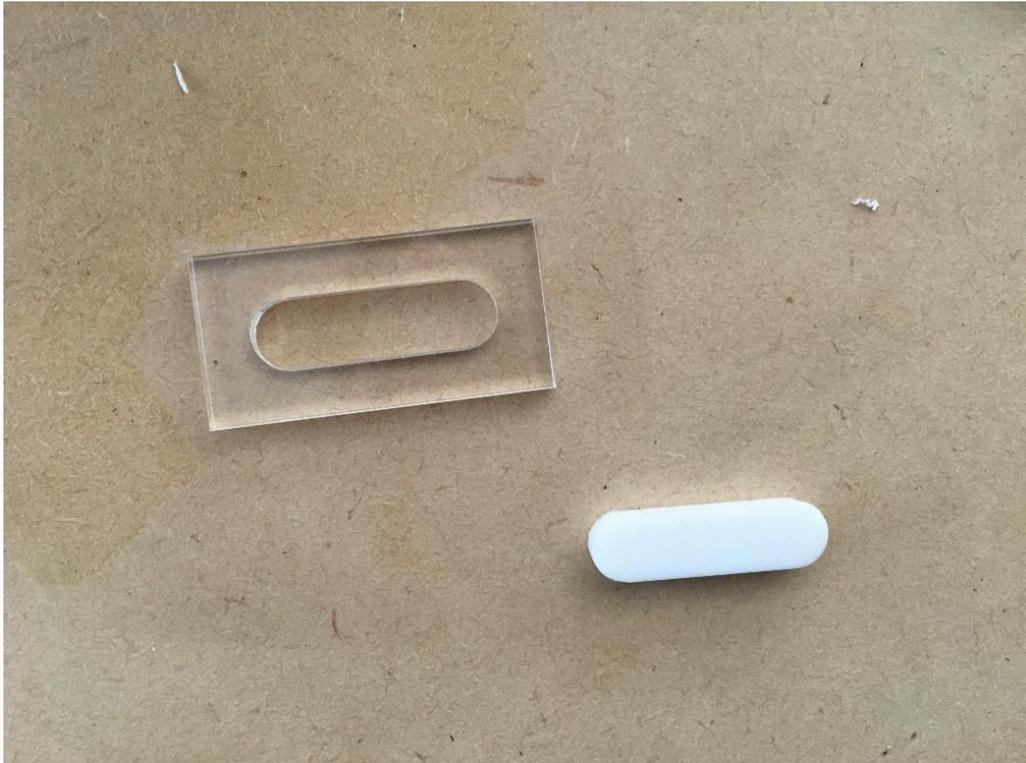


圖3.9 碳纖維管內鐵氟龍墊片(攝影端)

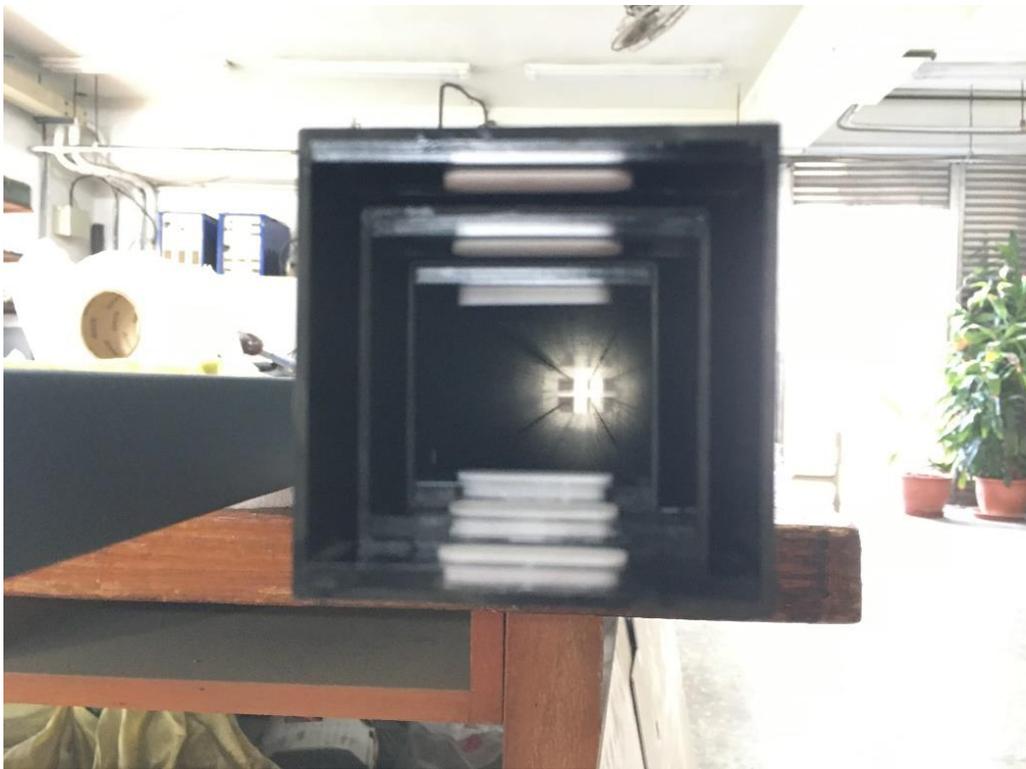


圖3.10 碳纖維管內鐵氟龍墊片配置(攝影端)

### 3.1.4 C 桿製作

以 C 桿轉動軸心至攝影機位置為量測標準，本案 C 桿碳纖維管設計可伸長至 8 公尺，因彈簧線管推力不足，造成實際推送距離僅 7.1 公尺(如圖 3.11、圖 3.12 所示)。尾節碳纖維管下緣對應地面距離為基準，當 C 桿完全收回時，離地面間距為 85.6cm(如圖 3.13 所示)；當 C 桿完全伸長時，離地面間距為 73.8cm(如圖 3.14 所示)，計算得知下垂量為 11.8cm。高於前述之模擬參數 3.7 cm，主要原因為節間間隙造成下垂，而結間間隙須配合公差取捨，若提高節間間隙之精度，雖可降低下垂量，但會大幅增加推送之阻力。



圖3.11 C桿完全伸長狀態



圖3.12 C桿完全伸長狀態7.1m

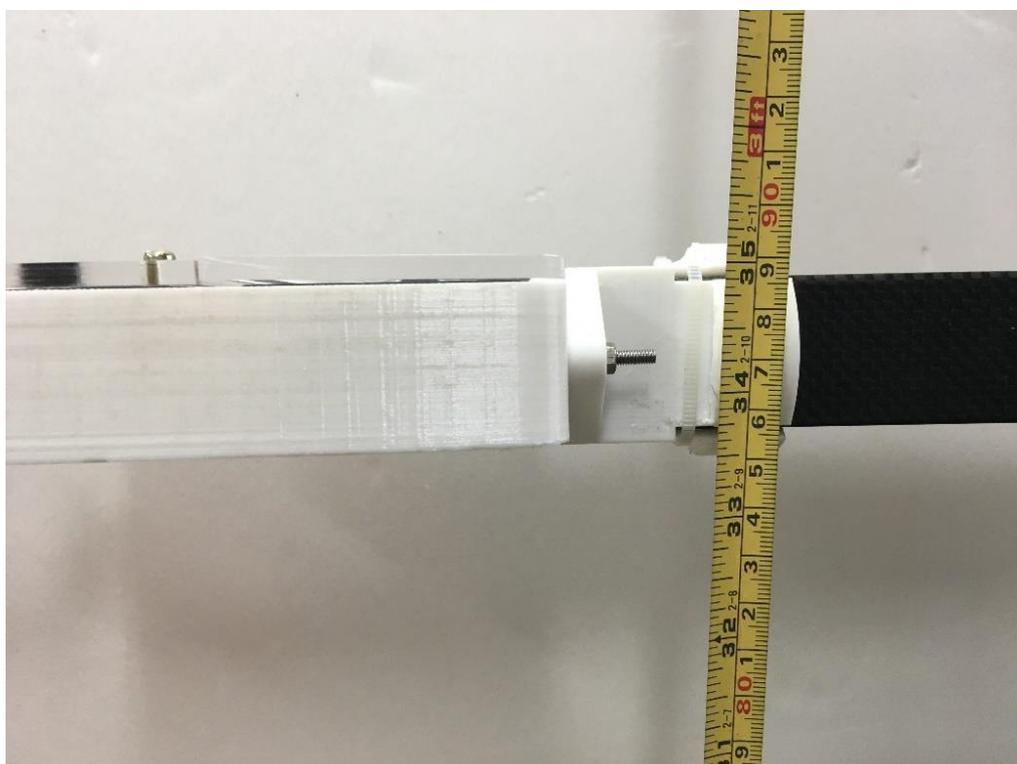


圖3.13 C桿完全收回狀態離地面距離85.6cm

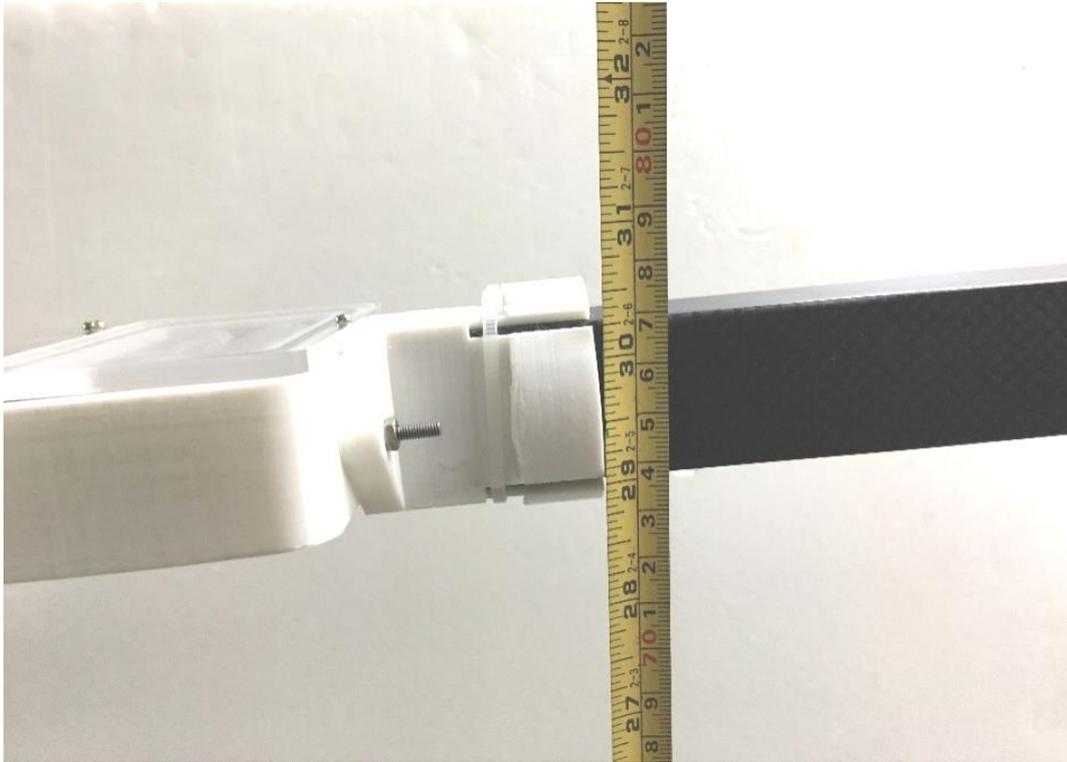


圖3.14 C桿完全伸長狀態離地面距離73.8cm

### 3.2 C 桿前端裝置開發

依前期研究中各位委員之意見精進，為提高攝影品質，依上述方案提高 C 桿之強度除可增加末端穩定度，亦可增加前端負載量，便於 C 桿前端增設裝置。本研究另一著重於 C 桿前端設備升級，預計於 C 桿前端將增設補光模組、雷射虛擬比例尺模組、穩定器/轉向模組、攝影模組。預期 C 桿末端重量將大幅提高，為降低附載，本研究預期打破上述設備獨立運作之邊界，將電池設置為共用。

#### 3.2.1 攝影模組

為取得橋梁梁底影像，C 桿前端裝置攝影模組，前期研究中因 C 桿強度不足採用小型密錄器攝影，導致影像模糊。經搜尋市面各款攝影機，

以車用行車紀錄器功能較符合本設備之需求，車用行車紀錄器體積小、重量輕、可即時回傳影像、夜間錄影效果良好，且內部無裝置電池，外部電源通電即開始錄影。本研究採用 Garmin Dash Cam Mini 車用攝影機，其規格如圖 3.15 所示。



尺寸	3.13cm*5.33cm*2.93cm
重量	28.7g
解析度	1920*1080 / 30fps 1280*720 / 30fps
攝影範圍	140 度

**圖3.15 Garmin Dash Cam Mini車用行車紀錄器**

Garmin Dash Cam Mini 以專用 App 操作，透過 Wi-Fi 連結 iOS/Android 系統，手機可使用 App 操做各類功能（如圖 3.16 所示）。影像透過 Wi-Fi 傳輸，連線範圍達 10 公尺，可將攝影機移動至橋底並保持與操作者的連線。使用即時檢視功能，可查看即時畫面，同時錄影畫面以循環錄影方式自動存錄檔，64G 記憶卡可存 10 小時影像檔案，SD 卡檔案存滿會被覆蓋，可點選 App 介面鍵進入影像庫，將檔案下載保存。

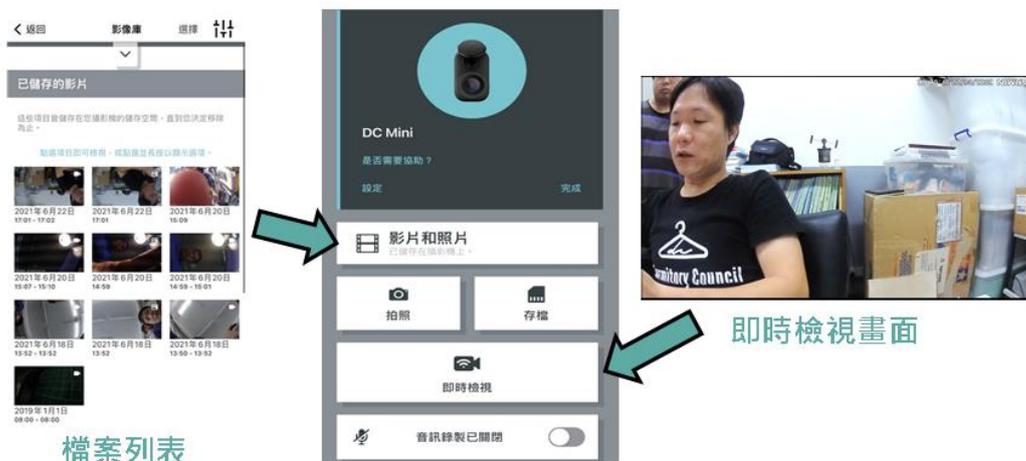


圖3.16 Garmin Dash Cam Mini專用App操作介面

### 3.2.2 穩定器/轉向模組

穩定器/轉向模組以 Arduino Nano 為控制器核心，收取六軸感測器 (MPU6050) (如圖 3.17 所示) 之信號，判斷雲台三軸絕對角度，並利用 PID 演算法進行運算，將訊號提供給馬達驅動 IC (L293D)，驅動兩軸之馬達以穩定雲台與影像擷取設備，使用者可使用手機或是相關設備以藍芽通訊方式進行控制，實現橋墩或側牆之檢測功能。回饋控制流程如圖 3.18 所示、系統控制運作流程圖 3.19 所示。



資料來源：<https://components101.com/sensors/mpu6050-module>

圖3.17 六軸感測器MPU6050

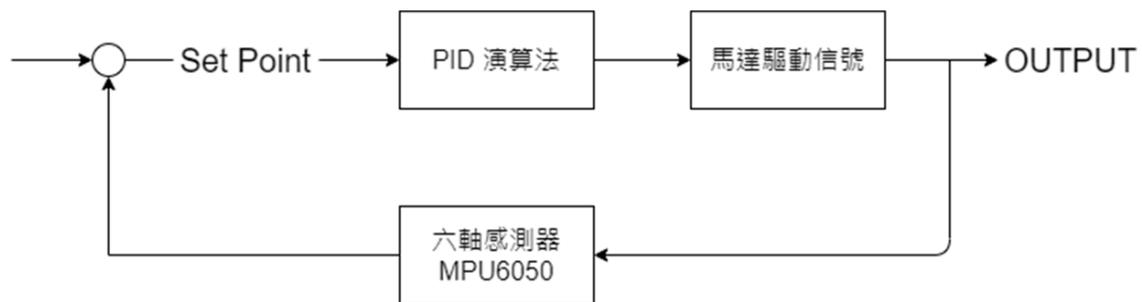


圖3.18 六軸感測器回饋控制流程

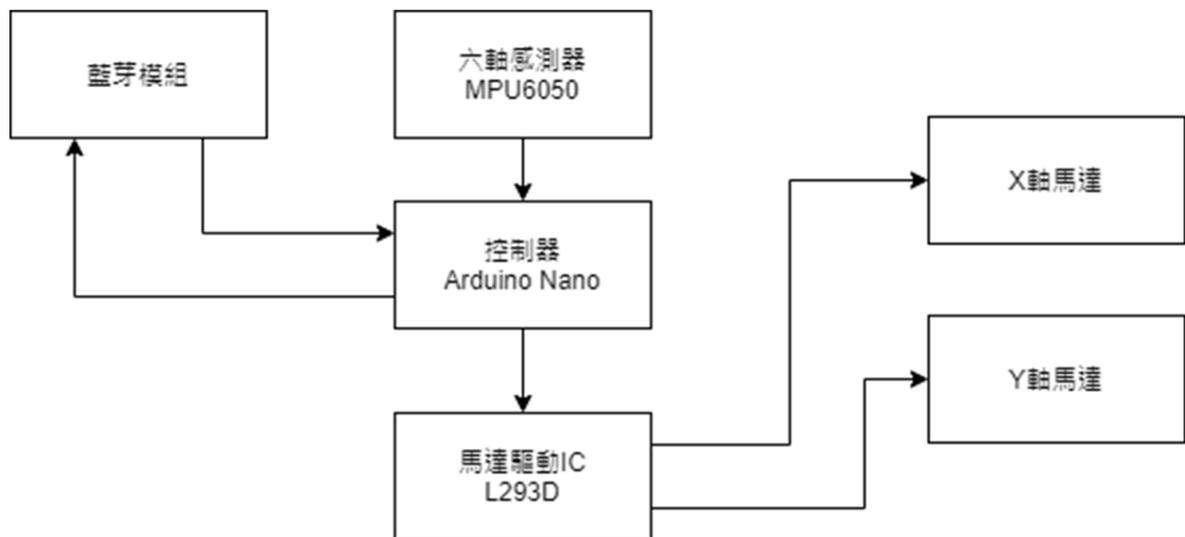


圖3.19 系統控制運作架構

使用者以手機 App 控制，透過藍芽之通信方式進行傳輸，用來調整相機視角，提高檢測範圍。本系統以 PID 控制之演算法為控制，一般狀況使用者需要鏡頭穩定朝檢測梁底狀況，希望鏡頭屬於水平狀態，故 Set Point 為 0，透過六軸感測器感知其鏡頭偏移角度(誤差)，帶入 PID 演算法後，系統會自動算出馬達欲提供之轉速。

### 3.2.3 補光模組

常用強光手電筒之功率約 5W，預期即可滿足梁底補光之需求，本研究設備採用 3W LED 元件 2 顆，電源則由共用電池供給如圖 3.20 所示，夜間完全無光源狀態下，僅使用補光燈照明之情形如圖 3.21 所示。此原件為高功率電子元件，後續可能衍生散熱問題，可能需以加裝散熱鰭片等裝置解決，現階段設計僅以隔熱材料阻斷熱傳導至結構本體。



圖3.20 強光LED配置



圖3.21 補光設備照明之情形

### 3.2.4 雷射參考尺模組

除前述精進影像穩定性與清晰程度之外，本研究梁底裂縫程度之判讀亦為實務檢測之重點。本研究預期將自行開發簡單形式雷射參考尺投影裝置(如圖 3.22 所示)，以設置兩平行之雷射燈產生兩束平行雷射，則可不受距離影響產生等距離之雷射標點，於實地檢測之影像中量測兩點中心距離則可計算影像比例，進而推算裂縫寬度。

本研究設計之雷射模組如圖 3.23 所示，以紅光雷射光源(如圖 3.24 所示)投射兩平行參考點為比例尺，用以判讀裂縫之寬度。兩組雷射光源在 5 公尺內都能維持 5 公分 $\pm$ 1mm 之間距，實現虛擬比例尺功能。

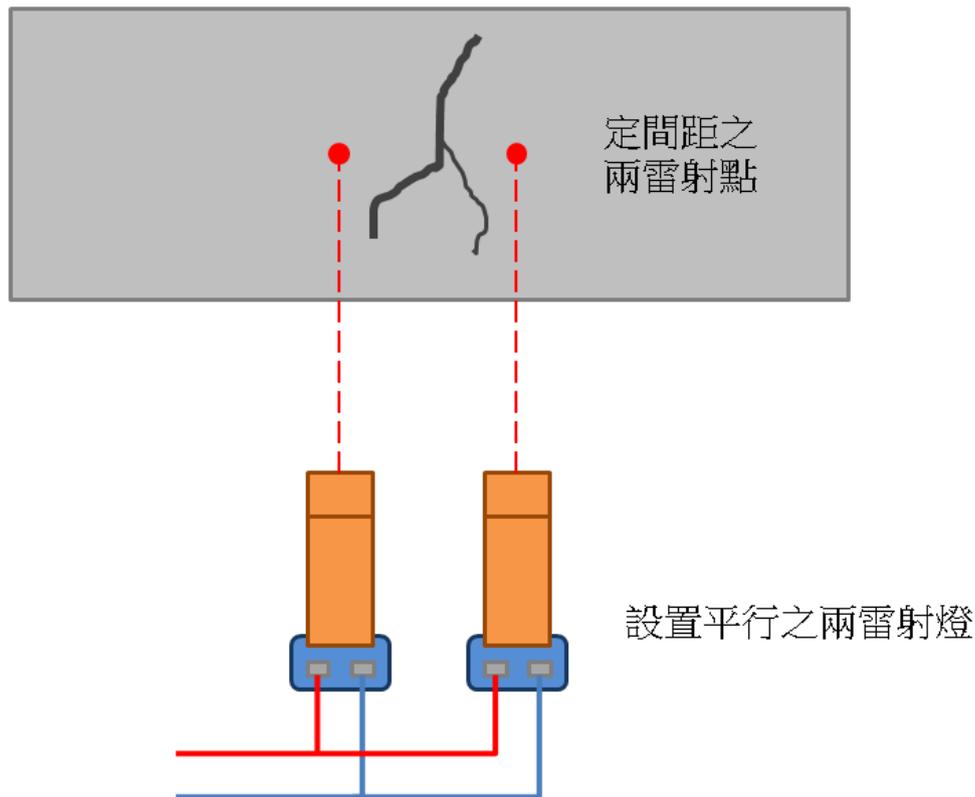


圖3.22 等距雷射參考點產生方式示意圖

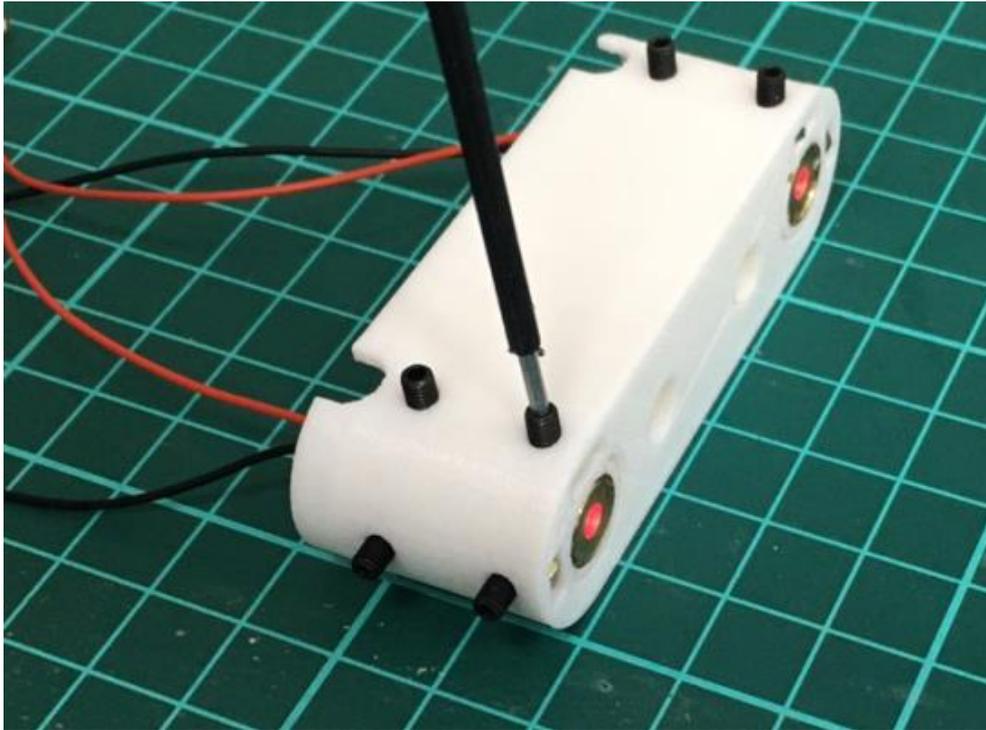


圖3.23 雷射虛擬比例尺模組



圖3.24 紅光雷射模組

為符合上述之要求，本研究設計特製雷射模組固定座如圖 3.25 所示。由於機械加工與安裝精度難以直接符合此需求，此零件須具備微調功能以手動調整平行度，同時為達到輕量化，此零件以 3D 列印方式製作。此固定座能將雷射模組固定，更可以透過止付螺絲對雷射模組的壓迫達到微調之功能。本元件以人工調整至公差範圍內，調整完畢之後，將樹脂注入固定座達到永久性固定。

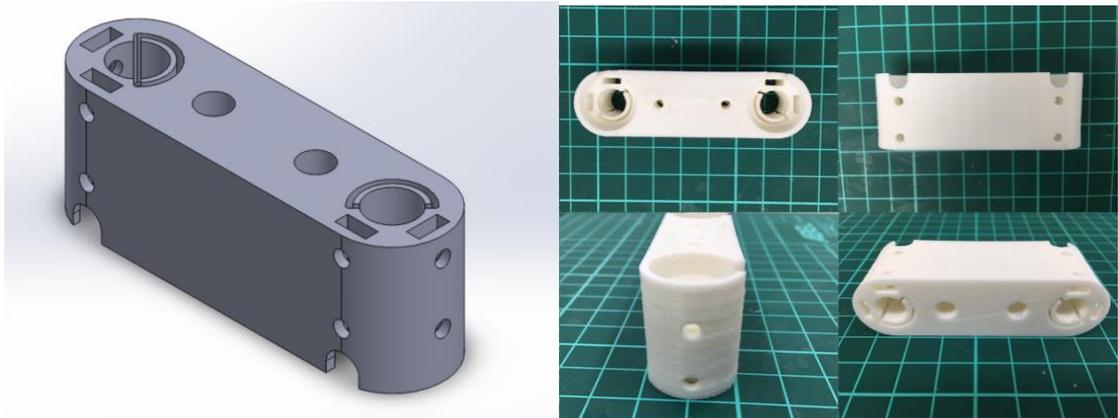


圖3.25 雷射模組固定座

透過控制止付螺絲緊迫程度，將壓迫雷射模組改變角度進行微調，固定座同時可調整 X 軸向與 Y 軸向之角度（如圖 3.26 所示）。調校時左側雷射固定鎖死，調整右側雷射方向配合左側雷射點至公差範圍內。實際調校時，轉動止付螺絲  $90^\circ$  可以使 5 公尺外的雷射光點位移將近 100mm 距離，實現本研究需求「距離 5 公尺以內雷射光點都能維持間隔 5 公分」（如圖 3.27 所示）。



圖3.26 雷射虛擬比例尺調整機制



圖3.27 雷射虛擬比例尺模組效果

### 3.2.5 雷射參考尺精度測試

實驗以游標卡尺模擬裂縫，並以雷射參考尺量測裂縫寬度測試其誤差。以計算圖片像素點方式換算裂縫寬度，匯入圖片編輯軟體計算 5cm 雷射點間像素點及模擬裂縫的像素點如圖 3.28 至圖 3.30 所示。比較影像方式量測值與實際游標卡尺量測值，計算誤差量如表 3-4 所示，誤差均在  $\pm 5\%$  以內，驗證雷射參考尺量測值具參考性。



圖3.28 模擬1mm裂縫量測圖



圖3.29 模擬3mm裂縫量測圖



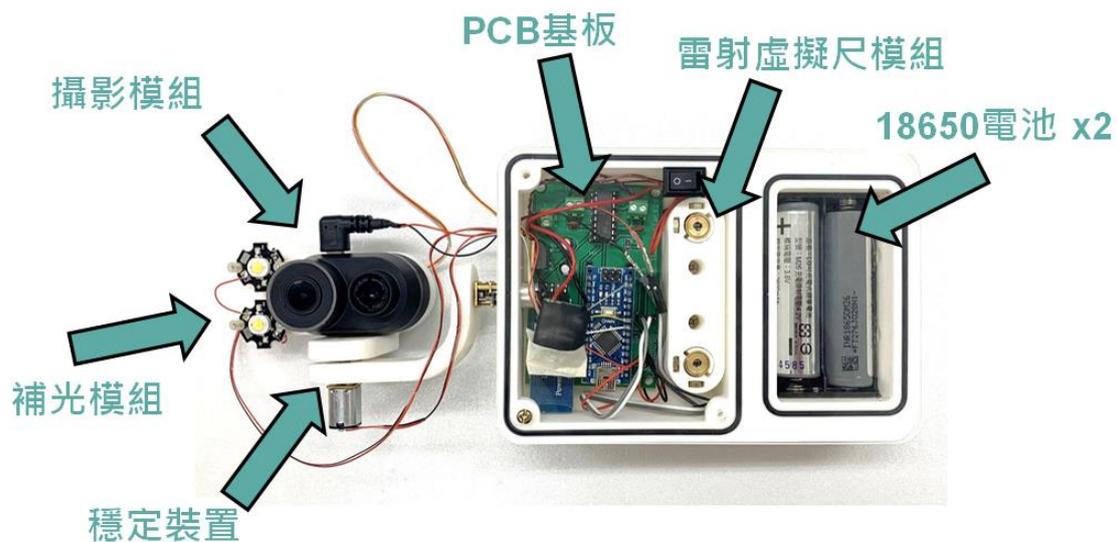
圖3.30 模擬5mm裂縫量測圖

表3-4 模擬裂縫誤差值

雷射 5cm 寬像素格	換算 1 像素 格實際長度	裂縫寬度像 素格	以像素計算 裂縫寬	模擬裂縫寬	誤差
886 pixel	0.056mm	17 pixel	0.959 mm	1mm	-4.1%
886 pixel	0.056mm	55 pixel	3.102 mm	3mm	+3.3%
886 pixel	0.056mm	86 pixel	4.850 mm	5mm	-3.1%

### 3.2.6 C 桿前端整合裝置

整合上述攝影模組、穩定器/轉向模組、補光模組、雷射虛擬比例尺模組，本研究設計 C 桿前端整合模組如圖 3.31 所示。以常用 18650 磷酸鋰鐵電池 2 顆串聯為共用電源，可即時替換形式設計電源，減少於實地檢測時設備充電之延誤。本裝置之 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 3.32 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3.31 C桿前端整合裝置

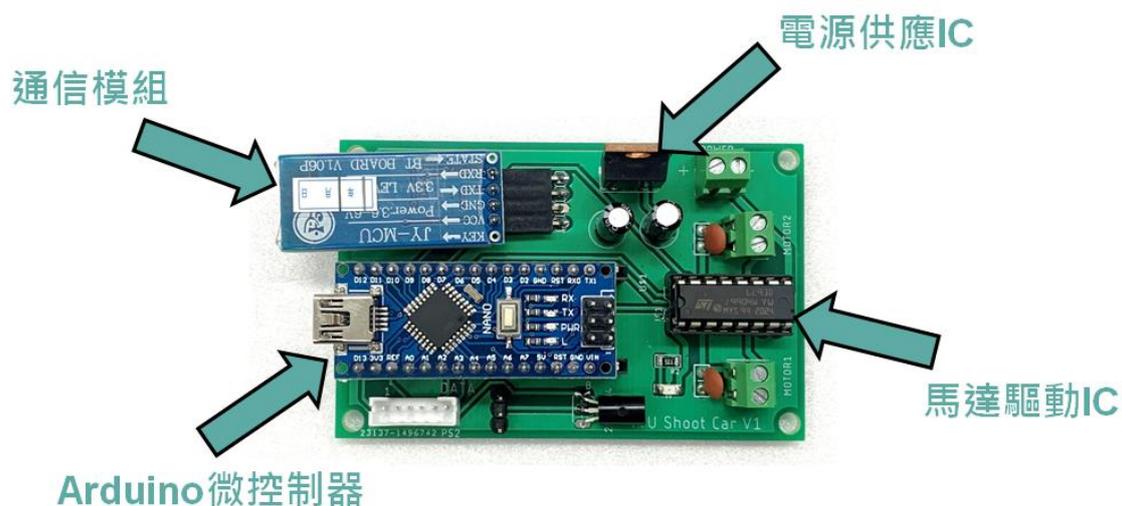


圖3.32 C桿前端整合裝置內PCB基板

本裝置整體如圖 3.33 所示，含電池重量為 420g，重量略低於預估之 500g 值，外型尺寸為 280mm x 100mm x 50mm，其控制介面以 App inventor 撰寫，可以手機或平板控制。

- C桿前模組總重420克
- 待機時間約2小時
- 外型尺寸  
28cm x 10cm x 5cm
- App inventor操作介面，  
控制攝影機轉向

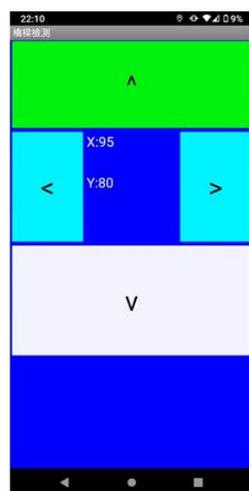


圖3.33 C桿前端整合裝置外部規格

### 3.3 影像定位方案

橋梁檢測目的在於找出橋梁有異常的地方，並進行損壞評估以安排後續的補強作業，以防止嚴重性破壞影響用路人安全。本研究以錄影方式取得梁底影像，以便於橋梁檢測人員評估梁底毀損位置與狀況，後續維護工程人員至現地維修與養護仍需定位實際毀損點。本研究期中後續研究影像之定位方式，評估以「GPS 影像定位」、「編碼器影像定位」兩種方式進行測試。分別為「絕對定位」與「相對定位」方式，其中「絕對定位」是以經緯座標顯示，「相對座標」則是以橋梁上某點為基準座標顯示，以下檢討影像定位方式與其可能性。

#### 1. 絕對定位方式

維修人員以自身手機 GPS 定位即可於橋面上直接找到正下方大略維修地點，進入橋底後再比對實地與影像即可找到維修點。此方法對於檢修人員而言較能直覺理解，但 GPS 誤差較大，進入橋底後需比對檢

測影像與實地影像尋找確切維修點，若損壞處較不明顯或維修當時與量測時段不同造成光影不同，可能難以找到確切維修點。

## 2. 相對定位方式

以座標轉換方式，定義橋梁北向角落為原點，將影像之坐標系轉換為相對橋梁之相對座標（如圖 3.34 所示）。此方法定位較精確，但可能造成維修人員誤判方向之問題，且定義方式須更嚴謹明確，或以絕對方位輔助，否則可能遭遇橋梁正向北方難以定義原點之情形。

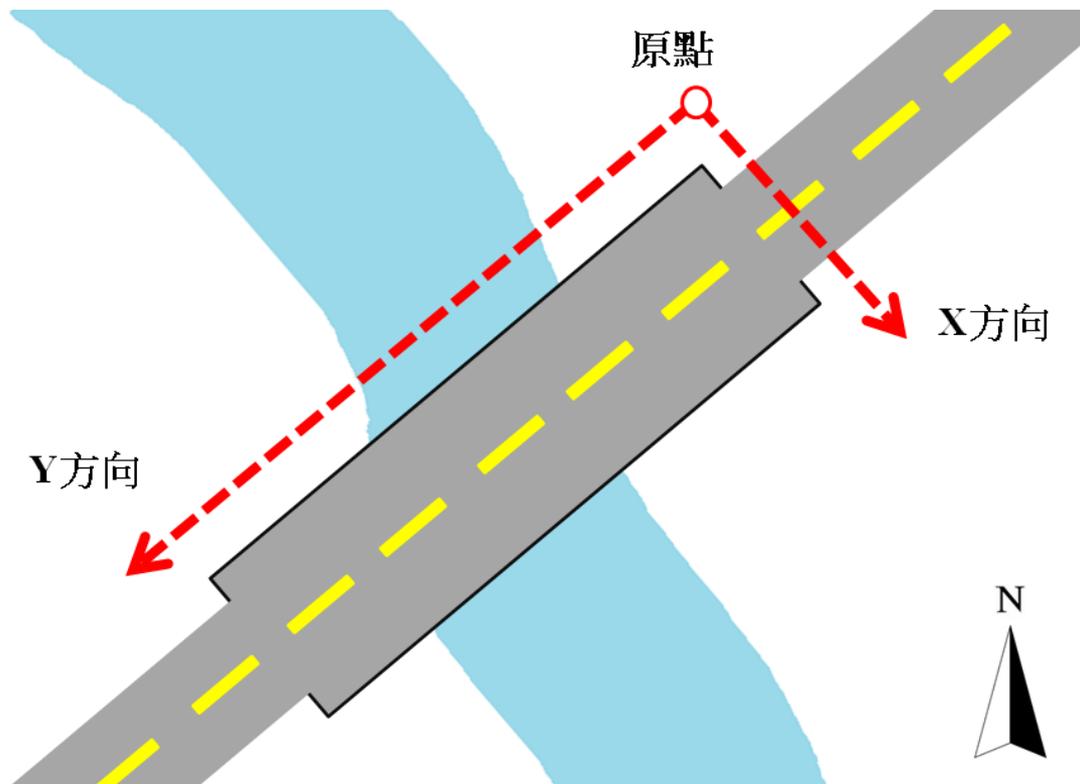


圖3.34 影像相對座標轉換方式

### 3.3.1 GPS 影像定位方式

此方案為絕對定位方式，預計以 GPS 資料整合入檢測影像，預想狀態如圖 3.35 所示，本研究已測試市售 GPS 模組 GM-8031T(如圖 3.36 所示)之精度。



圖3.35 GPS座標與影像整合預想圖



圖3.36 GM-8031T GPS模組

測試以 Google Maps 提供之座標為基準，得知地形標的物之經緯度座標，再將 GPS 模組移動至該座標量測，檢驗 GPS 模組輸出座標之誤差（如圖 3.37 所示）。將 GPS 模組放置於高架橋下測試，當上方有遮蔽物時位置誤差極大，至少需同時接收到 3 顆以上之衛星訊號，方能提供基本的定位，能同時接收到的衛星數越多時，定位精確度會越高，但接收器旁邊若有金屬物會進行干擾時，則也會影響到定位精確度，測試結果如表 3-5 所列。依測試結果，初步評估難以裝置在 C 桿前端得到座標定位。本方案預計裝置於橋面主機，定位主機之位置，再補償 C 桿延伸量，以推算影像之經緯度座標值。

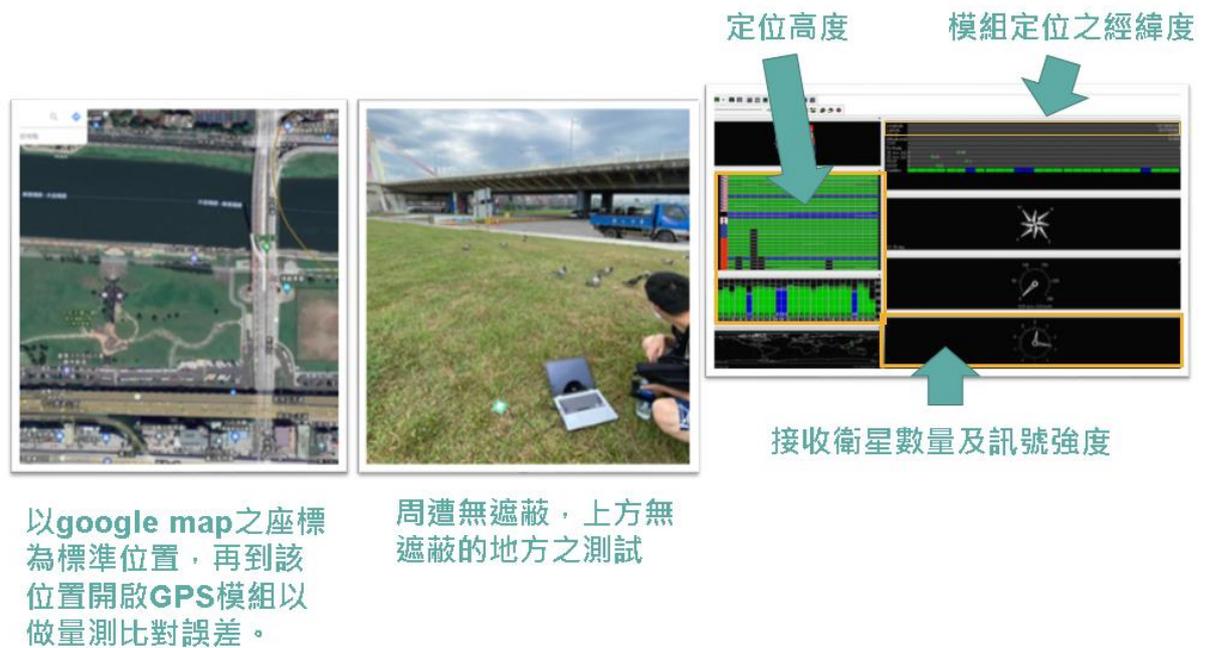


圖3.37 GM-8031T GPS模組測試方法

表3-5 GPS位置誤差實驗

遮蔽狀態	衛星數量(顆)	誤差(m)
無	28	0.75
高遮蔽(旁有金屬櫃)	18	19.64
中等(緊靠橋墩)	16	7.08
中等(緊靠橋墩)	13	5.5
低(上方橋面)	15	3.29
中等(緊靠橋墩)	15	3.70
完全遮蔽(狹窄空間)	2	394.2

本次實驗可知，以市售可取得之 GPS 元件難以精確定位進行影像拼接，僅能作為量測橋梁位置定位使用。

### 3.3.2 編碼器定位方式

此方案為相對定位方式，於「推車型橋梁檢測設備」底部的驅動輪上與 C 桿驅動馬達上裝置編碼器，透過讀取編碼器資料即可控制攝影機於梁底定距離進動（如圖 3.38 所示），再配合影像拼接軟體，即可能達成免佈標之影像拼接，內建編碼器之驅動馬達（如圖 3.39 所示）。

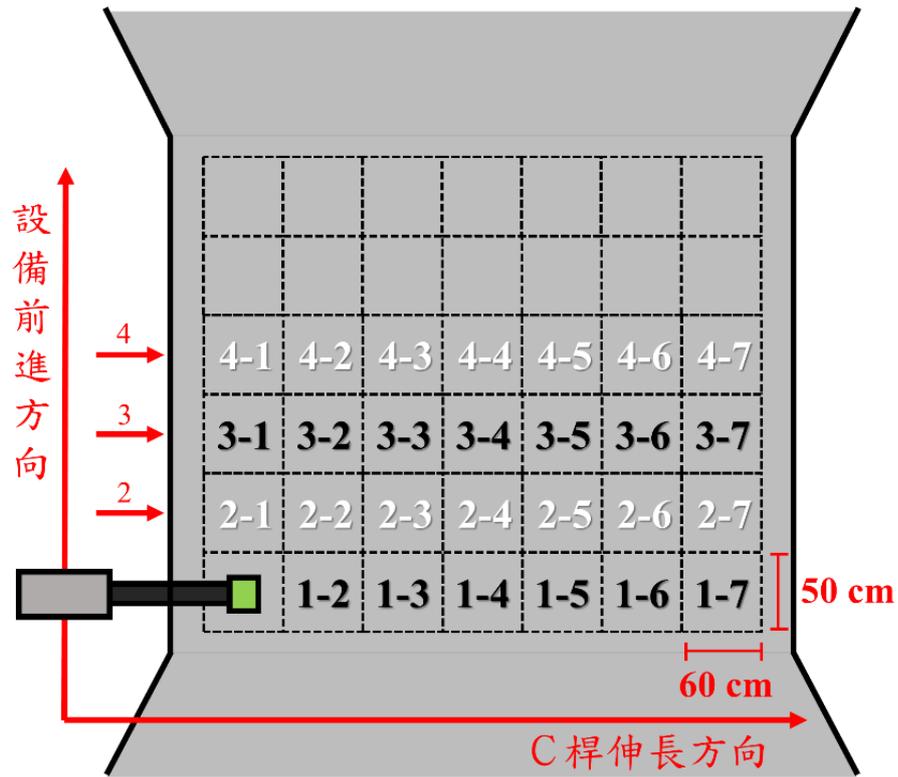


圖3.38 設備進動示意圖



圖3.39 內建編碼器之驅動馬達

本次以輪鼓伺服馬達作為設備的驅動輪（如圖 3.40 所示），並搭配驅動器做控制（如圖 3.41 所示）。馬達為伺服電機自帶編碼器，可依驅動器做距離及轉速控制。最大切線力 20kg，可應付一定崎嶇路面的移動，驅動器設定參數為每次前進 50cm，控制 Y 軸（沿行車方向）等量前進，整體設備裝置如圖 3.42 所示。於平坦路面上測試，重複誤差約為 1cm，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。

	型號	ZLLG45ASM200
	額定電壓	24V
	額定功率	50~250W
	額定扭力	6Nm
	最大扭力	12Nm
	額定電流	5~15A
	最大電流	30A

圖3.40 輪鼓伺服馬達

	型號	ZLAC8015D
	工作電壓	24~48V
	平均電流	15A
	峰值電流	30A
	通訊方式	CANopen、RS485

圖3.41 輪鼓伺服馬達驅動器



圖3.42 輪鼓馬達驅動裝置

X 軸（沿河川流向）之方向定位以編碼器控制 C 桿推送進度，其原理為計算馬達轉動圈數，再推算末端裝置移動距離，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（如圖 3.43、表 3-6 所示）。未來若能設法提高定位準確度，即可能達成不需佈標進行影像拼接之功能。

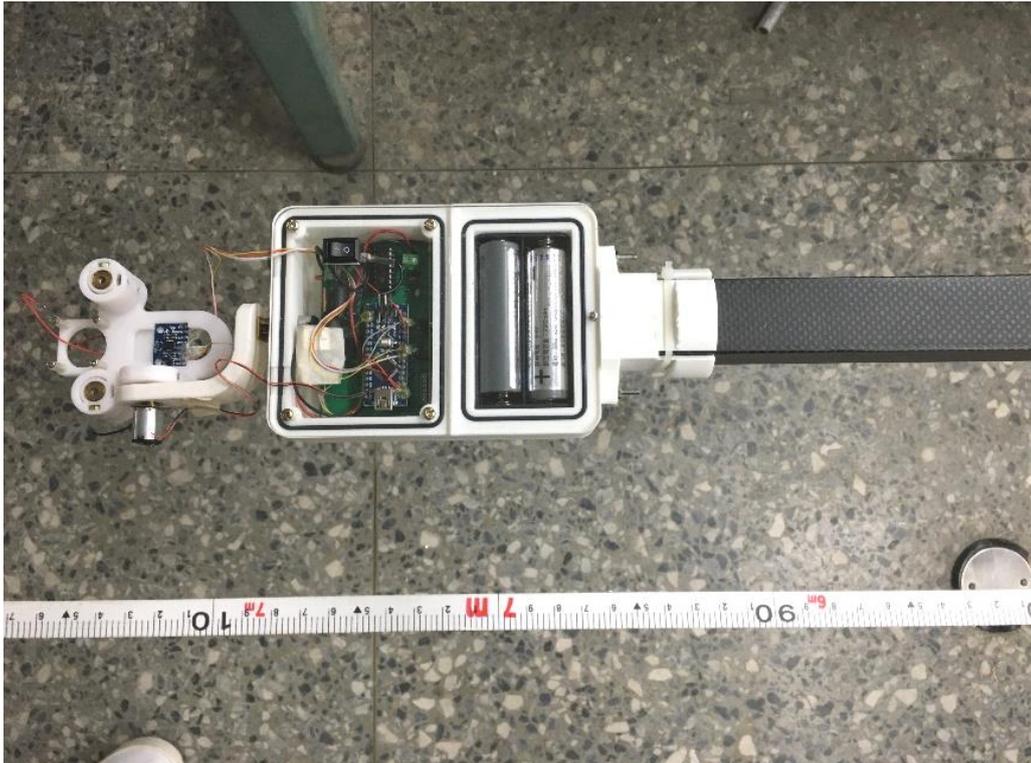


圖3.43 C桿推送誤差量測

表3-6 C桿推送位置誤差實驗

伸長距離(m)	2.70	3.45	4.10	4.72	5.29	5.90	6.45	6.88	7.16
與前次間距		0.75	0.65	0.62	0.57	0.61	0.55	0.43	0.28

### 3.4 專家訪談問卷

本研究所開發適用於感潮河段的橋梁檢測設備，經過前期計畫改善後，在操作的便利性上已獲得大幅度精進，但仍有可持續精進之處。為瞭解實際參與橋梁檢測作業人員對於橋檢設備操作需求，本年度亦規劃專家訪談。但受限於 COVID-19 疫情影響，無法進行實體溝通訪談，但為蒐集專家之實務意見，本年度改採線上 Google 問卷之方式進行，問卷內容如附錄三。

此次共訪問 4 位專家之意見，其身份分別為：高速公路局某科主任工程司曾經負責橋梁管理系統及橋檢考評業務；公路總局第二區養護工程處幫工程司執行橋檢工作；某顧問工程司主任曾參與橋檢考評業務並執行橋檢訓練工作；某工程顧問公司協理負責橋檢工作。

為讓填寫問卷的 4 位專家更瞭解本計畫之歷年成果，特別在問卷中增加前 2 期之成果影片，同時提供目前開發的橋檢設備提供尺寸資料，並對今年預計改善的內容進行示意說明。4 位專家填寫之問卷內容，依訪談題目分別整理如下：

1. 詳閱上述資料後，您認為 C 桿之桿件強化方式、長度、前端整合模組，鏡頭可視範圍等，設計上是否還有其他之需求？

(1) 電源放在 C 桿前模組上，會使前端重量增加，影響桿末端的變位，是否考慮用有線方式供電？

處理回覆：目前 2 顆 18650 電池即可供整體前端模組使用，且整體重量 420g 還在預期範圍，無線模組可提供檢測工具桿件操作之靈活性，故考量後採用此方案。

(2) 攝影機拍攝角度有雙向驅動馬達，可供拍攝方向調整，補光源及雷射虛擬尺，是否可同步對應拍設角度？另外如使用廣角鏡頭會產生影像變形與雷射虛擬尺對應會產生誤差。

處理回覆：拍攝中可遠端操控調整拍攝角度，補光源及雷射虛擬尺會隨攝影視角轉動。攝影鏡頭將研擬使用無變形鏡頭。

(3) 關於 C 桿前模組，藉由驅動馬達調整攝影機視角的功能很實用，除可檢視主梁底部外，亦可檢視梁腹，甚至支承墊、止震塊或防落設施等構件亦可適用，該設計對於橋檢品質有很大幫助，建議可聚焦研發。關於補光源，建議可在攝影機旁另增加「聚焦式」補光

源，讓該補光源可隨攝影機轉動。關於 C 桿長度，一般雙車道橋寬約 8 公尺，四車道橋寬約 16 公尺，因此 C 桿長度建議以前述橋寬之半(4 公尺或 8 公尺)為目標。

處理回覆：補光源將採與鏡頭同步旋轉之設計。將設計 4 節套管共 8 公尺之 C 桿，提升適用橋梁標的。

- (4) 觀察前期影片，推車移動時，鏡頭影像搖晃劇烈，除 C 桿長度及勁度影響外，另一主要原因是所設計之自配重設施為讓鏡頭保持朝上，僅用單顆螺栓連結 C 桿與 C 桿前模組，造成鏡頭穩定性不足。

處理回覆：本年度將強化檢測桿及檢測模組之穩定性。

- (5) 此次所提之 C 桿前模組改良，其雲台上之攝影機、補光源、雷射虛擬尺、電源等基本上可以具有測距儀功能手機取代，其重量和體積可能更小且應用程式更方便。如改良雲台可調整攝影機角度，理論亦可調整手機角度，或許可解決 C 桿伸長造成彎曲變形及晃動之問題。

處理回覆：因市面上手機之補光及測距功能非設計供橋檢專用，不易改裝且功能較陽春，本案開發專一功能供本檢測工具使用能彈性調整，規格較符合橋檢工作所需。

- (6) 前期 C 桿採釣竿改裝，此次建議一併改善其勁度。

處理回覆：本年度將使用碳纖維管替代釣竿改善 C 桿穩定度。

2. 本計畫橋檢設備之機電控制(電控功能)預期開發除檢測桿件(可電控舉放及伸縮)、推車機體(電控進退)外，設計上是否還有其他需求？

- (1) 電控舉放及伸縮是否以平板或手機遙控？

處理回覆：將以推車上之平板或手機無線控制桿件舉放伸縮。

(2)受攜帶及人力組裝之限制，推車型橋梁檢測設備之 A、B、C 桿勁度恐怕無法提升至 C 桿前端完全不下彎，攝影雲台之操控將很重要。另外為利於檢測人員即時檢視及記錄，除手機外雲台需加強防震設計。

處理回覆：將盡量減少 C 桿下彎程度。除攝影機本身有防震功能，雲臺亦會加強防震設計。

3. 本計畫橋檢設備若推行至實務使用上可能遭遇之問題為何？是否有建議之改善之方式？

(1)影像品質是本計畫是否可推行到實務使用的關鍵，所以建議以不同攝影機搭配測試拍攝效果，並可將照片進行 AI 辨識。另拍攝位置的定位亦為關鍵，如何定位亦可思考。例如以檢測車位置為座標原點，系統自動計算伸展位置，或用其他定位方式進行橋下位置定位。

處理回覆：影像穩定性及清晰度提升後，未來將探討新興科技於本橋檢工具之適用性。本設備將採用編碼器定位方式進行定位。

(2)如遇橋梁縱坡較大，推車是否有煞車或停駐功能？

處理回覆：本設備將設計停駐功能。

(3)對於梁底淨高矮小橋梁，C 桿下垂量可能會影響適用範圍，建議可持續改善。

處理回覆：將盡量減少 C 桿下彎程度。

(4)目前感潮河段橋梁梁底檢測方式，如退潮時水位不深時檢測人員傾向徒步涉水目視檢測，簡單、快速；如水深足夠且大梁距水面距離短，會採用 USV 搭配向上 GoPro 或人員操作小艇；如水深足夠且大梁距水面距離高，則採 UAV 檢測。本計畫橋檢設備需比上述

方式更為簡便或有上述檢測方式無法取代之作用才能讓檢測人員去使用。

處理回覆：本設備將以攜便性及實用性為設計精進目標。

- (5) 目前採用攝影機，檢測人員需回頭檢視影片，擷取劣化相片才能上傳橋檢系統，增加後處理時間，建議能跟橋檢系統結合，發現橋梁構件劣化、拍照上傳並同時填列橋檢成果。

處理回覆：感謝建議，將研究新增此功能。

#### 4. 是否有可建議之實驗場址提供本計畫橋檢設備實際測試使用？

- (1) 可以考量台 17 線沿海的橋樑，或基隆田寮河上之橋梁。
- (2) 台 61 線梧棲、龍井地區之平面橋。
- (3) 國道主線橋梁較寬且係以高標準設計，因此梁底大多具有一定淨高，較無法彰顯本研發長處，建議可挑選感潮河段且梁底淨高矮小之省道或縣市橋梁測試。
- (4) 台 19 線彰水橋。

處理回覆：感謝建議將列入參考。

#### 5. 其他建議之探討方向。

- (1) 建議可朝伸縮桿自動移動掃描方向探討。

處理回覆：設備自動化為本橋檢設備之精進目標。

- (2) C 桿長度 7 公尺，適用於橋梁寬度 14 公尺以下或山區無法下橋之橋梁，建議 A 桿長度是否可調整，護欄外側可能附掛管線，可用於閃過管線位置。

處理回覆：橋檢設備使用環境之樣態，其適用性將持續精進克服。

結論：

綜整 4 位受訪專家意見，本橋檢設備精進將朝下列方向進行：

1. 增加 C 桿長度，最好能適用於單向雙車道，至少達到 7 公尺之長度。
2. 若 C 桿尾端配重過重便會造成變形，將從結構、材料進行改善，或考量如何再減輕尾端配重、調整雲台設計，以減少 C 桿尾端之變形。
3. C 桿尾端增加照明功能，補強橋梁底部光線不足的問題。
4. 回傳清晰梁底影像為本設備之首要目標，若回傳之影像能快速標示所在位置，有助於後續研判分析使用。

### 3.5 小結

本研究依前期推車型橋檢工具之架構，改以方形碳纖維套管強化本橋梁檢測設備 C 桿件強度，並依桿件變形量分析模擬結果製成前端 45mm 後端 80mm，4 截厚度不同(1-3mm)之方形管組成之 C 桿，依套管伸縮及設備伸展所需之動力及扭力，提升並加強各部件之馬達推力及結構強度。升級影像攝影設備整合檢測臂前端裝置，新增穩定轉向、LED 光源及雷射參考尺模組，其中並包含通信、控制、電源及驅動為檢測桿前端雲台。並於推車驅動輪及 C 桿驅動馬達設置編碼器以實現影像定位功能。設備構造圖如圖 3.44

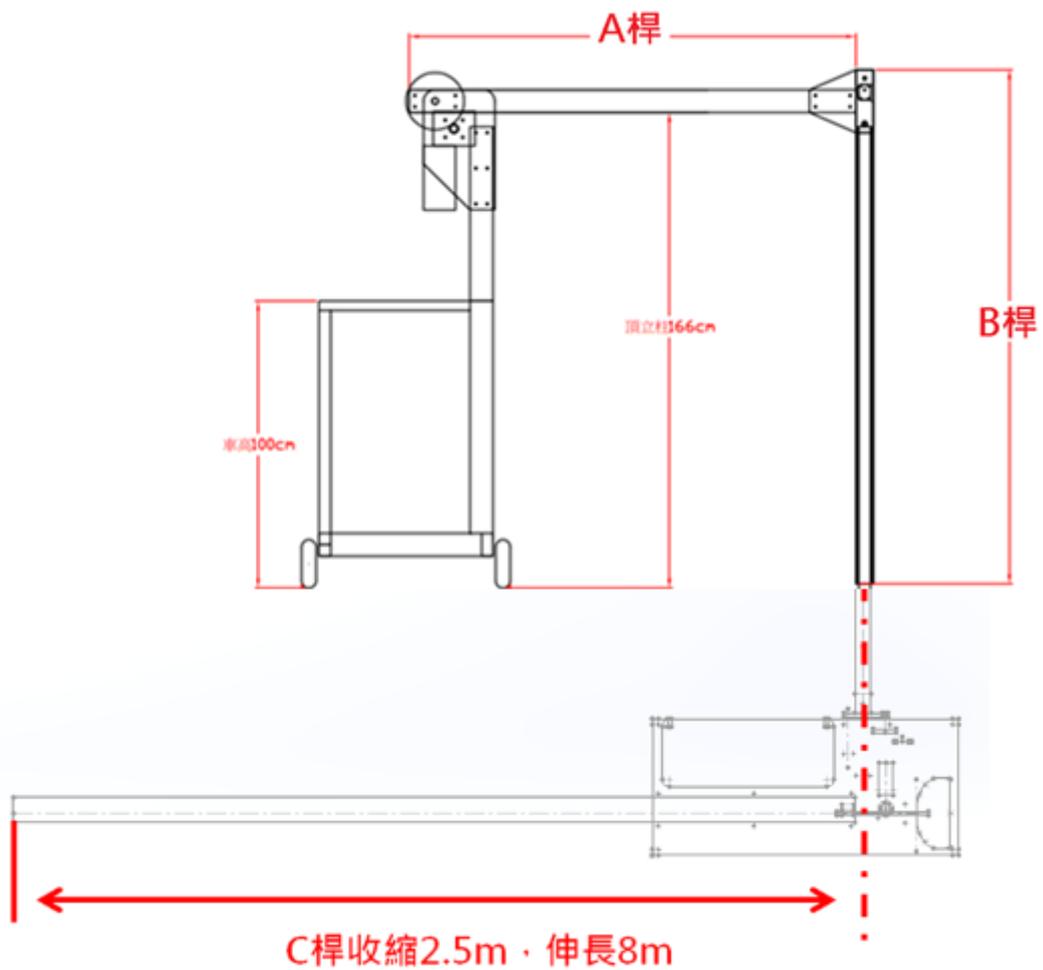


圖3.44 本體機構設計圖

本設備之 C 桿須深入梁底，其為高度長寬比之零件，且以碳纖維管構成，重量較輕有碰撞損毀之虞，因此該結構設計為可拆卸形式，運送至量測定點實再安裝以插銷固定。其固定形式如圖 3.45、圖 3.46、圖 3.47 所示。



圖3.45 設備整體分解圖



圖3.46 C桿整體構造圖



圖3.47 設備整體構造圖



## 第四章 實地測試與成果

### 4.1 實地測試選址

實地測試選址須符合公路總局及縣市政府管轄之「公路橋梁」。「公路橋梁」係指沿公路中心線長度達 6 公尺以上，供車輛通行並跨越地面、水面、道路或軌道之結構物；可測試設備量測極限範圍篩選最大淨寬小於 16 公尺之橋梁；本設備桿件增長，需選定無電線架設之道路；設備可能發生故障需涉水檢修，選定流量較小可涉水之河流；考量實測安全，排除車輛來往頻繁之道路。最終搜尋條件選定橋梁長度 6 公尺以上、最大淨寬小於 16 公尺、無電線架設、水流較小、排除車輛來往頻繁之橋梁。如圖 4.1 至圖 4.3 所示。

1. 桃園市「山外一橋」(最大淨寬 14.6 公尺、最大跨距 11.7 公尺)
2. 桃園市「土地公坡橋」(最大淨寬 12 公尺、最大跨距 11.1 公尺)
3. 新竹縣「德和橋」(最大淨寬 5.3 公尺、最大跨距 15.4 公尺)



圖 4.1 新竹縣德和橋 Google Maps 路況



圖 4.2 桃園市山外一橋 Google Maps 路況



圖 4.3 桃園市土地公坡橋 Google Maps 路況

## 4.2 實地測試情形

設備之定點後實地測試設備操作流程，如圖 4.4 所示，本案設計 C 桿增長且設備重量增加，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 5 人員，且時間增加至約 20 分鐘。實測中發現平衡用沙袋重量不足，且當 C 桿安裝完成後、A 桿處於預備轉動狀態

時，因整體重量偏向路面方向，且與平衡沙袋同向，設備會有輕微翻覆之情形。同時因 C 桿增長，若以前案之方式安裝（C 桿垂直於 A、B 桿運動平面），B、C 桿間的轉接軸需承受 10kg-m 之扭力，此元件難以輕量方式製作。因此本案改變 B、C 桿間安裝模式，改以 C 桿平行於 A、B 桿運動平面方式安裝，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 公尺，上方電線也需納入量測時之考量。

設備安裝流程：

1. 檢測人員先將設備推送至定點進行量測，如圖 4.5、圖 4.6 所示。
2. 將 B 桿定位並以插銷固定，此時兩桿呈現 90 度，如圖 4.7 所示。
3. A 桿稍微上升後，將 C 桿模組以插銷固定，如圖 4.8 至圖 4.10 所示。
4. A 桿持續上升至至轉正，使 C 桿與欄杆垂直，如圖 4.11 所示。
5. 伸長 B 桿使 C 桿下降至量測高度，如圖 4.12 所示。
6. 轉動 C 桿進入橋梁底部，呈現待量測狀態。如圖 4.13 所示。

量測流程：

1. C 桿開始進行攝影並逐步伸長，拍攝影像回傳。
2. C 桿完全伸長後，收縮回原狀。
3. 收縮完畢後，使設備整體向前步進，進入下一量測週期。
4. 重複步驟 1、2、3 至完整量測整座橋梁。
5. 量測完畢

設備回收流程：

1. 量測完成後，將 C 桿轉出橋梁底部。

2. B 桿收縮，將 C 桿向上抬升至完全收入狀態。
3. A 桿轉回原處。
4. A 上升回路人員可及位置，進行 C 桿模組卸除。
5. 解除 B 桿固定並以插銷固定。
6. 將設備回收，結束本次量測。

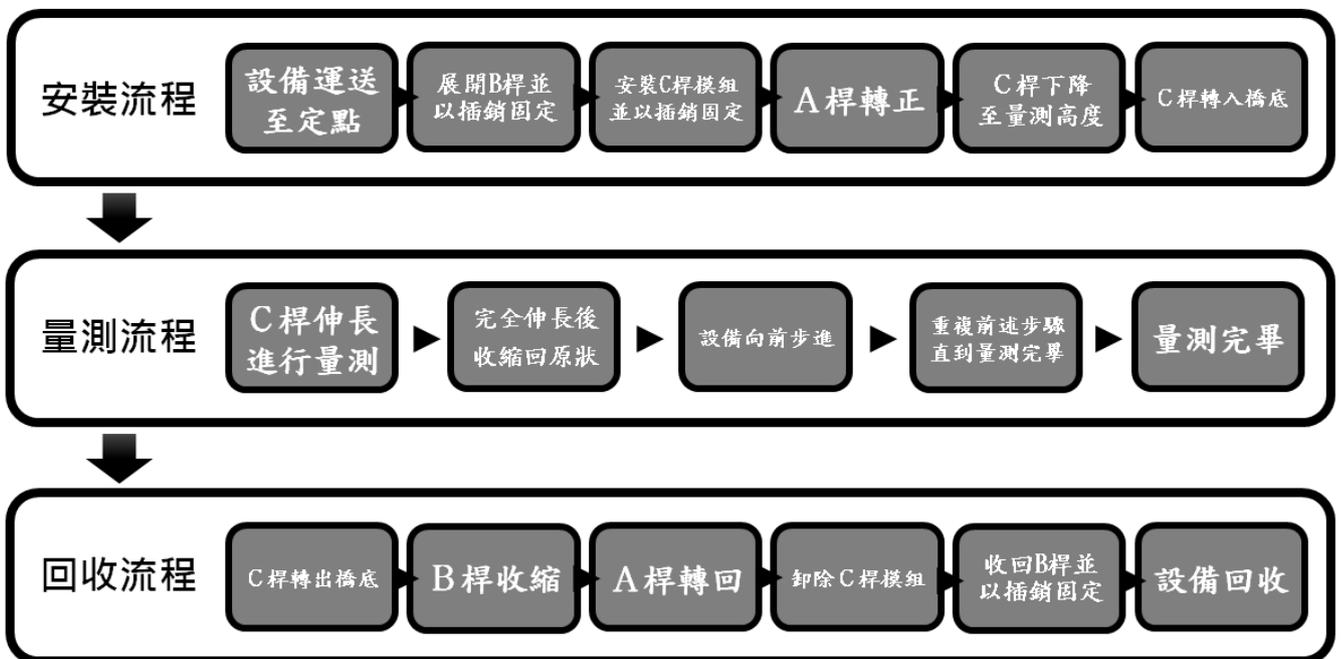


圖 4.4 量測流程圖



圖 4.5 檢測設備到場卸載情形



圖 4.6 檢測設備推送狀態



圖 4.7 展開 B 桿並以插銷固定



圖 4.8 安裝 C 桿模組



圖 4.9 A 桿上升



圖 4.10 A 桿上升至最高點



圖 4.11 A 桿轉正進入待下降狀態



圖 4.12 C 桿下降至定位



圖 4.13 C 桿轉正進入待量測狀態

### 4.3 量測影像

本次量測影像如圖 4.14 至圖 4.16 所示，設備控制 C 桿末端攝影機以步進方式移動，當設備主體移動至定位後，C 桿以步進方式每次移動約 60cm 伸入梁底檢測取得影像，當伸長至最長後收回，設備本體前進約 50cm，再重複伸長 C 桿取得下一區段影像。另外、因 C 桿收縮長度達 2.5 公尺，且攝影機安置於 C 桿末端，影像量測起始點已深入橋梁底部，造成橋梁邊緣影像僅能以轉動 C 桿前攝影機方式取得。



圖 4.14 梁底實拍影像(A)



圖 4.15 梁底實拍影像(B)



圖 4.16 轉動攝影裝置拍攝梁底橋台結構

#### 4.4 實測過程之問題

本次量測時因人為操作失誤，於 C 桿未收回狀態上升 B 桿，C 桿伸長時極大力矩造成 B 桿卡死，操作人員未確認狀況強制上升 B 桿，造成 C 桿內拉力彈簧受損（如圖 4.17 所示），最終 C 桿模組摔落河床（如圖 4.18 所示）。本設備於開發初期，多處設計仍未周全，且以目視確認後人力控制桿件抬升與下降，經本次實測經驗，未來可能於各桿件定位處加裝安全感測器，並以警示燈顯示異常，設備整體朝高度自動化方向改善。



圖 4.17 B 桿內拉力彈簧損壞情形



圖 4.18 C 桿摔落河床狀況

## 第五章 結論與建議

橋梁為鋼筋及混凝土組成之構造物，會隨氣候及環境交替而逐漸老舊劣化，需定期巡檢並適時改善。我國道路橋梁約 2.9 萬座，主要由高公局、公路總局及各縣市政府負責管養，依據公路法相關規定，橋梁養護首重檢測，因此各橋梁管理機關平時除了應針對所轄橋梁辦理檢測作業，並應適時針對損壞部分進行維修，以維持橋梁安全，而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，再以目視判定橋梁狀況，如遇高橋墩或跨河橋梁時，雖可利用橋檢車、高空作業車或無人飛行載具…等輔助趨近，但對於梁底淨高狹小之跨水橋或感潮河段橋梁，由於其梁底經常與水及空氣反覆接觸，且人員、機具不易進入檢測，故安全風險較高，爰此，本研究為開發簡便、易攜且實用之橋梁檢測輔助工具之目標，承接前期研究開發之雛型橋檢工具為基礎進行功能精進，著重於影像穩定度及清晰度。經實地測試，已能穩定伸展並移動至橋梁下方拍攝梁底影像，除可用於檢測感潮河段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。

### 5.1 結論

1. 本研究參考國內外之橋檢工具，依感潮河段橋梁檢測實際面臨之檢測現況與執行困難，因應不同情境及需求增進橋檢工具之相關功能，經檢視實測拍攝影像，本橋梁檢測工具橋底影像之穩定度及清晰度大幅提升。

2. 本研究整合橋檢工具各功能模組，以手機 App 控制，透過藍芽之通信方式進行傳輸控制，經過實地測試調整優化橋檢工具及相應之控制元件，已可初步代替橋檢人員進入橋梁梁底空間擷取構件影像。
3. 本研究為增加適用之橋梁，以雙向 4 車道淨寬 14 公尺之橋梁為目標，將 C 桿增長至 8 公尺因而造成設備重量增加，相較於前期設備前置準備僅需 3 人，約耗時 3 至 5 分鐘，本研究設備前置準備人員增至 5 人，且所需時間增加至約 20 分鐘，人力及需時倍增，雖適用橋梁增加，但已背離開發易攜、簡便工具之理念。

## 5.2 建議

機械設備設計參數複雜，難以完全模擬預測，在設備研發過程中所發生之問題，可能成為未來量產過程之瓶頸；同樣在實測過程中發現之錯誤及困難，亦有可能影響未來工程人員使用。以下統整本研究之問題做為未來研究之建議：

### 1. 設備自動化精進

本研究實測過程中因人為操作失誤造成設備損壞，檢討其中過程係因設備整合不完全所致。為防止實際使用時此類狀況之發生，量測流程建議採更高度自動化方式進行，避免設備因操作人員失誤造成損壞。

### 2. 設備輕便化精進

C 桿長度增加後，造成設備佈置時間大幅增加、整體重量分配不均易覆、安裝抬升所需空間增加且伸展受環境高度限制。依統計資料所示，若將 C 桿適度縮短至 4 公尺，適用淨寬 8 公尺內橋梁達 1 萬 1 千餘座，誠如審查委員所建議，此類設備設計應以輕便易攜、可靠實用為主，以增加檢測人員使用意願。

### 3. 梁底全幅影像拼接影像

為發展橋梁梁底影像拼接技術，未來量測方式需以照片方式呈現，本研究目前設計以影像擷取為主，但已初步測試設備自動固定距離步進之方法，未來需再增進定位之精度，以符合影像之需求。

## 5.3 研究成果與效益

### 1. 橋檢工具影像優化

為補足攝影不穩定與梁底光源不足之缺點，本案於 C 桿前端增加穩定器、轉向、補光模組、雷射參考尺模組功能。如影像資料呈現之結果，相較於前案大幅增加了影像的清晰程度。

### 2. 桿件穩定度提升

加強 C 桿之長度與強度，以配合四線道之橋梁並取得穩定影像。本案嘗試強化 C 桿結構，將 C 桿下垂量降低至 11.8cm(前案採用之長型釣竿之下垂量約 40cm)。該套管以 8 公尺長度設計，實際因彈簧線管推力不足，最終僅能伸長至 7 公尺。方型套管組成之伸縮管剛性較強，提高了影像的穩定程度。

### 3. 影像拼接技術初探

初步測試影像拼接方法，因梁底佈標困難，本案配合未來梁底影像拼接需求，於設備驅動輪與 C 桿推進馬達安裝編碼器，控制攝影裝置移動距離，以相對定位方式達成影像定位，設備以步進等距離方式取得梁底等間距影像。

#### 4. 實地測試

以縣市政府所轄公路橋梁為對象，運用前述改良方案進行，採桃園市蘆竹區「山外一橋」、桃園市「土地公坡橋」、新竹縣「德和橋」進行實地測試，測試過程與結果如第四章所述。

#### 5. 研究成果投稿

本研究於 110 年 12 月 3 日第 38 屆中國機械工程學會 110 年度年會暨全國學術研討會，於國立成功大學進行研討會發表，徵稿領域為自動化技術學門，論文編號 B11-023「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」。

#### 5.4 提供應用情形

本研究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。

為推廣本研究成果，於 110 年 11 月 30 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 <http://bit.ly/2Nnlk2W>，查詢日期：2021 年 6 月 25 日。
2. 黃進國、王仲宇、冀樹勇，2011，橋梁損傷之快速診斷方法研究，中興工程季刊，第 110 期，第 137-142 頁。
3. 交通部運輸研究所，2019，感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫。
4. 深ボリ！ ジビル調査設計 「視る・診る」，  
<https://www.youtube.com/watch?v=rscHIuNr9AU&amp=&t=5s>
5. 橋梁桁端部点検診断ロボット，  
<https://www.youtube.com/watch?v=43JjL5pokBM&t=5s>
6. 橋梁点検カメラシステムクラック幅検出装置・打撃装置，  
<https://www.youtube.com/watch?v=25IDjWwHnrs&t=5s>
7. 橋梁点検カメラシステム点検作業風景 2，  
<https://www.youtube.com/watch?v=iajlPnCHYgg&t=5s>
8. 視る・診る紹介動画，  
<https://www.youtube.com/watch?v=3SElv5gBxuw&t=5s>
9. ジビル調査設計 「視る・診る」 旧揖斐川橋梁（岐阜大学 SIP），  
[https://www.youtube.com/watch?v=ydu3dO\\_TBUQ](https://www.youtube.com/watch?v=ydu3dO_TBUQ)
10. ジビル調査設計 「視る・診る」 江島大橋（鳥取大学 SIP），  
<https://www.youtube.com/watch?v=NuRiBxsIIgc&t=40s>
11. 維基百科，無人飛行載具，取自 <https://bit.ly/2KPEhcM>，查詢日期：2021 年 6 月 27 日。

- 12.交通部運輸研究所，2017，感潮河段橋梁梁底檢測方式初探，未出版。
- 13.The Inquirer Daily News, 2017, Rutgers drone, at home in air and water, inspects Delaware Memorial Bridge，取自 <http://goo.gl/ZdKM51>。查詢日期：2021 年 6 月 27 日。
- 14.Inchworm Inspires Bridge Inspection Robot,  
<http://www.botmag.com/9597-2/>。查詢日期：2021 年 6 月 27 日。
- 15.交通部運輸研究所，2016，橋梁檢測工具效能提升計畫。

## 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-110-H1CB001f感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究

執行單位：大同大學

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<b>(一) 陳振華委員</b>		
1. 本案研究成果可使用於寬度 14m 及淨高 6m 以內之橋梁，應用層面廣，惟考量各種檢測方法皆有其實用性與限制性，建議適度說明本案工具的使用時機與限制。	本設備主要應用於檢測感潮河段之橋梁，特別是梁底淨高較低之橋梁，惟設備發展成熟後可再增廣其他應用範圍。	同意合作研究單位處理情形，已於報告中敘明本案工具之適用橋梁數量及使用限制。
2. 本案採用的影像定位方案可能因精度而有所偏差，例如兩支梁 G1 與 G2 間距約 1.0~1.5m，若定位誤差太大可能會誤判梁之實際位置，建議應考量影像定位的功能性與必要性。	感謝委員提醒，本案目前以機構定位為主，未來再評估改用影像定位之研究。	同意合作研究單位處理情形。
3. 本案雷射標記在於期望能間接量測橋梁裂縫寬度，而對結構性裂縫而言（寬度大於 0.6mm），建議應注意實用上之精度限制。	本案目前以取得梁底清晰之影像，供橋梁人員判斷使用，雷射標記尚屬輔助性質。	同意合作研究單位處理情形。雷射虛擬尺為影像中參考用，並非用於精確量測。
4. 一般而言夜間或光線極差之情況下無法進行檢測，本案方案雖有輔助光源，惟建議應注意攝影檢測時，輔助光源投射距離之限制。	本設備以拍攝梁底影像為主，使用的輔助光源以增加影像拍攝清晰度，評估攝影設備與梁底距離不會超過 2 公尺，補光光源以此規格設計。	同意合作研究單位處理情形。
<b>(二) 李坤哲委員</b>		
1. 報告 P9，本計畫梁底檢測工具在實務確實有其必要性，建議加強此方面論述。尤其相較於徒步、其它輔具或間接目視之檢測方式，本案研究成	本案開發之設備，係以解決橋檢人員無法或不易取得的梁底影像，目前設備之搬運、組裝及操作已相當簡便，現階段已取得梁底之清晰影像，及讓設備具備更大	同意合作研究單位處理情形。

<p>果需達操作更為簡便或有無法取代性，才能讓檢測人員願意使用。</p>	<p>的作業範圍為主，未來可在此基礎下建立梁底全幅影像及結合 AI 自動辨識之功能，再檢測資料直接整合於橋梁資料庫，相信必能帶來突破性之發展。</p>	
<p>2. 觀察前期研究成果影片，其鏡頭影像搖晃劇烈，除受 C 桿長度及勁度之影響外，另一主因為其設計之自配重設施為使鏡頭保持朝上，僅用單顆螺栓連結 C 桿與其前模組，造成鏡頭穩定性不足，故雲台設計有其必要性，且可針對梁底不同構件進行拍攝。惟增加重量應先進行力學分析並據以調整各部分尺寸、厚度，並增強防震設計。</p>	<p>本案於初步設計時已進行模擬分析，各部分原件先以模擬方法取得最佳設計參數，惟製造時精度與間隙所造成之影響難以完全預期。本案之目標將進行構件之改變，提高 C 桿尾端影像之清晰度為主。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>3. 橋底因遮蔽收不到 GPS 訊號，故直接定位有其難度，除將 GPS 設備安裝在推車上，間接推算桿前相機位置外，建議可沿用橋檢系統構件編碼，以順里程樁號由左自右方式進行劣化構件位置記錄。</p>	<p>GPS 的確存在定位精度之限制，本團隊會再評估結合機構定位方式，再參考橋檢系統構件編碼方式，循序進行影像拍攝，並記錄劣化構件之位置，未來也會在持續評估其他定位方式，甚至是結合全幅攝影，方便橋檢人員辨識劣化構件位置。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>4. 報告 P59，請詳述本案使用雷射虛擬尺推算裂縫寬度之適用性？雷射光點尺寸？光點大小隨距離變化？能量測多細的裂縫？精度多少？</p>	<p>本案目前以取得梁底清晰之影像，供橋梁人員判斷使用，雷射標記尚屬輔助性質。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。雷射虛擬尺設計為影像中參考用，並非用於精確量測。</p>
<p>5. 後續進行實地測試，建議應完整進行全套之橋檢作業，以發現執行之問題並改善。例如：檢測工具運輸、組裝，檢測路線規劃，檢測尋找劣化構件，橋梁評等，影像記錄，上</p>	<p>謝謝委員建議，未來本案進行實地測試時，將以完整的橋檢作業流程進行，以發現實際執行時之問題，以做為未來持續精進之參考依據。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。已於報告中呈現本案工具進行檢測所需人力及時間，並與前期設備之比較。</p>

傳系統操作等。並與現行檢測之人力、時間及相關成本做分析比較。		
6. 報告內容錯誤請修正。如 P1, 北門段。P52, 追度管, 餡採用, 摩擦係數及低。P55, 提供知轉速。	感謝委員指正, 將依委員建議修正報告內容。	同意合作研究單位處理情形。
<b>(三) 王瑞麟委員</b>		
1. 本案主要核心效益在於如何快速有效獲得感潮河段橋梁梁底高品質之檢測影像, 至於 AI 影像辨識或裂縫寬度量測等技術, 考量計畫期程及經費等, 建議宜量力而為。	感謝委員建議, 本案的確是協助橋檢人員取得清晰的梁底影像為主, 未來可以此為基礎再進行更深入之研究。	同意合作研究單位處理情形。
2. 目前規劃以 GARMIN 行車紀錄器鏡頭作為拍攝元件, 宜評估其拍攝距離及影像解析度是否可滿足實際檢測需求。	感謝委員建議, 後續會再評估拍攝距離、影像解析度等是否能滿足實際橋檢作業之需求。	同意合作研究單位處理情形。
3. C 桿雲台端設備加總重達 500 公克, 且有一定體積, 應考量桿件伸長時受風之搖晃程度, 是否影響拍攝影像品質。	依前案之實測經驗, 目前設備移動時造成之搖晃幅度遠大於受風影響之搖晃程度, 現階段以解決 C 桿之震動搖晃為主。當震動搖晃變小後, 再配合穩定器及影像設備自身的防震功能, 應可有效提升拍攝的影像品質。	同意合作研究單位處理情形。
4. 影像拍攝位置座標, 建議以順里程樁號左側橋頭為原點, 推車沿里程方向前進為 Y 軸, C 桿往橋內延伸為 X 軸, 採取適當方法記錄推車移動距離 C 桿伸長長度, 即可獲得拍攝影像位置。另如果可適度重疊拍攝影像, 亦可將各梁底影像拼接為梁底全景照片, 再標示劣化構件位置及其座標。	謝謝委員建議, 後續將依實際橋檢作業之流程, 以進行橋梁底部之影像拍攝。當拍攝之影像具有一定程度之重疊性與清晰度後, 應可再結合全幅影像技術, 提供橋檢人員快速標示劣化構件之位置。	同意合作研究單位處理情形。
5. C 桿穩定度與拍攝影像品質直接相關, 因 C 桿為	在 2017 年進行感潮河段橋檢設備之離型開發研究時,	同意合作研究單位處理情形。

<p>懸臂桿之性質，若長度過長很難維持拍攝端穩定，建議可以鋼索拉住端頭方式以提高穩定性。</p>	<p>即使用鋼索進行 C 桿懸吊強化之設計，雖可大幅強化 C 桿之剛性，但斜張之鋼索將大幅增加量測所需求之作業空間。</p>	
<p>6. 建議本次期中報告可予通過，委員意見於期末報告中回應說明。</p>	<p>謝謝委員，遵照辦理。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p><b>(四) 戴國政委員</b></p>		
<p>1. 橋梁梁底檢測是否可從裂縫平面影像觀測，逐漸發展為 3D 立面觀測，並透過裂縫變化之觀察監控，建立可預測裂縫成長或擴大趨勢之分析模式。</p>	<p>謝謝委員建議，本案長期研究的確可朝此方向發展，現階段先以取得清晰的梁底影像為主。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。未來研究計畫將再納入相關新興科技，應用於橋梁檢測工具評估。</p>
<p>2. 桿件尾端有擺動現象，除了改進結構形體，亦可探究其補償機制，藉由擺動形式與影像觀察，或許可找出其關聯性，以修正因擺動所造成影像失焦之現象。</p>	<p>謝謝委員建議，本案會再評估結構的補償機制，是否能減 C 桿尾端之震動問題。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p><b>(五) 黃俊豪委員</b></p>		
<p>1. 前期計畫成果可透過臂桿快速將取像設備送達橋梁底部，接續計畫為減少設備晃動及增加補光設備，於實務上為值得研發之方向。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。本年度計畫即為提升影像穩定度及清晰度。</p>
<p>2. 先採用行車紀錄器錄影後再由橋檢人員透過回播影片評估橋況之作法，可謂先檢後評，該作法雖可行，惟因橋下影像常遭遇不易釐清之狀況(例如橋體之裂縫是否為蜘蛛網？色差部分究為鋼筋生鏽或僅為表面污垢？)，爰研發成果應讓橋檢人員在現場觀測即時影像，若發現疑點能當下進一步確認，以減少二</p>	<p>謝謝委員建議，本案目前採用監視攝影機，具備即時影像傳輸及儲存功能，可直接於橋檢現場供檢測人員進行確認，以減少二次檢測之可能性。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>

次檢測。		
3. 報告 P49，本案可能採用前端 45mm，後端 80mm、壁厚 2mm 方形管，其變形量為 51mm，是否已低於前期計畫之成果？	目前模擬的分析結果，C 桿尾端之變形量(51mm)的確已低於前期計畫之成果(模擬變形量為 296mm、實際變形量約為 400mm)，但製造過程所產生間隙與公差等製造因素，對結果之影響難以模擬方式準確計算，待後續取得實際桿件後再進行量測。	同意合作研究單位處理情形。
4. 關於晃動改善，目前構想為何？倘增加壁厚，總重雖增加，但晃動程度是否降低？倘晃動會因增加壁厚而明顯改善，後續研發時亦可將增加壁厚納入考量，並考慮在一定風速條件下測試晃動程度。	晃動程度與自重下垂量成正相關，皆受面積二次矩影響，僅方向不同，本案 C 桿採方型截面設計即是為減少水平方向震動。C 桿增重將造成前端 A、B 桿須大幅強化，難以符合設備便於攜帶原則，基於此整體性設計考量，現階段 C 桿總承(含驅動與攝影設備)將限制於 15kg 以內。	同意合作研究單位處理情形。
5. 本期計 C 桿長度採 7m，若增加長度至 8m 其檢測範圍可達單側 2 車道之橋梁寬度，爰建議評估 8m 長臂桿之可行性，以增加實務之適用範圍。	C 桿末端變形量改善為本案之研究重點，增加長度或增加末端附載皆會大幅增加末端變形量，將考量實務需求與設備限制評估其可能性。	同意合作研究單位處理情形。依橋梁統計數據，國內 14m 內之橋梁有 17738 座，已有相當之適用性，將評估增長桿件至 8m 之可行性及效益。
<b>(六) 楊秉順委員</b>		
1. 公路總局轄管橋梁數量有誤，請修正。本案屬於針對感潮河段橋檢工具之研發，是否需侷限於公路總局橋梁，建議應以全國符合本案工具之橋梁需求應該有多少座，較具研究及開發效益。	謝謝委員提醒，後續會再就分析定義進行說明，並確認實際之橋梁數量。	同意合作研究單位處理情形。依橋梁統計數據，全國 14m 內之橋梁有 17738 座，已修訂於報告第一章內容。
2. 本案橋檢工具研發目標要能使第一線橋檢人員願意使用，應具有操作簡易性、記錄便利性及清晰可用之影像，以取代現行	依委員建議，本案之設計開發目標的確是以操作簡易性、記錄便利性及影像清晰為主，並符合現場檢測人員之需求進行設計。	同意合作研究單位處理情形。

之檢測方法及其他檢測工具。		
3. 工作項目中實地測試提到如能用其他非破壞性技術進行同步測試更佳，請補充說明預計採何種非破壞性技術比對？	目前評估可能以紅外線攝影方式進行非破壞性技術之比對。	同意合作研究單位處理情形。
4. 雷射虛擬比例尺與檢測面如有角度非正向，裂縫長度如何量測以修正角度偏差？亦或影像非正面垂直拍攝，亦需考量如何轉正影像，建議應先定位本案主要發展主軸，以免後續經費不足。	謝謝委員提醒，本案目前以取得梁底清晰之影像，供橋梁人員判斷使用，雷射標記尚屬輔助性質。	同意合作研究單位處理情形。將評估雷射虛擬尺安裝於旋轉鏡頭之可行性。
5. 劣化位置定位問題，建議可採自建基地台，以利採GPS 定位，可自動轉換到橋孔與大梁位置，便於標記位置及上傳橋管系統。	謝謝委員建議，本研究會再評估其可行性，並以架設便利性、設備成本、實用性等進行多面向之評估。	同意合作研究單位處理情形。
<b>(七) 林子剛委員</b>		
1. 本案旨在研發能快速檢測感潮河段橋梁底部之設備，且前期計畫已完成第一代系統，對於解決實務問題幫助頗大，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意合作研究單位處理情形。
2. 題目為感潮河段橋梁，因此建議研究中之標的可適當的縮減範圍。	將依委員建議定義符合本案研究成果之對象橋梁。	同意合作研究單位處理情形。
3. 第二章陳述之順序宜修改，應先探討目前世界各國之相關技術發展，再說明目前之瓶頸及需改善之問題。	謝謝委員建議，遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。
4. 第三章提到之數值模擬應可利用有限元素軟體精確分析，如此可大幅降低因概估造成之末端變形不確定性。	謝謝委員建議，使用有限元素軟體進行分析，的確可降低概估造成的末端變形不確定性。但考量到目前市面上可取得的材料限制，因此本案以先搜尋可能取得的	同意合作研究單位處理情形。

	材料尺寸，再計算可能的末端變形是否符合需求，以確保可取得所需之材料進行實測。	
5. 雷射虛擬比例尺模組之功能宜加強說明。	雷射虛擬比例尺尚屬輔助性質，目前設備之開發仍以取得梁底之清晰影像為主。	同意合作研究單位處理情形。雷射虛擬尺之功能及目的，已於第三章詳細介紹。
6. 後續工作宜著重在如何取得梁底之全面性影像，其他相關之影像定位及各種設備整合可考量其研究比重。	謝謝委員建議，目前的確是以取得清晰的梁底影像為主，其他的研究項目會酌予調整。	同意合作研究單位處理情形。
<b>(八) 本所港研中心第一科賴瑞應科長</b>		
1. 本研究蒐集了國外許多橋梁檢測設備，並予以介紹說明，值得肯定，建議能針對各設備做一簡單的評論，評估其優缺點及是否適用於本計畫的研究對象(狹小梁底空間橋梁)以支持本研究計畫有研發的必要。	謝謝委員建議，遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。
2. 本研究有做專家訪談問卷，建議針對專家建議能有處置說明。	謝謝委員建議，遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。相關內容請於期末報告中呈現。
3. C 桿的勁度精進是本計畫的研究重點，目前已完成桿件材料尺寸評估，也完成訂購，後續請盡速進行拍攝穩定度測試與評估，以利年度目標的達成。	謝謝委員建議，後續將加速執行速度。	同意合作研究單位處理情形。
<b>(九) 本所港研中心第三科林雅雯科長</b>		
1. C 桿除了變形量需要考慮分析外，建議分析其振動情形如何？結構振動週期與結構質量、勁度有關。	謝謝委員建議，目前 C 桿之振動頻率極低(估計 1Hz 以下)，故本案中模擬方式皆採用靜態附載。	同意合作研究單位處理情形。

<p>2. 單向雙車道如果理想是 8 公尺長度，可以思考橋梁左右 2 向，即雙邊結合，成橋下一橫桿，如此針對集中載重變形量降為 1/8，均佈載重變形量降為 1/3；另外除了橫桿外，如果一跨有 4 個角落點，可使用軌道前進，橫桿加上軌道(調水平)可方便定位，勁度、效率皆提升。</p>	<p>謝謝委員建議，此方法雖能有效增加 C 桿強度，但有雙向結合對準問題，且難以克服路燈等障礙，可能大幅增加量測準備工序，未來若有機會可再評估以佈軌方式進行。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。將持續評估各種桿件結構形式之可行性。</p>
<p>3. 如果仍使用單向，類似塔吊的平衡臂及配重塊可以考慮其可行性。</p>	<p>謝謝委員建議，經評估配重塊將會增加 A、B 桿負重，對於層層套管組成的 C 桿，能帶來的效益需再進行評估。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p>4. A 桿懸臂出去，變形即開始產生，簡報第 8 頁如果 B 桿拍攝時可暫時與橋固定，可減少懸臂力臂，增加勁度，減少變形。</p>	<p>謝謝委員建議，考量橋邊護欄形狀不一，難以固定夾具符合各式護欄，且本設備須持續移動取得影像，夾具之拆卸將造成檢測時間大幅增加。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。將持續評估各種桿件結構形式之可行性。</p>
<p>5. 未來影像需拼接嗎?如需要，是否需佈標?未來建議以 AI 辨識影像。</p>	<p>規劃梁底影像拼接會透過設備定距離進動取得定間隔影像，免除佈標流程。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。未來研究計畫將再納入相關新興科技，應用於橋梁檢測工具評估，影像拼接即為其中之一。</p>
<p>6. 影像解析度建議分析是否可以達到橋梁裂縫檢測要求。</p>	<p>謝謝委員建議，會再將影像解析度是否符合橋檢需求進行評估。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。</p>
<p><b>(十) 本所陳天賜副所長</b></p>		
<p>1. 報告中請增加前期研究成果第一代檢測工具及國內外相關橋檢設備之評論及陳述，以強化文獻回顧之內容。</p>	<p>謝謝副所長建議，遵照辦理。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。相關內容請於報告第二章呈現。</p>
<p>2. 因計畫經費有限若邀集橋檢相關人員參與計畫實有困難，本所港研中心研究人員對橋檢實務也相當熟悉且具橋梁相關領域之專業知識，本案甲</p>	<p>感謝運研所給予之協助與支援。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形。本計畫案成立時，即已評估甲乙雙方皆具相關專業知識及技術，得以執行本案。後續將就本案設備不足之處持續精進，並</p>

乙雙方足以共同成就本計畫。		採納相關實務經驗及建議，做設備之改良。
3. 現階段報告內容應逐漸充實，以利後續期末階段期程進度之達成。	謝謝副所長建議，遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。將按合作計畫作業時程表之相關期程規劃辦理。
4. 橋檢設備影像拍攝之清晰度為首要之重，因桿件之變形、晃動及現地之光線與氣候條件所造成，以材料或相關機械是否能突破此桿件之實用性，請多加評估；若此結構設計之瓶頸難以克服，若有其他形式如委員提及鋼索輔助或雙邊結合單桿設計之相關可行性評論，亦需納入考慮作為後續研究之備案，建議待影像穩定度解決再深入探討其他如定位、光源、雷射或納入 AI 辨識等議題。	謝謝副所長建議，此類設備為研發初期，將多方嘗試各種方法達成實務需求。	同意合作研究單位處理情形。本案即以改善前期設備穩定度及影像清晰度為目標，本年度改良之設備將進行實地檢測(至少 3 座橋梁)，透過實測評估設備之攜便性、實用性及適用性，以持續精進或採納其他結構形式，克服當前瓶頸。
5. 以現行橋梁單側寬度單車道 5m 或雙車道 8m，本案桿件長度 7m 是否恰當(單車道過長，雙車道過短)? 請再評估，建議可朝 8m 為目標來開發。	C 桿末端變形量改善為本案之研究重點，增加長度或增加末端附載皆會大幅增加末端變形量，將考量實務需求與設備限制評估其可能性。	同意合作研究單位處理情形。
<b>七、主席結論：</b>		
1. 本案期中報告審查結果，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。	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，並配合修正報告書相關內容。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形。



## 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

期初  期中  期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-110-H1CB001f 感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究

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. 本計畫主要目的在於利用機械手臂取得感潮河段橋梁梁底影像，以供橋梁檢測人員進行橋梁劣化狀況之評等，目前影像穩定性已大幅改善，影像解析度可判釋混凝土結構之剝落、破碎、滲水、白華及鋼筋外露等情形。建議解析度應持續精進達可判釋細微、明顯及嚴重裂縫之程度。	未來將再依檢測單位使用需求改善桿前模組。	同意合作研究單位處理情形。影像穩定及清晰度為本案研究重點及目標，後續將持續提升影像解析度以利其他功能之應用。
2. 雲台是否可調整角度？若能檢視支承情形可提升本案研究效益。	如第四章 4.3 所述，桿前模組可兩軸旋轉。	同意合作研究單位處理情形。
3. 德和橋檢測影片顯示攝影鏡頭只伸入至橋下大梁 1G2 及 1G3 中間之橋面板 1S1-2，此懸伸長度為多少？無操作持續懸伸至 7 公尺之原因為何？	德和橋最大淨寬僅 5.3 公尺，本設備 C 桿收縮後最短長度為 2.5 公尺，因此橋梁邊緣影像無法取得。	同意合作研究單位處理情形。此情況呈現於報告第四章 4.3 節。
4. 建議提供現場驗證橋梁之基本資料，如橋址、橋長、橋寬、大梁數量、梁間距，梁尺寸…等。	橋梁工程資料為非公開資料，將於期末報告中補充部分資料。	同意合作研究單位處理情形。
5. 橋梁檢測程序可配合橋梁構件編碼系統，先依橋梁里程增加方向，再由左至右，逐構件檢測，避免目前檢測程序需依 C 桿伸長撓度、旋轉角而需頻繁調整相機角度。	感謝委員提供意見，未來將與檢測單位協調，定義標準量測方式。	同意合作研究單位處理情形。
6. 建議雷射參考尺功能定位在比例尺，目前其精度不足，無法直接量測裂縫寬度。影像上 2 雷射點間距隨著相機與檢測平面距離拉	如第三章中表 3-4 所列，雷射參考尺發射之 2 雷射點間距為固定 5cm，以此為標準再以對應畫素	同意合作研究單位處理情形。雷射虛擬尺為影像中做為參考用，並非用於精確量測。

長而縮小，如何由影像 pixel 換算裂縫寬度？後續若要精進此功能，可加設測距儀。	換算裂縫寬度，因此不受檢測距離影響。	
7. C 桿收縮後長度 2.5 公尺以致無法量測橋側，安裝及開展時占用車道有安全性疑慮，建議後續調整精進。	感謝委員建議，未來將依本案經驗持續改善設備。	同意合作研究單位處理情形。
8. 橋梁實地驗證時撞擊造成儀器損毀，除建議裝設安全感測器及警示燈外，應具備緊急停止馬達作動功能。	感謝委員建議，未來將朝高度自動化方向精進設備。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 王瑞麟委員：		
1. 本案橋檢工具為增加檢測範圍及適用橋梁，將桿件套管設計為 8 公尺，但因 C 桿增長而重量增加，造成布設時人力需增至 5 人，與原先簡便易操作之設定目標有所出入。	如委員所述，本案嘗試增長 C 桿之長度，未來將以本案為經驗，考量量測人員之方便性持續改善。	同意合作研究單位處理情形。本案設備應以便攜性及易用性為研發目標。
2. 影像以 GARMIN Dash Cam Mini 行車紀錄器來拍攝，依實際拍攝效果，因鏡頭具有廣角效果，以致照片邊緣變形，如仍持續採用此類設備，建議需影像處理補正為平面，以利辨識及應用。影像建議用擷取單一畫面來呈現，減少因錄影連續影像晃動造成觀看者不適。	配合自動辨識之需求，未來將以照片形式擷取影像。	同意合作研究單位處理情形。未來將考慮使用無廣角效果之鏡頭設備，以臻呈現梁底實際狀況。
3. 因本案橋檢工具在實地測試時即因操作失誤造成損壞，是否已有進行線性或面性檢測？如無，建議下期進行，以測試此工具之檢測效率，如已有進行，請在報告中呈現並說明。	感謝委員建議，將納入未來工作項目。	同意合作研究單位處理情形。
4. 報告中宜加入本橋檢工具設計圖，並敘明設計理念，以利後續計畫可依現有基礎持續精進。	以簡圖形式呈現於期末書面報告中，並提供詳細資料。	同意合作研究單位處理情形。已於第三章 3.5 小結呈現。
5. 本案橋檢工具中之各項功能設備，如：雷射參考尺等，建議可單獨測試，並在報告	將於期末書面報告中詳述。	同意合作研究單位處理情形。第三章有單獨對補光模組

中說明。		及雷射虛擬尺做補光效果測試及精度測試，其餘模組皆為整合性功能。
6. 本案橋檢工具之整體結構穩定性，建議可找結構專長之專業人員共同研討，設計更穩定、更精簡之結構形式。各部件之材質亦可再評估使用其他質輕且强度高之材料。進行操作時務必注意侵入車道的範圍，若檢測手臂可在半空中轉向與車道平行後再下放或收回，應可避免佔用車道空間。	感謝委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
(三) 戴國政委員：		
1. 實地測試所選之橋梁皆坐落於北部地區，是否有其原因？是否有考量中南部之橋梁？	因設備整體未臻成熟，運載過程中可能產生零件或電路鬆脫造成故障，目前仍以較近之量測點為考量。	同意合作研究單位處理情形。
2. 本案橋梁檢測工具是否設計有警示燈、蜂鳴器或設有緊急動作停止裝置？以避免操作不當致發生事故或設備損壞。	本設備電器裝置皆設有蜂鳴警示器與緊急停止裝置。	同意合作研究單位處理情形。將依實測經驗，改善相關警示及自動化設備。
3. C 桿件採用方形截面套管，其量測結果是否有符合原先設計之要求？又其介面以壓克力材料限制位置之考量因素為何？	如第三章中表 3-3 所列，方形截面設計可減少 C 桿之下垂量，限位零件未受壓力或摩擦，以壓克力材料製作僅為加工方便考量。	同意合作研究單位處理情形。
4. 影像模組中雷射機構四維 3D 列印製作，是否有市售類似之產品可選擇？以利後續替換更新。檢測鏡頭是否能多軸轉動？	市售雲台難以整合機電控制。本設備檢測鏡頭可兩軸轉動。	同意合作研究單位處理情形。本案工具為研發階段，以 3D 列印方式製作以達最適之配置。
(四) 黃俊豪委員：		
1. 本計畫於實測第 3 座橋梁時，雖發生落桿，但 C 桿懸伸長度超過 7 公尺，該長度可滿足雙向 4 車道橋梁之檢測需求，且其末端下垂量約 12 公分，非常適用於檢	感謝委員肯定。	同意合作研究單位處理情形。

測梁底淨高狹窄之橋梁，值得肯定。		
2. 前述落桿事件之成因及改善構想，建議可於報告書適度說明。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
3. 實務上，淨高狹窄橋梁之橋下構件往往難以被檢視，因此如何有效檢測該類型構件為本案主要初衷，至於能否取代橋檢車則屬其次。	如委員建議，未來設備研發方向應以針對性之檢測狀況發展。	同意合作研究單位處理情形。本研究研發橋檢工具之目的，為針對一般橋檢車無法檢測之橋梁，是為補足其不足並非取代。
4. 梁底淨高狹窄橋梁之橋下採光昏暗，因此補光設備尤其重要，建議後續可強化補光設備亮度，並挑選該類型橋梁進行實測。	本設備之補光設備依手持強光手電筒規格設計，應可應付大部分之梁底補光需求，未來於實務中若有需求可再增強補光模組。	同意合作研究單位處理情形。
5. 本計畫相較於前期計畫之差異（例如懸伸長度、下垂量、穩定度、效率），建議可於報告書詳加說明。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，並已於報告中補充。
(五) 楊秉順委員：		
1. 期中審查意見1及意見3請在報告中補充說明。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形，並已於報告中補充。
2. 報告第1-4頁所採用公路總局資料，請註明採用自何時之統計資料，且橋梁內並無箱涵及人行橋梁，請修正。實地測試選擇地方政府橋梁之原因為何？	依委員建議修正。本案之實測選址考量設備尚未設計成熟，需有人員於河床監看以防意外。	同意合作研究單位處理情形，統計資料資訊已於報告中補充。
3. 報告第2-28頁請詳細介紹A、B、C桿構造並附上圖示，以利閱讀理解。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已於報告中補充。
4. 報告第2-34頁本案橋檢工具尺寸，一般公務車無法載運，恐降低橋梁維護檢測單位使用意願。	如委員建議，本設備未來將朝輕量化發展	本案設備將以便攜性及易用性為目標持續精進。
5. 報告第3-7頁圖3-6，Analysis分析固定端T1-尾端T3，是否與文中敘述前端為自由端不同？請說明。	文中定義前端為自由端，後端為固定端。T1則為工程標記厚度1mm之意。	同意合作研究單位處理情形，單位表示已於報告中註記。

6. 報告第 3-17 頁請補充說明經由補光設備拍攝影像之效果，以利比較。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
7. 報告第 3-23 頁請補充實際檢測橋下裂縫判讀之誤差，並說明與試驗上誤差變化率之關係，以及應如何換算？	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
8. 報告第 5-4 頁實地測試這 3 座橋梁非公路總局管轄之橋梁，請修正。	依委員建議修正，該橋梁為縣市政府管轄之橋梁。	同意合作研究單位處理情形。
9. 本案橋梁檢測工具拍攝定位功能相當重要，若有精確之定位即能快速記錄橋梁梁底構件劣化之位置。	感謝委員建議，本案僅初步發展自動進給裝置，未來將提高定位精度配合影像拼接需求。	同意合作研究單位處理情形。未來將探討新興科技於本案設備之應用。
10. 報告第 4-7 頁實地測試時，桿件安裝及 A 桿上升時易影響鄰近車道，操作上是否能先平行車道將桿件上升後再旋轉至橋下？另因桿件上升至下放所需橋上空間高度為何？	感謝委員建議，將以本次量測為經驗做為改善量測程序之依據。	同意合作研究單位處理情形。將依實地檢測之經驗，持續精進改良本案設備。上升至最高約 6 公尺。
11. 實際進行橋梁檢測工作時拍攝照片眾多，應如何快速篩選劣化構件之照片？	未來將再配合影像辨識軟體建置自動辨識系統。	同意合作研究單位處理情形。
(六) 林子剛委員..		
1. 2.1 節提到國外橋梁檢測設備，是否能補充國內相關設備介紹？並比較與本案橋檢設備之優缺點為何？	本案受經費限制，開發成本有限，國內外此類設備投入成本極高，本案中僅參考各類設備之設計形式與功能，難以直接比較性能。	同意合作研究單位處理情形。
2. 2.2 節與 2.3 節為研究單位研發成果，建議可合併為一個章節。	[機械手臂型橋梁檢測設備]與[車載型橋梁檢測設備]不盡相同，在此以不同章節區分。	同意合作研究單位處理情形。
3. 報告第 2-33 頁 A、B、C 桿的構造建議詳細說明，並標示相對位置以利理解。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已於報告修正補充說明。
4. 報告第 4-6 頁實地測試建議補以整體系統圖說(A、B、C 桿之相對位置)以利理解。	依委員建議，於前章節補充說明。	同意合作研究單位處理情形，已於報告修正補充說明。

5. 表 3-4 的雷射之像素點換算與呈現方式，建議修改。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
6. 4.1 節實測橋梁應補充橋梁基本資料說明，另外實測橋梁非屬感潮河段橋梁，建議於內容說明清楚。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
7. 第五章研究成果說明不足，建議增加與前期計畫成果之比較。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已於報告修正補充說明。
8. 報告中未呈現影像拼接部分。	本案僅初步建構影像拼接枝硬體設備。	同意合作研究單位處理情形。本案僅初步嘗試影像拼接技術之初探。
9. 本案橋檢工具 A、B 桿似乎過小而影響其勁度。	感謝委員指教，後續研究將改善整體結構及重量分布。	同意合作研究單位處理情形，將適度調整桿件長度，並持續改善本橋檢工具之結構。
10. 報告第 3-27 頁 GPS 定位系統在橋梁梁底遮蔽之環境下可能無法準確定位，影像拼接功能效果可能不如預期。	本家中比較 GPS 影像定位方式與編碼器定位方式後採用編碼器定位。	同意合作研究單位處理情形。
11. 報告第 2-34 頁圖 2-55 請補充說明 C 桿構造之細節。	C 桿為套節形式構成，將提供詳細凸面於依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已於報告中補充。
12. 本案橋檢工具目前因開展及轉動之模式受空間限制較大，未來應加以改善，以利推廣運用。	如委員所述，未來將改善量測流程。	同意合作研究單位處理情形。將適度調整桿件長度，並持續改善本橋檢工具之結構，以達易攜好用之目標。
(七) 陳振華委員 (書面審查意見)：		
1. 報告第 3-8 頁“迫度□應為筆誤,請逐一審視報告其他筆誤處。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已於報告修正。
2. 報告第 3-11 頁桿身採碳纖維方管，日後若商品化是否會提高成本？又 C 桿撓度還是很大，是否可適度地減少至最佳長度？雖可檢測橋板寬度減少，但應可克服某些目前瓶頸。	如委員建議，設備應以使用人員使用方便為主要考量，未來將研擬依此方向發展。	同意合作研究單位處理情形。

3. 報告第 3-13 頁攝影機組建議可參考 GOPRO 運動型攝影機。	研發過程亦有考慮使用，但因運動型攝影機影像球面化嚴重且重量較重，不適合本設備之需求。	同意合作研究單位處理情形。
4. 報告第 4-4 頁請補充現地檢測所需之人員數，及組裝至下伸開始檢測(安裝流程及回收流程)等各階段所需時間。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形，已於報告中補充。
5. 報告第 4-9 頁測試影片與第 4-11 頁實拍影片無法連結。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。其影片非永久連結已於報告中刪除，測試影片檔案以光碟片方式保存。
(八) 本所港灣技術研究中心第一科賴瑞應科長：		
1. 1.2 節本計畫研發成果適用橋址分析，建議更新至 109 年底「臺灣地區橋梁管理資訊系統」之統計資料，另外，本計畫僅以公路總局的橋梁做統計，建議能增加縣市政府的橋梁納入統計，較能反映真實可推廣應用之橋梁數量。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已於報告修正並補充說明。
2. 本計畫目標為研發輕便好操作的橋檢工具，並能取得清晰影像為主，歷經過去 3 年的研發經驗，建議能對相關功能及適用橋寬做評估，綜整出短期能落實應用的橋檢工具，以加速研究成果的推廣應用。	如委員所述，本團隊經此案累積開發經驗，將檢討進近年之實測經驗，建置可實用之設備。	同意合作研究單位處理情形，已於第五章結論與建議論述綜整，並探討桿件長度之適用性及其效益。
3. 建議於第二章最後增加一小節，綜整說明國內外相關橋檢設備的優缺點及本計畫研發橋檢設備的必要性。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已依委員建議於報告第二章修正並補充說明。
4. 報告第 3-6 頁倒數第 2 行，提到「預計參考本次模擬之傾向設計，採用 4 截厚度不同之方形管組成」，建議刪除「預計」，依後續實際採行方式情形撰寫。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。

5. 建議避免使用有廣角的鏡頭，以避免影像失真，影響後續的影像拼接。	因本案所需之攝影距離較短，搜尋市售錄影設備皆有輕微廣角之狀況，將再搜尋更合適之專用拍攝照片之裝置，減少影像球面之情形。	同意合作研究單位處理情形。
6. 本計畫以研發能於梁底狹小空間進行檢測的工具為目標，但實測橋梁並不盡然是此種狀況的橋梁，建議未來要以梁底狹小空間的橋梁來做實測，才能真正知道問題之所在，如陰暗、潑濺及阻礙等。	本設備之開發設備尚未臻成熟，本次實測仍需人力實地下河床監測防止意外。未來設備完善後將以實際狀況之橋梁為量測對象。	同意合作研究單位處理情形。
7. 第五章名稱建議依本所格式改為「結論與建議」，並於章節前增加論述狹小梁底空間橋檢問題之說明及本計畫之研究目的，再依結論、建議、研究成果效益及提供應用情形分別撰寫。結論部分，請避免以交代計畫工作項目完成情形撰寫，而是應該以計畫主要達成成果來撰寫，建議部分，則以計畫執行過程及後續研究方向提出相關建議。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
8. 期中報告內容有專家訪談問卷部分內容，期末報告卻漏列，請於定稿報告補充，並針對專家訪談內容予以適當回應。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
9. 報告缺中英文摘要，請補充。報告相關格式請依本所規定格式編排。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
(九) 本所港灣技術研究中心第三科林雅雯科長：		
1. 第 2-10 頁日本 Zivil 機械手臂型與本案較類似，建議更詳細敘述構件、檢測目的橋梁範圍、檢測效率及費用，建議比較與本案設備之差異。	設備詳細資料涉及公司商業利益難以取得，將再詳細搜尋。	同意合作研究單位處理情形。
2. 報告編碼格式有誤。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。

3. 檢測設備仍有勁度不足情形，畫面晃動、拍攝範圍小，是否採用桁架式且攝影機固定分佈安裝。	如委員建議，若以多台攝影機方式拍攝將可大幅減少量測時間，目前因 C 桿構件強度不足，若 C 桿伸長狀態中移動本體設備，將造成極大幅度之震動，甚至造成設備毀損。	同意合作研究單位處理情形。目前檢測設備拍攝範圍可遠端操控旋轉調整拍攝角度，因手動操控桿件伸縮故造成設備易頓挫搖晃，未來提升自動化應能改善畫面晃動問題。
4. C 桿最小長度為 85.6 或 120 或 220 公分？所以第 4-9 頁寫橋梁邊緣影像只能轉動 C 桿攝影機方向拍攝。	C 桿最小長度為 250cm，因此當 C 桿轉正時已深入橋梁梁底，造成梁底邊緣影像僅能以轉動攝影機之形式取得。	同意合作研究單位處理。
5. 第 4-9 頁圖 4-13 桿件定位後，是否加斜撐？以加強勁度。	本案前期研究即嘗試斜索支撐，缺點為構件複雜設備佈置時間極長。後期設備設計為機械手臂形式即為彌補此缺點。	同意合作研究單位處理情形。
6. 第 3-21 頁利用雷射參考尺做裂縫量測精度試驗，建議補充不同拍攝距離 1-5 公尺，其 5 公分之變化，另目標物（如橋梁邊緣）如與攝影機有角度，5 公分情況又如何？	雷射參考尺僅能在與被量測物正交方式下使用，若存在夾角則會造成量測誤差，C 桿前攝影機有水平校正陀螺儀，在正常使用情況下，皆會正面面對梁底進行拍攝。	同意合作研究單位處理情形。
7. 在每年本案經費狀況下，能達到的應用極限為何？另建議先界定功能（應用橋寬、檢測車與目視檢測之間範圍應用）、再結構設計、計算及經費概估，俾利日後計畫經費調整及設備製造。	如委員建議，設備在各種功能需求無限制增加之情形下，難以收斂至實用狀態，未來將依實際需求採用簡化方式設計，依實際使用需求發展。	同意合作研究單位處理情形。經實地測試且檢討適用橋梁數量，未來將便攜性、實用性為精進目標。
(十) 本所港灣技術研究中心蔡立宏主任：		
1. 本案研發之橋檢工具應朝提升方便性、實用性、效率及安全為目標，以符合第一線橋檢人員於實務之應用。	如主任指示，本案嘗試增加設備功能而降低了使用人員之方便性，未來將同時考量雙方需求精進設備。	同意合作研究單位處理情形，本案設備將以便攜性及實用性為目標持續精進。。
2. 目前本案橋檢工具之檢測桿是以懸臂式之型式設計，若以此結構持續精進，穩定度及支撐強度或許已達極	須大幅改良整體設計形式，更重型設備可增進功能，或更輕型設備可增進使用方便性。依本研究之	同意合作研究單位處理情形。

限，是否思考以其他材料或結構形式設計？或許能有更大之突破。	目標，應朝方便好用持續研發。	
柒、主席結論：		
1. 本案期末報告審查結果，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。	如主席指示辦理。	同意合作研究單位處理情形。
2. 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，並配合修正報告書相關內容。	如主席指示辦理。	同意合作研究單位處理情形。
3. 期末報告書定稿及其他契約規定驗收相關資料，請於110年11月30日前提交。	如主席指示辦理。	同意合作研究單位處理情形。

附錄三  
專家訪談問卷



# 『感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究』

## 專家訪談問卷

敬啟者：

本問卷為配合交通部運輸研究所委託之「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」，針對各單位具橋梁檢測實務經驗之產、學界專家進行調查及訪談，了解各界對於「研發梁下狹小空間檢測工具」之看法或意見，以供本計畫規劃功能與需求評估之參考，感謝您撥冗填寫。謝謝！ 肅此

計畫執行單位：大同大學

計畫主持人：林晨光 博士

協同主持人：黃維信 博士

研究人員：黃瑋晟

聯絡電話：0913757501

傳真號碼：

電子信箱：wshuang@gm.ttu.edu.tw

填答日期：\_\_\_年\_\_\_月\_\_\_日

### 一、問卷緣由

橋梁為鋼筋及混凝土組成之構造物，會隨氣候及環境交替而逐漸老舊劣化，需定期巡檢並適時改善。我國道路橋梁近 3 萬座，主要由高公局、公路總局及各縣市政府負責管養，依據公路法相關規定，橋梁養護首重檢測，因此各橋梁管理機關平時除了應針對所轄橋梁辦理檢測作業，並應適時針對損壞部分進行維修，以維持橋梁安全。

依據公路法及相關規定，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，再以目視判定橋梁狀況，如遇高橋墩或跨河橋梁時，雖可利用橋檢車、高空作業車或無人飛行載具…等輔助趨近，但對於梁底淨高狹小之跨水橋或感潮河段橋梁，由於其梁底經常與水及空氣反覆接觸，且人員、機具不易進入檢測，故安全風險較高，爰此，本所

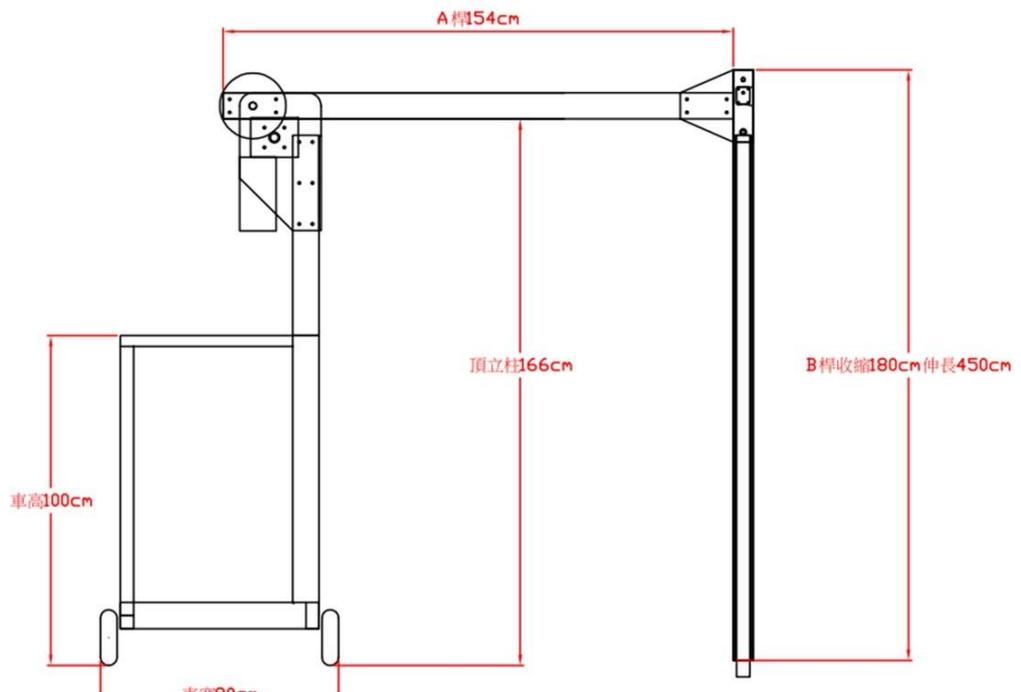
106 年度透過「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」評估多項儀器、設備及技術應用於梁底空間狹小橋梁檢測作業之可行性，並嘗試整合鋁製伸縮臂桿、遙控馬達、主動光源、智慧型手機及相關元件，開發出「車載型橋梁檢測設備」，並於 108 年度透過「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」經專家座談及實地測試所蒐集之意見及建議為基礎進行檢討，完成以推車操作為主體的「推車型橋梁檢測設備」，相較於車載型，推車型檢測設備(以下簡稱「橋檢設備」)組裝操作簡便、便攜、經濟且施作空間較為彈性。該橋檢設備主要由鋁擠型管組立成推車平台及多根可折疊收納之伸縮臂桿，其組成體積適合於一般小型貨車載運且能於一般人行道上使用，經實地測試，已能穩定伸展並移動至橋梁下方拍攝梁底影像，除可用於檢測感潮河段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。

前述雛型橋檢設備雖已可運作，但由於伸展至橋下之水平檢測桿雖已能伸長至 7 公尺(單線 2 車道)，但尾端仍有桿臂變位控制問題，因此僅能使用較為輕巧簡易之針孔攝影鏡頭，未能安裝輔助照明設備來適應光源不足之檢測環境，且橋檢設備之運作速率、展開方式、穩定性、檢測環境適應性及機電化程度…等，均有改善空間，為增進該橋檢設備之適用範圍、穩定性及運作效率，爰辦理本計畫，俾持續提升我國公路橋梁檢測之品質及效率。

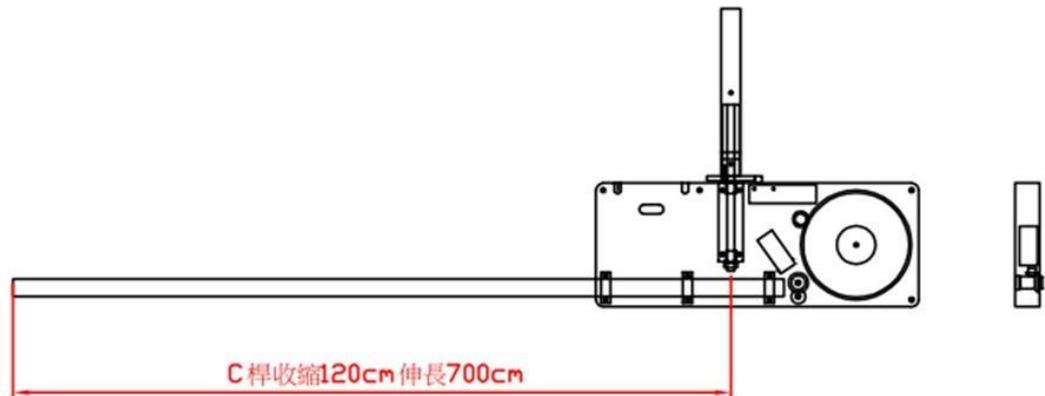
#### 【 前 兩 期 研 究 成 果 影 片 】

<https://drive.google.com/drive/folders/17H0cv6bt8WOpJTE1hN-vd9vGfEfyH6nA?usp=sharing>

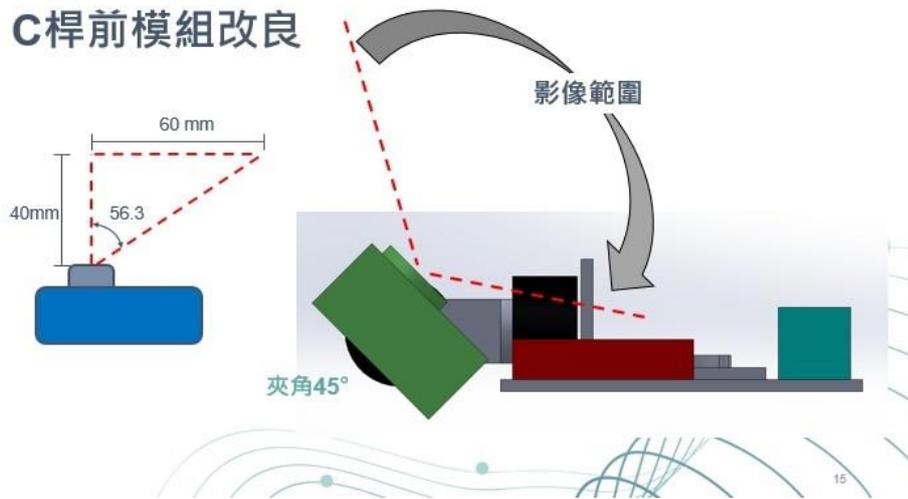
【推車式檢測設備尺寸圖一】



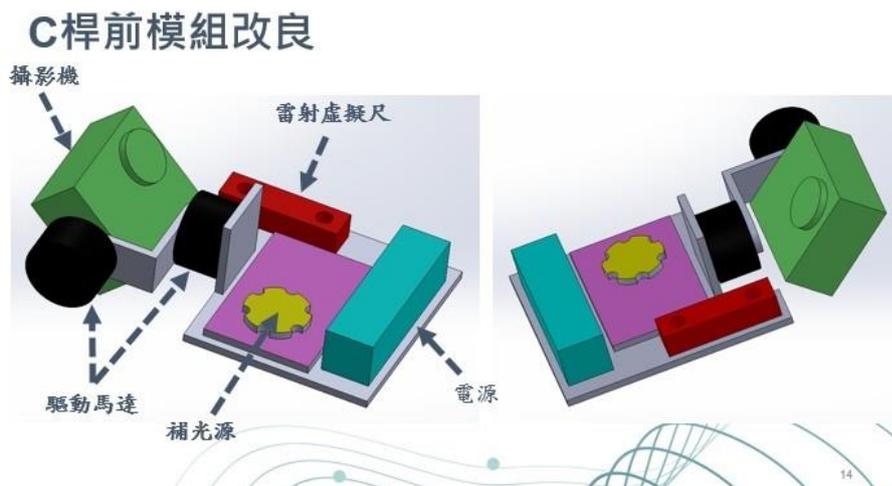
【推車式檢測設備尺寸圖二】



【C 桿前模組改良示意圖一】



【C 桿前模組改良示意圖二】



二、詳閱上述資料後，您認為 C 桿之桿件強化方式、長度、前端整合模組，鏡頭可視範圍...等，設計上是否還有其他之需求？

是 否

您的建議為何？：\_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

三、本計畫橋檢設備之機電控制(電控功能)預期開發除檢測桿件(可電控舉放及伸縮)、推車機體(電控進退)外，設計上是否還有其他需求？

是 否

您的建議為何？：\_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

四、本計畫橋檢設備若推行至實務使用上可能遭遇之問題為何？是否有建議之改善之方式？

可能遭遇之問題？：\_\_\_\_\_

---

---

---



---

---

---

---

## 七、受訪者基本資料

(一) 姓名：\_\_\_\_\_。

(二) 職業：公 教 業界。

服務單位：\_\_\_\_\_。

職 稱：\_\_\_\_\_。

(三) 連絡電話：\_\_\_\_\_。

(四) E-mail：\_\_\_\_\_。

<<問題已全數回答完畢，感謝您所提供之寶貴  
意見>>



附錄四  
簡報資料



# 期末報告簡報資料

## 感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究



簡報者：大同大學機械工程學系 林晨光 助理教授

### 目錄 CONTENTS

- 01 | 計畫背景分析
- 02 | 橋梁檢測設備現況
- 03 | 設備精進與成果
- 04 | 實地測試與成果
- 05 | 未來精進方向



## 計畫背景分析

3

## 國外橋梁檢測設備



吊籃式橋梁檢測車



桁架橋梁檢測車



向上抬舉式橋梁檢測車



履帶型橋梁檢測車



軌道型橋梁檢測車



船舶型橋梁檢測車



機械手臂型橋梁檢測車



無人飛行載具檢測

4

## 機械手臂/車載型橋梁檢測設備



機械手臂型橋梁檢測設備

車載型橋梁檢測設備



5

## 推車型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，開發出「推車型橋梁檢測設備」。並依照第一代「車載型橋梁檢測設備」之缺失進行改善。



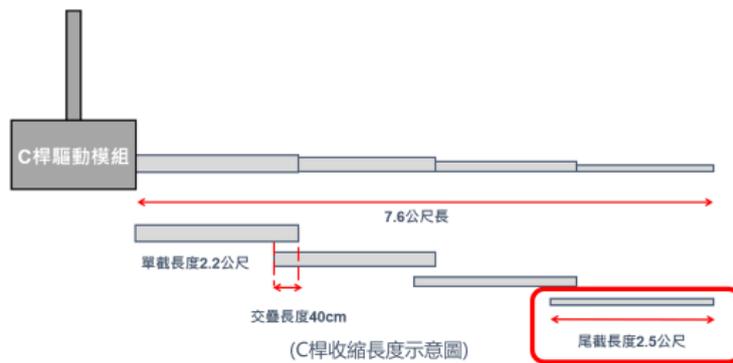
6



## 設備精進與成果

7

### C桿強度提升方案



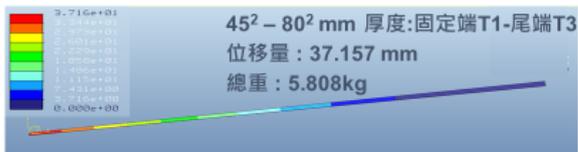
為提升C桿之強度，預計以方形截面管替代原有之圓形截面套管，並以4截套管結構，且以錐度管代替多截方管

8

## 變截面-不等壁厚方管之模擬

在外型尺寸相同之下，當前端壁厚減少，後端壁厚增加情況下，末端變形量甚至低於整體採用較厚管壁。

- 減少前端變形量**26.1%**
- 總重減少**29.1%**



變截面-不等壁厚方管之模擬

外型尺寸 (前端-後端)	厚度 (前端-後端)	總重(kg)	變形量(mm)
45 <sup>2</sup> - 80 <sup>2</sup> mm	T1	2.824	65.677
	T1.5	4.201	56.497
	T2	5.556	53.149
	T2.5	6.888	51.339
45 <sup>2</sup> - 80 <sup>2</sup> mm	T3	8.196	50.298
	T1 - T3	5.808	37.157
	T3 - T1	5.273	83.898

9

## 套節滑動面結構設計

以鐵氟龍墊片為主要受力面，承受碳纖維管伸長之彎距，再以壓克力凸緣限制鐵氟龍墊片之位置。



碳纖維管內鐵氟龍墊片配置 ( 驅動端 )



碳纖維管內鐵氟龍墊片配置 ( 攝影端 )

攝影端受力較小，其主要功能為收入時保持攝影裝置穩定，因此設計上以面積較小之鐵氟龍墊片接觸，並以壓克力凸緣包圍鐵氟龍墊片。

10

## C桿製作



C桿完全伸長狀態



C桿完全伸長狀態7.1米

因彈簧線管推力不足，造成實際推送距離僅7.1米

11

## C桿製作



C桿完全伸長狀態離地面距離73.8cm

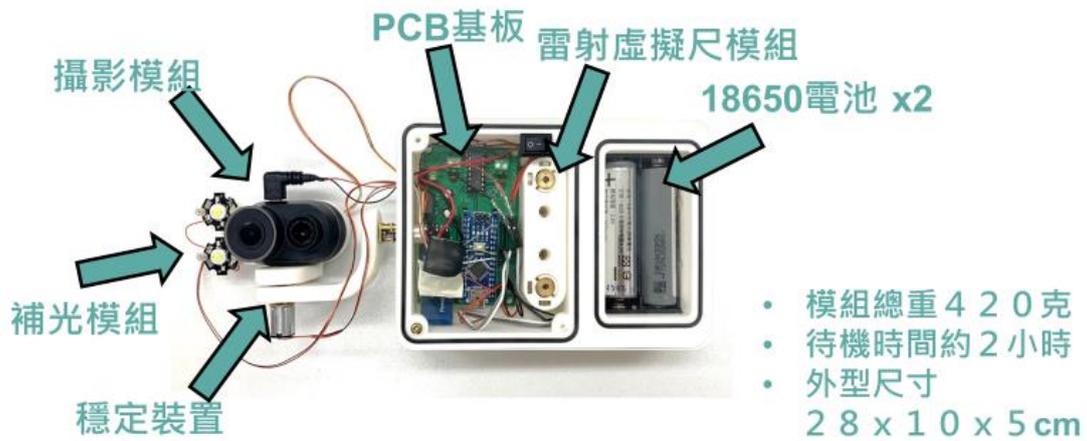


C桿完全收回狀態離地面距離85.6cm

尾節碳纖維管下緣對應地面距離為基準計算得知下垂量為11.8cm。  
高於前述之模擬參數3.7 cm，主要為節間間隙造成下垂。

12

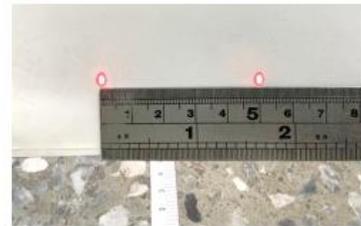
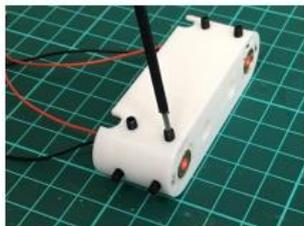
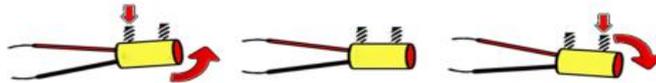
## C桿前端整合裝置



13

## 雷射參考尺模組

透過控制止付螺絲緊迫程度，將壓迫雷射模組改變角度進行微調。實際調校時，轉動止付螺絲90°可以使5公尺外的雷射光點位移將近100mm 達成實地量測需求「距離5公尺以內雷射光點都能維持間隔5公分」。



14

## 雷射參考尺精度測試



雷射5cm寬 像素點	雷射換算 1mm 像素點	模擬裂縫寬	裂縫寬度 像素點	誤差
886 pixel	17.72 pixel	1mm	17 pixel	-4.1%
886 pixel	17.72 pixel	3mm	55 pixel	+3.3%
886 pixel	17.72 pixel	5mm	86 pixel	-3.1%

15

## 編碼器(encoder)定位

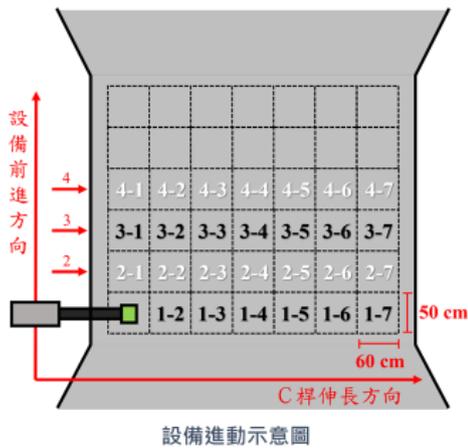


內建編碼器馬達

於設備底部動力輪與C桿驅動馬達編碼器資料即可得知攝影裝置位移量

16

## 編碼器定位



檢測設備底部的驅動輪上與C桿驅動馬達上裝置編碼器，透過讀取編碼器資料即可控制攝影機於梁底定距離進動，未來若配合影像拼接軟體，即可能達成免佈標之影像拼接。

17

## 設備主動輪編碼器定位



以輪鼓伺服馬達作為設備的驅動輪，並搭配驅動器做控制。馬達為伺服電機自帶編碼器，可應付一定崎嶇路面的移動，驅動器設定參數為每次前進50cm，控制Y軸（沿行車方向）等量前進。於平坦路面上測試，重複誤差約為1cm，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。



18

## C桿推送馬達編碼器定位



以編碼器控制C桿推送進度，即可控制X軸（沿河川流向）之方向定位，計算馬達轉動圈數，再推算末端裝置移動距離，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。未來若能設法提高定位準確度，即可能達成不需佈標進行影像拼接之功能

伸長距離(m)	2.70	3.45	4.10	4.72	5.29	5.90	6.45	6.88	7.16
前次間距		0.75	0.65	0.62	0.57	0.61	0.55	0.43	0.28

19



## 實地測試與成果

20

## 實地測試選址



桃園市山外一橋



桃園市土地公坡橋

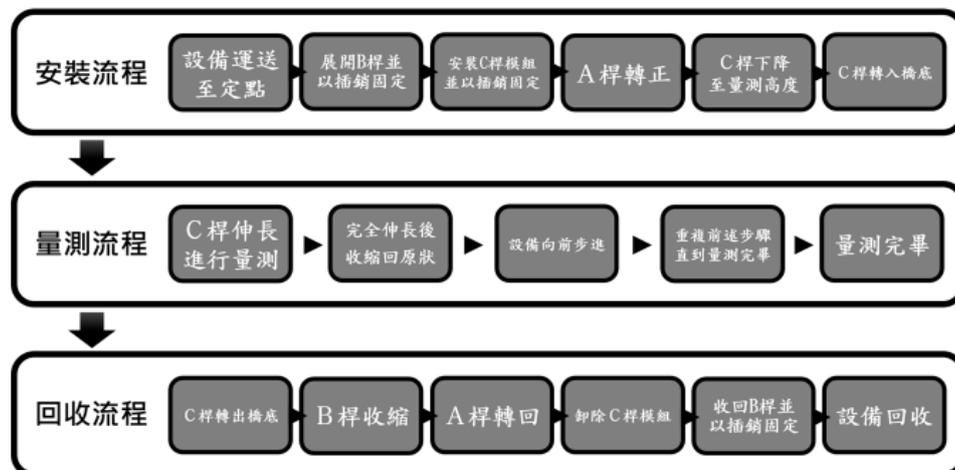


新竹縣德和橋

橋梁長度6公尺以上、最大淨寬小於16公尺、無電線架設、水流較小、排除車輛來往頻繁且符合公路總局及縣市政府管轄之「公路橋梁」。

21

## 設備操作流程



22

## 安裝流程



設備運送至定點



展開B桿並以插銷固定



安裝C桿模組



A桿轉正



C桿下降至量測高度



C桿轉入橋底

23

## 量測流程



C桿伸長進行量測



完全伸長後，收縮回原狀



設備向前步進



重複前述步驟，直到量測完畢

24

## 回收流程



C 桿轉出橋底



B 桿收縮



A 桿轉回



卸除 C 桿模組



收回 B 桿並以插銷固定



設備回收

25

## 實測影像



本次量測影像如左圖所示，設備控制C桿末端攝影機以步進方式移動，當主體移動至定位後，C桿以步進方式每次移動約60cm伸入梁底取得影像，當伸長至最長後收回，設備本體前進約50cm，重複伸長C桿取得下一區段影像。

26

## 實測過程發現之設備問題



測試時因人為操作失誤，於C桿未收回狀態上升B桿，C桿伸長時極大力矩造成B桿卡死，造成C桿內拉力彈簧受損，最終C桿模組摔落河床。未來可能需再各桿件定位處加裝安全感測器，並以警示燈顯示異常，設備整體朝高度自動化方向改善。

27

## 研究成果推廣與發表

[登入/註冊](#)
[論文投稿](#)
[報名費費](#)
[聯絡我們](#)
[KEY DATES](#)

[論文投稿](#)

[上傳完稿條](#)

您尚未完成繳費，需繳費完成後才可上傳定稿。

- \*類別 B11.自動化技術
- \*論文編號 B11-023
- \*中文名稱 感測河段橋梁梁底檢測工具構建研究
- \*英文名稱 The advanced development of bridge beam inspection equipment in tidal river section
- \*主要報告者 林麗光
- \*作者 林麗光、黃理璠、胡啟文、鄭堂毅、黃進信、黃隆樹、蔡耀仁、李奕銘、吳宗翰
- \*關鍵字 橋梁梁底檢測、感測河段橋梁、橋梁檢測設備
- \*通訊作者 (同為作者)
- \*投稿類別 完整論文
- \*報告方式 Oral
- \*檔案 > [觀看已上傳檔案](#)
- 審查狀態 [通過](#)

28



## 未來精進方向

29

## 未來研究方向

### 設備自動化精進

本案實測過程中因人為操作失誤造成設備損壞，檢討其中過程係因設備整合不完全所致。為防止實際使用時此類狀況之發生，量測流程應採更高度自動化方式進行，避免設備因操作人員失誤造成損壞。

### 設備輕便化精進

C桿長度增加後，造成設備佈置時間大幅增加，且使用受電線高度限制。誠如期中報告委員所述，此類設備應以輕便、泛用為設計主，應採取輕便傾向設計，增加檢測人員使用意願。

### 梁底全幅影像拼接影像

配合橋梁梁底影像拼接需求，未來量測方式需以照片方式呈現，本案目前設計以影像擷取為主，但已初步測試設備自動固定距離步進之方法，未來可能需再增進定位之精度，以符合影像之需求。

30



報告完畢，謝謝聆聽！



31