

113-007-7D46
MOTC-IOT-112-H1CB001g

橋梁梁底狹小空間檢測工具 加值應用及技術轉移



交通部運輸研究所

中華民國 113 年 3 月

113-007-7D46
MOTC-IOT-112-H1CB001g

橋梁梁底狹小空間檢測工具 加值應用及技術轉移

著者：葉佳榮、鄭登鍵、賴瑞應、劉清益、羅書硯、王文愷

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 3 月

GPN : 1011300196

定價 150 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

橋梁梁底狹小空間檢測工具加值應用及技術轉移/ 葉
佳榮, 鄭登鍵, 賴瑞應, 劉清益, 羅書硯, 王文愷著. --
初版. -- 臺北市: 交通部運輸研究所, 民 113.03
面; 公分
ISBN 978-986-531-564-1(平裝)

1.CST 2.橋梁工程

441.8

113001472

橋梁梁底狹小空間檢測工具加值應用及技術轉移

著 者: 葉佳榮、鄭登鍵、賴瑞應、劉清益、羅書硯、王文愷

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 113 年 3 月

印 刷 者: 綠凌興業社

版(刷)次冊數: 初版一刷 50 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: 1011300196 ISBN: 978-986-531-564-1 (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：橋梁梁底狹小空間檢測工具加值應用及技術轉移			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-564-1(平裝)	政府出版品統一編號 1011300196	運輸研究所出版品編號 113-007-7D46	計畫編號 MOTC-IOT-112-H1CB001g
本所主辦單位： 運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：賴瑞應 研究人員：鄭登鍵 聯絡電話：(04)2658-7200 傳真號碼：(04)2657-1329	合作研究單位：財團法人工業技術研究院 計畫主持人：葉佳榮 協同主持人：劉清益、羅書硯 研究人員：王文愷 地址：新竹縣竹東鎮中興路四段 195 號 聯絡電話：(04)2658-7200		研究期間 自 112 年 2 月 至 112 年 11 月
關鍵詞：橋梁、感潮河段橋梁、橋梁檢測			
摘要： 我國公路橋梁近 2 萬 3 千多座，主要由高速公路局、公路局及各縣市政府負責管理及養護，依據公路法相關規定，各橋梁管理機關平時應針對所轄橋梁辦理檢測作業，以維持橋梁安全。橋梁檢測以目視為主，儀器為輔，多以徒步及攀爬方式儘可能接近橋梁結構物，以目視判定橋梁狀況。如遇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，本所透過前期計畫以組裝及操作簡便、便攜為設計架構，完成推車型橋梁檢測工具，並進行相關檢測機件精進，該雛型橋檢工具已能穩定伸展並移動至橋梁下方拍攝梁底影像，有助提升橋檢作業之品質、效率及人員作業安全。 本所於 111 年度進行橋檢設備改良及功能精進，提升檢測影像及設備操作之穩定度，基本檢測功能趨近成熟穩定，爰此，本計畫 112 年與工業技術研究院合作，於前期計畫開發基礎上，持續調整及優化橋檢工具相關構件與操作，並研訂橋檢工具使用手冊及規劃辦理技術轉移，提供橋梁維護管理單位未來實務應用，俾持續提升我國公路橋梁檢測之品質及效率。 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（內政部國土管理署、交通部高速公路局、公路局等）、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
113 年 3 月	212	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: Value-Added Application and Technology Transfer of Detection Tools for Narrow Spaces at the Bridge Bottom			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-564-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300196	IOT SERIAL NUMBER 113-007-7D46	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-112-H1CB001g
DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jui-Ying Lai PROJECT STAFF: Teng-Chien Cheng PHONE: (04)2658-7200 FAX: (04)2657-1329			PROJECT PERIOD FROM February 2023 TO November 2023
RESEARCH AGENCY: Industrial Technology Research Institute PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chia-Jung Yeh PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ching-Yi Liu, Shu-Yen Lo PROJECT STAFF: Wen-Kai Wang ADDRESS: No. 195, Sec. 4, Zhongxing Rd., Zhudong Township, Hsinchu County 310, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (04)2658-7200			
KEY WORDS: Bridge, Tidal river bridge, Bridge inspection			
There are nearly 23,000 highway bridges in Taiwan, which are mainly managed and maintained by freeway bureaus, highway bureaus and county governments. According to the Highway Law, each bridge management agency should usually conduct inspection operations for the bridges under its jurisdiction to ensure that Maintain bridge safety. Bridge inspection is mainly based on visual inspection, supplemented by instruments. Most people use hiking and climbing methods to get as close to the bridge structure as possible to visually determine the condition of the bridge. When it comes to cross-water bridges or bridges over tidal rivers with narrow beam bottom clearance, the safety risks are higher because the beam bottoms are often in repeated contact with water and air, and it is difficult for people and machines to enter for inspection. Therefore, our firm discloses After the preliminary plan, the cart-type bridge detection tool was completed based on the design structure of easy assembly, easy operation and portability, and related inspection parts were refined. The prototype bridge inspection tool can now stably extend and move under the bridge to take images of the bottom of the bridge. It helps to improve the quality, efficiency and safety of personnel in bridge inspection operations. In 2022, Institute of Transportation, MOTC improved the bridge detection tool and refined its functions to improve the stability of inspection images and equipment operations, and the basic inspection functions became mature and stable. Therefore, this project plans to cooperate with ITRI in 2023. Based on the previous plan and development, we will continue to adjust and optimize the relevant components and operations of bridge detection tools, develop bridge detection tool user manuals, and plan technology transfer to provide bridge maintenance management agencies with future practical applications in order to continue to improve the quality and efficiency of highway bridge inspections in Taiwan. BENEFITS AND APPLICATIONS: The results and testing examples of this study can provide application and reference for central (National Land Management Agency of MOI, Freeway Bureau of MOTC, Highway Bureau of MOTC, etc.) and local (city-county) governments in bridge maintenance management by the competent authorities.			
DATE OF PUBLICATION Mar. 2024	NUMBER OF PAGES 212	PRICE 150	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

橋梁梁底狹小空間檢測工具加值應用及技術轉移

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 緒論.....	1-1
1.1 背景分析.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-5
1.3 計畫範圍與對象.....	1-9
1.4 計畫架構及工作項目	1-9
1.4.1 面臨問題與需求.....	1-9
1.4.2 解決方案.....	1-10
1.4.3 系統架構.....	1-12
1.4.4 工作項目	1-12
1.4.5 交付項目	1-13
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 橋梁檢測設備現況.....	2-1
2.1.1 吊籃式.....	2-1
2.1.2 衍架通道式.....	2-2
2.1.3 無人載具.....	2-4
2.1.4 輕便型橋梁檢測輔助設備.....	2-8
2.2 本計畫前期橋梁檢測設備之研發成果	2-11
2.2.1 推車型橋梁檢測設備架構.....	2-12

2.2.2 檢測桿.....	2-13
2.2.3 桿前端攝影裝置.....	2-14
2.3 技術移轉.....	2-15
2.3.1 法令依據.....	2-15
2.3.2 研發成果授權推廣契約書.....	2-16
第三章 設計成果	3-1
3.1 梁底機器人(測試用雛形機)設計與機電測試.....	3-1
3.1.1 期初 C 桿鋁擠型極限測試及雛形設計.....	3-1
3.1.2 超輕量 C 桿材質選用	3-4
3.1.3 繩排伸縮滑輪關鍵模組設計.....	3-7
3.1.4 專業攝影三軸穩定器應用.....	3-9
3.1.5 測試用雛形機立柱-A 桿-B 桿設計	3-13
3.1.6 測試用雛形機實測成果.....	3-17
3.2 影像資料庫系統架構.....	3-20
3.3 5G 影像加值應用	3-22
3.3.1 5G 簡介.....	3-22
3.3.2 5G 基礎設施與佈建區域.....	3-24
3.3.3 5G 通訊涵蓋範圍.....	3-25
3.3.4 5G 影像應用例.....	3-26
3.4 水下檢測加值應用評估報告	3-28
3.4.1 消費型水下無人機.....	3-28
3.4.2 水下檢測功能評估.....	3-29
3.4.3 水下檢測加值應用結論.....	3-34
3.5 第一代機梁底機器人技術移轉工程化設計	3-35
3.5.1 第一代機 C 桿設計	3-36

3.5.2 第一代機立柱/A 桿/B 桿設計	3-39
3.5.3 電控系統設計	3-50
3.5.4 適用條件	3-54
3.5.5 系統規格與操作程序	3-55
第四章 場勘訪談及實地測試成果	4-1
4.1 協同黎明工程顧問股份有限公司實際場勘(臨港二號橋)	4-1
4.2 協同黎明工程顧問股份有限公司實際場勘(台 61 糠榔大排)	4-3
4.3 大同大學專家訪談	4-5
4.4 成功大學專家訪談	4-7
4.5 橋梁選址與實測成果	4-10
4.5.1 實地測試選址	4-10
4.5.2 實測成果	4-13
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 技術移轉模式	5-4
5.5 推廣應用情形	5-4
參考文獻	參-1
附錄一 期中報告審查意見及處理情形	附錄 1-1
附錄二 期末報告審查意見及處理情形	附錄 2-1
附錄三 工作會議紀要	附錄 3-1
附錄四 交通部運輸研究所研發成果授權推廣契約書(草案) ..	附錄 4-1
附錄五 期末報告簡報資料	附錄 5-1

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	1-3
圖 1.3	橋檢人員搭乘船艇檢測	1-4
圖 1.4	橋檢人員涉水檢測	1-4
圖 1.5	無塵室天車(Overhead Hoist Transfer, OHT)技術	1-11
圖 1.6	橋檢工具系統架構圖	1-12
圖 2.1	吊籃式橋梁檢測工具	2-2
圖 2.2	衍架通道式橋梁檢測工具	2-3
圖 2.3	固定式衍架通道橋梁檢測工具	2-4
圖 2.4	無人飛行載具及其應用	2-5
圖 2.5	無人水下載具及其應用	2-6
圖 2.6	無人地面載具及其應用	2-8
圖 2.7	日本「首都高技術株式會社」輕量級立桿檢測設備	2-9
圖 2.8	固定型長桿檢測設備	2-10
圖 2.9	國內自行組立研發之長桿檢測設備	2-11
圖 2.10	本計畫前期研發之推車型檢測設備	2-12
圖 2.11	本計畫前期研發之檢測桿模組總承	2-13
圖 2.12	本計畫前期研發之檢測桿推送構件	2-14
圖 2.13	本計畫前期研發之桿前攝影裝置	2-15
圖 2.14	研究成果管理運用執行流程圖	2-17
圖 3.1	長懸臂(10 公尺)變形量模擬分析圖	3-1
圖 3.2	長懸臂(10 公尺)變形量實測圖	3-2
圖 3.3	上方張力索實測圖	3-2
圖 3.4	改裝左右張力索實測圖	3-3

圖 3.5 模組化 C 桿滑輪組設計圖	3-4
圖 3.6 高荷重鋁擠型 C 桿滑輪組裝測試圖	3-4
圖 3.7 超輕量 C 桿材質靈感示意圖	3-5
圖 3.8 C 桿材質重量實測圖	3-6
圖 3.9 鋁擠型橢圓平管及鋁擠型八角管選用圖	3-7
圖 3.10 電機與齒條齒元件示意圖	3-7
圖 3.11 起重機吊臂伸縮原理圖(一).....	3-8
圖 3.12 起重機吊臂伸縮原理圖(二).....	3-8
圖 3.13 工研院設計 C 桿伸縮原理圖	3-9
圖 3.14 三軸穩定器及 Gopro 攝影機	3-9
圖 3.15 任務艙系統架構圖	3-10
圖 3.16 三軸穩定器特性探討	3-11
圖 3.17 離形 C 桿動態伸縮與刻意搖晃情境.....	3-11
圖 3.18 擷取動態影像圖仍維持清晰	3-12
圖 3.19 Gopro 影像擷取特性測試	3-12
圖 3.20 桿件名稱定義圖	3-13
圖 3.21 原立柱 ABC 桿架構設計	3-13
圖 3.22 參考前案設計將軌道移往橋面	3-14
圖 3.23 立柱-A 桿-B 桿關鍵尺寸圖	3-14
圖 3.24 立柱-A 桿-B 桿架設程序說明圖	3-15
圖 3.25 立柱 ABC 桿系統架構圖	3-16
圖 3.26 C 桿離型機電整合測試圖	3-17
圖 3.27 立柱/A/B 桿組裝圖	3-18
圖 3.28 B 桿垂降及旋轉測試圖	3-18
圖 3.29 C 桿伸縮測試 Gopro 實際取像測試圖	3-19

圖 3.30	C 桿伸縮測試_無 3 軸穩定器對比測試圖	3-19
圖 3.31	影像資料庫系統架構圖	3-21
圖 3.32	第五代行動通訊(5G)說明圖	3-23
圖 3.33	5G 基礎設施與佈建區域說明	3-24
圖 3.34	5G 通訊涵蓋範圍現況說明圖	3-25
圖 3.35	5G 遠距遙控無人機空中監控巡檢	3-26
圖 3.36	5G AIoT 即時監控產線改善生產良率	3-27
圖 3.37	深圳鰭源科技 FIFISH 水下機器人	3-28
圖 3.38	北北基橋墩沖銷及橋底面狀況檢查	3-29
圖 3.39	水下檢測功能評估說明	3-29
圖 3.40	水面上與水面尺寸及色彩差異分水圖	3-33
圖 3.41	一般鏡頭於水下介質視角差異說明	3-33
圖 3.42	一般鏡頭水下介質色散說明	3-34
圖 3.43	設計理念與需求確認(一).....	3-35
圖 3.44	設計理念與需求確認(二).....	3-36
圖 3.45	第一代 C 桿設計要點.....	3-37
圖 3.46	第一代 C 桿設計問題與追蹤(一).....	3-38
圖 3.47	第一代 C 桿設計問題與追蹤(二).....	3-39
圖 3.48	立柱原型採用手推車升降機	3-41
圖 3.49	手推車升降機改裝成果	3-41
圖 3.50	新式 A 桿(四連桿)設計概念說明圖	3-43
圖 3.51	第一代機 A 桿設計要點說明圖	3-44
圖 3.52	頂桿應力超乎預期導致變形問題說明	3-45
圖 3.53	雙頂桿設計扭斷問題說明	3-45
圖 3.54	雙頂桿無法承受運送衝擊導致齒崩問題說明	3-46

圖 3.55	B 桿原型採用工程用伸縮一字梯.....	3-48
圖 3.56	B 桿底部旋轉軸採用輕量且高剛性的中空旋轉軸架構..	3-49
圖 3.57	B 桿頂部捲揚器的 2 種失敗方案.....	3-49
圖 3.58	B 桿頂部捲揚器最終方案.....	3-50
圖 3.59	彈簧線材應用於 B 桿.....	3-52
圖 3.60	電控箱設計	3-52
圖 3.61	PLC 人機操作畫面(一)_量測操作	3-53
圖 3.62	PLC 人機操作畫面(二)_C 桿平衡重心校正	3-53
圖 3.63	PLC 人機操作畫面(三)_電機參數設定	3-53
圖 3.64	系統操作適用條件說明圖	3-54
圖 3.65	系統操作程序說明圖	3-56
圖 3.66	系統操作程序_出發前準備要項說明圖	3-56
圖 3.67	系統操作程序_車後座架設狀況	3-57
圖 3.68	系統操作程序_車頂架長度確認是否違規(一)	3-58
圖 3.69	系統操作程序_車頂架長度確認是否違規(二)	3-59
圖 3.70	系統操作程序_現場架設需先安放交通錐	3-59
圖 3.71	系統操作程序_電控上電並鎖固各部件	3-60
圖 3.72	系統操作程序_控制 A 桿舉昇跨過護欄	3-60
圖 3.73	系統操作程序_控制 B 桿垂降.....	3-61
圖 3.74	系統操作程序_C 桿旋轉 90 度開始量測	3-62
圖 4.1	臨港二號橋實際場勘圖	4-2
圖 4.2	台 61 糠榔大排實際場勘圖	4-4
圖 4.3	大同大學專家訪談照片紀錄	4-7
圖 4.4	新竹市香山客雅溪_福樹橋	4-11
圖 4.5	新竹市公道五路_公道五路橋	4-12

圖 4.6 新竹市竹美路附近_關馨大橋	4-12
圖 4.7 新竹市芎林鄉_石孔橋	4-12
圖 4.8 第一次現地實測前準備工作	4-15
圖 4.9 第一次現地實測問題與對策	4-15
圖 4.10 第二次現地實測問題與對策	4-16
圖 4.11 第三次現地實測問題與對策	4-17
圖 4.12 第四次現地實測問題與對策	4-17
圖 4.13 第四次現地實測順利取得第一批影像(一).....	4-18
圖 4.14 第四次現地實測順利取得第一批影像(二).....	4-18
圖 4.15 第五次現地實測成果	4-19
圖 5.1 線上成果推廣	5-5

表 目 錄

表 1-1 全國車行橋梁總數	1-6
表 1-2 本橋檢工具適用之車行橋梁數量統計	1-8
表 1-3 工作項目表	1-12
表 3-1 C 桿材料特性表	3-5
表 3-2 行動通訊世代演進說明表	3-23
表 3-3 IP 代碼異物防護等級說明表	3-31
表 3-4 水面下機電元件列表	3-32
表 3-5 水面上機電元件列表	3-32
表 3-6 第一代機 C 桿設計要點及規格表	3-36
表 3-7 C 桿設計檢討與改善問題追蹤表	3-38
表 3-8 第一代機立柱設計要點及規格表	3-40
表 3-9 第一代機 A 桿設計要點及規格表	3-42
表 3-10 第一代機 B 桿設計要點及規格表	3-46
表 3-11 電控系統設計要點列表	3-50
表 3-12 橋檢工具系統規格表	3-55
表 4-1 實測橋梁列表	4-11
表 4-2 橋梁實測問題及對策表	4-13
表 4-3 橋梁實測成果影片網址	4-14
表 5-1 設備改良各部元件比較表	5-2
表 5-2 研究成果推廣及技術移轉模式列表	5-4

第一章 緒論

1.1 背景分析

橋梁多為鋼構、鋼筋及混凝土組成之構造物，會隨氣候及環境因素交替而逐漸老舊劣化，需定期巡檢並適時改善，依據「車行橋梁管理資訊系統」統計資料，2023 年正常使用與維修中之車行橋梁約 23,064 座，橋梁維護管理工作有賴於各級橋梁管理單位，橋梁檢測工作是否確實，檢測品質好壞攸關民眾行的安全，因此，橋梁檢測工作執行相當關鍵。

國內車行橋梁主要由交通部公路局、高速公路局及各縣市政府負責維護管養，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「公路養護規範」及「公路橋梁檢測及補強規範」之規定，前述橋梁檢測可概分成「定期檢測」、「特別檢測」及「詳細檢測」等 3 類。其中定期檢測係為及早發現損傷情形，而定期針對橋梁實施之全面性檢測，其檢測作業方式係以徒步、搭乘橋梁檢測車或高空作業車，儘可能接近橋梁結構物後，再以目視或必要儀器檢視、判定橋梁狀況；特別檢測係於重大事故或災害發生後，為了解損傷程度及防止災害擴大而實施之不定期目視檢測；詳細檢測則是於定期檢測或特別檢測後，認為有必要時，以儀器或相關設備進行局部破壞或非破壞檢測等之檢測。

整體而言，橋梁檢測以目視為主，儀器為輔，故一般進行橋梁檢測作業時，檢測人員多係以徒步及攀爬方式，儘可能接近橋梁結構物後，再以目視判定橋梁狀況。

目前橋梁檢測實務作業，如遇較大型、高橋墩或跨河橋梁時，可利用橋梁檢測車、高空作業車或無人飛行載具...等設備或工具輔助趨近，但並非所有橋梁都適用上述之輔助工具，如遇梁底淨高狹小之跨水橋梁或感潮河段橋梁，由於橋梁座落位置、地形環境或潮汐影響等因素，

造成梁底經常與水及空氣反覆接觸，容易導致鋼筋鏽蝕膨脹、混凝土剝落，逐漸降低橋梁之承載能力與功能，如 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），其發生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。



資料來源：<https://reurl.cc/E4QRpg>

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



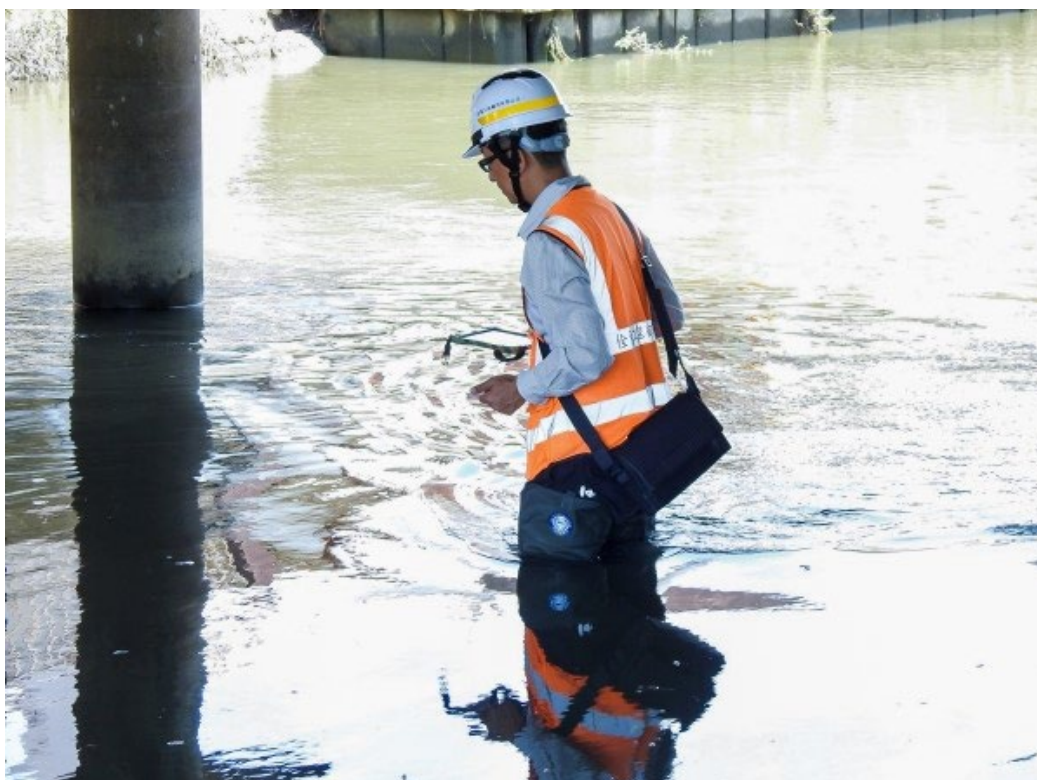
資料來源：google map

圖 1.2 鯤鯨橋橋梁底座及橋墩長期浸在河中

此類橋梁因梁底淨高不足、空間狹窄，人員、機具不易進入，檢測人員往往需要搭乘船艇(如圖 1.3 所示)，或穿著潛水裝徒步涉水(如圖 1.4 所示)，才能進入狹窄幽暗潮濕之梁底空間進行檢測，但橋梁底部往往卡附髒污及漂流垃圾，或是水生植物、雜草叢生，泥濘濕滑的環境，增加檢測人員執行橋檢工作的困難度，並導致作業風險提高。



圖 1.3 橋檢人員搭乘船艇檢測



資料來源：<https://reurl.cc/aLxGED>

圖 1.4 橋檢人員涉水檢測

爰此，為能解決橋檢實務上所面臨的問題，本所於 2019 年開始研發橋梁梁底狹小空間之檢測工具，經過前期計畫進行橋檢設備改良及功能精進，提升檢測影像及設備操作之穩定度，基本檢測功能趨近成熟穩定，並驗證此設備架構之可行性，本年度計畫於此開發基礎上進行加值應用，並規劃進行技術移轉工作，俾持續提升我國公路橋梁檢測之品質及效率。

1.2 研究目的

為能輔助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，財團法人工業技術研究院機械與機電系統研究所（以下簡稱「機械所」）於 2022 年起，與本所進行多次會議討論，並參與前期相關計畫專家座談及實地測試，以蒐集之意見為基礎進行檢討，著重於組裝操作簡便、便攜、經濟，且可施作於橋梁底狹小空間為主要設計重點，並規劃改良部分機械設計，且改使用市售成熟商品組件、零件，以替代原有設備之特規、自製或 3D 列印成形之構件，以獲得較高技術成熟度之工程化系統，使本橋檢工具能長期穩定運行，並於未來能走向商品化且易於大量生產，以利本橋檢工具具備技術移轉之基礎條件，期待未來能推廣至橋檢單位落地應用，投入第一線橋檢人員之檢測工作，改善目前橋檢人員之作業風險，並提升橋梁檢測作業之確實性及檢測效率，落實橋梁檢測管理之政策目標。

本計畫規劃結構以組裝式架構為主體的「梁底機器人檢測工具」（以下簡稱「梁底機器人」），承襲前期(111 年)計畫橋檢工具之研發經驗進行改良，如：運作性、展開性、穩定性或增加可提升檢測作業品質之功能，攝影鏡頭須確保能獲取足供 AI 辨識之清晰影像，並規劃設計能持續精進桿件伸展長度...等設備項目。本計畫透過大量的機械應力模擬分析，確保本橋檢工具能穩定伸展移動至橋梁下方拍攝足夠清晰的梁底影像，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。

依據「車行橋梁管理資訊系統」統計資料，2023 年全國車行橋梁約 23,064 座，如表 1-1 所示。

表 1-1 全國車行橋梁總數

管理機關	橋梁總數(座)
交通部	5,961
內政部	14
教育部	16
經濟部	103
文化部	0
科技部	54
農業部	34
原民會	0
退輔會	9
臺北市政府	536
基隆市政府	163
新北市政府	1,101
宜蘭縣政府	637
新竹市政府	189
新竹縣政府	848
桃園市政府	819
苗栗縣政府	1,305
臺中市政府	1,819
彰化縣政府	1,525
南投縣政府	1,497
嘉義市政府	79

嘉義縣政府	925
雲林縣政府	1,273
臺南市政府	1,706
高雄市政府	1,012
澎湖縣政府	15
屏東縣政府	1,023
臺東縣政府	307
花蓮縣政府	545
金門縣政府	29
連江縣政府	2
總計	23,064

資料來源：車行橋梁管理資訊系統

本計畫開發橋梁梁底檢測工具之目的，為輔助檢測橋梁底部狹窄近水不易進入之橋梁，而近年無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）技術發展快速，於各領域應用廣泛，亦成為新興橋梁檢測輔助工具，但其操作環境有其特性及最低安全飛行高度限制，為補足 UAV 使用上之限制，爰本計畫研發之橋檢工具設定以「最低橋下淨高 6 公尺以下」做為固定條件，又本橋檢工具目前檢測桿伸長之最大長度為 5.3 公尺，故另以「橋梁淨寬 10 公尺以內」之條件進行橋梁數量統計，以區隔本計畫研發橋檢工具之適用橋梁。依據「全國橋梁統計資訊網/車行橋梁統計資訊系統」2023 年統計資料，於最低橋下淨高小於 6 公尺，且最大淨寬小於等於 10 公尺之橋梁數量進行統計整理，如表 1-2 所示。

表1-2 本橋檢工具適用之車行橋梁數量統計

管理機關		正常使用	維修中	停用	總計
交通部	高公局	414	0	0	414
	公路局	764	5	0	769
	觀光署	0	0	0	0
	民航局	2	0	0	2
	桃園機場公司	0	0	0	0
	臺灣港務公司	6	0	0	6
縣市政府		11467	90	16	11573
內政部		5	0	0	5
教育部		3	0	0	3
經濟部		49	0	0	49
文化部		0	0	0	0
國科會		6	0	0	6
農業部		22	0	0	22
原民會		0	0	0	0
退輔會		8	0	0	8
故宮博物院		0	0	0	0
總計		12746	95	16	12857
統計條件：					
1.設施種類：橋梁(車型橋梁)					
2.使用狀態：正常使用、維修中、停用					
3.橋梁總長：大於等於 6 公尺					
4.最大淨寬：小於等於 10 公尺					
5.最低橋下淨高：小於 6 公尺					

資料來源：車行橋梁管理資訊系統

依統計資料所示，全國車行橋梁共計 23,064 座，其中最低橋下淨高小於 6 公尺，且最大淨寬小於等於 10 公尺之橋梁共 12,857 座，佔全國車行橋梁總數的 55.74%，顯示本計畫研究開發之橋梁檢測工具，有其適用性及廣泛之應用範圍，並具有高度開發價值。

1.3 計畫範圍與對象

本計畫參考前期計畫開發之最新橋檢工具，持續精進其基礎功能並進行必要之設計變更改良，以獲得較高技術成熟度之工程化系統，使橋檢工具能長期穩定運行，除了獲取足供 AI 辨識之清晰影像提升檢測作業品質以外，更具備高度智慧自動化檢測能力，提升作業效率降低橋檢人員負擔。

本計畫研發之橋檢工具系統可藉由事先規劃之自動化檢測程序，來穩定獲取大量序列且標記精準定位之清晰影像，使能順利介接本所開發之橋梁劣化 AI 辨識系統、圖像拼接系統及全景影像系統，進行影像整合、測試分析與劣化資訊回饋，提供完整直覺化之檢測成果展示，提升檢測評估品質。同時結合 5G 通訊及 AI 技術，建立可用於現場呈現劣化構件影像判釋之模組，遠程介接本所開發之橋梁劣化 AI 辨識系統，提升橋梁檢測作業之檢測效能。

本計畫研發成果將提供各公路橋梁管理機關(如交通部公路局、高速公路局、各縣市政府等)以及執行橋梁檢測工作的民間廠商使用，提升橋梁目視檢測作業之效率及品質。本計畫完成橋檢工具實地應用測試，依測試結果，調整及優化橋檢工具及相應之控制元件，最後產出本橋檢工具並編撰操作使用手冊、規劃技術移轉工作，及辦理本計畫研究成果推廣活動。

1.4 計畫架構及工作項目

1.4.1 面臨問題與需求

依據本計畫前期橋檢工具計畫報告及成果，2017 年「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」、2019 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具研發建置計畫」、2021 年「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」及 2022 年「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」等

研究，實測成果有結構變形、取像穩定性及自動化定位議題，可透過本計畫持續精進達到推廣應用之目標，對於後續將成果提供給各公路橋梁管理機關(如交通部公路局、高速公路局、各縣市政府等)實際應用與維護將有所助益。

本計畫透過會議討論，並參考前期相關計畫專家學者訪談，歸納出前期計畫可以精進提升的商轉、影像及自動化 3 大議題項目如下：

1. 商轉議題

- (1) C 桿使用魚竿輕量化及摩擦伸縮機制，建議置換其他材質及伸縮機制提升壽命及穩定性。
- (2) 設備運輸及組裝操作占用較大行車路面，建議使用連桿機構方便摺疊，提升便攜性及降低行車路面占用，提高安全性。

2. 影像議題

- (1) 限於 C 桿末端承重較低，輕量化的 CCD 及打光設備功能受限制，建議提升末端承重規格。
- (2) 拼接影像加值應用之影像數量龐大，檢測過程需專注且枯燥，建議自動化提昇橋檢人員使用意願。

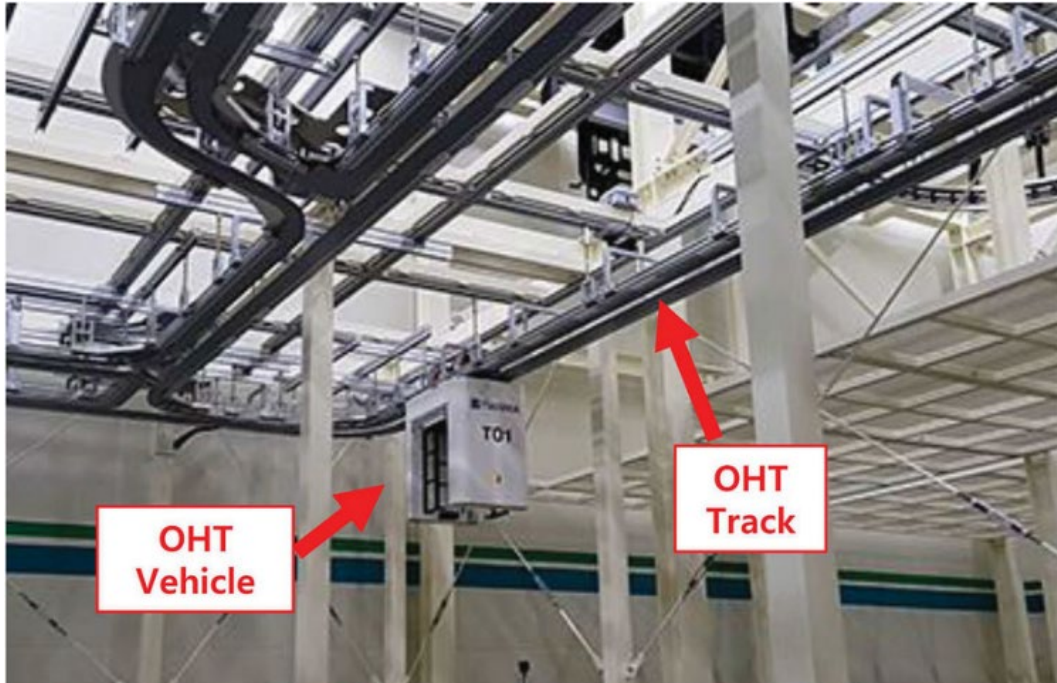
3. 自動化議題

- (1) 假設影像區域(FOV)= 0.5×0.6 平方公尺，人工穩定取像平均每次約 15 秒連續工作 8 小時，則 60 公尺長 14 公尺寬的橋梁需要 1.5 天(12 小時)完成。
- (2) 橋梁劣化 AI 辨識系統加值應用除了對影像品質有清晰度要求之外，對於劣化位置資訊也要足夠明確，確保橋檢人員能抵達並檢視相同位置。

1.4.2 解決方案

依據上述由本計畫歸納之問題及預期完成工作項目，提出之解決方案為具備 XYZ 移動能力之「梁底機器人」。其主要的機構設計概念仍參考前期橋檢工具計畫成果使用 C 型桿架構，並結合無塵室天車

(Overhead Hoist Transfer, OHT)成熟技術(如圖 1.5 所示)所組成，以利達成橋檢工具智慧自動化之目的。



資料來源：<https://reurl.cc/j3rGj1>

圖 1.5 無塵室天車(Overhead Hoist Transfer, OHT)技術

梁底機器人重要特色如下：

1. 可拆解式構件方便運輸與現場組裝，橋檢工具各拆解構件重量與尺寸，以市售休旅車能夠運送，且不造成操作人員職業傷害為原則。
2. C 桿末端將設計提高承重能力，強化加值應用及未來擴充能力。
3. C 桿末端導入任務艙概念，統一電纜線(電源與訊號線)接頭介面設計，依據使用需求快速更換不同任務艙。
4. 自動化程序陣列定位與取像，協助橋檢人員繁瑣又需長期專注之工作項目。
5. 橋檢人員於較安全區域或車內即可遠端監視與遙控，確保作業安全性並提升工作環境舒適度。
6. 橋檢過程若發現橋梁劣化問題時，具備足夠定位資訊與能力，找出相同位置進行重複檢視，以利進行後續修繕作業。

1.4.3 系統架構

本計畫依據上述設備需求，規劃設計之橋梁梁底狹小空間檢測工具系統架構如圖 1.6 所示。

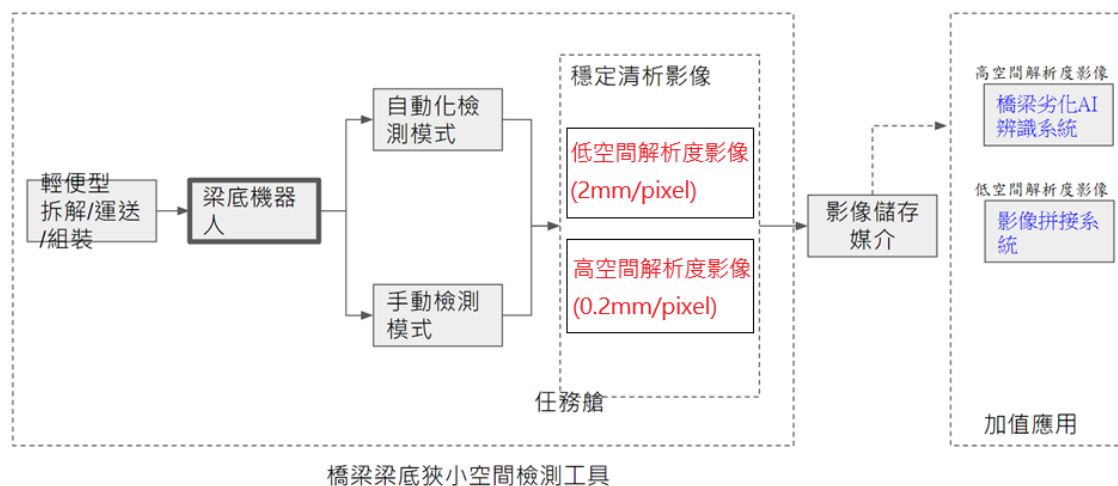


圖 1.6 橋檢工具系統架構圖

1.4.4 工作項目

本計畫研究之工作執行項目如表 1-3 所示。

表 1-3 工作項目表

項目	說明
(a)梁底機器人	1. 參考並精進前期(2022)計畫橋檢工具之運作性、展開性、穩定性或增加可提升檢測作業品質之功能，攝影鏡頭須確保能獲取足供 AI 辨識之清晰影像，並持續精進桿件伸展長度。 2. 取得之清晰影像，介接本所開發之橋梁劣化 AI 辨識系統，整合、測試並提供反饋，以利後續系統整合作業。 3. 本計畫設計之梁底機器人，具備 XYZ 移動能力，能夠將檢測工具運載至梁底下方進行量測。 4. 本計畫提升梁底延伸桿(C 桿)終端荷重能力，確保能配合本計畫不同應用需求，更換不同重量任務艙，例如全景影像設備、水下檢測超音波探測器、SLAM 及 3D 建模所需之光達等。

(b)自動控制模組	1. 結合影像拼接技術特性，探討並律定作業時橋檢工具之操作程序，以提升影像拼接之完整度。 2. 自動化取像功能，可有效減輕現場橋檢人員負擔。
(c)高精度定位與分類影像資料庫	1. 探討各類型劣化缺失種類、範圍及位置，可呈現於梁下影像，以直觀且完整之視覺展示，提升檢測評估品質。 2. 本計畫設計之梁底機器人具有 XYZ 定位資訊，任務艙則具備慣性量測單元(IMU)，可以針對每張影像及量測資訊加入定位資訊。所有資料透過分類影像資料庫進行管理。
(d)5G 遠端判釋影像加值應用	1. 運用 5G 通訊傳輸技術高速低延遲之特性，並配合本所開發之橋梁劣化 AI 辨識系統，研發可於現場呈現劣化判釋影像之加值應用。 2. 進行 5G 通訊於加值應用之可行性評估。
(e)水下檢測評估	進行水下檢測功能開發之可行性評估。
(f)技術驗證與移轉	1. 以交通部公路局及縣市政府所轄橋梁為對象，運用本計畫成果進行實地測試(至少 6 座橋梁)，並依測試結果，適時調整優化橋檢工具、控制元件及相關操作原則。 2. 完成橋檢工具使用手冊，以使用者觀點進行操作步驟及拍攝原則說明。 3. 規劃辦理本橋檢工具技術移轉作業。 4. 完成研發一套橋檢工具。
(g)效益評估及成果推廣	評估本計畫成果之實施成效、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，據以蒐集相關單位回饋之建議及意見。

1.4.5 交付項目

1. 梁底檢測工具硬體 1 套，並滿足以下規格(各構件名稱請參考 3.1 章節)：
 - (1) 具有立柱結構，可穩固站立於橋側，並具備人力移動及升降功能。

- (2) 具備 A、B 桿結構，使用電機設備控制，具備展開與收折功能並方便運送。A 桿為四連桿機構，一端連結立柱一端結合 B 桿。
- (3) C 桿(C-1、C-2、配重桿)，使用電機設備控制，具備自動伸展與自動平衡功能。C 桿長度至少可伸展至 5 公尺以上。
- 2. 任務艙硬體 1 套，並滿足以下規格：
 - (1) 攝影機 1 台，具 4K 影像功能。
 - (2) 3 軸穩定器 1 台。
 - (3) 具光源照明功能
- 3. 自動化硬體 1 套，安裝在電控箱及電機控制構件上，可讓人員進行自動化檢測操作：
 - (1) 自動控制模組硬體 1 套，並具備以下原件：
 - a. 可程式控制器 1 台
 - b. 4G/5G/wi-fi 通訊模組 1 台
 - c. 馬達及匹配的驅動器，共計 5 軸。
- 4. 橋梁梁底檢測工具使用說明書 1 份，內容包含(兼具圖示與文字敘述)：
 - (1) 檢測工具各構件簡介
 - (2) 安裝步驟說明
 - (3) 操作步驟說明與注意事項
 - (4) 維修保養與簡易故障排除
- 5. 橋梁梁底檢測工具實地應用測試報告 1 份，內容包含：
 - (1) 至少 6 座橋梁測試
 - (2) 測試過程說明與紀錄
 - (3) 測試成果與結論

第二章 文獻回顧

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，本章將前期計畫已蒐集之國內外橋檢設備、工具之相關資料做綜合整理，就常見的橋梁檢測設備進行簡要介紹，並說明前案之研究成果。

2.1 橋梁檢測設備現況

為縮短橋梁檢測作業時間，並解決橋檢人員無法接近橋梁某些特殊位置之問題，世界各國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及系統化進行橋梁檢測工作，本節就國內及國際間公開推廣且有新創公司進行應用之橋梁檢測工具進行介紹。本計畫將依照橋檢人員及其檢測工具接近橋梁方法，大致區分為：吊籃式、衍架通道式、新興科技應用之無人載具，以及使用輕便型橋梁檢測輔助設備之方式。

2.1.1 吊籃式

吊籃式檢測工具必須具備可供檢測人員穩定站立之平台、護欄、掛繩等防墜落安全措施。而依據運送吊籃至檢測地點方式不同，常見有摺疊臂式、伸縮臂橋梁檢測車等。此類橋梁檢測車伸展臂部份，具有多個自由度的摺疊使用方式，能適應多種不同結構橋梁的檢測工作，可以跨越人行道或是橋梁護欄，甚至是特殊造型的鋼構橋，也能進行檢測作業。除了橋梁的檢測作業外，也能夠替代高空作業車，可以由上往下或是由下往上做橋梁檢測，達到一機多用的目的（如圖 2.1 所示）。



資料來源：<https://reurl.cc/DoWVZ6>

(a)摺疊臂式應用於高縱深鋼構橋



資料來源：<https://bit.ly/2BNedJY>

(b)摺疊臂式應用於一般水泥橋



資料來源：交通部公路局

(c)伸縮臂於蘭陽隧道



資料來源：臺北市新工處

(d)上舉式於臺北市



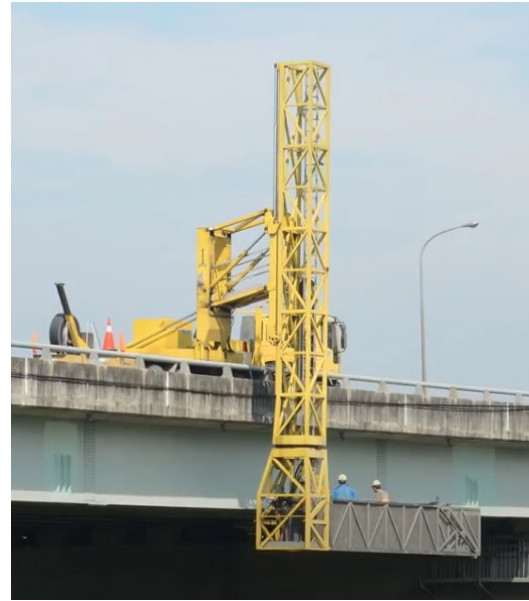
資料來源：<https://reurl.cc/m0em7j>

(e)上舉式於臺北市

圖 2.1 吊籃式橋梁檢測工具

2.1.2 衍架通道式

衍架通道式橋梁檢測工具，除了同樣具備檢測人員可穩定站立之平台、護欄、掛繩等必要防墜落安全措施以外，更具備了同時承載多人的空間。在衍架型旋臂伸展架設完成後，可連續提供不同的檢測人員進出檢測位置（如圖 2.2 所示）。



資料來源：<https://reurl.cc/r6N7bO>

(a)旋臂伸展前

(b)旋臂架設完成後

圖 2.2 桁架通道式橋梁檢測工具

桁架式橋梁檢測車的工作支臂，主要是採用桁架結構，主臂（垂直臂）是以舉升機構為主，垂直臂和伸縮臂採用的桁架結構中設有人員通道，伸縮臂即為檢測人員的工作平台，可承載多位檢測人員，同時進行檢測作業，特別適用於多車道之大型橋梁，但整機結構龐大，需要有更寬廣的作業空間，且設備價格昂貴。

除了桁架式橋梁檢測車以外，也有固定式桁架通道，例如特大橋梁（如大跨徑斜張橋或是懸索橋），因為橋梁橫斷面距離寬，無論是目前市面上任一款橋梁檢測設備均無法進行檢測，因此會在橋梁設計施工時，直接在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，利用驅動與控制系統透過固定於主梁或梁底的軌道，控制桁架移動，檢測人員透過檢修通道由橋面下行到桁架通道中進行檢測（如圖 2.3 所示）。



資料來源：<https://reurl.cc/kaGzYx>

圖 2.3 固定式桁架通道橋梁檢測工具

雖然永久型橋梁檢測設備解決了大型橋梁的檢測需求，但是設備須在橋梁設計及施工時期便同步進行規劃與安裝，且設備僅能在單一跨距內運作，1 座大型橋梁便得在各跨距中安裝 1 套永久型橋梁檢測設備，建置成本相當高。

2.1.3 無人載具

常見無人載具之橋檢工具大致分為路、海、空 3 種，陸地(包含沿著橋梁結構表面)通常稱為無人地面載具，水面或海上通常稱為無人水下載具，空中則為無人飛行載具，共同特色皆屬於遠端間接影像監控。

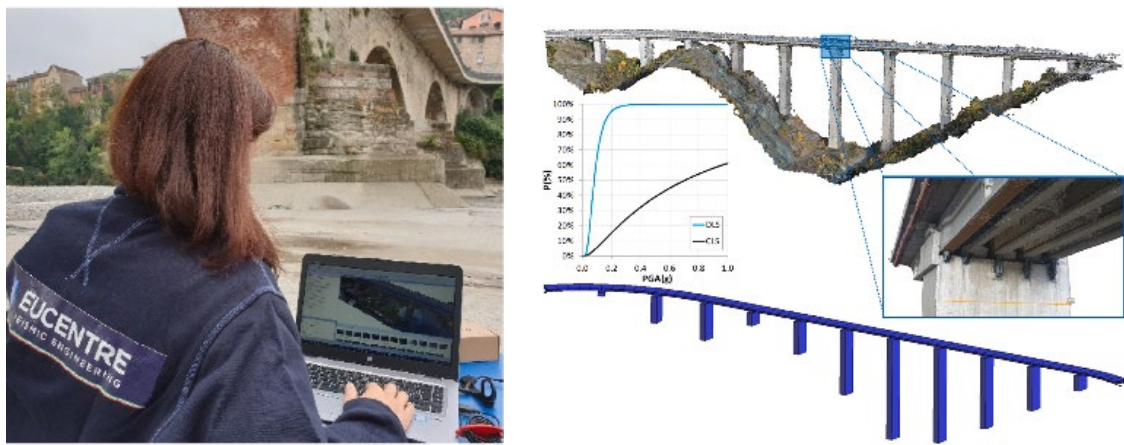
一、無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle，UAV)

或稱無人飛機系統(Unmanned Aircraft System，UAS)，俗稱無人飛機、無人機、蜂型機，廣義上為不需要駕駛員登機駕駛的各式遙控飛行器(如圖 2.4 所示)。



資料來源：<https://reurl.cc/Nyz7Wp>

(a)四旋翼飛行器



資料來源：<https://reurl.cc/Nyz7Wp>

(b)無人飛行載具遠端影像監控及橋檢之 3D 模型建圖

圖 2.4 無人飛行載具及其應用

目前 UAV 技術及運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...等，配合調查工作及 UAV 之規格，可搭載的設備包括：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、輻射偵測器等等，雖然 UAV 在使用上大受歡迎，但還是有些實務使用上的限制：

- (一)橋底淨高與空間必須足夠開闊，讓 UAV 可以穩定安全的進出橋梁底部進行拍攝。
- (二)瞬間陣風影響，有可能危害到 UAV 飛行的穩定性。儀器重量及量測設備用電通訊皆會影響整體電池續航力。

二、無人水下載具(Unmanned underwater vehicles, UUV)

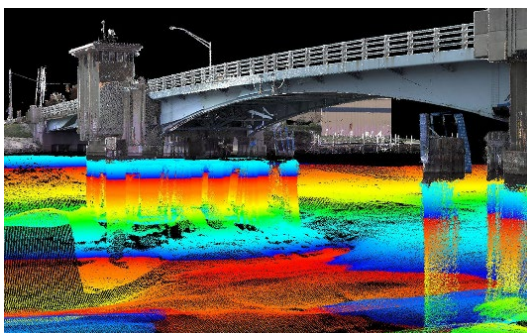
也稱無人潛航器，或稱水下無人機 (underwater drones)，泛指在水面下的無人駕駛載具，主要可分為 2 大類，一類為需要人類操作的遙控潛水器 (remotely operated underwater vehicles, ROVs)，ROV 使用 1 條包裹有銅線和光纖的繫繩與工作母船連接，操作者可即時傳遞命令給載具；另一類為沒有繫繩，可獨立依照事前的設定工作，不須人類遙控的自主水下載具 (autonomous underwater vehicles, AUVs)，而 AUV 屬於機器人的一種，目前商業上廣泛使用的是 ROV，AUV 多用於科學研究與軍事方面，常見的無人水下載具 ROV (如圖 2.5 所示)。



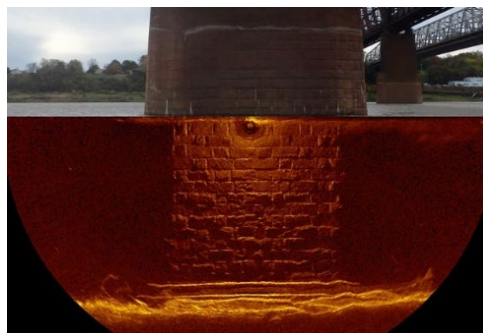
資料來源：<https://reurl.cc/a463vX>



(a)Saab Seaeye Falcon 遙控潛水器 ROV



資料來源：<https://reurl.cc/z6mVbk>



資料來源：<https://reurl.cc/Y0ZxOL>

(b)3D 光達結合水下超音波建圖 (c)水下超音波影像橋梁檢測

圖 2.5 無人水下載具及其應用

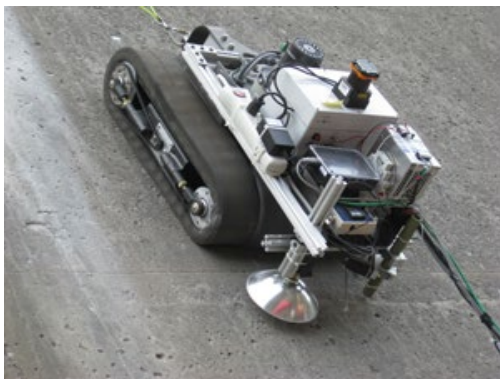
當橋底於河面過於接近時，可能無法讓無人飛行器及一般船舶進入檢測，此時遙控潛艇 ROV 或許是一種理想的作法，但使用遙控潛艇可能會有定位不良、水下障礙物不易掌控、需有足夠水深等問題，因此

要實際應用在橋梁檢測作業中，仍有一定的難度。

三、無人地面載具（Unmanned ground vehicle，UGV）

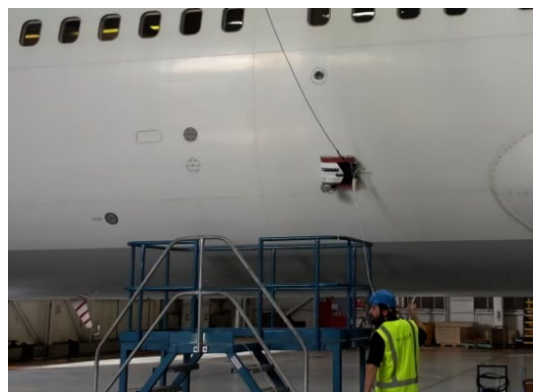
無人地面載具由於發展歷史相當悠久，應用的範圍也最為廣泛，因此針對不同的場域、功能或運作方式通常也有其獨立的名稱，常見的有鐵軌導引載具(Rail guided vehicle，RGV)、自動導引載具(Automated guided vehicle，AGV)及自主移動機器人(Automated mobile robot，AMR)。

可應用於橋梁檢測的無人地面載具通常必須具備攀爬能力，常被獨立稱為攀爬機器人(Climbing robot)，較成熟常見的技術原理是真空吸附、電磁鐵吸附及鋼索攀附，其中真空吸附通常需要光滑平整的表面；電磁鐵吸附必須在鋼鐵結構上才能運行；鋼索攀附則常見於電塔或斜張橋，上述限制往往導致其應用範圍非常受限(如圖 2.6 所示)。



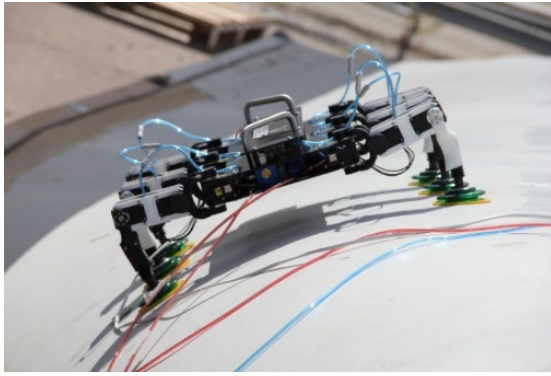
資料來源：<https://reurl.cc/a463EQ>

(a)真空腔+高密度泡棉履帶載具，應用於平整水壩之水泥表面檢測

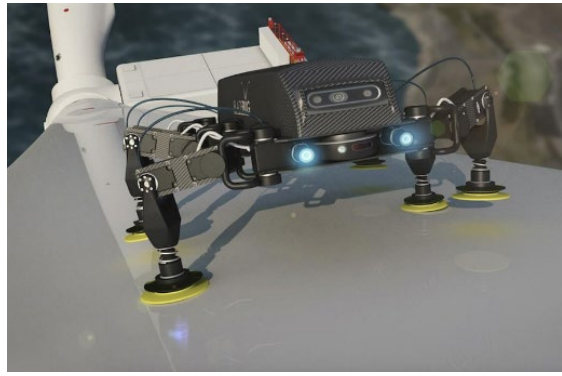


資料來源：<https://reurl.cc/6QA8Yk>

(b)真空吸盤+履帶型載具，應用於平整的客機表面檢測

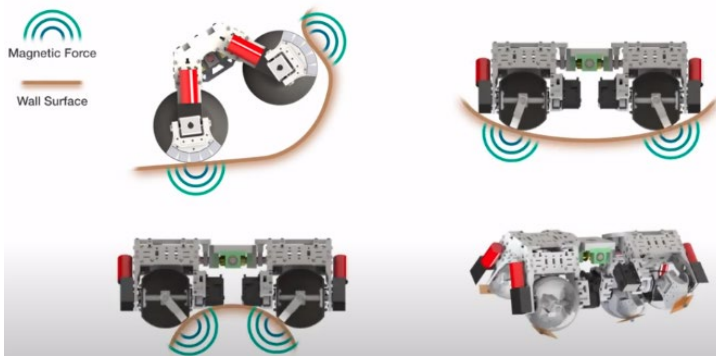


資料來源：<https://reurl.cc/QZ8Ml2>

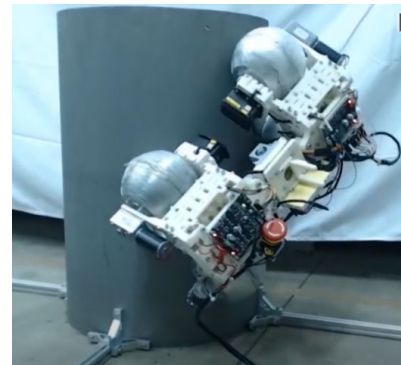


資料來源：<https://reurl.cc/GKM1Yd>

(c)真空吸盤+多足型載具，應用於風力發電葉片爬行維修與檢測



資料來源：<https://reurl.cc/8N1kM4>



(d)電磁鐵吸附型載具，應用於不同曲面的鋼構牆面



資料來源：<https://reurl.cc/jvbAEm>



(e)鋼索攀附型載具，沿著高壓電塔電線之間穿梭

圖 2.6 無人地面載具及其應用

2.1.4 輕便型橋梁檢測輔助設備

橋檢實務上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，如同前一小節介紹應用興科技無人載具，代替人員趨近目視方式，是以工具或載具搭載影像拍攝設備，

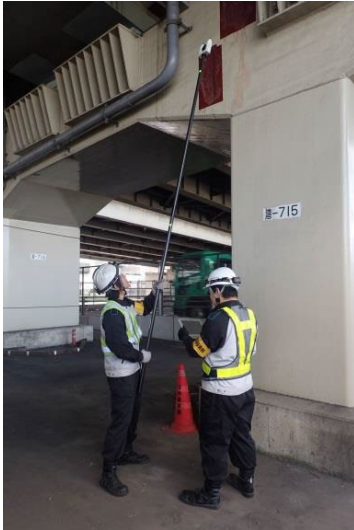
盡可能的將鏡頭接近待測的橋梁構件。在無人載具等新興科技發展之前，傳統上就是利用 1 根長型的桿件，將鏡頭固定在尾端，以人工手持或是將固定在橋梁護欄上，將橋梁構件影像拍攝回傳給橋梁檢測人員。如日本「首都高技術株式會社」輕量級立桿檢測設備，作業長度可達 8 公尺，且鏡頭旁配備 LED 可提供輔助照明，拍攝到的影像即時顯示在平板電腦中(如圖 2.7 所示)。



(a)一節式長桿檢測設備



(b) 鏡頭、照明及顯示設備



資料來源：<https://reurl.cc/4W2KmX>

(c)以長桿輔助檢測作業

(d)以平板檢視即時回傳影像

圖 2.7 日本「首都高技術株式會社」輕量級立桿檢測設備

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)為固定式的檢測設備，可安裝於橋梁護欄上向下垂降對多 4.5 公尺，或是透過支撐架往上延伸最多 10.5 公尺進行檢測。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 2.8 所示)



*1 Windows 是 Microsoft Corporation 在美國和其他國家的註冊商標或商標。

資料來源：<https://reurl.cc/1Gr6YG>

圖 2.8 固定型長桿檢測設備

國內也有自行組立研發之長桿檢測設備，尾端搭配不同的攝影設備，即可輔助進行橋梁檢測作業，為了有更好的檢測視野，通常會搭配 1 節橫桿，方便檢測人員進行更詳細的查看，但由於都是靠人力雙手持握，當橫桿越長時所造成的扭力力矩越大時，操作負荷也會大幅增加，而有其延伸長度之侷限，因此，橫桿長度通常不超過 1 公尺(如圖 2.9 所示)。



(a)健行科大組立之長桿設備 (b)公路局洛韶段自行組立的長桿設備

圖 2.9 國內自行組立研發之長桿檢測設備

2.2 本計畫前期橋梁檢測設備之研發成果

本計畫延續 2022 年「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」之成果，已驗證推車型以 C 行桿件組立之架構，透過各桿件之開展、旋轉及伸縮，可輔助人員進入狹小之空間，穩定地將拍攝設備深入橋梁底部，拍攝清晰之橋梁底部及橋梁構件之清晰影像，即時回送至橋上之顯視設備，供檢測人員檢視橋梁底部狀況。

2.2.1 推車型橋梁檢測設備架構

推車型橋梁檢測設備以鋁擠型管進行組立，載具寬度為 80 公分、長度 90 公分、高度 100 公分，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，基座側面則可固定各類控制器及線路，推車頂部則可放置操作控制面板，推車有 1 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。(如圖 2.10 所示)

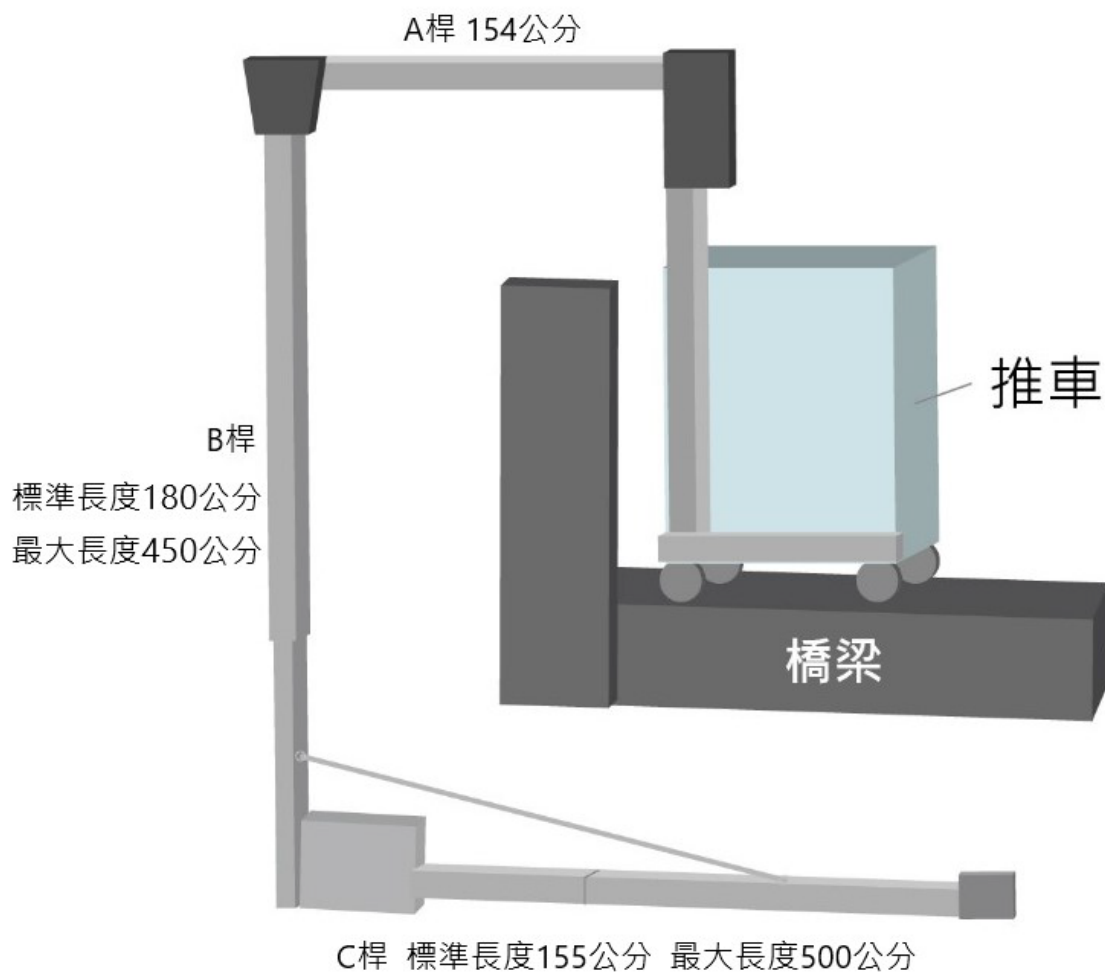


圖 2.10 本計畫前期研發之推車型檢測設備

2.2.2 檢測桿

前期計畫使用結構較輕之長形釣竿做為檢測桿本體，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，檢測桿淨重 2,500 公克，安裝設計採用預傾角方式略向上伸出，減少整體下垂量。(如圖 2.11 所示)

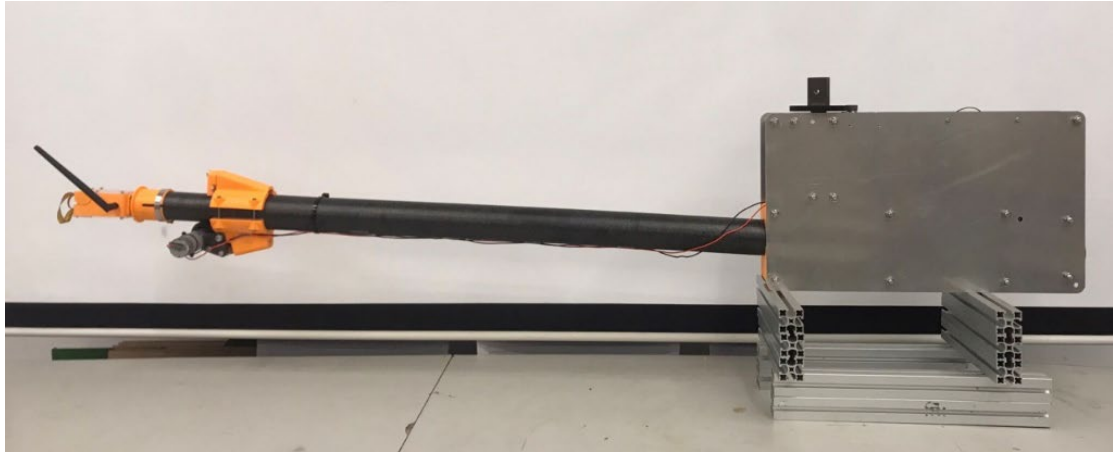


圖 2.11 本計畫前期研發之檢測桿模組總承

桿件以磨擦輪形式推送驅動檢測桿伸長，安裝於末端以橡皮磨擦輪轉動方式推送，並有限制裝置可控制套節依次推出。檢測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確保不會卡死，同時可藉此引線定位精確的伸長距離，整體結構以 3D 列印製造，經實地測試，伸長至 5 公尺後會產生推力不足之現象及回收裝置引線會斷裂的問題。整體構造如圖 2.12 所示

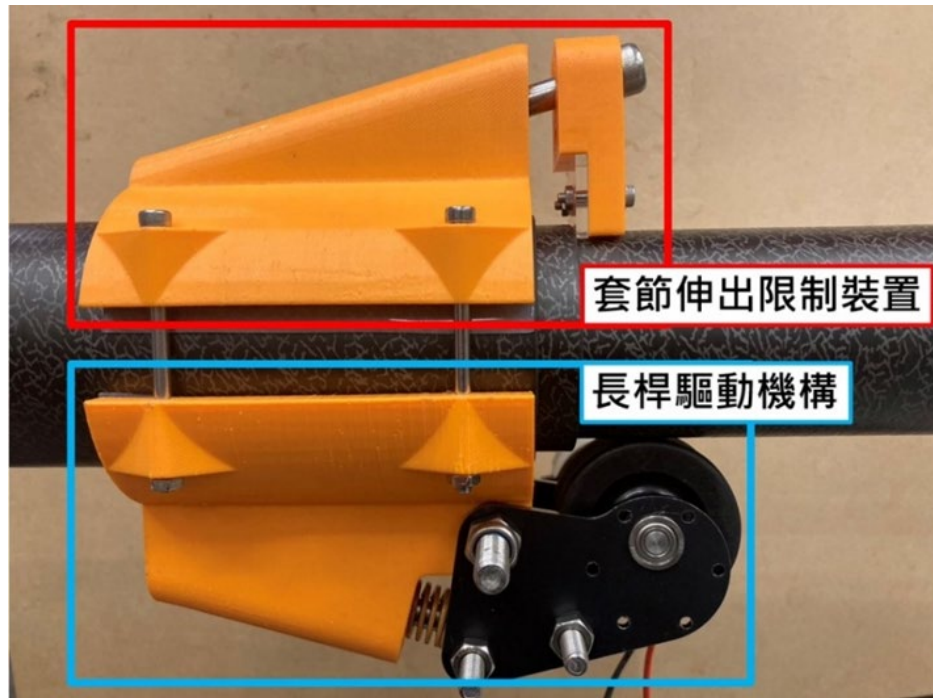


圖 2.12 本計畫前期研發之檢測桿推送構件

2.2.3 桿前端攝影裝置

檢測桿前端裝置包含補光模組、穩定器、轉向模組及攝影模組總重 550 公克，上方以壓克力罩包覆，達到防水效果，照明模組補足梁底拍攝光線不足的問題，電源採用模組化電池安裝在檢測桿內部，支持末端模組運作至少 1 小時。攝影模組使用樹梅派 PI cam(800 萬畫素)攝影、通訊方面則使用外置天線的 Wi-Fi 連接，增加傳送影像時的效率，雙軸轉向平台可控制雲台的偏轉角度，或保持水平朝上拍攝。(如圖 2.13 所示)。

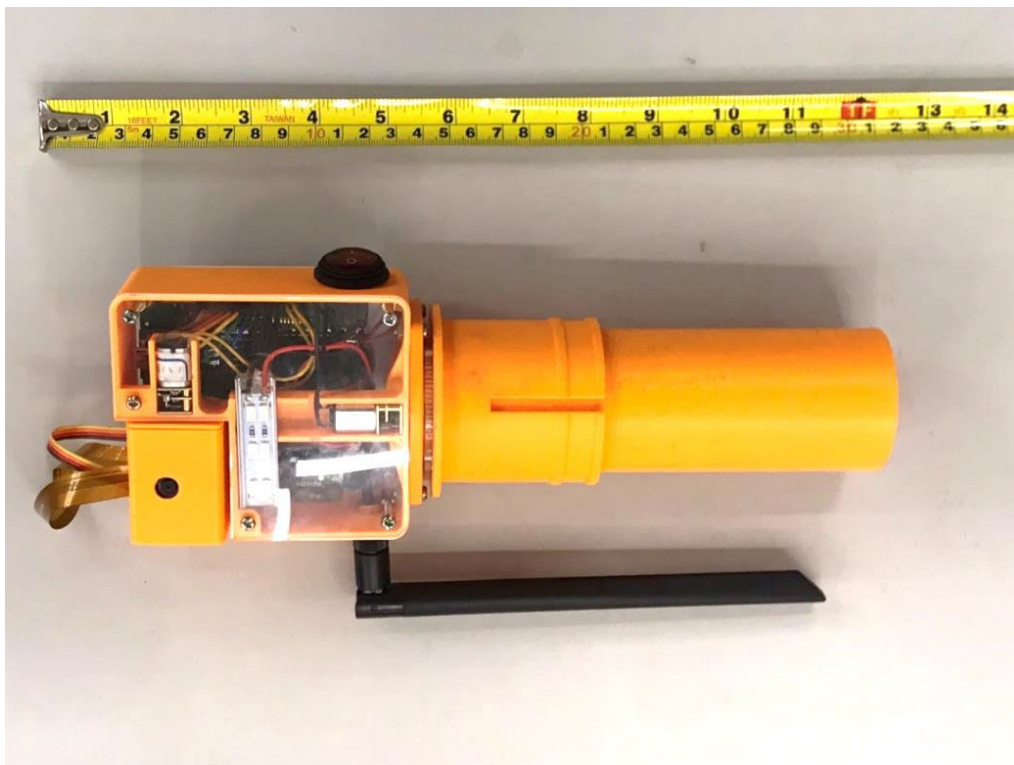


圖 2.13 本計畫前期研發之桿前攝影裝置

2.3 技術移轉

本所每年持續推動各項研究計畫，每年產出之研究成果，除做為研擬國內交通相關政策參考外，亦具有產業利用價值，本計畫研究成果預計將研發產出 1 套橋梁檢測工具，提供橋梁檢測實務單位應用，後續推廣應用應如何進行，亦為本計畫應預先規劃研擬之範疇。本節列出有關技術移轉相關的鼓勵措施及配合事項，供本計畫技術移轉執行遵循，以推廣研發成果。

2.3.1 法令依據

依據交通部科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法總說明（106.08.08 訂定）》科學技術基本法（以下簡稱本法）第六條第一項除對於政府補助、委辦或出資進行科學技術研究發展所獲得智慧財產權

與成果之歸屬作明確性規範外，並以特別立法之方式，排除國有財產法之適用，不再侷限於「政府出資，國家必須享有所有權」之觀念，使政府補助、委辦或出資進行科技研發所獲得之智慧財產權與成果得以被廣泛運用。

交通部為有效管理及推廣補助、委託或出資之科學技術研究發展計畫所衍生研發成果，落實研發成果管理及運用之監督及考核，並擴展研發成果之運用範圍，以提升研發成果運用效能，爰依本法第六條第三項規定：「...；各主管機關並得訂定相關法規命令施行之。」，擬具「交通部科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法」

2.3.2 研發成果授權推廣契約書

「研發成果授權推廣契約書」係為依據本所研究發展成果歸屬及運用辦法所草擬之契約書，其內容係規範本所與執行單位的權利及義務。研發成果歸屬於研究機構的合約架構，如圖 2.14 研發成果管理運用執行流程圖中路徑 2 所示，即經由契約約定，研發成果可附條件讓與研究機構執行管理及運用。

本所與執行單位約定如有下列各款情形之一者，本所得在研發成果下放後，要求執行單位將研發成果授權他人實施，或於必要時將研發成果收歸國有：

一、研發成果之所有權人或其受讓人或專屬被授權人，於合理期間無正當理由未有效運用研發成果，且第三人曾於該期間內以合理之商業條件，請求執行單位授權仍不能達成協議。

二、研發成果之所有權人或其受讓人或專屬被授權人，以妨礙環境保護、公共安全或公共衛生之方式實施研發成果者。

三、為增進國家重大利益者。

不管是事先認定之國有研發成果或是後續因以上因素收回之國有

研發成果，其管理及運用不能依據圖 2.14 的流程路徑 2 將研發成果下放，故在本所研究發展成果歸屬及運用辦法(草案)中，規範對於國有研發成果管理運用的方式有 2 種：第一，得基於效益原則，以信託或其他適當之方式交由研究機構管理及運用；第二，得基於研究機構之意願及效益考量，依政府採購法之規定，採委託、授權或其他適當之方式，選任專業之智慧財產權服務機構或第三人擔任執行單位，以管理及運用研發成果。有關管理及運用之一切權利義務，則應以書面契約約定之。

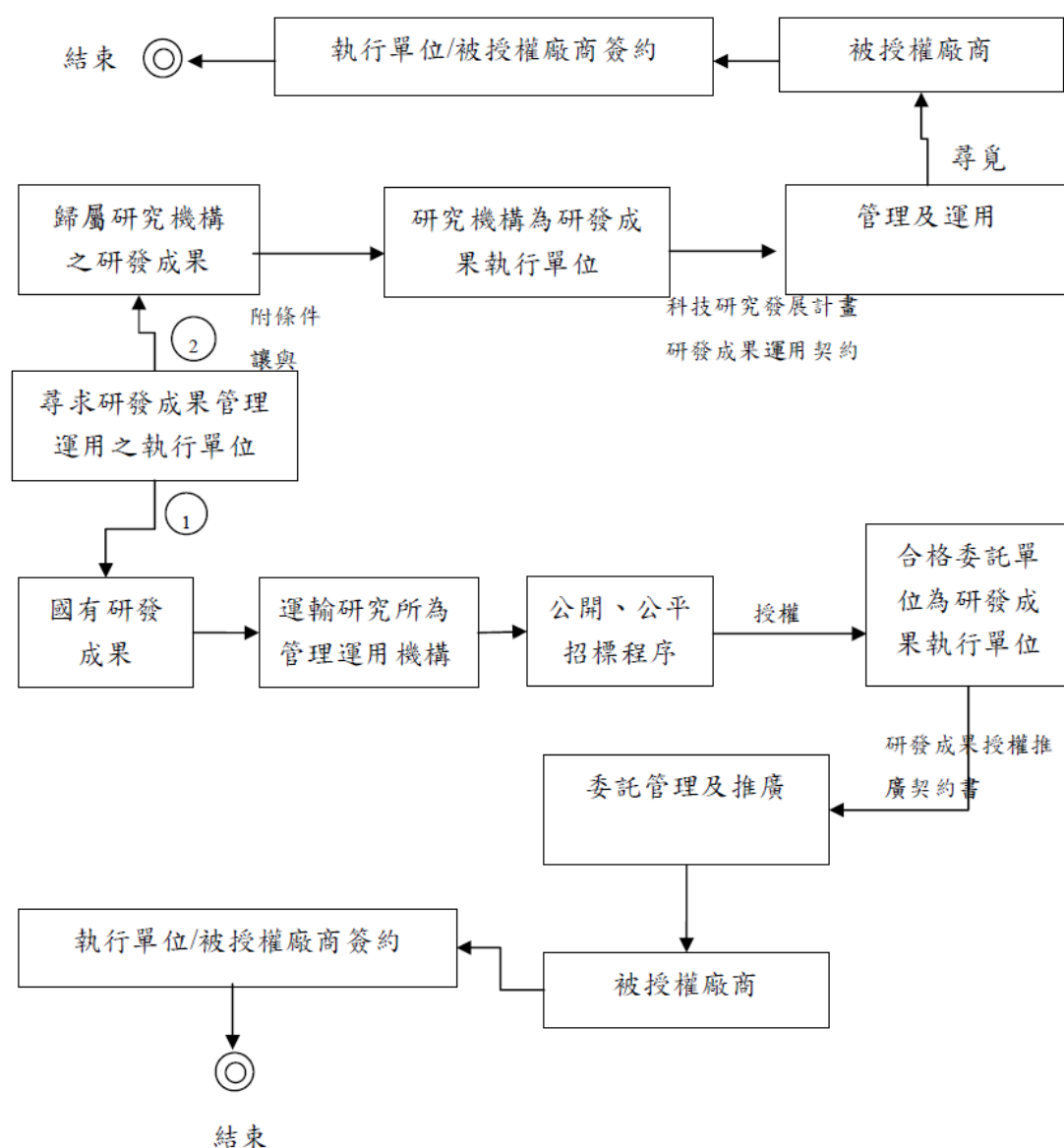


圖 2.14 研究成果管理運用執行流程圖

本所可依據圖 2.14 的流程路徑 1 將國有研發成果，依據採購法的公平、公開程序，篩選合格廠商管理及運用研發成果。有關執行單位的資格規定，在本所研究發展成果歸屬及運用辦法(草案)中，提出執行單位應具備下列制度：第一，研發成果管理制度，第二，技術移轉制度，第三，研發成果之會計及稽核制度。

以公開、公平招標程序篩選出的執行廠商，原則上應進行研發成果的再授權、權利維護、訴訟與推廣，但不包含自行實施研發成果。若執行單位欲進行研發成果之修改、製造或產品銷售時，本契約開放執行單位與本所協議，但本所與執行單位雙方應依協議結論修正契約之研發成果收入繳交比例。詳細的契約內容草案如附錄。

第三章 設計成果

3.1 梁底機器人(測試用雛形機)設計與機電測試

梁底機器人為本計畫關鍵技術，為橋檢工具最重要的移動載具，其中又以梁底延長桿(C 桿)為關鍵核心，因此，本計畫特別在工作流程中將梁底延長桿(C 桿)設計開發與測試獨立出來。

3.1.1 期初 C 桿鋁擠型極限測試及雛形設計

本計畫參考前案成果，確認 C 桿設計為本計畫成敗關鍵，而在計畫前期對於高荷重鋁擠型長懸臂的理解，只能透過靜力模擬分析其變形，如圖 3.1 所示。模擬分析圖顯示，3 段桿件組合成 10 公尺長，高荷重鋁擠型長桿，在沒有張力索支撐下，於尾端負載 2 公斤重物，變形位移約 20 公分。

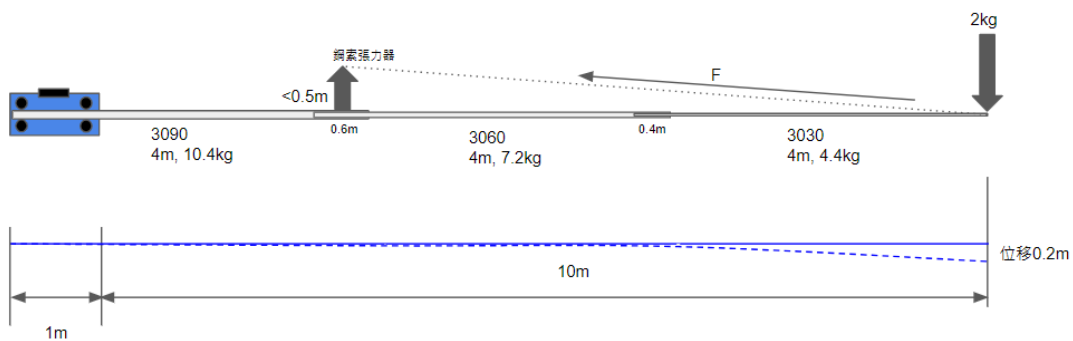


圖 3.1 長懸臂(10 公尺)變形量模擬分析圖

期初先針對 C 桿進行 10 公尺長懸臂變形量實際測試，如圖 3.2 所示，測試未荷重、未加張力索情境，發現 2 項問題如下：

1. 變形量遠超過模擬結果

經量測尾端變形位移最高達 40 公分，遠超過模擬分析之預期，仔細檢視發現，未截斷之連續材料本身變形量與模擬成果近似，但於截斷

銜接處，容易因為自身重量之高扭矩而產生非預期變形，而造成尾端變形位移遠超過模擬分析之結果。



圖 3.2 長懸臂(10 公尺)變形量實測圖

2.動態震盪超過 10 秒

由於受自身重量影響，桿件刻意搖晃後，持續震盪 10 秒以上才會漸趨靜止，此為靜態模擬無法發現之問題。

為解決自身重量造成下垂變形問題，本計畫於 10 公尺長 C 桿(高荷重鋁擠型)上方加入 50 公分高張力器(如圖 3.3 所示)，可調整下垂變形量小於 10 公分。但調整張力過程中發現，C 桿會因張力之影響固定往左或右彎曲變形，此亦為靜態模擬未發現之現象。



圖 3.3 上方張力索實測圖

後續改成左右張力鋼索架構(如圖 3.4 所示)，於 2 公斤荷重時，尾端變形量可維持上下左右小於 10 公分，但連接鋼索掛環彎曲變形，量測後發現其單邊的鋼索張力高達 20 多公斤，實驗後得知此設計於鋼索同步收放之同時，必須克服複雜的高張力，以維持桿件不變形。



圖 3.4 改裝左右張力索實測圖

透過上述測試發現，4 公尺以內的高荷重鋁擠型並不容易變形，發生非預期變形原因，主要是伸縮銜接處局部承受高扭矩而永久變形異常，因此本計畫雛型機伸縮構件，不使用前案套管方式，而改用高負載低摩擦軸承設計，確保該銜接處在高扭矩應力下，可維持滑順以利控制伸縮，如圖 3.5、圖 3.6 所示。



圖 3.5 模組化 C 桿滑輪組設計圖

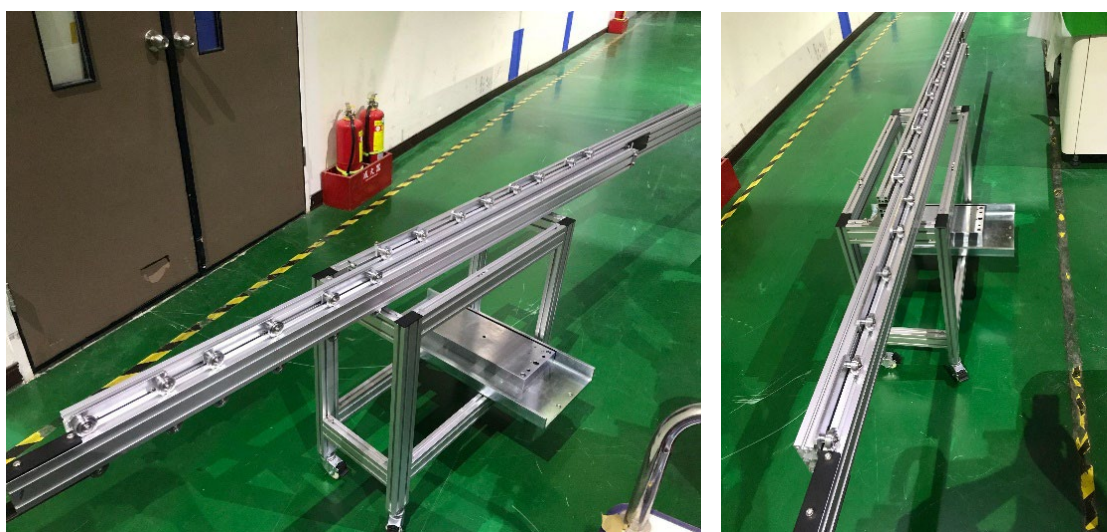


圖 3.6 高荷重鋁擠型 C 桿滑輪組裝測試圖

經過實驗證實該滑輪構件，於自身總重 25 公斤且尾端加掛 2 公斤重物時，於 10 公尺長懸臂測試下，仍能維持滑順運作。該雛形測試滑輪構件，使用多組 6 公釐厚之中碳鋼板材，確保其不變形。

滑輪構件為模組化設計，每組長 15 公分，重量約 1.1 公斤，主支點使用了 2 組滑輪模組，2 組間距可調整產生足夠長之力臂，避免局部承受過大應力，造成滑輪軸心變形。

3.1.2 超輕量 C 桿材質選用

透過上述一系列超長懸臂極限測試，本計畫檢討歸納後，認為本橋檢工具桿件若使用高荷重鋁擠型材質，將產生 2 個主要問題，可能降低橋檢人員使用之意願：

1. 自身重量及配重，造成可攜式操作不便。
2. 高張力同步鋼索複雜，容易故障不易維修。

因此本計畫認定超高張力同步伸縮捲揚器之研發不可行，將研發重點轉向超輕量 C 桿材質之選用，並於停車場出入口常見之柵欄長桿獲得靈感，如圖 3.7 所示。



圖 3.7 超輕量 C 桿材質靈感示意圖

該長桿為八角形鋁擠型，約 4 公尺長，管壁厚約 0.8 公釐，長時間上下揮動無變形與震盪不止之現象，估計適合本計畫橋檢工具使用，依據此觀察，本計畫蒐集各種可能材料進行測試，彙整出材料特性比較如表 3-1 所示，管材重量實測結果如圖 3.8 所示。

表 3-1 C 桿材料特性表

材料	缺點	優點
鋁擠型(一般高荷重)	自身重量高，4 公尺以上懸臂易變形。可攜性及操作性低。	強度足夠，容易採購。
鋁擠型(橢圓平管)	短邊及管壁強度弱。主要為中國製，採購交期較長。	自身重量低，6 公尺懸臂變形小於 2 公分。可攜性及操作性高。

鋁擠型(方管、矩形管、八角形)	短邊及管壁強度弱。主要為中國製，但國內有現貨，採購容易。	自身重量低，6公尺懸臂變形小於2公分。可攜性及操作性高。
碳纖維管	柔韌强度高，剛性不足。6公尺長懸臂變形量非常明顯。價格昂貴採購不易。	自身重量低，可攜性及操作性極高。
不鏽鋼方管	自身重量極高，4公尺以上懸臂易變形。可攜性及操作性極低。	強度剛性足夠，非常容易採購。

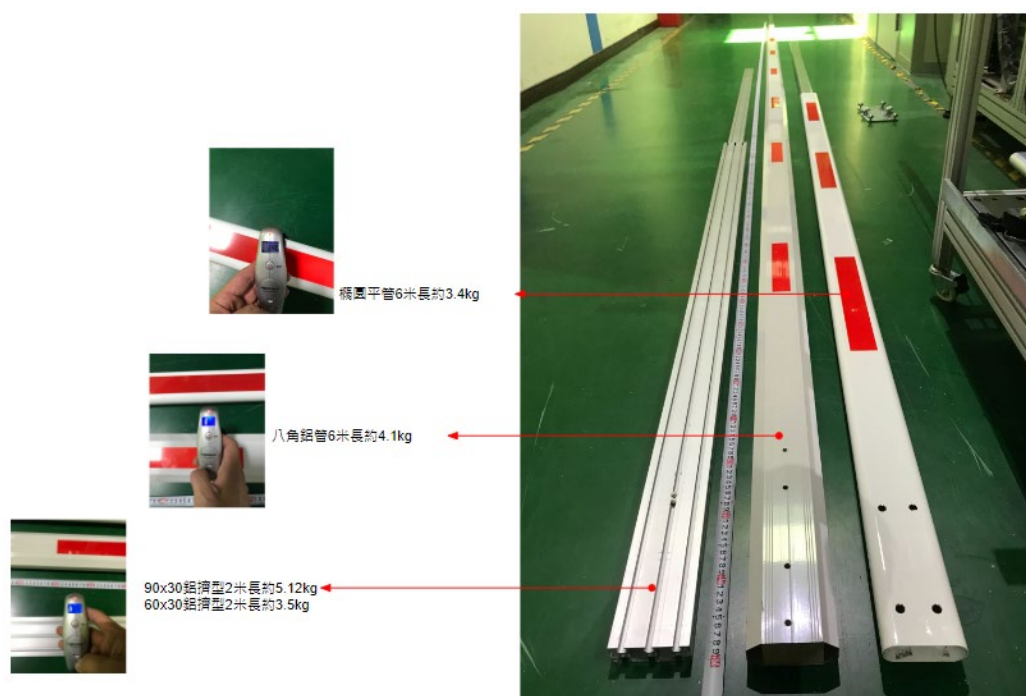


圖 3.8 C 桿材質重量實測圖

依據材料測試結論，本計畫選用鋁擠型橢圓平管及鋁擠型八角管(如圖 3.9 所示)，2 者強度及重量皆理想，但考量到短邊管壁會直接承受滑輪應力，因此橢圓平管的圓弧造型，比八角管的平面更適合本計畫橋檢工具使用。

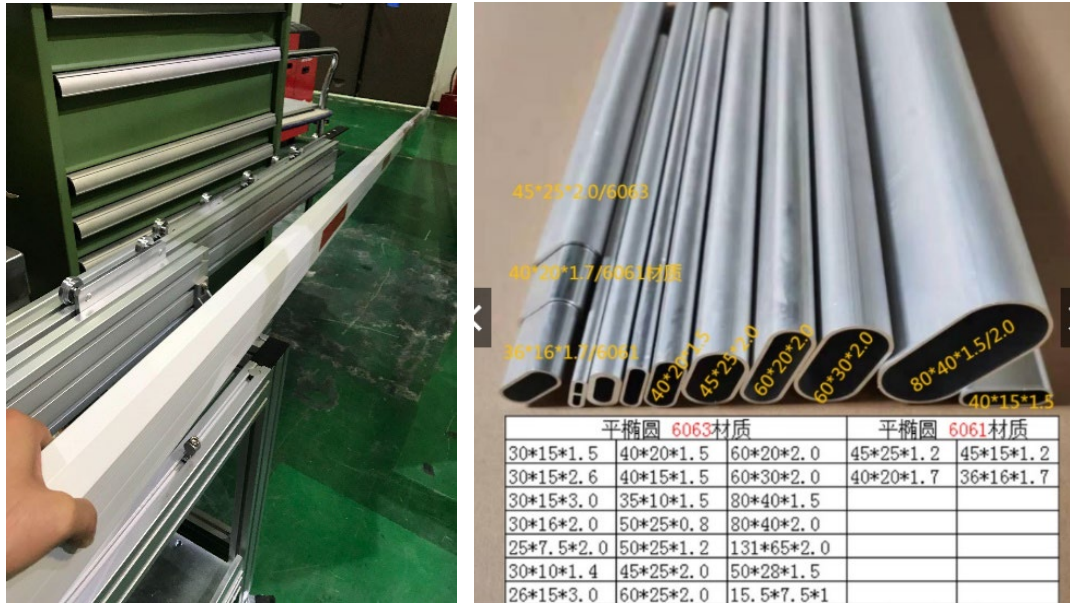


圖 3.9 鋁擠型橢圓平管及鋁擠型八角管選用圖

3.1.3 繩排伸縮滑輪關鍵模組設計

本計畫初期，規劃於 C 桿每一處伸縮銜接處(滑輪組)，使用 1 組電機與齒條，而每 1 組 42 步進馬達電機重量約 0.65 公斤，1 公尺長齒條(中碳鋼材質)重量約為 0.6 公斤，對於 C 桿整體重量過重，不利於輕量化之設計，如圖 3.10 所示。



圖 3.10 電機與齒條齒元件示意圖

本計畫參考起重機吊臂伸縮原理(如圖 3.11 及圖 3.12)，使用鋼索繩排及滑輪組做為伸縮設計，可有效減少電機數量與齒條重量，以達輕量化之目的。

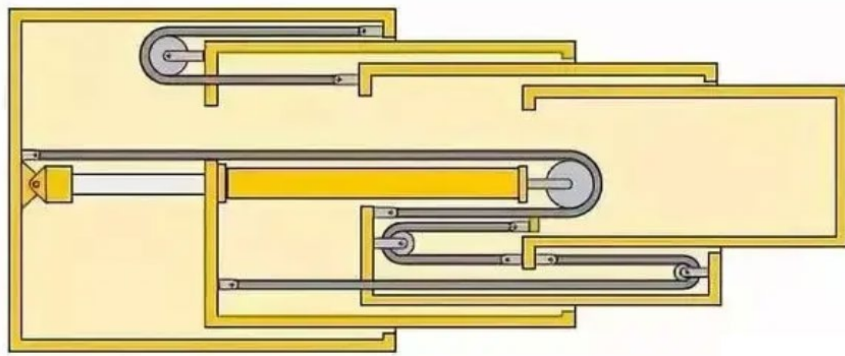


圖 3.11 起重機吊臂伸縮原理圖(一)

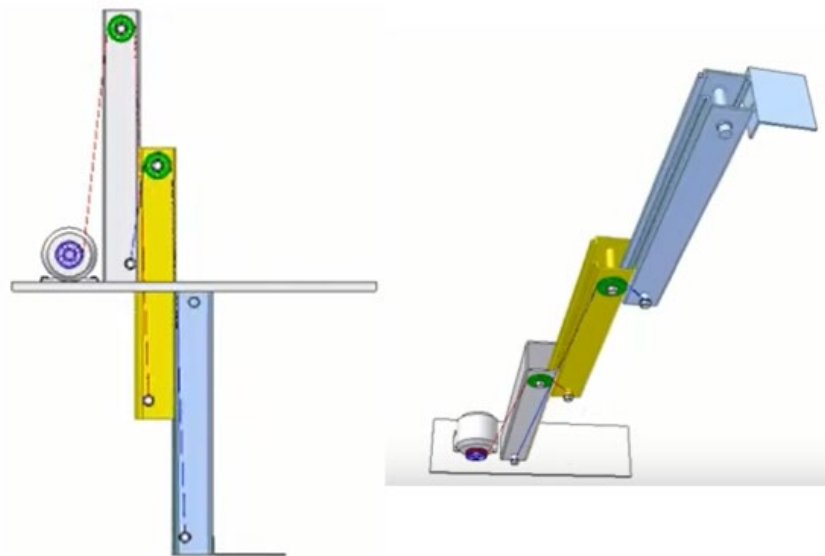


圖 3.12 起重機吊臂伸縮原理圖(二)

本計畫設計之 C 桿伸縮原理如圖 3.13 所示，虛線位置為 C 桿固定支點，亦為 C 桿最核心之滑輪排組，裝有 1 組電機馬達及齒排做為 C 桿伸縮之動力來源，其餘桿件透過鋼索繩排、滑輪與彈簧進行同步伸縮。

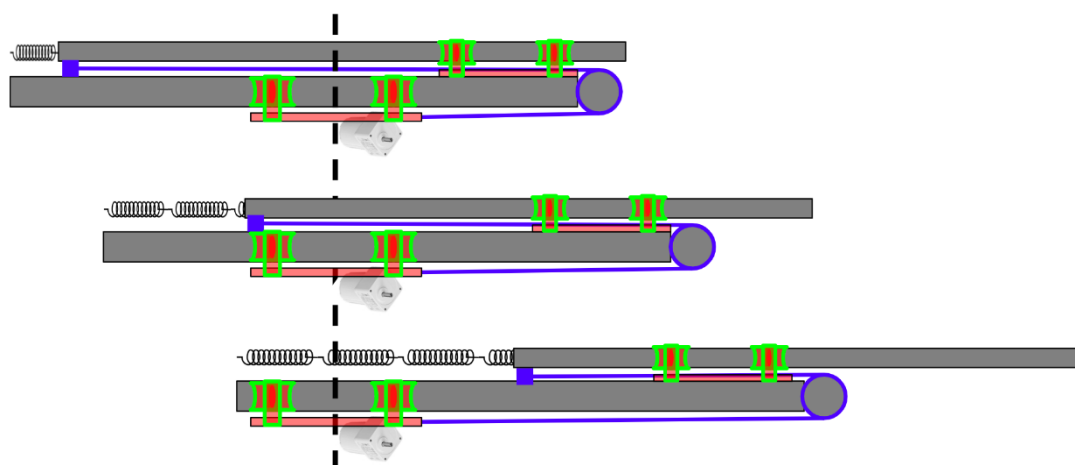


圖 3.13 工研院設計 C 桿伸縮原理圖

3.1.4 專業攝影三軸穩定器應用

上述 C 桿設計及測試皆設定尾端荷重為 2 公斤，因此任務艙(包含三軸穩定器及 Gopro 攝影機，如圖 3.14)總重為 0.93 公斤，符合設定重量，而任務艙之操作系統架構如圖 3.15 所示。



圖 3.14 三軸穩定器及 Gopro 攝影機

[Gopro + 三軸穩定器] & [Gopro Quik App + iPad or iPhone]



圖 3.15 任務艙系統架構圖

本計畫 C 桿末端之拍攝模組，取消前期計畫以 3D 列印外殼電路板及鏡頭元件製作組裝之攝影模組，改以使用市售現成之三軸穩定器及運動型攝影機(Gopro)，做為本計畫之攝影任務艙系統，除能有效解決桿件震動搖晃之影像、確保攝影鏡頭之穩定度，避免影像失真之情形，且市售商品化之成熟設備，更有利於後續更換前端任務艙設備，擴大本橋檢工具之功能及應用範疇。

選用三軸穩定器及運動攝影機作為影像系統架構，主要因若桿件垂直度不足，無法維持正確的垂直角度將產生透視失真(Perspective Distortion)，可能造成影像特徵變形，影響影像拼貼之成果，而 C 桿伸縮中長度不同，將產生彎曲程度不同，假設攝影鏡頭與橋面底板拍攝距離 100 公分，則每 10deg 垂直度變化會產生 17 公分影像位移，如圖 3.16 所示。

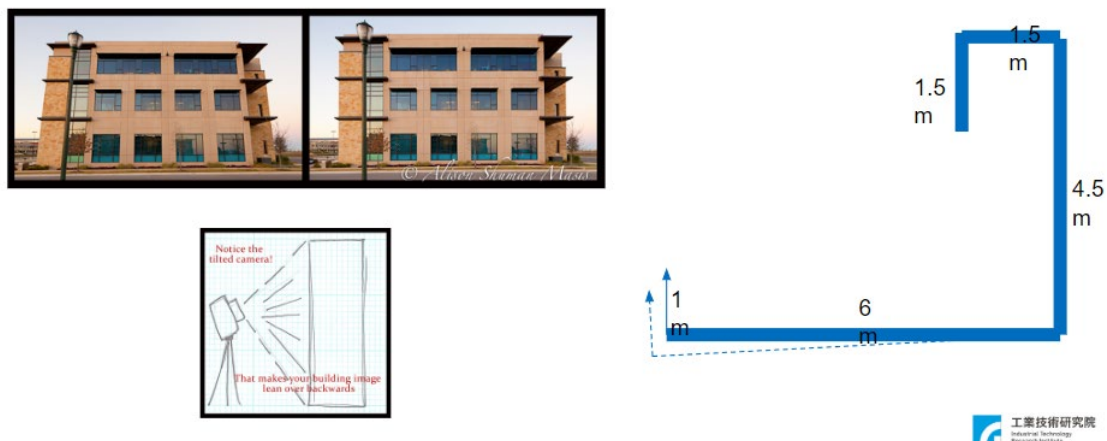


圖 3.16 三軸穩定器特性探討

三軸穩定器結合 Gopro 之任務艙組合，已通過雛形 C 桿動態伸縮與刻意搖晃情境下之攝影測試(如圖 3.17 所示)，於影片中隨機擷取 1 張圖可發現，其影像品質仍清晰(如圖 3.18 所示)，經過驗證此任務艙組合搭配，適用於本計畫橋檢工具之操作需求。

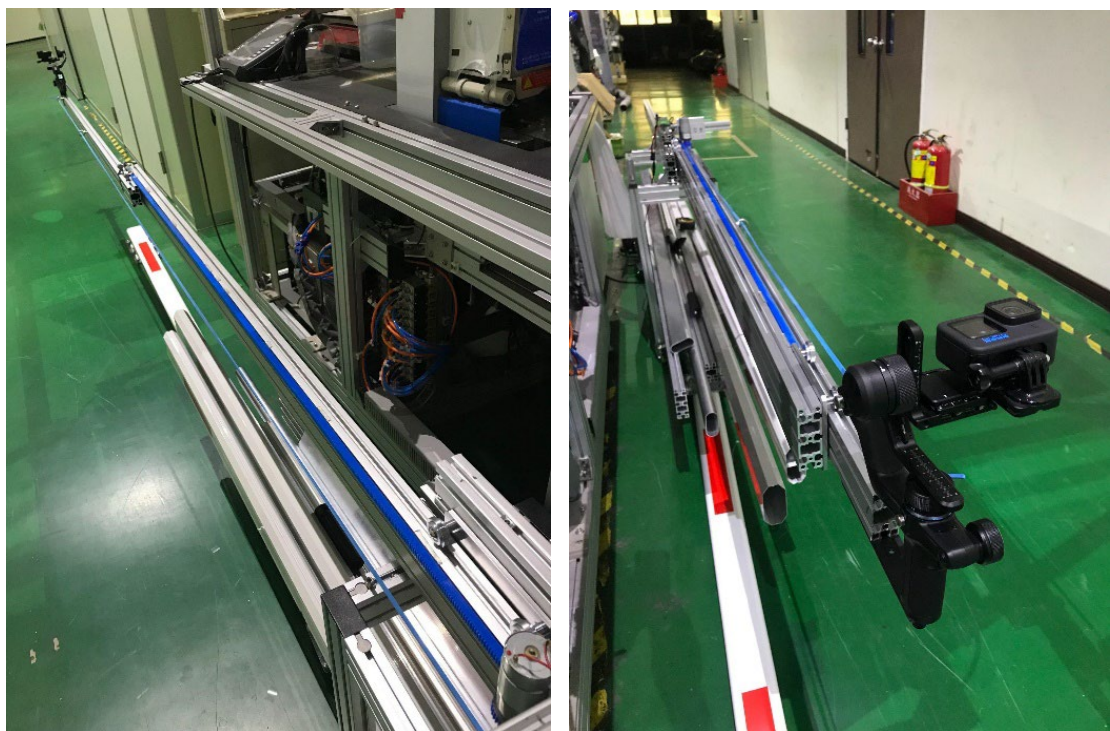


圖 3.17 雛形 C 桿動態伸縮與刻意搖晃情境



圖 3.18 擷取動態影像圖仍維持清晰

Gopro 在 0.6 公尺拍攝距離下，可取得 1 公尺平方影像，可清楚辨識捲尺上 1 公釐刻度(如圖 3.19 所示)，關於拼貼影像及 AI 判定瑕疵之加值功能所需之影像品質，將於第四章 4.4 節成功大學專家訪談內容中說明。

Gopro11功能及影像測試

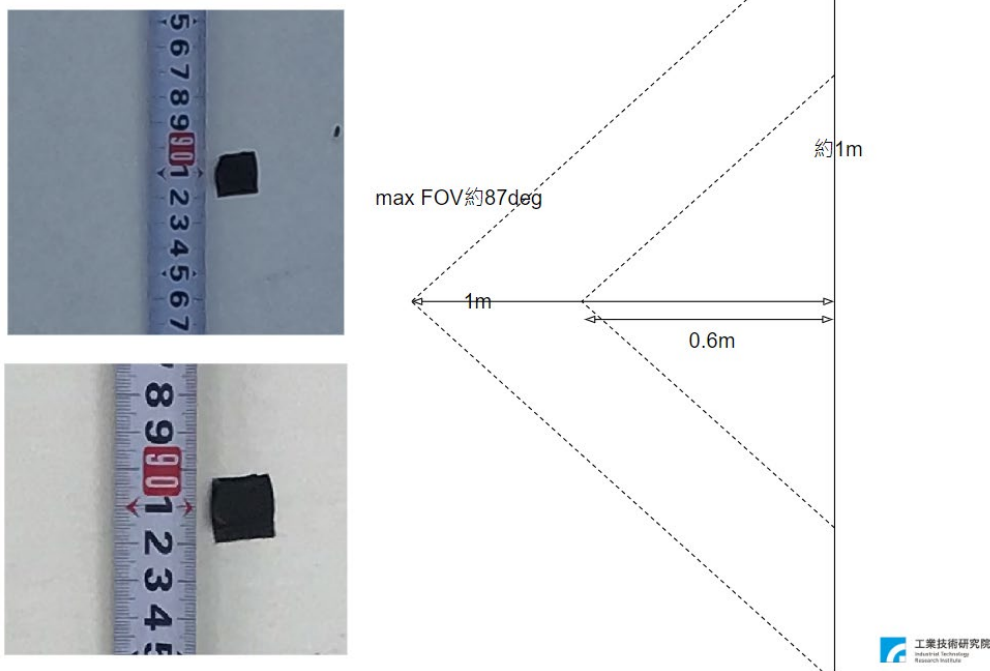


圖 3.19 Gopro 影像擷取特性測試

3.1.5 測試用雛形機立柱-A 桿-B 桿設計

本計畫定義之立柱 A 桿 B 桿如圖 3.20 所示：

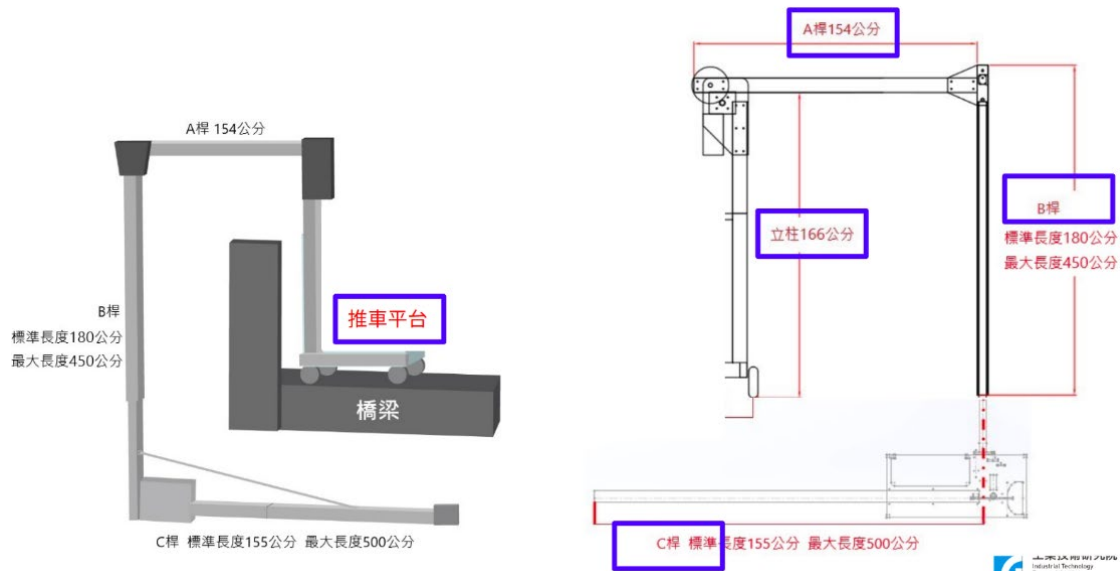


圖 3.20 桿件名稱定義圖(尺寸皆參考前案非計畫成果)

本計畫初期提出之原始設計如圖 3.21 所示，本規劃由 2 組立柱及 A 桿 B 桿共同搭起一條軌道，該軌道為 C 桿自動化量測之平移用途，此設計的優點是平移軌道在橋墩下，不容易受到橋面地形影響，但依過去計畫研究成果及橋檢實務經驗發現，若執行橋檢時，2 組立柱之間有路燈或標誌牌，則會出現干涉，造成操作困難。

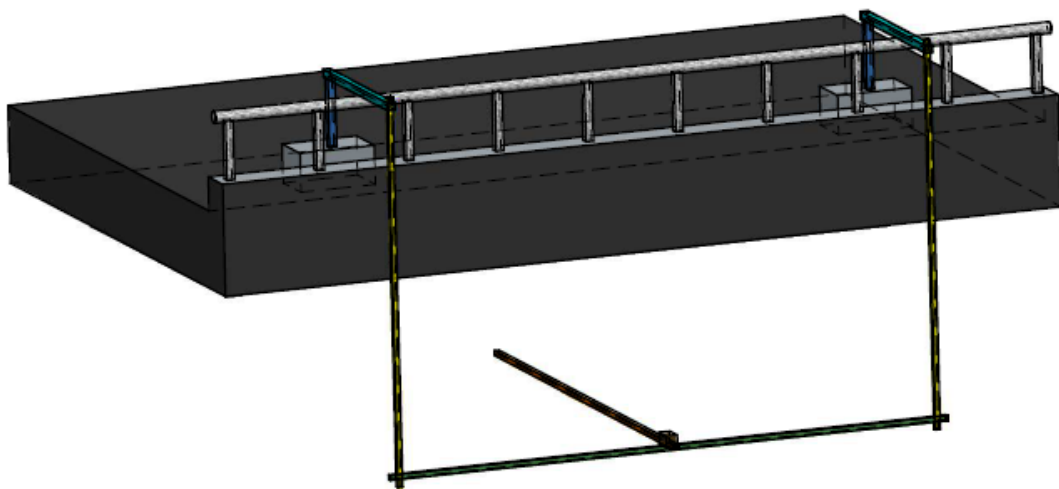


圖 3.21 原立柱 ABC 桿架構設計(期初原始規劃非結案成果)

因此本計畫於 112 年 4 月 17 日工作會議中決議，在不影響計畫書預定之自動化量測需求下，將橫向平移軌道移往橋面，如圖 3.22 所示。



圖 3.22 參考前案設計將軌道移往橋面(已設計變更)

新設計之立柱、A 桿、B 桿設計尺寸及操作架設程序如圖 3.23、圖 3.24、圖 3.25 所示：

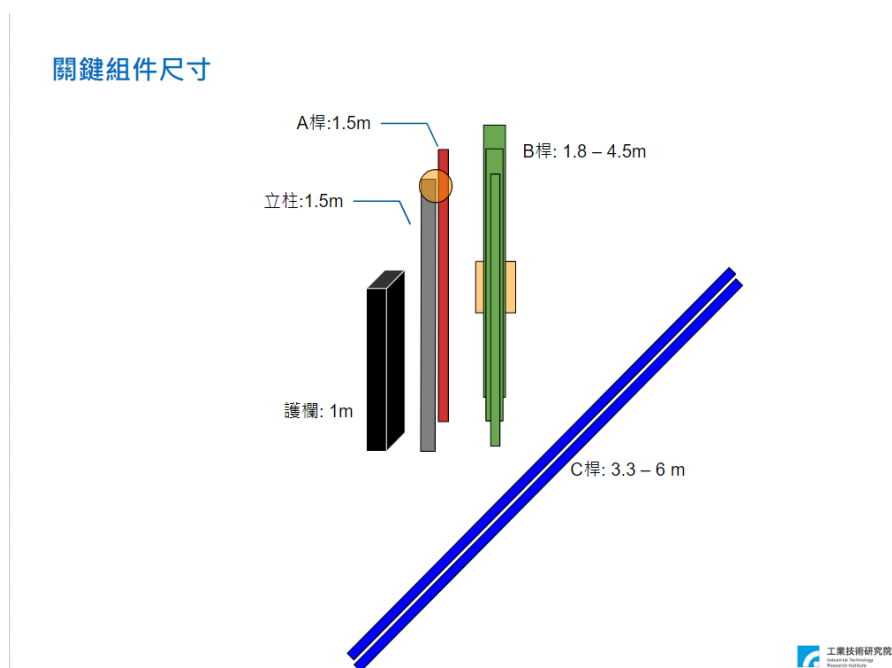
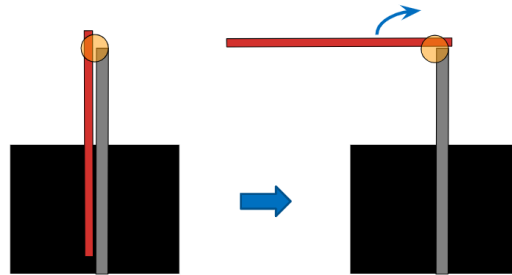


圖 3.23 立柱-A 桿-B 桿關鍵尺寸圖(期初雛型規劃非結案成果)

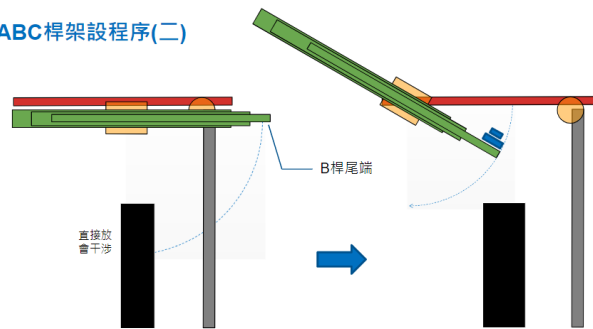
ABC桿架設程序(一)



1. A桿可舉起，鎖固後與立柱維持穩固的90度
2. 立柱可旋轉90度跨過護欄或收回

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

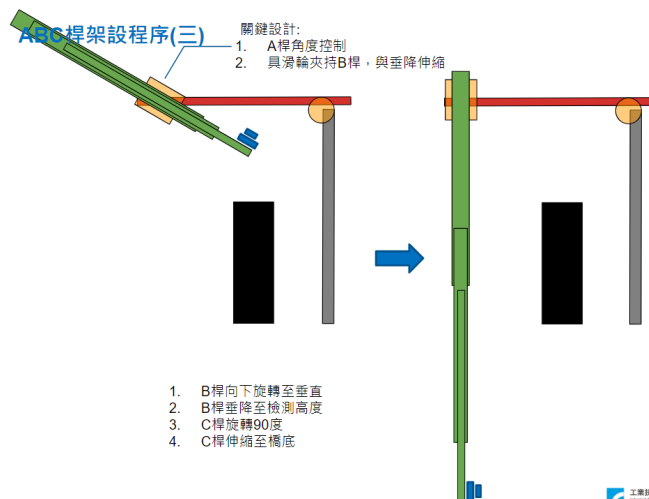
ABC桿架設程序(二)



1. 跨過護欄前，將B桿推到A桿尾端鎖固
2. 立柱旋轉90度跨過護欄，B桿尾端仍在護欄內側
3. 將3.3米長C桿重心掛上B桿尾端

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

ABC桿架設程序(三)



1. B桿向下旋轉至垂直
2. B桿垂降至檢測高度
3. C桿旋轉90度
4. C桿伸縮至欄底

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

圖 3.24 立柱-A 桿-B 桿架設程序說明圖

(期初雛型規劃非結案成果)



圖 3.25 立柱 ABC 桿系統架構圖(測試用雛形機)

3.1.6 測試用雛型機實測成果

依上述之架構研發產出之測試用雛型機之測試成果，包含機電整合測試、架構組裝測試、B 桿垂降及旋轉測試、C 桿伸縮測試 Gopro 實際取像測試及 C 桿伸縮測試，如圖 3.26 至圖 3.30 所示。

C桿伸縮電機測試(鋁擠雛形機)

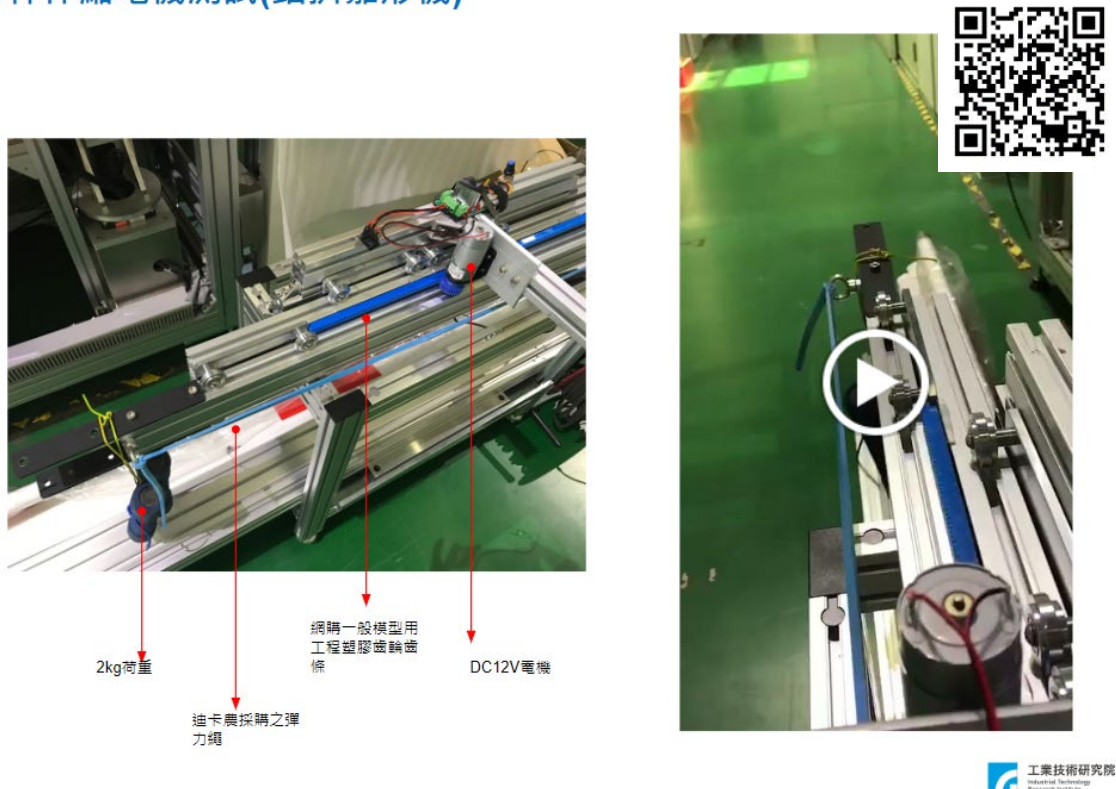


圖 3.26 測試影片連結：<https://reurl.cc/5O7Qqz>

圖 3.26 C 桿雛型機電整合測試圖



圖 3.27 立柱/A/B 桿組裝圖

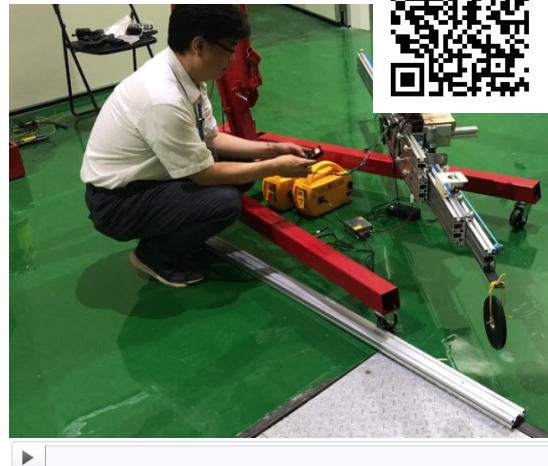
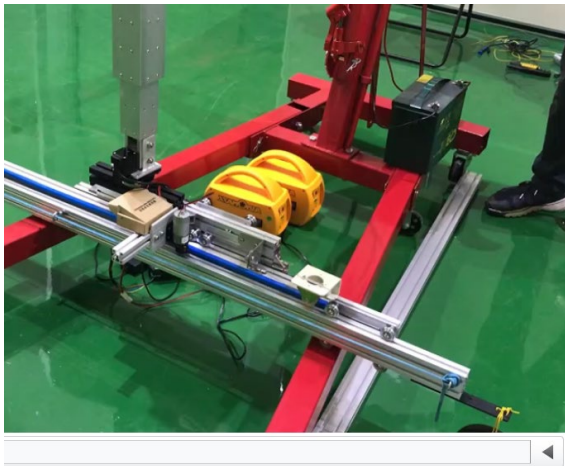


圖 3.28 測試影片連結：<https://reurl.cc/DoN73O>

圖 3.28 B 桿垂降及旋轉測試圖



圖 3.29 測試影片連結：1.C 桿伸縮測試+Gopro 影像模組 <https://reurl.cc/K3y5ep>
2.Gopro 實測影像 <https://reurl.cc/r6z23Z>

圖 3.29 C 桿伸縮測試 Gopro 實際取像測試圖

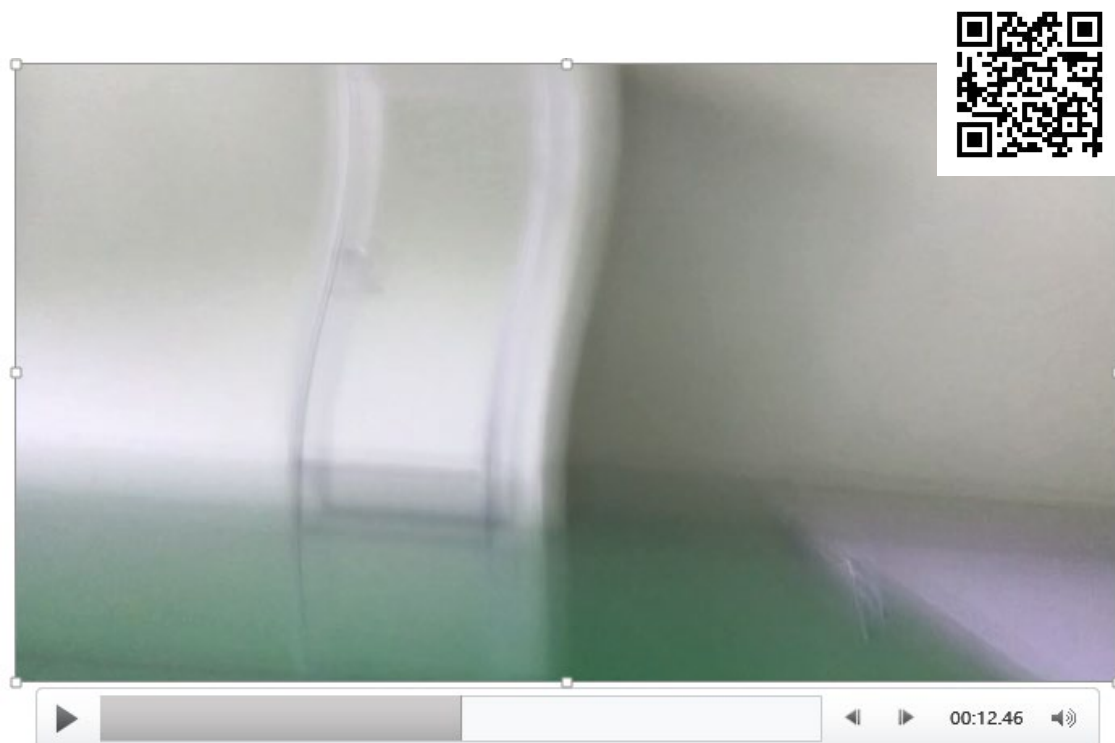


圖 3.30 測試影片連結：<https://reurl.cc/nLQ2Y1>

圖 3.30 C 桿伸縮測試_無 3 軸穩定器對比測試圖

3.2 影像資料庫系統架構

本計畫透過與成功大學專家訪談，討論關於影像資料庫系統架構，是否能符合後續影像介接應用？訪談結果表示：本計畫之影像介接應用並無即時性，因此資料庫系統不一定需要 4G/5G，只要能傳遞大量影像檔案的方式都可(完整之訪談內容於第四章 4.4 節)。本計畫最終決議不使用影像資料庫系統，原因如下：

1. 5G 訊號非常容易受到障礙物干擾，NCC 公布之訊號涵蓋範圍與研發團隊在橋梁附近實測結果不符，找不到 5G 訊號或自動切回 4G 訊號的次數偏高。
2. 影像專家訪談內容提到，影像加值應用所需之影像處理時間通常超過 5G 傳輸影像時間，5G 通訊並無必要性。
3. 影像專家訪談內容提到，可透過任何影像儲存媒介匯入影像加值系統即可，現場操作完全不需要影像資料庫系統。

本計畫原規劃之影像資料庫架構如圖 3.31 所示，考量攝影機通訊傳輸功能較弱，直接使用無線傳輸時有訊號延遲的現象，將採用線材傳輸(USB-C)的方式把資料傳至電腦裝置，再使用影像擷取軟體進行電腦 Local 端儲存，影像擷取軟體預計使用 Open Broadcaster Software (OBS)，一個自由開源跨平台串流媒體和錄影程式，產出影像資料在電腦 Local 端儲存時也利用網路無線傳輸同步儲存在網路儲存伺服器(Network Attached Storage, NAS)上。

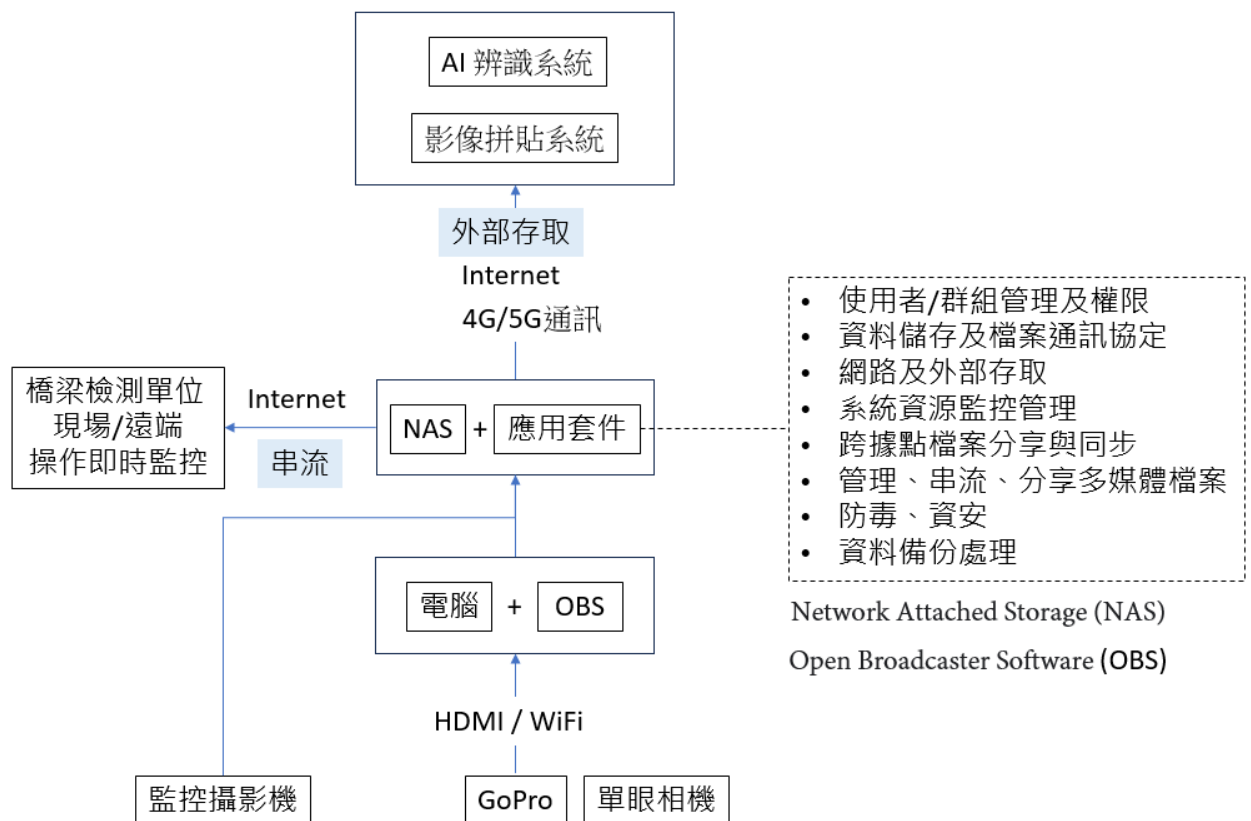


圖 3.31 影像資料庫系統架構圖

NAS 為一種專為資料儲存和檔案共享而設計的系統，它提供了一個網路環境中的集中式儲存解決方案，透過連接到網路，多個用戶可以同時存取 NAS 上的檔案和資料夾，使團隊合作變得更有效率，無論用戶身處何地都可以輕鬆地分享和同步檔案。此外，NAS 也可以設置不同的用戶權限和存取控制，確保檔案的安全性和隱私。

另外，許多 NAS 系統支援獨立磁碟冗餘陣列(Redundant Array of Independent Disks, RAID)技術，它將多個硬碟組合成一個邏輯單元，提供故障容忍性和資料冗餘，即使其中一個硬碟發生故障，系統仍然可以保護檔案和資料，並且可以自動重建故障硬碟上的資料。

NAS 具有資料備份和復原功能，可以使用 NAS 作為備份中心，自動備份所有連接到網路的設備（例如電腦、手機等）上的檔案，這功能提供了一個安全的方式來保護重要資料，並在必要時可以輕鬆進行資料復原。NAS 亦可支援多媒體串流，可以將 NAS 作為媒體伺服器，儲

存和串流音樂、影片和照片等多媒體檔案到連接的設備上，NAS 內影像資料架構將依後製處理單位需求而進行適當的轉檔與分類，目前暫時規劃為 MP4 格式並保存 GPS 資訊與時間標籤。

利用 NAS 系統內可安裝各種應用套件的優勢，除了可以安全地儲存影像資料並妥善分類管理，亦可以讓橋檢執行單位透過此系統進行遠端監控現場橋檢影像，並讓影像後製處理單位進行遠端存取影像資料，以進行橋檢影像拼貼與 AI 瑕疵檢測等後續任務，而未來若有需要，也可再依任務需求，擴增或彈性客製開發 NAS 的應用功能，與開放新的外部存取權限。

3.3 5G 影像增值應用

本計畫初期先透過 5G 特性調查及 NCC 提供之臺灣 5G 基礎建設與涵蓋範圍資料，評估本計畫橋檢工具可以有效利用 5G 設備提升影像相關增值應用，然而期中實際進行 5G 訊號測試及影像專家提供之會議結論(完整之訪談內容於第四章 4.4 節)，本案最終評估不推薦使用 5G 進行影像增值應用，原因如下：

1. 5G 訊號非常容易受到障礙物干擾，NCC 公布之訊號涵蓋範圍與研發團隊在橋梁附近實測結果不符，找不到 5G 訊號或自動切回 4G 訊號的次數偏高。
2. 影像專家訪談內容提到，影像增值應用所需之影像處理時間通常超過 5G 傳輸影像時間，5G 通訊並無必要性。

3.3.1 5G 簡介

第五代行動通訊(5G)的特性說明如圖 3.32，行動通訊世代演進及發展如表 3-2 說明。

- 大頻寬：
支援10Gbps 以上的資料傳輸率與超大傳輸容量



- 低延遲：
資料傳輸延遲 < 1 毫秒 (ms)



- 大連結：
支援每平方公里100 萬個以上的節點



[Source] <https://www.scimonth.com.tw/archives/4130>

圖 3.32 第五代行動通訊(5G)說明圖

行動通訊世代的演進：

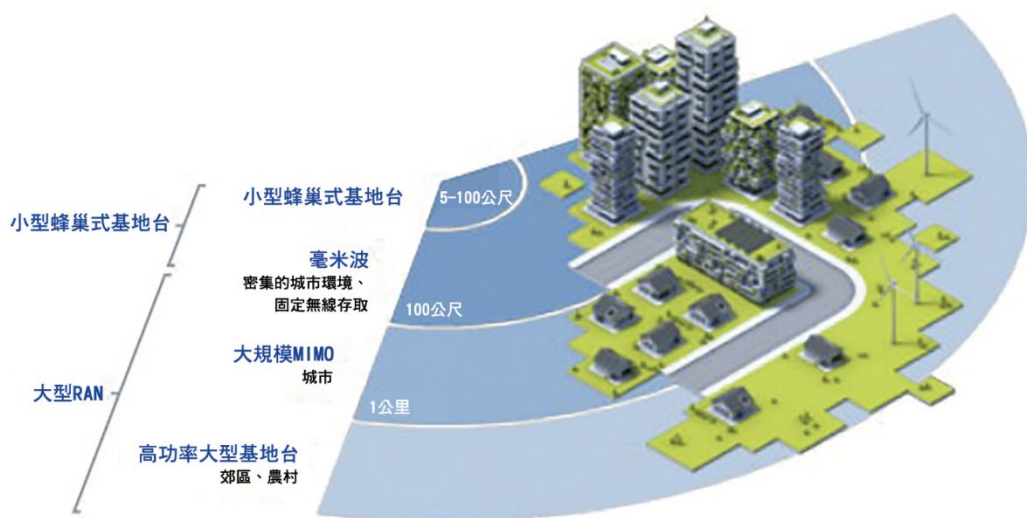
表 3-2 行動通訊世代演進說明表

名 稱	電磁波頻率(載波頻率)	啟用年	資料傳輸量
第一代行動通訊，1G (1st Generation)	150 MHz (1.5×10^8 Hz)	1983	類比式行動電話系統。
第二代行動通訊，2G (2nd Generation)	450 MHz (4.5×10^8 Hz)	1991	數位系統，語音+文字簡訊。 靜止資料傳輸速度 40Kbps (4.0×10^4 bits/sec)
第三代行動通訊，3G (3rd Generation)	1900 MHz (1.9×10^9 Hz)	2001	數位系統，語音+圖片。 移動資料傳輸速度 144 Kbps (1.44×10^5 bits/sec) 靜止資料傳輸速度 2 Mbps (2.0×10^6 bits/sec)
第四代行動通訊，4G (4th Generation)	2600 MHz (2.6×10^9 Hz)	2009	數位系統，語音+影片。 資料傳輸速度：1000 Mb (1.0×10^9 bits/sec)
第五代行動通訊，5G (5th Generation)	28 GHz (2.8×10^{10} Hz)	2020	數位系統，語音+影片+物聯網。 資料傳輸速度：20 Gbps (2.0×10^{10} bits/sec)

3.3.2 5G 基礎設施與佈建區域

1. 高功率無線大型基地台
覆蓋範圍約 25 公里，主要用於郊區和農村地區。
2. 大規模 MIMO 無線基地台
覆蓋範圍約 1 公里，可為設備密度高的城市地區提供網路容量。
3. 毫米波無線基地台
覆蓋範圍約 100 公尺，利用 24GHz 以上的新頻段在設備密度高的城市環境中提供網路，同時支援房屋裝設並取得固定無線存取(FWA)服務。
4. 小型蜂巢式基地台
背包大小的低功率基地台，在網路需求量的地區提供特定網路容量。

5G 基地台基礎設施佈建區域如圖 3.33 所示。



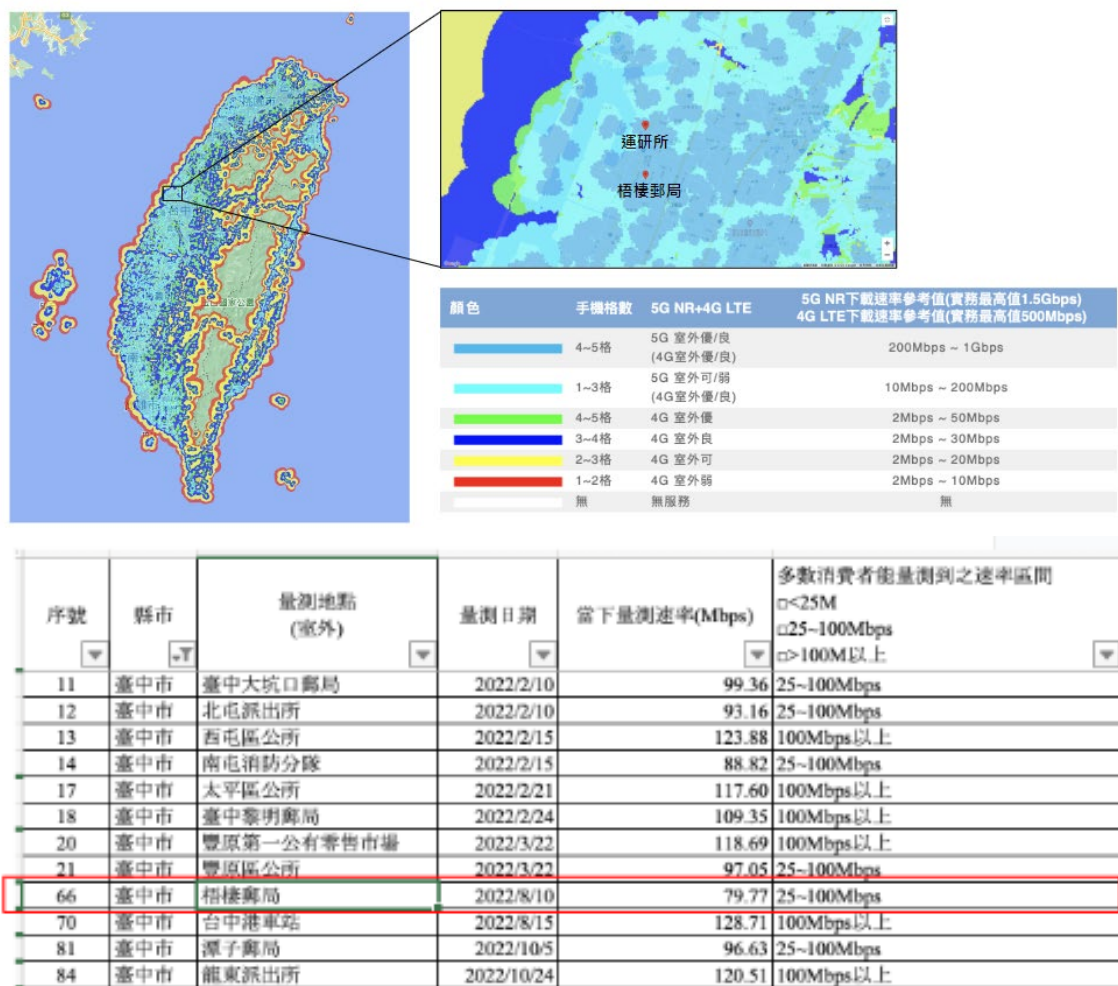
資料來源：<https://reurl.cc/9Rd9yj>

圖 3.33 5G 基礎設施與佈建區域說明

3.3.3 5G 通訊涵蓋範圍

根據 NCC 統計，至 111 年第 1 季，5G 基地臺數已達 2 萬 9,087 臺，5G 電波人口涵蓋率已達 94.36%。

然而計畫實測成果發現，在標示 5G 訊號良好的區域，仍非常容易受到建築障礙物干擾而頻繁切換 5G/4G 頻道，至於人口密度較低的橋梁附近實測發現，通常找不到 5G 訊號，因此評估 5G 通訊目前並不適用於本案，並於本計畫中工作會議提出討論，調整本計畫橋檢工具功能研發之需求，5G 通訊涵蓋範圍現況如圖 3.34 所示。



資料來源：<https://reurl.cc/Ny5o96>

圖 3.34 5G 通訊涵蓋範圍現況說明圖

3.3.4 5G 影像應用例

一、5G 遠距遙控無人機空中監控巡檢，即時回傳

無人機的應用愈來愈多元，無人機結合 5G 網路讓無人機的應用範圍更廣泛，結合 5G 的高速連結、低延遲特性，操作員可以遠距離透過飛控系統，即時控制無人機飛行，並即時看到無人機的空拍高畫質影像，應用在空中監控/巡檢。中華電信在 5G 開臺活動中，展示和夥伴共同合作的 5G 無人機空中監控/巡檢(如圖 3.35 所示)，這套系統可應用在防災救援，還有橋梁、道路、水庫或農田等特定場域的巡檢工作上，5G 的高速傳輸，讓無人機拍攝的影像，連結後端 AI 雲端運算系統，例如辨識人員或汽車，或是橋梁上的裂縫，或是和歷史影像比對，辨識特定事件發生前後的變化。



資料來源：<https://reurl.cc/RyKoGx>

圖 3.35 5G 遠距遙控無人機空中監控巡檢

二、中鋼 5G 專網應用，以 5G AIoT 即時監控產線改善生產良率

鋼胚在熱軋生產過程中，需時時監控成品是否有異常，中鋼靠 5G 即時傳送鋼胚影像，送交 AI 影像辨識，自動判斷鋼胚是否出現異常，即時作調整處置，避免造成產線設備損壞，熱軋產線從保溫坑、加熱爐開始，鋼胚經過粗軋、精軋、盤捲等一連串的過程，為了動態監控鋼胚在生產過程中是否出現異常，導致產線設備停止運作或設備損壞，中鋼與廠商合作，在第二熱軋鋼帶工廠打造 5G SA 專網，應用在產線上，利用攝影機拍下鋼胚的即時畫面，經 5G 專網將影像送到靠近產線的機房，由 AIoT 伺服器的模型辨識，自動判別鋼胚異常與否，再將結果送回平板電腦(如圖 3.36 所示)。此外，中鋼也將這個應用推到鋼帶的監控上，用以監控鋼帶在生產過程中是否出現位置偏移，一旦發現偏移，及早調整改善，避免最終產品成為不良品，透過 AI 輔助監控，降低現場人員的工作負擔，同時提升產品的良率。



資料來源：<https://reurl.cc/8NrVgR>

圖 3.36 5G AIoT 即時監控產線改善生產良率

3.4 水下檢測加值應用評估報告

空中型檢測、陸地型檢測及水下檢測設備的研發與應用分別是 3 個獨立領域的技術難題，各有其難處需要克服，針對水下檢測而言主要有三個議題需要探討：

1. 水下光學與能見度。
2. 機電設備防水。
3. 消費型無線通訊波段無法於水下通訊。

3.4.1 消費型水下無人機

消費型水下無人機標準配備為光學式攝影機，若能搭載專業的超音波設備及水下光達(LiDAR)，將成為水下檢測利器，水下專用的測深 LiDAR 系統為綠色光譜(532nm)雷射光束可以穿透水下 300 公尺，遺憾的是水會大量吸收紅色光譜，而目前還沒有商業晶片能夠利用綠色光譜(532nm)進行雷射測距，因此消費型水下無人機進行水下自主導航仍有難度，水下無人機相關應用如圖 3.37、圖 3.38 所示。



資料來源：<https://reurl.cc/E4QXNa>

圖 3.37 深圳鰭源科技 FIFISH 水下機器人



資料來源：<https://reurl.cc/Oj2abR>

圖 3.38 北北基橋墩沖銷及橋底面狀況檢查

3.4.2 水下檢測功能評估

本計畫開發中的自動化 C 型梁底伸縮桿如圖 3.39 所示：

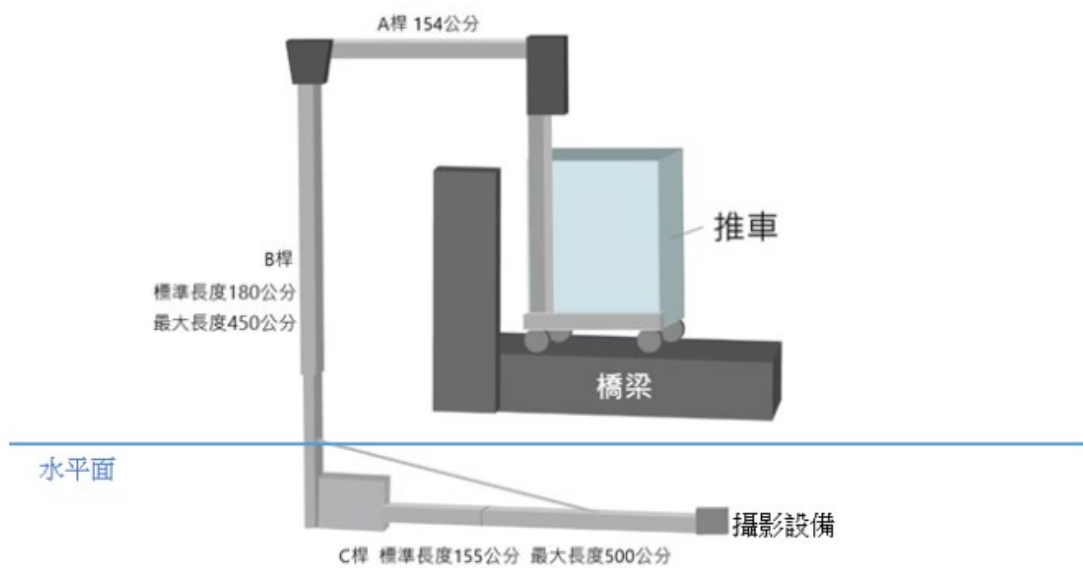


圖 3.39 水下檢測功能評估說明

透過水平面的分界線，我們將進行防水性需求與水下攝影影像品質進行探討。

3.4.2.1 防水性探討

首先針對業界常用的國際防護等級認證進行簡介，再利用系統所需的防護等級尋找市面上是否容易找到元件供採購。

國際防護等級認證（International Protection Marking, IEC 60529）亦稱作異物防護等級（Ingress Protection Rating）或 IP 代碼（IP Code）。有時候也被叫做「防水等級」「防塵等級」等，如表 3-3 所示。

表 3-3 IP 代碼異物防護等級說明表

[表示例] IP 67

第2記號：防水保護等級

第1記號：針對人體及固態異物接觸、侵入的保護等級

此外，若保護等級無特別指定，則可按 IPX5 或 IP4X 等形式以 X 來表示該記號。

● IP 表示記號的意義及測試條件

P 表示	針對人體及固態異物碰觸、侵入的保護等級	
第 1 記號	保護程度	測試條件
IP0X	無	無
IP1X	保護避免手部接近	直徑 50mm 以上固形異物不會侵入
IP2X	保護避免手指接近	直徑 12mm 以上固形異物不會侵入
IP3X	保護避免工具前端等侵入	直徑 2.5mm 以上固態異物不會侵入
IP4X	保護避免電線類等的侵入	直徑 1.0mm 以上固態異物不會侵入
IP5X	保護防止灰塵	有礙正常動作的灰塵不會侵入
IP6X	完全的防塵構造	採取完全防護，灰塵不會侵入

P 表示	針對進水的保護等級	
第 2 記號	保護程度	測試條件
IPX0	無	無
IPX1	保護避免垂直落下的水滴侵入	高度 200mm、速度 3~5mm/分的水滴、10 分鐘
IPX2	保護避免垂直 15° 範圍內的水滴侵入	高度 200mm、傾角 15° 的範圍、3~5mm/分的水滴、10 分鐘
IPX3	保護避免垂直 60° 範圍內的雨水侵入	高度 200mm、傾角 60° 之內的範圍、放水速度 10 ℓ/分、10 分鐘
IPX4	保護避免從全方向噴濺而來的水侵入	距離 300~500mm、全方向放水速度 10 ℓ/分、10 分鐘
IPX5	保護避免全方向的噴水侵入	距離 3m、速度 12.5 ℓ/分、壓力 30kPa 的全方向噴水、3 分鐘
IPX6	可保護如波浪程度的強力噴水	距離 3m、速度 100 ℓ/分、壓力 100kPa 的全方向噴水、3 分鐘
IPX7	在一定的條件下即使浸水也可使用	水面下 1m、30 分鐘
IPX8	可在水面下使用	由使用者與製造商協商而定

已知本計畫橋檢工具系統主要使用及運作情境在戶外，且運輸及實地操作過程中可能暴露於大雨中，由上述定義表得知系統在水面下的所有機電元件必須達到到 IP67 以上，而水面上的所有機電元件必須達到 IP64 以上，本計畫研發之橋檢工具 C 桿，於水平面分界線上下之機電元件列表，如表 3-4、表 3-5 所示。

表 3-4 水面下機電元件列表

品名	規格	是否容易採購
步進馬達	IP67	是
攝影機	10 公尺防水	是
補光燈源	IP68	是
快速接頭	IP68	是
三軸穩定器	IP67(禁止於海水中使用)。	是

表 3-5 水面上機電元件列表

品名	規格	是否容易採購
步進馬達	IP67	是
馬達驅動器	驅動器本身不防水，必須設置於防水等級 IP64 以上電氣箱內	是
平板(操作介面)	平板本身不防水，外加防水殼可達 2 公尺防水。	是
鉛酸電池及所有電源供應電路	電池及電源供應電路皆不防水，必須設置於防水等級 IP64 以上電氣箱內	是
按鈕開關	IP67	是

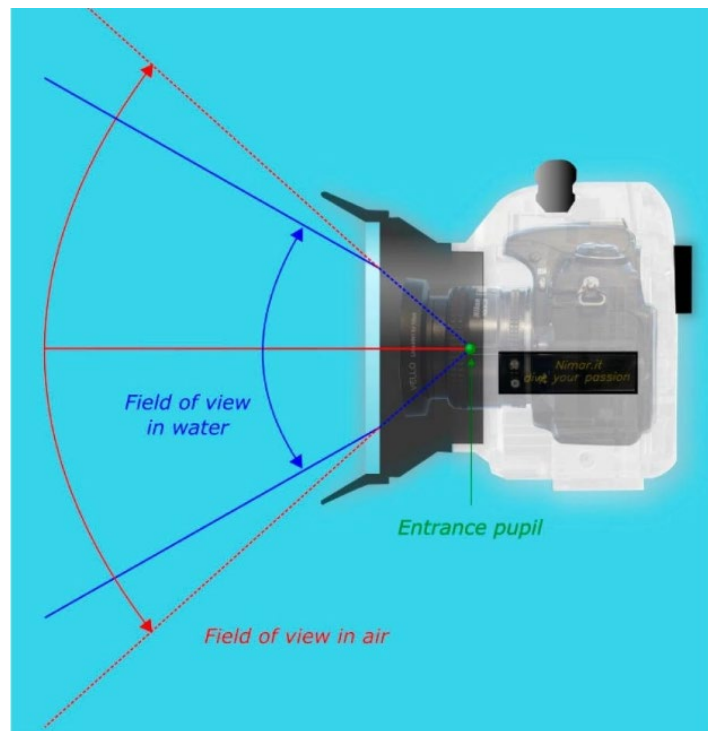
3.4.2.2 水下影像品質探討

透過分水圖(如圖 3.40 所示)，可清楚知道水面上與水面下影像差異，且仔細觀察會發現照片邊緣的畫質較差，影像尺寸差異原因如圖 3.41 所示。



資料來源：<https://reurl.cc/xL31qN>

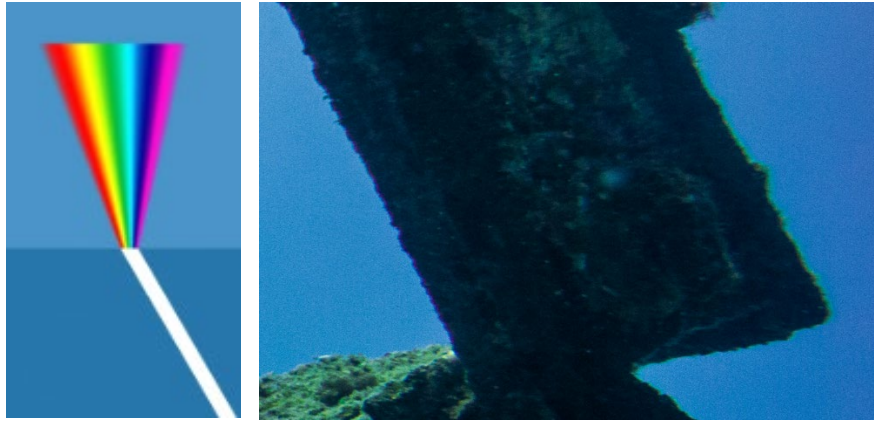
圖 3.40 水面上與水面尺寸及色彩差異分水圖



資料來源：<https://reurl.cc/xL31qN>

圖 3.41 一般鏡頭於水下介質視角差異說明

鏡頭視野在水中因光線於水中之色散現象而變狹窄，物體在水下的放大率約為 1.33 倍，隨著水的密度不同而有微小變化，影像色彩差異及畫質變差原因，如圖 3.42 所示。



資料來源：<https://reurl.cc/xL31qN>

圖 3.42 一般鏡頭水下介質色散說明

不同波長的光線折射率不同，在不同介質中行進時會產生色散現象，一般鏡頭設計主要針對空氣介質修正色散問題，當鏡頭進入水下介質時，色散角度產生些微誤差，越接近鏡頭邊緣畫質越差。

3.4.3 水下檢測增值應用結論

1. 針對系統在水下的防水性，皆能採購到適合的防水機電元件。
2. 水下影像品質將受限於色散物理現象，必須採用水下專用鏡頭及強力的補光設備，檢測設備離開水面時必須換回一般鏡頭，才能維持相同影像品質。
3. 在能見度不佳的水域，將嚴重限制光學攝影系統的應用範疇，必須非常貼近水底構造物及強力的補光設備才能使用，此時需考慮使用更專業的超音波設備或綠色光譜(532nm)的水下專用光達。
4. 無線設備的電波訊號會嚴重被水阻擋，例如 Wi-Fi 常用的 2.4 GHz 信號在水中相距僅 1.4 釐公尺處就會明顯降低，設備之間的通訊方法必須全盤規劃改用通訊電纜方式進行。

3.5 第一代機梁底機器人技術移轉工程化設計

本計畫於期中審查時完成梁底檢測工具核心技術開發與功能驗證(參考 3.1 章節)，並透過大量雛型機驗證測試累積許多經驗進行新一代機型設計工作，以滿足最終技術移轉工作目標。本計畫透過工作會議(參考附錄二、工作會議記錄摘要)，逐步提出完整設計理念，共同確認需求，如圖 3.43、圖 3.44。

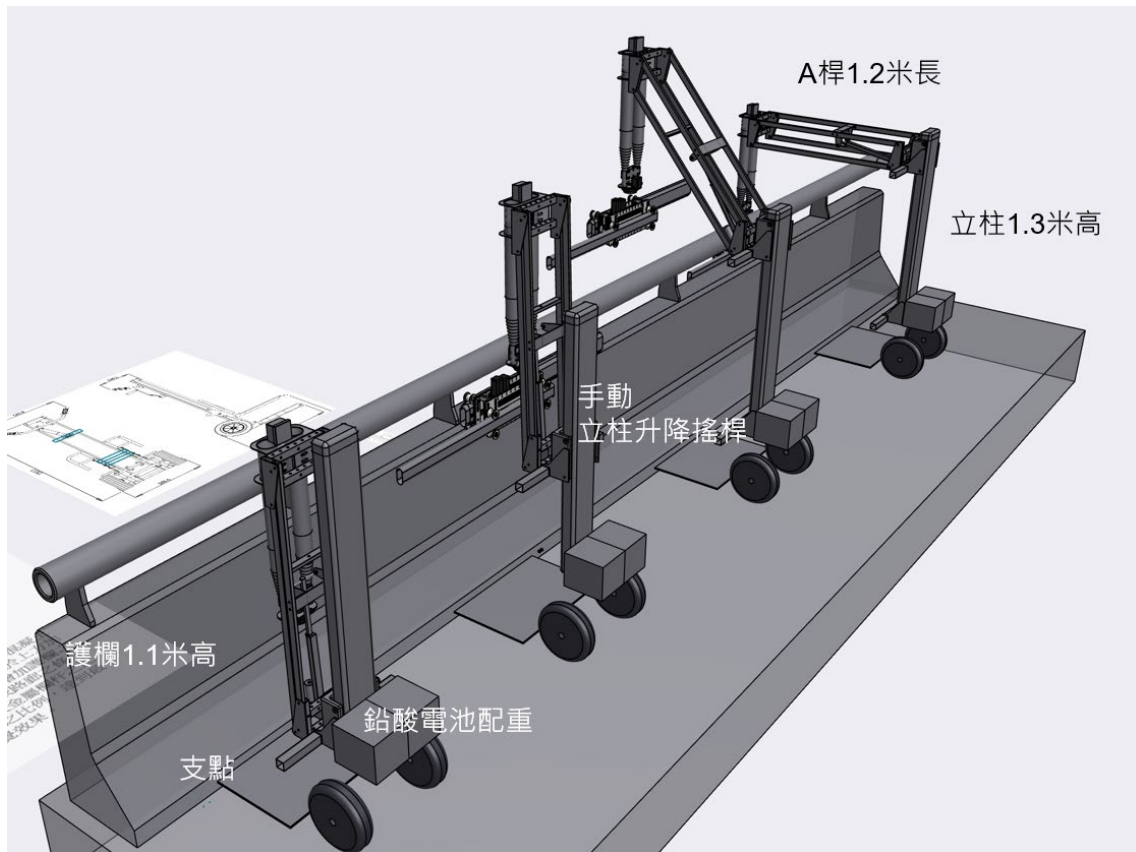


圖 3.43 設計理念與需求確認(一)

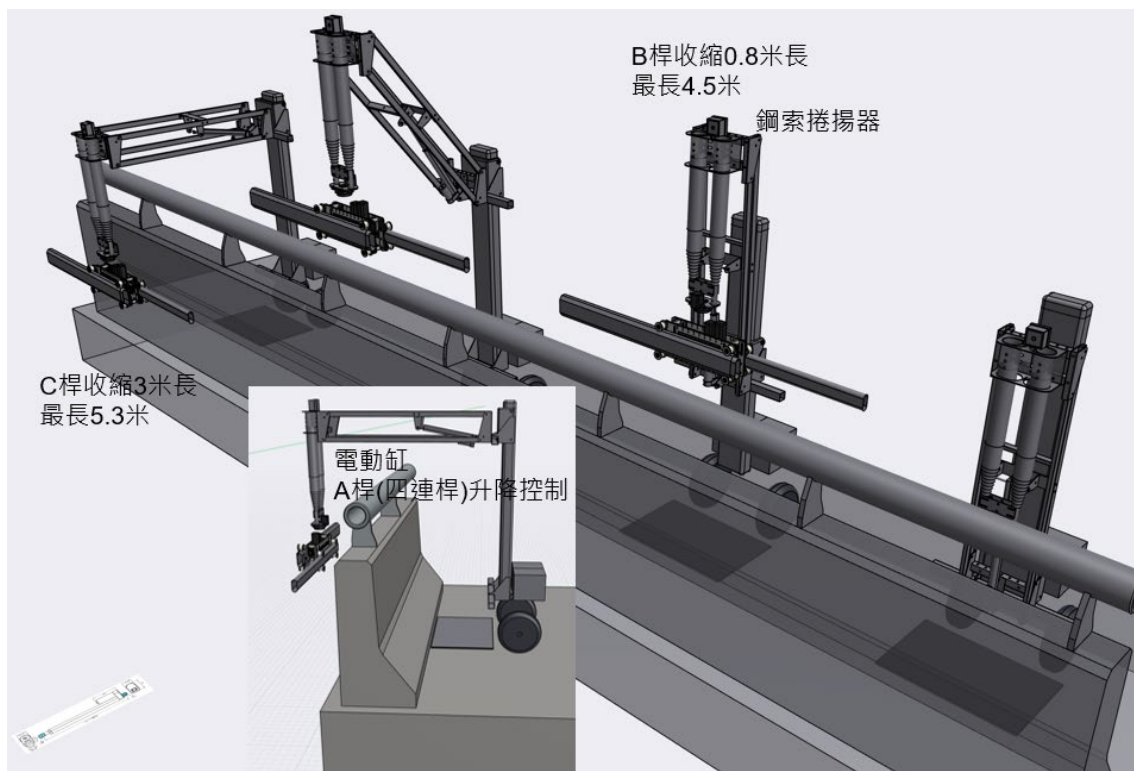


圖 3.44 設計理念與需求確認(二)

3.5.1 第一代機 C 桿設計

第一代機 C 桿設計要點如表 3-6 及圖 3.45 所示：

表 3-6 第一代機 C 桿設計要點及規格表

需求	執行成果
桿身輕巧容易搬運	參考表 3.1 C 桿材料特性表，主桿選用 2 支 3 公尺長，壁厚 1.1 釐米之八角形鋁擠管組成，總重 4 公斤。
自重變形量低	參考表 3.1 C 桿材料特性表，每支 3 公尺長八角形鋁擠管，自重變形不到 10 釐米。
伸縮節點磨擦力低，避免損耗，提升使用壽命及穩定性	參考 3.1.3 繩排伸縮滑輪關鍵模組設計，選用 NSK 工業級精密滾珠軸承，可承受 200 公斤額定負載，並維持滑順。能確保器材於運送途中可承受震動衝擊，並確保橋梁檢測時高長度高扭矩應力下使用壽命。
伸縮桿件銜接處強度 高、變形量低。	參考 3.1.3 繩排伸縮滑輪關鍵模組設計，板金主體複合使用中碳鋼及鋁合金維持高強度及低重量。

規格：

規格	說明
尾端最大荷載	5 公斤
標準長度/最長伸出量	80/530 公分
伸長/收回速度	3 公分/秒

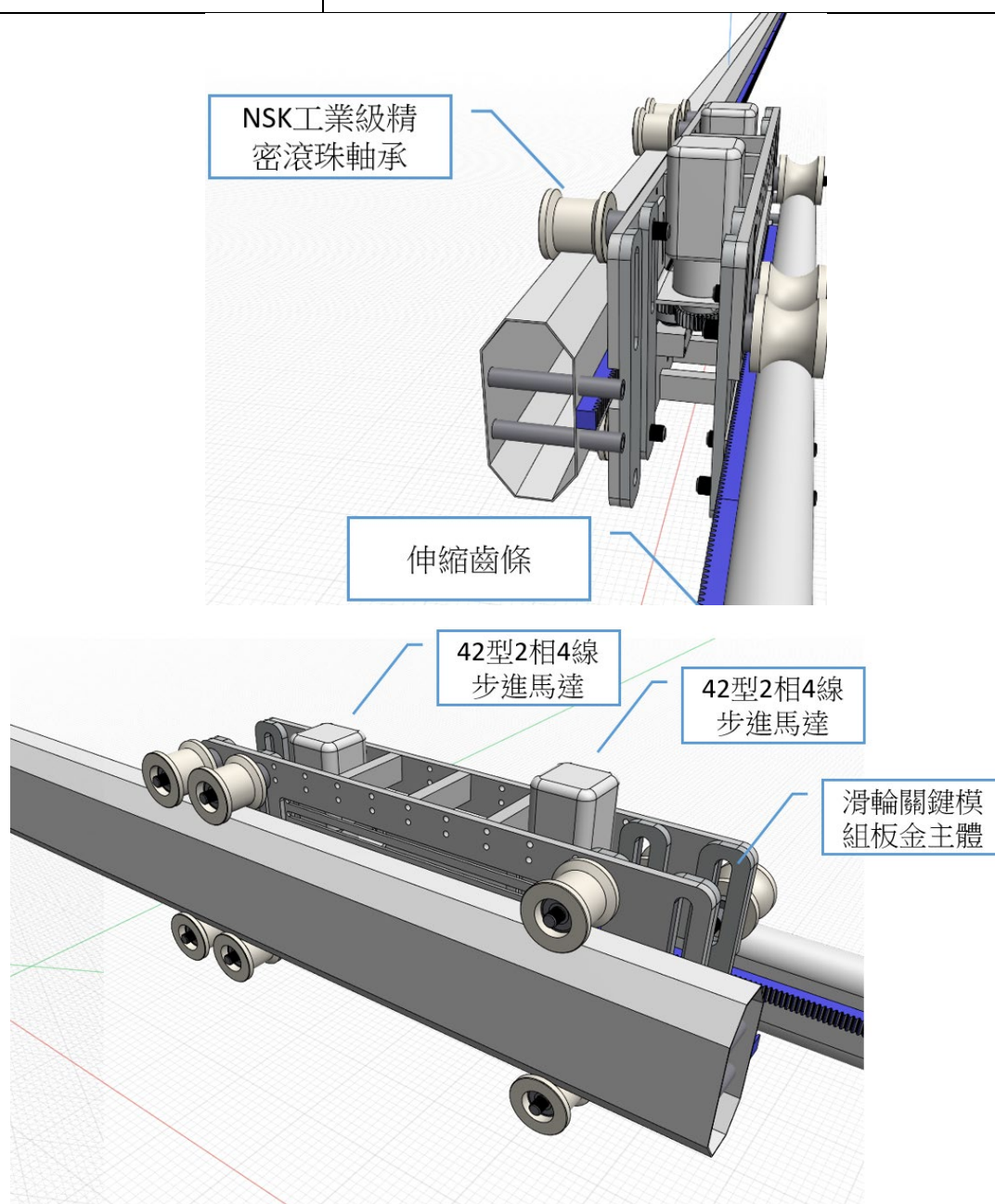


圖 3.45 第一代 C 桿設計要點

本計畫透過研發過程發現問題及提出對策，並持續追蹤改善(如圖 3.46、圖 3.47 所示)，以有效克服研發過程所產生之各項研發瓶頸，如表 3-7 所示。

表 3-7 C 桿設計檢討與改善問題追蹤表

問題	對策
加工件回到工研院組裝不順，導致零件製作費時，是最耗時間的大問題。而細部優化設計不易描述，包商抱怨工研院表達不清又趕時間。	請包商提供所有 3D 原圖，由工研院接手核對校稿與製圖，包商負責照圖施工即可。發包後取回工件的時程，由 1 個月縮短為 1.5 周，組裝成功率有效提升。參考圖 3.46。
C 桿彈力繩容易受到摩擦力變化，導致 C2 桿無法收回。	依據期中專家建議，已將彈力繩改為鋼索。測試成果相當理想，參考圖 3.47。
C2 桿尾端無固定	已加裝軌道及導輪，參考圖 3.47。

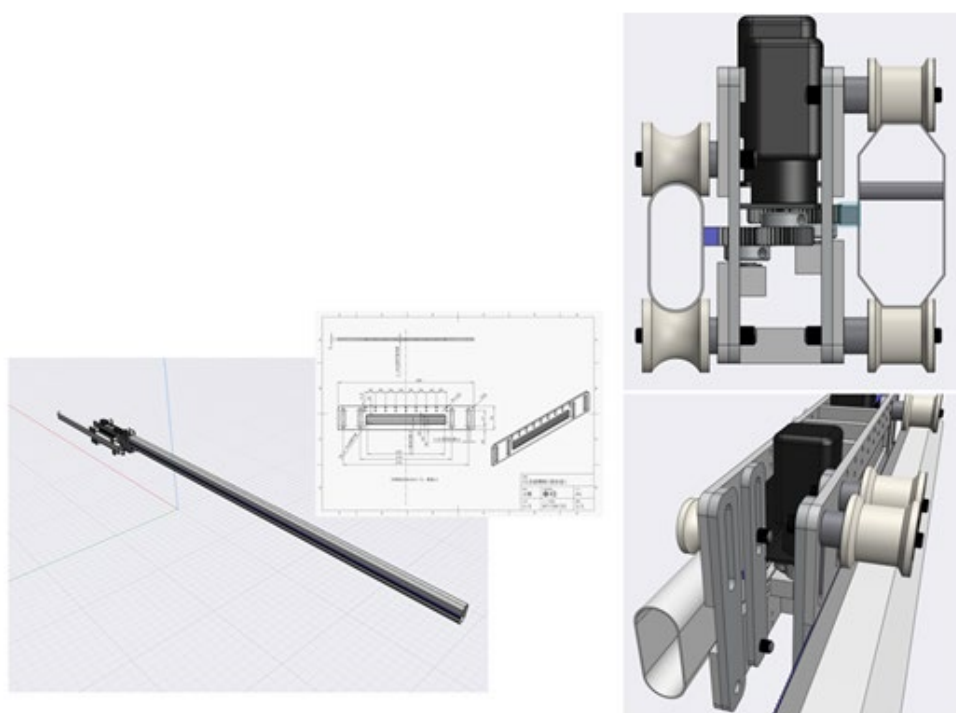


圖 3.46 第一代 C 桿設計問題與追蹤(一)

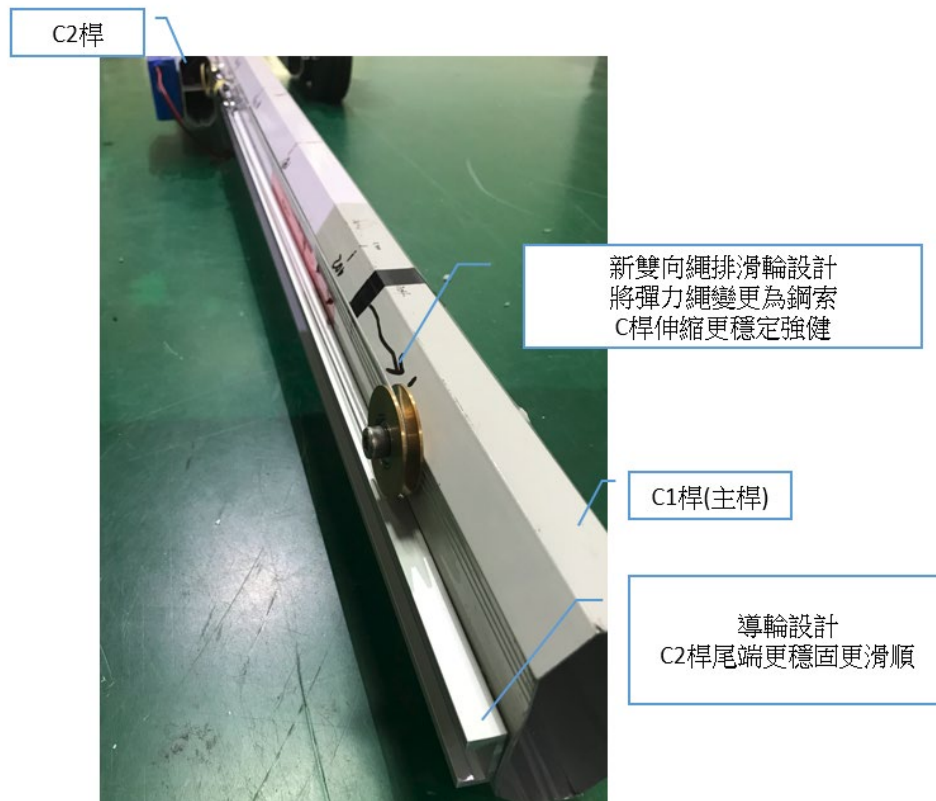


圖 3.47 第一代 C 桿設計問題與追蹤(二)

3.5.2 第一代機立柱/A 桿/B 桿設計

針對 C 桿以外之非關鍵模組設計，本計畫儘量採用市購產品進行改裝，以提高部分模組技術成熟度並縮短工程化時間，確保系統操作穩定性，未來技術移轉、推廣應用時同樣也希望達到零件備品容易採購與維護之目的，本計畫橋檢工具採用手推車升降機及改裝過程如圖 3.48、圖 3.49 所示，第一代機立柱、A 桿及 B 桿設計要點及規格表，如表 3-8 至表 3-10 所示。

第一代機立柱設計要點：

表 3-8 第一代機立柱設計要點及規格表

需求	執行成果
可舉升 A/B/C 桿跨過 1.1 公尺橋側護欄。	直接採購國產品牌國勝豐(KSF)，型號: ML1 手推車升降機進行改造。該手推車升降機尺寸: 71x52x132 公分，自重: 20 公斤，牙叉荷重: 150 公斤。可收疊放進休旅車內，可輕易加裝 A/B/C 桿行走於各種不平路面，可舉昇 A/B/C 桿跨過 1.1 公尺橋側護欄。參考圖 3.48。
自身重量要低，強度要高，能輕易將所有系統移動到測試地點。	同上。
可折疊放進休旅車。	同上。
可輕易在柏油路面移動。	同上。

規格：

規格	說明
機身尺寸、重量	71x52x132 公分，20 公斤
捲揚高度	110 公分
荷重能力	150 公斤
主輪輪徑	6 英寸橡膠胎



國產品牌國勝豐(KSF)，型號: ML1手推車升降機

圖 3.48 立柱原型採用手推車升降機

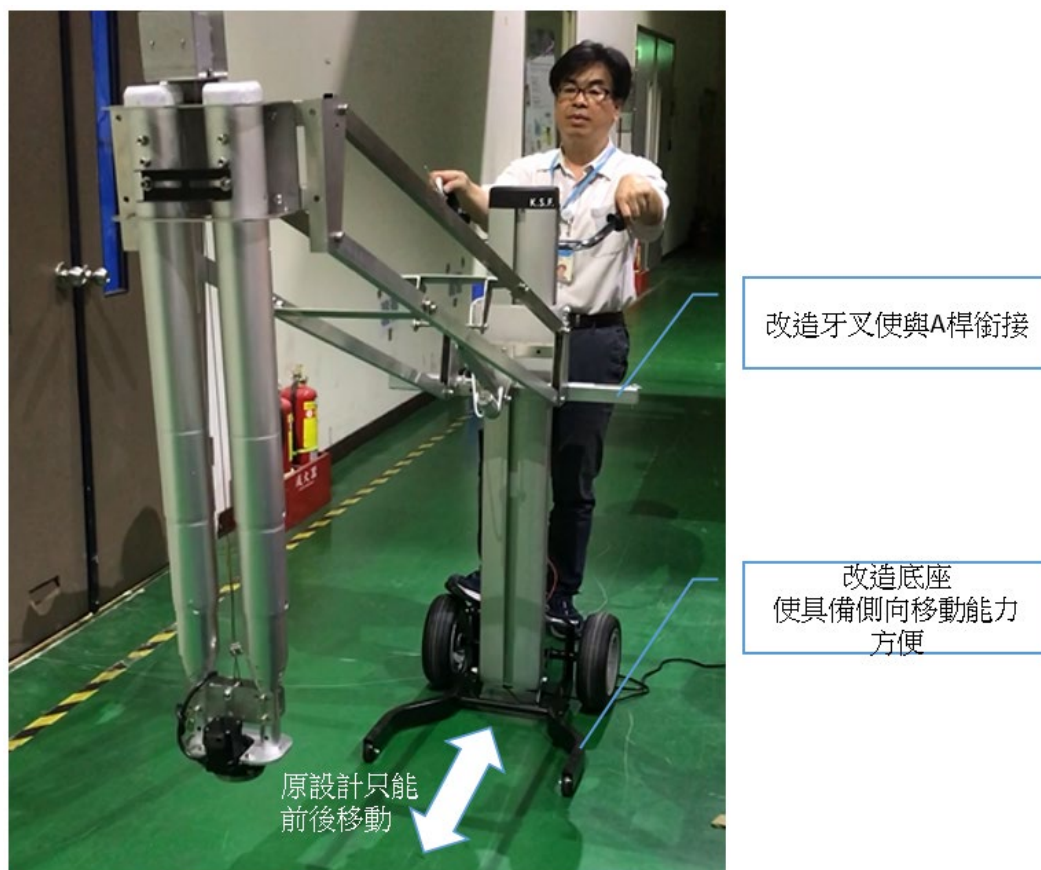


圖 3.49 手推車升降機改裝成果

第一代機 A 桿設計要點：

表 3-9 第一代機 A 桿設計要點及規格表

需求	執行成果
能夠將 B/C 桿舉起，由橋側護欄內部向外移出到橋側護欄外，並維持 B 桿垂直向下。	採用四連桿機構設計。確保 B 桿垂直向下。長度約為 110-135 公分，該尺寸能確保 B/C 桿舉起後，由橋側護欄內部向外移出到橋側護欄外。運作步驟概念參考圖 3.50。
B/C 桿預設總重量為 40 公斤，需重複舉升 100 次無異常確保穩定性。	頂桿舉升異常，於測試過程中才發現，此為計畫後期時程延誤最大主因。總共經歷以下三個階段，才徹底解決問題。 1. 期初開始著手設計時，考量易於採購方便性，使用電子材料行或網購容易取的之 100 公斤規格頂桿。實測發現應力遠超出設計規劃，造成頂桿頭尾出現扭曲變形問題，參考圖 3.52。經過緊急結構強化並使用雙頂桿設計解決。 2. 期中測試時改用使用雙頂桿(單支規格 100 公斤)架構，出現扭力不平均導致扭斷破壞問題，參考圖 3.48。後續於組裝時特別確認機構調整扭力平衡，能通過實驗室數百次測試穩定舉升，並參與完成第一次實地測試(福樹橋)。 3. 然而第二次實地測試，因為操作移動過程遇坑洞，A 桿瞬間受到 B/C 慣性衝擊，造成頂桿齒輪崩裂損壞。後續研擬對策決定停用雙頂桿架構，採購 400-600 公斤級單頂桿後解決。缺點是系統總重多了約 5 公斤，參考圖 3.54。
可折疊放進休旅車。	四連桿設計可透過電動頂桿伸縮，達成伸展與摺疊。A 桿於摺疊狀態時，可順利放進休旅車內。參考圖 3.51。

規格：

規格	說明
伸展時懸臂長度	110 公分
摺疊時外觀尺寸	10x30x110 公分
伸展時懸臂荷重能力	60 公斤

新式 A 桿(四連桿)設計概念(如圖 3.50 至圖 3.54 所示)：

1. 簡化雞型機 A 桿角度控制問題，由四連桿確保 B 桿角度朝下。
2. 立柱-A-B 桿折疊與垂降角度只需 1 顆電動頂桿控制。

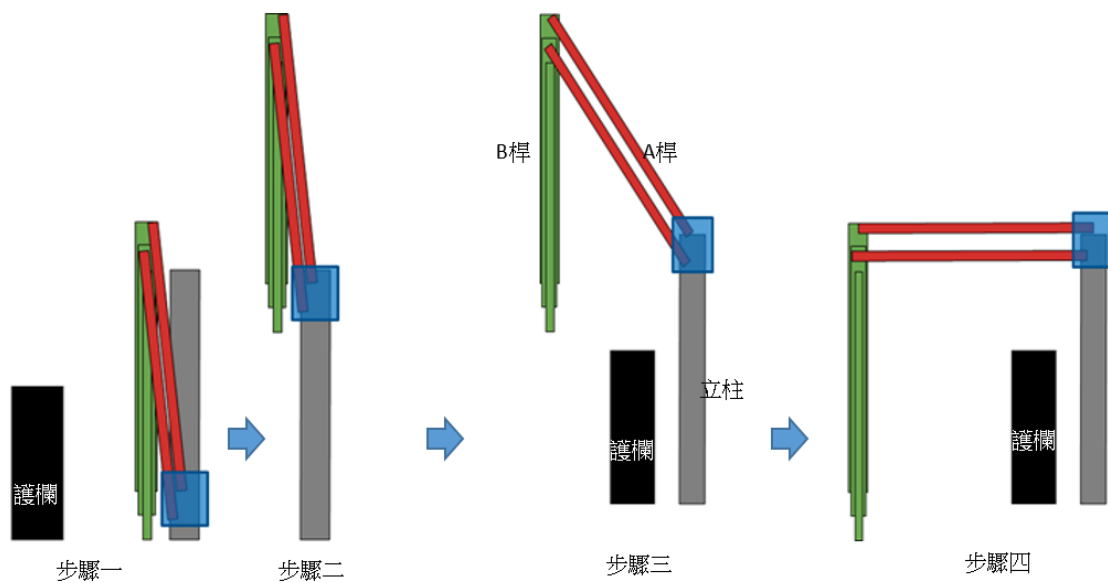


圖 3.50 新式 A 桿(四連桿)設計概念說明圖

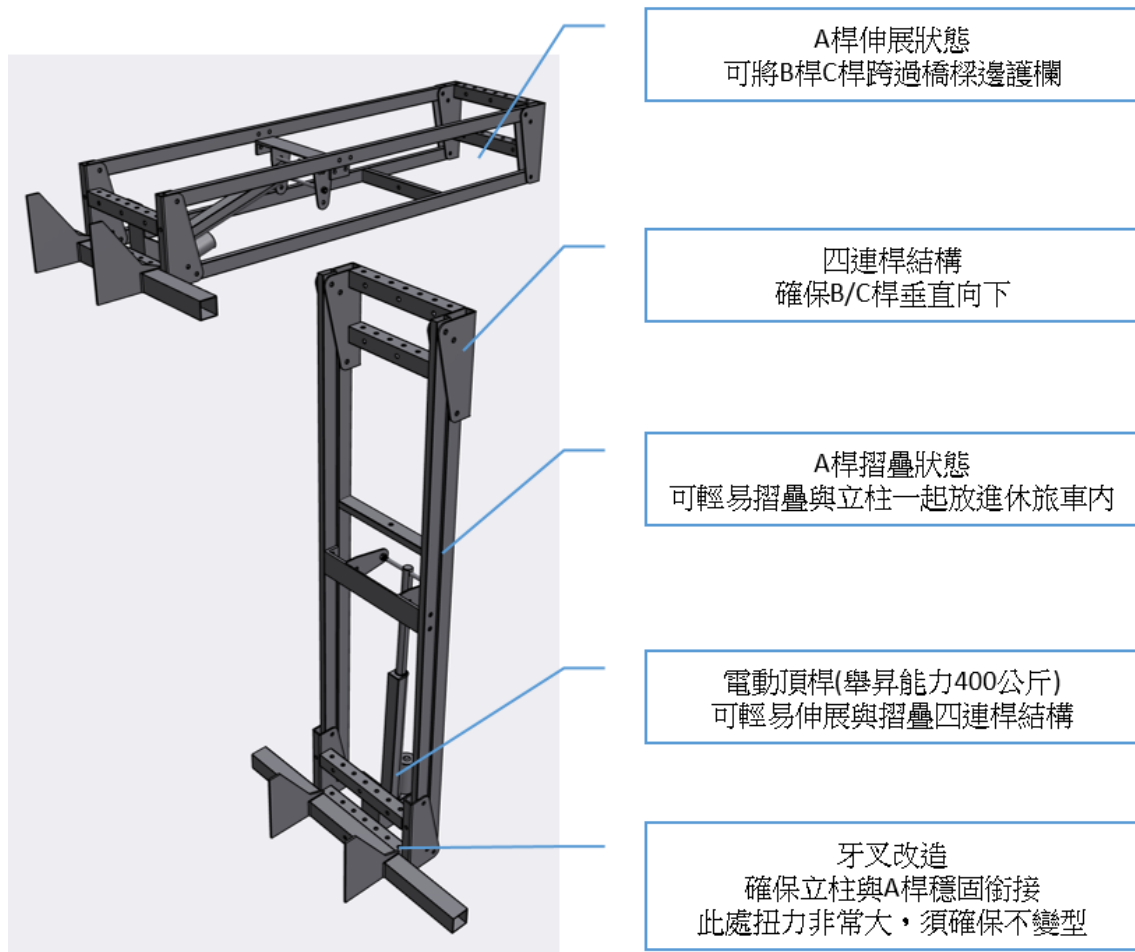


圖 3.51 第一代機 A 桿設計要點說明圖

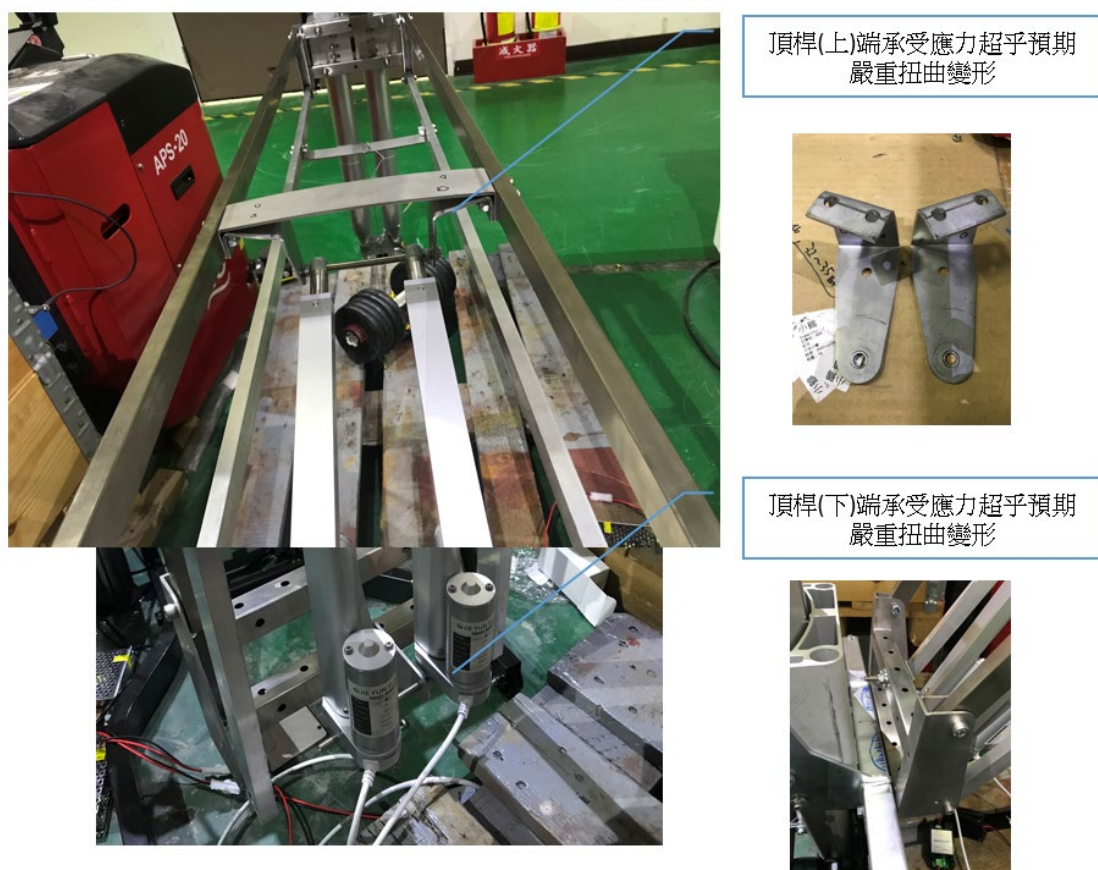


圖 3.52 頂桿應力超乎預期導致變形問題說明

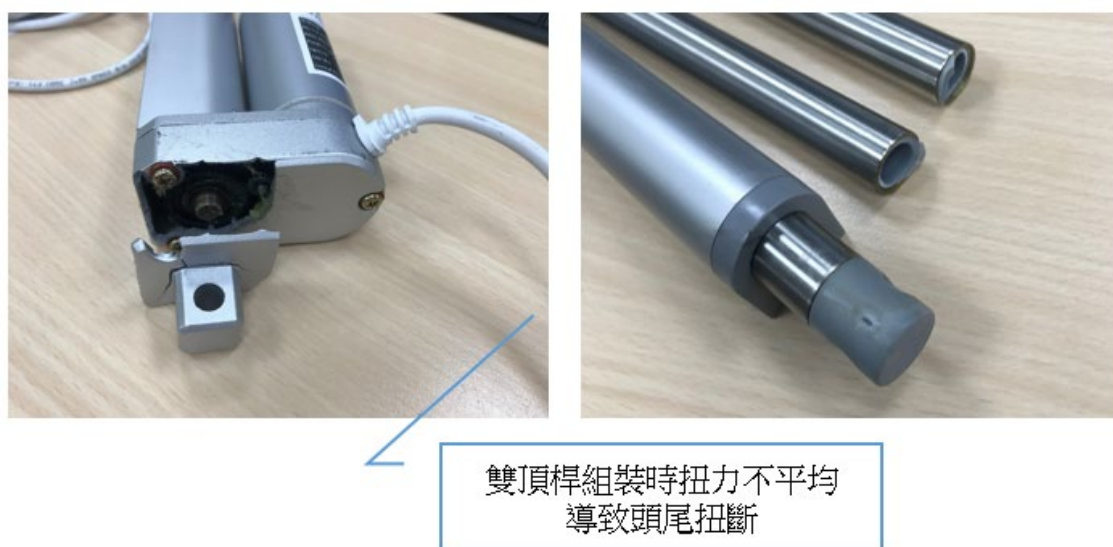
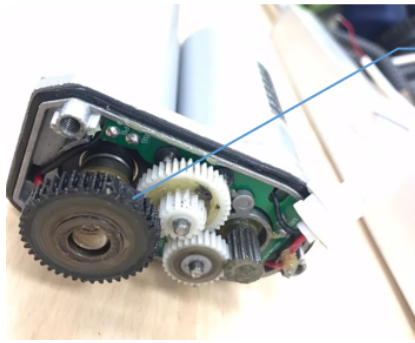


圖 3.53 雙頂桿設計扭斷問題說明



頂桿內部減速齒輪能承受A桿展開時靜止時向下重力(約120公斤)

但是當A桿展開時如果移動並遭坑洞，重力加上慣性估計遠超過200公斤，導致齒崩異常。

圖 3.54 雙頂桿無法承受運送衝擊導致齒崩問題說明

第一代機 B 桿設計要點：

表 3-10 第一代機 B 桿設計要點及規格表

需求	執行成果
B 桿材質輕強度要高，各節伸縮節點間隙要小。	直接採購國產工程用伸縮一字梯，參考圖 3.55。一字梯採購容易、技術成熟，廣泛應用於各行各業需要登高之用途，具有強度高、材質輕且有各種規格可以選用，非常適合本案。 本計畫選用最短約 96 公分，伸長約 4.9 公尺的一字梯。各伸縮節點間隙很小，可有效承受 150 公斤之操作人員於登高時避免產生搖晃危險。
收縮時要短(<1 公尺)確保能跨過橋側護欄。	同上。
伸長時要長(>4.5 公尺)確保 C 桿能到達橋梁底部。	同上。
B 桿底部旋轉軸要夠強壯，能夠在 C 桿不平衡時，承受高扭力並維持正常旋轉。	直接採購常見之國產中空旋轉軸產品。參考圖 3.56 中空旋轉平台的主要特色是高剛性，非常適用於本案。其原理是大面積轉盤，由一套精密交叉滾子軸承支撐，軸承中的滾子呈 90 度交錯排列，並且滾子直徑略大於軸承內圈與外圈間的滾道尺寸，使得交叉滾子軸承的

	內外圈及滾子之間存在預緊力，由此軸承支撐的旋轉平台轉盤能夠承受徑向、軸向、傾覆等各種力矩，其剛性是傳統軸承的 10 倍以上。
B 桿上部電動捲揚器不能太重，須具備斷電煞車能力，確保 C 桿不會因為斷電異常而垂降至河中。	計畫過程總共提出 3 種方案，前兩種方案失敗(圖 3.57)是導致計畫時程延誤至少 1 個月的關鍵因素。 1. 棘輪捲線器：計畫初期直覺使用棘輪捲線器設計是理想的選擇，可確保斷電後煞車。棘輪捲線器於室內測試期間，除了下降時出現輕微彈跳震動以外，一切正常。然而外出進行實地測試時，發現 C 桿震動現象會隨著垂降深度變大，偶發導致 3 軸穩定器劇烈震盪過載，斷電失去平衡。團隊仔細研究，發現振動來源正是棘輪，因為垂降時捲線器機構會自行一齒一齒放開棘輪，而齒跟齒之間會因為 C 桿重力下拉並卡住下一齒產生輕微彈跳，連續垂降便會產生連續彈跳並放大，造成 3 軸穩定器及攝影模組劇烈震盪定位異常。 2. 大馬力蝸輪捲線器：後續研發團隊提出蝸輪減速機方案，預計同樣能達到斷電後煞車效果。然而實際上並非如此，B/C 桿總重約 40 公斤，仍會造成蝸輪減速機緩慢下滑，此下滑力道導致運作過程中電機不斷高扭力輸出，最終經過陸陸續續近 2 週測試後，馬達燒機故障。 3. 拖車用捲揚器：其規格為 DC12V 捲揚力道 3000 磅 (1360 公斤)，自重約 5 公斤。計畫初期估算此重量將導致 A 桿頂桿電機無法舉昇，因此不受研發團隊青睞。幸好計畫後期，A 桿頂桿電機更新為 400 公斤級，再次估算確保可以頂升後，重新採用，順利解決 C 桿垂降彈跳問題(圖 3.58)。

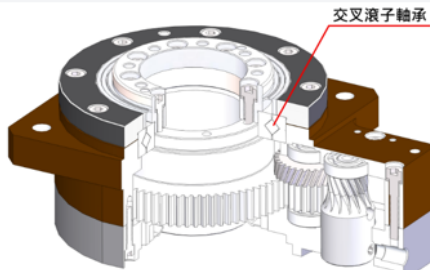
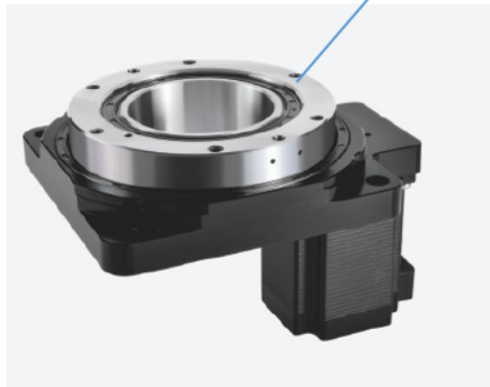
規格：

規格	說明
最大荷載能力	680 公斤
標準長度/最長伸出量	80/490 公分
垂降速度	5 公分/秒



圖 3.55 B 桿原型採用工程用伸縮一字梯

中空旋轉軸的大盤面設計結合交叉滾子軸承能承受C桿完全伸展5米以上所產生的極大的轉動慣量。也能短暫承受C桿平衡重心調教異常時產生的扭動力矩，提高B/C桿接合點的使用壽命。



技術參數

產品型號	單位	MTB60
減速比		18
匹配步進電機	mm	28
軸承結構		交叉滾子軸承
容許轉矩	N.M	2.2
轉動慣量	kg.m ²	3500×10^{-7}
容許盤面輸出轉速	r/min	200
容許慣性力矩負荷	N.M	5.6
容許軸向負載	N	300
重負定位精度	arc-sec	±5
定位精度	arc-min	±0.5
旋轉平臺面偏差（平面跳動）	mm	±0.005
旋轉平臺同心度	mm	±0.01
旋轉平臺平行度	mm	±0.015
精度壽命	h	25000
防護等級		IP40
質量	kg	0.52

圖 3.56 B 桿底部旋轉軸採用輕量且高剛性的中空旋轉軸架構



圖 3.57 B 桿頂部捲揚器的 2 種失敗方案

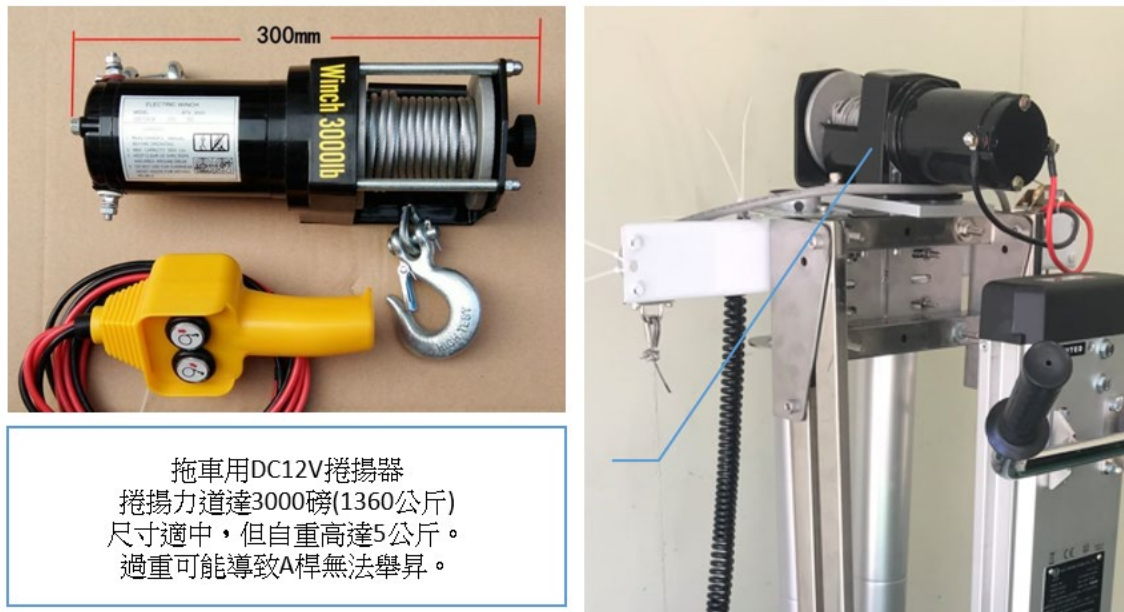


圖 3.58 B 桿頂部捲揚器最終方案

3.5.3 電控系統設計

本計畫橋檢工具電控系統設計要點如表 3-11 所示。

表 3-11 電控系統設計要點列表

需求	執行成果
電控系統總計五軸。 ● C 桿伸縮、荷重桿伸縮、C 桿旋轉共三軸 ● A 桿懸臂舉升一軸 ● B 桿垂降捲揚一軸 其中 C 桿三軸需要精準定位，可透過人機介面讀取目前位置。	1. C 桿上裝設三軸為 2 相 4 線式步進馬達 2. A 桿裝設一軸為 DC24V 頂桿電機為感應馬達 3. B 桿裝設一軸為 DC12V 捲揚器為感應馬達。 透過 PLC 及人機介面控制，可精準控制並讀取步進馬達目前位置。參考電控箱設計，如圖 3.60 及 PLC 人機介面設計，如圖 3.61。
C 桿伸縮軸與荷重軸能夠獨立移動進行平衡點	C 桿及荷重軸可以獨立伸縮，以利進行重心位置校正。參考 PLC 人機介面設計，如圖 3.62。

調整校正。	
C 桿伸縮軸與荷重軸需具備同步點動(JOG)及同步寸動(PITCH)功能，確保 C 桿檢測過程自動維持平衡。	C 桿及荷重軸具備同步點動(JOG)及同步寸動(PITCH)功能，以利自動量測時移動固定距離且維持 C 桿平衡。參考 PLC 人機介面設計，如圖 3.60。
需具備線控及遙控功能，方便橋檢人員依據現場狀況選用合適的操控方式。	系統具備線控及遙控功能，參考電控箱設計，如圖 3.60。
任務倉模組需具備三軸穩定器、攝影機及光源。上述主要為市購件，皆能使用無線控制。	任務倉模組皆為市購件組成，刻意選用具備 Wi-Fi 或藍芽無線控制規格。
B 桿伸縮量最大達到 4.9 公尺，其尾端 C 桿之電機系統電源線及控制信號如何必須隨著 B 桿伸縮，卻不會造成干涉與折損問題。	研發團隊由電話聽筒得到靈感，在電子材料行找到彈簧線材，適合解決此問題。其平時長度約 80 公分，拉伸時可達 5 公尺，線材芯數從 2 到 12 芯都有。參考圖 3.59。



圖 3.59 彈簧線材應用於 B 桿



圖 3.60 電控箱設計



圖 3.61 PLC 人機操作畫面(一)_量測操作

重心校正時請隨時注意C桿平衡，避免產生太大扭矩損壞結構。



圖 3.62 PLC 人機操作畫面(二)_C 桿平衡重心校正



圖 3.63 PLC 人機操作畫面(三)_電機參數設定

3.5.4 適用條件

本計畫橋檢工具適用條件歸納如下，說明如圖 3.64 所示。

1. 系統於現場施作時由橋側護欄內側起算將佔據 1.5 公尺車道。
2. 護欄最高 1.1 公尺。
3. 可檢測橋面板厚度由橋面往下約 2.3 公尺。
4. 橋下最小淨高 1.5 公尺。
5. 橋寬 10 公尺內。
6. 舉昇最高約 2.2 公尺，此範圍以下不可有電線造成干涉。
7. C 桿橫向長約需 3 公尺，架設與 C 桿垂降前，立柱左右需空出 1.5 公尺空間進行 C 桿垂降。

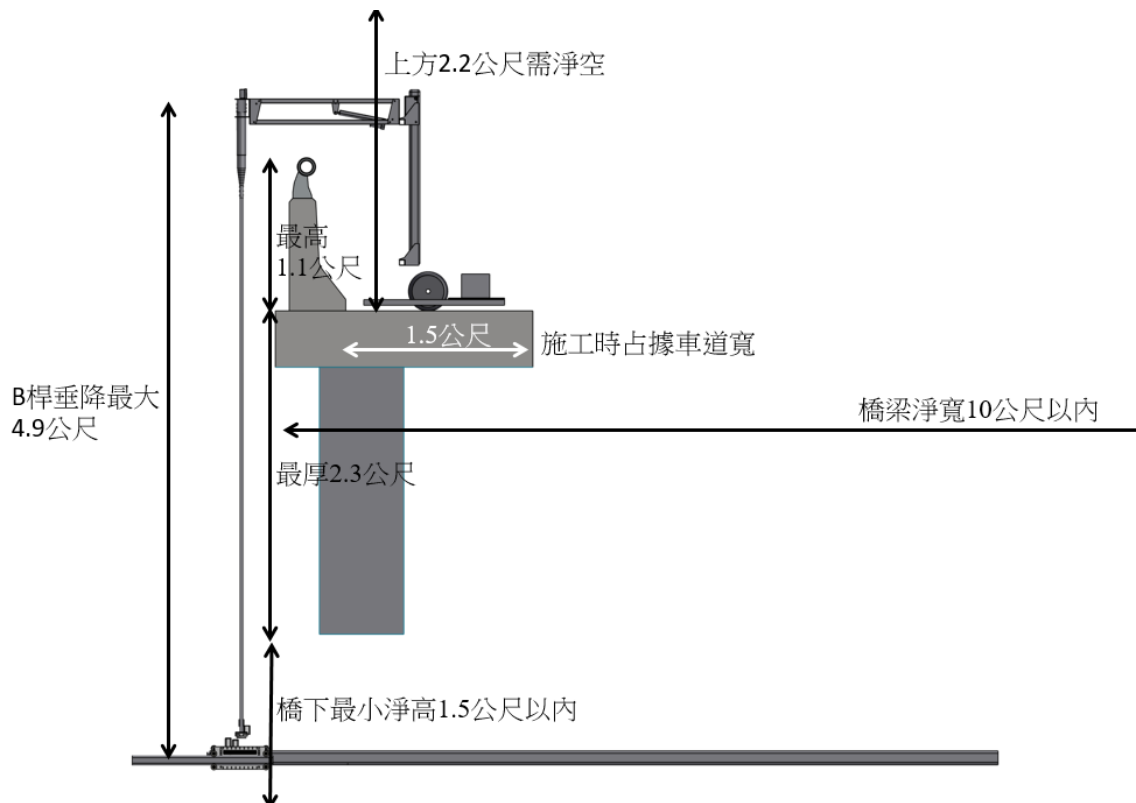


圖 3.64 系統操作適用條件說明圖

3.5.5 系統規格與操作程序

本計畫橋檢工具經實地測試，計算組立時間及所需人力，並整理歸納本橋檢工具之硬體架構規格，提供橋檢實務單位參考應用，系統規格如表 3-12 所示。

表 3-12 橋檢工具系統規格表

項目	說明
C 桿尾端最大荷載	5 公斤。
C 桿標準長度/最長伸出量	80/530 公分。
B 桿標準長度/最長伸出量	100/480 公分。
攝影模組影像解析度	Gopro11 Hero(4096×2160 像素)含 3 軸穩定器及 LED 光源。 (可選用 3 公斤以下單眼相機、光達及超音波檢測儀器)
運送方式	休旅車可。
系統連續運行時間	C 桿自備 20000mAh 鋰電池(約 2 公斤，兼平衡配重用用途)，可直接提供攝影模組及 LED 光源連續運行 3 小時以上。
整機尺寸及重量	1.2 公尺(長) x 0.8 公尺(寬) x 1.35 公尺(高)，總重約 100 公斤。
組立所需之作業時間	約 20 分鐘。
最少作業人力	2 人

本計畫橋檢工具系統操作程序及實際操作過程如圖 3.65 至圖 3.74 所示。

操作程序：



圖 3.65 系統操作程序說明圖

出發前準備：

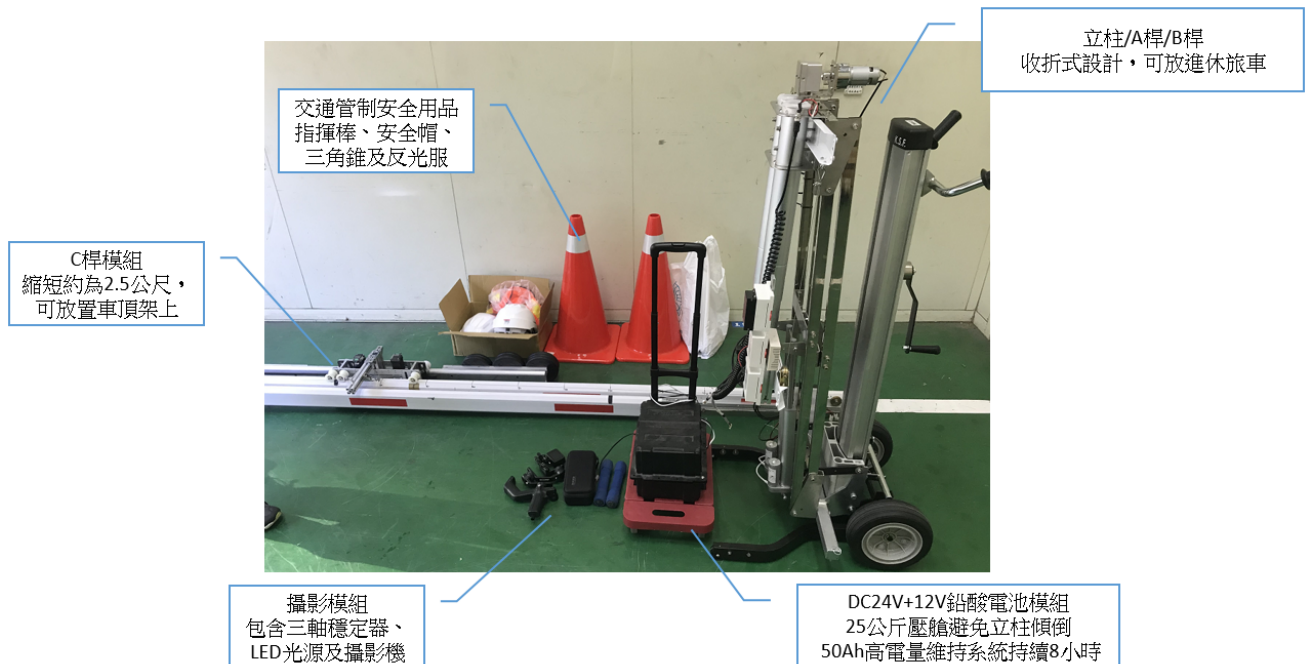


圖 3.66 系統操作程序_出發前準備要項說明圖

上車流程：



圖 3.67 系統操作程序_車後座架設狀況



圖 3.68 系統操作程序_車頂架長度確認是否違規(一)



圖 3.69 系統操作程序_車頂架長度確認是否違規(二)

現地檢測流程:



圖 3.70 系統操作程序_現場架設需先安放交通錐

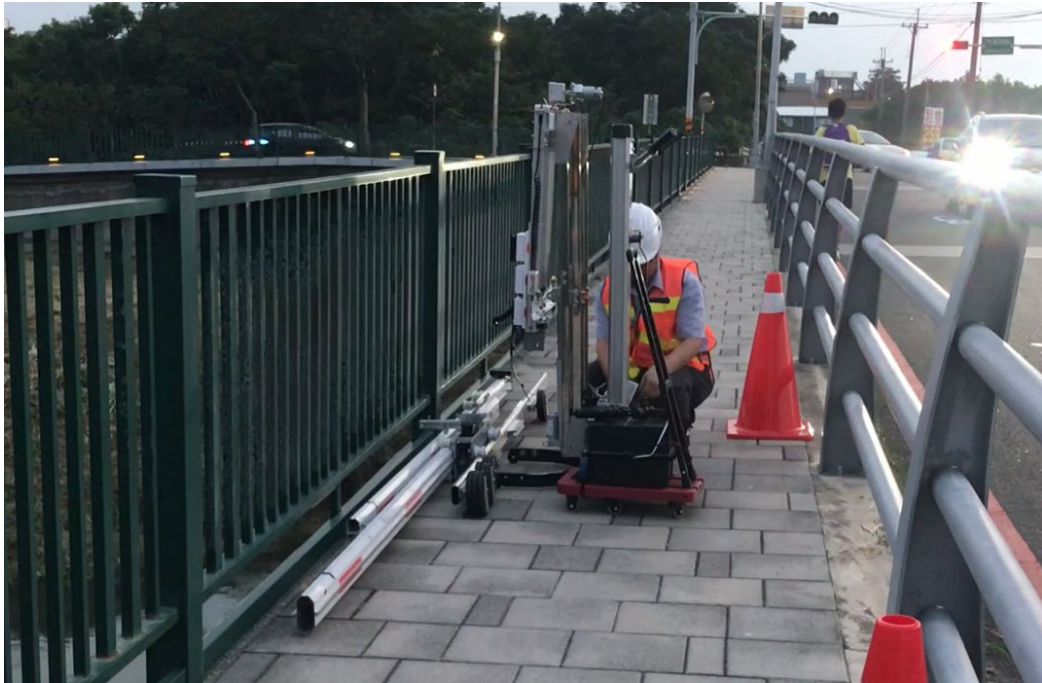


圖 3.71 系統操作程序_電控上電並鎖固各部件



圖 3.72 系統操作程序_控制 A 桿舉昇跨過護欄



圖 3.73 系統操作程序_控制 B 桿垂降



圖 3.74 系統操作程序_C 桿旋轉 90 度開始量測

第四章 場勘訪談及實地測試成果

本計畫以 3 個面向進行專家訪談，逐步釐清系統功能、系統規格、加值應用與技術移轉的真正需求。第 1 個面向是實際了解橋檢單位目前如何進行人工橋檢，對於便攜型自動化橋檢工具的期待與需求為何；第 2 個面向是尋求橋檢工具研發單位專家的經驗與建議；最後一個面向則是針對影像加值應用，向國內影像專家請益，確保影像品質能符合計畫所提出之影像加值應用目標。

實地測試的目的在於早期發現橋檢工具設計問題、操作穩定性與壽命問題，能儘快修正問題與精進設計，實測橋址的選定主要考量為測試安全，先排除車輛來往頻繁之道路，次要選定橋梁長度 6 公尺以上、最大淨寬原則小於 10 公尺、無電線架設、水流較小，方便工研院團隊前往測試之鄰近橋梁。

4.1 協同黎明工程顧問股份有限公司實際場勘(臨港二號橋)

協同黎明工程顧問股份有限公司於臨港二號橋進行橋梁檢測作業觀摩(如圖 4.1 所示)，過程紀錄如下：

1. 黎明工程特別備有船艇，當天剛好水位不深可透過鐵梯抵達橋底進行涉水橋檢。
2. 同時會有 2 組人員進行橋面、橋底檢查。1 組約 3 名橋檢人員，2 員涉水檢視，1 員戒備。
3. 大約 45 分鐘完成橋檢。



圖 4.1 臨港二號橋實際場勘圖

4.2 協同黎明工程顧問股份有限公司實際場勘(台 61 糠榔大排)

協同黎明工程顧問股份有限公司於台 61 糠榔大排進行橋梁檢測作業觀摩(如圖 4.2 所示)，過程紀錄如下：

1. 黎明工程特別備有船艇，已提前申請關閉農用溝渠降低水位。
2. 同時有 2 組人員進行橋面、橋底檢查。共計 3 名登船，2 員檢視，1 員戒備。
3. 人員著裝後，共同協助搬運船艇尋找合適下水岸邊缺口，划船抵達檢視區域約 30 分鐘。
4. 橋底目視檢測約 30 分鐘。

藉由此次場勘與黎明工程顧問股份有限公司之專家交換諸多意見。其中訪談重點摘要如下：

1. 本案預計完成之便攜型橋檢工具對於梁底空間狹小、水深、水流湍急之橋梁而言，確實有其便利及必要性。
2. 本案預計執行之手動控制及自動化量測功能，專家建議手動控制優先。
3. 許多梁底淨高狹小之跨水橋梁或感潮河段橋梁，由於橋梁座落位置及地形環境不利於大型運載機具進出，對於便攜型橋檢工具的設計相當期待。

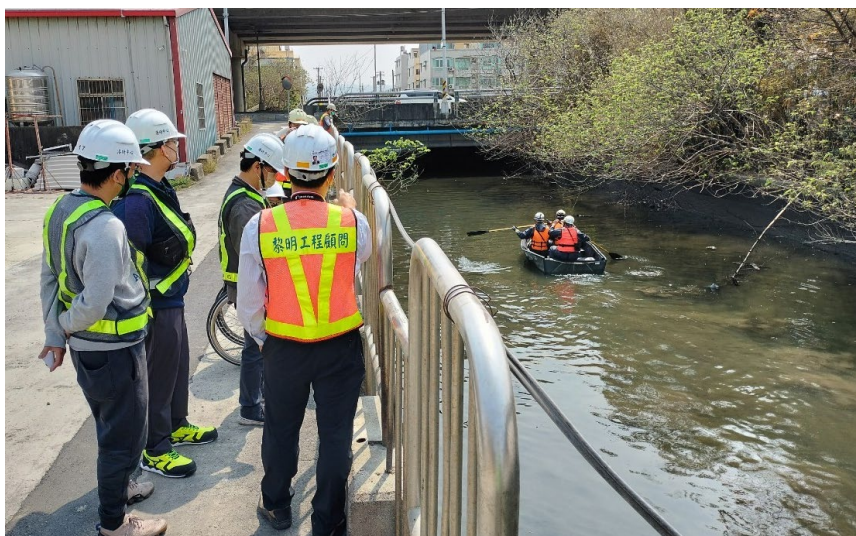


圖 4.2 台 61 檳榔大排實際場勘圖

4.3 大同大學專家訪談

2023 年 6 月 8 日前往大同大學，邀請黃維信副校長及林晨光助理教授進行專家訪談，專家訪談討論摘要如下：

1. C 桿伸出後回縮設計，建議可使用鋼索收回。工研院目前使用彈力繩，伸長量越大彈力會越大。估計雛型機測試兩節運轉問題不大，未來挑戰更大長度時，問題複雜達度會變高而出現許多問題。工研院團隊可以測試鋼索回收的對策，並預防前案曾發生的鋼索斷裂問題。
2. C 桿單節設計約 3 公尺，放置於車頂上運輸時要注意 2 點。第一點是駕駛安全性，第二點是震動容易造成桿件損壞。
3. C 桿在伸長狀態下，交接處受力大容易造成鋁材質的桿件變形或受損，須考量材料補強或用其他機構設計減輕受力。
4. B 桿設計要注意與 A 桿及 C 桿連接處扭矩非常大的問題。工研院團隊要注意強化設計並提早測試。
5. 前案推車於輪胎裝置編碼器(encoder)作為定位，但容易受地形變化影響定位精準性。

提供給大同大學林晨光教授目前工研院在材質、結構的技術重點供討論：

Q1.C 桿採用鋁合金橢圓平管材質。目前成果為 6 米長管重 4kg，並於最前段荷重 2kg 下未使用張力索無下垂變形問題。價格遠低於碳纖維管且型號眾多，易於採購易於加工。

A1.前案之設計預計伸長 7 公尺，收縮 2 公尺，因此須採碳纖維材質。此案設計採伸長 6 米，收縮 3 米之前提下，以鋁擠型設計為較佳之方案。前案經驗中，初始長度過長會造成梁底邊緣影像無法取得之狀況，請研究團隊注意。

Q2.繩排伸縮滑輪關鍵模組設計。第一代雛形機關鍵模組使用 6mm 鋼板重約 1 公斤，於 6 公尺長鋁擠型(10+2 公斤)情境下，使用

一般模型塑膠齒條+DC12V 電機即可平順驅動伸縮，顯示現代軸承規格於數百公斤扭矩下，能長時間維持超低摩擦力，證實採用滑輪決策正確，能確保系統使用壽命。預計使用 3mm 鋁金件並使用工程塑膠輪可達到 0.5 公斤效果。

A2.鋼製導輪於鋁擠型溝槽滑動極易造成鋁擠型零件磨損，建議導輪採用軟性材質(節間間隙增加)，或增設滑軌元件(C 桿重量增加)，再請研究團隊評估利弊。

Q3.專業攝影三軸穩定器應用。解決前案影像抖動、光源不足、透視變形問題。可手機平板控制各種角度取像、遠端變焦等問題，Gopro 影像並具備 GPS 定位資訊。

A3.梁底 GPS 訊號受遮蔽，定位誤差極大，且梁底 WIFI 訊號難以穿透，以手機控制 Gopro 可能常有斷訊之狀況。桿前震動型式與商用防手震機制不同，大幅度位移造成之影像晃動難以消除。桿前攝影裝置建議以轉向拍攝與垂直攝影功能為主。

Q4.探討是否有機會克服之前的問題並挑戰 7 公尺以上超長檢測距離，困難為何？

A4.長度增加後，承受之力矩以長度二次方增加(重量、力臂之乘積)，以前案之設計，於 6 公尺內可正常運作，突破 6 公尺後始發生諸多異常，此類設計於先決條件下難以突破。可能須以重型設備型式，採用吊車/舉高車相關元件方能克服。

Q5.超長距橋梁之自動化檢測設備(橫跨至少 14 公尺)。工研院於 3 月初 12 公尺長極限測試中，深刻理解易攜式輕型懸臂梁有其難度與限制。如果能改用龍門架構+鋼索攀附型無人載具，其中如何快速將超長鋼索跨橋串接的技術，將突破傳統極具專利價值。

A5.基於現有設計難以克服，可能須以更重型元件進行設計，或者以拋繩穿引線方式達成功能。



圖 4.3 大同大學專家訪談照片紀錄

4.4 成功大學專家訪談

2023 年 9 月 21 日透過視訊會議，邀請國立成功大學測量及空間資訊學系饒見有教授進行專家訪談，專家訪談內容如下：

橋檢影像品質相關問題專家訪談內容

Q1.橋檢工具該如何在資料庫系統中提供定位資訊，協助瑕疵檢出

後，橋檢人員快速找到問題點？

A1.橋檢工具只需取得相鄰照片有足夠重疊率的靜態影像，再透過 SfM 技術解算照片之位置與姿態，過程中可以配合少量地面控制點（直接在實地測定得到絕對地理座標）或幾個已知長度的結構，以便設定尺度，最終取得橋梁底部平面及側面之原始影像，即可透過正射改正 mapping 至 3D 模型表面，再透過 AI 劣化偵測取得正射影像上之橋梁劣化資訊，套疊於 3D 模型上供橋檢人員評量橋梁劣化狀態。

Q2.參考期中成果之影像資料庫系統架構，是否能符合後續影像介接應用？

A2.計畫中所提之影像介接應用並無即時性，因此資料庫系統不一定需要 4G/5G，只要能傳遞大量影像檔案的方式都可。

Q3.是否需要影像定位資訊作為拼貼輔助？例如 GPS、或是影像相對位置關係、或是前後左右關係即可？

A3 只需取得相鄰影像有足夠重疊率的靜態影像檔案，且照片內容為連續拍攝，即可使用商用軟體去解算相片之位置與姿態，不需提供照片拍攝之 GPS 座標。工研院提議提供相鄰 2 張影像之間的距離，或許有助於定義整個 3D 模型的絕對尺寸。

Q4.影像變形是否影響拼貼成果，是否有變形量評估方法與閾值？

A4.影像若有嚴重變形將無法正確解算出照片的拍攝位置與姿態，在拍攝後無法恢復正常影像，僅能在拍攝前避免。

Q5.影像清晰度是否影響拼貼成果，是否有清晰度評估方法與閾值？

A5.影像清晰不模糊也是正確解算照片拍攝位置與姿態的必要條件，在拍攝後無法恢復正常影像，因此必須在拍攝時避免。

Q6.影像明暗度是否影響拼貼成果，是否有明暗度評估方法與閾值？

A6.影像若有大部分太暗或太亮(過曝)現象，也不利於正確解算照片拍攝位置與姿態，也必須在拍攝時避免。

Q7.影像拼貼之相互涵蓋率建議最少是多少？須兼顧檢測效率。

A7.重疊率建議在 60%~80%之間，且一邊移動載具一邊拍攝，以提高拍攝效率。

Q8.建議影像解析度(pix/mm)多少較適合橋檢應用？

A8.低空間解析度影像為 2mm/pix，可偵測非裂縫之劣化類別，而高空間解析度影像為 0.2mm/pix，以便偵測裂縫。

Q9.Gopro11 是否適合當作影像拼貼影像擷取設備？或是單眼相機為佳？

A9.提供 Gopro 實際影像供評估。初步估計拍攝距離若在一公尺以內有機會拍攝得到高空間解析度之影像，以辨識裂縫。

Q10.影像變形是否影響 AI 瑕疵影像檢測正確率？

A10.是的，變形的影像不利於 AI 辨識橋梁劣化現象。

Q11.影像清晰度是否影響 AI 瑕疵影像檢測正確率？

A11.是的，模糊不清晰的影像不利於 AI 辨識橋梁劣化現象，若偵測得到裂縫，其寬度會變很寬。

Q12.影像明暗度是否影響 AI 瑕疵影像檢測正確率？

A12.是的，太亮與太暗的影像不利於 AI 辨識橋梁劣化現象，建議整張影像直方圖分佈中間峰值在 128，最暗與最亮部分不要超過影像面積的 2%。

Q13.建議影像解析度(pix/mm)多少較適合橋檢應用？

A13.若要偵測橋梁裂縫建議空間解析度為 0.2mm/pix

Q14.Gopro11 是否適合當作 AI 瑕疵影像擷取設備？或是單眼相機為佳？

A14.提供 Gopro 實際影像供評估。初步觀察 Gopro11 影像具有油畫效果，建議以不同距離實際拍攝一些混凝土裂縫，進一步觀察。

4.5 橋梁選址與實測成果

本計畫實地測試橋梁選址主要須符合交通部公路局或縣市政府管轄之「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，依本橋檢工具量測極限(最大伸長長度 5.3 公尺)範圍篩選最大淨寬小於 10 公尺之橋梁，需選定無電線架設之道路，並考量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，為保障實測人員及設備安全，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、最大淨寬原則小於 10 公尺、無電線架設、水流較小、排除車輛來往頻繁之橋梁。

4.5.1 實地測試選址

為利於本計畫執行，實測作業考量交通時間及人員往返之便利性，選定測試之橋梁先以設備所在位置(工研院)新竹縣市內，符合上述條件之橋梁進行實地測試，實測橋梁列表如表 4-1 所示。

表 4-1 實測橋梁列表

橋梁名稱	所在縣市	橋梁規格說明
福樹橋	新竹市香山客雅溪	護欄高 1.1 公尺，橋底板厚約 1.5 公尺。 橋長 59 公尺，橋寬 12 公尺(測試設備功能為主)。
公道五路橋	新竹市公道五路	護欄高 1.1 公尺，橋底板厚約 1.5 公尺。 橋長 20.3 公尺，橋寬 50 公尺(測試設備功能為主)。
關馨大橋	新竹市竹美路附近	護欄高 0.9 公尺，橋底板厚約 1.5 公尺。 橋長 20.3 公尺，橋寬 7.5 公尺。
石孔橋	新竹縣芎林鄉	護欄高 0.8 公尺，橋底板厚約 1.5 公尺。 橋長 15 公尺，橋寬 8 公尺。
五秀橋	新竹縣芎林鄉	護欄高 1.1 公尺，橋底板厚約 1.3 公尺。 橋長 15 公尺，橋寬 8 公尺。
鹿寮坑橋	新竹縣芎林鄉	護欄高 0.8 公尺，橋底板厚約 1.2 公尺。 橋長 15 公尺，橋寬 8 公尺。



圖 4.4 新竹市香山客雅溪_福樹橋



圖 4.5 新竹市公道五路_公道五路橋



圖 4.6 新竹市竹美路附近_關馨大橋



圖 4.7 新竹市芎林鄉_石孔橋

4.5.2 實測成果

橋梁實測遭遇之問題及對策如表 4-2 所示，實測成果以影像方式呈現，實測影片網址如表 4-3 所示，相關實測過程如圖 4.9 至圖 4.16 所示。

表 4-2 橋梁實測問題及對策表

	地點	成果	問題	對策
1	新竹香山福樹橋	初步證實系統透過休旅車搬運及路面長途震動仍可正常運作。	1.風吹 C 桿搖擺。 2.BC 桿舉昇高度剛好卡到 110cm 護欄。	1.風吹 C 桿搖擺問題，緊急進行鋼索設計變更。 2.尋求加長桿件，或增高橋檢工具高度。
2	新竹香山福樹橋	證實鋼索設計變更能有效抑制 C 桿搖擺問題。	2 支 100 公斤頂桿齒輪崩斷。	緊急前往桃園新屋原廠進行齒輪零件更換。
3	新竹市公道五路公道五路橋	證實 2 支 100 公斤頂桿設計不可行。	2 支 100 公斤頂桿齒輪再度崩斷。	緊急採購 400~600 公斤頂桿 1 支。但發現目前傳產景氣低落皆無庫存。求助其他部門終於找到幾支相似規格備品。
4	新竹市竹美路關馨大橋	證實 1 支 400 公斤頂桿可行。順利取得第一批梁底影像。	1.垂降繩垂降時 C 桿劇烈彈跳，容易造成 3 軸穩定器過載異常。 2.無橫向移動底座與鉛酸電池配重。 3.BC 桿舉昇高度剛好卡到 90cm 護欄。	1.加大馬達及鋼索卷軸尺寸。 2.橫向移動底座與鉛酸電池配重持續請加工廠趕工。 3.加長 A 桿。
5	新竹芎林石孔橋	移動底座與鉛酸電池配重，趕工完成實測，確認功能正確。順利取得第二批梁底	Wifi 及藍芽通訊不穩定	天線結合同軸電纜進行藍芽訊號延伸，或市購 wifi 訊號延伸器。

		影像。		
6	新竹芎林五秀橋	順利取得第三批 梁底影像。	Wifi 及藍芽通訊 不穩定	同上
7	新竹芎林鹿寮坑 橋	順利取得第四批 梁底影像	Wifi 及藍芽通訊 不穩定	同上

表 4-3 橋梁實測成果影片網址

梁底檢測工具上車及下車準備工作	https://youtu.be/_3ZSecJdKAU
梁底檢測工具現場組裝	https://youtu.be/GLyF03bY1MI
鹿寮坑橋 量測操作過程	https://youtu.be/6i2UeHOiocg
五秀橋 Gopro 梁底影像	https://youtu.be/vTGJIVmXQzs
鹿寮坑 Gopro03 梁底影像 LED 打光	https://youtu.be/TxtCAwncv0s
福樹橋_第一次現地實測問題與對策(風吹 C 桿轉 動問題)	https://youtu.be/iuagz5VIb_M
第二次現地實測問題與對策(鋼索對策解決風吹 問題)	https://youtu.be/aoL3OhIdsyQ
第四次現地實測順利取得第一批影像(一)	https://youtu.be/Y9cgggt8cefQ
第四次現地實測順利取得第一批影像(二)	https://youtu.be/AVD6OunonMg
第五次現地實測成果_順利取得第二批梁底影像	https://youtu.be/bf-HFD6_4bA
第五次現地實測_石孔橋完整操作過程影片	https://youtu.be/m3E0Y11xZYE

行前準備

- 證實可透過休旅車搬運。



圖 4.8 第一次現地實測前準備工作

第一次實測_新竹香山_福樹橋

問題與對策：

1. 風吹C桿搖擺
2. BC桿舉昇高度剛好卡到110cm護欄。

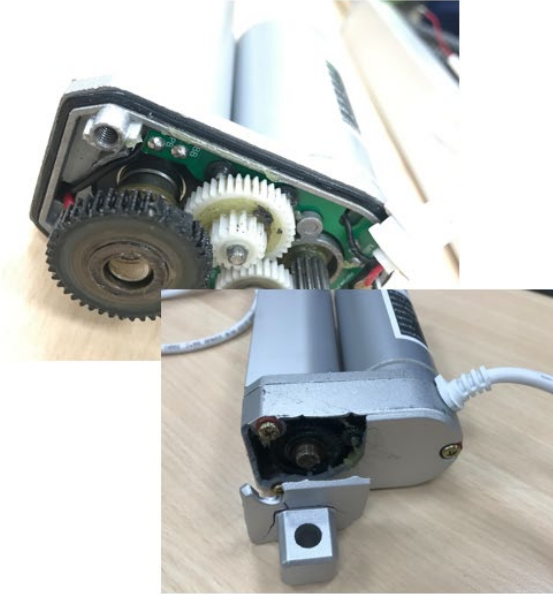


圖 4.9 第一次現地實測問題與對策

第二次實測_新竹香山_福樹橋

問題與對策:

1. 2支100kg頂桿齒輪崩斷。



證實鋼索設計變更能有效抑制C桿搖擺問題。



影片中C桿故意利用控制器左右搖擺震盪
可發現很快收斂停止，顯示鋼索設計變更對策有效。

圖 4.10 第二次現地實測問題與對策

第三次實測_工研院附近_公道5路附近

問題與對策:

- 1. 2支100kg頂桿齒輪再度崩斷，證實2支100kg頂桿設計不可行。



求助其他部門找到幾支400~600kg頂桿備品。

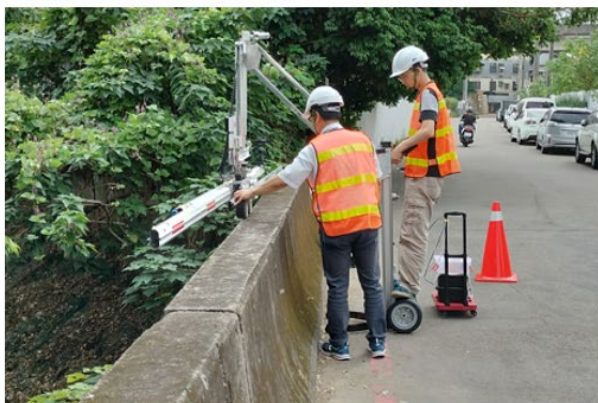


圖 4.11 第三次現地實測問題與對策

第四次實測_工研院竹美路附近_關馨大橋

問題與對策:

1. 垂降繩垂降時C桿劇烈彈跳，容易造成3軸穩定器過載異常。
2. 無橫向移動底座與鉛酸電池配重。
3. BC桿舉昇高度剛好卡到90cm護欄。



預計加大馬達及鋼索卷軸尺寸，
避免垂降繩垂降時C桿劇烈彈跳。



圖 4.12 第四次現地實測問題與對策



圖 4.13 第四次現地實測順利取得第一批影像(一)



圖 4.14 第四次現地實測順利取得第一批影像(二)

第五次實測_新竹縣芎林鄉_石孔橋

問題與對策: 無

成果:

- 1.移動底座與鉛酸電池配重趕工完成實測確認功能正確。
- 2.順利取得第二批梁底影像。。



圖 4.15 第五次現地實測成果

第五章 結論與建議

本計畫前期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，以組裝操作簡便、便攜、經濟且可施作空間為設計架構，完成以推車操做為主體的「推車型橋梁檢測工具」，並進行相關檢測構件精進，如：桿臂變位控制、輔助照明、機電化控制...等，經測試驗證，該雛型橋檢工具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

今(2023)年計畫進行橋檢設備改良及功能精進，提升檢測影像及設備操作之穩定度，基本檢測功能趨近成熟穩定，並於此開發基礎上進行加值應用及技術移轉規劃工作。本計畫技術移轉的目標在於提供一套橋檢工具協助橋檢人員進行橋檢工作，本工具除必須符合橋檢人員各項橋檢工作之功能需求外，設備的穩定性、可靠度及便攜性為進行技術移轉工作順利與否之重要前提，檢視過去「推車型橋梁檢測工具」雛型，已驗證此架構可行且能協助達成橋檢之工作，但各部零組構件大多為自行設計開發、組裝，或 3D 列印生產獨有之零組件，未來落地應用勢必需有方便取得且充足之維修零件，且若要推廣應用必須將產品能規格化、商品化，足以大量生產。

本計畫橋檢工具之開發沿襲了過去本案前期之研究成果，在原有操作方式及硬體架構下，除設備各部元件以市售商品及零件取代外，並改善本橋檢工具使用及開展之方式，降低桿件於大量操作下之磨損，提高使用耐用度及操作可靠度，提升本橋檢工具之商品化程度，以利技術移轉工作之進行，同時改變設計，縮小本橋檢工具之推車構件，方便載運攜帶，以符合橋檢人員執行橋檢工作需，能以休旅車載送之需求，提高實務單位的使用意願，設備改良及改善各部元件如表 5-1 所示。

表 5-1 設備改良各部元件比較表

項次	橋檢工具 設備項目	原設計	改良後	效益
1	C 桿尾端荷 重	0.55 公斤	5 公斤	提高橋檢儀器擴 充彈性
2	運送方式	具升降尾門貨車	休旅車	提高便攜性
3	C 桿伸縮原 理	磨擦輪推送	繩排滑輪模組	提高使用壽命
4	系統電力 運行時間	1 小時	3 小時	運作時間更長
5	攝影模組 影像解析 度	PI CAM(3280×2464 像素)	Gopro11 Hero(4096×2160 像素)含 3 軸穩定 器及 LED 光源。	可選用 3 公斤以 下單眼相機、光 達及超音波檢測 儀器

5.2 建議

1. 持續辦理推廣活動，蒐集橋檢實務單位需求與建議，透過橋檢人員實際操作，了解本橋檢工具需改良及精進之方向，蒐集相關操作上之建議、回饋意見及其他實務工作需求，累積本橋檢工具後續精進或開發其他橋檢工具設備之能量。
2. 本計畫變更改良前期設備之開展方式、桿件伸長方式及細部設計，初步研判有專利申請價值，建議後續可研議申請專利。
3. 本橋檢工具前端檢測模組目前以運動型攝影機做為影像拍攝之設備，透過本計畫之設計及改良，C 桿已可承載 5 公斤以內之影像擷取或其他檢測設備，建議後續可導入其它攝影系統(如光達、熱顯影...)進行測試，擴大本橋檢工具之使用功能。

5.3 研究成果與效益

上述關鍵模組組裝及初步機電測試成果已通過離型驗證可行，為一可穩定運行之設備架構，後續將進行可交付成果之第一代機發包製作與實驗室外實際測試驗證。

1. 持續精進改良橋檢工具之機件運作性、展開性、穩定性或增加可提升檢測作業品質之功能，攝影鏡頭須確保能獲取足供 AI 辨識之清晰影像，並持續精進桿件伸展長度。
2. 完成結合全景影像技術並配合該技術特性，探討並律定作業時橋檢工具之操作程序。
3. 探討各類型劣化缺失種類、範圍及位置可呈現於梁下全景影像上，以直觀且完整之視覺展示，提升檢測評估品質。
4. 完成本橋檢工具介接本所開發之橋梁劣化 AI 辨識系統之規格設計，以利後續系統整合作業。
5. 探討運用 5G 通訊傳輸技術高速低延遲之特性，並配合本所開發之橋梁劣化 AI 辨識系統，研發可於現場呈現劣化判釋影像之加值應用之必要性。
6. 完成水下檢測功能開發之可行性及必要性評估。
7. 完成橋檢工具使用手冊，以使用者觀點進行操作步驟及拍攝原則說明。
8. 規劃辦理本橋檢工具技術移轉作業。
9. 完成實地測試(至少 6 座橋梁)，並依測試結果，適時調整優化橋檢工具、控制元件及相關操作原則。
10. 辦理成果效益評估及成果推廣。

本計畫研究成果及檢測案例，可提供中央（內政部國土管理署、交通部高速公路局、公路局等）、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。

5.4 技術移轉模式

本計畫於 2023 年 8 月開始討論技術授權議題，共計提出 3 種模式如下，本計畫優先考慮透過「研發成果授權推廣契約書」簽訂，授權本計畫合作研究單位(工研院)取得智權進行推廣應用權利，由工研院尋覓再授權廠商進行產品推廣、複製、販售及售後服務。

表 5-2 研究成果推廣及技術移轉模式列表

技術移轉模式	說明
租賃合約	橋檢單位 1 年內無償借用，非正常使用損壞需負擔維護費用。設備商於 1 年內協助設備維護，1 年後開始收取租賃金作為設備持續維護與精進費用。若使用合意，可由租轉買或由設備商製作新機販售，收入由工研院、本所、設備商合理分配。
設備移轉至其它政府單位	政府單位無償設備移轉使用，損壞皆需負擔維護費用。設備商收取維護費用維持設備運轉。若使用合意可由設備商製作新機販售，收入由工研院、本所、設備商合理分配。後續設備精進費用將由本所或橋檢設備使用單位提出採購標案。
MOU 合作備忘錄	設備維護費用由本所與 MOU 對象協議。設備商收取維護費用維持設備運轉。若使用合意可由設備商製作新機販售，收入由工研院、本所、設備商合理分配。後續設備精進費用將由本所或橋檢設備使用單位提出採購標案。

5.5 推廣應用情形

為推廣本計畫研究成果，於 2023 年 12 月 4 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，邀請內政部國土管理署、交通部高速公路局、公路局及縣市政府等橋梁

維護管理機關(構)，與實際參與檢測的專業廠商，超過 70 人參與，交流分享橋檢工具之研發成果及實地測試案例，並展示橋檢工具操作及功能，提供橋梁維護管理機關(構)參考應用，協助橋梁檢測工作並提升橋梁檢測品質與安全，成果推廣如圖 5.1 所示。

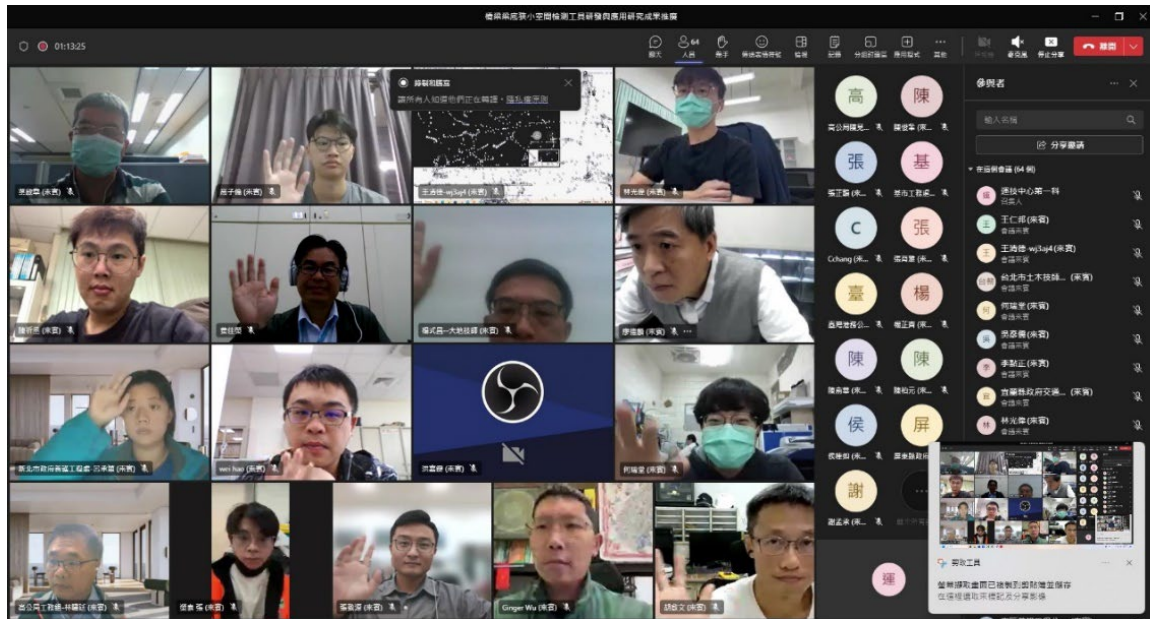


圖 5.1 線上成果推廣

參考文獻

1. 交通部，「交通技術標準規範公路類公路工程-公路養護規範」，民國 109 年。
2. 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」，民國 109 年。
3. 交通部運輸研究所，「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」之研擬，民國 100 年。
4. 交通部運輸研究所，「橋梁檢測工具效能提升計畫」，2016。
5. 交通部運輸研究所，「橋梁檢測工具效能提升計畫(2/2)」，2017。
6. 交通部運輸研究所，「感潮河段橋梁梁底檢測方式初探」，2017。
7. 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。
8. 交通部運輸研究所，「感潮河段橋梁梁底檢測工具精進研究」，2022。
9. 交通部運輸研究所，「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」，2023。
10. 交通部運輸研究所，「車輛偵測器研發成果之技術移轉研究」，民國 99 年。
11. 自由時報，台 17 線台南北門鯤鯓橋下陷春節交通大考驗，<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1596284>，民國 105 年。

12. 自由時報，南方澳斷橋原因水落石出找出壓垮駱駝的最後一根稻草 <https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/4041045>，民國 111 年。
13. 以長桿工具進行橋梁水下構件檢測之研究(中央 2017)
14. MOTC-IOT-94-H2DA006 水下自動化監測作業技術之研發
15. 基於主動聲納之自主式水下載具表面追循功能開發(中山 2022)
16. 數位相機水下攝影運用於水下結構觀測之研究(雄科大 2020)

附錄一

期中報告審查意見及處理情形

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：橋梁梁底狹小空間檢測工具加值應用及技術轉移

合作研究單位：財團法人工業技術研究院

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)郭世榮委員		
1. 報告書撰寫格式建議可再檢視修訂，以利閱讀。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
2. 報告中請再加強說明 2 個水平方向移動的相關測試及運作模式。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
3. 3 軸穩定器可提升影像解析度，請檢核 C 桿件自由端震動幅度、頻率的限制條件，以符合影像解析度的需求。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
(二)黃維信委員		
1. 請於報告中說明檢測設備使用環境限制，如梁底檢測臂之作業距離及檢測臂距離梁底所需的最小淨高等。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形，已於報告中呈現。
2. 請於報告中說明各部位檢測設備之尺寸及重量，設備運送方式，以及於現場設備安裝時所需的作業空間為何？組立所需之作業時間，以及最少作業人力需求為何？	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形，已於報告中呈現。
3. 報告第 32 頁，為解決 C 桿尾端變形利用鋼索產生的張力減少變形，但角度小垂直分力有限，而且水平分力反而會抵消 C 桿送出的推力。	謝謝委員提醒。計畫經測試後選用超輕量 C 桿材質，目前不須使用張力索已能達成目標。	同意合作研究單位處理情形。

4. 請說明影像定位機制及精度。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
5. 設備載送之規劃，報告中提及可以使用休旅車載送，是否適當且可行？	參考第 4 章實地測試成果，可以使用休旅車載送。	同意合作研究單位處理情形，測試成果已於報告中呈現。
6. 報告第 49 頁，影像資料庫採用 3 層式架構之必要性？檔案中斷續傳功能？現場是否需要安裝 PC？其用途為何？	請參考 4.4 成功大學訪談。即時影像檔案傳輸對於影像加值應用並無幫助，目前已依據專家建議及工作會議協商結果取消影像檔案系統架構。	同意合作研究單位處理情形。
7. 計畫報告應符合基本之格式內容，如第一章應該增加說明研究方法、研究架構、工作項目、計畫執行甘特圖、工作流程圖等。第二章應該文獻回顧為主，建議調整報告撰寫編排順序。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已調整修正報告架構符合本所報告格式。
8. 排版時建議儘可能將圖片說明與圖片放置在同一頁，便於閱讀。	依委員建議儘可能修正。	同意合作研究單位處理情形。
9. 於報告中僅提及設備於單點定位後伸展拍攝，且僅展示向上拍攝之方向，能否說明或評估攝影設備於橋面平行移動拍攝之功能？以及如何控制及調整攝影機拍攝角度？	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形，操作方式已於報告中呈現。
(三)戴國政委員		
1. 請於報告書中呈現梁底機器人完整系統架構。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
2. 報告書中專家訪談的章節，請列出訪談摘要及建議，並將訪談的疑點列出進行差異性比較，報告書內容宜有系	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形，呈現方式已調整修正。

統性呈現。		
3. 本橋檢工具採用攝影設備之軟硬體宜多加比較，選用最適合之組合，方能獲得良好的影像以利後續辨識作業。	謝謝委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
4. C 桿的材質宜有多面向的比較，以確認選擇最適用之材質。	謝謝委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
(四)楊秉順委員		
1. 報告第 22 頁，建議各步驟新增配合圖示較為清楚。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
2. 報告第 29 頁，依進度甘特圖，梁底機器人、自動控制模組、定位與分類影像資料及水下檢測加值應用評估應已完成，惟目前報告書僅呈現研究問題解決階段，建議於報告書中補充相關成果內容。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
3. 目前實際拍攝影像及品質為何？依團隊設定影像辨識解析度是否有達到效果？	期中成果專注於硬體機構可行性，尚未探討影像品質。期末成果已補充影像品質議題。影像解析度目前可達拼接應用。	同意合作研究單位處理情形。
4. 前期相關研究困難點尚有重量及組裝問題，本期輕量化成果與組裝操作簡易性是否有提升？請補充說明。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
5. 報告中有提到未來結合運研所開發之 AI 影像辨識加值應用，請再補充如何加值應用及後續應達到辨識率為何？	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
6. 報告第 70 頁，期中成果 5G 加值應用、水下檢測加值應用初步成	本計畫年度目標對於 5G 及水下檢測僅只止於評估，評估結果皆為不可	同意合作研究單位處理情形，相關討論過程已於報告中呈現說明。

果，建議補充於本章節。	行。	
(五)韓仁毓委員		
1. 報告第 15 頁，本案採用全景像機，雖涵蓋範圍較廣，但造成較大且不易糾正之影像變形，對於後續橋梁異狀幾何分析可能產生影響，應說明採用全景影像之必要性。	謝謝委員建議。本案可依據需求變更任務倉之相機模組。對於梁底影像而言的確沒有全景影像之必要性。	同意合作研究單位處理情形。
2. 本案強調 5G 為通訊傳輸之主要媒介，但一般橋檢無須即時進行分析，且 5G 涵蓋範圍有限，建議應發展 local 端之通訊方式以及應用方式，以更符合實際橋檢情境。	謝謝委員建議。已依據專家建議及工作會議協商結果取消 5G 通訊，使用 local 端之 wi-fi 及藍芽通訊為主。	同意合作研究單位處理情形。
3. 報告第 20 頁，目前以鋁桿構件進行橋檢，雖已有討論部分橋梁種類與特性之因應方案，但實際狀況繁多(如有架設防護網等)，建議與實際橋檢單位多舉辦幾次交流會議(目前僅有大同大學訪談)，瞭解實務需求，以使技術能更廣泛應用。	感謝委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
4. 報告第 49 頁，影像資料庫中有影像拼貼及 AI 辨識系統，請說明如何與資料收集過程做結合(資料收集方式、角度、空間或時間解析度等)? 另本系統是否包含定位系統，如何判定影像位置?	影像資料庫中有影像拼貼及 AI 辨識系統說明依委員建議補充。 本系統只有 GPS 定位，細部定位參考影像專家會議成果，可透過影像拼貼系統進行分析估算得到影像位置。	同意合作研究單位處理情形。
5. 請說明設備運用情境，所需人員(專業、人	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形，已於報告中呈現。

數)、現場操作流程，設備營運成本等，以進一步釐清此技術落地運用方向。		
6. 橋梁因車行所造成之震動及風吹造成的晃動，是否影響影像拍攝品質？目前之鋁管是否為最佳選擇，是否考量碳纖維材質？	實地測試發現車行震動不會對影像品質造成影像。陣風則會造成 C 桿轉動不止，目前已完成對策。 感謝委員建議，今年考量加工及材料取得之難易度優先使用鋁管，未來可嘗試碳纖維材質。	同意合作研究單位處理情形。
(六)盧昭暉委員(書面審查意見)		
1. 報告第 20 頁圖 11，A-1 桿與 A-2 桿的距離是多少？這牽涉到安裝後梁底機器人的最大移動距離。	A-1 桿與 A-2 桿經工作會議協商已取消。	同意合作研究單位處理情形。
2. A 桿的固定方式沒有說明，在非水平橋面上，如何確保 A 桿垂直？	無法確保 A 桿垂直，垂直問題將透過 3 軸穩定器解決。	同意合作研究單位處理情形。
3. 當 C 桿已經伸出去，梁底機器人在 B 桿上水平移動時，是否會造成 C 桿尾端水平振動？	水平移動時的確會有 C 桿尾端震盪問題。由於超輕量 C 桿材質選用正確，實測結果發現大約 3 秒內可達到穩定取像之成果。	同意合作研究單位處理情形。
4. 報告第 33 頁圖 20，以左右張力索來減少 C 桿尾端變形量，鋼索的收放機制如何？鋼索是否會與橋底干涉？	張力索設計經工作會議協商已取消。	同意合作研究單位處理情形，相關討論過程已於報告中呈現說明。
5. 報告第 33 頁圖 20，固定張力索還需要另一支垂直桿件，在報告第 20 頁圖 11，系統圖中並沒有呈現，是否固定張力索的構想已放棄？宜在報告中說明。	張力索設計經工作會議協商已取消，並依委員建議已補充說明。	同意合作研究單位處理情形。

6. 報告第 39 頁圖 29，C 桿伸縮原理目前是只有構想，還是已經做出原型機在試驗？	已完成原型機試驗。	同意合作研究單位處理情形。
7. 報告第 46、47 頁圖 39、40，似乎與報告第 20 頁圖 11 不同的設計，請說明清楚目前最後定案的設計是哪一種。	依委員建議補充說明。	同意合作研究單位處理情形。
8. 在系統開發過程中，會嘗試很多種不同設計，分析比較其優劣。若評估後發現這些構想不適合，必須放棄，宜在報告中說明已放棄，避免閱讀報告時造成前後不一致的混淆情況。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已修正報告呈現方式避免閱讀造成混淆。
9. 本計畫擬進行 6 座橋梁實測，這 6 座橋梁應具有不同的特性，才能知道本套設備的應用範圍有多廣。	感謝委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
(七)蔡立宏主任(主席，運輸研究所港灣技術研究中心)		
1. 建議說明本年度精進成果與前期內容之差異。	依主任建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
2. 建議研究過程中邀請應用單位共同參與現地測試，以便反應實際橋梁檢測實務之需求及面臨之問題，俾利研究成果可達本計畫主要研究目的。	感謝主任建議。	同意合作研究單位處理情形，將邀請執行橋檢工作之業者參與，協助提供實務意見。
3. 本計畫運研所與工業技術研究院(以下簡稱工研院)已召開多次工作會議，後續請工研院彙整各次會議紀要及本次期中審查委員意見處理情形表，納為期末報告審查之必要附	依主任建議補充。	同意合作研究單位處理情形，期中審查委員意見處理情形表將於期末報告中呈現。

件。		
4. 本計畫績效指標包含提供至少 1 篇可投稿之學術論文，請工研院撰擬相關可公開之論文或報告，應先知會運研所承辦單位確認，以符合考試院 112 年 3 月 30 日發布之「公務員發表職務言論同意辦法」相關規定。	如主席指示辦理，感謝主任提醒。	同意合作研究單位處理情形，將依相關規定辦理。
5. 本計畫報告格式請依運研所出版品規定格式撰寫，並請適度調整圖表大小與解析度；另圖表資料來源建議列於各圖表下方，圖片儘量避免細分多張小圖，俾利方便閱讀。	依主任建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
6. 本研發之工具未來擬提供相關單位應用，設計研發建議朝輕便、組裝方便及生產構件取得容易之方向進行。	感謝主任建議。	同意合作研究單位處理情形。
7. 本橋檢工具拍攝之影像是否有定位資訊？以及影像解析度是否符合運研所 AI 辨識系統需求？	本橋檢工具拍攝之影像只有 GPS 定位資訊。本橋檢工具可依據 AI 辨識系統影像解析度需求進行攝影模組更換。	同意合作研究單位處理情形。
(八)賴瑞應科長(運輸研究所港灣技術研究中心)		
1. 報告第二章有針對前期計畫所開發出的梁底檢測工具面臨商轉、影像及自動化三大議題做檢討，並提出具體解決方案，肯定工研院的解決方案，期望這些解決方案能在今年的計畫具體落實。	感謝科長肯定。	同意合作研究單位處理情形。
2. 報告第二章 2.2.5 交付項目，有將今年計畫所	依科長建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已修正報告呈現方

需交付的項目完整的呈現，有利於年底計畫的驗收，惟梁底檢測工具硬體描述似乎非現階段之機構，建議期末報告以定案的檢測工具來呈現；另外，報告第 22 頁系統安裝程序也請以定案檢測工具來撰寫。		式避免閱讀造成混淆。
3. 報告第 27 頁，2.3.5 效益評估及成果推廣實施法及步驟，相關內容並非本計畫研究成果的效益評估，建議跟目前橋梁檢測方式做比較，包括成本、效率、品質及安全性等進行比較，以評估其效益。	依科長建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
4. 報告第 60 頁，提到「海水禁止」字眼，似乎是日本用語，請修正。	依科長建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
5. 後續計畫工作項目包括實測 6 座橋梁、研發自動化控制介面、完成影像拼接功能、研訂操作手冊及規劃技術移轉等工作，提醒工研院要注意相關工作時程，避免計畫延誤。	感謝科長提醒。	同意合作研究單位處理情形，將持續注意各工作執行情形，避免工作進度延誤。
6. 報告格式及架構建議能做調整，並符合運研所的出版品格式。	依科長建議修正。	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

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：橋梁梁底狹小空間檢測工具加值應用及技術轉移

合作研究單位：財團法人工業技術研究院

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) 韓仁毓委員		
1. 本案技術創新且具有實務應用價值，值得持續深入研究。	感謝委員肯定。	同意合作研究單位處理情形。
2. 長桿選用材料及裝置之選用，建議先進行數值分析，並測試延伸變形之特性，以了解桿件完全伸長時之最大變形量。	謝謝委員建議。今年度長桿選用材料優先考量取得容易價格可接受，之後通過試誤法確保 3 公尺長桿自重變形量小於 10 公分即可。未來構件輕量化時會先進行數值分析與測試，了解其變形量。	同意合作研究單位處理情形。
3. 報告第 3-28 頁，本案開發之設備應用場域環境多為郊區，為人口密度相對較低之區域，計畫中 5G 可適用範圍以人口涵蓋率評估其適用性，並不妥適，宜修正報告論述。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
4. 設備已完成組裝，建議建立產品規格標準及使用手冊。	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形，本計畫已完成產品使用手冊之編撰。
5. 建議以實際測試成果與人工檢測比較，以突顯本橋檢工具之特色。	謝謝委員建議。規劃於後續推廣活動中陸續建立比較數據。	同意合作研究單位處理情形。
6. 建議可持續精進設備，提供檢測影像之定位資訊。	謝謝委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
(二) 郭世榮委員		
1. 目前 C 桿最大伸長量為 5.3 公尺，考量 B 桿	謝謝委員建議。規劃於後續推廣活動中透過實測確	同意合作研究單位處理情形。

與橋梁的水平距離，建請確認是否滿足可檢測橋寬 10 公尺以內之橋梁。	認滿足可檢測橋寬 10 公尺以內之橋梁。	
2. 建議評估最終橋梁梁底狹小空間檢測系統的維修及耐久性。	謝謝委員建議。規劃於後續推廣活動中陸續建立維修及耐久數據。	同意合作研究單位處理情形。
3. 建議補充 6 座橋梁檢測所需的時間，以確認其實用性。	謝謝委員建議。因本計畫今年 6 座橋梁實地測試，以設備功能及架構測試為主，尚未有完整實測數據，規劃於後續推廣活動中陸續實測補充檢測時間確認其實用性。	同意合作研究單位處理情形。
4. 期末報告書內容之呈現方式，建議參考期末簡報順序調整，將最終的研究成果，與歷次試誤之心得分開彙整，做為後續參考。	謝謝委員建議。	同意合作研究單位處理情形。
5. 請補充說明目前檢測設備整體之重量，並說明設備組立所需之作業時間。	依委員建議補充於報告 3.5.5 節，(期末成果)系統規格與操作程序。設備整體之重量約為 100 公斤，已受訓人員組立時間約 20 分鐘。	同意合作研究單位處理情形，相關內容已於報告中呈現。
(三) 戴國政委員		
1. 報告第 1-7 頁，有關選定之適用橋梁條件請補充論述其條件限制之原因，及統計橋梁之管理機關不同對本橋檢工具使用上之差異。	本計畫研發之橋檢工具設定以「最低橋下淨高 6 公尺以下」做為固定條件，又本橋檢工具目前檢測桿伸長之最大長度為 5.3 公尺，故另以「橋梁淨寬 10 公尺以內」進行橋梁數量統計。無論橋梁管理機關不同，都是計畫適用對象，並無使用上差異。	同意合作研究單位說明，本橋檢工具並無設定特定機關為適用對象，只要符合本橋檢工具適用橋梁之維護管理機關(構)，皆可參考使用。
2. 報告第 4-11 頁，有關說明選定測試之橋梁最大淨寬小於 16 公尺，此條件與本橋檢	橋梁最大淨寬小於 16 公尺為誤植，已釐清並修正為 10 公尺。	同意合作研究單位處理情形。

工具適用橋梁有出入，請釐清與補充說明。		
3. 報告第 1-9 頁，有關計畫範圍與本計畫摘要表之工作項目，請確認預期完成工作之處理情形及進度，以及報告 1-17 頁，後續交付項目請與運研所確認相關內容。	依委員建議進行。預計於交付驗收階段與運研所共同確認工作進度及交付內容。	同意合作研究單位處理情形。
4. 報告第 2-11 頁，有關介紹日本的輕便型橋梁檢測輔助設備，請說明國內是否也有類似的設備或未來導入之可能性。	本計畫並無導入該設備之規劃，未來導入之可能性建請運研所補充說明如後。	同意合作研究單位處理情形。報告中蒐集之資料主要為參考國內外相類似橋檢工具之功能及操作方式，做為本計畫橋檢工具設計研發之參考，本計畫並無導入該設備之規劃。
5. 報告第 2-21 頁，有關研發成果後續管理運用及推廣之規劃，建議再補充說明。	工研院優先考慮透過「研發成果授權推廣契約書」簽訂，授權工研院取得智權進行推廣應用權利。由工研院尋覓再授權廠商進行產品推廣、複製、販售及售後服務。	同意合作研究單位處理情形。
6. 期中報告審查委員建議報告修正調整之項目，或專家訪談後專家提出之建議項目，建議於報告中補充說明。	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形。
7. 報告第 3-40 頁，請說明設備使用之 NHK 工業級精密滾珠軸承之材質，釐清長期使用可能磨耗損壞之疑慮，以利後續推廣應用。	NHK 軸承確認為誤植，已修正為 NSK 軸承。經查詢技術資料，NSK 軸承使用長壽命軸承鋼 (NSK Z 鋼)。 詳細規格參考網址： https://www.nsk.com/common/data/ctrGpdf/bearings/split/e728/nsk_cat_e728g_204-225.pdf	同意合作研究單位處理情形。

8. 報告第 1-12 頁，關於此延續型計畫成果於未來實際應用之目標所需之論述建議調整修正。	依委員建議進行論述調整修正。	同意合作研究單位處理情形。
(四) 楊秉順委員		
1. 依第 5 次實測影片操作順暢，對於梁底淨高不足之單跨橋梁有助益，建議補充整體運作(含現場安裝)與一般現行檢測方式，在時間與經費上之差異。以及 C 桿伸最長，推車移動時影像成果。	謝謝委員肯定與建議，工研院規畫於後續推廣活動中陸續建立比較數據。	同意合作研究單位處理情形。
2. 報告第 3-24 頁，有關採用建置 NAS 資料系統，相關建置費用及後續維管費用為何？請補充說明。	本案經專家座談並討論協商後，決議不使用影像資料庫系統，可直接使用隨身碟或雲端存儲空間進行影像檔案傳遞，更符合實務所需且成本較低。	同意合作研究單位處理情形。
3. 報告第 3-60 頁，有關照片呈現 ABC 桿皆組裝完成於底座架，整體重量為何？請補充說明工程師獨自搬運之可行性。	系統整體重量約 100 公斤(含配重)，可透過省力工具輔助，操作者獨自搬運之可能性高。	同意合作研究單位說明及處理情形，相關內容已於報告中呈現。
4. 報告第 4-1~4-3 頁，有關顧問公司已至現場辦理檢測 2 座橋梁，請再補充比較採用本報告書檢測方式之差異性與優劣。	謝謝委員建議，目前尚無足夠具體資料可供納入報告書，工研院規畫於後續推廣活動中陸續建立。	同意合作研究單位處理情形。
5. 報告第 5-2 頁，有關所採用 GOPRO11，影像為廣角，是否會因魚眼效果造成影像扭曲，影響後續 AI 判讀狀況？請補充說明。	已將 GoPro11 檢測影像寄送影像專家進行評估，確認解析度不足 0.2 釐米/像素，不適用於高解析 AI 裂隙判讀。但魚眼變形效果可透過相機內建程式校正，並無扭曲問題。	同意合作研究單位處理情形。

6. 報告第 5-3 頁，有關所提全景影像技術目前測成果是否可行建議請納入報告書說明。	謝謝委員建議，目前尚無足夠具體成果納入報告書，工研院規畫於後續推廣活動中陸續建立影像加值應用成果。	同意合作研究單位處理情形。
7. 報告第 5-3 頁，有關所拍攝劣化構件位置須從影像拼接後，才能判斷位置，惟目前橋下無 GPS，未來如何確實拼接及劣化位置判斷。	依據影像專家會議結論，只需提供幾張影像具備 GPS 定位資訊即可。GoPro11 內建 GPS，預計橋側仍能接收得到 GPS 定位資訊。	同意合作研究單位處理情形。
8. 報告第 5-4 頁，有關本案相關機件具專業性且大部分零件係研究團隊所開發，未來如何降低維修之難易度，建議研究單位提供更詳細維修手冊或是一般性替代產品等，以利各機關參考。	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形。
9. 報告第 5-5 頁，有關請於本計畫完成研究成果推廣後，納入當日相關與會人員所提問題，並提出精進作為與後續發展方向。	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形。
(五) 盧昭暉委員		
1. 本計畫已完成預定工作達成計畫目標，報告內容完整說明詳細，值得肯定。	謝謝委員肯定。	同意合作研究單位處理情形。
2. 請於報告中補充最後定案的系統架構圖，系統規格表，零件設計圖，及完整系統的照片。	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形，相關內容已於報告中呈現。
3. 報告中有提供測試過程影片連結，清楚易懂，對了解計畫成果很有幫助。請補充 6 座	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形。

橋梁的測試過程影音檔案連結，方便檢視測試過程。		
4. 自動化程序陣列定位與取像，解決橋檢人員需要長期專注卻又枯燥乏味的問題。橋檢過程為遠端監視與遙控，橋檢人員在較安全區域或車內確保安全性及長時間工作舒適度，這是非常人性化的設計值得肯定。自動化檢測模式建議在期末成果展示中呈現。	謝謝委員肯定。	同意合作研究單位處理情形。
5. 影像拼接編輯與判讀的部分尚待完成，是否可用直接錄影取代影像拼接？錄影的解析度是否足夠用來判讀？請補充說明。	通過影像專家會議討論，初步評估使用大光圈、高快門單眼相機鏡頭，配合輔助光源有機會達成動態攝影並維持高品質影像，提高整體檢測效率。	同意合作研究單位處理情形。
6. 請製作設備操作手冊或組裝教學影片。	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形，操作手冊已編撰完成，相關內容已於報告中呈現。
(六) 黃維信委員(書面審查意見)		
1. 報告引用的法規、文獻、照片等，建議增加標註資料來源。	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形，相關內容已於報告中呈現。
2. 報告文章陳述的表格編號方式與表格標題的編號方式不同，如文章中為表 1-1，但表格標題為表 1.1，請檢視修正。	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形，已檢視修正報告內容。
3. 報告 1.5.2 節，所述之解決方案應以本案最終採用的方式為主，目前報告中所呈現之內容為計畫執行初期	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形，已於報告中標示避免誤會。

之發想，並非最終方案，建議修正避免產生誤導。		
4. 報告論述淨高在 6 公尺以內，且最大淨寬 10 公尺內之橋梁共 12,857 座，佔全國橋梁總數的 55.74%。但實務上縣市政府管轄之橋梁已被封蓋，或難以在現地找到該橋梁，建議實際可應用之橋梁數，應考量實務狀況再做評估。	謝謝委員建議，會再進行評估。	同意合作研究單位處理情形。
5. 請修改報告用語，期末報告理應已完成相關之工作，不應有「預計」、「將」...等用詞。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已檢視修正報告內容。
6. 報告中所使用的圖片不甚清楚(如圖 3.8、圖 3.20 等)，請提供高解析度之圖片，以便於閱讀文字內容。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
7. 請補充說明「立柱-A-B 桿」使用電動頂桿控制的安裝位置。	依委員建議補充。	同意合作研究單位處理情形。
8. 目前 C 桿最長可達 5.3 公尺，請評估未來最大可伸長距離？	謝謝委員建議，工研院規畫於未來精進計畫中評估。	同意合作研究單位處理情形。
9. 檢測桿件安裝於車頂，當桿件超出車頂時(如報告圖 3.70 所示)，桿件在運送過程中是否會因行駛震動，或是外在風吹之影響而產生變形？	已通過至少 6 次以上實地檢測，尚未出現變形影響操作之問題。	同意合作研究單位說明及處理情形。
10. 目前採用的手推車升降機，底部輪子是朝欄桿方向，如何讓手推車升降機沿橋梁車行方向移動？	底部輪子共有 2 組，1 組朝欄桿方向，1 組平行欄杆方向。同一時間只有 1 組著地進行移動。	同意合作研究單位說明及處理情形。

11. 系統運作所需配帶之電池容量為何？若考量要再供電給 NAS 使用，若以一天工作 6 小時概算，需準備多大容量的電池？	工研院建議準備 2 顆 52(安時)鉛酸電池。	同意合作研究單位處理情形。
12. 當控制桿件的馬達失效時，如何回收設備？	假設所有馬達失效時最糟狀態是完全伸展且攝影機位於橋梁底下，建議額外準備 4 公尺長桿，使力撥動 C 桿轉動 90 度(已實測步進馬達未上電時可輕易撥動)，讓攝影模組離開梁底，並額外裝置手動滑輪組及繩索取代鋼索將 BC 桿抬升至橋面高度。	同意合作研究單位說明及處理情形。
(七) 交通部公路局(含書面意見)		
1. 報告第 1-1 頁，有關「臺灣地區橋梁管理資訊系統」，已更名為「車行橋梁管理資訊系統」，另英文名稱部分亦建議確認修正。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形，已檢視修正報告內容。
2. 報告第 4-1 頁，有關文內說明實地測試選定最大淨寬小於 16 公尺，方便團隊前往測試之鄰近橋梁，惟團隊與黎明工程顧問公司擇定之臺中市龍井區「臨港二號橋」之淨寬接近 50 公尺，與前述說明似有落差，選定此橋是否有相關額外考量？	橋梁最大淨寬小於 16 公尺為誤植，已釐清並修正為 10 公尺。臺中市龍井區「臨港二號橋」為黎明工程顧問公司擇定，目的是方便研發團隊進行場勘理解人工檢測況，因此未限制橋樑寬度。	同意合作研究單位處理情形。
3. 報告第 4-11 頁，有關須符合公路"總"局，請更名為公路局。	依委員建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
4. 不論中央或地方政府所轄橋梁許多位處感潮河段，梁底空間狹	依委員建議進行。	同意合作研究單位處理情形。

小，日後此設備可能將廣泛應用，團隊是否考慮將相關操作方式製成使用手冊？以供使用單位熟悉掌握。		
(八) 本所運輸技術研究中心(含書面意見)		
1. 依目前開發之工具實際檢測所需花費之時間為何？	伸長/收回速度約 3 公分/秒,換算 3 分鐘可掃描 5.3 米距離。	同意合作研究單位處理情形。
2. 橋檢人員如何透過照片得知該照片拍攝位置？未來能否利用拼接技術重建橋梁影像？請補充說明。	橋檢人員在現場可透過監控影像即時發現橋梁問題。如果是事後檢視影像，須透過拼貼技術重建橋梁整體影像確認瑕疵位置。	同意合作研究單位處理情形。
3. 在技術移轉模式中，建議以 MOU 合作備忘錄方式，或簽訂研發成果授權推廣契約書之方式進行後續推廣應用及技術移轉。	工研院優先考慮透過「研發成果授權推廣契約書」簽訂，授權工研院取得智權進行推廣應用權利。由工研院尋覓再授權廠商進行產品推廣、複製、販售及售後服務。	同意合作研究單位處理情形。
4. 報告結論與建議中，建議補充對本案未來持續研發及推廣之建議。	依運研所建議修正。	同意合作研究單位處理情形。
5. 5G 通訊及水下檢測非本案之重點，建議內容再加調整。	謝謝運研所建議。	同意合作研究單位處理情形。

附錄三

工作會議紀要

會議日期	會議紀要
3/15	1. 3/8_工研院收到運研所文書送達契約書稿 1 份。 2. 3/10_工研院完成契約書裝訂與用印(正本 2 份、副本 2 份)快遞寄回運研所。 3. 3/14_工研院完成 GRB 計畫基本資料表登錄，已完成審查。 4. 3/1-3/10_進行 C 桿測試模組設計與發包，已完成雛形設計與加工廠發包，目前在加工廠組裝中。 5. 3/15_工研院內部計畫書審查(補)。補審原因為工研院修訂新制，超過 300 萬需審查與過往 1000 萬審查不同。 待議: - 針對審查結果主要議題為計畫書經費報銷疑慮，請運研所先暫停用印程序待釐清與修改後進行。 ■ 計畫書 p33(一)經費彙整表。若總價為 415 萬，應條列營業稅項目。否則該經費彙整表應標註未稅。 ■ 計畫書 p33(二)人事費。總計投 54 人月數，而工研院工時率遠超過計畫書所列舉，請協助確保人事報銷需不須檢附工時細項。 結論: - 工研院機械所會計同仁回覆如下: 確認配合雙方已用印之簽約內容辦理，不需修改計畫書。
3/30	1. 3/16 完成 2 座實際橋檢之場勘。附圖說明如後。 2. 3/21 完成第一期款申請，依據契約書第 5 條第(一)項第 1 款第(1)目之約定辦理。 3. 參考 3/15 會議紀錄辦理如下: 4. 3/17 完成 C 桿材質討論，將分為鋁擠型測試雛型及鋼管材質交付樣機同步進行。

	5. 鑒於細部構造需要調整與修改，離形將全程使用鋁擠型測試，加工廠老闆同步選用方形鋼管材質減輕重量與增加強度打造交付樣機。 6. 3/20 完成 C 桿伸縮滑輪設計發包。預計 3/31 加工廠完成滑輪採購及板金加工組裝測試。 7. 3/24 完成 10 公尺 C 桿離形調整 7.5 公尺與張力器優化修改。附掛 2 公斤重物拉緊張力器垂度=0 進行外力擺盪震幅測試。
4/17	1. 4/10 完成 C 桿滑輪組裝測試。 2. 4/10 C 桿離形測試問題探討與結論: a.材質確認 b.張力器操作性 c.滑輪模組設計確認 3. 4/12 ABC 桿整合設計收斂中... 4. 4/13 A 桿應力分析進行中... 5. 4/14 影像系統架構(Gopro, 三軸穩定器, 平板, app)資料收集中...
4/26	1. 4/18 系統組件名稱定義(ABC 桿) 2. 4/21 ABC 整合設計與架設程序 3. 4/24 影像系統架構_三軸穩定器必要性探討
5/12	1. 4/30 - 5G 及水下檢測加值應用評估文件產出 2. 5/2 - C 桿細部設計及伸縮原理 3. C 桿組件採購 4. 5/8 - Gopro11 功能及影像測試 5. 5/11 - 鋁合金橢圓平管測試
5/29	1. 5/15 - 專家訪談內容問卷初擬 大同大學: 機構設計經驗(實機觀察與實際操作問題)

	2. 5/17 - 立柱及 A 桿市購品採購 3. 5/19 - B 桿發包 4. 5/22 - C 桿伸縮電機測試(鋁擠雛形機) 5. 5/24 - 三軸平衡器+Gopro11 測試 6. 5/26 - C 桿加工件(鋁管正式樣機)陸續到貨組裝與測試
6/17	1. 6/8 - 完成大同大學專家訪談會議 - 立柱、A 桿完成組裝與 B 桿加工中 2. 6/2 - 立柱、A 桿、捲揚機市購品到貨及改裝 3. 6/5 - 完成 B 桿設計圖 v1.1 修改加工中 4. 6/7 - B 桿(備案)市購品到貨及組裝測試 - C 桿組裝測試中 5. 6/9 - C 桿(鋁管)滑輪組 v2 組裝測試 6. 6/9 - C 桿(鋁管)繩排組裝測試 7. 6/15 - C 桿(鋁擠)整機測試 8. 6/8~ 期中報告資料準備中
6/29	1. 6/17 - 會議後前往加工廠確認立柱/A/B 組裝進度不順，第二節鋁合金管材來料誤差導致干涉。 2. 6/21 - 高荷重行雛型機連續伸縮穩定性及壽命測試。 3. 6/21 - 一代機(鋁擠型八角管)伸縮測試與問題處理。 4. 6/23 - NAS 影像資料庫系統架構建立 5. 6/28 - 完成期中報告初稿，1 式 15 份膠裝紙本於 6/29 親送貴所。
7/14	1. 7/4 - 立柱/A/B 於加工廠完成組裝。 2. 7/5 ~ 7/13 - C 桿(雛形)與立柱/A/B 組裝、電機測試問題與對策。 3. 7/5 ~ 7/13 - C 桿(一代機)測試問題處理進度。 4. 7/11 - 針對第二階段專家訪談進行 NAS 影像資料庫系統

	架構探討。
7/25	1. 7/19 - C 桿(雛形)持續影像測試。 2. 7/20~24 - B 桿持續伸縮測試。 3. 7/17~21 - C 桿(一代機)進度說明。 4. 7/17~21 - 立柱-A-B 桿(雛形)測試後檢討與改善。
8/14	1. 8/1-完成期中審查及二期款申請，審查意見回覆進行中。 2. 8/2~11 -立柱-A-B 桿(一代機)設計。 3. 8/10 - 技術授權議題討論。 4. 8/12 - C 桿(一代機)組裝進度說明。
8/30	1. 8/15-18 - 完成立柱-A-B 桿(一代機)設計圖發包，加工中預計 9/1 到貨。 2. 8/21~25 - C 桿(一代機)零件已到齊，機電組裝測試中。 3. 8/28 - 技術授權議題策略彙整。 4. 8/28~29 - 第二階段專家訪談(影像品質)內容擬定。
9/15	1. 9/1~15 - 完成立柱-A-B 桿(一代機)組裝，測試及問題修正中。 2. 9/12 - 第二階段專家訪談(影像品質)定稿。預計 9/21 進行線上會議。

附錄四

交通部運輸研究所

研發成果授權推廣契約書（草案）

研發成果授權推廣契約書（草案）

(以下簡稱乙方)

[illegible]

研發成果收入：係指乙方因管理及推廣研發成果所獲得之授權金、權利金、價金、股權或其他收益。

四、有關研發成果管理及運用所需之各項費用，應由乙方自行負擔；惟研發成果之申請、登記及取得之所需費用，甲方已編列於計畫經費

者，由甲方支應。

- 五、 乙方於本契約有效期間進行研發成果技術授權時，其再授權家數以不少於兩家為原則，授權金額應不低於新台幣×××萬元。
- 六、 乙方運用研發成果所獲得收入(扣除乙方已支出之專利維護費用)之百分之七十應繳交甲方，並由甲方負責獎勵研發成果之發明人或創作人。發明人或創作人，係指官方相關正式文書或權利文件上列名之人。
- 七、 研發成果遭受侵權時，由乙方負責追究並通知甲方，所需費用由乙方負擔；取得損害賠償所得收入，扣除律師費、訴訟費用、侵權分析等成本與合理行政費用後之實際淨收入百分之二十應繳交甲方，其餘悉歸乙方所有。
- 八、 第三人為執行甲方委託之研究計畫而有運用研發成果必要者，得基於計畫執行目的，請求乙方無償授權使用本研發成果，經甲方核准後，乙方不得拒絕。但乙方得提出此項授權對本合約再授權廠商之影響評估供甲方核定與否參考。
- 九、 乙方將研發成果讓與或專屬再授權時應經甲方同意。
- 十、 乙方若欲自行將研發成果修改、製造或銷售，應經甲方同意。甲乙雙方並應依協議結論修正本契約之研發成果收入繳交比例。
- 十一、 如乙方自本契約簽約日起於 5 年期間無正當理由未有效管理運用研發成果，甲方得將研發成果收歸甲方。
- 十二、 乙方辦理本研發成果授權而與第三人進行再授權簽約時，應於授權契約中，包含本契約附件二之技術移轉授權綱要內容。該技術移轉授權綱要之增、刪或變更，須由甲乙雙方協議後另以書面為之。
- 十三、 凡本契約所未明文授與之權益或未明白同意乙方所得進行事務，一律由甲方予以保留；未經甲方事前書面之特別同意，乙方皆不得為之。

第四條：研發成果運用報告及收支處理

- 一、 乙方於每年 12 月 5 日前，應以書面向甲方提報該年研發成果之運用情形與相關資料，必要時甲方得要求乙方出席會議並簡報說明。

二、乙方與第三人就研發成果運用已簽訂技術移轉或授權契約，但該第三人依各該契約約定應支付而尚未支付該契約之對價或其他未能依約履行之情形者，乙方應確實請求廠商履約。

第五條：侵權責任

乙方就研發成果執行管理、運用及人員管理等相關事宜時，應注意不得侵害第三人之智慧財產權及其他權利，如因故意或過失致不法侵害第三人之智慧財產權或其他權利，或因債務不履行所產生之損害賠償，悉由乙方自負法律上之責任。

第六條：無擔保規定

甲方不擔保研發成果之可專利性、合用性及商品化之可能性；甲方亦不擔保研發成果不侵害第三人之智慧財產權。

第七條：契約書效力、解釋與糾紛之解決

本契約書之效力、解釋及其他有關之未盡事宜，應依照中華民國有關法令為準據法，如選定仲裁，以臺北市為仲裁地點，如選定訴訟，以臺北市地方法院為第一審管轄法院。

第八條：契約書之修改變更

本契約書條款之增、刪或變更，須由甲乙雙方協議後另以書面為之，並附於本契約書後，作為本契約書之一部分，原契約書經協議更改部分，即不再適用。

第九條：專案管理人

一、關於本契約書所指定之各方專案管理人資料如下：

甲方連絡人：□□□□ 職稱：□□□□□

連絡地址：□□□□□□□□□□□□□□□□

連絡電話：□□□□□□□□ 傳真號碼：□□□□□

電子郵件信箱：□□□□□□□□□□□□

乙方：□□□□

連絡人：□□□

職稱：□□□□

地

址：□□□□□□□□□□□□□□□□

連絡電話：□□□□□□□□□ 傳真號碼：□□□□

電子郵件信箱：□□□□□□□□□□□□□□

二、任一方之連絡資料有異動時，該方應立即通知另一方。

第十條：契約書效力

一、本契約自雙方代表人簽署後生效，計正本貳份，由雙方各執正本乙份為憑。

二、本契約簽署後，非經雙方書面同意，不得任意終止本契約。

三、本契約中指明適用之各法令及相關法規，於簽約日後若有修正或變更者，雙方同意自各該新法令及相關法規生效之日起，應依其最新修正或變更內容辦理。但各該新法令及相關法規中另有規定者，從其規定。

四、本契約未約定事項，應依照成果運用辦法及甲方相關規定辦理。

立契約書人：

甲 方：交通部運輸研究所

代表人：□□□□

職稱：□□□□

地址：□□□□□□□□

乙 方：□□□□□□

代表人：□□□

職稱：□□□□

地址：□□□□□□□□

中 華 民 國 年 □ 月 □ □ 日

附件一：研發成果明細

（由執行單位依各計畫之研究成果內容羅列）

附件二：技術移轉授權綱要

名詞定義：

授權技術：係指研發成果明細所載之技術，執行單位可視情況分割其授權技術。

授權產品：係指廠商利用授權技術所製造出來之產品。

一、授權內容

（1）廠商不得將授權技術或授權產品再授權或移轉予任何第三人使用、修改、實施、製造或銷售。惟廠商可授權予廠商簽約之代理或經銷商販賣授權產品，並將授權產品交由廠商之最終消費者使用。

（2）廠商依授權契約取得之授權其性質乃非專屬性（non-exclusive），即執行單位得隨時再以相關資料與任何第三人就授權技術或產品簽訂授權契約。

二、智慧財產權

（1）廠商因授權技術而獲得之著作權、專利權及其他智慧財產權歸執行單位所有。廠商不得將其向任何有關機關申請著作權、專利權或其他智慧財產權之註冊登記。

（2）廠商自行開發衍生技術所產生之著作權、專利權及其他智慧財產權於不牴觸「授權技術」產生之智慧財產權範圍內，均歸廠商所有。若該部份致侵害第三者之智慧財產權者，與執行單位無涉。

三、使用限制與協助義務

（1）授權技術取得任何專利權後，廠商於國內外販賣授權產品時，應在本授權產品或其包裝上標示相關之專利標記與專利證書字號。若任一方使用他方之註冊商標時應事先取得他方的商標授權。

(2) 廠商應負責要求其經銷商及代理商於國內外販賣本授權產品時遵守本條之約定。廠商之經銷商或代理商違反本條約定者，視為廠商違反本條約定。

(3) 廠商於使用或實施授權技術之過程中得知該技術遭侵害時，應及時通知執行單位上述情事。執行單位並同意協助廠商防止損害擴大與侵害繼續存在。

四、權利義務轉讓

廠商在本契約中所有之權利及義務，非經執行單位事前書面之同意，不得轉讓予任何第三人。

附錄五
期末報告簡報資料

橋梁梁底狹小空間檢測工具加值應用 及技術轉移

計畫編號: MOTC-IOT-112-H1CB001g

期末報告書簡報



報告人: 工研院機械所 智慧機器人組 葉佳榮

2023Nor15

聯絡方式: 03-5918632, rayyeh@itri.org.tw

報告內容

1. 計畫摘要
2. 計畫背景
3. 期末進度說明
4. 期末成果說明
5. 結論與建議
6. 附件

1. 計畫摘要

計畫名稱	橋梁梁底狹小空間檢測工具加值應用及技術轉移			
計畫編號	MOTC-IOT-112-H1CB001g	計畫性質	☐ 行政及政策類 ☒ 科學及技術類	
計畫領域	☐ 電信 ☐ 自動化 ☒ 土木 ☐ 機電 ☐ 航太 ☐ 海洋 ☐ 運輸 ☐ 氣象 ☐ 地震 ☐ 觀光 ☐ 綜合（以計畫內容領域比重較高者為主，若計畫內容涉及法令、財務制度等之研究者則以綜合領域屬之）			
預定執行期限	全程	112年2月21日至112年12月31日		
行期限	年度	112年2月21日至112年12月31日		
經費	全程	新臺幣4,150千元		
概算	年度	新臺幣4,150千元		
聯絡人	單位	港研中心第一科	連絡電話	(04)2658-7178
	職稱	副研究員	傳真號碼	(04)2656-4418
	姓名	鄭登鍵	E-mail信箱	xdchien@mail.ihmt.gov.tw

計畫主持人	單位	工研院機械所智慧機器人組	連絡電話	(03)591-6632
	職稱	工程師	傳真號碼	
	姓名	葉佳榮	E-mail信箱	rayyeh@itri.org.tw

2. 計畫背景

我國公路橋梁近2.3萬座。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，安全風險較高。



鯤鯨橋橋梁底座及橋墩長期浸在河中



台17線臺南北門段鯤鯨橋橋梁底座鏽蝕與龜裂現象

2. 計畫背景

依據「全國橋梁統計資訊網/車行橋梁統計資訊系統」2022年統計資料，依統計資料所示，全國橋梁共計23,064座，其中淨高在6公尺以內且最大淨寬10公尺以內共12,857座，佔全國橋梁總數的55.74%。顯示本研究開發之橋梁檢測設備，有其適用性及廣泛之應用範圍，具有高度開發價值。

本計畫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橋梁，而近年無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）技術應用廣泛，亦成為新興橋梁檢測輔助工具，但其操作環境有其特性及最低安全飛行高度限制，為補足UAV使用上之限制，爰本計畫研發之橋檢工具設定以「最低橋下淨高6公尺以下」做為固定條件，又本橋檢工具目前檢測桿伸長之最大長度為5.3公尺，故另以「橋梁淨寬10公尺以內」進行橋梁數量統計，以區隔本研究設備之適用橋梁。

管理機關		正常使用	維修中	停用	總計
交通部	高公局	414	0	0	414
	公路總局	764	5	0	769
	交通部觀光局	0	0	0	0
	民航局	2	0	0	2
	桃園國際機場股份有限公司	0	0	0	0
	臺灣港務股份有限公司	6	0	0	6
縣市政府		11467	90	16	11573
內政部		5	0	0	5
教育部		3	0	0	3
經濟部		49	0	0	49
文化部		0	0	0	0
國科會		6	0	0	6
行政院農業委員會		22	0	0	22
原民會		0	0	0	0
國軍退除役官兵輔導委員會		8	0	0	8
故宮博物院		0	0	0	0
總計		12746	95	16	12857

2. 計畫背景

常見橋檢環境與困境



橋梁旁的管線設施及上方的電線



梁底立體構造



梁底附近植物叢生



橋檢人員冒險涉水



橋梁外側附掛物及路燈



橋梁兩側設人行道
(車載型工具無法靠近護欄)



梁底與河面相當接近



橋面彎曲梁底起伏(不利於自動化量測)

資料來源：感潮河段橋檢工具案期末/期末報告簡報檔

2. 計畫背景

機械所依照橋檢人員及其檢測工具接近橋梁方法區分為：吊籃式、衍架通道式及較新科技之無人載具方式。

吊籃式



2. 計畫背景

衍架通道式



- 1.整機結構龐大，需要有寬廣的作業空間。
- 2.設備價格昂貴。

- 1.施工時期須同步進行規劃與安裝。
- 2.設備僅能在單一跨距內運作。
- 3.建置成本相當高。

2. 計畫背景

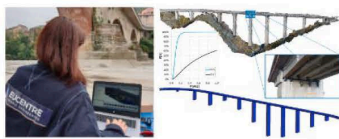
無人載具

大致分為路、海、空三種，陸地(包含沿著橋梁結構表面)通常稱為無人地面載具，水面或海上通常稱為無人水下載具，空中則為無人飛行載具，共同特色皆屬於遠端間接影像監控。

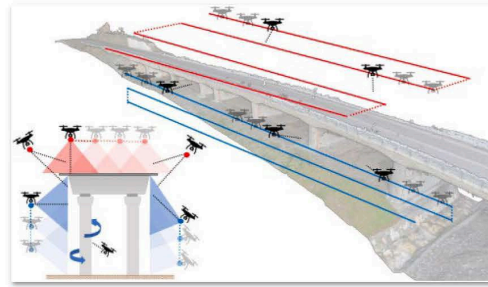
無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle · UAV)



(a)無人飛行載具



(b)無人飛行載具遠端影像監控及橋檢之3D模型建圖



UAV運用於橋梁檢測的限制：

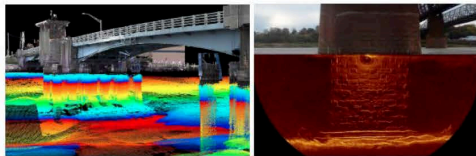
1. 橋底淨高與空間必須足夠開闊。
2. 瞬間陣風可能危害UAV飛行穩定性。
3. 荷載重量限制檢測設備種類與功能。
4. 電池重量限制長時間檢測續航力。

2. 計畫背景

無人水下載具 (Unmanned underwater vehicles · UUV)



(a)Saab Seaeye Falcon遙控潛水器ROV



(b)3D光達結合水下超音波之3D模型建圖 (c)水下超音波影像橋梁檢測



結合梁底及水下橋墩數據能提供
更全面的檢測效益

遙控潛艇ROV使用於河面夠深且接近樑底時是一種理想的橋樑檢測方法。

但實際應用在橋梁檢測作業中，同樣有一些缺點：

1. 定位不良、水下障礙物不易掌控、需足夠水深等問題。
2. 水下無線通訊難度高。

2. 計畫背景

無人地面載具 (Unmanned ground vehicle · UGV)

常見有軌道導引載具(Rail guided vehicle · RGV)、自動導引載具(Automated guided vehicle · AGV)及自主移動機器人(Automated mobile robot · AMR)。

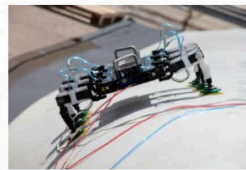
可應用於橋梁檢測的無人地面載具常被獨立稱為**攀爬機器人(Climbing Robot)**



(a)真空腔+高密度泡棉履帶無人地面載具，應用於平整水壩之水泥表面檢測



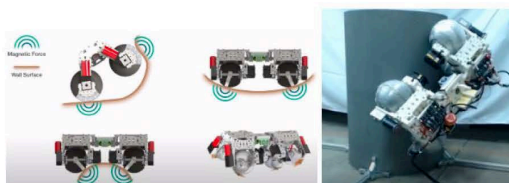
(b)真空吸盤+履帶型無人地面載具，應用於平整的客機表面檢測



(c)真空吸盤+多足型無人地面載具，應用於風力發電葉片爬行維修與檢測

2. 計畫背景

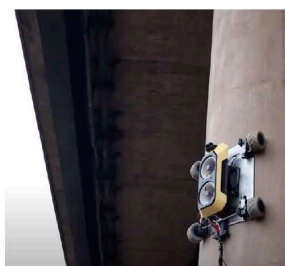
攀爬機器人(Climbing Robot)



(d)電磁鐵吸附型無人地面載具，應用於不同曲面的鋼構牆面



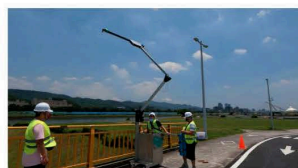
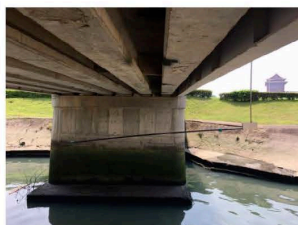
(e)鋼索攀附型無人地面載具沿著高壓電塔電線之間穿梭



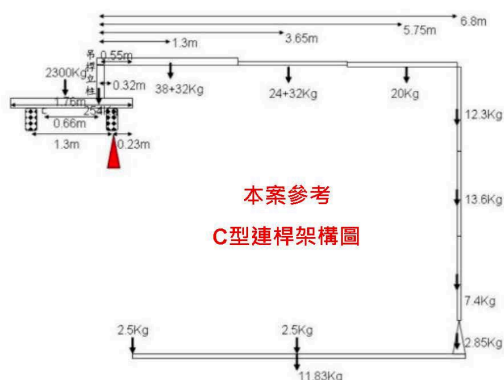
旋翼壓附式無人地面載具，應用於各種材質及曲面之牆體

2. 計畫背景

FY111前期橋檢工具計畫成果(1/2)



推車型移動平台



本案參考
C型連桿架構圖

後續工作內容

C桿推送機制持續完善

更穩定的C桿

測試發現C桿於伸長時推力不足，推送至5公尺時即產生卡死現象，無法完全伸展至預定8公尺之長度，本次實測暫以人力輔助形式完成，未來將持續改良C桿推送裝置以達到本案需求。

桿前攝影設備輕量化與防水與防撞機能增進

桿前攝影裝置在實地量測時可能遭遇進水或撞擊之狀況，未來將持續改善外部結構之強度與防水性能，以符合實地使用需求。

自動化定位系統架構

自動化定距(Pitch)取像

配合影像拼接需求，梁底攝影需保持穩定且固定間距，唯梁底狀況難以佈標，本案預計以自動化機制定間距步進攝影，攝取定間距之影像資料。期中後將依進度精進自動化設備，達成自動化與定間距攝影之目標。

影像拼接與辨識技術

預計於所內跨計畫案合作，將本案之攝取影像交由影像辨識專家學者分析，並於期中後進行交流。

實地測試

更多的實地測試、更容易運載攜帶的系統

預計以縣市政府所轄公路橋梁為對象，並與貴所討論挑選感潮河段實測橋梁。

研究成果投稿

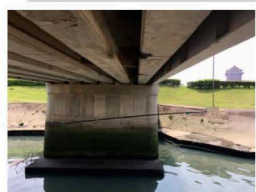
暫定投稿至第39屆中國機械工程學會111年度年會暨全國學術研討會，預計年底舉行。

13

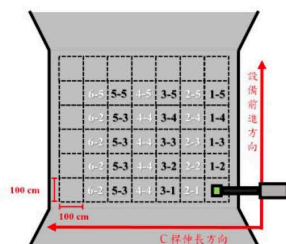
2. 計畫背景

FY111前期橋檢工具計畫成果(2/2)

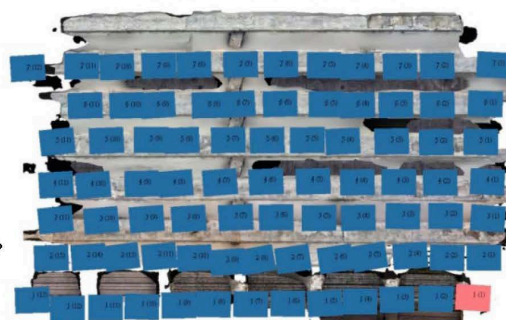
梁底影像擷取方式



本次量測攝影設備距梁底約2公尺，影像擷取間距為1公尺，影像重疊率約50%，擷取方式如圖 81所示。本次量測影像為800萬畫素。



本次測試資料82張照片之分布(由下往上看)



相機之移動軌跡未根據大梁的間距調整



此圖之點雲顏色顯示真實色彩，有破洞表示照片數量或重疊度不足。

⇒影像重疊率不足，不利於橋檢拼貼影像加值應用。



對策:

透過自動化定距(Pitch)取像及穩定的C桿操作可有效提高影像品質及重疊率

14

3. 期末進度說明

3. 期末進度說明

工作項目	第 1 月 (3)	第 2 月 (4)	第 3 月 (5)	第 4 月 (6)	第 5 月 (7)	第 6 月 (8)	第 7 月 (9)	第 8 月 (10)	第 9 月 (11)	備 註	
(a)梁底機器人	=	=	※								完成
(b)自動控制模組		=	=	=							完成
(c)定位與分類影像資料庫			=	=	=						計畫變更
期中報告(6月29前)				※							完成
(d)5G遠端影像加值應用		=				=					完成
(e)水下檢測加值應用評估		=				※					完成
(f)橋梁實地測試(6座)					=	=	=				完成
(g)技術驗證與移轉						=	=	=			進行中...
(h)效益評估及成果推廣								=			進行中...
期末報告初稿(10月26日前)								※			完成
期末報告定稿									=		進行中...
工作進度估計百分比(累積數)	15	30	45	60	75	90	95	98	100		

3. 期末進度說明

完成	第1季:	1. 完成梁底機器人設計開發規劃及設計文件初版。
完成		2. 完成加值應用系統資訊收集與評估。
完成	第2季:	1. 完成梁底機器人發包製作及機電硬體與控制軟體整合測試及期中成果展示, 產出影片電子檔。
計畫變更		2. 完成影像資料庫建立。
完成		3. 透過5G介接加值應用系統。
		4. 112年6月29日產出期中報告, 預計完成可穩定運行之機構及必要之電控模組。
完成	第3季:	1. 9月30日前完成6座橋梁檢測(逐步依據實測經驗與問題進行調整)
進行中...		2. 完成系統整合技術驗證、技術移轉教育訓練。
		3. 產出操作手冊、設計開發文件修訂完成版。
完成		4. 完成期末成果推廣宣導展示。
進行中...		5. 112年10月26日產出期末報告(初稿)。
		6. 112年11月26日產出期末報告(修正定稿)
	第四季:	

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

17

3. 期末進度說明

3-6月完成雛型機測試，7-10月完成交付運研所及僑檢單位使用的新一代機設計組裝與現地實測，目前進行最終收尾工作及測試問題修正。



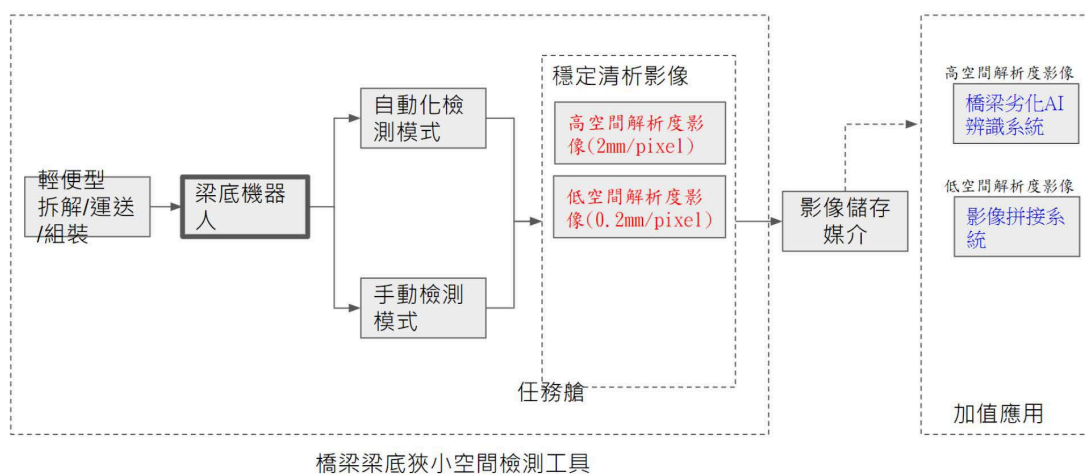
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

18

4. 期末成果說明

4. 期末成果說明

系統架構



計畫系統架構圖

4. 期末成果說明

梁底檢測工具主要是由推車平台、立柱、A、B、C桿及自動控制系統組成，其定義及功能如圖所示。



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

4. 期末成果說明

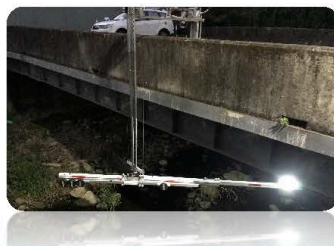
梁底檢測工具主要是由推車平台、立柱、A、B、C桿及自動控制系統組成，其定義及功能如圖所示。



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

4. 期末成果說明

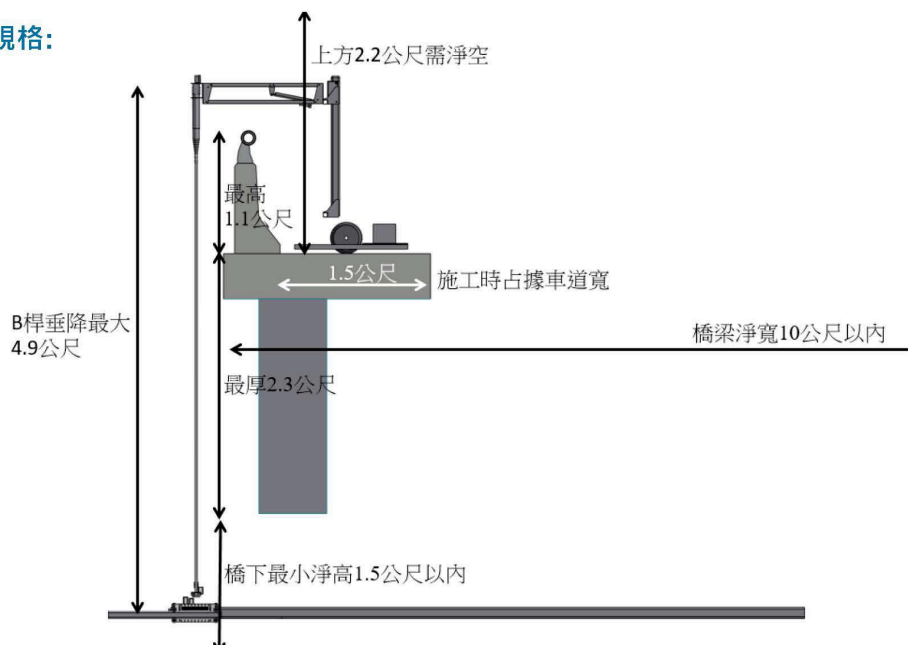
系統規格:



項 目	說 明
C桿尾端最大荷載	5公斤。
C桿標準長度/最長伸出量	80/530公分。
B桿標準長度/最長伸出量	100/480公分。
攝影模組影像解析度	Gopro11 Hero(4096×2160像素)含3軸穩定器及LED光源。 (可選用3公斤以下單眼相機、光達及超音波檢測儀器)
運送方式	休旅車可。
系統連續運行時間	C桿自備20000mAh鋰電池(約2公斤，兼平衡配重用途)，可直接提供攝影模組及LED光源連續運行3小時以上。
整機尺寸及重量	1.2公尺(長) x 0.8公尺(寬) x 1.35公尺(高)，總重約100公斤。
組立所需之作業時間	約20分鐘。
最少作業人力	2人

4. 期末成果說明

系統適用規格:



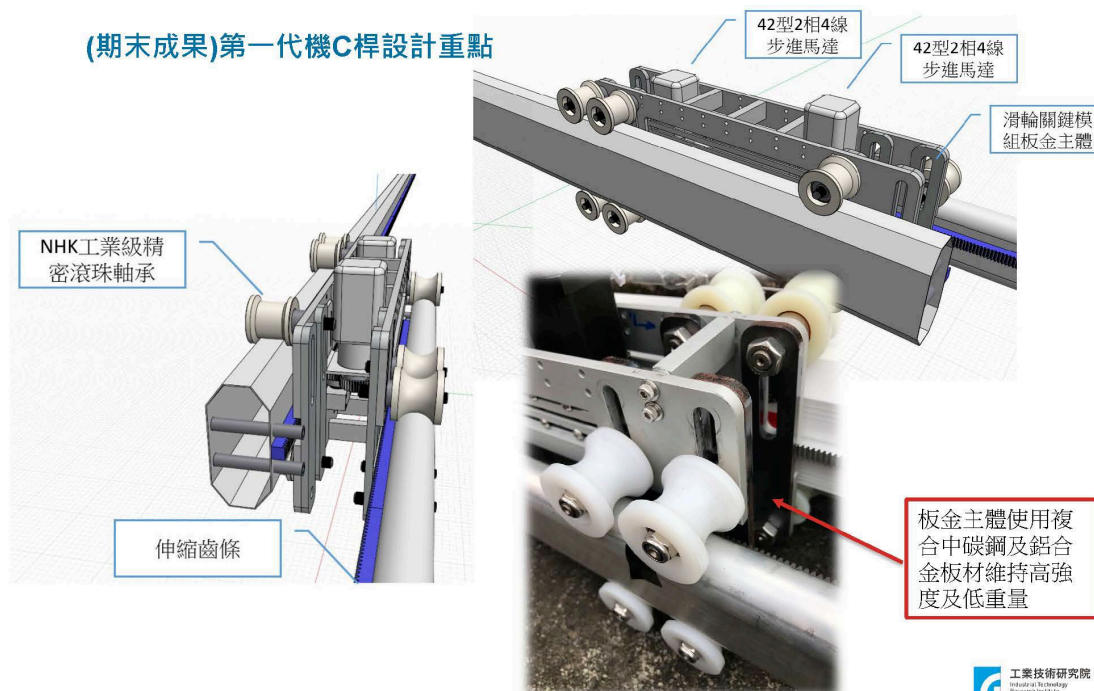
4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機C桿設計重點

需求	執行成果
桿身輕巧容易搬運	主桿選用2支3公尺長壁厚1.1釐米之八角形鋁擠管組成，總重4公斤。
自重變形量低	每支3公尺長八角形鋁擠管自重變形不到10釐米。
伸縮節點磨擦力低避免損耗提升使用壽命及穩定性	參考繩排伸縮滑輪關鍵模組設計，選用NHK工業級精密滾珠軸承，可承受200公斤額定負載並維持滑順。能確保器材於運送途中可承受震動衝擊並確保橋梁檢測時高長度高扭矩應力下使用壽命。
伸縮桿件銜接處强度高、變形量低。	板金主體使用複合中碳鋼及鋁合金板材維持高強度及低重量。

4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機C桿設計重點



4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機立柱設計重點

需求	執行成果
可舉升A/B/C桿跨過1.1公尺橋側護欄。	直接採購國產品牌國勝豐(KSF)，型號: ML1手推車升降機進行改造。 該手推車升降機尺寸: 71x52x132公分，自重: 20公斤，牙叉荷重: 150公斤。可收疊放進休旅車內，可輕易加裝A/B/C桿行走於各種不平路面，可舉昇A/B/C桿跨過1.1公尺橋側護欄。
自身重量要低強度要高，能輕易將所有系統移動到測試地點。	同上。
可折疊放進休旅車。	同上。
可輕易在柏油路面移動。	同上。

27

4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機立柱設計重點



國產品牌國勝豐(KSF)，型號: ML1手推車升降機

28

4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機立柱設計重點



改造牙叉使與A桿銜接

改造底座
使具備側向移動能力
方便

原設計只能
前後移動

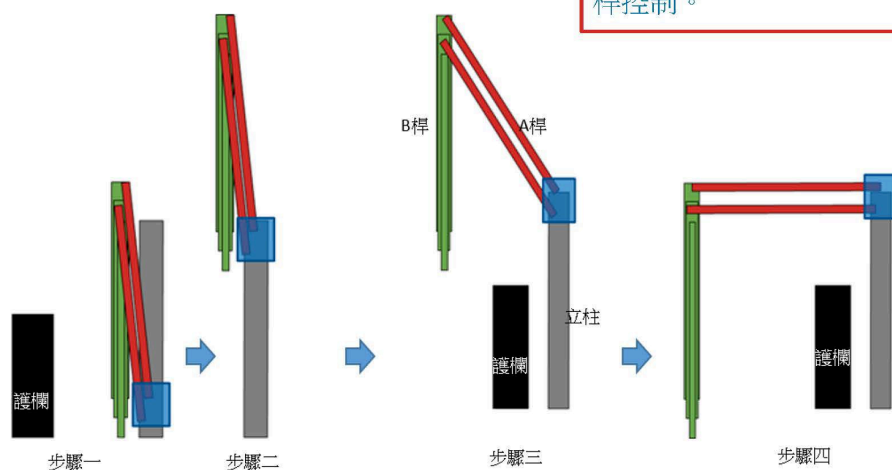
4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機A桿設計重點

需求	執行成果
能夠將B/C桿舉起，由橋側護欄內部向外移出到橋側護欄外，並維持B桿垂直向下。	採用四連桿機構設計。確保B桿垂直向下。長度約為110-135公分，該尺寸能確保B/C桿舉起後，由橋側護欄內部向外移出到橋側護欄外。
B/C桿預設總重量為40公斤，需重複舉升100次無異常確保穩定性。	頂桿舉昇異常是計畫後期時程延誤最大主因。總共經歷以下三個階段才徹底解決問題。 1. 期初使用100公斤規格頂桿。應力遠超出設計規劃，造成扭曲變形問題。 2. 期中改用雙頂桿(單支規格100公斤)架構，出現扭力不平衡導致扭斷破壞問題，組裝調整扭力平衡，通過實驗室數百次測試穩定舉昇並參與完成第一次實地測試(福樹橋)。 3. 但實地測試確因為操作移動過程遇坑洞，A桿慣性衝擊齒輪崩裂損壞。緊急採購400-600公斤級單頂桿後解決。缺點是系統總重多了約5公斤。
可折疊放進休旅車。	<u>四連桿設計</u> 可透過控制電動頂桿伸縮達成伸展與摺疊狀態。A桿於摺疊狀態時可順利放進休旅車內。

4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機A桿設計重點



創新的A桿(四連桿)設計是系統能放進休旅車最重要關鍵:

- a. 四連桿確保B桿全程朝下。
- b. 摺疊/伸展只需1顆電動頂桿控制。

4. 期末成果說明

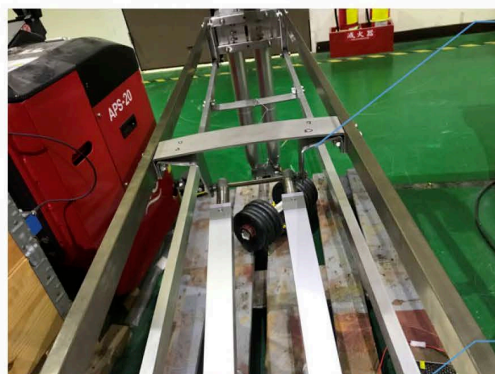
(期末成果)第一代機A桿設計重點



4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機A桿設計重點

頂桿舉昇異常是造成現地實測時程延誤主因。



頂桿(上)端承受應力超乎預期
嚴重扭曲變形



頂桿(下)端承受應力超乎預期
嚴重扭曲變形



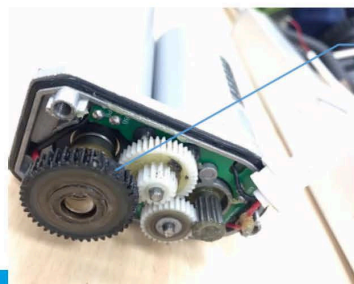
4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機A桿設計重點

頂桿舉昇異常是造成現地實測時程延誤主因。



雙頂桿組裝時扭力不平衡
導致頭尾扭斷



頂桿內部減速齒輪能承受A桿展
開時靜止時向下重力(約120公斤)

但是當A桿展開時如果移動並遭
坑洞，重力加上慣性估計遠超過
200公斤，導致齒崩異常。

4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機B桿設計重點

需求	執行成果
B桿材質輕強度要高，各節伸縮節點間隙要小。	直接採購國產工程用伸縮一字梯。 一字梯採購容易、技術成熟，廣泛應用於各行各業需要登高之用途，具有高強度材質輕且有各種規格可以選用，非常適合本案。 本計畫選用最短約96公分，伸長約4.9公尺的一字梯。各伸縮節點間隙很小，可有效承受150公斤之操作人員於登高時避免產生搖晃危險。
收縮時要短(<1公尺)確保能跨過橋側護欄。	同上。
伸長時要長(>4.5公尺)確保C桿能到達橋梁底部。	同上。
B桿底部旋轉軸要夠強壯，能夠在C桿不平衡時承受高扭力並維持正常旋轉。	直接採購常見之國產中空旋轉軸產品。 中空旋轉平台的主要特色是高剛性，非常適用於本案。其原理是大面積轉盤由一套精密交叉滾子軸承支撐，軸承中的滾子呈90度交錯排列，並且滾子直徑略大於軸承內圈與外圈間的滾道尺寸，使得交叉滾子軸承的內外圈及滾子之間存在預緊力，由此軸承支撐的旋轉平台轉盤能夠承受徑向、軸向、傾覆等各種力矩，其剛性是傳統軸承的10倍以上。

4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機B桿設計重點

需求	執行成果
B桿上部電動捲揚器不能太重， 須具備斷電煞車能力 ，確保C桿不會因為斷電異常而垂降至河中。	計畫過程總共提出3種方案， 前兩種方案失敗是導致計畫時程延誤至少1個月的關鍵因素。 1.棘輪捲線器: 垂降時捲線器機構會自行一齒一齒放開棘輪產生輕微彈跳，連續垂降便會產生連續彈跳並放大造成3軸穩定器及攝影模組劇烈震盪定位異常。 2.大馬力蝸輪捲線器:B/C桿總重約40公斤仍會造成蝸輪減速機緩慢下滑，此下滑力道導致運作過程中電機不斷高扭力輸出，最終馬達燒機故障。 3.拖車用捲揚器:自重約5公斤。於計畫初期導致A桿過重無法舉昇。幸好計畫後期，A桿頂桿電機更新為400公斤級，再次估算確保可以頂昇後重新採用後順利解決C桿垂降彈跳問題。

4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機B桿設計重點



4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機B桿設計重點

中空旋轉軸的大盤面設計結合交叉滾子軸承能承受C桿完全伸展5米以上所產生的極大的轉動慣量。也能短暫承受C桿平衡重心調教異常時產生的扭動力矩，提高B/C桿接合點的使用壽命。

技術參數

產品型號	單位	MTB60
減速比		18
匹配步進電機	mm	28
軸承結構		交叉滾子軸承
容許轉矩	N.M	2.2
轉動慣量	kg.m ²	3500 × 10 ⁻⁷
容許盤面輸出轉速	r/min	200
容許慣性力矩負荷	N.M	5.6
容許軸向負載	N	300
重負定位精度	arc-sec	± 5
定位精度	arc-min	± 0.5
旋轉平面面偏差 (平面跳動)	mm	± 0.005
旋轉平面同心度	mm	± 0.01
旋轉平面平行度	mm	± 0.015
精度壽命	h	25000
防護等級		IP40
質量	kg	0.52

交叉滾子軸承

4. 期末成果說明

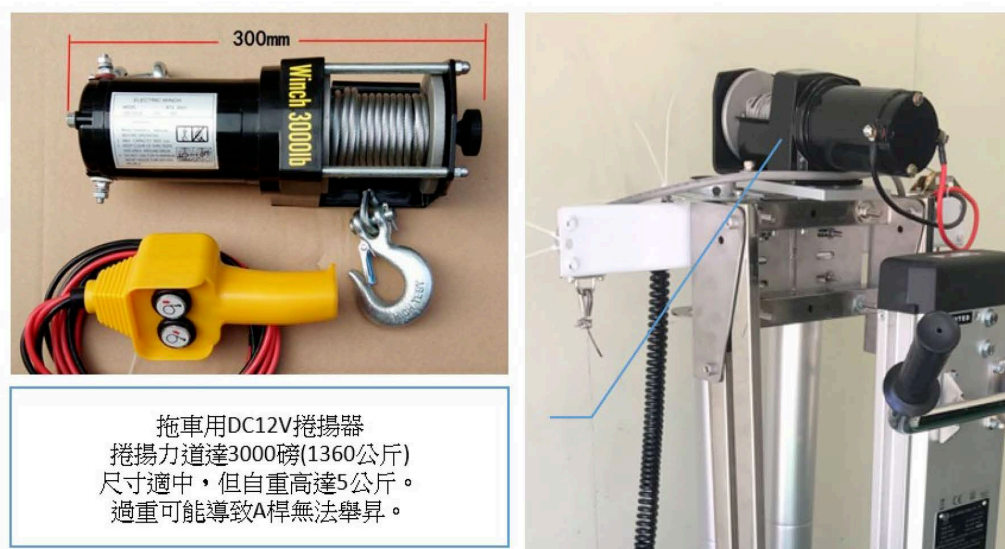
(期末成果)第一代機B桿設計重點



錯誤的捲揚器設計，是導致計畫時程延誤至少1個月的關鍵因素。

4. 期末成果說明

(期末成果)第一代機B桿設計重點



4. 期末成果說明

(期末成果)電控系統設計重點

需求	執行成果
電控系統總計五軸。 □C桿伸縮、荷重桿伸縮、C桿旋轉共三軸 □A桿懸臂舉升一軸 □B桿垂降捲揚一軸 其中C桿三軸需要精準定位，可透過人機介面讀取目前位置。	1.C桿上裝設三軸為2相4線式步進馬達 2.A桿裝設一軸為DC24V頂桿電機為感應馬達 3.B桿裝設一軸為DC12V捲揚器為感應馬達。 透過PLC及人機介面控制，可精準控制並讀取步進馬達目前位置。
C桿伸縮軸與荷重軸能夠獨立移動進行平衡點調整校正。	C桿及荷重軸可以獨立伸縮，以利進行重心位置校正。
C桿伸縮軸與荷重軸需具備同步點動(JOG)及同步寸動(PITCH)功能，確保C桿檢測過程自動維持平衡。	C桿及荷重軸可以獨立伸縮，以利進行重心位置校正。

41

4. 期末成果說明

(期末成果)電控系統設計重點

需求	執行成果
需具備線控及遙控功能，方便橋檢人員依據現場狀況選用合適的操控方式。	系統具備線控及遙控功能。
任務倉模組需具備三軸穩定器、攝影機及光源。 上述主要為市購件，皆能使用無線控制。	任務倉模組皆為市購件組成，刻意選用具備Wi-Fi或藍芽無線控制規格。
B桿伸縮量最大達到4.9公尺，其尾端C桿之電機系統電源線及控制信號如何必須隨著B桿伸縮卻不會造成干涉與折損問題。	研發團隊由電話聽筒得到靈感，在電子材料行找到一種彈簧線材適合解決此應用問題。其規格如圖所示，平時長度約80公分，拉伸時可達5公尺，線材芯數從2到12芯都有。

42

4. 期末成果說明

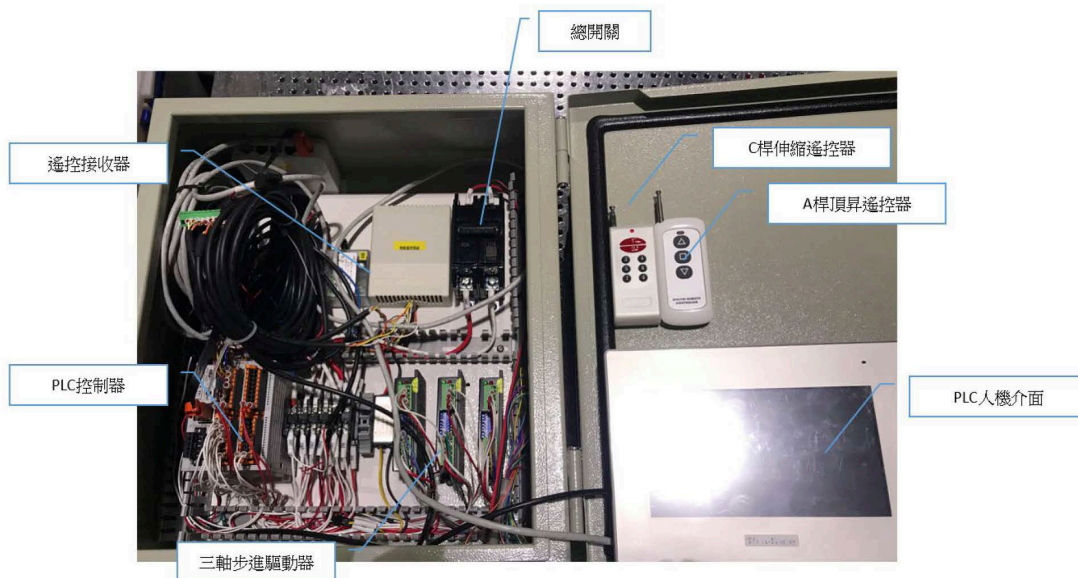
(期末成果)電控系統設計重點



彈簧線材應用於B桿

4. 期末成果說明

(期末成果)電控系統設計重點



4. 期末成果說明

(期末成果)電控系統設計重點



PLC人機操作畫面(一)_量測操作

4. 期末成果說明

(期末成果)電控系統設計重點

重心校正時請隨時注意C樑平衡，避免產生太大扭矩損壞結構。



人機操作畫面(二)_C樑平衡重心校正

4. 期末成果說明

(期末成果)電控系統設計重點



PLC人機操作畫面(三)_電機參數設定

4. 期末成果說明

實際場勘及專家訪談：

針對三個面向進行專家訪談，逐步釐清系統功能、系統規格、加值應用與技術轉移的真正需求。

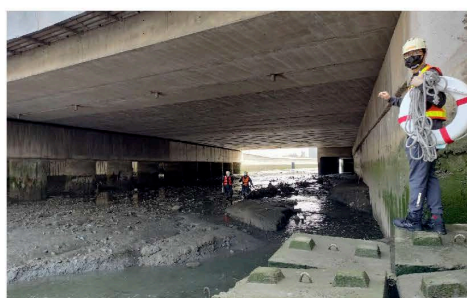
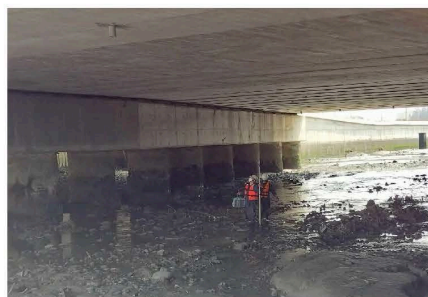
第一個面向是實際了解橋檢單位目前如何進行人工橋檢，對於便攜型自動化橋檢工具的期待與需求為何；

第二個面向是尋求橋檢工具研發單位專家的經驗與建議；

最後一個面向則是針對影像加值應用向國內影像專家請益，確保影像品質能符合計畫所提出之影像加值應用項目。

4. 期末成果說明

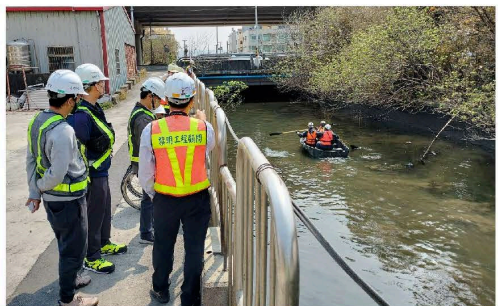
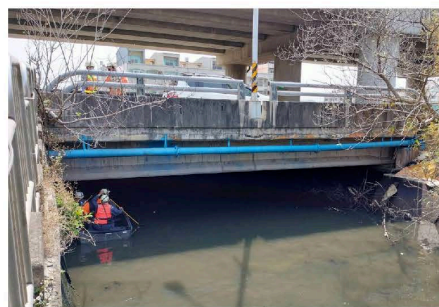
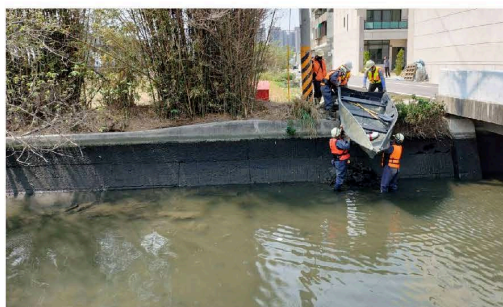
實際場勘1：協同黎明工程顧問股份有限公司 (臨港二號橋)



1. 黎明工程特別備有船艇，當天剛好水位不深可透過鐵梯抵達橋底進行涉水橋檢。
2. 同時會有2組人員進行橋面、橋底檢查。1組約3名橋檢人員，2員涉水檢視，1員戒備。
3. 估計大約45分鐘完成橋檢。

4. 期末成果說明

實際場勘2：協同黎明工程顧問股份有限公司 (台61檳榔大排)



1. 黎明工程特別備有船艇，已提前申請關閉農用溝渠降低水位。
2. 同時會有2組人員進行橋面、橋底檢查。共計3名登船，2員檢視，1員戒備。
3. 人員著裝後共同協助搬運船艇尋找合適下水岸邊缺口，划船抵達檢視區域估約30分鐘。
4. 橋底目視檢測約30分鐘。

4. 期末成果說明

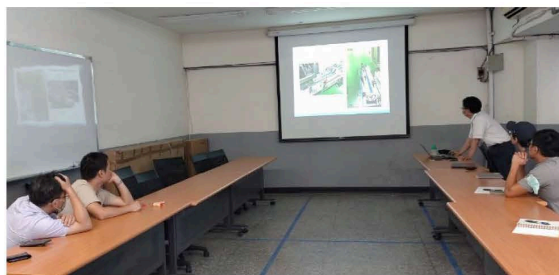
橋檢工具專家訪談

6月8日前往大同大學進行拜訪，摘要如下：

- C桿伸出後回縮設計，建議可使用鋼索收回。工研院目前使用彈力繩，伸長量越大彈力會越大。估計雛型機測試兩節運轉問題不大，未來挑戰更大長度時，問題複雜度會變高而出現許多問題。工研院團隊可以測試鋼索回收的對策，並預防前案曾發生的鋼索斷裂問題。
- C桿單節設計約3米，放置於車頂上運輸時要注意2點。第一點是駕駛安全性，第二點是震動容易造成桿件損壞。
- C桿在伸長狀態下，交接處受力大容易造成鋁材質的桿件變形或受損，須考量材料補強或用其他機構設計減輕受力。
- B桿設計要注意與A桿及C桿連接處扭矩非常大的問題。工研院團隊要注意強化設計並提早測試。

4. 期末成果說明

橋檢工具專家訪談及前案設備照片紀錄，供委員參考



4. 期末成果說明

成大影像專家訪談

9/21訪談紀錄摘要如下，供委員參考：

- a. 只需取得相鄰影像有足夠重疊率(60-80%)的靜態影像檔案即可使用商用軟體解算相片之位置與姿態，不需提供照片拍攝之GPS及定位座標。
- b. 計畫中所提之影像介接應用並無即時性，因此資料庫系統不一定需要4G/5G，只要能傳遞大量影像檔案的方式都可。
- c. 低空間解析度影像為2mm/pix，可偵測非裂縫之劣化類別，而高空間解析度影像為0.2mm/pix，以便偵測裂縫。

4. 期末成果說明

6座橋梁實地測試選址

橋梁名稱	所在縣市	橋梁規格說明
福樹橋	新竹市香山客雅溪	護欄高1.1公尺，橋底板厚約1.5公尺。 橋長59公尺，橋寬12公尺。
公道五路橋	新竹市公道五路	護欄高1.1公尺，橋底板厚約1.5公尺。 橋長20.3公尺，橋寬50公尺。
關馨大橋	新竹市竹美路附近	護欄高0.9公尺，橋底板厚約1.5公尺。 橋長20.3公尺，橋寬7.5公尺。
石孔橋	新竹縣芎林鄉	護欄高0.8公尺，橋底板厚約1.5公尺。 橋長15公尺，橋寬8公尺。
五秀橋	新竹縣芎林鄉	護欄高1.1公尺，橋底板厚約1.3公尺。 橋長15公尺，橋寬8公尺。
鹿寮坑橋	新竹縣芎林鄉	護欄高0.8公尺，橋底板厚約1.2公尺。 橋長15公尺，橋寬8公尺。

4. 期末成果說明

6座橋梁實地測試成果

實測數	地點	成果	問題	對策
1	新竹香山_福樹橋	初步證實系統透過休旅車搬運及路面長途震動仍可正常運作。	1.風吹C桿搖擺。 2.BC桿舉昇高度剛好卡到110cm護欄。	風吹C桿搖擺問題緊急進行鋼索設計變更。
2	新竹香山_福樹橋	證實鋼索設計變更能有效抑制C桿搖擺問題。	2支100公斤頂桿齒輪不幸於操作過程中崩斷。	緊急前往桃園新屋原廠進行齒輪零件更換。赫然發現使用塑膠齒輪。
3	工研院附近_公道5路附近	證實2支100公斤頂桿設計不可行。	2支100公斤頂桿齒輪再度崩斷。	1.緊急採購400~600公斤頂桿1支。但發現目前傳產景氣低落皆無庫存。 2.求助其他部門終於找到幾支似規格備品。

4. 期末成果說明

6座橋梁實地測試成果

實測數	地點	成果	問題	對策
4	工研院附近_關馨大橋	證實1支400公斤頂桿可行順利取得第一批梁底影像	1.垂降繩垂降時C桿劇烈彈跳，容易造成3軸穩定器過載異常。 2.無橫向移動底座與鉛酸電池配重。 3.BC桿舉昇高度剛好卡到90cm護欄。	加大馬達及鋼索卷軸尺寸。 加長A桿。 橫向移動底座與鉛酸電池配重持續請加工廠趕工。
5	新竹芎林_石孔橋	移動底座與鉛酸電池配重趕工完成實測確認功能正確。順利取得第二批梁底影像。	Wifi及藍芽通訊不穩定	對策1:天線結合同軸電纜進行藍芽訊號延伸。 對策2:市購wifi訊號延伸器。
6	新竹芎林_五秀橋	順利取得第三批梁底影像	Wifi及藍芽通訊不穩定	同上
7	新竹芎林_鹿寮坑橋	順利取得第四批梁底影像	Wifi及藍芽通訊不穩定	同上

4. 期末成果說明

6座橋梁實地測試成果

行前準備

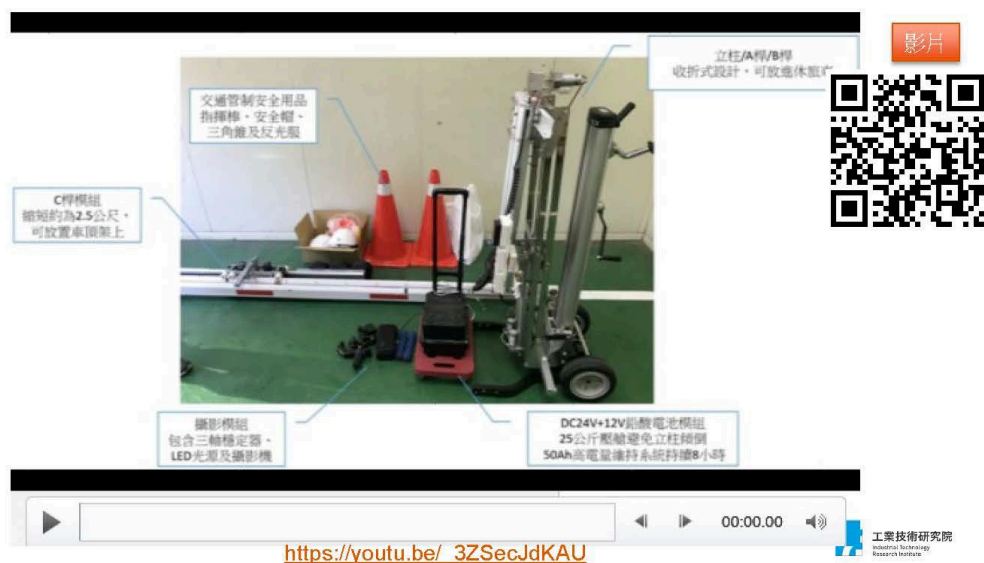


57

4. 期末成果說明

6座橋梁實地測試成果

行前準備

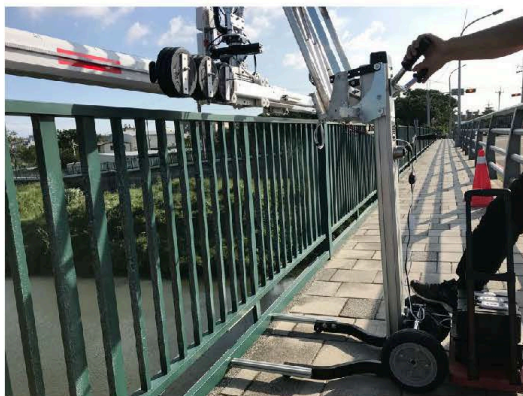


58

第一次實測_新竹香山_福樹橋

問題與對策:

1. 風吹C桿搖擺
2. BC桿舉昇高度剛好卡到110cm護欄。



https://youtu.be/iuagz5Vlb_M

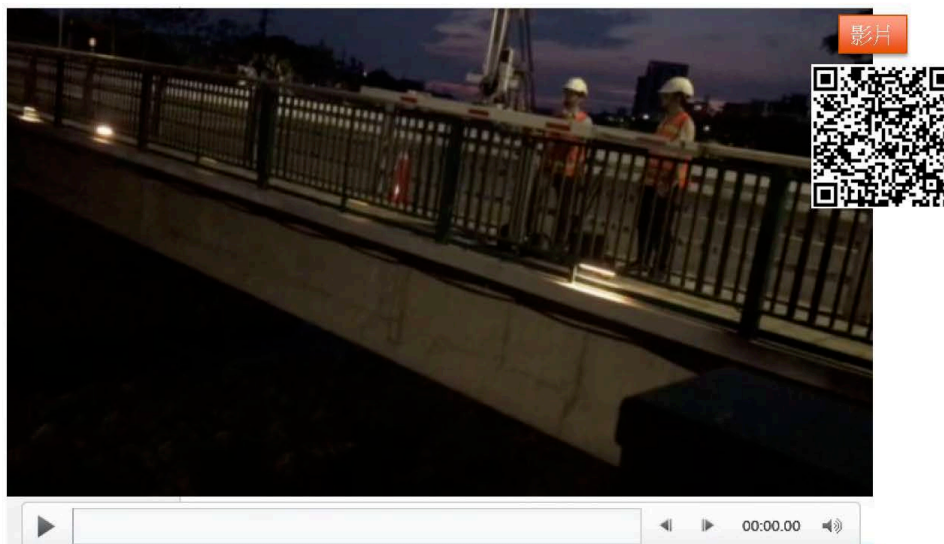
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

20231018_新竹香山_福樹橋

問題與對策:

1. 2支100kg頂桿齒輪崩斷。

證實鋼索設計變更能有效抑制C桿搖擺問題。

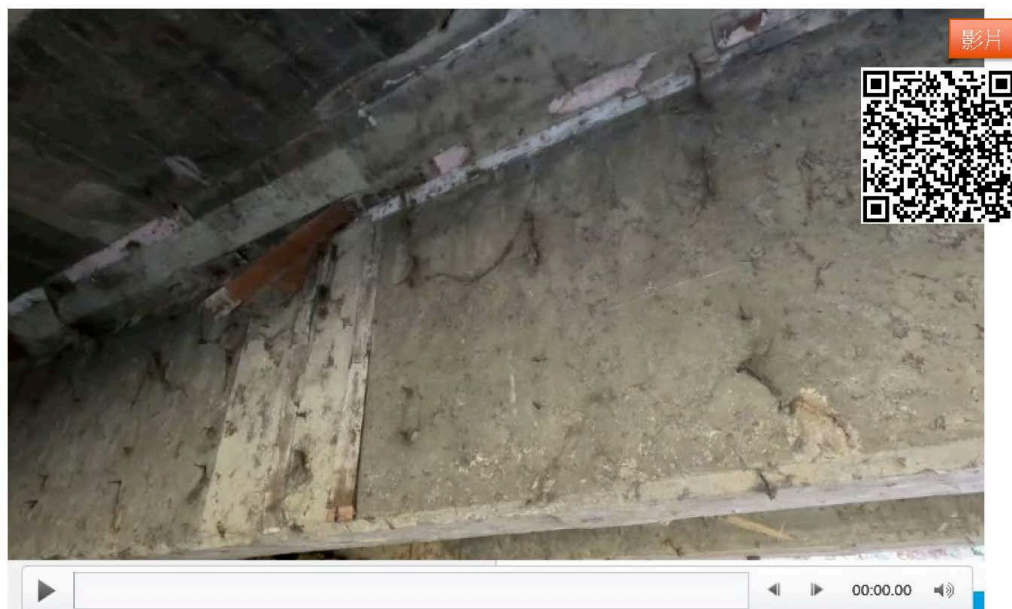


<https://youtu.be/aoL3OhldsyQ>

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

20231025_工研院附近_關馨大橋

順利取得第一批梁底影像。



<https://youtu.be/Y9cagt8cefQ>

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

20231025_工研院附近_關馨大橋

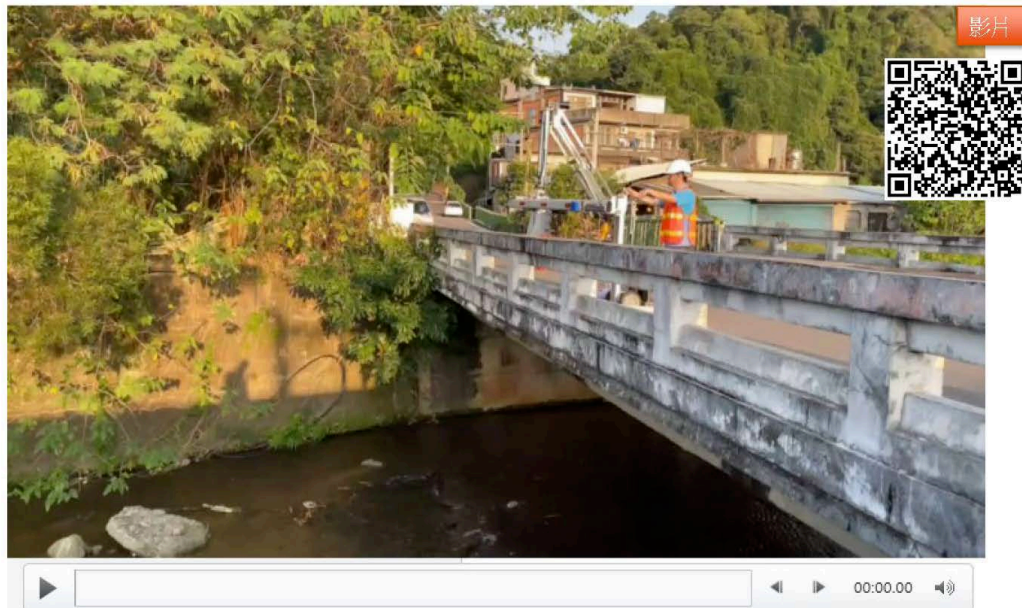
順利取得第一批梁底影像。



<https://youtu.be/AVD6OunonMg>

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

20231104_新竹芎林_石孔橋



<https://youtu.be/m3E0YI1xZYE>

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

5. 結論與建議

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

5. 結論與建議

結論：

1. 完成計畫工作項目，產出梁底檢測工具一套。
2. 完成6座橋梁實地測試與問題追蹤，產出實測影片電子檔。
3. 將於12月底前完成技術移轉、效益評估及成果推廣工作。

項次	橋檢工具設備項目	原設計	改良後	效益
1	C桿尾端荷重	0.55公斤	5公斤	提高橋檢儀器擴充彈性
2	運送方式	具升降尾門貨車	休旅車	提高便攜性
3	C桿伸縮原理	磨擦輪推送	繩排滑輪模組	提高使用壽命
4	系統電力運行時間	1小時	3小時	運作時間更長
5	攝影模組影像解析度	PI CAM(3280×2464像素)	Gopro11 Hero(4096×2160像素)含3軸穩定器及LED光源。	可選用3公斤以下單眼相機、光達及超音波檢測儀器

5. 結論與建議

建議：

1. 梁底與水下無法穩定使用無線通訊(WiFi、藍芽)為梁底檢測工具實際應用之重要議題。建議另案尋求資通訊團隊加入協助。
2. 本年度產出之梁底檢測工具其尾端荷重能力達5公斤，大大提高橋檢儀器擴充彈性。建議FY113年度可以導入光達 SLAM 3D建模技術。預計可以達成超高分析的橋樑檢測成果，彌補無人飛行載具產出之影像及3D模型解析度不足問題。
3. 經由影像專家會議結論，建議可以使用輔助光源結合大光圈低曝光之動態攝影方式取代靜態拍攝，提高橋梁檢測效率。



附件

最後
這是一個時程非常緊迫的案子
9個月來從軟體模擬、雛型製作、到一代機的組裝與實地測試
非常考驗計畫主持人抗壓能力及團隊同仁研發應變能力

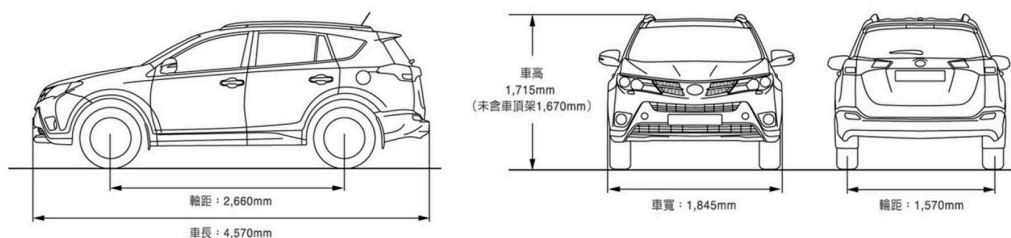
無論成果如何! 期待能給予團隊一些鼓勵...謝謝。



小型汽車置放架相關規範

(1)目前使用中車輛若裝設固定式置放架，應依交通部「道路交通安全規則」附件15汽車設備規格變更規定，至公路監理機關進行檢驗並辦理變更登記(應檢附「小型汽車置放架」合格審查報告)，若裝設非固定式(或稱活動式)，得免辦理變更登記檢驗。

(2)且依據交通部「道路交通安全規則」第77條規定，小型汽車置放架及裝載物應固定妥適。如裝置於車輛後側，其長度不應超過後側車身外五十公分；如裝置於車頂，其含置放架之車輛全高應依第三十八條第一項之規定，包含小型車附掛之拖車不得超過七公尺、汽車全寬不得超過二點五公尺，其後輪胎外緣與車身內緣之距離，小型車不得超過十公分，且不得超過全寬之一點五倍，其最高不得超過二點八五公尺，且置放架及裝載物不得遮蔽車輛之號牌與車輛後方燈光。



技術移轉規畫

工研院團隊與運研所陸續於8月開始討論技術授權議題，共計提出三種模式如下，最終協議使用MOU合作備忘錄模式進行：

技術移轉模式	說明
租賃合約	商業模式: 橋檢單位1年內無償借用, 非正常使用損壞需負擔維護費用。設備商於1年內協助設備維護, 1年後開始收取租賃金作為設備持續維護與精進費用。若使用合意, 可由租轉買或由設備商製作新機販售, 收入由工研院、運研所、設備商合理分配。
設備移轉至其它政府單位	商業模式: 政府單位無償設備移轉使用, 損壞皆需負擔維護費用。設備商收取維護費用維持設備運轉。若使用合意可由設備商製作新機販售, 收入由工研院、運研所、設備商合理分配。後續設備精進費用將由運研所或橋檢設備使用單位提出採購標案。
MOU合作備忘錄	商業模式: 設備維護費用由運研所與MOU對象協議。設備商收取維護費用維持設備運轉。若使用合意可由設備商製作新機販售, 收入由工研院、運研所、設備商合理分配。後續設備精進費用將由運研所或橋檢設備使用單位提出採購標案。

69

技術授權規畫

詳細參考結案報告 附件三

交通部運輸研究所

研發成果授權推廣契約書（草案）⁴

立契約書書人： 4)

交通部運輸研究所

(以下簡稱甲方) +

□□□□□□

(以下簡稱乙方)

第一條：合意事項⁴⁾

[illegible]

第二條：名詞定義⁴⁾

研發成果：係指附件一「 」研究計畫已產出之具體特定技術資料成果(包含但不限於向國內外專責機關申請或衍生之專利權、著作權、積體電路佈局權或其他智慧財產權)。⁽⁴⁾

研發成果收入：係指乙方因管理及推廣研發成果所獲得之授權金、權利金、獎金、股權或其他收益。⁴⁾

第三條：研發成果管理與運用

- 一、 乙方接受委託與專屬授權研發成果後，應依成果運用辦法規定，管理及推廣研發成果（包含研發成果之登記、取得、維護、權利之沒有申