

99-9-2130

MOTC-IOT-96-EEB002

橋梁檢測機械手臂研發計畫



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 2 月

99-9-2130

MOTC-IOT-96-EEB002

橋梁檢測機械手臂研發計畫

著者：曾志煌、陳茂南、巫柏蕙、馮君平、鄭銘章、黃俊仁、
董基良、董必正、林志勇、宋文旭、許峻嘉

交通部運輸研究所

中華民國 99 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目資料

橋梁檢測機械手臂研發計畫 / 曾志煌等著. --
初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民99.02
面 ; 公分
參考書目:面
ISBN 978-986-02-2474-0(平裝)

1. 交通管理 2. 橋樑工程 3. 檢驗 4. 人力
機械

557.15029

99001804

橋梁檢測機械手臂研發計畫

著 者：曾志煌、陳茂南、巫柏蕙、馮君平、鄭銘章、黃俊仁、董基良、
董必正、林志勇、宋文旭、許峻嘉

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 99 年 2 月

印 刷 者：華宇實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 95 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市:10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話:(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1009900288 ISBN：978-986-02-2474-0 (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：橋梁檢測機械手臂研發計畫			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-2474-0 (平裝)	政府出版品統一編號 1009900288	運輸研究所出版品編號 99-9-2130	計畫編號 96-EEB002
本所主辦單位：運輸工程組 主管：曾志煌 計畫主持人：曾志煌 研究人員：陳茂南、巫柏蕙 聯絡電話：(02)2349-6826 傳真號碼：(02)2545-0427	合作研究單位：亞東技術學院 計畫主持人：馮君平 教授 研究人員：鄭銘章、黃俊仁、董基良、董必正、林志勇、宋文旭、許峻嘉 地址：臺北縣板橋市四川路 2 段 58 號 聯絡電話：(02)7738-0145		研究期間 自 96 年 5 月 至 96 年 12 月
關鍵詞：橋梁檢測車、雙向 2 車道橋梁、機械手臂、橋梁目視檢測			
摘要： <p>臺灣地區超過 25,000 座橋梁，平均橋齡接近 20 年，檢測及維修工作將隨橋齡日增。既有之橋梁檢測車存在價格高昂、數量少、體積大、操作不便之缺點，且目前將檢測人員運送至橋梁下執行目測工作也存有較高之安全風險，因此開發一車載橋梁檢測設備使有限人力可快速、經濟及安全地進行橋梁目視檢測，即為本研究的目的。</p> <p>本研究針對雙向 2 車道之小型橋梁進行車載目視檢測設備雛型開發，檢測方式是以機械手臂配備數位攝影機伸入橋面下拍攝，取代傳統直接以人眼目視檢測。計畫執行除對機械手臂結構進行有限元素分析外，同時實地測試以確認機械手臂承載攝影機檢視橋梁取代現行人員直接目測之可行性，有關機械手臂之運作流暢性及攝影品質，本研究已獲初步驗證。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99 年 2 月	148	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：1.本研究之結論與建議不代表交通部之意見。 2.本研究係使用交通部經費辦理。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Project of robot arm development for bridge inspection			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-02-2474-0 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009900288	IOT SERIAL NUMBER 99-9-2130	PROJECT NUMBER 96-EEB002
DIVISION: Engineering Division DIVISION DIRECTOR: James C.H. Tseng PRINCIPAL INVESTIGATOR: James C.H. Tseng PROJECT STAFF: Chen, Mao-Nan , Wu, Po-Huei PHONE: (02)2349-6826 FAX: (02)2545-0427			PROJECT PERIOD FROM May 2007 TO December 2007
RESEARCH AGENCY: Oriental Institute of Technology PRINCIPAL INVESTIGATOR: Fung, Chin-Ping PROJECT STAFF: Jeng, Ming-Jang, Hwang, Jiun-Ren, Doong, Ji-Liang, Tung, Pi-Cheng, Lin, Chih-Yung, Sung, Wen-Hsu, Hsu, Chun-Chia ADDRESS: 58, Sec.2, Sihchuan Rd., Pan-Chiao City, Taipei County 22061, Taiwan, R.O.C. PHONE: (02)7738-0145			
KEY WORDS: Bridge inspector, Two-way two lanes bridge, Robot arm, Visual inspection			
ABSTRACT: <p>The number of bridge is over 25,000 in the Taiwan area, and the average age of the bridges is 20. The work load of inspection and maintenance increases with bridge age. The bridge inspector, which is being used now, has some disadvantages, such as high cost, huge body and hard operability. Additionally, huge risks occur during the inspection procedure in which a worker is placed underneath the bridge. This research thus develops a prototype of bridge inspector carried by a vehicle to inspect bridge in a fast, economic and safe way.</p> <p>This research focuses on developing the prototype of a bridge inspector being carried by a vehicle to inspect two-way two-lane bridge. The inspection method includes taking pictures underneath a bridge with robots carrying a CCD instead of direct visual inspection. The structure of robots is analyzed using the finite element method, and the bridge inspector prototype is examined in a field-test to validate the smooth-running procedure and the quality of photographs taken by the CCD.</p>			
DATE OF PUBLICATION February 2010	NUMBER OF PAGES 148	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. 2. The budget of this research project is contributed by the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

目 錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫背景	1-1
1.2 研究目的	1-3
1.3 研究範圍與對象	1-3
1.4 研究內容與工作項目	1-4
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 橋梁檢測	2-1
2.2 橋梁檢測工具及設備	2-3
第三章 設計構想及軟硬體規劃	3-1
3.1 橋梁檢測機械手臂設計	3-1
3.2 車載橋梁目視檢測數位影像系統	3-11
第四章 橋梁檢測機械手臂結構分析	4-1
4.1 靜態分析	4-1
4.2 動態分析	4-13
第五章 橋梁檢測設備實測	5-1
5.1 橋梁檢測機械手臂	5-1
5.2 車載橋梁目視檢測數位影像系統	5-9
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-1
參考文獻	參-1

附錄 1：期中審查意見處理情形表	附 1-1
附錄 2：期末審查意見處理情形表	附 2-1
附錄 3：期末簡報	附 3-1

表目錄

表 1-1	臺灣地區各橋梁管理機關所轄橋梁數量統計	1-2
表 1-2	臺灣地區橋梁橋齡在 40 年以上之數量統計	1-2
表 1-3	臺灣地區橋梁平均橋齡統計	1-2
表 2-1	MOOG 公司的 MBI200-1.5/S 重型裝載設備規格	2-14
表 2-2	國外影像實錄系統介紹	2-20
表 2-3	國外錄影實錄系統介紹	2-21
表 2-4	國內公路基本資料庫調查之發展	2-25
表 3-1	SONY 360 度鏡頭 RPU-C2512/RPU-C3522 規格	3-13
表 3-2	操作規格	3-16
表 3-3	倍數鏡頭規格	3-16
表 3-4	彩色攝影機規格	3-17
表 3-5	紅外線 LED 規格	3-17
表 3-6	電器規格	3-17
表 3-7	環境規格	3-18

圖目錄

圖 2.1	橋梁檢測時常用之清潔工具.....	2-4
圖 2.2	橋梁檢測時常用之簡易檢測工具.....	2-4
圖 2.3	橋梁檢測時常用之視覺輔助工具.....	2-5
圖 2.4	橋梁檢測時常用之量測工具.....	2-5
圖 2.5	橋梁檢測所使用之鉸式升降機.....	2-7
圖 2.6	橋梁檢測時所使用之工作平臺.....	2-8
圖 2.7	Hydra Platforms Mfg Inc.橋梁檢測車作業實況	2-9
圖 2.8	Hydra Platforms Mfg Inc.橋梁檢測車 HPT60 運輸尺寸	2-9
圖 2.9	Aspen Aerials 橋梁檢測車作業實況	2-10
圖 2.10	Aspen Aerials 最大之橋梁檢測作業平臺 A-75.....	2-11
圖 2.11	MOOG 公司重型裝載設備及吊籃式設備示意圖	2-12
圖 2.12	MOOG 公司重型裝載設備之橋梁檢測實況之一	2-13
圖 2.13	MOOG 公司重型裝載設備之橋梁檢測實況之二	2-13
圖 2.14	N. E. Bridge Contractors, Inc.執行鐵路橋梁檢測.....	2-15
圖 2.15	Facelift, Inc.之橋梁檢測人員承載設備(Nifty height rider 120NBE).....	2-16
圖 2.16	Carnegie Mellon 大學之蛇狀機械手臂.....	2-17
圖 2.17	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées 之小型遙控直升機執行橋梁檢測.....	2-18
圖 2.18	美國加州交通部及 FHWA 之高空橋梁檢測系統概念	2-19
圖 2.19	JLN Labs 之遙控直升機.....	2-19
圖 2.20	內華達州道路影像實錄系統影像瀏覽畫面.....	2-21
圖 2.21	新澤西州錄影實錄調查車輛.....	2-23
圖 2.22	新澤西州錄影實錄影像記錄分析系統.....	2-23
圖 2.23	ARAN 鋪面調查車	2-23
圖 2.24	ARAN 路權攝影示意圖	2-23
圖 2.25	ARAN 路權高解析度照片	2-23

圖 2.26	ARAN 路權標準解析照片	2-23
圖 2.27	南達科塔州之鋪面及道路影像錄影系統.....	2-24
圖 2.28	GPSVision 調查系統.....	2-24
圖 2.29	GPSVision 系統架設圖	2-24
圖 2.30	GPSVision 量測系統.....	2-24
圖 2.31	GPSVision 播放系統.....	2-24
圖 2.32	國道公路警察局之防飆蒐證暨事故處理車.....	2-27
圖 2.33	國道高速公路局中區工程處的事故處理車.....	2-27
圖 2.34	大陸汽車改裝廠所研發之交通事故偵查車.....	2-27
圖 2.35	警消救援與軍事之車用高空夜間輔助照明設備.....	2-28
圖 2.36	美國華盛頓州警察局所使用之照明輔助設備.....	2-28
圖 3.1	初版設計(計畫書提案)機械手臂設計概念.....	3-3
圖 3.2	2 版設計機械手臂設計概念.....	3-5
圖 3.3	3 版設計機械手臂設計概念.....	3-6
圖 3.4	4 版設計機械手臂設計概念.....	3-8
圖 3.5	5 版設計機械手臂設計概念.....	3-10
圖 3.6	車載橋梁外業調查用數位影像檢測雛型系統之架構.....	3-12
圖 3.7	車載橋梁外業調查用數位影像檢測雛型系統實際搭載情形.....	3-12
圖 3.8	SONY 360 度鏡頭俯仰角度.....	3-14
圖 3.9	SONY 360 度鏡頭環場攝影機構.....	3-14
圖 3.10	Chameleon Eye 實際拍攝實驗室景物的影像.....	3-15
圖 3.11	室外型 22 倍星光級紅外線夜視 Speed Dome 攝影機.....	3-16
圖 3.12	攝影機遙控器.....	3-18
圖 3.13	充足光源環境下 Speed Dome 攝影機攝影品質(左右圖分別在高低照度下拍攝)	3-20
圖 3.14	微弱光源環境下 Speed Dome 攝影機攝影品質(左右圖分別在高低照度下拍攝)	

.....	3-20
圖 3.15 沒有光源環境下 Speed Dome 攝影機攝影品質(左右圖分別在高低照度下拍攝)	3-20
.....	3-21
圖 3.16 即時數位連續影像擷取軟體啟後主畫面	3-21
圖 3.17 連續影像之個別單張畫面擷取(1)	3-22
圖 3.18 連續影像之個別單張畫面擷取(2)	3-22
圖 4.1 機械手臂第 1 節臂尺寸圖	4-1
圖 4.2 機械手臂第 2 節臂尺寸圖	4-2
圖 4.3 機械手臂第 3 節臂尺寸圖	4-2
圖 4.4 橋梁檢測機械手臂組裝圖	4-3
圖 4.5 機械手臂第 3 節臂承載攝影機受力變形	4-4
圖 4.6 機械手臂第 3 節臂承載攝影機受力應變圖	4-4
圖 4.7 機械手臂第 3 節臂承載攝影機受力應力圖	4-5
圖 4.8 機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置之邊界拘束條件和受力條件	4-6
圖 4.9 機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置之邊界拘束條件和受力條件	4-6
圖 4.10 機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置之邊界拘束條件和受力條件	4-7
圖 4.11 機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置受力時之靜態變形	4-8
圖 4.12 機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置受力時之靜態應變分佈	4-8
圖 4.13 機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置受力時之靜態應力分佈	4-9
圖 4.14 機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置受力時之靜態變形	4-10
圖 4.15 機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置受力時之靜態應變分佈	4-10
圖 4.16 機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置受力時之靜態應力分佈	4-11
圖 4.17 機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置受力時之靜態變形	4-12
圖 4.18 機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置受力時之靜態應變分佈	4-12
圖 4.19 機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置受力時之靜態應力分佈	4-13
圖 4.20 機械手臂第 3 節臂模態分析圖	4-13

圖 4.21 第 1 個模擬位置受動態作用力時受力端之上下垂直方向位移量變化.....	4-14
圖 4.22 第 1 個模擬位置受動態作用力時受力端之左右水平方向位移量變化.....	4-15
圖 4.23 第 1 個模擬位置受動態作用力時第 3 節臂最大應力變化.....	4-15
圖 4.24 第 2 個模擬位置受動態作用力時受力端之上下垂直方向位移量變化.....	4-16
圖 4.25 第 2 個模擬位置受動態作用力時受力端之左右水平方向位移量變化.....	4-17
圖 4.26 第 2 個模擬位置受動態作用力時第 3 節臂最大應力變化.....	4-17
圖 4.27 第 3 個模擬位置受動態作用力時受力端之上下垂直方向位移量變化.....	4-18
圖 4.28 第 2 個模擬位置受動態作用力時受力端之左右水平方向位移量變化.....	4-19
圖 4.29 第 3 個模擬位置受動態作用力時第 3 節臂最大應力變化.....	4-19
圖 5.1 機械手臂用油壓源及手動閥.....	5-1
圖 5.2 機械手臂第 1 節與車廂結合處.....	5-2
圖 5.3 機械手臂第 1 節.....	5-2
圖 5.4 機械手臂第 2 節.....	5-3
圖 5.5 機械手臂第 3 節.....	5-3
圖 5.6 機械手臂組裝後油壓推進測試(1).....	5-4
圖 5.7 機械手臂組裝後油壓推進測試(2).....	5-4
圖 5.8 機械手臂組裝後油壓推進測試(3).....	5-5
圖 5.9 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 1 節臂外推延伸(1).....	5-5
圖 5.10 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 1 節臂外推延伸(2).....	5-6
圖 5.11 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 2 節臂旋轉 90 度.....	5-6
圖 5.12 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 2 節臂向下延伸.....	5-7
圖 5.13 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 3 節臂旋轉 90 度.....	5-7
圖 5.14 橋梁檢測機械手臂操控中同步以 CCD 攝影.....	5-8
圖 5.15 車載橋梁外業調查用數位影像檢測雛型系統實測.....	5-9
圖 5.16 高鐵行經樹林之高架橋下測試結果.....	5-10
圖 5.17 浮洲橋下測試結果.....	5-10

第一章 緒論

1.1 計畫背景

交通是國家的經濟命脈。在交通建設中，如果要跨越河川或窪地時，常常須藉由橋梁連接貫通；而在城市都會區中，也常利用高架橋來作為連接道路，以節省土地使用，並使交通順暢，因此橋梁是道路系統中極為重要的一部份，在交通建設中佔有極重要的地位。一旦橋梁本身出現問題或受到損壞，不僅可能造成生命傷亡損失，若造成交通中斷，更對整個社會或國家將造成相當大的衝擊，而橋梁損壞後之維修甚至重建，亦需要耗費大量的時間及金錢，因此如何確保橋梁之結構安全與服務功能實乃刻不容緩之事。

在民國 96 年 8 月 1 日傍晚，跨越美國密西西比河的明尼蘇達州 35W 州際公路大橋突然斷裂，造成數十人落水失蹤，這起意外事件再次引起全球各地對橋梁結構安全的高度重視。事實上，美國因橋梁結構出現問題導致橋梁斷裂的事件，已發生多起。在 1967 年，橫跨美國俄亥俄州河的銀橋即發生斷橋悲劇，奪走 46 條生命。目前在全美各地被認定「結構不夠健全」的橋梁至少在 7 萬座以上^[1]。

臺灣位處地震頻繁地帶，橋梁結構常遭受地震侵襲；而每年 7、8 月間颱風頻繁，大量降雨造成河流湍急及土石流，也提高了橋梁受損的風險。這些地震或颱風對橋梁造成的破壞，若能及早發現，加以預警或修復，即可大幅降低生命的傷亡並延長橋梁壽命。此外，依據「臺灣地區橋梁管理資訊系統」統計，至 96 年 8 月，臺灣地區共有大小橋梁 25,492 座，表 1-1 為臺灣地區各橋梁管理機關所轄橋梁數量統計，表 1-2 為臺灣地區橋梁橋齡在 40 年以上之數量統計，表 1-3 為臺灣地區橋梁平均橋齡統計。

表1-1 臺灣地區各橋梁管理機關所轄橋梁數量統計

橋梁管理機關	管理橋總數
縣市政府	17,314
公路總局	4,176
鐵路局	1,907
高公局	2,095
總計	25,492

表1-2 臺灣地區橋梁橋齡在40年以上之數量統計

橋梁管理機關	橋齡在40年以上之橋數
縣市政府	309
公路總局	436
鐵路局	207
高公局	0
總計	952

表1-3 臺灣地區橋梁平均橋齡統計

橋梁管理機關	平均橋齡
縣市政府	18.9
公路總局	22.1
鐵路局	27.1
高公局	11.3
總計	19.6

由統計數字顯示，臺灣地區橋梁已進入老化期，檢測及維修工作將隨橋齡日增，而檢測結果為橋梁是否需進行維修之主要依據，故檢測之重要程度與工作量較維修更為大且繁重。

龐大的檢測工作量需要充足的人力，然而目前各橋梁管理單位執行檢測工作之人力卻嚴重不足，迫切需要可提高效率及節省人力的檢測輔助設備。既有之橋梁檢測車存在價格高昂、數量少、體積大、操作不便之缺失，而目前將檢測人員運送至橋梁下執行目

視檢測工作也存在有較高之安全風險。因此，如何以有限人力在兼顧效率、經濟、安全的狀況下進行橋梁目視檢測實為重要課題。

1.2 研究目的

橋梁結構可能因橋齡增加及受天然環境影響而出現劣化現象，此外交通量增加、重車流量增多等人為因素則可能使劣化加速、加劇。無論是要發現橋梁的損壞狀況及程度，或是進而決定維修之方式，都必須以橋梁檢測的結果作為依據。根據交通部所頒布之公路養護手冊^[2]，橋梁檢測應具備下列目的：

1. 提供橋梁狀況資訊；若有危及結構安全時，及時採取限制車輛通行或封閉交通等管制措施。
2. 提供劣化程度之資訊、劣化對構件之影響程度，以及該劣化係正常之劣化或其他原因所造成等參考資料。
3. 記錄橋梁具有時間序列之狀況，以供研析橋梁結構之變化。
4. 檢測橋梁結構劣化之情況，可使橋梁維護計畫更具效率，並降低維修成本。
5. 維修以消除危害橋梁狀況，提高公共安全保障。
6. 協助擬定更新橋梁計畫。

臺灣地區超過 25,000 座橋梁，平均橋齡接近 20 年，開發一車載橋梁檢測設備使有限人力可快速、經濟及安全地進行橋梁目視檢測，即為本研究的目的。

1.3 研究範圍與對象

由於橋梁之種類繁多，小型橋梁有雙向 2 車道，中型橋梁則有雙向 4 車道，大型橋梁不僅車道數更多，其下甚至另有車道可通行車輛。本研究依橋梁種類之不同，發展不同的檢測方法，來達到快速、經濟及安全的橋梁檢測。

1. 本年度先針對小型橋梁(雙向 2 車道)與其下有車道可供通行之大型橋梁，進行檢測設備雛型開發。

2. 針對其下有車道可通行車輛之大型橋梁應用 Videologging 技術發展一車載橋梁外業調查設備，並選擇一代表性橋梁進行測試。
3. 針對雙向 2 車道之小型橋梁檢測開發(3 臂)機械手臂檢測設備。檢測方式以機械手臂配備數位攝影機伸入橋面下拍攝，取代傳統之人工目視檢測。除對機械手臂結構進行有限元素分析外，亦選擇一代表性橋梁進行測試。

1.4 研究內容與工作項目

本研究以影像處理技術檢測橋梁的方式來改善使用舉高車或橋梁檢測車搭載養護人員執行目視檢測之不便，使橋梁目視檢測得以低成本、高效率及安全的方式來進行。

研究計畫重點如下：

1. 蒐集國內、外有關橋梁檢測技術及設備，並進行綜整與研析。
2. 開發橋梁檢測機構裝置數位攝影機之前端數位影像擷取與後端資料分析軟硬體的整合介面。
3. 針對其下有車道可通行車輛之大型橋梁，開發車載橋梁外業調查用數位影像檢測設備。
4. 針對雙向 2 車道之小型橋梁，開發裝置數位攝影機之機械手臂與控制軟體，並選擇一代表性橋梁進行實際測試。
5. 將前述所開發之橋梁數位影像檢測軟體輸出結果與後端臺灣地區橋梁管理資訊系統資料庫整合。

第二章 文獻回顧

2.1 橋梁檢測

依交通部所頒布之公路養護手冊^[2]，橋梁檢測之類別有經常巡查、定期檢測及特別檢測3種，分述如下：

1. 經常巡查

是指平常所實施對橋梁之異狀、損傷檢測。檢測之重點在於已對用路人造成影響，需緊急維修之異狀和損傷。原則上以2人1組，共乘1部巡查車，在車上以目力檢視橋梁構造物各種狀況，若發現有可疑之處，即應下車檢查。

在巡查頻率方面，高速公路之巡查每日至少1次，快速公路每週至少2次，其他公路每週巡查至少1次。

2. 定期檢測

是指定時對橋梁所有結構實施全面檢測，同時確認經常巡查之紀錄上所載之橋梁異狀、損傷。檢測重點在於掌握橋梁結構安全，早期發現構件之劣化程度並評估橋梁功能之損傷及其原因。定期檢測係利用徒步、攀登或以特殊車輛儘可能接近橋梁結構物，給予較詳盡之檢查，以鑑定橋梁構造物之安全情形。

定期檢測之頻率需視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由維護單位來評估。原則上，檢測之頻率為每2年至少檢測1次，但橋梁跨徑超過150公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、 π 型橋或鋼拱橋等，每年應檢測1次。目前高速公路局與公路總局之橋梁定期檢測均為1年2次，分別在4月及11月，也就是汛期的前後進行橋梁檢測。

3. 特別檢測

由天災(如颱風、豪雨、地震)或人為破壞因素(如火災或車輛撞損主梁、橋墩柱)所引起之災害，而致可能損傷橋梁結構時所做之不定期檢測。檢測重點在針對災後或事故後，探討災害是否造成橋梁功能損傷及是否需維修、補強。特別檢測僅於災害發生後才需進行檢測。

另外，在橋梁檢測之方式上，依「混凝土橋梁檢查手冊」^[3]之分類，則有目視檢測、

非破壞性檢測及破壞性檢測3種，分述如下：

1. 目視檢測

目視檢測是利用目視的方式對整座橋梁做外觀上的全面性檢查。檢測時針對橋梁的各個構件儘可能的接近並用肉眼觀察，而如果發現異常、缺陷或損壞的部分則須加以評估，並拍攝照片作為紀錄。

相較於非破壞性檢測與破壞性檢測而言，目視檢測的優點是執行容易、省時且經濟，但其缺點是目視檢測在判斷劣化的程度上較為主觀，損壞嚴重與否完全依賴檢測人員之判斷，因此檢測人員之專業素質成為影響目視檢測結果是否正確之最重要因素。

另外，目視檢測之評估結果只可作為橋梁現況之參考，無法真正反應橋梁目前的結構狀況，因此，一般在目視檢測完成後，會視需要針對較差的結構構件再進行非破壞性或破壞性檢測。

2. 非破壞性檢測

非破壞性檢測是藉著某種介質進行的間接檢測方式，因此不會對橋梁結構體有所傷害，依性質可分為下列幾類：

(1)表面硬度法

表面硬度法是藉著量測混凝土的表面硬度來推估其強度，以衝擊裝置撞擊混凝土表面，量測混凝土表面受撞擊後凹陷情況或衝擊裝置之反彈程度來推估混凝土本身的強度。

(2)表面強度法

表面強度法是以貫入混凝土深度，或量測表面局部破壞方式來直接估算混凝土的強度。

(3)音波檢測法

音波檢測法是利用音波在材料中傳遞時，波速及共振頻率因不同材料性質(彈性模數、密度、蒲松比等)而有不同之關係，藉由關係的改變可得知混凝土中之材料性質及位置，以及是否有孔隙或其他雜質等存在。

(4)成熟度檢測法

成熟度檢測法是利用混凝土的溫度變化來估計混凝土本身的強度，用來估計新建結構物在不同成熟度時混凝土強度。

(5)綜合檢測法

綜合檢測法是結合不同的非破壞檢測法來進行試驗，可增進非破壞性檢測法的可靠度與準確性，避免單一檢測法所造成之偏差。

3. 破壞性檢測

破壞性檢測是將結構部分區域加壓力或拉力達到破壞，來評估該結構部分之抗壓或抗拉強度，在試驗完成後必須對破壞區域加以修補。破壞性檢測能夠直接測得該構件所能承受之負荷，因此較非破壞性檢測準確，某些情況下，破壞性檢測是用來驗證非破壞性檢測之結果是否正確。

2.2 橋梁檢測工具及設備

橋梁檢測需要適當的工具及承載檢測工具或人員的機械手臂，相關設備整理及回顧如下：

1. 標準工具^[3]

為了能執行準確及範圍廣泛的檢測，必須要配備適當的工具，現場檢測時主要的工具如下：

(1)清潔用的工具

長柄掃帚、鋼刷、刮刀、平頭起子、鏟子等，見圖2.1。



圖 2.1 橋梁檢測時常用之清潔工具

(2) 檢測用的工具

小刀、帶有皮握把之敲擊鉚頭、鉛垂、工具皮帶(附袋子)，見圖2.2。

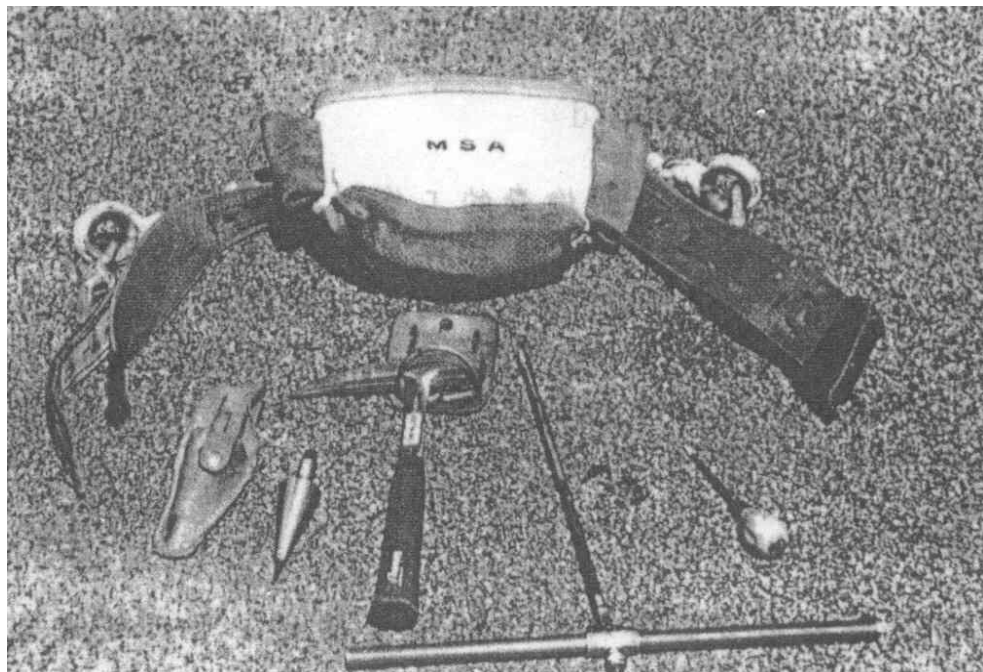


圖 2.2 橋梁檢測時常用之簡易檢測工具

(3)協助目視檢測的工具

望遠鏡、手電筒、放大鏡、檢測鏡子、染色滲透液等，見圖2.3。

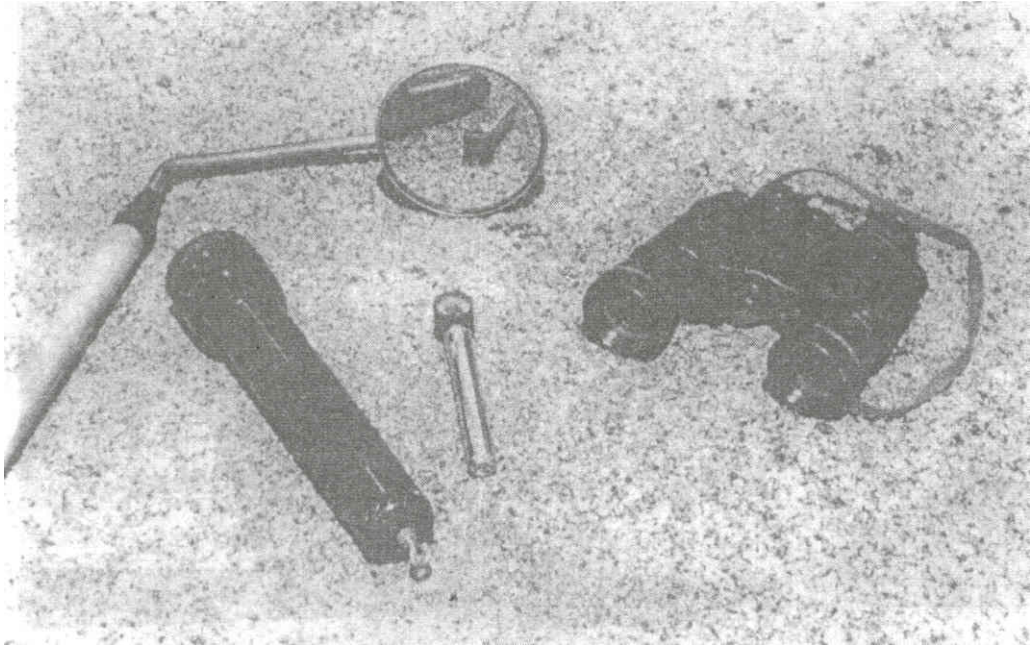


圖 2.3 橋梁檢測時常用之視覺輔助工具

(4)量測工具

捲尺、卡尺、裂縫觀測鏡、厚薄觀測水平尺及量角器、溫度計等，見圖2.4。

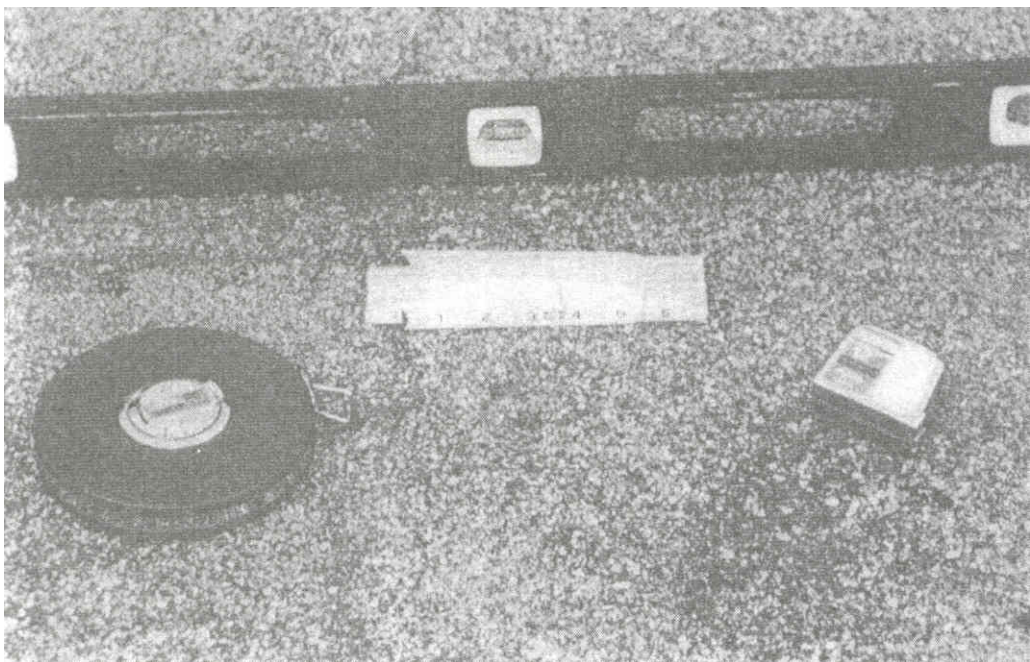


圖 2.4 橋梁檢測時常用之量測工具

(5)文件記錄工具

檢測表格、現場記事本、三角板、照相機、廣角照相機、粉筆及標示器、中心打孔器等。

(6)其他設備

C形夾子、潤滑油、防昆蟲的雨衣、醫藥箱等。

2. 特殊儀器

一般橋梁的定期檢測並不需要用特殊儀器，但一些特別的橋梁或者特殊檢測作業則需要這些配備，檢測員亦須了解特殊裝備及其應用。

(1)測量儀器

特殊的環境之下，也許要使用經緯儀、水準儀、丈量桿或其他測量儀器，這些儀器可以定出某構件相對於其他的構件的正確位置，特別是在定參考點時將會使用到。

(2)非破壞性試驗儀器

非破壞性檢測係在現場進行試驗以確認結構體的某些特性，但不需要破壞材料或結構。非破壞性試驗可以讓檢測員了解到橋梁桿件的內部劣化情形，同時進行缺陷的評估。通常非破壞性試驗係由受過專業訓練的技術人員來操作，並且說明及解釋其結果。

(3)水中檢測儀器

水中檢測主要是在檢查下部結構在水面以下的部份、河道的狀況及淘刷的情形。如果河道狹淺，可以使用簡單探測方法，例如鋼筋、標桿、捲尺或一根木頭等；河道深的話則需僱用潛水俠進行水中檢測，並且需要配備特殊的裝備例如工作臺、回音測聲儀、透地雷達、空氣供應系統、通訊設備、測水深設備等。

3. 檢測人員、儀器承載裝備

不論使用何種類型的簡單工具或儀器，對於高大橋梁，其攀登範圍總是有限。這些難於到達的部位，可利用一臺能夠伸縮、俯仰、進退、旋轉，並且可在橋上行走的機具協助養護人員執行檢測，這種承載人員以協助檢測的機具目前大致有以下幾種類型：

(1) 鉸式升降機型 (Hinged Work Lift)

典型之鉸式升降機如圖2.5所示。這種類型的裝備特別適用於對狹窄部位(如支座)的檢查和對一般中、小型高架橋的檢查。

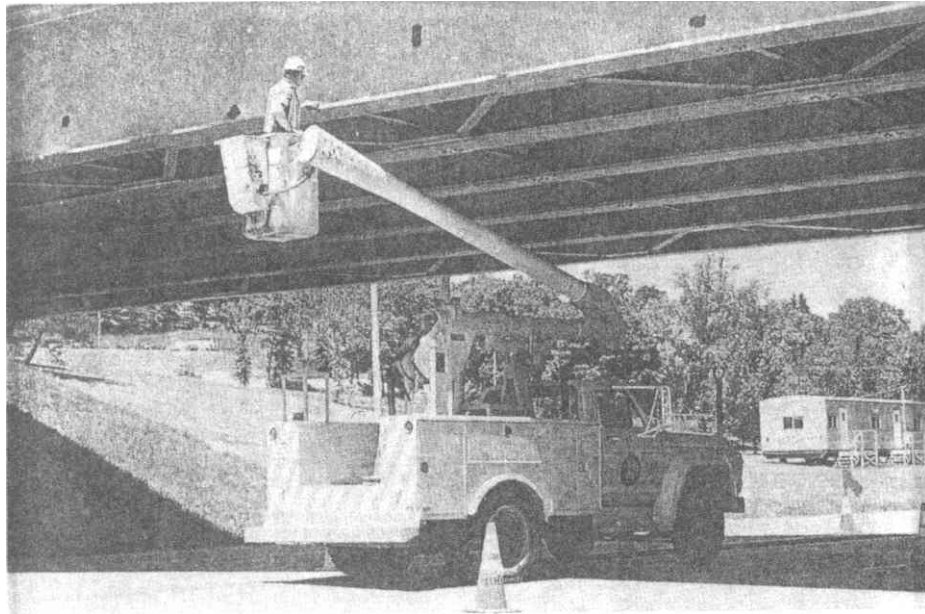


圖 2.5 橋梁檢測所使用之鉸式升降機

(2) 工作平臺型(Mobile Scaffold)

圖2.6為適用於大範圍檢查的工作平臺示意圖。這種裝備特別適用於寬度在30m左右的橋梁，臂桿可跨出橋梁欄杆向下伸達8m，工作平臺可伸進橋孔達16m，能將上部構造的底面全部檢視無遺。工作平臺自身可以升降，而平臺上還可以再裝設能行走升降的工作籃，所以對上部構造的懸挑部分或斷面很高的箱形梁或T型梁都可以毫無遺漏地進行檢查。

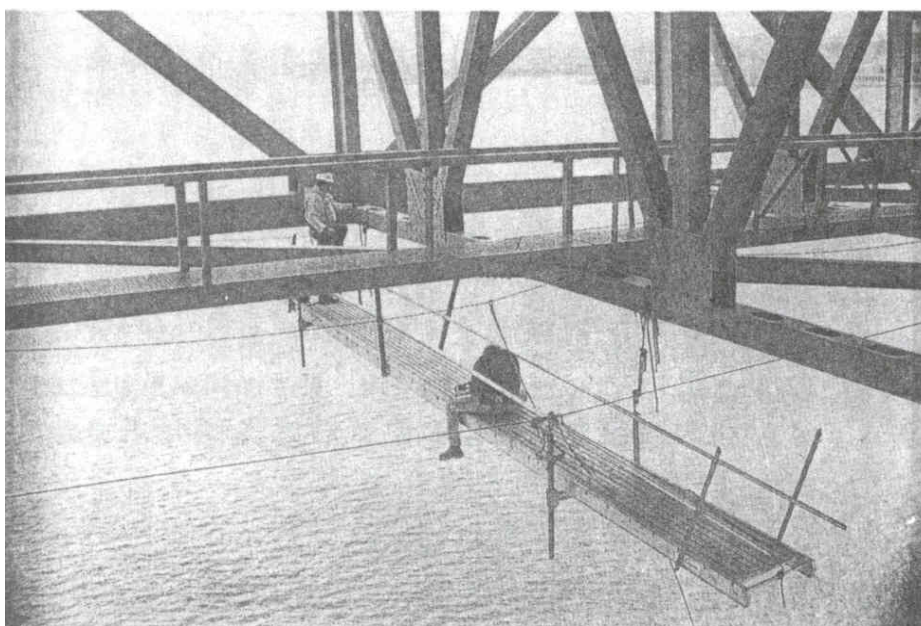


圖 2.6 橋梁檢測時所使用之工作平臺

(3)多吊臂桿型(Snooper)

是一種由多節臂桿組成的檢查機械手臂，其機械手臂部份的設計型式各異(圖2.7~2.10)，視各開發廠商構想而定，但大致上其臂桿均可作360°旋轉，並可檢查到橋梁的每個角落，而其機械手臂尾端從只容許一個人站立之籃筒到可同時站立數人之平臺均有。

- Hydra Platforms Mfg Inc.^[4]：

Hydra Platforms Mfg Inc.是一家專業設計和製造橋面下檢測之自動舉升平臺的公司，其所開發之大型機械手臂作業平臺有卡車承載型(Truck mounted platforms)及拖車承載型(Trailer mounted platforms)兩種。圖2.7所示為該公司橋梁檢測作業車作業實況，以該公司卡車承載型之其中之一產品HPT66為例，它的平臺工作範圍可達20.1公尺，平臺承載能力是635公斤，最大下降橋面深度為7.3公尺，車輛運輸時尺寸如圖2.8所示，全車長12.2公尺，寬2.45公尺，高4.1公尺，總重(含作業平臺)為25公噸。



圖 2.7 Hydra Platforms Mfg Inc.橋梁檢測車作業實況^[4]

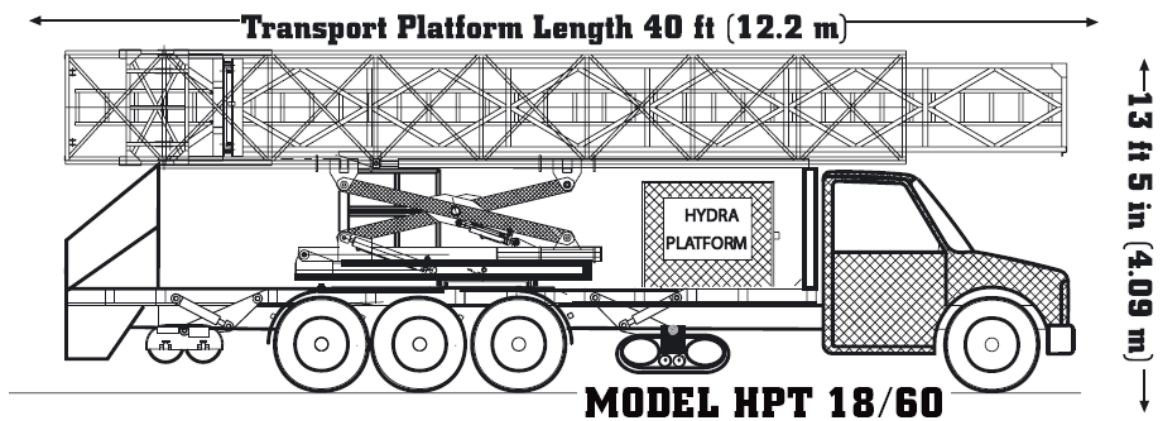


圖 2.8 Hydra Platforms Mfg Inc.橋梁檢測車 HPT60 運輸尺寸^[4]

- Aspen Aerials^[5]：

Aspen Aerials 是一家專門設計及製造橋梁檢測及維護之機械手臂作業平臺的公司，其各式檢測車之操作實況如圖 2.9 所示。該公司之產品以吊籃式機械手臂作業平臺為主，這種機械手臂的優點在於它可以將檢測車停放在橋面上而下探橋面下狀況，或以高空作業方式將檢測車停放在橋面下之一般平面道路上往上伸檢測橋面，具備多種用途。以該公司最大的橋梁檢測作業平臺 A-75 為例，如圖 2.10 所示，其橋面下最大水平檢測可達 22.8 公尺，垂直橋面深度可達 22 公尺，向上舉升高度可達 16.1 公尺，吊籃的承載重量為 318 公斤。運輸時全車尺寸為長 12.75 公尺，高 4.07 公尺。



圖 2.9 Aspen Aerials 橋梁檢測車作業實況^[5]



圖 2.10 Aspen Aerials 最大之橋梁檢測作業平臺 A-75 ^[5]

● MOOG GMBH ^[6] :

MOOG 公司為一專業製造橋梁檢測平台之公司，其產品有重型裝載設備及吊籃式設備。兩種設備之示意圖如圖 2.11 所示，使用大貨車或聯結車為載台，藉由該設備將人員送至橋面下執行檢測作業。

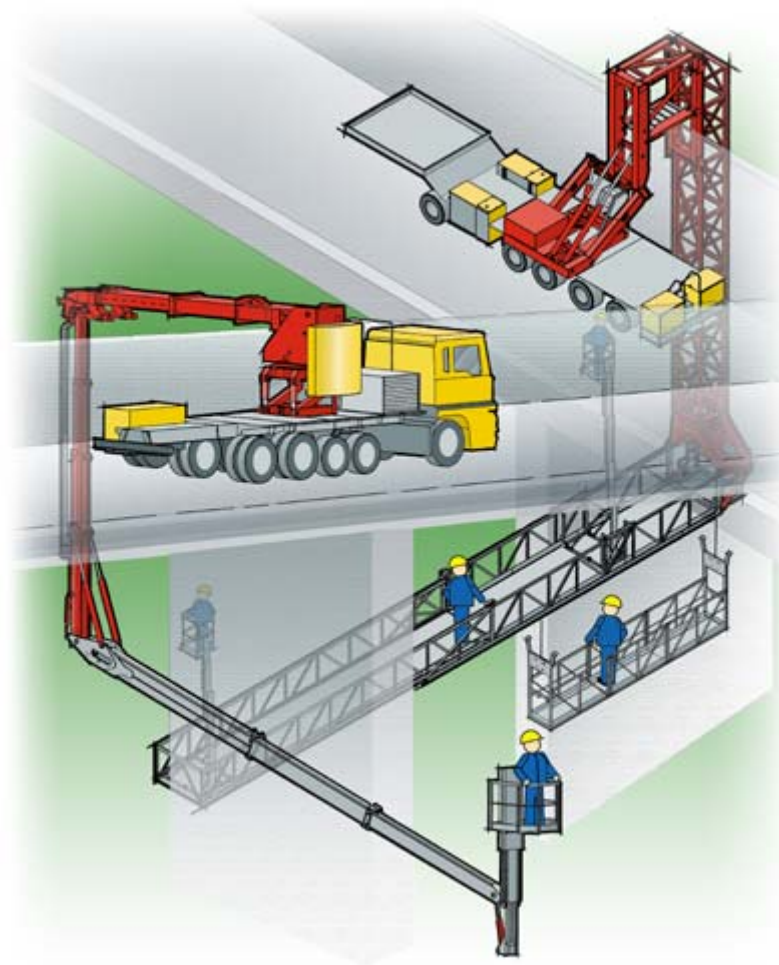


圖 2.11 MOOG 公司重型裝載設備及吊籃式設備示意圖^[6]

MOOG 公司重型裝載設備之橋梁檢測實況如圖 2.12 及圖 2.13 所示，該公司所開發設備之一的 MBI200-1.5/S，其規格列於表 2-1。交通部公路總局採購該型橋梁檢測車 2 部，分別負責臺灣本島東西部橋梁之檢測工作。該設備之最大水平工作範圍是 20 公尺，最大垂直下降深度是 9.5 公尺，平台末端載重為 400 公斤，惟整車含設備淨重達 32 公噸，依現行交通法規無法申領車輛牌照，僅以通行證作為運輸依據。在運輸尺寸上，分別為長 12 公尺，寬 2.5 公尺，高 4 公尺。



圖 2.12 MOOG 公司重型裝載設備之橋梁檢測實況之一



圖 2.13 MOOG 公司重型裝載設備之橋梁檢測實況之二

表2-1 MOOG公司的MBI200-1.5/S重型裝載設備規格

技術數據	
最大水平工作範圍	20.0 公尺
最大垂直下降深度	9.5 公尺
平臺寬度	2.5 公尺
橋面佔用寬度	2.5 公尺
平臺最大負載重量	800 公斤
平臺末端最大負載重量	400 公斤
跨越行人道寬度	2.5 公尺
跨越護欄最大高度	3.0 公尺
平臺旋轉度	180 度
運輸尺寸：	
淨重	32 公噸
總長	12.0 公尺
總寬	2.5 公尺
總高	4.0 公尺
設有液壓驅動自行推進裝置及平臺	
上配有電源插座	

- N. E. Bridge Contractors, Inc.^[7] :

N. E. Bridge Contractors, Inc. 是一家從事橋梁建造、維修及檢測的合約商，藉由其各式的橋梁檢測車及專業人員提供有關橋梁方面的服務，圖 2.14 所示為該公司以 Aspen Aerial A-30 橋梁檢測車執行鐵路橋梁檢測。



圖 2.14 N. E. Bridge Contractors, Inc.執行鐵路橋梁檢測^[7]

- FACELIFT, INC.^[8]

Facelift, Inc.的橋梁檢測人員承載設備(Nifty height rider 120NBE) ，如圖 2.15 所示，為一吊籃式高空作業車。檢測人員執行作業時是將作業車停於橋下道路，並於作業車平穩固定後將人員舉升至橋面下實施目測檢視。



圖 2.15 Facelift, Inc.之橋梁檢測人員承載設備(Nifty height rider 120NBE) [8]

前述之橋梁檢測設備都是搭載檢測人員至橋面下執行目視檢測工作，為保障檢測人員之安全，其作業平臺往往非常堅固而龐大，而承載車輛也幾乎都是大型卡車，這些都是檢測工作的額外負擔。除此之外，由於電子產業的進步，攝影機的功能及重量已逐漸能滿足橋梁檢測上的要求，因而有取代人員直接目測的趨勢，相關研發和應用上的重點即在於如何將攝影機送至橋面下以執行拍攝工作。以下介紹以攝影機執行橋梁檢測的相關應用發展。

- Sensor Based Planning Lab, Carnegie Mellon University [9] :

蛇狀機械手臂(Serpentine Robot)是由 Carnegie Mellon 大學的 Sensor Based Planning Lab 所發展。蛇狀機械手臂之所以如此命名是因為其機械手臂突破傳統上關節處僅有 3 個自由度的限制，而能像蛇一般蜿蜒運動。該機械手臂前端裝置攝影機後，能對橋梁鋼

骨結構執行檢測，也能在殘垣廢墟中執行搜尋救災之任務，其未來之發展及應用應相當具有潛力。

然而由於該機械手臂的運動軌跡具變化性，其研發及應用上之瓶頸在於必須事先作好路徑規劃。以橋梁鋼骨結構檢測為例，它需要橋梁結構的立體設計圖來規劃路徑，再驅動機械手臂依路徑前進。目前的研究成果為桌上型之原型，如圖 2.16 所示，距離實際運用仍需一段時間。



圖 2.16 Carnegie Mellon 大學之蛇狀機械手臂^[9]

- LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES (FRENCH PUBLIC WORKS RESEARCH LABORATORY)^[10] :

法國 Laboratoire Central des Ponts et Chaussées 的橋梁檢測方案是採用小型遙控直升機(Plate-forme Mobile d'Instrumentation, PMI)裝置 CCD 執行橋面拍攝工作，如圖 2.17 所示。



圖 2.17 Laboratoire Central des Ponts et Chaussées 之小型遙控直升機執行橋梁檢測 ^[10]

以小型遙控直升機執行橋梁檢測時不會受地形或橋梁結構之限制，可以深入到橋面下任何位置拍攝。不過，執行拍攝工作時需注意直升機的穩定性，避免晃動，以取得較佳品質的照片。此外，在遙控直升機時若不能目視著直升機，則可能在飛行過程中發生意外碰撞，因而操控人員若無法在橋面下遙控直升機時應特別小心。

- CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (CALTRANS), USA ^[11] :

美國加州交通部及 FHWA 合作發展一高空橋梁檢測系統(Aerial Platform System for Bridge Inspection)，其概念如圖 2.18 所示，目前仍在原型機之發展和測試階段。依其構想，它配備一攝影機，並能夠垂直升空及降落，將攝影機置於欲檢視處 0.6 公尺範圍內，藉由長達 30 公尺的光纖來傳送控制訊號及回傳視訊至地面基地。

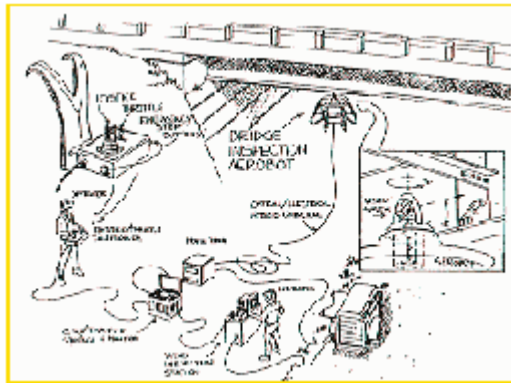


圖 2.18 美國加州交通部及 FHWA 之高空橋梁檢測系統概念^[11]

- JLN Labs^[12] :

Jean-Louis Naudin 的 JLN Labs 亦發展一遙控直升機，如圖 2.19 所示，配備高解析度 CCD 來執行橋梁檢測工作。



圖 2.19 JLN Labs 之遙控直升機^[12]

4. 錄影實錄與高空輔助照明

隨著交通公路網的迅速擴展，相關公路檢測項目也隨之增加。為降低人工調查及檢

測的成本，近年來國內外無不積極開發道路影像錄製及分析之技術，並建立道路及其週遭環境之影像資料庫，以減少實地踏勘的次數，同時作為公路安全規劃與設計、交通控制設施管理與道路鋪面管理與維護之參考。道路影像收集之技術，依使用之調查設備主要可區分為「影像實錄」(Photologging)及「錄影實錄」(Videologging)兩大類。其中，影像實錄是使用車輛附載照相機及相關設備，沿途有間距地拍攝道路及其週遭環境之影像。錄影實錄部份則是以車輛附載攝影機及相關設備，沿途有間距地連續拍攝道路及其週遭環境之影像。前述兩項技術均已普遍應用於國內外公路基本資料庫之建立，詳細相關文獻可參閱本所 95 年「公路基本資料庫(三)」研究報告，以下僅作摘要整理說明。

● 國外相關研究

影像實錄主要是運用照相機進行道路影像之拍攝，國外相關之系統介紹如表 2-2 所示。

表2-2 國外影像實錄系統介紹

系統	功能及特色
康乃迪克州 VSIS (Videodisc-based Sign Inventory System) ^[13]	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用 Photologging 技術記錄全州 3,900 哩的高速公路影像。 2. 擷取出影像間距為 0.01 哩之單張影像，並將擷取後之影像儲存於影音光碟中 (Videodisc)。 3. 使用 FoxPro 資料庫進行資料維護管理。 4. 該系統上線後可節省 60,000 哩的實際調查、40,000 工作人時及 \$800,000 費用的支出。
內華達州運輸部門 (Nevada DOT) 道路影像實錄系統 ^[14] (如圖 2.20 所示)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 拍攝的影像每哩為 100 張照片，且每張照片都有其對應之 GPS 座標。 2. 系統具備 20 項道路特徵記錄按鈕，可自訂特徵記錄內容。 3. 提供 Web 與 GIS 查詢介面。



圖 2.20 內華達州道路影像實錄系統影像瀏覽畫面

國外除影像實錄調查外，亦有使用攝影機所進行的錄影實錄，相關之系統介紹整理如表 2-3 所示。

表2-3 國外錄影實錄系統介紹

系統	功能及特色
美國新澤西州 (New Jersey DOT) ^[15] (如圖 2.21 及圖 2.22 所示)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在調查車輛中搭配 GPS 定位裝置，利用數位攝影機以在高速行駛中精確的捕捉影像，並可計算影像所在之位置。 2. 外業調查時使用筆記型電腦，利用 Geolink 軟體協助記錄高速公路和上下坡的道路特徵資料。 3. 所收集來的影像，再利用其所發展的影像處理軟體，計算道路特徵物外觀及其所在位置。目前可收集 18 項道路特徵，包括指示牌、柵欄、人孔、涵洞等。 4. 具備 Web-based GIS 顯示功能。 5. 調查後之資料，可提供做為後續維護計畫時程規劃及經費概算之參考基準。

系統	功能及特色
加拿大 Roadware 公司 ARAN (Automatic Road Analyzer) ^[16] (如圖 2.23 至圖 2.26 所示)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用大量攝影實錄的方式，將現場狀況攝錄儲存。 2. 再利用分析軟體以獲取所需之資料。 3. 所提供之影像包括高解析度 (1,300×1,030)，及標準解析度 (640×480) 兩種。 4. 最多可同時使用 3 部不同施測功能的攝影機，可擷取到的完整影像資料包括交通標誌、陸橋、平交道與鋪面標線等。 5. 攝影機每秒可拍攝 30 個畫面，後續再使用 VIEW 軟體操控攝影機所拍攝之錄影畫面。
美國南達科塔州 (State of South Dakota) ^[17] (如圖 2.27 所示)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 所建置的鋪面及道路影像錄影系統，將拍攝所得之影像經即時壓縮後儲存於電腦硬碟中。 2. 影像包含了前面 120 度視角之道路影像，及由垂直路面攝影機所拍攝之裂縫影像，所擷取之影像均會與其他感測器所收集之資料同步。 3. 在完成道路資料收集後，透過網路上傳至伺服器中，其他人即可透過網路瀏覽影像。
Lambda 公司 GPSVision ^[18] (如圖 2.28 至圖 2.31 所示)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用 Navstar GPS 及慣性導航 (Inertial Navigation System, INS)，搭配兩部高速攝影機，可以提供車輛行進之方向及所在位置資訊。 2. 在一般的行駛速度下，透過高速攝影機及導航系統，可以量測及定位道路上所見物體之位置。 3. 可使用播放系統導覽路面狀況。



圖 2.21 新澤西州錄影實錄調查車輛

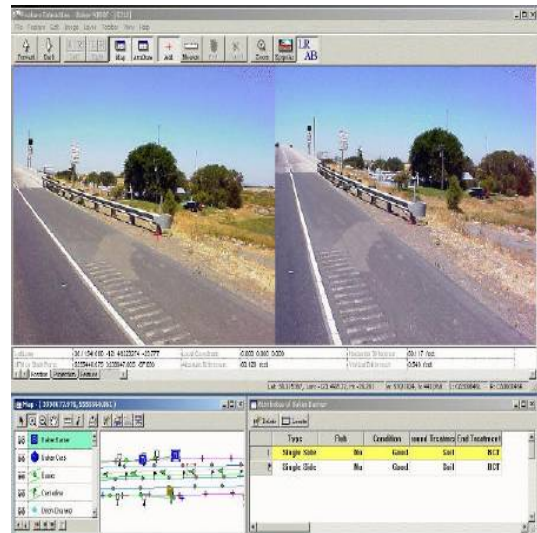


圖 2.22 新澤西州錄影實錄影像記錄分析系統



圖 2.23 ARAN 鋪面調查車

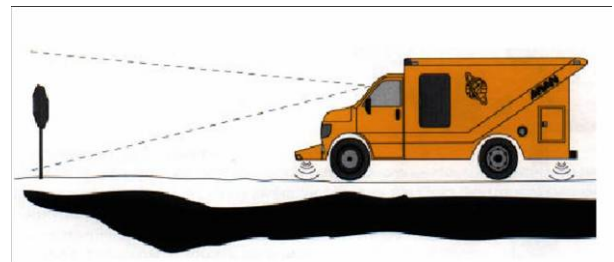


圖 2.24 ARAN 路權攝影示意圖



圖 2.25 ARAN 路權高解析度照片



圖 2.26 ARAN 路權標準解析照片



圖 2.27 南達科塔州之鋪面及道路影像錄影系統



圖 2.28 GPSVision 調查系統



圖 2.29 GPSVision 系統架設圖

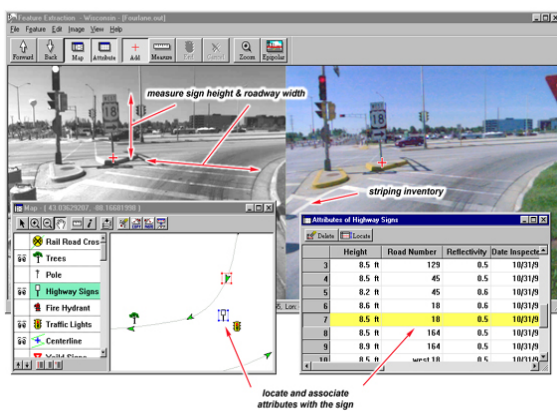


圖 2.30 GPSVision 量測系統

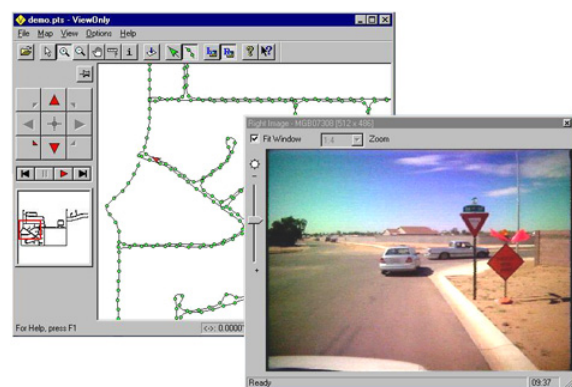


圖 2.31 GPSVision 播放系統

● 國內相關研究

國內在影像及錄影實錄方面的研究係以本所為主，自民國 89 年起^[19-23]即進行一系列的全省主要省、縣道路基本資料調查，並以建立自主性之技術基礎為發展目標。國道高速公路局亦於民國 93 年進行國道 1 號南北雙向國道影像之拍攝工作，拍攝時車輛行駛速度可達 80kph 以上，故調查過程中並不會對現有車流造成影響。此外，公路總局民國 94 年開始進行之全國公路普查^[24-25]，亦是分別利用影像實錄及錄影實錄技術拍攝道路兩旁之交管設施和路基路面影像，民國 95 年已完成所有的調查工作。國內目前 3 個使用單位之發展情形整理如表 2-4 所示。

表2-4 國內公路基本資料庫調查之發展

調查單位	發展情形
交通部運輸研究所	<ol style="list-style-type: none">1. 以建立自主性技術為主要發展目標。2. 已完成全省西半部約 6,500 公里之調查工作。3. 結合全球衛星定位系統、里程計，可推算出每一張影像之 GPS 座標。4. 調查工具由數位相機發展至數位攝影機。5. 外業調查人力，由 3 組降低為 2 組，且使用數位攝影機可同時拍攝路基路面與交管設施。6. 除公路基本設施之調查外，外業調查速度可由 25kph 提昇至 80kph，且外業調查系統相當穩定。7. 可輸出單張間距 10 公尺左右之連續道路影像。8. 結合地理資訊系統做成果展示。
國道高速公路局	<ol style="list-style-type: none">1. 採委外方式進行國道 1 號南北雙向之調查。2. 結合全球衛星定位系統、里程計，可推算出每一張影像之 GPS 座標。3. 調查速度可達 80kph。4. 可輸出單張間距 2 公尺左右之連續道路影像。5. 調查結果影像可與現有之管理系統結合。
公路總局	<ol style="list-style-type: none">1. 採委外方式進行全國公路普查。2. 結合全球衛星定位系統。3. 路基路面採用錄影實錄之方式進行，交管設施則採用影像實錄之方式做記錄。

綜合以上文獻資料可以瞭解，目前影像及錄影實錄之技術，仍主要應用於道路影像記錄方面，雖然目前在橋梁檢測之應用上尚無相關研究實例，但若從快速、經濟及安全的橋梁檢測角度來思考，影像實錄及錄影實錄技術範疇中，仍可擷取其中部分進行轉化應用於橋梁檢測上。以影像記錄方式而言，影像實錄係採用數位相機進行單張照片之拍攝，優點是影像品質佳，但若完整記錄橋梁之影像，須拍攝大量照片，以確保資訊之完整性。相對而言，由於錄影實錄係採用數位攝影機進行連續影像之記錄，因此可較完整記錄橋梁之影像資訊，惟輸出單張照片之影像品質，相對於影像實錄所採用數位相機而言較為不佳，但後續仍可隨著數位攝影機設備功能提昇，獲致相對之改善。因此，本研究以快速、經濟及安全的橋梁目視檢測為目標，利用錄影實錄技術為基礎，設計夾治具，將數位攝影機置於調查車輛車頂，開發車載橋梁檢測雛型系統。

應用數位影像技術進行橋梁檢測，環境光線是影響因素之一。橋梁檢測之影像檢視與一般道路影像拍攝不同，由於橋梁檢測範圍包括橋梁面版下方部分，該區域之光線原本就較為不足，因此如何透過輔助光源之照明，提高數位影像品質，亦是目前所必須解決之課題。而各橋梁橋下淨高不同，更增加輔助光源提供有效照明之困難度。綜觀國內外類似技術發展，主要應用於道路交通事故處理以及軍事應用方面，以國內而言，國道公路警察局之防颯蒐證暨事故處理車，具備有摺疊昇降式強力照明燈，可作為夜間處理交通事故輔助照明之用。圖 2.32 即為防颯蒐證暨事故處理車，車輛基本規格如下：

- 廠牌型號：德國朋馳 G320 (Mercedes-Benz)
- 總排氣量：3199 CC.
- 最大馬力：215/5600 (Hp/rpm)
- 最大扭力：300/2800~4800 (Nm/rpm)
- 極速：175 (Km/H)
- 車長：2850 公分
- 車寬：1760 公分



圖 2.32 國道公路警察局之防飆蒐證暨事故處理車

此外，國道高速公路局中區工程處也有一輛功能相近的事故處理車(如圖 2.33 所示)，其主要功能在於提供夜間照明與路面清洗功能，協助國道交通意外事故現場恢復。



圖 2.33 國道高速公路局中區工程處的事故處理車

另外，大陸也有類似之交通事故勘查車，如圖 2.34 由江蘇省江陰市汽車改裝廠^[26]所研發之交通事故勘查車，該車集通信、強光照明、事故現場測繪系統、破拆工具、現場辦公等設備於一體。



圖 2.34 大陸汽車改裝廠所研發之交通事故偵查車^[26]

國外目前已有車用高空夜間輔助照明設備，並普遍應用在警消救援與軍事方面^[27] (如圖 2.35 所示)，但缺乏高空攝影設備，僅提供單純照明之用。夜間照明設備，除了直接裝設在車輛上之外，亦有採用拖車方式設計，圖 2.36 即為美國華盛頓州警察局所使用之照明輔助設備。



圖 2.35 警消救援與軍事之車用高空夜間輔助照明設備^[27]



圖 2.36 美國華盛頓州警察局所使用之照明輔助設備

綜上，國內外現有之車載輔助照明設備，主要用途仍集中於輔助照明之用，並未結合攝影設備；此外，上述車載輔助照明設備多採用鹵素燈具，照度雖佳，但亦較為耗電，因此多數車載輔助照明設備均搭載發電機或大型車用電池。

除上述採用可見光作為輔助照明外，紅外線是另一種常見的輔助照明，目前多應用於監控領域。應用紅外線作為輔助照明的攝影機可分為兩種，一種為紅外線攝影機，已內建紅外燈；另一種為日夜型攝影機，須外加紅外燈。一般紅外線攝影機是運用人類可見光與 CCD 可感應光源範圍不同的原理所設計。CCD 是電荷耦合元件（Charge Coupled Device）的簡寫，能將感測到的光轉換成電荷訊號並加以處理。在照度較低的環境下，如夜間或橋底下，紅外線攝影機即運用紅外燈來補足光源，不過由於紅外線攝影機是利用紅外線來拍攝，而紅外線的波長不在可見光譜，且靈敏度低，因此彩色攝影

機不適合在紅外燈光源下運作，必須運用濾光片過濾光源，只保留不可見光的波長，故會以黑白畫面呈現。即當攝影機於觀看範圍內感應到足夠光源時，會自動將紅外線濾片關閉，相反地，當周圍光亮不足時，紅外線濾片將自動開啟。當攝影機於彩色模式運作時（照明度 7 Lux 以上），攝影機將紅外線濾片關閉以獲得精確的彩色影像。而當攝影機於黑白模式運作時（照明度 4 Lux 以下），攝影機將紅外線濾片開啟以增加光源感應度來獲得更明亮的影像。

由於本研究係利用數位攝影機配合機械手臂，透過遠端遙控應用數位影像技術進行橋梁檢測雛型系統開發，使用之設備搭載車輛為一般箱型車，且數位攝影機須置於機械手臂最前端，因此在結構安全與減重的前提之下，考量數位影像品質與輔助光線，本研究將採用已內建紅外燈之紅外線攝影機。

第三章 設計構想及軟硬體規劃

3.1 橋梁檢測機械手臂設計

機械手臂的設計過程在研究團隊中曾有一段相當長的討論時期，其間並不斷向工廠方面諮詢加工實務及研究各種之設計可能性，以致設計不斷修正。

基本上，機械手臂之設計上考慮 3 個重點。其一是擴充/通用性，擴充及通用性是指本年度計畫之研究範圍以開發雙向 2 車道之小型橋梁檢測機械手臂為設計目標，但如果未來要進行雙向 4 車道之橋梁檢測，則其機械手臂結構及操作程序應與雙向 2 車道之小型橋梁檢測機械手臂有通用性，亦即小型橋梁檢測機械手臂之設計概念能延伸至雙向 4 車道之橋梁檢測，而不是兩者互不相關，以致無法藉由原設計的擴充以節省研究成本。其二是收納性，收納性是指當檢測作業結束時機械手臂可以收納至箱型車內，以保護各儀器設備。設計上考慮收納性時，工程車之選擇以箱型車為唯一選擇，而不採開放空間式。其三是操作性，操作性是指執行檢測作業時所需考慮的機械手臂結構尺寸、重量和檢測操作程序，還必須同時考慮所檢測橋梁之護欄，對護欄所造成的操作阻礙必須在設計時加以排除。

基於前述 3 個設計考慮，相對而言也是在設計上的限制條件，故設計構想數次變更，從初版設計至 6 版設計共計 6 種方案，最後以 6 版設計為本計畫之定案版本。以下即分述各設計想法及其限制條件。

1. 初版設計(計畫書提案)

機構設計及操作程序：

機械手臂檢測設備之機構設計為 3 臂式。機械手臂第 1 臂為可伸縮式，在工程車停靠橋邊後即向橋外伸出。第 2 臂亦為可伸縮臂，藉由捲揚機之鋼索向橋面下吊放。機械手臂第 3 臂則為導螺桿臂，其上架設攝影機在臂上控制滑行以拍攝檢測區。除 3 節機械手臂外，尚包括 1 捲揚機提供機械手臂往橋下延伸的支撐及 2 個馬達提供機械手臂旋轉之動力。

檢測工作之進行以 1~2 人為考量，採用半自動之方式，操作概念如圖 3.1 所示。

- (1) 首先，當檢測人員將工作車靠橋邊停妥後，將第 1 節臂手動推出，但為作業方便，第 1 節臂並不完全延伸，第 1 節臂未跨出護欄。
- (2) 接著，將第 2 節臂推出。在此同時，手動點放控制捲揚機釋放鋼索，第 2 節臂推出之時亦拉出鋼索。
- (3) 第 2 節臂到達定位後，將裝置有數位攝影機之第 3 節臂自車內取出並鎖住第 2 節臂，此時第 1 節臂未完全推出，而第 2 節臂末端亦仍在橋面上，以方便人員將第 3 節臂上鎖至第 2 節臂。
- (4) 再將第 1 節臂完全推出。
- (5) 當第 1、2 節臂完全推出後，手動控制馬達將第 2 節臂向下旋轉 90 度。
- (6) 再以捲揚機緩慢釋放鋼索，而第 2 節臂隨捲揚機鋼索之長度而伸長，並將裝置有數位攝影機之第 3 節臂同時垂直懸吊下去。待第 3 節臂下放至所需之橋面下深度即停止捲揚機之動作。
- (7) 啟動裝置在第 2 節臂尾端之馬達將第 3 節臂水平旋轉 90 度，使數位攝影機能伸入橋內。
- (8) 最後，檢測人員控制攝影機沿第 3 節臂之螺桿移動，進行影像拍攝，並可同時調整拍攝時之角度、光線及焦距。如果進一步需再調整焦距，則可控制捲揚機拉起鋼索，此時第 2 節臂縮回，藉以調整攝影機與橋底間之距離。

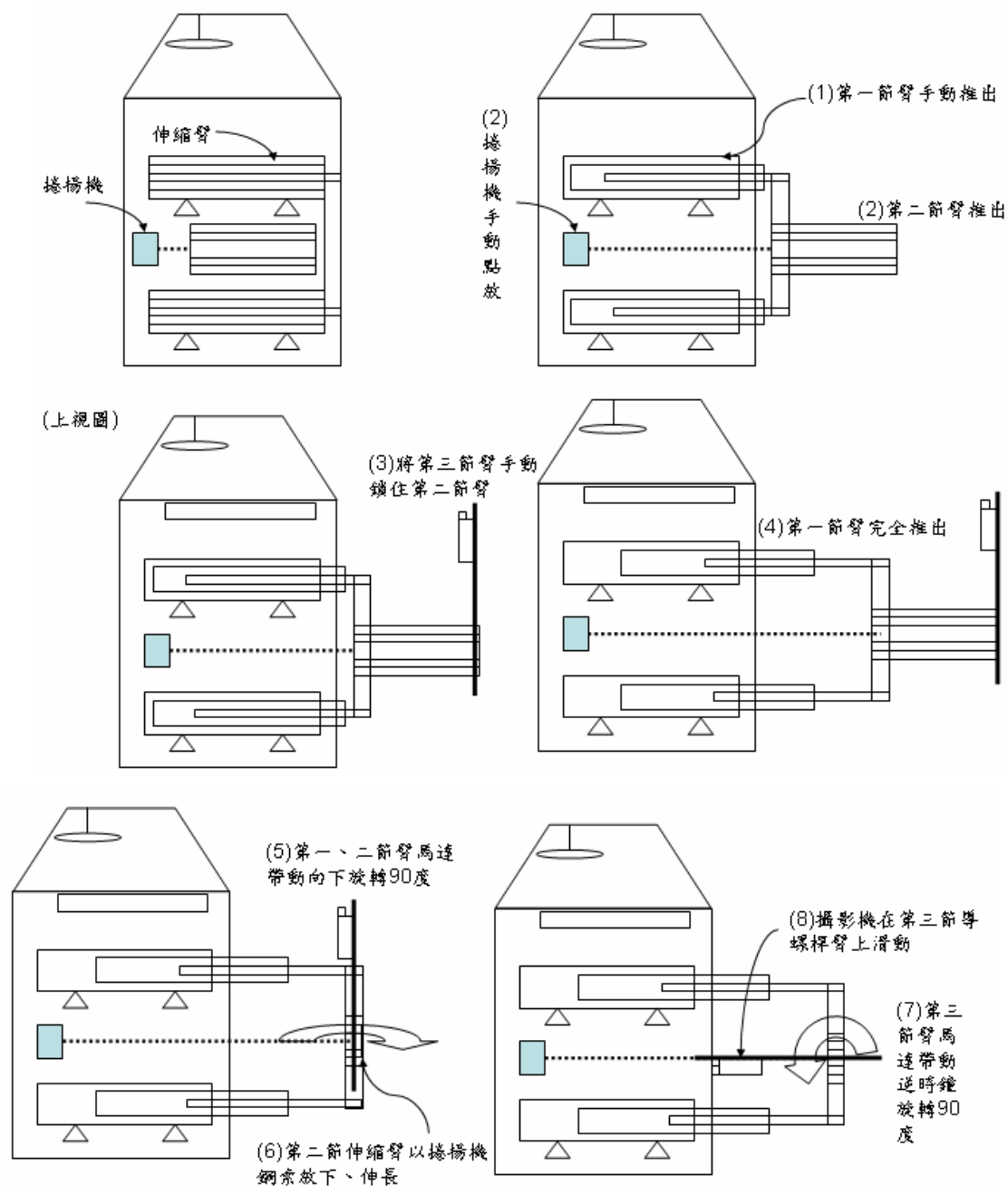


圖 3.1 初版設計(計畫書提案)機械手臂設計概念

限制條件：

(1) 設計上是將機械手臂第 1 節臂先推出部份後再推出第 2 節臂，此外，第 3 節臂是以人工方式鎖住第 2 節臂，操作程序中須人工作業。

(2) 若以 2 個馬達分別提供機械手臂第 2、3 節臂旋轉之動力，所選用之馬達雖然重量約僅 3 Kg，轉速 1800 rpm，但另須配以減速機，以達減速及增加扭力之目的。依

選用規格，旋轉第 2 節臂之減速機減速比 $1/100 \sim 1/900$ ，馬力 1 HP，扭力 60 Kg-m，尺寸 $444 \text{ mm} \times 291 \text{ mm} \times 398 \text{ mm}$ ，重量 72 Kg；旋轉第 3 節臂之減速機減速比 $1/40 \sim 1/60$ ，馬力 1 HP，扭力 60 Kg-m，尺寸 $223 \text{ mm} \times 240 \text{ mm} \times 265 \text{ mm}$ ，重量 20.2 Kg。

2 個減速機之尺寸均過大，機械臂中沒有足夠空間來容納，此外，2 個減速機之合計重量則接近 100 Kg，對人工操控而言該負荷過大。

2.2 版設計

機構設計及操作程序：

2 版設計之機械手臂的機構設計與初版設計類似，亦為 3 臂式。兩者的第 1 個差異是在第 1 節臂採油壓伸縮，並將機械手臂的 3 節臂相互聯結，不將第 1 節臂與第 2 節臂分開，以減少人工作業的程序；第 2 個差異是在第 1、2 節臂伸出到達定位後再將捲揚機沿滑軌推出，此種構想在免除捲揚機馬達速度與第 1 節臂油壓伸縮速度的同步問題，避免第 1 節臂延伸時與捲揚機馬達速度不同步而造成鋼索過緊或過鬆；第 3 個差異則是希望更減少人工作業的程序，因而設計上考慮將機械手臂第 3 節臂以兩個旋轉軸與第 2 節臂聯結，而在置放上則是兩臂上下重疊。此設計較初版構想節省部份人工作業，但另增加一個馬達，即在第 2 臂末端以 2 個馬達提供第 3 節臂 2 個旋轉自由度。

檢測工作之進行以 1~2 人為考量，採用半自動之方式，操作概念如圖 3.2 所示。

(1) 首先，將第 1 節臂以油壓動力完全推出。第 2 節臂因與第一節臂聯結，因而第 1 節臂被推出的同時第 2 節臂亦一併被推出直至定位。

(2) 將捲揚機沿滑軌推出。

(3) 手動控制馬達將第 2 節臂向下旋轉 90 度。之後，再以捲揚機緩慢釋放鋼索，而可伸縮之第 2 節臂則隨捲揚機鋼索之長度而伸長，抵達預定橋面下深度後停止。

(4) 啟動裝置在第 2 節臂尾端之兩個馬達，先將第 3 節臂從垂直橋面方向旋轉 90 度而平行於橋面，再將第 3 節臂向深入橋中心方向旋轉 90 度使數位攝影機能沿第 3 節臂伸入橋內。

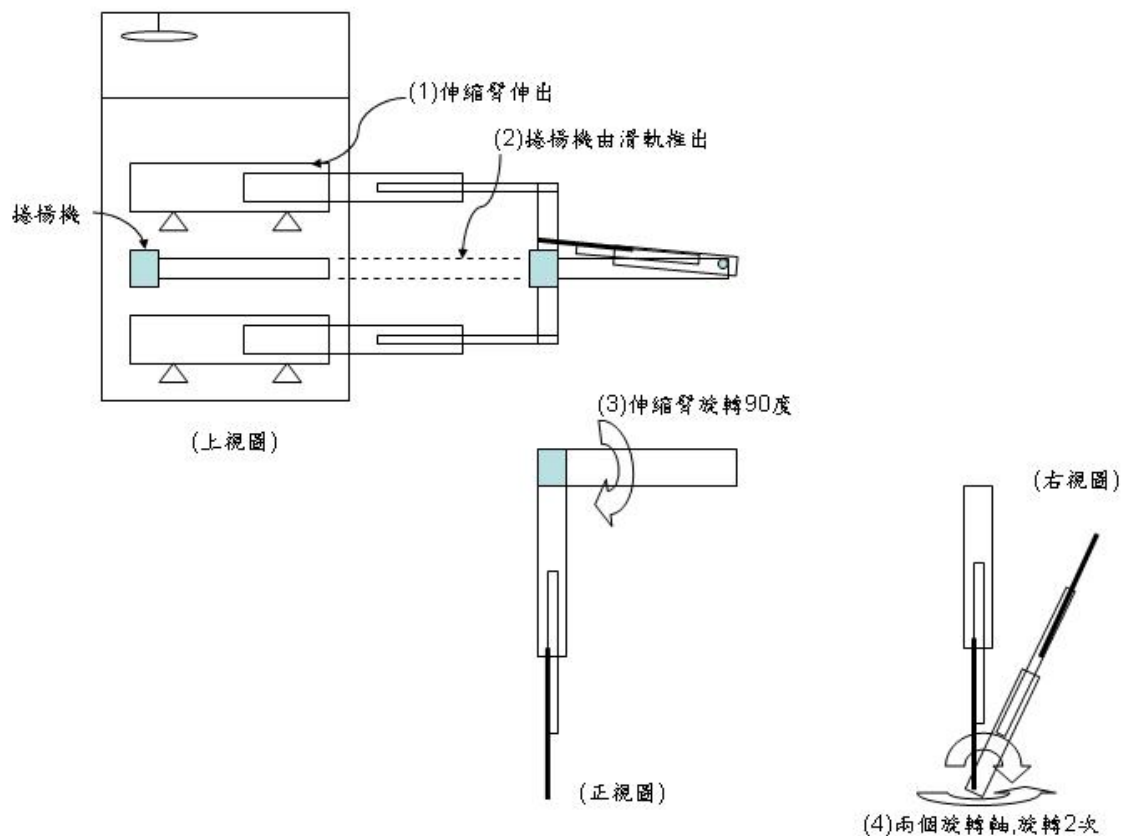


圖 3.2 2 版設計機械手臂設計概念

限制條件：

(1) 此設計需 3 個馬達及 1 個油壓伸縮動力，特別是在第 2 節臂末端需同時納入 2 個馬達及相匹配的減速機，空間不足且重量亦過重。

(2) 初版設計及 2 版設計中需將第 2 節臂以馬達帶動旋轉 90 度，而由於第 2 節臂本身之重量及附加之第 3 節臂重量，兩臂同時旋轉時將對第 1 節臂末端造成極大之力矩。

(3) 設計上未考慮收納性，換言之，這樣的設計是以無後車箱的完全開放式貨車為載具，惟工程單位傾向以有後車箱的客貨兩用車為首選。

3.3 版設計

機構設計及操作程序：

3 版設計之橋梁檢測機械手臂選定以後車箱車門對開之箱型小貨車。小貨車之後車箱有效容積為 1.8 公尺×1.1 公尺×0.99 公尺，將收納 3 臂式之機械手臂。為配合後車箱

之空間，3 臂式機械手臂之設計採門字型，在第 1 節臂之伸縮上採油壓推動，第 2 節臂之旋轉亦以油壓方式，但其向橋面下延伸則採捲揚機鋼索垂吊，第 3 節臂採油壓推動而帶動攝影機前進及後退。

檢測工作之進行以 1~2 人為考量，採用半自動之方式，操作概念如圖 3.3 所示。

(1) 開啟後車箱車門。

(2) 第 1 節臂以油壓推動而伸出，推出之距離必須讓第 3 節臂完全跨出護欄，相關尺寸如圖所示，第 1 節臂需推出後車門達 2.5 公尺。

(3) 以油壓方式推動原本水平的第 2 節臂成垂直方向朝下。

(4) 捲揚機用鋼索將第 2 節臂向橋面下垂直下放。

(5) 油壓缸推動第 3 節臂，帶動攝影機運動。

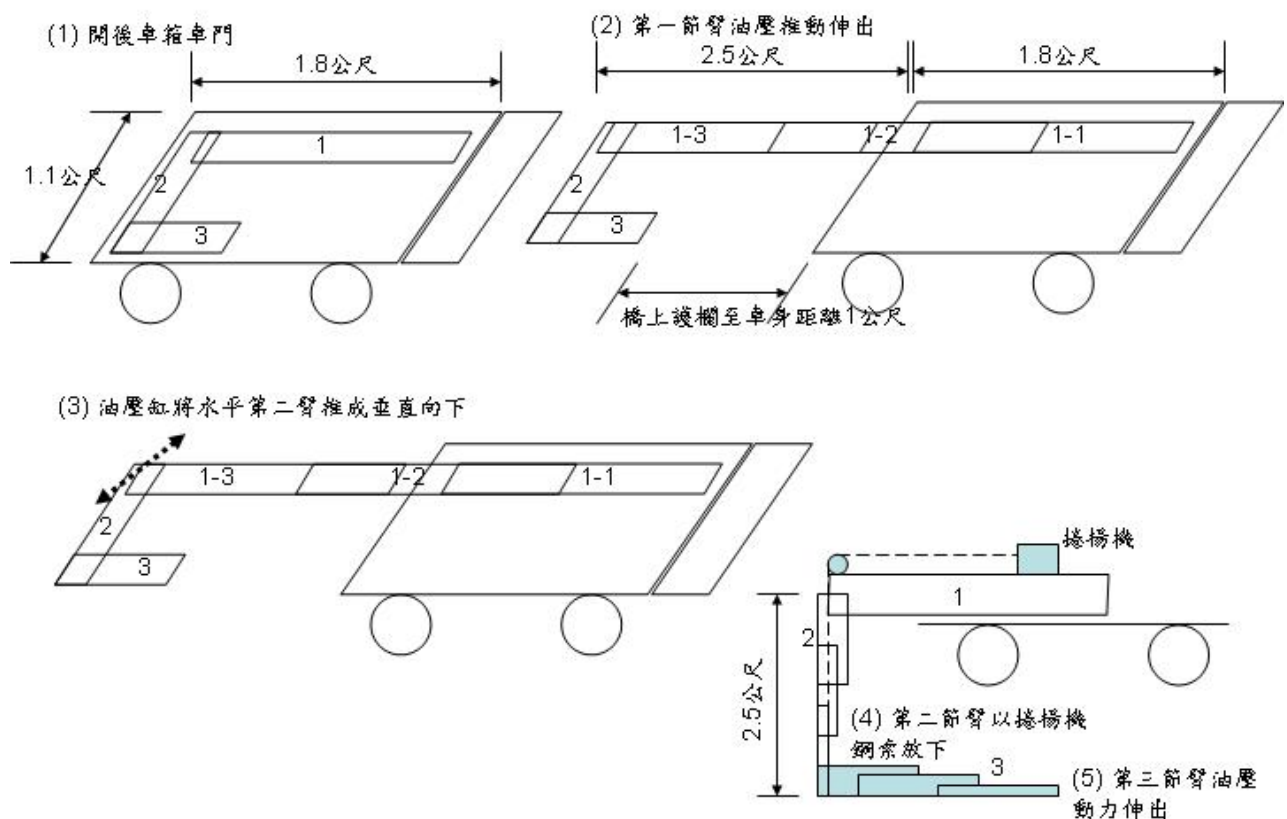


圖 3.3 3 版設計機械手臂設計概念

限制條件：

(1) 此設計之第 2 節臂為配合車廂寬度，長度約僅 1 公尺，而如果以伸縮 3 節設計，其總長度亦只能達 2.5 公尺，不足以向橋面下延伸至足夠的深度來執行檢測作業。

(2) 橋護欄之高度未考慮，第 2 節臂之設計長度須補償護欄高度。

4.4 版設計

機構設計及操作程序：

4 版之設計與 3 版設計大致相同，但著眼於解決向橋面下延伸深度不足之問題。設計上第 2 節臂改採剪刀式伸縮臂，其間以油壓動力帶動第 2 臂之伸縮。此外，第 3 節臂另行思考非油壓帶動的方式，以馬達帶動延伸。

檢測工作之進行以 1~2 人為考量，採用半自動之方式，操作概念如圖 3.4 所示。

(1)~(3) 作業流程與前述 3 版設計相同。

(4) 以油壓動力推動第 2 節臂垂直向下，總長度可達 4 公尺。

(5) 以馬達線性滑動，先將第 3 節臂之前段向後，第 3 節臂因而完全伸展。

(6) 再以馬達線性滑動，帶動第 3 節臂伸入橋中心。

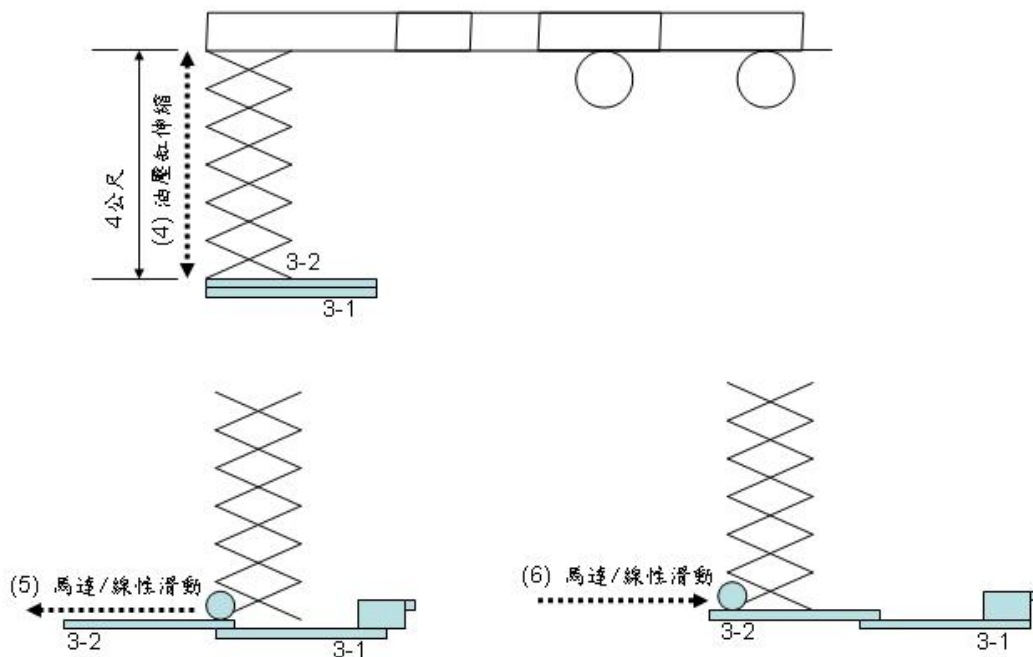


圖 3.4 4 版設計機械手臂設計概念

限制條件：

(1) 剪刀式伸縮臂僅能承受軸向作用力而無法承受力矩，而在第 1 節臂向橋外推出時由於第 2 節臂呈水平置放，因而在此狀態下，第 2 節臂無法承受其本身之重力所產生之力矩。

5.5 版設計

機構設計及操作程序：

5 版設計之橋梁檢測機械手臂仍選定以後車箱車門對開之箱型小貨車。機械手臂置放於後車箱時不採門字型擺置，而以上下重疊方式將第 2 節臂置放於第 1 節臂之上，第 3 節臂於執行檢測作業時才與第 2 節臂接合，作業完畢收納機械手臂時則鬆脫第 2、3 節臂，將第 3 節臂另行收納。此外，考慮橋護欄之高度，因而在車箱內將第 1 節臂設計墊高 0.4 公尺。

機構上另外設計一個頂板於第 1 節臂末端，藉由油壓推力將頂板由水平位置頂起而成垂直位置，而第 2 節臂因與此頂板結合，所以亦一併被頂起而成垂直於橋面之狀態。此頂板之設計上須有一定之高度，才能在被頂起翻轉之際即跨出橋邊護欄。在第 2 節臂垂直向下後即可啟動油壓推力，將第 2 節臂向下延伸。

第 3 節臂之旋轉與延伸均採油壓動力。此外，第 3 節臂之伸縮臂設計在完全伸展之後，在長度上仍不能完全滿足雙向 2 車道下的橋下檢測，因而設計上再加一固定長度之結構臂，攝影機架設其上，並以人工方式先將之接合於第 3 節臂末端。

檢測工作之進行以 1~2 人為考量，採用半自動之方式，操作概念如圖 3.5 所示。

- (1) 開啟後車箱車門，先將第 3 節臂接合於第 2 節臂。
- (2) 先以油壓動力將第 1 節臂推出，待延伸至橋護欄邊即停止。接著再操控第 2 節臂在頂板上滑移，將之推出。
- (3) 以油壓頂起頂板，第 2、3 節臂同時跨出護欄。
- (4) 第 2 節臂以油壓向下延伸。
- (5) 第 3 節臂以油壓推動，旋轉 90 度。
- (6) 第 3 節臂以油壓動力向橋中心延伸。

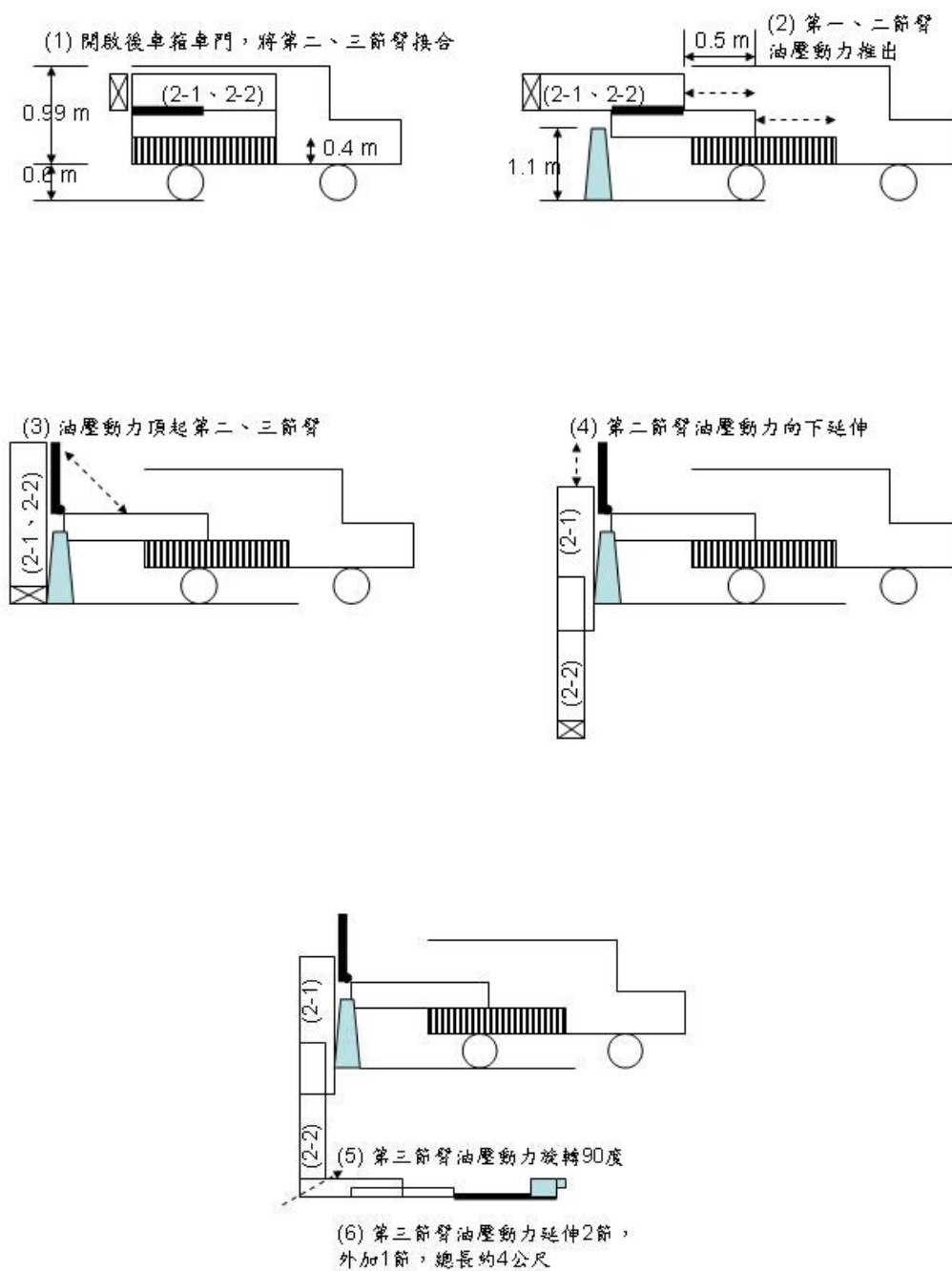


圖 3.5 5 版設計機械手臂設計概念

限制條件：

(1) 此設計之作業空間初步能深入至橋中心 4 公尺處，可滿足雙向 2 車道的橋下檢測。然而，由於第 3 節臂之原最小長度約 2 公尺，因而在橋面下靠近橋邊緣處即無法檢測。

(2) 如果考慮擴充/通用性，即設計上同步進行雙向 4 車道之橋梁檢測的機械手臂設計，其作業空間需進一步加大。

6.6 版設計

機構設計及操作程序：

6 版設計之機構與五版設計上類似，但擴大了檢測作業空間，因而在設計上作部份變動。其一是將第 1 節臂之單一構件改為伸縮 3 節，藉由伸縮臂之伸縮以補償五版設計上未能檢測靠近橋梁邊緣之部份。其二，第 2 節臂亦採用外加一固定長度結構臂之方式，以加大向橋面下垂直延伸之深度。

限制條件：

(1) 由於所選用之箱型車後車箱容積之限制，原第 1 節臂單一構件改為伸縮 3 節之後造成設計高度增加，因而車箱高度不足以再容納原疊於第 1 節臂之上的第 2 節臂。在作業上必須將第 2 節臂先行鬆脫，於檢測時才將兩臂接合，造成人工作業的增加。

3.2 車載橋梁目視檢測數位影像系統

針對橋梁下方有車道可通行車輛之橋梁，本研究開發車載橋梁外業調查用數位影像檢測設備，並設計夾治具將紅外線攝影機置於調查車輛車頂。目前規劃方式為操作人員將調查車輛開至橋梁下方後，不須下車，直接於調查車輛內利用紅外線攝影機之遙控器，進行遠端遙控，並透過車內電腦與影像擷取卡，即時擷取紅外線攝影機所拍攝之影像。車載橋梁外業調查用數位影像檢測雛型系統之架構如下圖 3.6 所示。圖 3.7 為實際架設情形。以下就本研究使用之紅外線攝影機硬體及自行開發之即時數位連續影像擷取軟體的遴選、比較及採用，作一整理與說明。

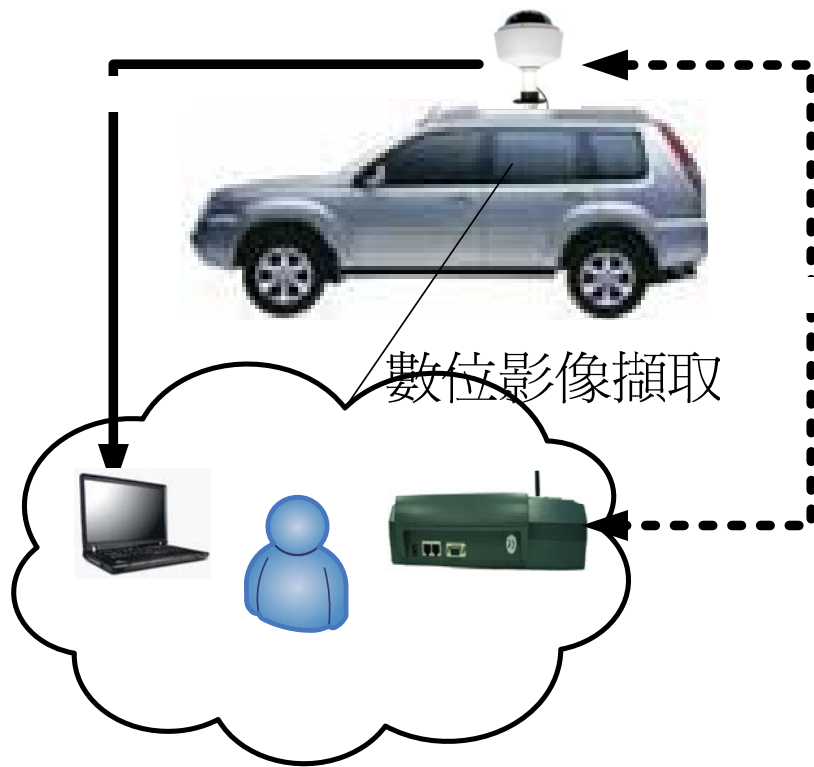


圖 3.6 車載橋梁外業調查用數位影像檢測雛型系統之架構



圖 3.7 車載橋梁外業調查用數位影像檢測雛型系統實際搭載情形

攝影

● 紅外線攝影機

雖然待檢測橋梁可以簡單區分為其下有車道可通行車輛及其下無法通行車輛兩者，但考量檢測設備的整體性及單純化，本研究所採用之紅外線攝影機須能通用於附載機械手臂之橋梁檢測車及外業調查用檢測車 2 種檢測方式。

附載機械手臂之橋梁檢測車所使用之攝影機主要功能考量為重量及環境亮度。由於攝影機裝設在機械手臂前端，為避免機械手臂承受過大的負荷，因此攝影機的重量要輕；此外，橋面下的檢測環境往往光源不足，因此攝影機應考慮以紅外線攝影，或配備輔助光源。外業調查用檢測車所使用之攝影機主要功能考量則為拍攝距離及環境亮度。可在橋下車道檢測的橋梁往往是高架橋，因此攝影機的鏡頭倍數如果不足，即無法達到檢測效果；橋面下的環境亮度也是必須考慮的，如果橋下淨高過大，則輔助光源可能無法達到效果，此時紅外線攝影即成為必備的條件。

如果攝影機之重量條件為首要考量，則 SONY 360 度鏡頭 Chameleon Eye^[28]是可以列為考慮的機種。該機種有 2 種型式，RPU-C2512 及 RPU-C3522，重量分別為 315 及 320 公克，其他詳細規格列於表 3-1。拍攝角度方面，其最大仰角可達 66 度，如圖 3.8 所示。Chameleon Eye 360 度鏡頭的特色除重量輕之外，其透過鏡頭即可作同步 360 度全景攝影，並可直接透過電腦螢幕或電視，顯示攝影畫面，基本上是一個不錯的 360 度全景式監控型攝影鏡頭，藉由其鏡頭和軟體處理，如圖 3.9 所示，可以將環場的景像呈現在一張平面照片上。

表3-1 SONY 360度鏡頭RPU-C2512/RPU-C3522規格

Items	RPU-C2512	RPU-C3522
View angle	+38 to -17 degrees	+66 to 0 degrees
White Balance	Automatic electronic control system	Automatic electronic control system
Total number of pixels	2M pixels	2M pixels
Frame rate	7.5Fps	7.5Fps
Video output; VBS mode	NTSC/PAL	NTSC/PAL
Minimum Illumination	20 lx	20 lx
Vision Pattern	7 modes	7 modes
Power supply voltage	DC 6 to 8V	DC 6 to 8V
Power Consumption	3.15W (at DC 7V)	3.15W (at DC 7V)
Outside Dimensions	W75 x H80 x D75mm	W75 x H80 x D75mm
Weight	315 ± 20g	320 ± 20g
Operating temperature	-5 to 45°C	-5 to 45°C

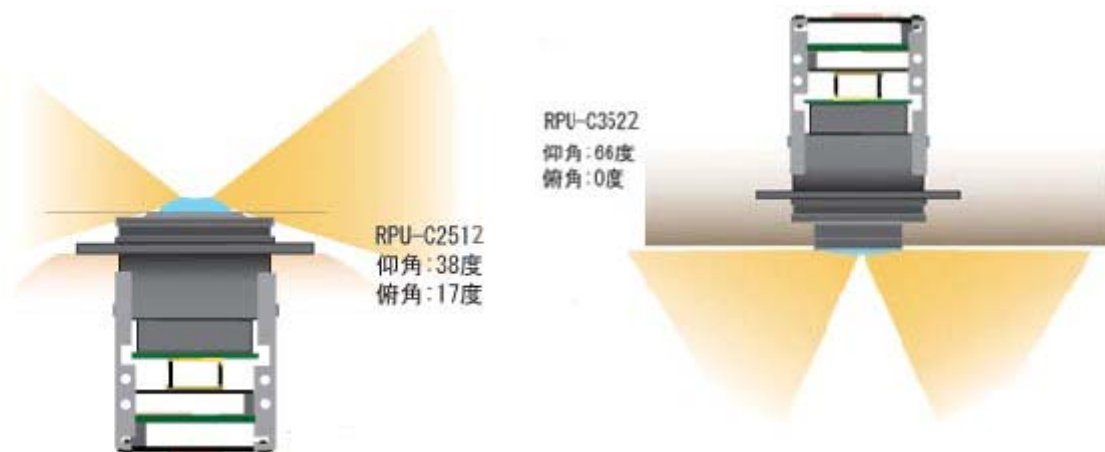


圖 3.8 SONY 360 度鏡頭俯仰角度

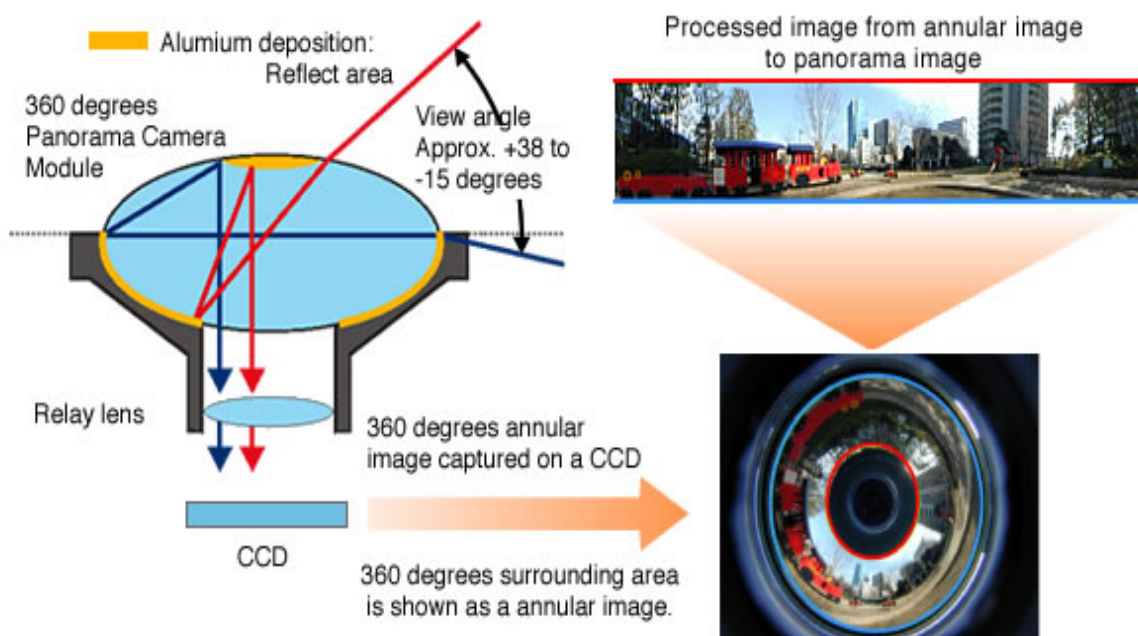


圖 3.9 SONY 360 度鏡頭環場攝影機構

SONY 360 度鏡頭 Chameleon Eye 的整體條件除重量輕外，其餘都很難滿足本計畫的要求。從橋梁檢測的功能需求來看，由於 Chameleon Eye 是自動設定並執行 360 度環場拍攝，因此它無法隨使用者的需求做定點或改變鏡頭倍率來進一步檢測橋梁；此外，其最大仰角僅 66 度，無法拍攝鏡頭上方的景物，亦未配備紅外線光源，在光源不足的橋面下檢測時將影響照片品質。以 Chameleon Eye 所實際拍攝的影像如圖 3.10 所示，以圖中的畫面品質來看，應無法達到檢測橋梁裂縫所需的品質。



圖 3.10 Chameleon Eye 實際拍攝實驗室景物的影像

由於 SONY Chameleon Eye 無法滿足橋梁檢測之需求，本計畫另選室外型 22 倍星光級紅外線夜視 Speed Dome 攝影機如圖 3.11，圖中各組件分別為(1)透明球罩，(2)攝影機，(3)攝影機固定架，(4)迴轉台，(5)機板，(6)機構固定架，(7)防護罩，(8)上蓋，(9)位元址指撥開關。

Speed Dome 攝影機為高解析度/低照度之彩色攝影機，具備 22 倍光學及 10 倍數位伸縮鏡頭，其最低照度為 0.01Lux，靈敏度 0.002 Lux，機械式全彩/IR 濾片切換，色彩不會失真，夜間亦不會失焦。該攝影機亦具備雜訊消除功能，低光源下能有效消除雜訊，提高影像畫質，還提供手動控制變倍及比例變倍功能，而聚焦、光圈、白平衡與背光補償等均提供手動/自動控制。攝影機可以水平 360 度連續旋轉，垂直 90 度旋轉（0.9 度微調校正），180 度自動翻轉，而紅外線可達 50 公尺之距離。表 3-2~3-7 為此紅外線攝影機之規格說明。

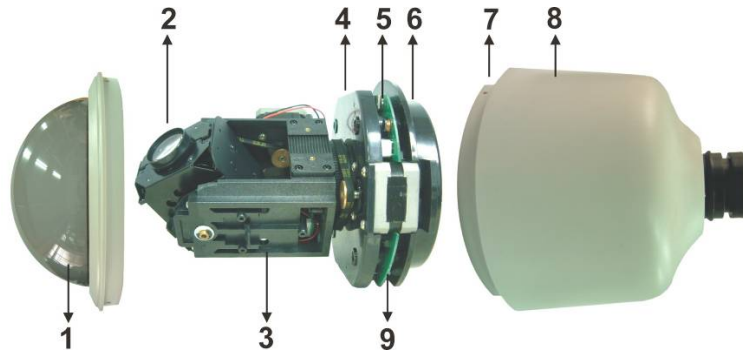


圖 3.11 室外型 22 倍星光級紅外線夜視 Speed Dome 攝影機

表3-2 操作規格

(預設點)水平/垂直迴轉速度	5 度/S～240 度/S
預設點停留時間	2S～60S
水平旋轉速度	0.1 度～240 度/ S
垂直旋轉速度	0.1 度～240 度/ S
水平掃描範圍	360 度連續運轉
手動垂直掃描範圍	0 度～90 度（0.9 度微調校正）
水平/垂直旋轉精準度	0.1±0.03 度
預設點位置	64 個預置點
預設點捕獲時間	<1.5S
預設點速度	水平：240 度/S 垂直：120 度/S
完全變焦到位	<2S

表3-3 倍數鏡頭規格

鏡頭	22 倍光學伸縮鏡頭，F1.6-3.8, f=3.9-85.8mm
伸縮鏡頭	22 倍光學，10 倍數位
ICR (IR-Cut Removable)	自動（機械式 IR Cut 全彩/日夜濾片切換）
焦距	自動/手動
電子快門	〔 NTSC 〕：1/60-1/120,000 秒 〔 PAL 〕：1/50-1/120,000 秒以上

表3-4 彩色攝影機規格

攝影元件	1/4-Inch Image sensor
有效圖素	811×508〔NTSC〕/795×596〔PAL〕
掃描系統	〔NTSC〕：525lines,60fields/秒 〔PAL〕：625 lines,50fields/秒
水平解析度	480 條/ 520 條(黑白模式)
最低照度	0.01 Lux F1.2,0 Lux (IR 開啟) 星光級模式：0.002 Llux F1.2
信號雜訊比	52dB (MIN) / 60dB (TYP) (AGC OFF, r=1, APC OFF, Y-OUT)
DNR 功能	超級雜訊消除功能，雜訊比：4.5dB
同步系統	內同步 / 外同步(垂直同步)
背光補償	超級白平衡，48 區自動背光補償
白平衡	ATW/AWC/FIX (3200-9600 度 K) (無色滾動)
視頻輸出	1.0Vp-p 阻抗 75Ω
AGC/ALC 功能	自動(最大 24dB)/自動或固定
通訊速率	1200、2400、4800、9600bps 可選
十字線功能	由 OSD 功能選項中設定
凍結功能	由 OSD 功能選項中設定

表3-5 紅外線LED規格

紅外線 LED	28 個 850nm 紅外線 LED，保固 6000 小時
發射角度/光束角度	45 度 / 30 度
紅外線距離	50 公尺

表3-6 電器規格

電源供應器	球體供電電壓：DC 12V / 3A (±20%) (含溫度控制電路)
消耗功率	≤30W
溫度控制電路功率	6W
通訊控制介面	標準 RS-485 通訊

表3-7 環境規格

工作溫度	-30°C~+50°C
防水係數	IP 66 (室外型)
外殼結構材質(室外型)	ASA

圖 3.12 為此紅外線攝影機之遙控器，各部之功能分別說明如下：

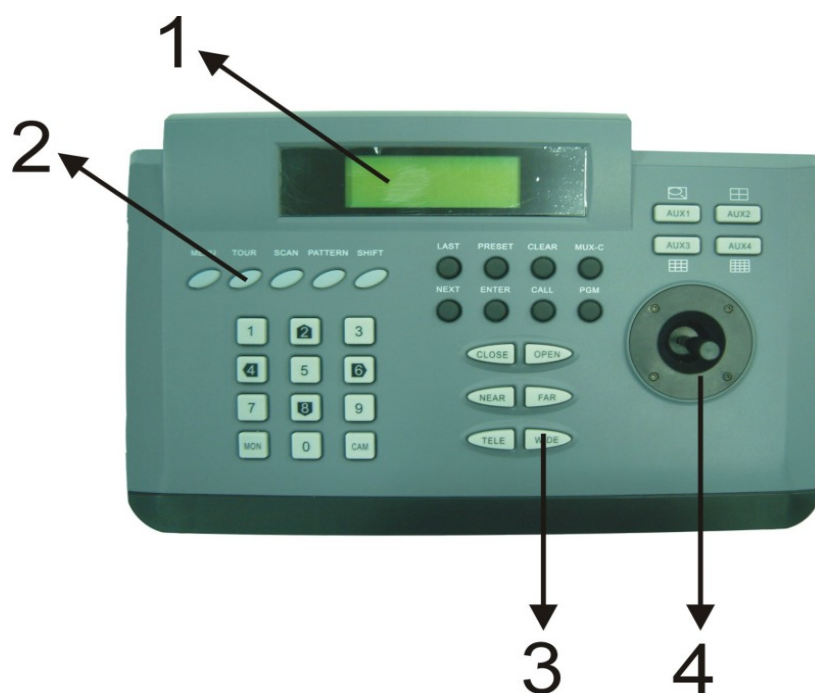


圖 3.12 攝影機遙控器

① 功能顯示窗（Function Display）：顯示操作狀態及參數

② 按鍵功能

MENU：進入高速球選單

TOUR：啟動/停止預位置巡視

SCAN：啟動/停止兩點間掃描

PRESET：預置清除位置鍵。此鍵按住 2 秒清除預置位置，預置位置號碼範圍（1-32）
（34-66）

CLEAR：清除輸入緩衝區的數字

CALL：直接調用預設點

PGM：功能設定鍵

輸入 50，按 PGM 鍵，選擇 P 鍵協議

輸入 44，按 PGM 鍵，選擇 D 鍵協議

輸入 12，按 PGM 鍵，選擇通訊速率為 1200 bps

輸入 24，按 PGM 鍵，選擇通訊速率為 2400 bps

輸入 48，按 PGM 鍵，選擇通訊速率為 4800 bps

輸入 96，按 PGM 鍵，選擇通訊速率為 9600 bps

CAM：快速球位址(1-64)選擇鍵

③ 鏡頭控制區

用於控制鏡頭的聚焦、變倍以及攝影機功能表的設置

CLOSE / OPEN:鏡頭光圈控制[Iris Control]

NEAR / FAR:鏡頭焦距控制[Focus Control]

TELE / WIDE:鏡頭倍數控制[Zoom Control]

④ 搖桿：用於遙控迴轉台的垂直水平運動

以攝影機執行橋梁檢測時環境亮度是影響拍攝影像品質的重要因素，由於環境亮度難以掌控，攝影機在拍攝景物時所需之最低照度即成為選用攝影機時的重要考慮因素。最低照度是指該攝影機所處環境見度只需在其所標示的 Lux 數值以上，即能獲取清晰的影像畫面，換言之，Lux 數值愈低則所需的照明亮度也愈低。若由產品規格來比較 Speed Dome 攝影機與 SONY 360 度鏡頭 Chameleon Eye，Speed Dome 攝影機在其鏡頭光圈大小 F 值為 1.2 時之最低照度為 0.01Lux，而 SONY 360 度鏡頭 Chameleon Eye 之最低照度則為 20Lux，因此為求良好的橋梁目視檢測品質，本計畫選用 Speed Dome 攝影機。

以 Speed Dome 攝影機分別在充足光源、微弱光源及沒有光源的環境下測試其攝影品質，如圖 3.13~3.15。在相同環境亮度下調整攝影機的最低照度所呈現出的攝影品質分列於各圖的左右兩側，右側圖都是將最低照度調至最小所得到的畫面。由圖 3.15

所顯示之畫面可以看出，既使在沒有光源的環境下，將最低照度調至最小後物體影像仍可以顯現，因此作為橋梁檢測儀器，Speed Dome 攝影機應能夠完全勝任。



圖 3.13 充足光源環境下 Speed Dome 攝影機攝影品質(左右圖分別在高低照度下拍攝)

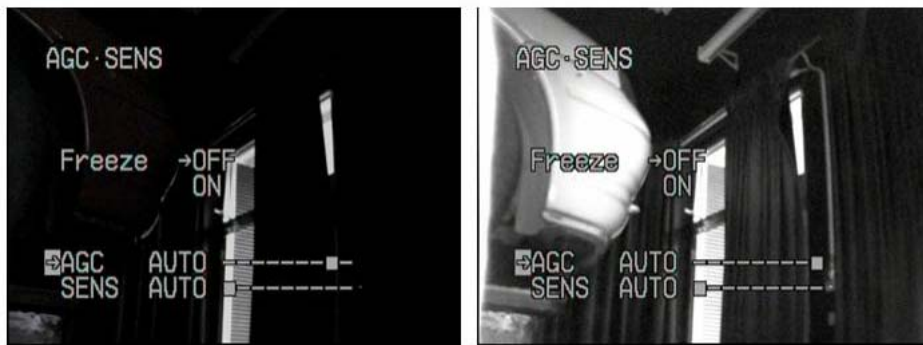


圖 3.14 微弱光源環境下 Speed Dome 攝影機攝影品質(左右圖分別在高低照度下拍攝)

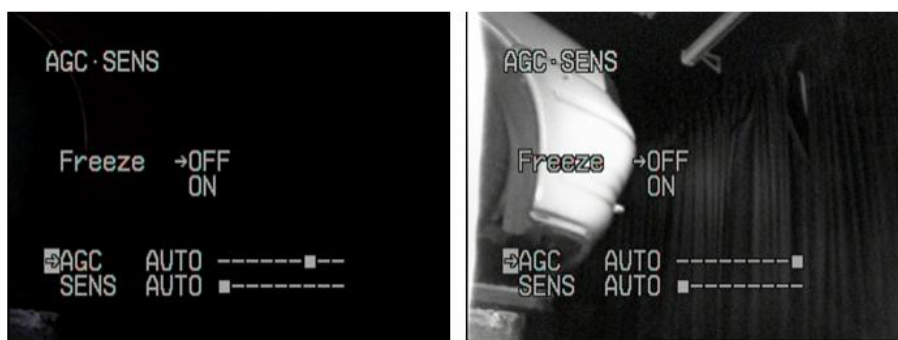


圖 3.15 沒有光源環境下 Speed Dome 攝影機攝影品質(左右圖分別在高低照度下拍攝)

● 即時數位連續影像擷取軟體

即時數位連續影像擷取軟體是撰寫程式以執行即時擷取影像之功能，程式經編譯後即成執行檔直接執行。而在程式語言方面有多種選擇，包括 VB、VC++ 及 LabView 等。若以計畫目標來比較各程式，則各程式語言都能達到擷取影像之功能，不過，由於 LabVIEW 軟體具有相當強大的函式庫供程式開發者使用，可節省程式撰寫和除錯所需時間；再者，如果考慮未來在影像辨識方面的功能擴充，其方便性及功能性仍較 VB 或 VC++ 等程式為優，因此在程式開發上仍選擇 LabVIEW 為工具。以 LabVIEW 為開發工具，在程式撰寫完成並編譯後，即便不在 LabVIEW 軟體的環境下亦可直接執行相關功能。

即時數位連續影像擷取軟體係利用美商國家儀器（NI）的圖型化虛擬儀控軟體 LabVIEW 搭配影像擷取卡硬體，進行軟體功能開發，圖 3.16 為即時數位連續影像擷取軟體開啟後主畫面。

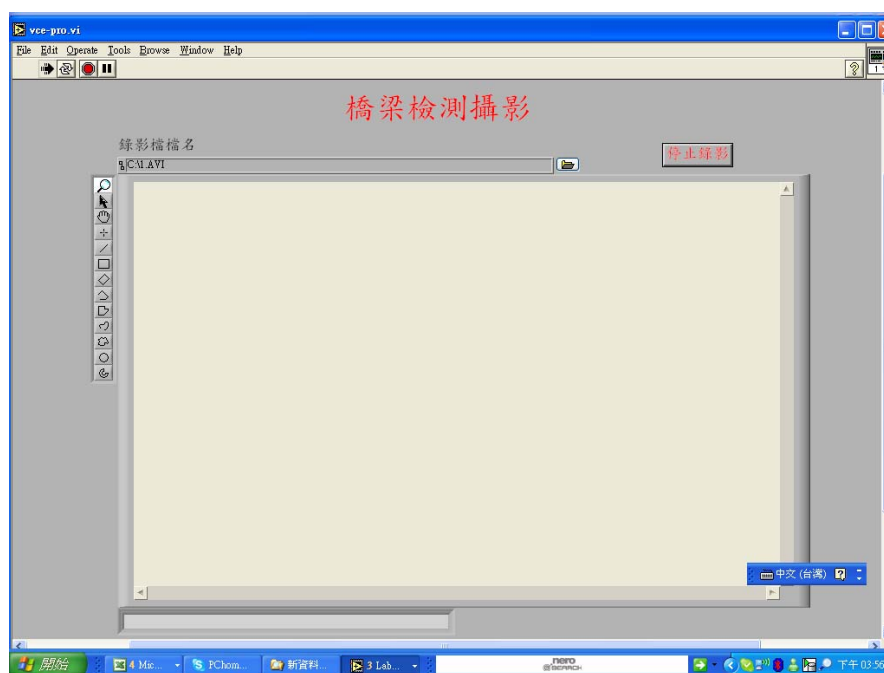


圖 3.16 即時數位連續影像擷取軟體啟後主畫面

影像擷取軟體啟動後即能就 CCD 所拍攝之連續影像進行單張之擷取工作，圖 3.17 及圖 3.18 是個別單張之擷取。



圖 3.17 連續影像之個別單張畫面擷取(1)



圖 3.18 連續影像之個別單張畫面擷取(2)

第四章 橋梁檢測機械手臂結構分析

4.1 靜態分析

橋梁檢測機械手臂之設計採 3 臂式，各臂結構之設計及尺寸如圖 4.1~4.3 所示。其中，第 1 臂選用鋼料以確定強度可以承受其餘各臂之重量，其以油壓向外延伸部份之重量約 95 公斤，而第 2 臂與第 3 臂則選用鋁合金以減輕重量，重量分別為 47 公斤及 8 公斤，機械手臂所承載之攝影機則僅重約 3.5 公斤。

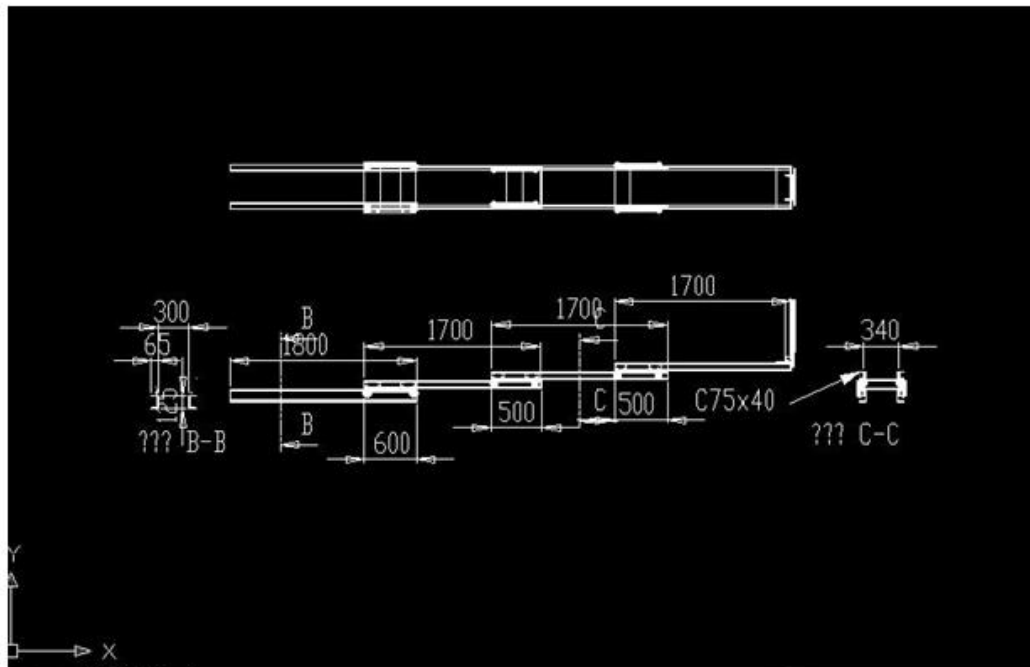


圖 4.1 機械手臂第 1 節臂尺寸圖

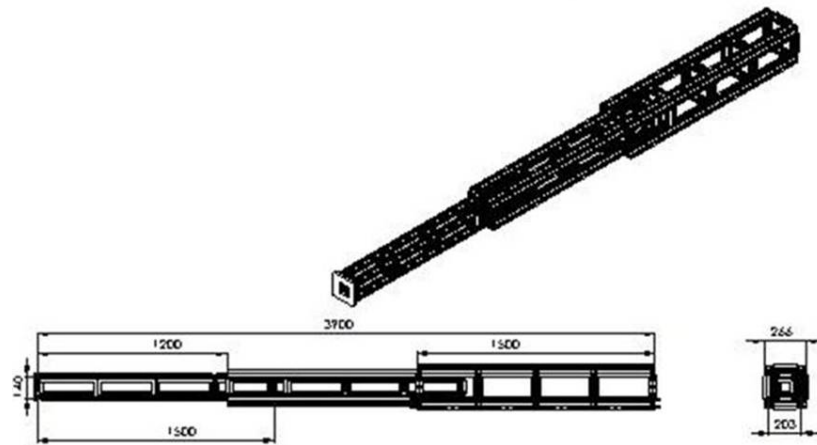


圖 4.2 機械手臂第 2 節臂尺寸圖

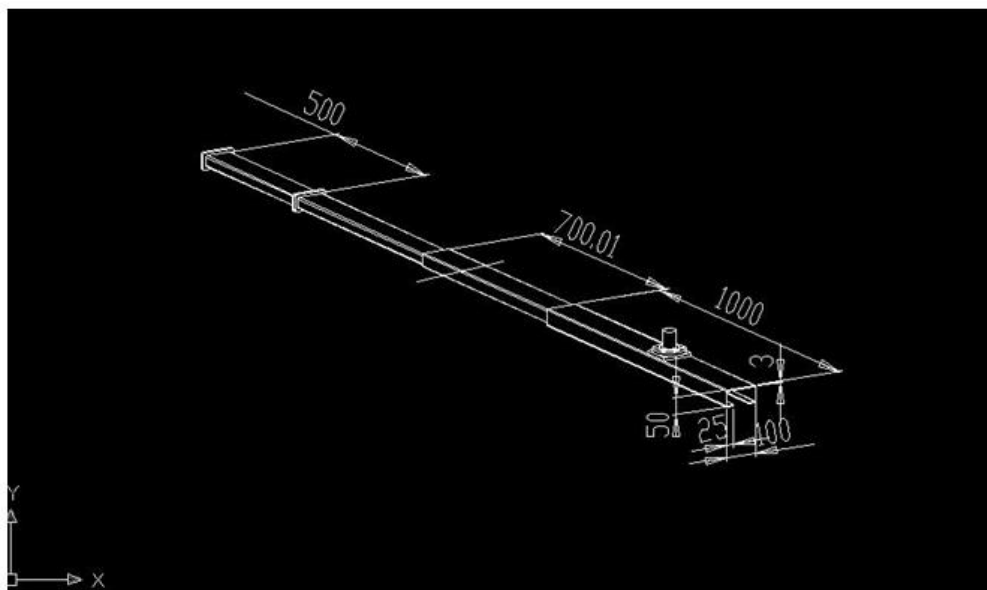


圖 4.3 機械手臂第 3 節臂尺寸圖

橋梁檢測機械手臂之組合如圖 4.4 所示，設計上採人工與油壓驅動混合之方式來執行檢測作業。

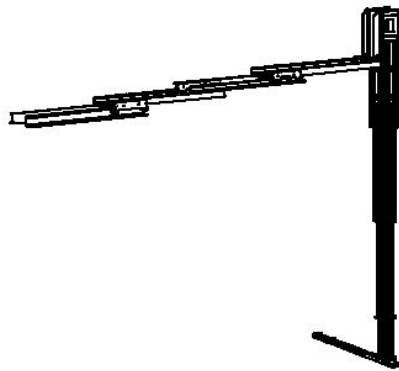


圖 4.4 橋梁檢測機械手臂組裝圖

3 臂式機械手臂中，以第 3 臂之設計強度較弱，因其除自身重量外，所承載之攝影機重僅 3.5 公斤，而以有限元素法分析計算其最大變形量、應變及應力，結果圖示於圖 4.5~4.7。初步分析結果，在不考慮第 3 臂之伸縮各節接合重疊處之間隙影響時，末端最大變形量尚不及 3mm。

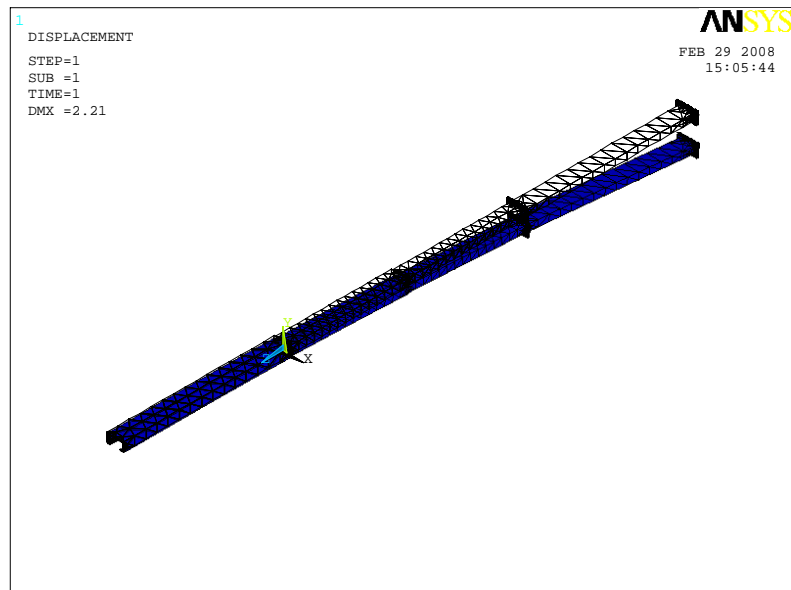


圖 4.5 機械手臂第 3 節臂承載攝影機受力變形

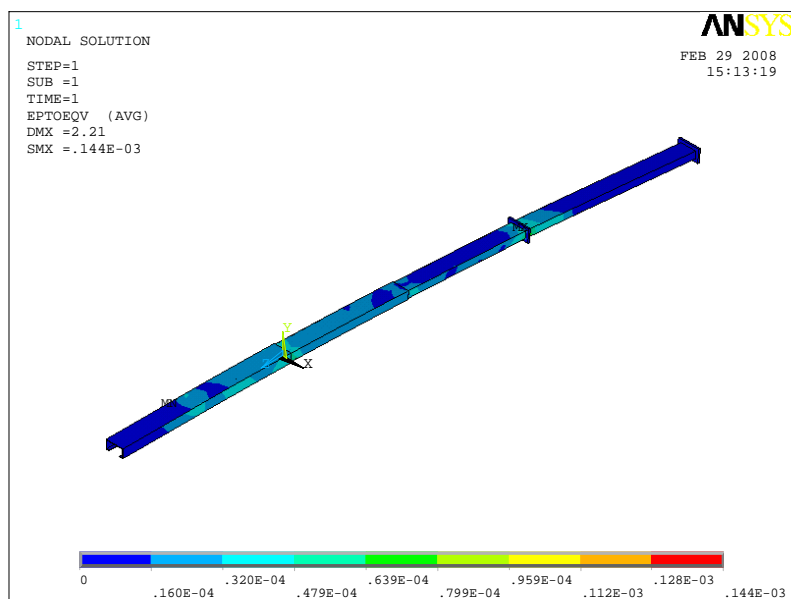


圖 4.6 機械手臂第 3 節臂承載攝影機受力應變圖

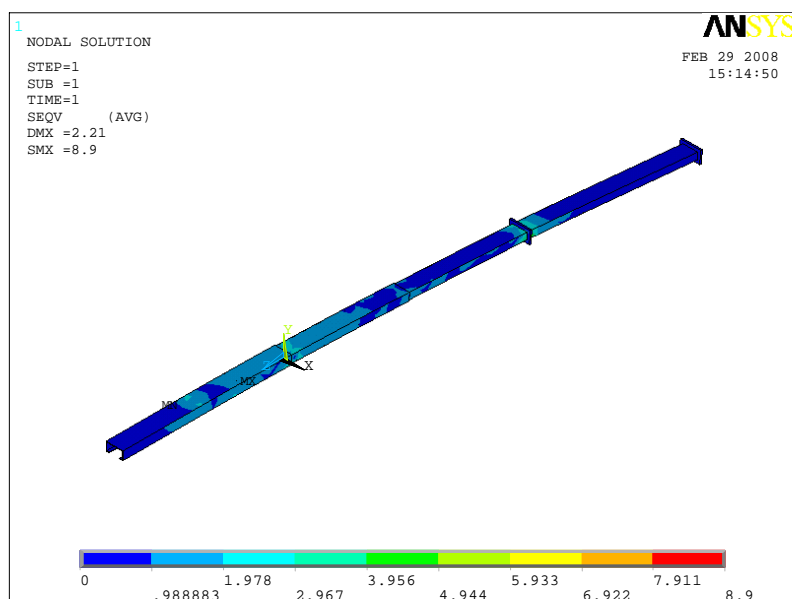


圖 4.7 機械手臂第 3 節臂承載攝影機受力應力圖

再以 3 節機械手臂組裝後進行模擬機械手臂在操作過程中 3 種不同位置的受力靜態分析，圖 4.8 是模擬當第 2 節臂向下降至最深處而第 3 節臂向橋梁長度方向延伸時之情況，圖 4.9 則是模擬當第 2 節臂向下降至最深處而第 3 節臂已向橋梁寬度方向延伸但尚未完全伸長至最長距離時之情況，圖 4.10 是當機械手臂在第 3 個模擬位置時的情況，該情況是模擬當第 2 節臂向下降至最深處而第 3 節臂向橋梁寬度方向完全延伸至最長距離。3 種情況下的邊界拘束條件和受力條件均圖示於各圖中，拘束條件都是定義第 1 節臂的最下層伸縮臂固定，而受力條件則都是在第 3 節臂的末端承受 3.5 公斤的向下施力。

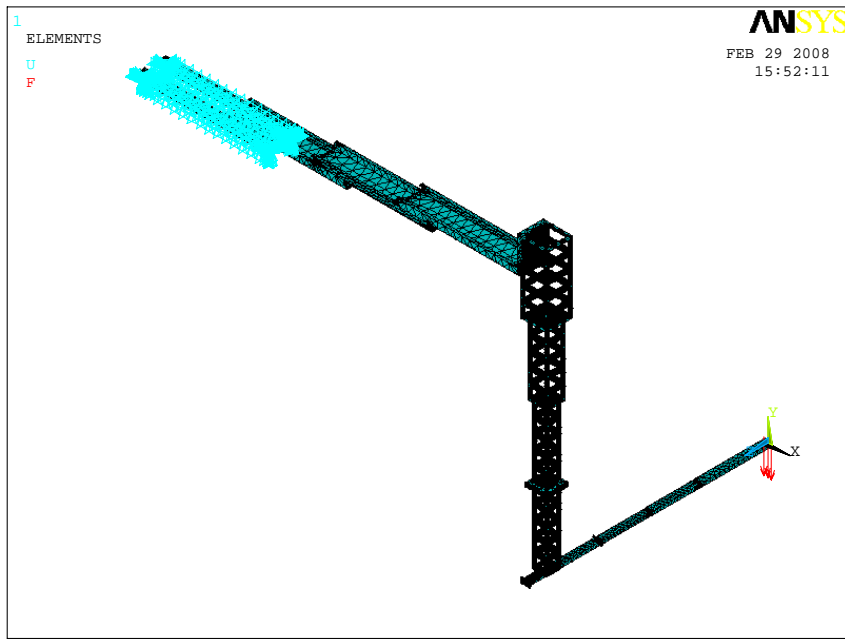


圖 4.8 機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置之邊界拘束條件和受力條件

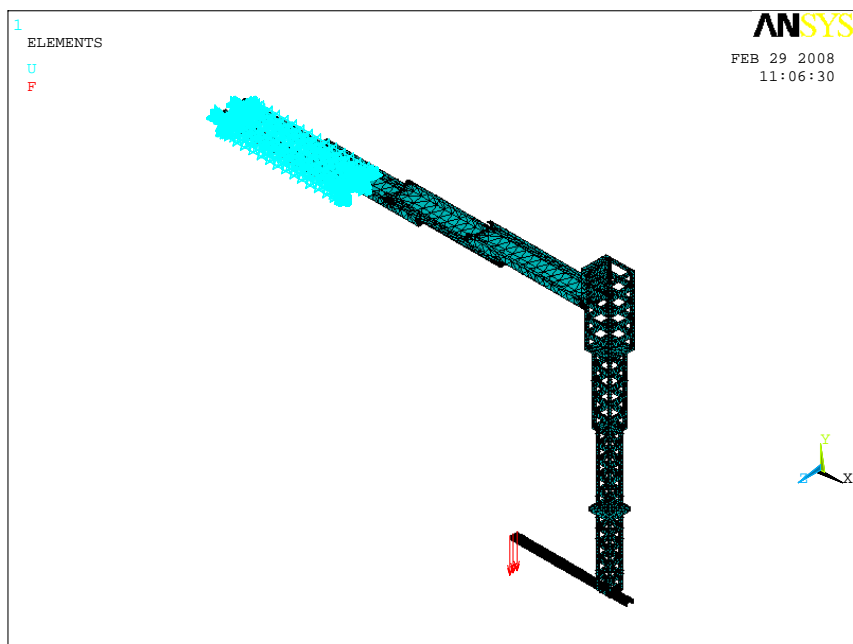


圖 4.9 機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置之邊界拘束條件和受力條件

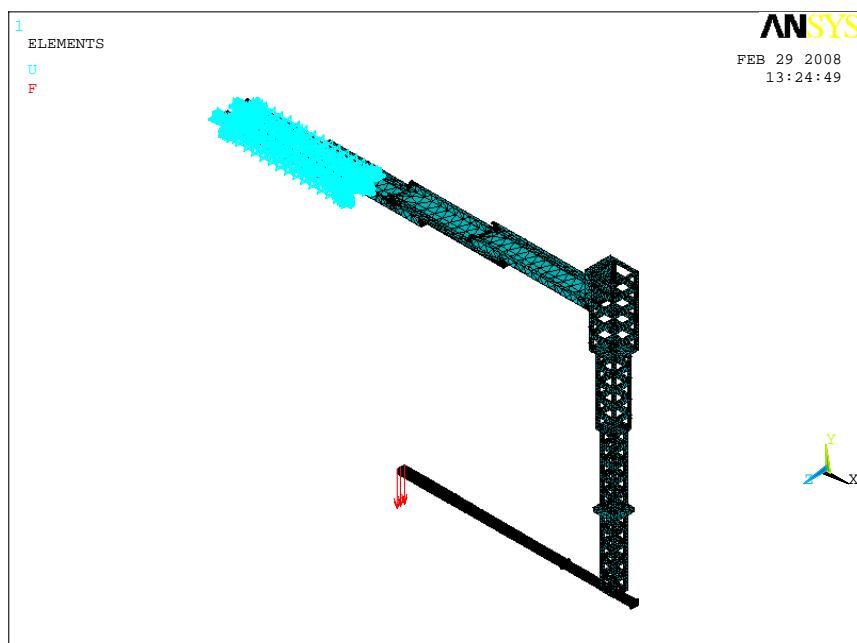


圖 4.10 機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置之邊界拘束條件和受力條件

機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置受力時的靜態變形及應變、應力分佈分別圖示於圖 4.11 至圖 4.13。最大變形量、應變及應力之模擬計算結果分別為 3.25 mm、 $0.342\text{E-}3$ 及 23.587MPa，而鋁合金 6061-T6 的降伏強度為 275MPa，因此在第 1 個模擬位置時所承受應力仍在彈性範圍內。

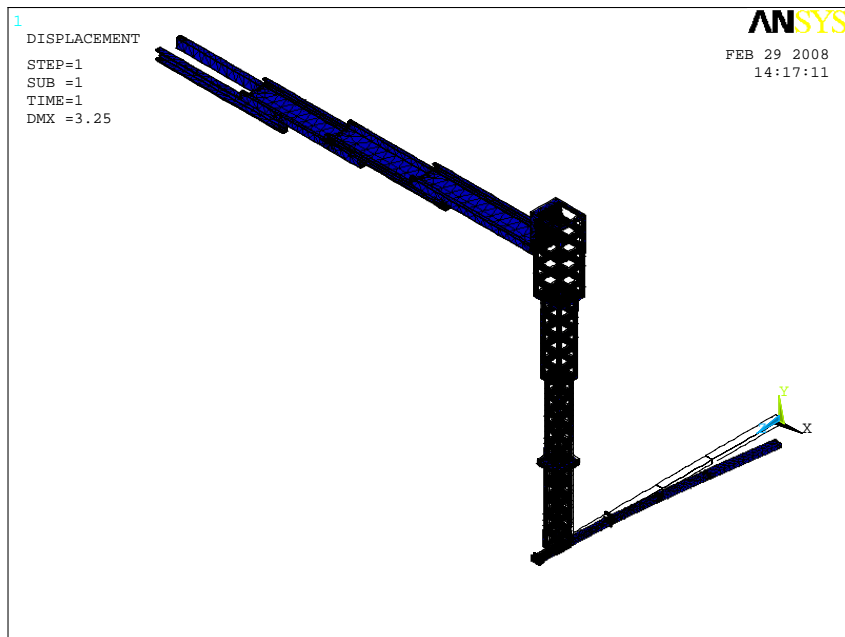


圖 4.11 機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置受力時之靜態變形

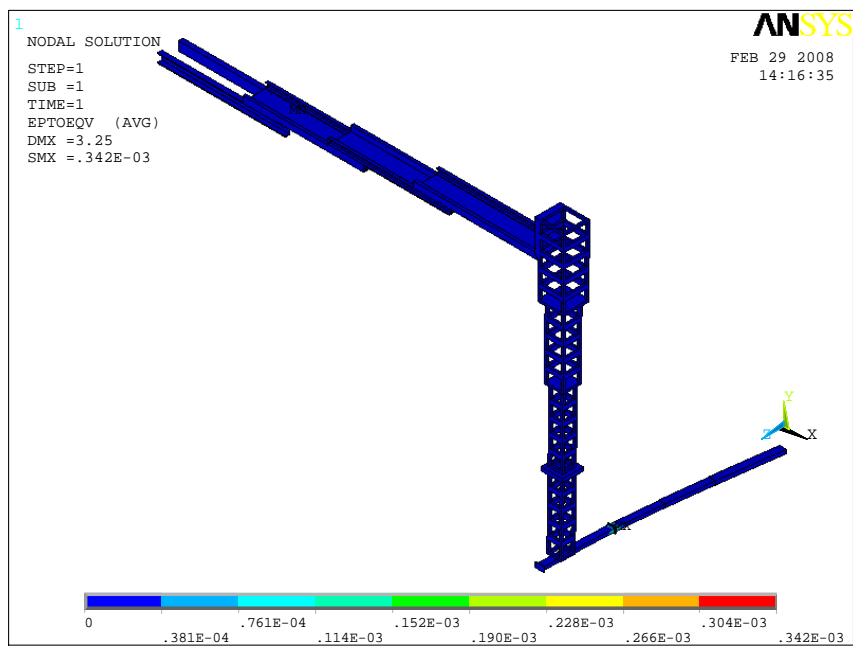


圖 4.12 機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置受力時之靜態應變分佈

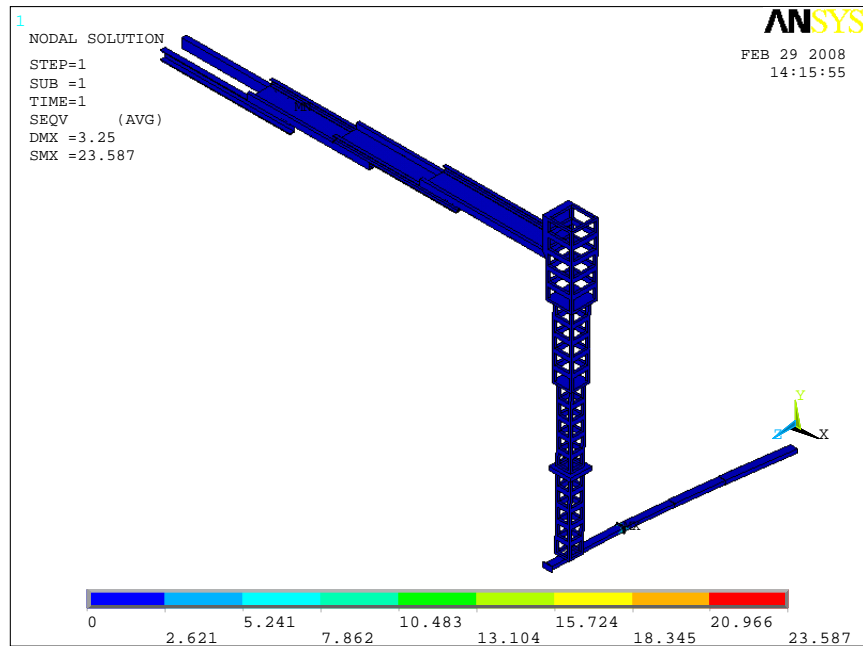


圖 4.13 機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置受力時之靜態應力分佈

機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置受力時的靜態變形及應變、應力分佈分別圖示於圖 4.14 至圖 4.16。最大變形量、應變及應力之模擬計算結果分別為 3.716 mm、 $0.432\text{E-}3$ 及 28.485MPa，計算結果顯示在第 2 個模擬位置時所承受應力也仍在彈性範圍內。

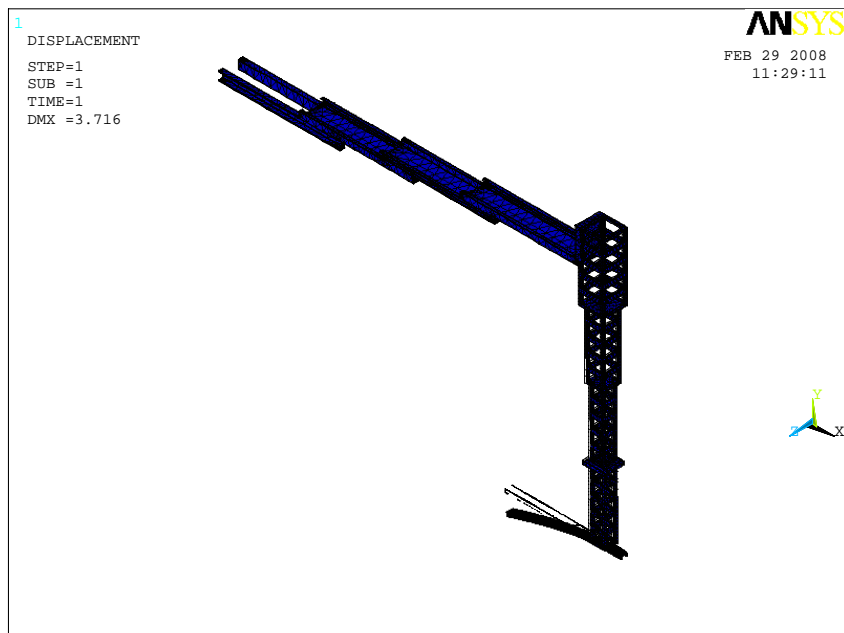


圖 4.14 機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置受力時之靜態變形

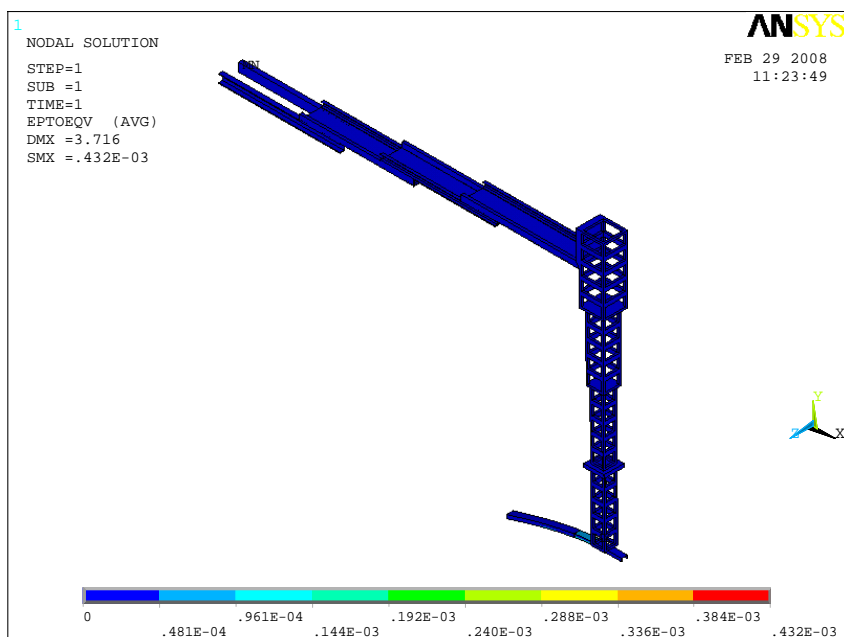


圖 4.15 機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置受力時之靜態應變分佈

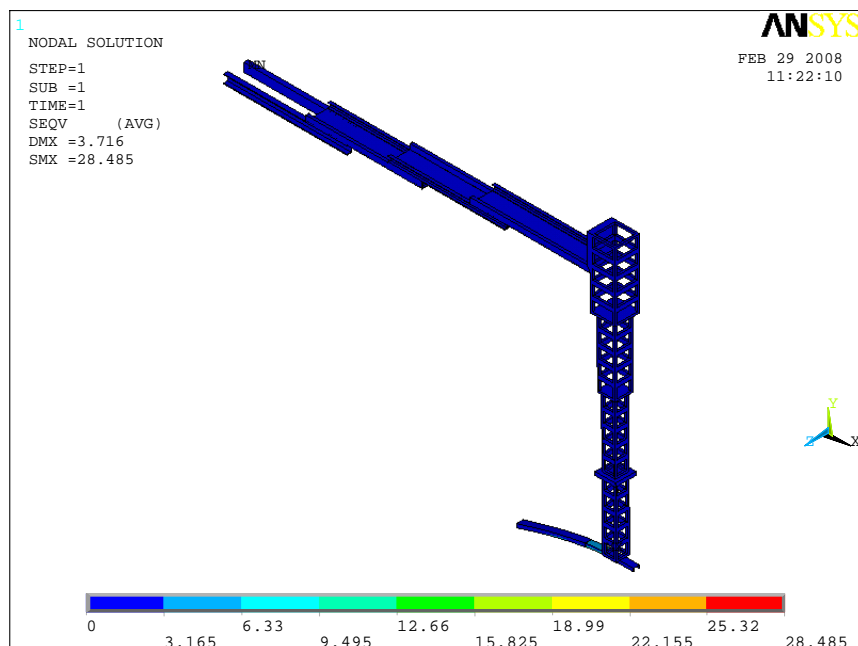


圖 4.16 機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置受力時之靜態應力分佈

最後，機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置受力時的靜態變形及應變、應力分佈分別圖示於圖 4.17 至圖 4.19。第 3 個模擬位置是當 3 節機械手臂的所有伸縮臂均完全伸展並伸入橋面下的狀況，其最大變形量、應變及應力之模擬計算結果分別為 40.601 mm、0.493E-3 及 33.971MPa，計算結果顯示在第 3 個模擬位置時的承受應力也在彈性範圍內，不過，第 3 個模擬位置在最大變形量上明顯與第 2 個模擬位置時的最大變形量有較大差異，顯示當第 3 節臂是否完全伸出對其末端的靜態向下位移量相當有影響。

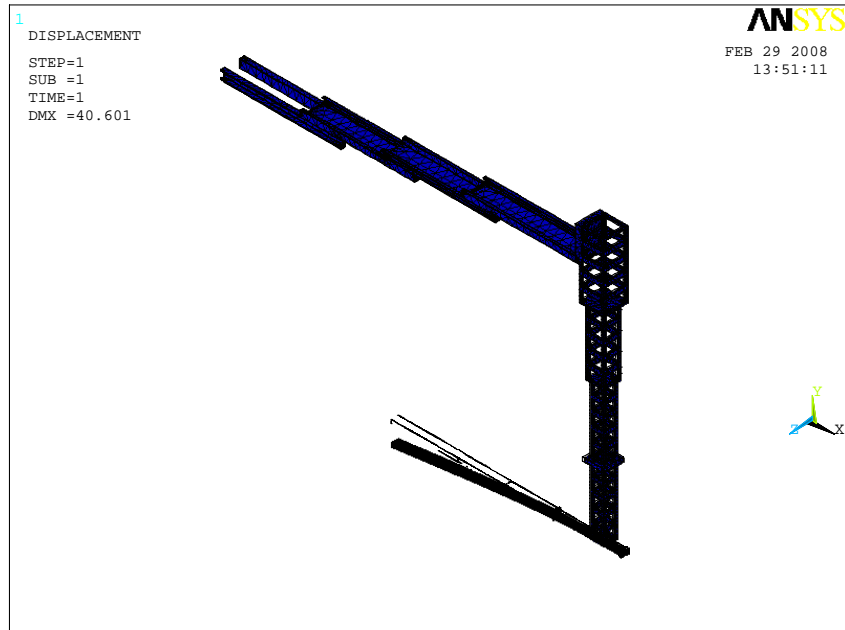


圖 4.17 機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置受力時之靜態變形

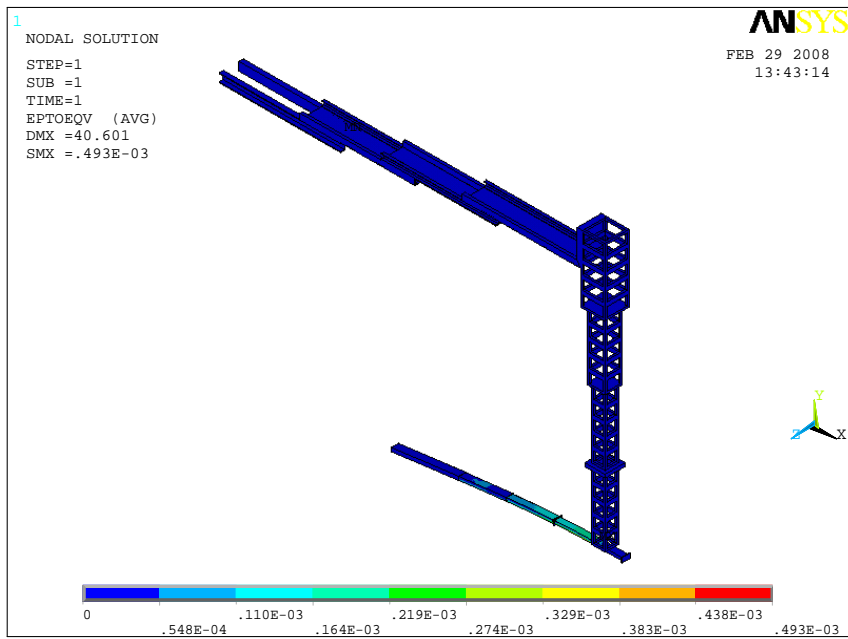


圖 4.18 機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置受力時之靜態應變分佈

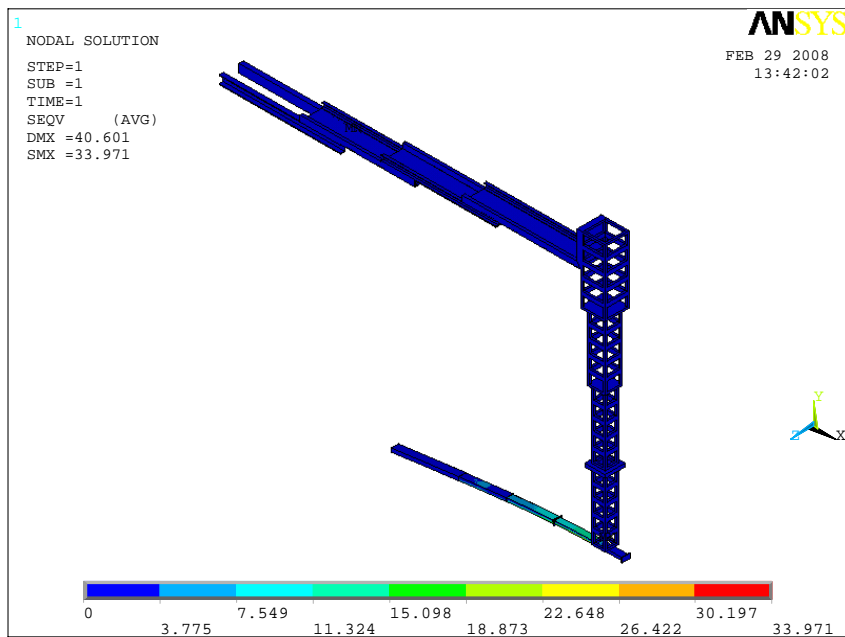


圖 4.19 機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置受力時之靜態應力分佈

4.2 動態分析

動態分析係先就機械手臂之第 3 節臂探討其自然頻率與模態，結果圖示於圖 4.20。

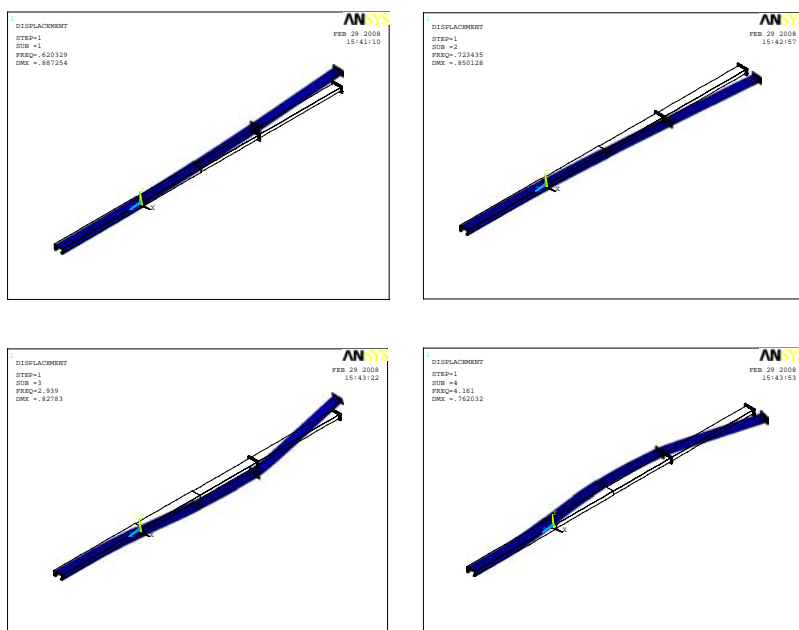


圖 4.20 機械手臂第 3 節臂模態分析圖

當機械手臂完成組裝後，其動態表現將不能只考慮第 3 節臂之懸臂樑。故在動態分析上，將考慮完成組裝的機械手臂在不同操作位置時受動態作用力下的表現。動態作用力以攝影機 3.5 公斤的重力施加於機械手臂第 3 節末端作簡諧振動(Harmonic vibration)，振動頻率從 1Hz 到 50Hz。

當機械手臂在操作過程中第 1 個模擬位置受動態作用力時，第 3 節末端在各振動頻率下的上下垂直方向位移量如圖 4.21 所示。計算結果顯示，最大振幅 0.64mm 在頻率 1Hz 的出現，但相較於靜態時的最大位移量，受動態作用力時並未產生嚴重共振。圖 4.22 為左右水平方向的位移量，而圖 4.23 則為第 3 節臂的最大應力處的應力變化，最大應力小於 6MPa。

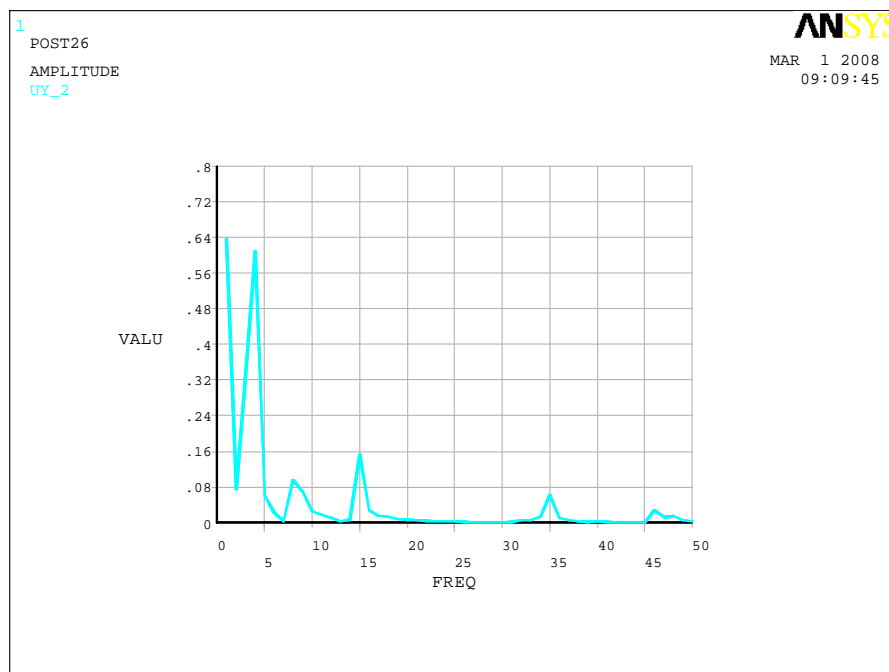


圖 4.21 第 1 個模擬位置受動態作用力時受力端之上下垂直方向位移量變化

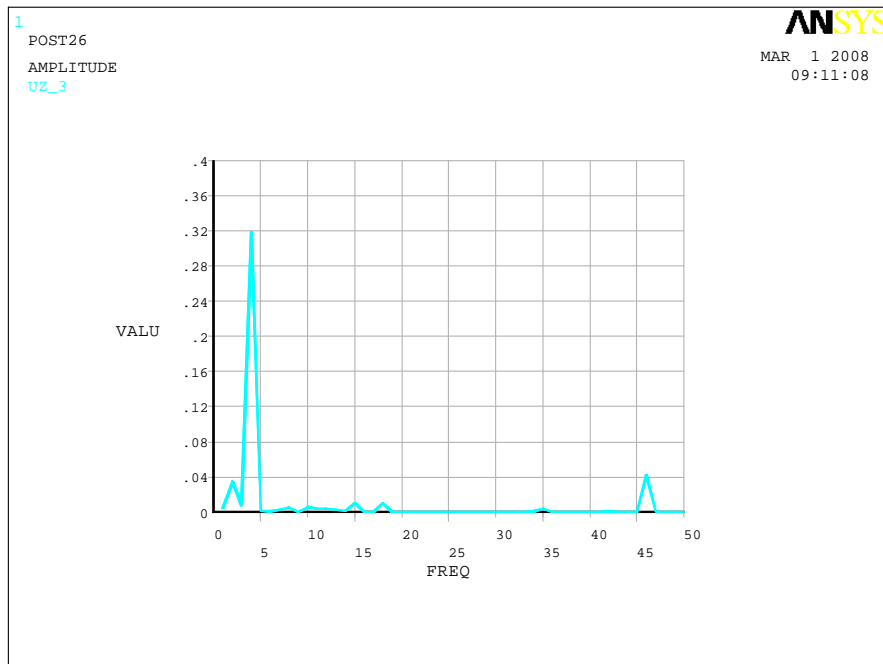


圖 4.22 第 1 個模擬位置受動態作用力時受力端之左右水平方向位移量變化

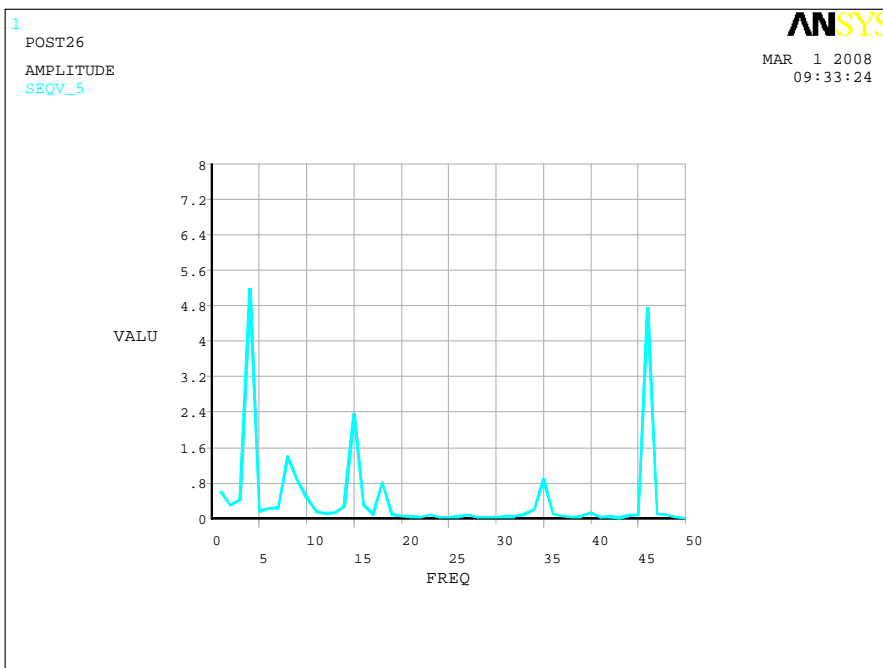


圖 4.23 第 1 個模擬位置受動態作用力時第 3 節臂最大應力變化

當機械手臂在操作過程中第 2 個模擬位置受動態作用力時，第 3 節末端在各振動頻率下的上下垂直方向位移量如圖 4.24 所示。計算結果顯示，最大振幅 3.0mm 在頻率 4Hz 的出現。此結果與靜態時的最大位移量相比較，受動態作用力時並未產生嚴重共振。圖 4.25 為左右水平方向的位移量，而圖 4.26 則為第 3 節臂最大應力處的應力變化，最大應力小於 22.5MPa。

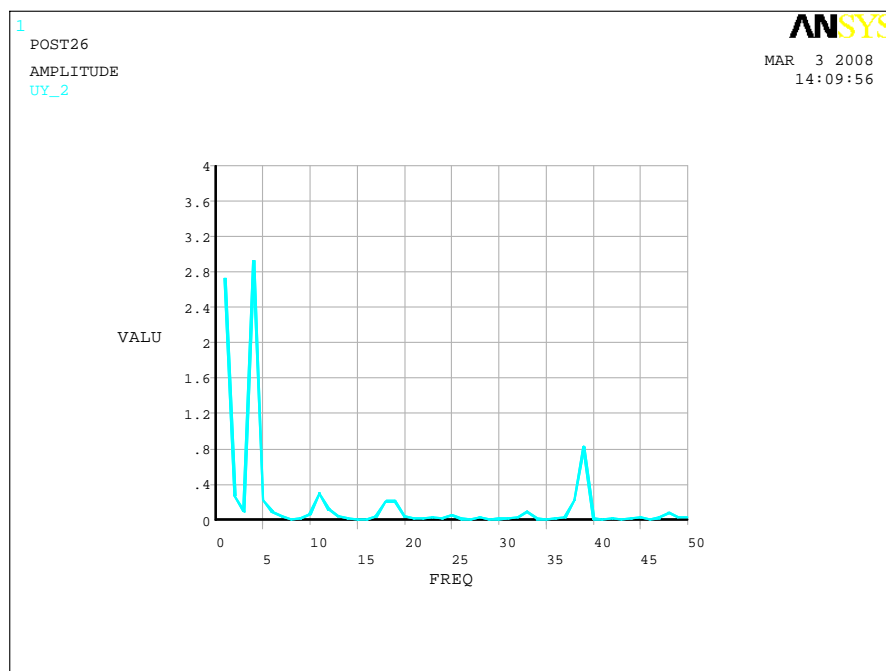


圖 4.24 第 2 個模擬位置受動態作用力時受力端之上下垂直方向位移量變化

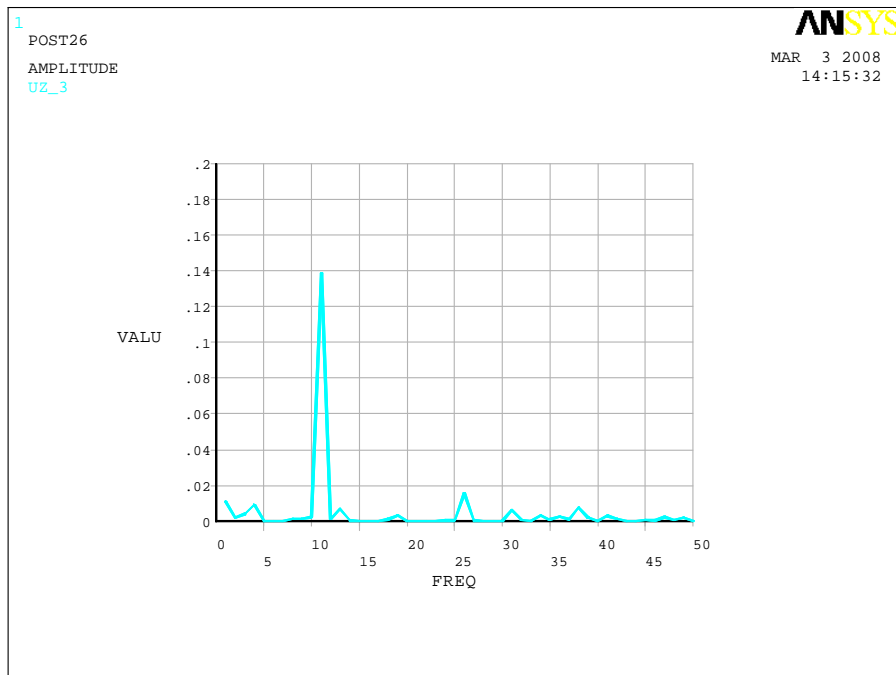


圖 4.25 第 2 個模擬位置受動態作用力時受力端之左右水平方向位移量變化

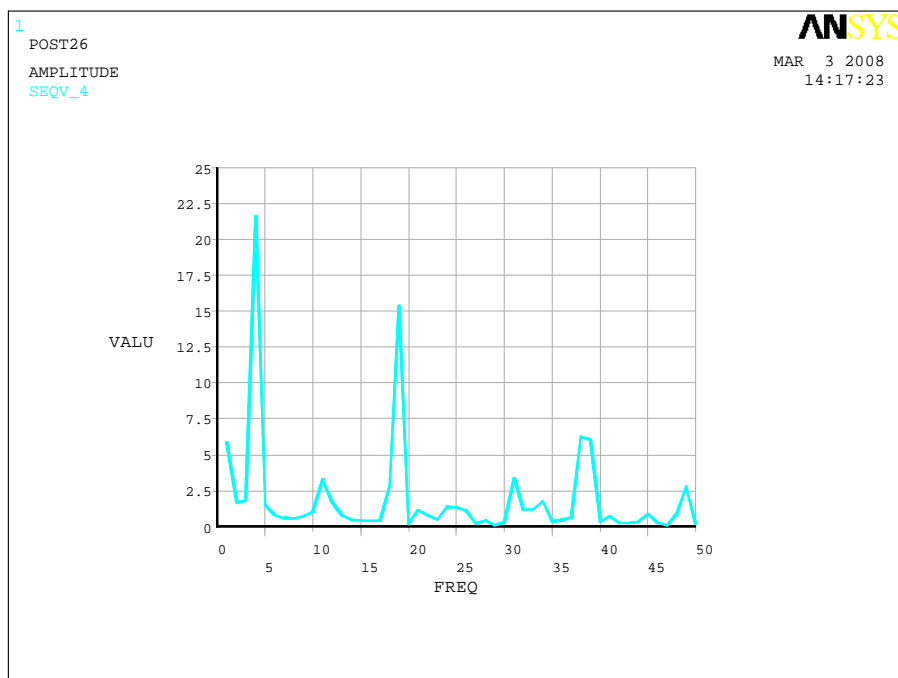


圖 4.26 第 2 個模擬位置受動態作用力時第 3 節臂最大應力變化

圖 4.27 所示為當機械手臂在操作過程中第 3 個模擬位置受動態作用力時，第 3 節末端在各振動頻率下的上下垂直方向位移量。計算結果顯示，最大振幅 3.0mm 在頻率 1Hz 的出現。圖 4.28 為左右水平方向的位移量，而圖 4.29 則為第 3 節臂的最大應力處的應力變化，最大應力小於 10MPa。由動態模擬結果發現，當 3 節機械手臂的所有伸縮臂均完全伸出時(第 3 個模擬位置)，可能因作用力頻率未引發結構共振之故，不論是位移量或應力值都較靜態結果為小。

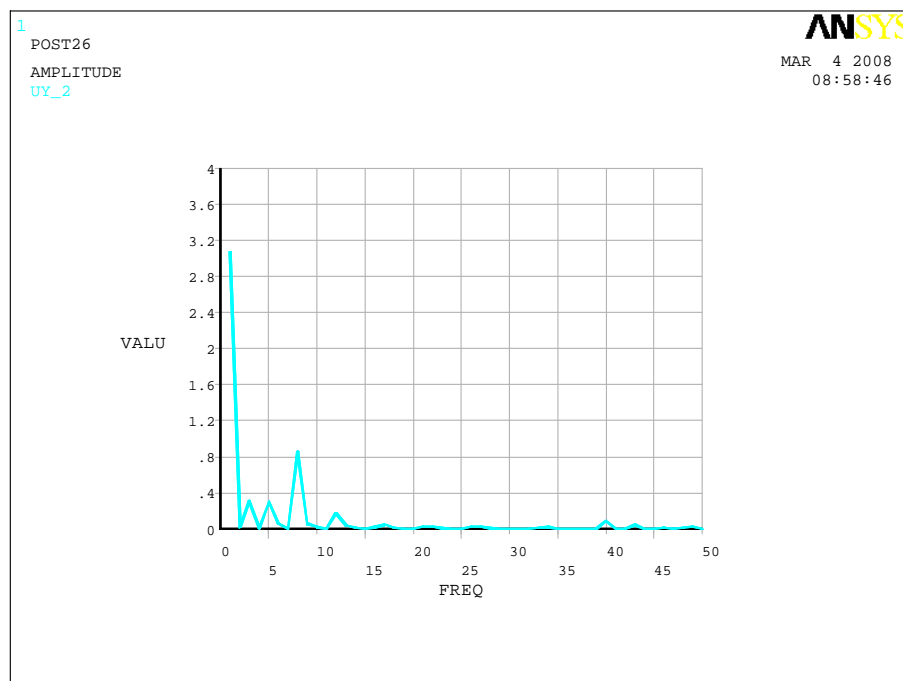


圖 4.27 第 3 個模擬位置受動態作用力時受力端之上下垂直方向位移量變化

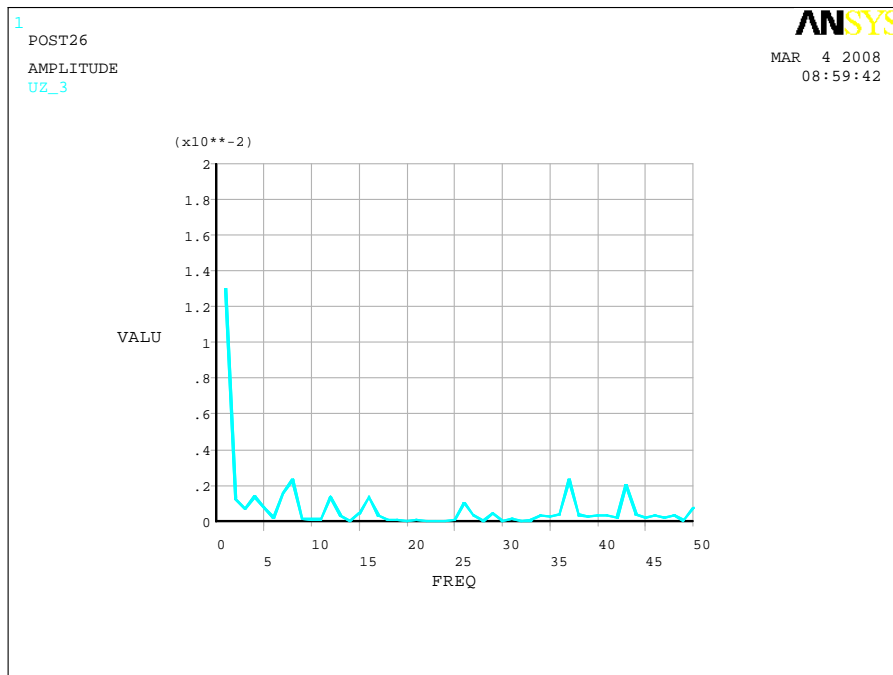


圖 4.28 第 2 個模擬位置受動態作用力時受力端之左右水平方向位移量變化

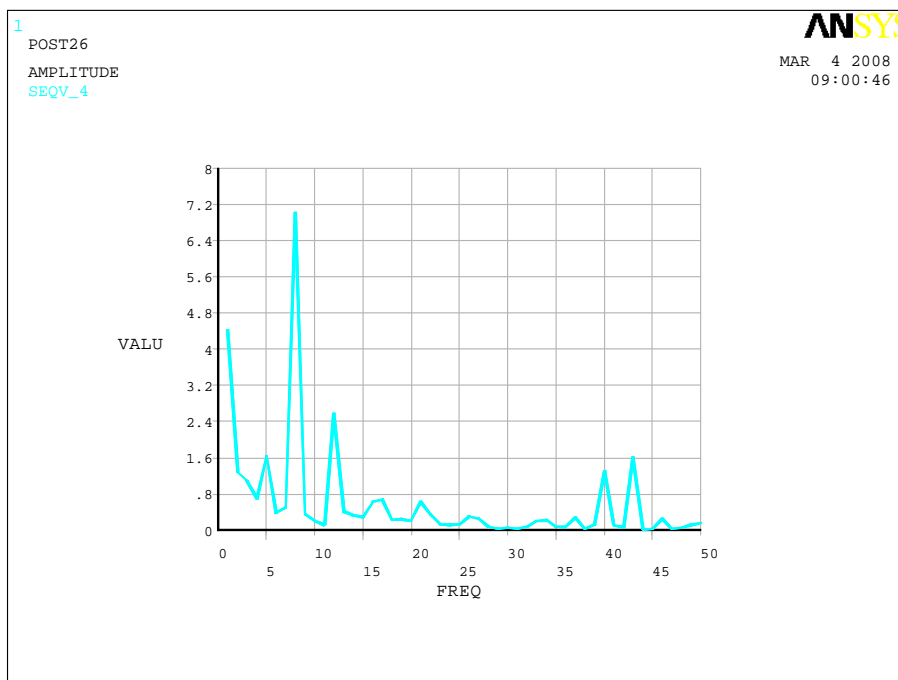


圖 4.29 第 3 個模擬位置受動態作用力時第 3 節臂最大應力變化

第五章 橋梁檢測設備實測

5.1 橋梁檢測機械手臂

機械手臂用油壓源採 10 公升容量，12V 電壓馬達驅動，配合手動閥控制，如圖 5.1 所示。作動時油壓流量可達每分鐘 3 公升，若驅動第 1 節臂之油壓缸，油壓缸能有每分鐘 4 公尺之伸長量。



圖 5.1 機械手臂用油壓源及手動閥

機械手臂第 1 節與車廂結合處如圖 5.2 所示，由於須考量第 1 節臂向外延伸時要跨過橋護欄，因而在車廂內再以型鋼墊高。機械手臂第 1 節至第 3 節之實體圖示於圖 5.3 至圖 5.5，而組裝後的油壓推進測試圖如圖 5.6 至圖 5.8 所示。



圖 5.2 機械手臂第 1 節與車廂結合處



圖 5.3 機械手臂第 1 節



圖 5.4 機械手臂第 2 節



圖 5.5 機械手臂第 3 節



圖 5.6 機械手臂組裝後油壓推進測試(1)



圖 5.7 機械手臂組裝後油壓推進測試(2)



圖 5.8 機械手臂組裝後油壓推進測試(3)

機械手臂組裝後，各節機械臂的個別測試均在室內進行，隨後進行室外測試。室外測試包含 2 部份，先是機械手臂在室外河邊進行操作程序之動作測試，如圖 5.9 至圖 5.13 所示，進行各節機械手臂的運動，將攝影機送達定位；其次是進行攝影機與機械手臂運動的同步攝影，檢視攝影品質，如圖 5.14 所示。



圖 5.9 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 1 節臂外推延伸(1)



圖 5.10 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 1 節臂外推延伸(2)



圖 5.11 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 2 節臂旋轉 90 度



圖 5.12 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 2 節臂向下延伸



圖 5.13 橋梁檢測機械手臂室外測試—第 3 節臂旋轉 90 度

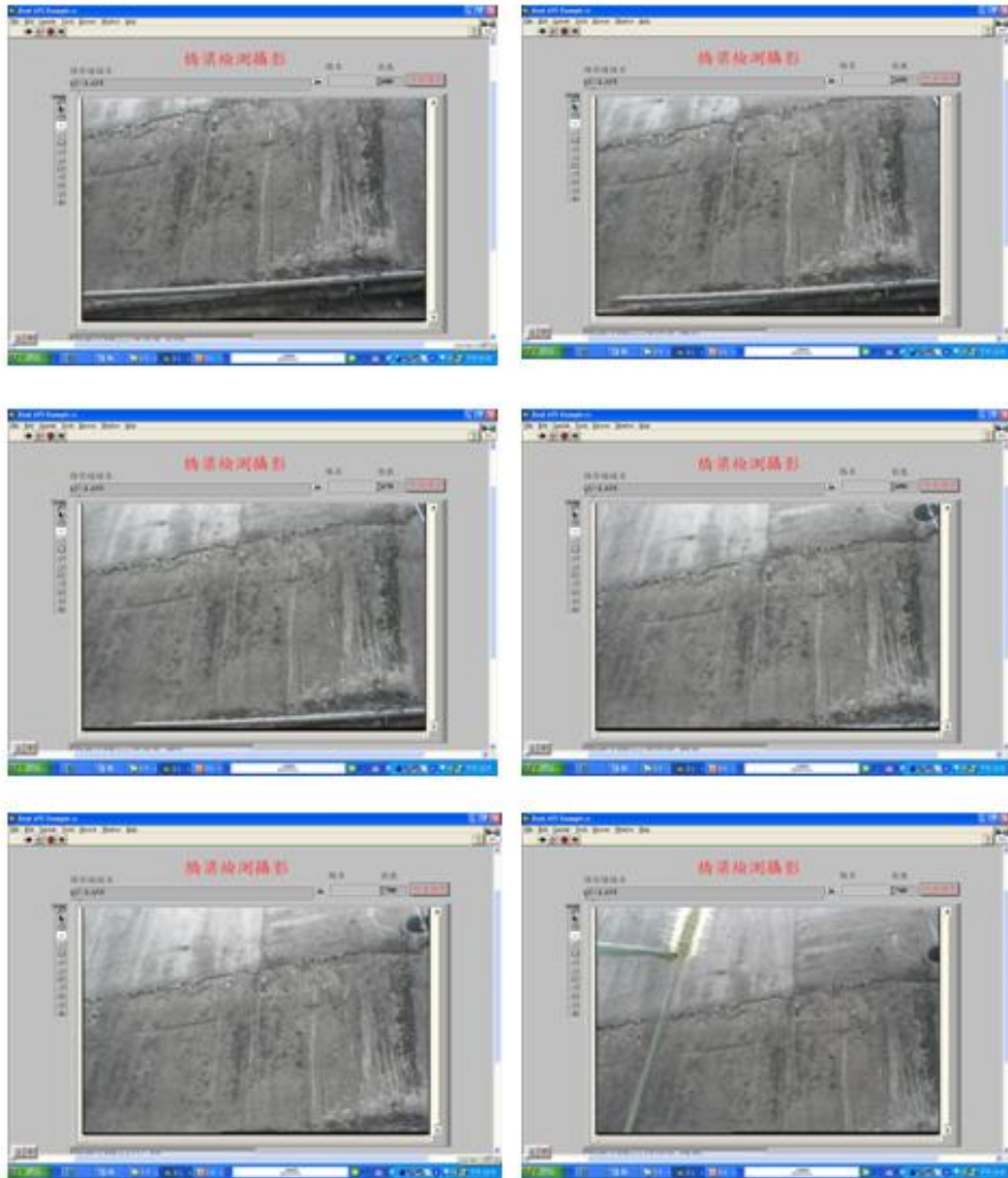


圖 5.14 橋梁檢測機械手臂操控中同步以 CCD 攝影

5.2 車載橋梁目視檢測數位影像系統

本研究在完成軟硬體之開發後，分別於臺北縣選擇兩座橋梁進行測試，一為高鐵行經樹林之高架橋下(如圖 5.15 左)，一為浮洲橋下(如圖 5.16 右)，測試時攝影機架設於車頂，將車停於橋下，如圖 5.15 所示，控制攝影機之伸縮鏡頭進行拍攝，測試當天的天氣為陰天。圖 5.16 與圖 5.17 為本研究於上述兩地實際測試後，自現場利用紅外線攝影機所拍攝之連續影像中，擷取單張照片後所得到的結果。



圖 5.15 車載橋梁外業調查用數位影像檢測雛型系統實測



圖 5.16 高鐵行經樹林之高架橋下測試結果

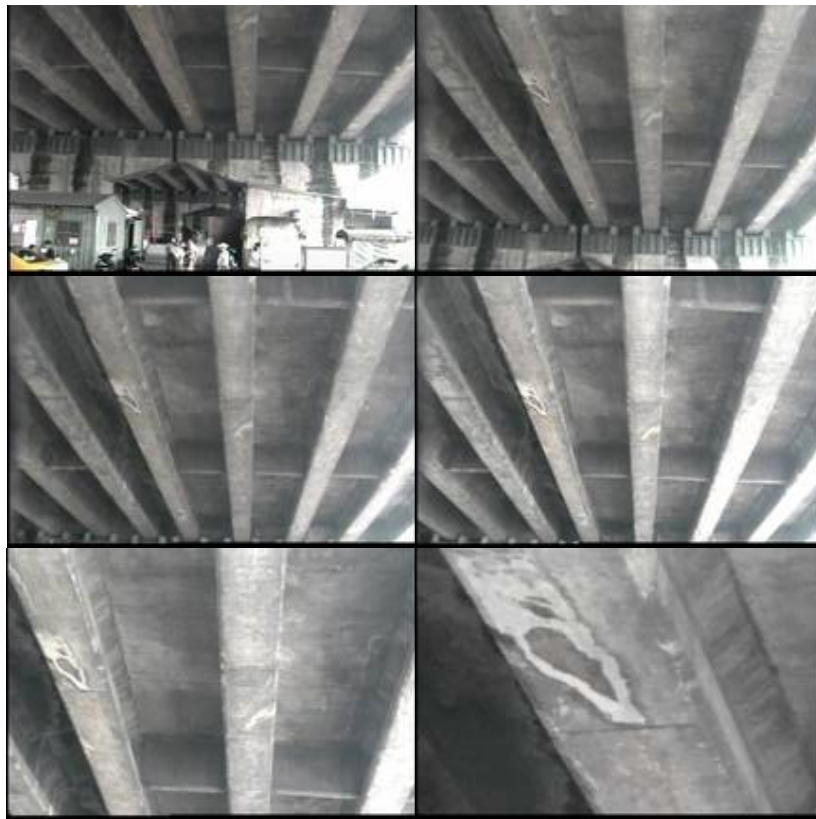


圖 5.17 浮洲橋下測試結果

第六章 結論與建議

6.1 結論

依據「臺灣地區橋梁管理資訊系統」的統計數據顯示，至 96 年 8 月止，臺灣地區已超過 25,000 座橋梁，而平均橋齡則接近 20 年，橋梁之檢測及維修工作將隨著橋梁數量及橋齡與日俱增。目前橋梁管理單位所擁有之橋梁檢測車存在價格高昂、數量少、體積大、操作不便之缺點，而現行將檢測人員運送至橋梁下執行目測工作也存在有較高之安全風險，因此本研究的目的即在開發一車載橋梁檢測設備雛型，使有限人力可快速、經濟及安全地進行橋梁檢測。本計畫研究獲致之成果，可歸納如下：

1. 針對雙向 2 車道之小型橋梁進行檢測設備雛型開發，檢測方式是以機械手臂配備數位攝影機伸入橋面下拍攝，取代傳統之人工目視檢測。
2. 檢測機械手臂是以小型箱型車為承載車輛，設計之機械手臂可收納於有限的後車廂空間中。
3. 經反覆測試，計畫成果初步驗證機械手臂之運作流暢性及攝影品質，確認機械手臂承載攝影機檢視橋梁取代現行人員目測之可行性。
4. 橋梁機械手臂檢測之功能旨在取代傳統之橋梁目視檢測，更進一步的非破壞性檢測仍須利用其他設備(如：傳統檢測車)，將人員載送至橋面下進行。
5. 「臺灣地區橋梁管理資訊系統」目前不接受連續影像格式資料上傳，但檢測人員仍可自機械手臂之錄影資料擷取單張影像上傳至系統。

6.2 建議

本計畫為橋梁檢測機械手臂之先導型計畫，以開發雙向 2 車道之小型橋梁檢測設備雛型為計畫目標，而就未來之雙向 4 車道檢測及機械手臂橋梁檢測實際應用方面，相關建議如下：

1. 車輛載重：

未來建議以小貨車為承載車輛，而後車箱另行設計改裝，以增大收納空間並保留最大空間彈性。目前市面上符合構想之各種小貨車有福特戴卡多、三菱得利卡及三菱新堅達等車種。

2. 貨車車廂：

未來建議選用小貨車，貨車後車廂需另行改裝，以使機械手臂可無障礙地在開放的空間下之操作和收放，改裝細節可另洽專業車廂打造公司^[29]。

3. 機械手臂作業方向：

在承載車輛及車廂打造定案後，機械手臂作業方向即能改採側面作業方式。設計上建議考慮第 1 節機械臂直放，但作業時旋轉 90 度再向外伸出。

4. 機械手臂重量：

未來建議第 1 節機械臂以鋁合金材質銲接成高慣性矩之中空方管的伸縮臂，伸縮動作是以單根之多節伸縮油壓管外推及回拉來完成；第 2 節機械臂可保留目前所設計的鋁合金桁架，但伸縮動力改採用捲揚機；第 3 節機械臂改以較高慣性矩之固定長度方管，但不加裝動力源，其移動方式是以操作第 1 節機械臂來帶動。

5. 機械手臂長度：

第 3 節機械臂建議以 2 節固定長度臂相接成 7 公尺長度來執行檢測雙向 2 車道橋梁；而雙向 4 車道之橋梁檢測第 3 節機械臂則建議以 3 節固定長度臂相接成 10.5 公尺長度。

6. 輪胎負載：

為提高輪胎負載能力，避免承載過重而致輪胎扁平或爆胎，建議可選用 8 層簾布層(俗稱貨車胎，最大負載重量約 800 公斤)之高負載等級充氣式輪胎；而若以 3.5 噸小貨車為承載車輛，更可以選用 12 層簾布層(最大負載重量約 1250 公斤)充氣式輪胎，或實心輪胎^[30]。

7. 安全機制：

當以檢測車側邊執行工作時，安全平衡即需加以考量，以維持作業安全。平衡方式建議以側邊加配重塊；另，外加第 5 輪輔助輪撐在橋面上，或以輔助桿在橋護欄上當支撐點都是維持安全平衡可以考慮的方案。

8. 操控設備：

檢測車所搭載之各項設備包括機械手臂及攝影機等，均各自有其獨立的操控設備，未來建議以系統化之設計，將各操控設備整合於一控制面板上，以便檢測人員操作。

9. 無線傳輸：

為避免線路過長及考慮收納之問題，攝影機所擷取的檢測影像未來建議以無線傳輸之方式傳送。

參考文獻

1. 中時電子報，
<http://news.chinatimes.com/2007Cti/2007Cti-Rtn/2007Cti-Rtn-Print/0,4670,110104x112007080300844,00.html>
2. 交通技術標準規範公路類公路工程，「公路養護手冊」，交通部，2003。
3. 國立中央大學土木工程系橋梁工程研究中心，「混凝土橋梁檢查手冊」，臺灣省交通處公路局，1997。
4. Hydra Platforms Manufacturing, <http://www.hydraplatform.com/home.asp>
5. Aspen Aerials, <http://www.aspenaerials.com/index.htm>
6. Moog, <http://www.moog-online.de/eingange.htm>
7. N. E. Bridge Contractors, Inc., <http://www.bridgeriggers.com/prod03.htm>
8. Facelift, Inc.,
<http://www.facelift.co.uk/piclibrary/?machine=&category=&location=&jobused=&start=81>
9. Serpentine Robot, http://www.ri.cmu.edu/projects/project_222.html
10. LCPC,
http://www.lcpc.fr/fr/presentation/organigramme/div_mi/recherche/theme/axe4.php
11. Aerial Platform System for Bridge Inspection,
<http://www.tfhrc.gov/pubrds/winter95/p95wi26.htm>
12. JLN Labs, <http://jnaudin.free.fr/uav/qro/qromission1.htm>
13. Inventorying Highway Signs, <http://www.usroads.com/journals/rmj/9703/rm970304.htm>
14. Networking Digital Photologging , GPS, and GIS at Nevada
DOT,http://www.bts.gov/programs/geographic_information_services/BTSWEB/GIS-T_99/Session_63/2/
15. Video Based Asset Data Collection at New Jersey DOT Video Based Asset Data

- Collection at New Jersey DOT, <http://www.dot.state.ny.us/2003heepareal/weaver.pdf>
16. Roadware Group Inc. ARAN, <http://www.roadware.com/aran.htm>
 17. State of South Dakota Transportation Inventory Management,
http://www.sddot.com/pe/Data/pave_video.asp
 18. Lambda Tech International, <http://www.lambdatech.com/>
 19. 交通部運輸研究所，2001，應用 Photologging 技術輔助公路基本資料調查之研究。
 20. 交通部運輸研究所，2002，公路基本資料管理系統整合規劃。
 21. 交通部運輸研究所，2004，公路養護管理績效監測技術之研究(一)--公路基本資料庫
建構計畫及公路基本資料調查技術與設備改良計畫。
 22. 交通部運輸研究所，2004，公路基本資料庫構建計畫（二）。
 23. 交通部運輸研究所，2005，公路養護管理績效監測技術之發展研究--公路基本資料
庫嘉南地區構建計畫。
 24. 公路總局省縣道資料，<http://www.thb.gov.tw>, 95/2/14
 25. 交通部公路總局，2004，公路設施基本資料清查規範。
 26. 江蘇道路交通信息管理網 <http://www.jsxj.gov.cn>
 27. The Will-Burt Company. <http://www.willburt.com>
 28. SONY 360 度鏡頭，
http://www.macgyver.com.tw/Video/SONY_360_200/SONY_360_200.htm
 29. 萬吉汽車股份有限公司，<http://www.onegi.com.tw/Index.php>
 30. 首利得實心胎股份有限公司(東洋實心胎公司)，<http://www.ty-solidtire.com/about.htm>

附錄 1：期中審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-96-EEB002橋梁檢測機械手臂研發計畫

執行單位：亞東技術學院

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) 張奇偉委員		
1. 請補充國外小型之橋梁檢測機械手臂相關設備文獻。	1. 敬悉。 正蒐整國外小型之橋梁檢測機械手臂產品訊息，相關資料將彙整於期末報告中。	同意
2. 報告 P40 頁有提到自行開發之即時數位連續影像擷取軟體功能，但 P44 頁是使用 LabVIEW，未來設備移轉時，是否包含此軟體？其橋梁檢測影像分析軟體之版權如何處理？除 LabView 執行檔，以 VB 程式撰寫的可行性如何？	2. 即時數位連續影像擷取軟體是以 LabVIEW 為開發工具，撰寫程式以執行即時擷取影像之功能。程式經編譯後即成執行檔，可以不用在 LabVIEW 軟體的環境下直接執行相關功能，未來計畫結束時一併將執行檔之原始程式碼移交運研所使用。 LabVIEW 軟體有相當強大功能的函式庫可供程式開發者使用以節省程式撰寫和除錯所需時間，再者，如果考慮未來在影像辨識方面的功能擴充，其方便性及功能性仍較 VB 程式為優，因	同意

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
<p>3. 攝影機於實測是裝置在機械手臂上，目前皆為靜態拍攝，若於動態拍攝時，效果如何？部份橋梁下的光線可能不足，紅外線影像之參數設定能否調整？</p> <p>4. 報告中文字疏漏及待加強說明部份列舉如下：P6 頁非破壞性檢測法可增加說明；P7 破壞性檢測，其與報告之相關性為何？ P7 所稱「標準工具」為何？ P10 請增加儀器之說明；P11 鉸式升降機英文為何？ P12 大小型的機械手臂，可否新增優缺點之比較？P19 圖 13 畫面清晰度應再調整。</p> <p>5. 有限元素分析中應再考慮機械手臂受扭力時之狀況。</p>	<p>而在程式開發上仍選擇 LabVIEW 為工具。</p> <p>3. 攝影機之動態實測將配合機械手臂實地檢測一併進行，拍攝結果的清晰程度將作為整個系統調整的依據，而所有影響因素及調整方法亦將說明於期末報告中。</p> <p>計畫中所選用之攝影機能對周遭環境光線自動感應，當遇到橋梁下光線不足時，可依所設定之光圈控制、背光補償等自動啟動紅外線影像拍攝。</p> <p>4. 敬悉。 報告中文字疏漏及待加強說明部份於期末報告中修正及補充。</p> <p>5. 敬悉。 機械手臂受扭力之有限元素分析於期末報告中補充並探討其安全性。</p>	<p>同意</p> <p>同意</p> <p>同意</p>
(二) 廖述濤委員		

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
1. 此計畫最後要完成的有 2 項，(1)車載橋梁外業調查設備；(2)機械手臂檢測設備，機械手臂檢測設備較複雜，有限元素分析中應考慮完整之機械手臂整體受力時之狀況。	1. 敬悉。 機械手臂組合後的整體受力狀況之有限元素分析於期末報告中補充並綜合探討其安全性。	同意
2. 在控制部份，機械手臂操作時較困難之處是平衡施力，設計應加以考量。	2. 敬悉。 機械手臂操作時的平衡已在設計時予以考慮，此外，在機械手臂正式組裝後，將再進一步做修正調整，以確保操作安全。	同意
3. 有限元素分析中除靜態分析外，應考慮動態分析。	3. 敬悉。 機械手臂之有限元素動態分析於期末報告中補充並探討其安全性。	同意
4. 橋梁影像如果能現場判定，則不一定要錄下所有的影像，軟體中可考慮此功能。	4. 敬悉。	同意
5. 本研究不宜為求快而跳入實務面解決問題，整體模擬後再做實體較不會遇到無法處理的問題。	5. 敬悉。	同意
(三) 李鈹鋒委員		
1. 在整個設計分析中，相關數值、軟體等能在事前先做規劃，可判定整個系統是否有狀況，可避免後續因設計錯誤、偏差，而造成的損失。	1. 敬悉。 設計之初已就機械手臂結構先進行靜態受力分析，並據以修改尺寸，初步先確定其操作安全性。未來在	同意

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
<p>2. 本研究所開發之機械手臂是否能達到快速檢測的目的？設備設置及操作的時間應儘可能縮短。</p> <p>3. 本研究所開發之機械手臂是否能達到方便檢測的目的？目前設計的操作上必須倒車，不符合方便之需求。</p>	<p>檢測設備系統更新、擴充時的設計初期即當考量更多設計因素及軟體模擬。</p> <p>2. 橋梁檢測機械手臂之快速檢測是相較於傳統上以人工執行目測上作檢測判斷及取樣拍照的耗時，而以攝影系統直接攝錄存檔及電腦影像處理來節省人力及工時。</p> <p>今年度計畫執行之目標即在確認以攝影系統取代傳統人工目測的橋梁檢測設備的可行性，因而先以箱型小客貨車為載具，附載機械手臂實體。現階段操作時先採部份人工作業，同時在各測試階段所有油壓缸均維持小出力及慢速度，以確保測試安全。未來在系統功能及操作安全確定之後，即可以改為自動方式並加大油壓源以縮短設備設置及操作時間。</p> <p>3. 今年度計畫之執行所選用之車輛載具有操作上必須倒車之不方便處，唯今年度計畫目標在確認機械手臂附載攝影系統執行橋</p>	<p>同意</p> <p>同意</p>

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
<p>4. 在安全性上，目前有限元素分析未進行整體動態分析，應考量安全性。</p> <p>5. 機械手臂的控制方法未在報告中說明，應予補充。</p> <p>6. 在效能上，攝影機本身可平行、垂直，而攝影機內有馬達，在做分析時應會產生力或力矩，是否有影響？有無其他攝影機可供選擇？應比較不同攝影機之解析度、重量、特殊功能。</p>	<p>梁檢測之系統功能及操作安全，車輛載具可在未來檢測設備系統確定後重新選定。同時，期末報告中亦將一併整理、比較及建議未來檢測設備系統之承載車輛。</p> <p>4. 敬悉。 機械手臂之有限元素整體動態分析於期末報告中補充並探討其安全性。</p> <p>5. 敬悉。</p> <p>6. 系統設計初期即就不同攝影機之輔助光源、解析度、重量、鏡頭控制等功能加以比較後擇定選用，相關資料於期末報告中補充分析。 所選用之攝影機重量輕、體積小，其鏡頭伸縮所產生之力矩亦不大，實際效應將配合機械手臂實體結構進行測試。</p>	<p>同意</p> <p>同意</p> <p>同意</p>
(四) 曾組長志煌		
<p>1. 本研究所開發之機械手臂係做目視檢測之用，攝影機的拍攝亮度及清晰度是否足夠？</p>	<p>1. 攝影機的拍攝亮度及清晰度可透過攝影機之參數設定及機械手臂運動移位來調整，此外，影像處理技術亦能彌補攝影機之拍攝所不足之處。</p>	

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
(五) 陳副組長茂南		
1. 感謝各位委員的寶貴意見，本研究為先導計畫，從計畫中學經驗也是一個重點，後續可能還有一些問題，會再請實際檢測人員參與測試、比對，各位委員的意見本所亦會再深入思考。	1. 敬悉。 實際測試、系統修正之資料及經驗均會納入期末報告中以完整記錄研發過程。	同意
七、主席結論：		
1. 本研究為先導計畫，有些創新的做法，若有不周延之處，請各委員多指導；與會委員及人員之意見，請研究團隊列表逐一回應。 2. 各委員對研究團隊的努力成果均予肯定，本期中報告審查通過，後續請與本所同仁聯繫辦理相關事宜。	1. 敬悉。 2. 敬悉。	同意 同意
八、散會。		

附錄 2：期末審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-96-EEB002橋梁檢測機械手臂研發計畫

執行單位：亞東技術學院

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) 廖述濤委員		
6. 期中審查所提之意見有無回覆資料？	6. 委員審查意見均補充於期末報告內，另彙整審查意見處理情形於回覆表中。	同意
7. 機械手臂是否已測試其耐用性、可重覆使用性？	7. 機械手臂已經過收放測試，並在河堤實際現場反覆操作，初步確定操作過程之流暢無礙，而在機械手臂未來實際應用在橋梁檢測前，將進行更多的試驗，以瞭解機具之安全性。	同意
8. 資料擷取影像處理後之影像連續畫面的品質如何？	8. 資料擷取之影像連續畫面經室外測試，機械手臂運動時攝影機同步拍攝的影像品質良好，擷取畫面整理於期末報告內。	同意
9. 影像資料判讀後能否與臺灣地區橋梁管理系統整合？請補充說明。	9. 影像資料格式與臺灣地區橋梁管理系統相容，資料將補充於結案定稿報告內。	同意
(二) 張奇偉委員		
6. 機械手臂操作程序與使用手冊初步版本能否提供給	6. 本計畫為橋梁檢測機械手臂之先導型計	同意

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
<p>運研所？</p> <p>7. 第3章是否要保留所有機械手臂設計各版本？或另以專章探討第6版？</p> <p>8. 可否以機械手臂做實例驗證？</p> <p>9. 攝影機在亮度足夠時，拍出血像為彩色，較暗時為黑白，由於影像處理時是使用同一軟體處理，可否說明軟</p>	<p>畫，計畫目標在確認以機械手臂承載攝影機檢視橋梁以取代現行人員目測之可行性。今年度計畫成果初步驗證機械手臂之運作流暢性及攝影品質，未來在機械手臂可實際應用在橋梁檢測時，即出版操作程序與使用手冊供檢測人員使用。</p> <p>7. 由於本計畫為橋梁檢測機械手臂之先導型計畫，因而研發過程的所有設計概念程序、次系統規格選擇都是非常珍貴的紀錄，因而應予以完整保留，而未來因應側向檢測之設計概念，將融合各版本之優點，故不會單章說明第6版。</p> <p>8. 機械手臂檢測經室外操作驗證各節手臂運動的流暢性，同時亦結合攝影機同步攝影，就河堤之水泥鋪面檢視實際攝影品質，相關畫面彙整於期末報告內。</p> <p>9. 無論拍攝之影像為黑白或彩色，電腦數位影像均是以彩色影像存檔及處理。</p>	<p>同意</p> <p>同意</p> <p>同意</p>

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
<p>體處理影像時之差異性？</p> <p>10. 第 3 節手臂伸入橋下 2.9 米，雙向 4 車道橋面寬接近 20 米，其它部份如何處理？</p>	<p>10. 今年度計畫是針對雙向 2 車道進行橋梁檢測車開發，因此單邊橋面寬度約為 3.5 米，而第 3 節手臂除伸縮臂之外，另有一節 0.5 米之固定長度臂，可滿足雙向 2 車道之檢測需求，而未來的實際檢測應用在雙向 4 車道及雙向 2 車道的手臂長度規劃說明於第 6 章中。</p>	<p>同意</p>
(三) 李銓鋒委員		
<p>1. 機構強化與車體重量的配重應注意，機械手臂第 1 節與第 2 節連接、機械手臂與油壓缸、車體連接的螺絲強度是否足夠？請補充螺絲材質、抗壓、抗張、抗剪應力強度規格及材料力學分析。</p> <p>2. 目前設計為檢測雙向兩車道的橋梁，若日後推廣延伸，且按比例之結構提升重量，則應建立輔助安全措施。</p> <p>3. 目前車輛停放位置對實際</p>	<p>1. 本計畫為橋梁檢測機械手臂之先導型研發計畫，因而在雛型開發上將操作安全列為優先考慮，結構本體及螺絲接合均採過度設計之概念，安全係數較一般設計為高。未來在機械手臂可實際應用在橋梁檢測時，即併同使用手冊詳列結構零組件規格。</p> <p>2. 敬悉。</p> <p>3. 敬悉。</p>	<p>同意</p> <p>同意</p> <p>同意</p>

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
<p>操作檢測人員很不方便，會增加檢測與交通管制人員人數。</p> <p>4. 油壓缸行進速度每秒 6 公分，推估整個操作時間仍過長。若以目前車輛停放方式執行工作，在移動上會影響效率。希望可改成側停方式以提升效率。</p> <p>5. 請補充控制迴路電路圖。</p> <p>6. 若橋梁靠近高壓電時，高頻訊號是否影響機器設備？訊號干擾對機器設備影響有 2 種，一是操控系統，另一是攝影機拍攝畫面，這部份應加以考量。</p> <p>7. 線路收納是否應再有更完善的輔助措施？避免在操作時增加人力的負擔。</p>	<p>4. 本計畫為檢測車離型開發，計畫目標在確認以機械手臂承載攝影機檢視橋梁以取代現行人員目測之可行性，而檢測作業程序採側邊方式已納入未來考慮方案。</p> <p>5. 本計畫為橋梁檢測機械手臂之先導型研發計畫，雛型開發以使用安全、操作簡易為考慮重點，完整之控制迴路電路於未來在機械手臂可實際應用在橋梁檢測時，併同使用手冊詳列。</p> <p>6. 敬悉。</p> <p>7. 本計畫之橋梁檢測機械手臂雛型開發以確認機械手臂承載攝影機檢視橋梁取代人員目測之可行性為計畫目標，線路收納之方式待未來機械手臂可實際應用在橋梁檢測時與組件規格、空間</p>	<p>同意</p> <p>同意</p> <p>同意</p> <p>同意</p>

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
<p>8. 機構整合後拍攝影像的效果，請再於報告中強調並做評估。</p> <p>9. 在機構設計方面，請就國內、外專利做分析，以避免智慧財產權之爭議。</p> <p>10. 結構強化不一定選用鋁合金，可考慮複合材料。採用攝影機避震系統可以減少機構重量，或透過影像處理來補償震動也是可以考慮的方式。</p> <p>11. 應考慮輪胎摩擦力，是否可以加裝輔助桿以提高安全性？</p>	<p>配置等一併綜合考量設計。</p> <p>8. 機械手臂檢測經室外操作驗證各節手臂運動的流暢性，同時亦結合攝影機同步攝影，就河堤之水泥鋪面檢視實際攝影品質，其畫面未受機械運動時震動之影響，相關畫面彙整於期末報告內。</p> <p>9. 敬悉。 計畫之橋梁檢測機械手臂研發過程的所有設計概念程序、次系統規格選擇都已詳列於報告中，相關內容是研發過程的見證與紀錄，未來朝實際應用於橋梁檢測之側向檢測設計概念研發時，將作專利地圖搜尋。</p> <p>10. 敬悉。</p> <p>11. 安全性是未來機械手臂可實際應用在橋梁檢測時最重要之考量，輔助桿之設計亦納入未來設計方案</p>	<p>同意</p> <p>同意</p> <p>同意</p> <p>同意</p>

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
12. 檢測成果分類存檔以利其他單位使用，此方面請加以考量。	中。 12. 敬悉。 檢測成果之影像資料格式與臺灣地區橋梁管理系統相容，可由其他單位使用。	同意
13. 考量減輕攝影機的重量，影像拍攝可考慮使用魚眼鏡頭，照明可考慮輔助燈光。	13. 以魚眼鏡頭拍攝，須另行設計鏡頭伸縮、旋轉之控制機構，同時必須再配合紅外線輔助光源，其外加重量、組件匹配均無法滿足系統設計規格、時程及成本。	同意
(四) 林清洲委員		
1. 1.1 節第 2 段”今年 8 月 1 日”宜另標註年份。	1. 遵照辦理。	同意
2. 報告中部份錯別字請修正。	2. 遵照辦理。	同意
3. 第 4 章結構分析所附圖中，應變、應力、變形等圖以黑白列印難以看出其分佈，建議仍以彩色為宜。	3. 遵照辦理。	同意
4. P61 頁”受力條件則都是第 3 節臂的末端承受 3.5 公斤的向下施力”，機械手臂的自重是否有考慮？	4. 機械手臂的自重均納入分析時之條件。	同意
5. 所規劃之硬體設備，建議日後應考慮： (1) 人行道的影響，可能需增加機械臂長或考慮車輛跨到人行道的可行性。 (2) 考量路燈燈桿的影響，在穩定的條件下收納及	5. 本計畫為橋梁檢測機械手臂之先導型研發計畫，雛型開發已初步測試滿足計畫需求，未來朝實際應用在橋梁檢測之方向進行，安全、便利、快速的機構是未來設計重點，而人行道加慢	同意

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
放出的速度要快，或可考慮不需完全收納即可移動，以減少機械手臂動作收放所需時間。 (3) 目前箱型車運作方向與車行方向無法配合，建議報告中所提之未來構想能予以執行。 (4) 現行構想之六版設計希望能朝減少人工作業方向改善。	車道考量建議以 2.5 公尺計算，補充說明於第 6 章。	
6. 建議於適當位置補繪機械手臂可延伸範圍之示意圖及加了攝影機後可檢測的範圍。	6. 遵照辦理，補充說明於第 6 章。	同意
7. 攝影機可控制轉動範圍為何？除橋底面結構，是否可檢測到帽梁、墩柱甚至河面情形？	7. 攝影機可控制轉動範圍為水平 360 度，垂直 90 度，其餘規格詳列於報告中，而橋面外之結構檢視取決於攝影機之規格及所在相對位置。	同意
8. 攝影後之處理，一般橋檢人員是否可勝任？	8. 初步評估應可勝任。	同意
9. 橋下有可行車之道路時，是否需要機械手臂？報告中 5.2 節施作高鐵行經樹林之高架橋下之測試作業，其施作情形建議補充照片或文字進一步說明。	9. 遵照辦理。	同意
10. 本局管轄區域有位於澎湖、新竹沿海地區，該等地區平均風力 10 級最大達 13	10. 敬悉。	同意

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
級風，因此車輛抗風力需考量。		
11. 補充操作程序。	11. 本計畫為橋梁檢測機械手臂之先導型計畫，計畫目標在確認以機械手臂承載攝影機檢視橋梁以取代現行人員目測之可行性。今年度計畫成果初步驗證機械手臂之運作流暢性及攝影品質，未來在機械手臂可實際應用在橋梁檢測時，即出版操作程序與使用手冊供檢測人員使用。	同意
12. 請考量海面水飛沫之影響。	12. 敬悉。	同意
七、主席結論：		
3. 感謝各位委員的參與及研究團隊的努力與付出。	3. 敬悉。	同意
4. 機械手臂安全性問題，在報告中應再加以探討與考量。	4. 遵照辦理。	同意
5. 各委員所提意見，屬合約範圍內者請研究團隊務必更正補充，在合約範圍外者請參考；惟所有意見應在定稿報告中逐一回覆。	5. 遵照辦理。	同意
6. 請研究團隊於96年12月27日前完成報告修正定稿並提送本所。	6. 遵照辦理。	同意
7. 本期末報告審查通過。	7. 敬悉。	同意
八、散會。		

附錄 3：期末簡報

附錄 3：期末簡報



橋梁檢測機械手臂研發計畫 (96.05.18~96.12.17)

期末簡報

亞東技術學院 機械工程系

馮君平



簡報大綱

- 一、緒論
- 二、文獻回顧
- 三、設計構想及軟硬體規劃
- 四、機械手臂結構分析
- 五、橋梁檢測設備實測
- 六、未來四車道檢測改進構想

緒論



計畫背景及目的

- 依據臺灣地區主要橋梁管理機關所管理之橋梁數量統計，臺灣地區共有大小橋梁25,492 座。

橋梁管理機關	管理橋總數
縣市政府	17,314
公路總局	4,176
鐵路局	1,907
高公局	2,095
總計	25,492



- 臺灣地區橋梁已進入老化時期，檢測及維修工作隨橋齡而日增，而檢測結果為橋梁是否需進行維修之依據。

橋梁管理機關	平均橋齡
縣市政府	18.9
公路總局	22.1
鐵路局	27.1
高公局	11.3
總計	19.6



- 根據交通部所頒布之公路養護手冊，橋梁檢測之目的：
 1. 提供橋梁狀況資訊。
 2. 提供劣化程度之資訊。
 3. 記錄橋梁具有時間序列之狀況。
 4. 檢測橋梁結構劣化之情況。
 5. 維修以消除危害橋梁狀況。
 6. 協助擬定更新橋梁計畫。



- 龐大的檢測工作量需要充足的人力，目前既有之橋梁檢測車存在價格高、數量少、體積大、操作不便之缺失，同時現行將檢測人員運送至橋梁下執行目測工作也存在有較高之安全風險。
- 開發一車載橋梁檢測設備，以有限人力在兼顧效率、經濟及安全的狀況下進行橋梁檢測，即為本研究之目的。



研究範圍與對象

- 依橋梁種類之不同，發展不同的檢測方法。本年度擬先針對小型橋梁(有雙向二車道)與大型橋梁(其下有車道可供通行)，進行檢測設備雛型開發：
 1. 針對其下有車道可通行車輛之大型橋梁應用 Video-logging 技術發展一車載橋梁外業調查設備。
 2. 針對雙向二車道之小型橋梁檢測開發(三臂)機械手臂檢測設備，檢測方式以機械手臂配備數位攝影機深入橋面下拍攝，以替代傳統之人工目視檢測。



文獻回顧

• 橋梁檢測

依據「公路養護手冊」[2]，橋梁檢測之類別：

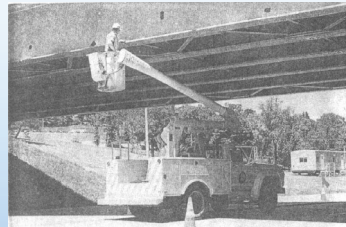
1. 經常巡查：以兩人一組共乘一部巡查車，在車上以目力檢視橋梁構造物。
2. 定期檢測：利用徒步、攀登或以特殊車輛儘可能接近橋梁結構物，給予較詳盡之檢查。
3. 特別檢測

依據「混凝土橋梁檢查手冊」[3]，橋梁檢測之方式：

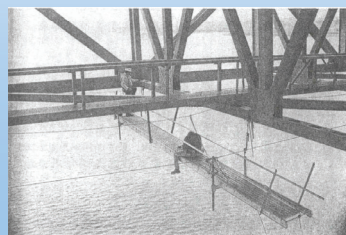
1. 目視檢測：目視檢測是利用目視的方式對整座橋梁做外觀上的全面性檢查，並拍攝照片作為紀錄。
2. 非破壞性檢測
3. 破壞性檢測

- 檢測人員、儀器承載裝備

- (1) 鉸式升降機型



- (2) 工作平臺型



- (3) 多吊臂桿型

- Hydra Platforms Mfg Inc. [4] :

- HPT66

- 平臺工作範圍 20.1公尺

- 平臺承載能力 635公斤

- 最大下降橋面深度 7.3公尺

- 車輛運輸尺寸長 12.2/寬 2.45/高 4.1公尺

- 總重25公噸



- Aspen Aerials [5] :

A-75

橋面下最大水平檢測 22.8公尺

垂直橋面深度 22公尺

向上舉升高度 16.1公尺

吊籃的承載重量 318公斤

運輸全車尺寸長 12.75/高 4.07公尺



- MOOG GMBH [6] :

MBI200-1.5/S

最大水平工作範圍 20公尺

最大垂直下降深度 9.5公尺

平台末端載重 400公斤

總重 32公噸

運輸尺寸長 12/寬 2.5/高 4公尺



- N. E. Bridge Contractors, Inc. [7] :

以Aspen Aerial A-30橋梁檢測車執行
鐵路橋梁檢測



- Facelift, Inc. [8] :

Nifty height rider 120NBE
吊籃式高空作業車





- Sensor Based Planning Lab, Carnegie Mellon University [9] :

蛇狀機械手臂 (Serpentine Robot)

必須事先作路徑規劃，再驅動機械臂依路徑前進。目前的研究成果為桌上型之原型。



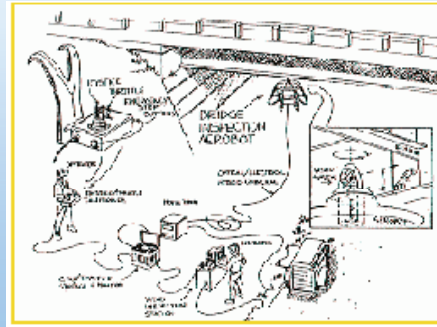
- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (French Public Works Research Laboratory) [10] :

採用小型遙控直升機裝置CCD執行橋面拍攝工作



- California Department of Transportation (Caltrans), USA [11] :

配備一攝影機，能夠垂直升空及降落，將攝影機置於欲檢視處 0.6 公尺範圍內，藉纖傳送視訊至地面基地。



- JLN Labs [12] :

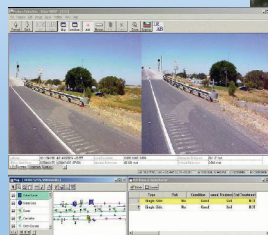
Jean-Louis Naudin發展遙控直升機，配備高解析度CCD執行橋梁檢測。



- 錄影實錄

道路影像收集之技術，依使用之設備可區分為

「Photologging」（影像實錄，以照相機沿途有間距地拍攝）及「Videologging」（錄影實錄，以攝影機連續拍攝）兩大類。



新澤西州錄影實錄調查車輛

- 目前影像實錄及錄影實錄之技術，主要應用於道路影像記錄方面，而其中技術可轉化應用於橋梁檢測上，藉由拍攝大量照片，完整記錄橋梁之影像，以確保資訊之完整性。
- 應用數位影像技術進行橋梁檢測，環境光線是重要因素。輔助照明設備可採鹵素燈或紅外線。

設計構想及軟硬體規劃



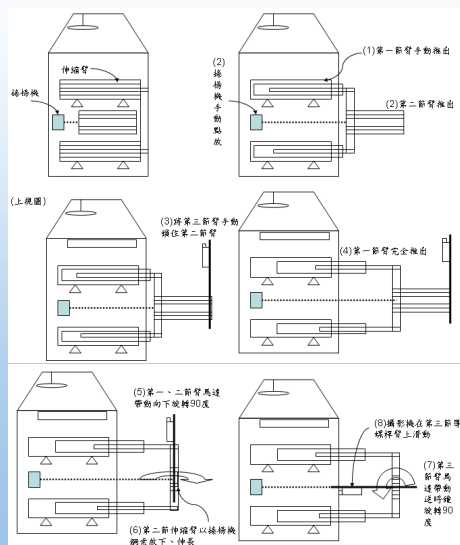
• 機械手臂設計

— 設計上考慮三個重點

1. 擴充/通用性，設計概念能延伸至雙向四車道橋梁檢測。
2. 收納性，可以收納至箱型車內，以保護各儀器設備。
3. 操作性，考慮所檢測之橋梁護欄所造成的操作阻礙。

— 思考六種版本設計，每一種版本都有其優點，在未來的改進構想中可配合不同空間及操作使用範圍作選擇及組合。

• 初版設計

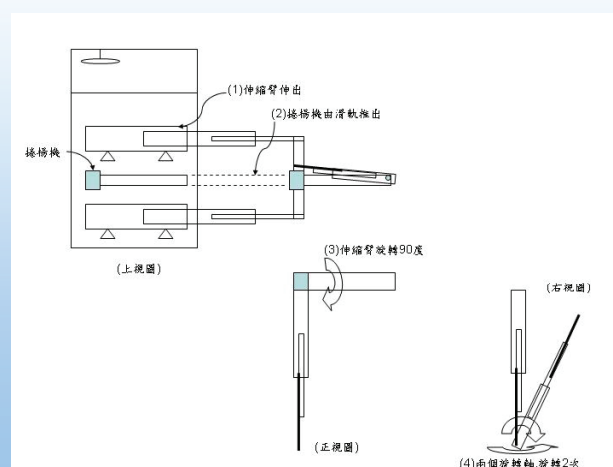


- 限制條件：

(1) 操作程序中須人工作業。

(2) 旋轉動力須配備減速機。依選用規格，減速比 1/100 ~ 1/900，重量 72 Kg；減速比 1/40 ~ 1/60，重量 20.2 Kg。減速機尺寸大，重量負荷過大。

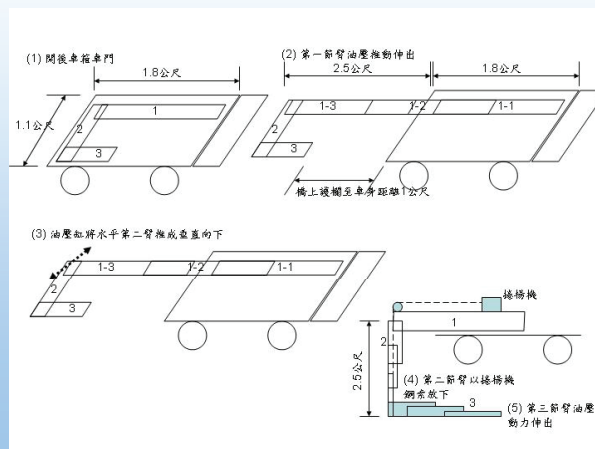
- 二版設計



- 限制條件：

- (1) 此設計需三個馬達及一個油壓伸縮動力，空間不足且重量亦過重。
- (2) 初版設計及二版設計中需將第二節臂以馬達帶動旋轉，對第一節臂末端造成極大之力矩。
- (3) 設計上未考慮收納性，以無後車箱的完全開放式貨車為載具。

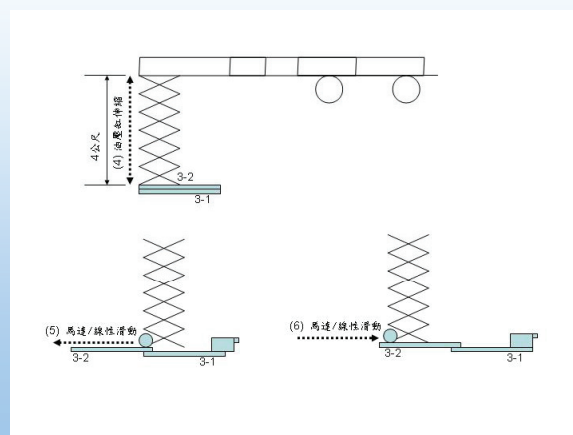
- 三版設計



- 限制條件：

- (1) 第二節臂為配合車廂寬度，長度不足以向橋面下延伸至足夠的深度來執行檢測作業。
- (2) 橋護欄之高度未考慮，第二節臂之設計長度須補償護欄高度。

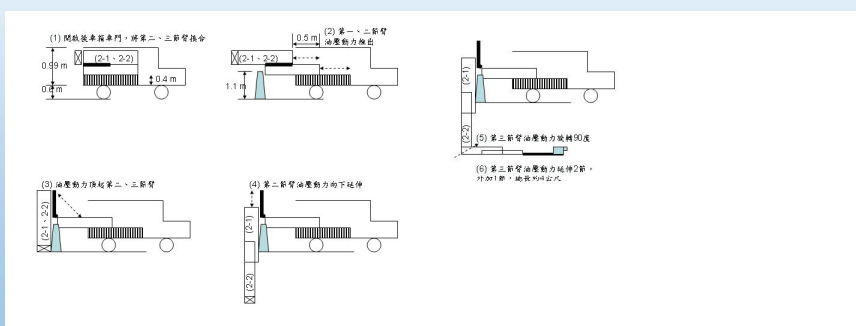
- 四版設計



• 限制條件：

(1) 剪刀式伸縮臂無法承受力矩。

• 五版設計





- 限制條件：

- (1) 此設計之作業空間初步能深入至橋中心。然而，在橋面下靠近橋邊緣處即無法檢測。
- (2) 考慮擴充/通用性，其作業空間需進一步加大。



- 六版設計

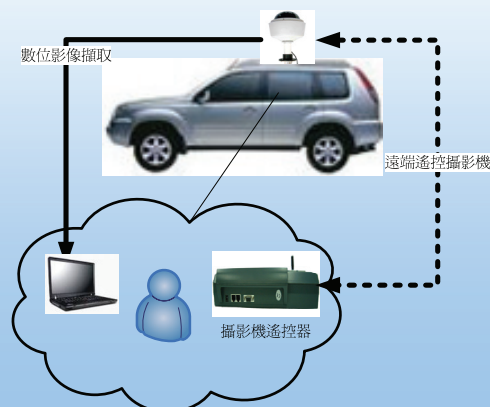
1. 將第一節臂之單一構件改為伸縮三節，藉由伸縮臂之伸縮以補償五版設計上未能檢測靠近橋梁邊緣之部份。
2. 第二節臂亦採用外加一固定長度結構臂之方式，以加大向橋面下垂直延伸之深度。

- 限制條件：

(1) 由於所選用之箱型車後車箱容積之限制(2公尺長、1.2公尺寬、1公尺高)，造成人工作業部份的份量增加。

- 車載橋梁目視檢測數位影像系統

紅外線攝影機：須能通用於附載機械手臂之橋梁檢測車及外業調查用檢測車兩種檢測方式。



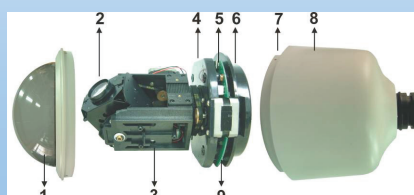
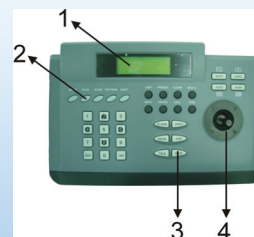
- SONY 360度鏡頭 Chameleon Eye [28]

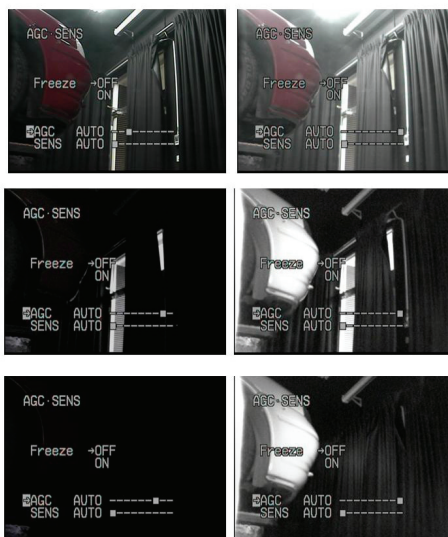
重量 320公克
最大仰角 66度
同步360度全景攝影
低照度 20Lux



- 22倍紅外線夜視Speed Dome攝影機

重量 3.5公斤
22倍光學及10倍數位伸縮鏡頭
最低照度 0.01Lux
水平360°連續旋轉
垂直90°旋轉
紅外線達 50公尺





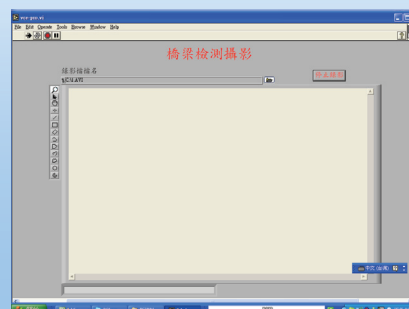
充足光源環境下
(左右圖分別在高低照度下)

微弱光源環境下
(左右圖分別在高低照度下)

沒有光源環境下
(左右圖分別在高低照度下)

即時數位連續影像擷取軟體

- LabVIEW軟體有強大功能的函式庫以節省程式撰寫和除錯所需時間。
- 影像辨識方面的功能擴充、方便性及功能性較VB或VC++等程式語言為優。



- 影像擷取軟體啟後即能就CCD所拍攝之連續影像進行單張之擷取工作。



機械手臂結構分析

- 機械手臂結構

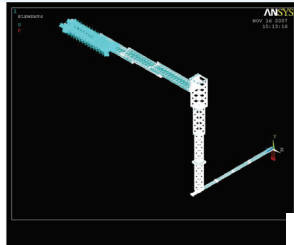
第1節臂最大向外延伸離車身外 4.1公尺

第2節臂最大向下垂直橋面下2.3公尺

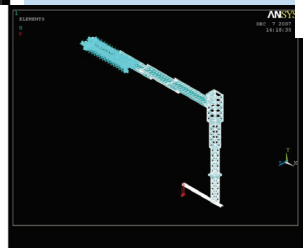
第3節臂最大深入橋面內2.9公尺



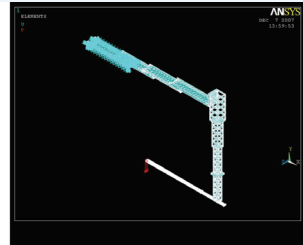
結構分析拘束條件及受力條件



第1個模擬位置



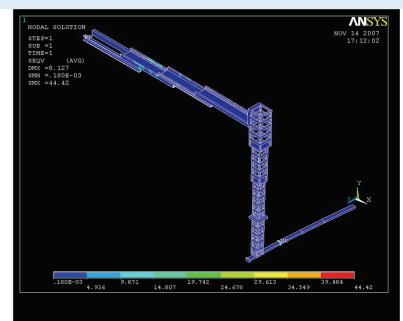
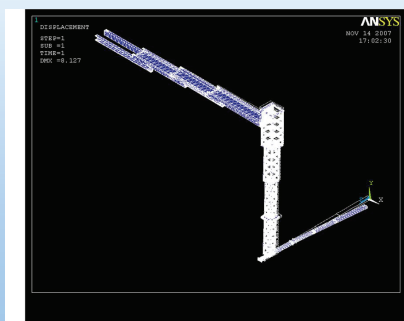
第2個模擬位置



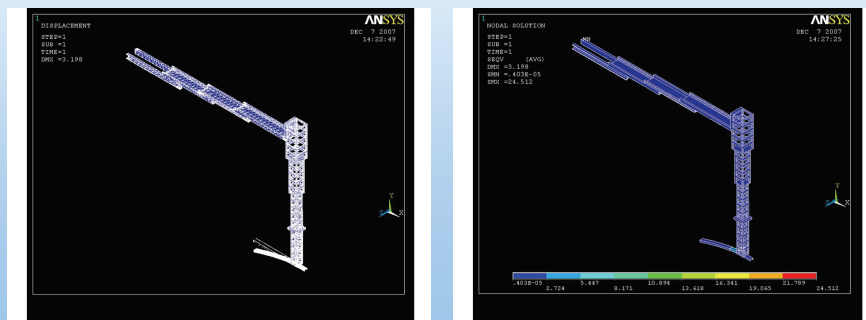
第3個模擬位置

• 靜態分析

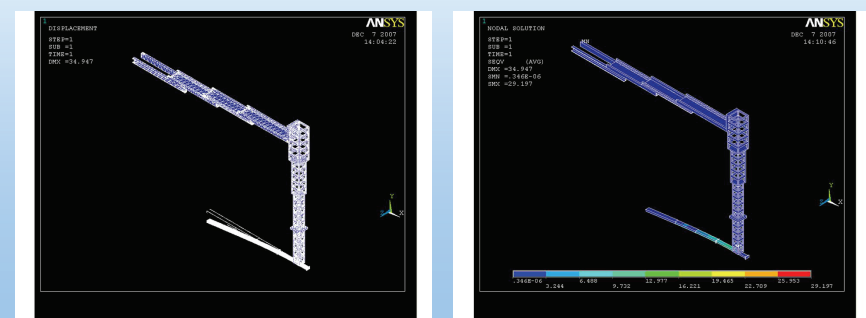
第1個模擬位置受力時之變形位移及應力分佈



第2個模擬位置受力時之變形位移及應力分佈

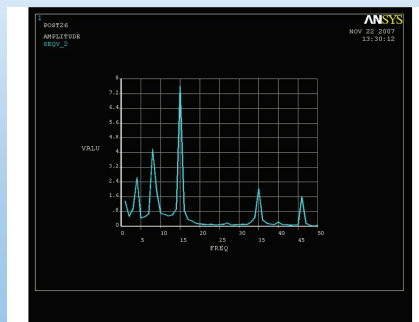
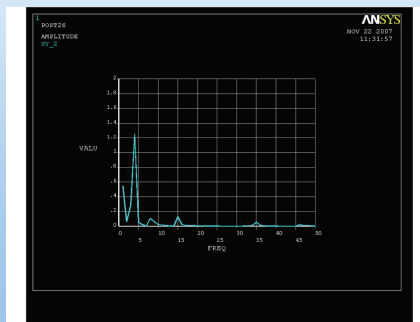


第3個模擬位置受力時之變形位移及應力分佈

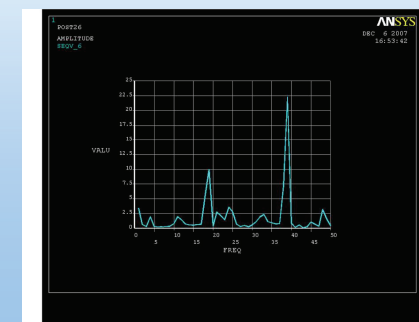
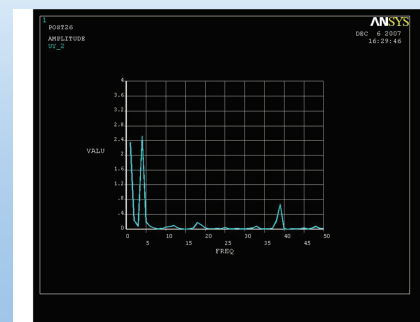


• 動態分析 - 簡諧振動(1~50Hz)

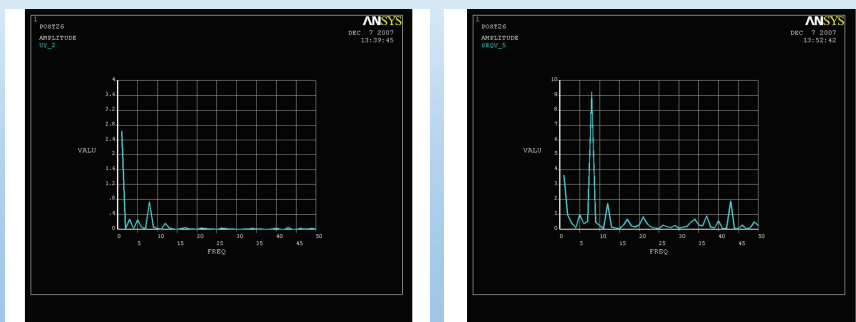
第1個模擬位置受力時之上下垂直向位移及最大應力處應力變化



第2個模擬位置受力時之上下垂直向位移及最大應力處應力變化



第3個模擬位置受力時之上下垂直向位移及最大應力處應力變化



橋梁檢測設備實測

- 橋梁檢測機械手臂

油壓源10公升容量，12V馬達驅動，手動閥控制。

作動時油壓流量每分鐘3公升，第1節臂油壓缸每分鐘伸長4公尺。



- 機械手臂第1、2、3節



- 機械手臂組裝後油壓推進測試



- 室外測試—第1節臂外推延伸



第2節臂旋轉90度



第2節臂向下延伸

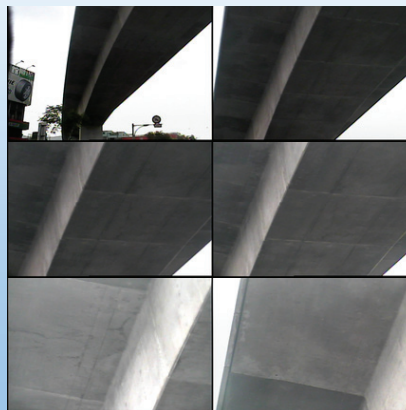


第3節臂旋轉90度

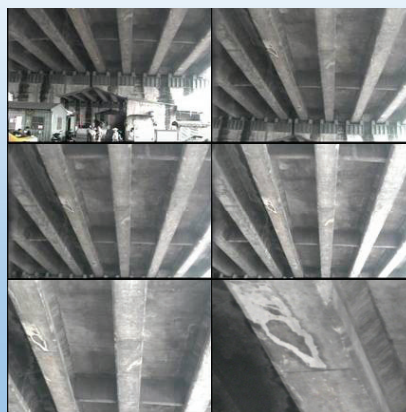
- 機械手臂操控中CCD同步攝影 -- 檢視機械臂操控振動時攝影品質



- 車載橋梁目視檢測數位影像系統
高鐵高架橋下測試



浮洲橋下測試



未來四車道檢測改進構想

• 機械手臂機構

	現況	未來構想
第1節臂	銅質三層疊加油壓伸縮 缺點：重量大	銅、鋁合金套管油壓伸縮 優點：高慣性矩截面減輕重量 缺點：油壓缸自行設計
第2節臂	鋁合金套管油壓伸縮 缺點：油壓缸自行設計、重量大	鋁合金套管捲揚機伸縮 優點：套管載面積小、重量輕
第3節臂	鋁合金套管油壓伸縮 缺點：重量大	鋁合金套管固定長度接合 優點：重量輕

• 承載車

	現況	未來構想
承載車	後門開啟小型客貨車 優點：輕便、體積小 缺點：後門開啟方式執行作業	小型貨車 優點：側面執行作業 缺點：後車廂自行設計
後車廂尺寸	2m×1.2m×1m	2.8m×1.6m×1.5m
輪胎	4PR	8PR
發電機	12V/70A	12V/95A

• 安全平衡

