

國家運輸安全調查委員會

重大運輸事故調查報告 第一冊

中華民國 108 年 10 月 1 日 南方澳大橋斷裂重大公路事故

報告編號:TTSB-HOR-20-11-001

報告日期:民國109年11月

本頁空白

摘要報告

民國 108 年 10 月 1 日 0930 時,南方澳大橋橋面斷裂崩塌,橋體包括橋面板、橋拱等向下墜落,掉落到南方澳漁港航道內。當時橋上一輛台灣中油股份有限公司油罐車正經由南方澳大橋前往南方澳漁友漁船加油站,亦隨斷裂之橋面墜落後起火燃燒。墜落之橋面壓毀3艘停靠於南方澳大橋下之漁船。本次事故共造成6名船員罹難,9名船員、1名油罐車駕駛員及3名執行搶救之人員受傷。

依據中華民國運輸事故調查法相關內容,國家運輸安全調查委員會(運安會)為負責本次運輸事故調查之獨立機關。受邀參與本次調查之機關(構)包括:交通部、交通部公路總局、交通部航港局、宜蘭縣政府、臺灣港務股份有限公司、亞新工程顧問股份有限公司等。

本事故「調查報告草案」於民國 109 年 9 月完成,依程序於民國 109 年 9 月 30 日經運安會第 16 次委員會議初審修正後函送相關機關 (構)提供意見;經彙整相關意見後,調查報告於民國 109 年 11 月 6 日經運安會第 18 次委員會議審議通過後,於民國 109 年 11 月 25 日發布調查報告。

本事故調查經綜合事實資料及分析結果,獲得之調查發現共計30項,運輸安全改善建議共計6項。

壹、調查發現

與可能肇因有關之調查發現

1. 南方澳大橋位於漁港出海口,屬重鹽害、高濕度區域。大橋於使用多年後,吊索系統防水設施逐漸劣化,中央分隔島金屬箱體與高密度聚乙烯(HDPE)套管之防水接縫封條發生硬質破壞,雨水沿 HDPE套管滲入槽狀之錨定機構而產生積水現象,橋面端錨與鋼絞線長時間處於具鹽分的積水環境中,造成積水線附近之鋼絞

線嚴重銹蝕,致使 10、11、12、13 號橋面端錨處之數束鋼絞線於 事故發生前陸續銹斷,吊索有效殘餘截面積僅剩約 22 至 27%。

- 2. 當中油油罐車行經大橋 10 號吊索附近,11 號吊索系統生銹鋼絞線之殘餘強度因無法承受負載而斷裂,接著相鄰之 10、12 號吊索及9、13 號吊索系統橋面端錨處之銹蝕鋼絞線陸續斷裂,後續造成8號錨頭,6 號錨頭及7號吊索,4、5 號錨頭,3 號錨頭,2 號錨頭,及1 號錨頭等其他吊索系統之連鎖破壞。
- 3. 大橋吊索系統開始破壞,橋面大梁鋼構應力隨著吊索破壞數目之 增加而逐漸上升,當吊索全數破壞時,橋面大梁鋼構已產生顯著 破壞,導致大橋斷裂崩塌。
- 4. 南方澳大橋為一雙叉式單拱設計之特殊性橋梁,重要承載構件如 吊索及端錨系統,皆位於拱架、套管,或大橋鋼箱梁等隱蔽處, 應依該橋結構力學行為及構件特殊性,定期執行特殊性橋梁檢測, 較能掌握橋梁結構之健全度。然事故發生前,我國橋梁屬性定位 及主管機關相關法規不完整,特殊性橋梁檢測方式及規範指引不 完備,且未落實執行,導致該橋於竣工後執行過之7次橋梁檢測 皆為定期目視檢測,且事故前3年7個月間,未有任何橋梁檢測 作業。

與風險有關之調查發現

- 南方澳大橋所屬道路多年來因不屬於公路系統,造成無公路法定 義之公路主管機關,依循交通部頒布之相關橋梁檢測及補強規範 進行檢測、評估、維修及補強作業,亦未針對南方澳大橋訂定特 殊性橋梁之檢測項目及檢測方式。
- 交通部依公路法僅主管國道及省道之養護,未包括所屬機關之港 區道路,造成該部轄下仍有如南方澳大橋之橋梁未納入維管範圍

之狀況。

- 3. 交通部航港局及臺灣港務公司皆非公路法定義之南方澳大橋公 路主管機關,未能了解橋梁相關維護及檢測方式,故多年來皆執 行一般性巡查及維護工作,未依交通部頒布之相關橋梁檢測及補 強規範針對南方澳大橋進行養護及檢測。
- 4. 事故前除交通部外,各部會橋梁養護機關未針對轄內橋梁,自行或參照公路橋梁檢測及補強相關規範,訂定特殊性橋梁之檢測及養護作業相關規範並據以執行特殊性橋梁檢測及養護作業。
- 5. 除交通部及地方政府所轄管之部分橋梁外,我國其他部會未有與 交通部相同或相對完整之公路橋梁養護及檢測法規或規範。全國 橋梁未有統一之養護及檢測機制,可能造成國內某些橋梁未能有 效執行檢測、評估、維修及補強作業的風險。
- 6. 事故前交通部雖已頒布「公路橋梁檢測及補強規範」做為公路主 管機關執行橋梁檢測、評估、維修及補強作業的依據。然該規範 係著重於一般性橋梁之檢測及補強,對於類似南方澳大橋之特殊 性橋梁之檢測及補強,較無相關規定及指引,乃交由公路養護管 理機關、公路養護單位依橋梁特性、現地狀況及養護條件另訂檢 測及養護規定。
- 7. 南方澳大橋重要構件多數設置於拱架、鋼箱梁或套管內,僅靠外部之目視檢測甚難發現內部劣化情形,檢視「交通部公路橋梁檢測人員資格與培訓要點」中之培訓課程內容,未有特殊性橋梁檢測相關課程,實橋檢測訓練亦未教導學員需進入箱梁或拱架等局限空間內進行檢測,無法確保檢測人員具有辦理特殊性橋梁檢測之能力。
- 8. 勘查結果顯示,大橋之13組橋面錨定機構內、外壁有不同程度之 乾漬水痕,部分低邊鋼板上緣及外壁有溢出之乾漬水痕及銹蝕現

- 象,顯示錨定機構內曾發生積水狀況。
- 9. 材料試驗結果顯示,大橋吊索系統之鋼絞線成分有所差異,可能 來自不同商源或不同批次之產品,但其強度及硬度差異不大。而 鋼絞線表面鍍鋅層厚度不均勻,可能影響耐蝕性。
- 10. 拉伸試驗結果顯示,13 股吊索中,除5 號吊索因銹蝕總負載殘餘 強度較低,其餘吊索總負載殘餘強度均大於合格標準351.36 公噸。
- 11. 拉伸試驗結果顯示,10 號上錨頭於拉伸負載達 262.42 公噸時斷 裂,11 號上錨頭於拉伸負載達 319.88 公噸時斷裂,殘餘強度未達 美國後拉法預力學會(PTI)測試規範之規定。
- 12. 南方澳大橋竣工圖中所記載之端錨系統,除尺寸標示有遺漏或誤植之情形,與實際施工狀況亦有差異,影響後續橋梁養護及檢測工作之評估、規劃與執行。

其他調查發現

- 事故當日凌晨,臺灣地區發生1起蘇澳氣象站測得震度為1級之 有感地震,及事故發生時南方澳受到颱風及其外圍環流影響,對 大橋結構應無影響。
- 經勘查與檢視主橋拱架、吊索、端錨、橋面大梁等關鍵證物,及 後續關鍵證物檢測與試驗均無發現疲勞破壞特徵。
- 3. 竣工圖資料顯示橋面U型加勁板接頭處需採全滲透銲接,現場勘查實際施工情況採增設端板,並以填角銲方式處理。然依大橋實際破壞過程順序,上述竣工圖與實際施工結果不符之情況,與大橋斷裂無直接的關係。
- 4. 大橋鋪面載重分析結果顯示,平均厚度 12.5 公分之實際鋪面與平均厚度 8.6 公分之竣工圖設計鋪面,兩者吊索拉力對實際拉伸極限負載百分比差距最大僅約 2.5 %左右。

- 5. 材料分析結果顯示,大橋錨頭成分符合 JIS G4051 S45C 規格,降 伏強度約 338 MPa,抗拉強度約 674 MPa。
- 6. 經結構分析軟體模擬,在設計車載作用下,若吊索未銹蝕且錨頭 強度為設計值,吊索容許斷裂股數約為2至4股;若錨頭強度為 實際殘餘強度,則吊索容許斷裂股數約為1至3股。
- 7. 經結構分析軟體模擬,設計車載造成吊索最大拉力約為極限負載 之 49.1%,消波塊與土方車載造成吊索最大拉力約分別為極限負 載之 43.0%與 41.8%,顯示消波塊與土方之載運對吊索與鋼構受 力之影響並未超出設計車載之範圍。
- 8. 大橋各吊索外部均以HDPE套管包覆,錨頭亦在拱圈及橋面內部, 鋼絞線及錨頭破壞發生在內部,大橋斷裂影片僅能呈現斷橋部份 狀況,無法得知實際破壞位置及失效相對順序。
- 9. 檢視南方澳大橋端錨系統之各構件,與法西奈民國 109 年提供之 錨頭照片及該公司端錨系統 1999 年版之產品說明不同。南方澳 大橋之端錨系統,可能不是使用竣工圖記載之法西奈預力系統。
- 10. 調查小組於事故調查過程中陸續向相關單位索取橋梁規劃、興建、施工、監造、檢測、驗收等文件資料,然因時間久遠文件保存單位已將文件銷毀,或是因火災等因素滅失,最主要之文件包括橋梁結構計算書、施工計劃書、工地銲接施工說明書、材料測試文件、材料進口報關審驗文件等已無法取得。
- 事故發生前,臺灣地區橋梁管理資訊系統對於橋梁逾期未檢之情形,未有提醒機制。
- 12. 民國 105 年 11 月後,南方澳大橋於臺灣地區橋梁管理資訊系統 內之管理機關由宜蘭縣政府更改為臺灣港務公司,由於臺灣港務 公司並非「臺灣地區橋梁維護管理作業督導考核及評鑑實施要點」

中之督導考核或評鑑對象,故未能藉由督導考核或評鑑作業過程,發覺南方澳大橋未依時程進行定期檢測。

- 13. 臺灣港務公司辦理堤防消波塊運輸工程時,載運 40 公噸雙 T 消波塊工程所使用之載運車輛為前單軸後單軸曳引車,連結後雙軸半拖車,加上載運板車之重量,總重達 54 公噸,超過道路交通安全規則之限制。工程執行單位未依規定向公路監理機關申請核發臨時通行證,未評估超載之消波塊車輛是否會影響橋梁荷重。
- 14. 南方澳大橋斷裂後之路面鑽心檢測厚度平均為 12.5 公分,歷年與橋梁鋪面相關之工程,僅有於民國 106 年辦理 1 次「南方澳大橋與銜接引道段既有道路鋪面及伸縮縫改善」工程,檢視工程驗收相關紀錄,該工程應無明顯超鋪之狀況,而其他工程皆屬路面修補小工程,不會影響整體鋪面厚度,惟依據調查小組所收集之資料,無法判斷橋面平均厚度高於設計值之原因。

貳、運輸安全改善建議

致各橋梁主管機關(交通部高速公路局、交通部公路總局、交通部觀光局、交通部民用航空局、交通部航港局、桃園國際機場股份有限公司、臺灣港務股份有限公司、內政部、教育部、經濟部、文化部、科技部、行政院農業委員會、原住民族委員會、國軍退除役官兵輔導委員會、基隆市政府、臺北市政府、新北市政府、桃園市政府、新竹縣政府、新竹市政府、苗栗縣政府、臺中市政府、彰化縣政府、南投縣政府、新竹市政府、嘉義縣政府、臺中市政府、彰北縣政府、高雄市政府、雲林縣政府、嘉義縣政府、嘉義市政府、臺東縣政府、高雄市政府、屏東縣政府、宜蘭縣政府、花蓮縣政府、臺東縣政府、澎湖縣政府、金門縣政府、連江縣政府)

 盡速依照行政院院頒「橋梁維護管理作業要點」,辦理橋梁檢測、 維修、補強、資料建置與開放等橋梁維護管理工作,並確實執行 督導及考核。訂定轄管特殊性橋梁維護管理作業計畫,並建立橋 梁檢測人員資格評鑑機制,以確保橋梁檢測作業能有效執行。

致交通部

- 盤點所屬單位轄下所有橋梁,納管未歸類於公路系統之橋梁並建立養護機制。
- 檢討「交通部公路橋梁檢測人員資格與培訓要點」,針對特殊性橋 梁檢測之培訓課程內容,提供橋梁檢測人員適當之特殊性橋梁檢 測方式及訓練,提升檢測人員辦理特殊性橋梁檢測之能力。

致宜蘭縣政府

- 1. 持續提升對公共工程施工品質之要求,強化品質管理人員對公共工程必要專業知識及施工細節之熟悉程度,確保公共工程施工成果符合其設計及規範之品質要求。
- 2. 強化機關檔案保存及銷毀機制,即時依「機關共通性檔案保存年限基準」 異動情形修訂相關規定,確保機關檔案依規定保存及銷毀。

致亞新工程顧問股份有限公司

1. 依工程技術以及最新相關規範之演進及發展,持續強化工程監造之嚴謹度,要求監造人員熟悉所監造工程之必要專業知識及施工細節,確保工程材料、構件之選用與施工,及施工廠商竣工圖之製作,符合相關設計圖要求及施工規範。

目錄

摘要報告.		i
附錄		xiv
圖目錄		XV
表目錄		xxi
常用中英	文名詞暨縮寫對照表	xxii
第1章	事實資料	1
1.1	事故經過及救援	1
1.2	人員傷害	3
1.3	橋梁損害情況	3
1.4	其他損害情況	4
1.4.1	車輛撞擊及損害情況	4
1.4.2	漁船撞擊及損害情況	5
1.5	紀錄器	6
1.5.1	車載紀錄器資料	6
1.5.2	影像資料	6
1.6	天氣及地震資料	9
1.6.1	天氣概述	9
1.6.2	地面觀測資料	11
1.6.3	地震資料	13
1.7	橋梁資料	14
1.7.1	橋梁設計與興建	14
1.7.2	橋梁位置及基本資料	15
1.7.3	主橋結構	15
1.7	'.3.1 主橋拱架	19
1.7	'.3.2 主橋吊索	21
1.7	'.3.3 主橋端錨系統	22
1.7	'.3.4 主橋繋梁	26
1.7	'.3.5 主橋橋面大梁及其他結構	28
1.7	'.3.6 主橋架設方法	33
1.8	現場量測資料	36
1.9	橋梁損害勘查結果	
1.9.1	主橋吊索事故後現場狀況	42
1.9.2		
1.9	D.2.1 拱圈與拱柱之斷裂	47
1.9	1.2.2 靠陸側(P6 橋墩)拱柱之損害情形	47

1.9.2.3 靠海側 (P7 橋墩) 拱柱之損害情形	48
1.9.2.4 吊索穿過拱圈鋼板之銹蝕勘查結果	49
1.9.2.5 拱架油漆保護勘查結果	50
1.9.2.6 拱架鋼板銲接勘查結果	50
1.9.3 主橋吊索與端錨系統之勘查結果	52
1.9.3.1 主橋吊索之損害資料	52
1.9.3.2 主橋端錨系統之損害資料	54
1.9.3.3 吊索套管損害情形	62
1.9.4 主橋繋梁之勘查結果	63
1.9.4.1 繫梁前段之損害情形	63
1.9.4.2 繫梁後段之損害情形	65
1.9.5 橋面大梁及其他相關結構配置之勘查結果	66
1.9.5.1 橋面大梁之勘查結果	66
1.9.5.2 大梁錨定區勘查結果	71
1.9.5.3 支承處勘查結果	81
1.10 測試與研究	81
1.10.1 鋼絞線拉伸試驗	81
1.10.2 事故橋梁錨頭非破壞探傷檢測	85
1.10.3 端錨及吊索系統測試規範	88
1.10.4 新製錨頭拉伸試驗	88
1.10.5 事故橋梁錨頭拉伸試驗	91
1.10.6 斷裂鋼絞線及錨頭之材料試驗	94
1.10.7 橋面瀝青鋪面鑽心取樣	96
1.11 橋梁維修、檢測及使用	97
1.11.1 橋梁維修	97
1.11.1.1 保固期滿前維修	98
1.11.1.2 保固期滿後續維修	98
1.11.2 橋梁檢測	100
1.11.3 橋梁監測	106
1.11.4 橋梁使用	107
1.11.4.1 消波塊載運工程	107
1.11.4.2 土方載運工程	114
1.11.4.3 消波塊及土方總載運統計	116
1.12 組織與管理	117
1.12.1 橋梁維護及管理	
1.12.1.1 南方澳大橋之維管機關	
1.12.1.2 臺灣地區橋梁資訊管理系統	

1.12.2	橋梁維護管理之相關規範	119
1.12.	2.1 橋梁檢測與補強規範	120
1.12.	2.2 橋梁檢測及維護方法	121
1.12.	2.3 車輛載重相關規範	124
1.12.	2.4 道路鋪面改善工程規範	128
1.12.3	橋梁資料之保存	128
1.12.	3.1 南方澳大橋橋梁紀錄	128
1.12.	3.2 相關單位資料保存	129
1.13 訪	談資料	131
1.13.1	亞新南方澳大橋興建規劃設計工程師	131
1.13.2	亞新南方澳大橋興建監造工程師	135
1.13.3	中國非破壞檢測檢驗師	139
1.13.4	宜蘭縣政府南方澳大橋工程承辦人	140
1.13.5	基隆港務分公司蘇澳港營運處主管	143
1.13.6	公路總局養路組設計科主管	145
1.13.7	公路總局監理組承辦人(1)	149
1.13.8	公路總局監理組承辦人(2)	150
1.13.9	交通部路政司承辦人	
1.13.10	交通部航政司主管	159
1.13.11	交通部技監室承辦人	164
1.13.12	公路總局第四區養護工程處承辦人	168
1.13.13	臺灣地區橋梁管理資訊系統維護團隊成員	173
1.13.14	宜蘭縣政府檔案管理承辦人	178
1.14 橋	梁歷程	180
第2章 分	析	189
2.1 主	橋吊索系統失效分析	
2.1.1	主橋吊索系統破壞模式	
2.1.2	鋼絞線拉伸試驗分析	
2.1.3	鋼絞線材料試驗分析	
2.1.4	錨頭拉伸試驗	198
2.1.5	上下端錨設計差異分析	199
2.1.6	錨頭設計與強度分析	202
2.2 主	橋端錨系統	206
2.2.1	端錨系統竣工圖	
2.2.2	端錨防銹防水之考量	
2.2.3	端錨系統來源	213
2.3 主	橋失效順序分析	215

2.3.1	結構分析之參數設定	216
2.3.2	實際鋪面厚度對大橋影響	222
2.3.3	主橋設計載重分析	225
2.3.3.1	設計車載重分析	225
2.3.3.2	載運消波塊車載重分析	227
2.3.3.3	載運土方車載重分析	229
2.3.3.4	小結	231
2.3.4	主橋吊索容許斷裂股數分析	232
2.3.4.1	依錨頭設計強度分析吊索容許斷裂股數	233
2.3.4.2	依錨頭實際拉伸強度分析吊索容許斷裂股數	236
2.3.4.3	小結	239
2.3.5	主橋破壞失效分析	240
2.3.5.1	橋面銹蝕鋼絞線殘餘強度估算	240
2.3.5.2	橋梁破壞前油罐車對吊索拉力之影響	244
2.3.5.3	吊索連鎖破壞模式	246
2.3.5.4	檢核各階段橋梁鋼構應力	258
2.3.5.5	小結	262
2.4 橋梁	維護與管理	262
2.4.1	橋梁維管法規	262
2.4.2	國際商港公共基礎設施維管機制	
2.4.3	交通部外各部會橋梁維管機制	265
2.5 橋梁	檢測	
2.5.1	宜蘭縣政府歷年檢測情形	
2.5.2	民國 105 年後之檢測情形	
2.5.3	橋梁檢測人員資格及培訓	
	其他議題	
2.6.1	維管單位之管理	
2.6.2	瀝青鋪面高度	
•		
	能肇因有關之調查發現	
	險有關之調查發現	
	調查發現	
	安全改善建議	
_	建議	
_	成或進行中之改善措施	
附件1 亞新工	-程顧問股份有限公司對調查報告草案之回覆意見	284
附件2交通部	『航港局對調查報告草案之回覆意見	293

附件3	喜灣滋務股份有限	公司對調查報告草案之回覆意見	298
ט דו ניוו	「牟」(5/センイガ/1X ノ) /月 12	公 可 到	

附錄

所有附錄內容收錄本案調查報告第二冊中。

附錄 1 吊索勘查紀錄

附錄 2 鋼箱梁勘查紀錄

附錄 3 鋼絞線拉伸試驗報告

附錄 4 材料檢測與試驗報告

附錄 5 法西奈說明文件

圖目錄

圖	1.1-1	南方澳大橋斷裂情形(一)	1
圖	1.1-2	南方澳大橋斷裂情形(二)	2
圖	1.1-3	事故救災狀況	3
圖	1.3-1	橋梁損害情形	4
圖	1.4-1	受損之油罐車	4
圖	1.4-2	新臺勝 33 號漁船沉於航道內吊掛置放於碼頭	
圖	1.4-3	新臺勝 266 號漁船沉於航道內吊掛置放於碼頭	5
圖	1.4-4	吊掛置放於碼頭之新臺勝 366 號漁船	6
圖	1.5-1	監視錄影設備與南方澳大橋位置關係	7
圖	1.5-2	09:30:02.77 時監視錄影畫面	7
圖	1.5-3	09:30:02.80 時監視錄影畫面	8
圖	1.5-4	09:30:03.03 時監視錄影畫面	8
圖	1.5-5	09:30:03.27 時監視錄影畫面	9
圖	1.6-1	0800 時中央氣象局地面天氣圖	10
圖	1.6-2	0800 時中央氣象局颱風路徑潛勢預報圖	11
圖	1.6-3	臺灣沿岸 2013 一年期濕潤時間及氣鹽沉積速率圖	12
圖	1.6-4	9月28日0時至10月1日12時風速資料	13
圖	1.6-5	9月28日0時至10月1日12時風向資料	13
圖	1.6-6	中央氣象局地震報告	14
圖	1.7-1	南方澳大橋位置圖	15
圖	1.7-2	主橋結構示意圖	16
圖	1.7-3	主橋立面及平面圖	17
圖	1.7-4	主橋拱架之拱圈及拱柱	20
圖	1.7-5	主橋拱架平面圖	20
圖	1.7-6	拱圈及拱柱剖面圖	21
邑	1.7-7	主橋拱架結構圖	22
圖	1.7-8	南方澳大橋竣工圖端錨(固定端)構造	23
邑	1.7-9	南方澳大橋竣工圖端錨(施拉端)構造	23
圖	1.7-10	端錨系統之之錨定機構組立剖面圖	25
圖	1.7-11	開孔數 14 及 19 之錨頭	25
圖	1.7-12	錨頭夾片	26
圖	1.7-13	主橋繋梁配置圖	28
邑	1.7-14	主橋橋面大梁斷面無隔板配置圖	29
邑	1.7-15	主橋橋面大梁斷面有隔板配置圖	29
圖	1.7-16	主橋隔板配置圖	30

圖	1.7-17	剪力鋼棒剖面圖	.30
圖	1.7-18	剪力鋼棒詳圖	.31
圖	1.7-19	750 公頓單向活動型鋼支承設計圖	.32
圖	1.7-20	瀝青鋪面斷面圖	
圖	1.7-21	主橋組裝示意圖	.36
圖	1.8-1	事故現場位置示意圖	.37
圖	1.8-2	無人機測繪正射影像圖	.37
圖	1.8-3	無人機測繪正射影像圖(東岸搜救作業區)	.38
圖	1.8-4	無人機測繪三維點雲資料	
圖	1.8-5	事故後東側橋墩結構損傷情形	.39
圖	1.8-6	事故後西側橋墩結構損傷情形	.39
圖	1.8-7	國震中心 LiDAR 三維點雲成果	.40
圖	1.8-8	殘存之主橋吊索	.41
圖	1.8-9	殘存主拱吊索之 LiDAR 三維點雲	.41
圖	1.8-10	主橋拱圈傾倒情形	.42
圖	1.9-1	事故後 13 股吊索的殘留狀況	.43
圖	1.9-2	事故後吊索狀況	.44
圖	1.9-3	浸水吊索與水線套疊示意圖	.44
置	1.9-4	第1-9 號吊索入水狀況(面北)	.45
置	1.9-5	第 1-7 號吊索入水狀況 (面南)	.45
置	1.9-6	第 7-13 號吊索入水狀況 (面北)	.46
置	1.9-7	第 9-13 號吊索入水狀況 (面南)	.46
圖	1.9-8	倒塌後之拱架	.47
圖	1.9-9	靠陸側拱柱之落橋損害照片	.48
邑	1.9-10	靠海側拱柱之落橋損害照片	.48
邑	1.9-11	靠海側之拱柱斷裂面照片	.49
圖	1.9-12	拱圈吊索開口照片	.50
邑	1.9-13	拱架表面油漆情形	.50
邑	1.9-14	拱柱內側銲道情形	.51
圖	1.9-15	拱架斷裂表面銲道情形	.51
邑	1.9-16	落橋時吊索破壞型態	.54
置	1.9-17	事故橋梁之上下端錨構造圖	.55
置	1.9-18	錨頭未使用孔位	.61
圖	1.9-19	錨頭壓痕偏心現象	.61
圖	1.9-20	鋼絞線與錨頭脫離	.62
圖	1.9-21	吊索套管破壞狀況	.63
圖	1.9-22	繋梁前端之損害照片	.65

昌	1.9-23	繋梁後端之損害照片	66
圖	1.9-24	橋面大梁拆除切割位置示意圖	
圖	1.9-25	C3-2、C4 節塊連接斷面圖 (西側)	68
圖	1.9-26	C3-2、C4 節塊連接斷面圖 (東側)	68
圖	1.9-27	橋面大梁掉落撞擊損壞照片	70
圖	1.9-28	U型加勁板之現場接縫斷裂	71
圖	1.9-29	橋面大梁錨定區之結構示意圖	72
圖	1.9-30	橋面大梁銹蝕情形	73
圖	1.10-1	鋼絞線取樣示意圖	83
圖	1.10-2	鋼絞線試驗件	83
置	1.10-3	拉伸試驗機台及斷裂鋼絞線	84
邑	1.10-4	拉伸試驗完成之斷裂鋼絞線	84
圖	1.10-5	錨頭檢測區域	85
置	1.10-6	螢光探傷檢測	86
置	1.10-7	10 號上錨頭側面之表面裂紋	87
置	1.10-8	12 號上錨頭側面之表面裂紋	87
置	1.10-9	新舊錨頭之比較圖	90
置	1.10-10	新製錨頭及新製夾片	90
邑	1.10-11	錨頭開孔與實際安裝之鋼絞線	91
置	1.10-12	新製錨頭拉伸試驗照片	91
邑	1.10-13	10 號上錨頭拉伸試驗照片	92
置	1.10-14	錨頭開孔與實際安裝之鋼絞線	92
圖	1.10-15	心線脫離鋼絞線	93
置	1.10-16	拉伸試驗後之照片	93
置	1.10-17	鑽心位置示意圖	96
邑	1.10-18	鋪面厚度俯視示意圖	
邑	1.11-1	監測系統儀器布設圖 (一)	
邑	1.11-2	監測系統儀器布設圖 (二)	.107
邑	1.11-3	蘇澳港堤防及公共道路舖面等改善整修工程載運路線	.108
邑	1.11-4	蘇澳港堤防及公共道路舖面等改善整修工程載運消波塊車輛	丙
	•••••		
邑	1.11-5	蘇澳港豆腐岬潛堤及設施工程載運路線	
	1.11-6	蘇澳港豆腐岬潛堤及設施工程載運消波塊車輛	
	1.11-7	蘇澳港外廓防波堤災損修復工程載運路線	
. •	1.11-8	蘇澳港外廓防波堤災損修復工程載運消波塊車輛	
	1.11-9	蘇澳港填方區封堵、海堤修復工程載運路線	
圖	1.11-10	蘇澳港填方區封堵、海堤修復工程載運消波塊車輛	.114

置	1.11-11	蘇澳港第四港渠位置圖	.115
邑	1.12-1	我國公路橋梁相關規範演進圖	.121
圖	2.1-1	吊索系統破壞模式示意圖	.192
圖	2.1-2	上錨頭損害照片	.193
圖	2.1-3	下錨頭損害照片	.194
圖	2.1-4	第12號吊索橋面端殘留鋼絞線外觀照片	.196
圖	2.1-5	橋面 L1 鋼絞線與上端 U1 鋼絞線斷裂處	.197
圖	2.1-6	上端 U1 鋼絞線芯線與橋面 L1 鋼絞線芯線	.197
圖	2.1-7	同一束鋼絞線上下端之高倍率金相照片	.198
圖	2.1-8	上端錨與下端錨之差異	.200
邑	2.1-9	上錨頭破壞有限元素分析	.201
邑	2.1-10	下錨頭破壞有限元素分析	.202
邑	2.1-11	錨頭有限元素分析 (開孔間距 30 毫米)	.203
邑	2.1-12	錨頭有限元素分析 (開孔間距 33 毫米)	.203
圖	2.1-13	錨頭有限元素分析(承壓板孔徑)	.204
邑	2.1-14	錨頭有限元素分析(錨頭厚度)	.204
邑	2.1-15	錨頭有限元素分析(承壓板偏心)	.204
圖	2.1-16	上下錨頭有限元素分析	.205
邑	2.1-17	14 孔錨頭有限元素分析	.205
圖	2.1-18	19 孔錨頭有限元素分析	.206
邑	2.2-1	設計圖及竣工圖上、下端錨組立剖面圖	.207
圖	2.2-2	上端錨竣工圖與實際施工方式圖	.208
邑	2.2-3	下端錨竣工圖與實際施工方式圖	.209
圖	2.2-4	鋼絞線的防銹處理示意圖	.211
圖	2.2-5	端錨錨定機構出現積水之示意圖	.212
邑	2.2-6	11 號橋面錨定機構照片及積水示意對照圖	.213
邑	2.2-7	法西奈提供之錨頭產品照片	.214
邑	2.2-8	法西奈提供之端錨系統說明	.214
邑	2.3-1	吊索受 HDPE 套管包覆狀況	.215
圖	2.3-2	P6 橋墩邊界條件	.217
邑	2.3-3	P7 橋墩邊界條件	.217
邑	2.3-4	主橋分析模型節點	.218
邑	2.3-5	主橋分析模型桿件	.218
邑	2.3-6	採樣位置1之實際鋪面分布重量	.221
圖	2.3-7	採樣位置2之實際鋪面分布重量	.221
置	2.3-8	採樣位置3之實際鋪面分布重量	.221
圖	2.3-9	竣工圖鋪面之吊索拉力分布圖	

圖	2.3-10	實際量測鋪面影響之吊索拉力分布圖	223
圖	2.3-11	設計車載重之吊索拉力分布圖	
圖	2.3-12	設計車載重之鋼構應力分布圖	227
圖	2.3-13	加入載運消波塊車載重之吊索拉力分布圖	229
圖	2.3-14	加入載運消波塊車載重之鋼構應力分布圖	229
圖	2.3-15	加入載運土方車載重之吊索拉力分布圖	231
圖	2.3-16	加入載運土方車載重之鋼構應力分布圖	231
邑	2.3-17(a)) 拆除 2、3、4 號吊索後其他吊索受力	233
圖	2.3-17(b)) 拆除 2、3、4、5 號吊索後其他吊索受力	233
圖	2.3-18	拆除1、3、4號吊索後其他吊索受力	234
邑	2.3-19(a)) 拆除 5、6、8、9 號吊索後其他吊索受力	234
圖	2.3-19(b)) 拆除 4、5、6、8 與 9 號吊索後其他吊索受力	235
邑	2.3-19(c)) 拆除 5、6、8、9、10 號吊索後其他吊索受力	235
圖	2.3-20	拆除9、11、12吊索後其他吊索受力	236
圖	2.3-21	拆除 10、12、13 號吊索後其他吊索受力	236
圖	2.3-22	拆除2、3、4號吊索後其他吊索受力	237
圖	2.3-23	拆除1、3號吊索後其他吊索受力	237
圖	2.3-24	拆除 5、6、8、9 號吊索後其他吊索受力	238
圖	2.3-25	拆除 9、11 號吊索後其他吊索受力	238
邑	2.3-26	拆除 10、12、13 號吊索後其他吊索受力	239
邑	2.3-27	橋面鋼絞線銹蝕情況	
邑	2.3-28(a)		
邑	2.3-28(b)		
邑	2.3-29	油罐車達第10號吊索之橋梁變位	247
邑	2.3-30(a)		
邑	2.3-30(b)) 11 號吊索移除後橋梁變位	248
邑	2.3-31(a)		
圖	2.3-31(b)		
邑	2.3-32(a)) 9、13 號吊索斷裂後吊索拉力	249
邑	2.3-32(b)		
圖	2.3-33(a)) 8號吊索移除後吊索受力	250
邑	2.3-33(b)		
	2.3-34(a)		
	2.3-34(b)		
	2.3-35(a)		
邑	2.3-35(b)) 4、5 號吊索移除後橋梁變位	253
昌	2.3-36(a)) 3號吊索移除後吊索受力	253

圖 2.3-36(b)	3 號吊索移除後橋梁變位	254
圖 2.3-37(a)	2號吊索移除後吊索受力	254
圖 2.3-37(b)	2 號吊索移除後橋梁變位	255
圖 2.3-38(a)	剩餘1至5號吊索時鋼構斷面上緣應力	259
圖 2.3-38(b)	剩餘1至5號吊索時鋼構斷面下緣應力	259
圖 2.3-39(a)	剩餘1至2號吊索時鋼構斷面上緣應力	260
圖 2.3-39(b)	剩餘1至2號吊索時鋼構斷面下緣應力	260
圖 2.3-40(a)	吊索全部失效時鋼構斷面上緣應力	261
圖 2.3-40(b)	吊索全部失效時鋼構斷面下緣應力	261

表目錄

表 1.6-1	蘇澳氣象站自民國 99 至 108 年測得下雨日數及年雨量	12
表 1.7-1	吊索資料	22
表 1.7-2	級配料規格	33
表 1.9-1	吊索斷裂、銹蝕情況	53
表 1.9-2	端錨系統受損情況	56
表 1.10-1	橋面錨定結構及橋面端錨勘查照片	74
表 1.10-2	鑽心檢測報告及現場量測數據	97
表 1.11-1	鋪設完成後鑽心檢測結果	99
表 1.11-2	橋梁劣化狀況之檢測評等準則	101
表 1.11-3	歷年南方澳大橋 DERU 目視檢測紀錄	102
表 1.11-4	蘇澳港堤防及公共道路舖面等改善整修工程載運統計表	109
表 1.11-5	蘇澳港豆腐岬潛堤及設施工程載運統計表	110
表 1.11-6	蘇澳港外廓防波堤災損修復工程載運統計表	112
表 1.11-7	蘇澳港填方區封堵、海堤修復工程載運統計	114
表 1.11-8	總載運土方重量統計表	116
表 1.11-9	經過南方澳大橋工程總載運時程表	117
表 1.12-1	各規範橋梁檢測及維護方法比較	122
表 1.14-1	南方澳大橋橋梁歷程	180
表 2.3-1	節點及桿件編號表	
表 2.3-2	靜載重統整表	
表 2.3-3	未銹蝕吊索及錨頭實際拉伸強度	222
表 2.3-4	竣工圖及實際量測鋪面分析結果比較	224
表 2.3-5	加入設計車載重後數值比較	226
表 2.3-6	加入載運消波塊車載重後數值比較	228
表 2.3-7	加入載運土方車載重後數值比較	230
表 2.3-8	各項車載重比較結果	232
表 2.3-9	吊索銹蝕有效截面積比例判斷標準	241
表 2.3-10	吊索銹蝕有效截面積比例	242
表 2.3-11	吊索銹蝕有效截面積比例、降伏負載及極限負載	244
表 2.3-12	油罐車對吊索拉力之影響	246
表 2.3-13	連鎖破壞之吊索拉力分布比較(1/2)	256
表 2.3-14	連鎖破壞之吊索拉力分布比較(2/2)	257
表 2.3-15	分析所得之破壞模式與順序	
表 2.3-16	剩餘1至5號吊索時鋼構最大應力	260
表 2.3-17	剩餘1至2號吊索時鋼構最大應力	
表 2.3-18	吊索全部失效時鋼構最大應力	262

常用中英文名詞暨縮寫對照表

AASHTO American Association of State 美國公路及運輸員司協會

Highway Transportation Officials

ACI American Concrete Institute 美國混凝土協會

AC asphalt concrete 瀝青混凝土

AISI American Iron and Steel Institute 美國鋼鐵學會

ASTM American Society for Testing and 美國材料試驗學會

Materials

AWS American Welding Society 美國電銲協會

CNS National Standards of the Republic of 中華民國國家標準

China

EDS energy-dispersive x-ray spectroscopy 能量散布光譜儀

EPMA electron probe micro-analyzer 電子束顯微分析儀

ETAG guideline for european technical 後拉預力系統之技術指引

approval of post-tensioning kits for

prestressing of structures

HDPE high density polyethylene 高密度聚乙烯

LiDAR light detection and ranging 光學雷達掃描儀

PTI Post Tensioning Institute 美國後拉法預力學會

SAE Society of Automotive Engineers 美國汽車協會

SAP structure analysis program 結構分析程式

TAF Taiwan Accreditation Foundation 財團法人全國認證基金會

TBMS Taiwan Bridge Management System 臺灣地區橋梁管理資訊系統

第1章 事實資料

1.1 事故經過及救援

民國 108 年 10 月 1 日 0930 時,南方澳大橋橋面斷裂崩塌,如圖 1.1-1、圖 1.1-2 所示,橋體包括橋面板、橋拱等向下墜落約 18 公尺,掉落到南方澳漁港航道內。當時橋上一輛台灣中油股份有限公司(以下簡稱中油)油罐車正經由南方澳大橋前往南方澳漁友漁船加油站,亦隨斷裂之橋面墜落後起火燃燒。墜落之橋面壓毀 3 艘停靠於南方澳大橋下之漁船。

本次事故共造成 6 名船員罹難, 9 名船員、1 名油罐車駕駛員及 3 名執 行搶救之人員受傷。



圖 1.1-1 南方澳大橋斷裂情形(一)



圖 1.1-2 南方澳大橋斷裂情形 (二)

事故當日 0930 時,宜蘭縣政府消防局(以下簡稱消防局)接獲民眾電話報案,蘇澳鎮南方澳跨海大橋發生坍塌,現場有人員受困。消防局即派遣第二大隊、特搜大隊、蘇澳分隊、南方澳分隊、馬賽分隊、冬山分隊、五結分隊、特種分隊、宜蘭分隊、壯圍分隊、員山分隊、礁溪分隊等單位出動各式消防車輛及救災船艇並通報海巡署及警察局人員前往現場搶救,如圖1.1-3 所示。

0946 時,消防局通知宜蘭縣在地之噶瑪蘭救難協會、蘭陽救援協會、 蘭陽潛水協會、水上救生協會及海軍水下作業大隊等,派遣潛水人員並攜 帶救生裝備前往救災。0951 時,消防局於現場設立前進指揮所,處理各救 災單位指揮調度及橫向聯繫事宜。交通部接獲事故通報後,於1030 時成立 應變中心,行政院各部會加入事故救援。



圖 1.1-3 事故救災狀況

1.2 人員傷害

依據消防局及各醫療院所統計之資料,本事故總計6人死亡,13人受傷,分別被送往臺北榮民總醫院蘇澳分院、羅東聖母醫院及羅東博愛醫院等3所醫院救治。

1.3 橋梁損害情況

橋梁毀損,部分吊索斷裂,端錨系統受損,橋面大梁斷裂後崩塌,落入 航道,主橋拱架之拱圈及拱柱接頭組斷裂,拱圈垮下後微傾倒,橋梁損害 照片如圖 1.3-1。詳細損害狀況描述於橋梁損害勘查結果(1.9 節)。



圖 1.3-1 橋梁損害情形

1.4 其他損害情況

1.4.1 車輛撞擊及損害情況

事故發生前,一輛中油油罐車由西向東行經南方澳大橋上,橋面斷裂崩塌後,油罐車翻落造成車輛毀損並起火燃燒,如圖 1.4-1。

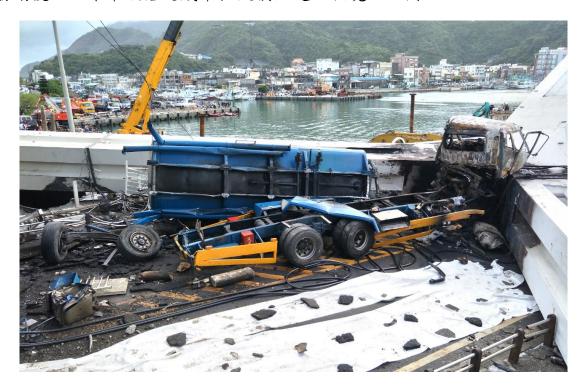


圖 1.4-1 受損之油罐車

該車為民國 105 年 3 月出廠之中油自用大貨車,核定總重為 26 公噸, 載重為 15.42 公噸,其附掛之油罐槽容量為 20,200 公升,事故當時載油 20,000 公升。中油油罐車主要負責運送南方澳漁友漁船加油站之油品,每 週進行 2 至 3 天,每天約 5 至 6 趟次之配送作業。

1.4.2 漁船撞擊及損害情況

主橋斷裂崩塌後,壓毀主橋下方等待加油的3艘漁船,如圖1.1-2,由左至右依序為新臺勝33號、新臺勝266號、新臺勝366號等漁船,如圖1.4-2至1.4-4所示。





圖 1.4-2 新臺勝 33 號漁船(左)沉於航道內(右)吊掛置放於碼頭





圖 1.4-3 新臺勝 266 號漁船(左)沉於航道內(右)吊掛置放於碼頭





圖 1.4-4 吊掛置放於碼頭之新臺勝 366 號漁船

1.5 紀錄器

1.5.1 車載紀錄器資料

事故當時行經南方澳大橋之中油油罐車,其車載紀錄器因燃燒而毀損,無法執行資料解讀。

1.5.2 影像資料

調查小組自海巡署取得橋梁斷裂崩塌事故影片,監視錄影機位於蘇澳區漁會地磅室,位置關係詳圖 1.5-1。該影片之解析度為 960 像素×540 像素,錄影格式為每秒 29.97 幅畫面,亦即每幅畫面間隔 0.033 秒。

調查小組針對事故期間關鍵 17.1 秒影片進行影像分析¹,影片時間自 09:29:58.77 時至 09:30:15.83 時,共有 513 幅影像。09:29:58.77 時油罐車行駛至 4 號吊索附近時,主橋無異常現象。09:30:02.77 時油罐車行駛至 11 號吊索附近時,主橋仍無異狀,如圖 1.5-2。09:30:02.80 時,橋體及主橋拱圈出現異常震動,之後橋體開始稍微向下沈,如圖 1.5-3。09:30:03.03 時,8 號吊索套管上端(與8 號上端錨相接處)開始向下墜落,如圖 1.5-4。09:30:03.27時,5 號吊索套管上端開始向下墜落,而 2 號、3 號、4 號、7 號吊索套管亦陸續向下墜落後,西側橋體滑落橋墩,接著東側橋體滑落橋墩,如圖 1.5-

¹ 使用之動態影像分析軟體,橋墩周遭參考物之位置精度 10 公分。

5。09:30:05.13 時,向下墜落之橋體碰觸海面,如圖 1.5-6。09:30:09.97 時 主橋拱圈停止上下晃動。



圖 1.5-1 監視錄影設備與南方澳大橋位置關係



圖 1.5-2 09:30:02.77 時監視錄影畫面

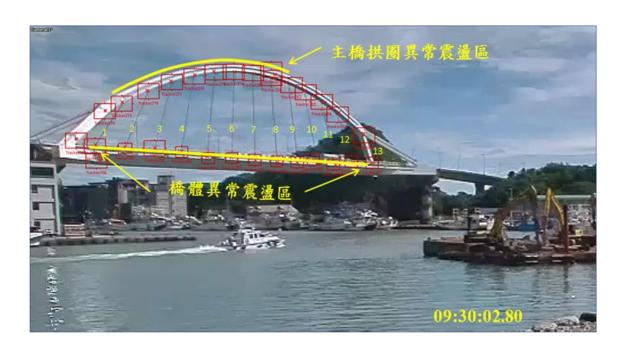


圖 1.5-3 09:30:02.80 時監視錄影畫面

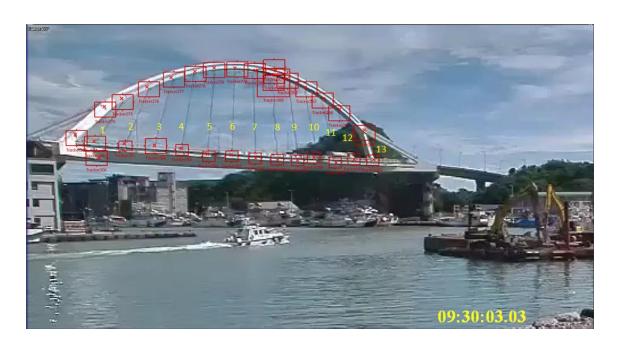


圖 1.5-4 09:30:03.03 時監視錄影畫面



圖 1.5-5 09:30:03.27 時監視錄影畫面



圖 1.5-6 09:30:05.13 時監視錄影畫面

1.6 天氣及地震資料

1.6.1 天氣概述

事故當日 0830 時,交通部中央氣象局發布海上颱風警報,中度颱風米

塔 0800 時之中心位置位於北緯 27.4 度,東經 122.3 度,即在基隆北北東約 260 公里海面上,持續向北移動。受到颱風及其外圍環流影響,全臺沿海地區易有較強陣風及較大風浪。地面天氣圖及颱風路徑潛勢預報圖如圖 1.6-1 及圖 1.6-2 所示。

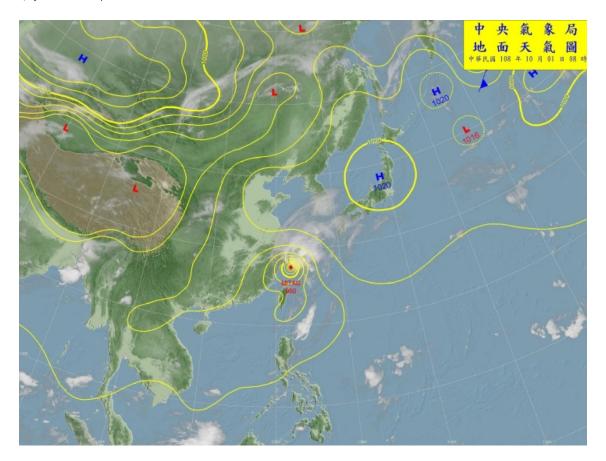


圖 1.6-1 0800 時中央氣象局地面天氣圖

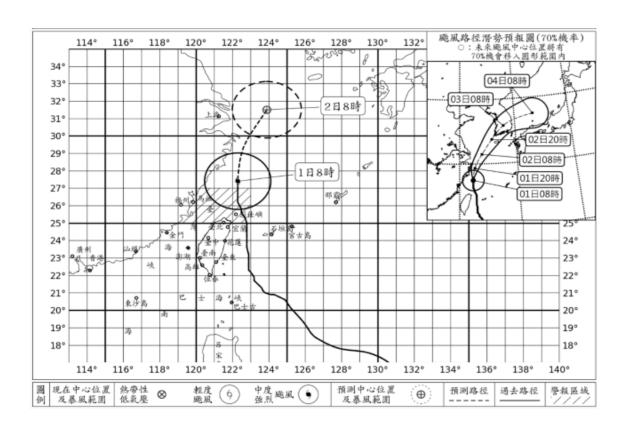


圖 1.6-2 0800 時中央氣象局颱風路徑潛勢預報圖

1.6.2 地面觀測資料

氣候特性

南方澳位於臺灣東北,氣候潮濕多雨。中央氣象局蘇澳氣象站位於南方澳大橋西北方約2公里處,為距離事故地點最近之氣象觀測站。資料顯示,蘇澳氣象站自民國99至108年測得之10年平均下雨日數為225.6日,10年平均年雨量為4,386.9毫米,相關資料如表1.6-1。交通部運輸研究所(以下簡稱運研所)研究資料亦顯示²,南方澳位於高濕度及高鹽份的地理位置,相關資料節錄如圖1.6-3。

 $^{^2}$ 2013 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查資料年報,交通部運輸研究所民國 103 年 6 月,MOTC-IOT-102-H1DB003c-1。

表 1.6-1 蘇澳氣象站自民國 99 至 108 年測得下雨日數及年雨量

	雨天(日)	降水量(毫米)
民國 108 年	228	4391.0
民國 107 年	202	5006.2
民國 106 年	211	4765.3
民國 105 年	236	4724.1
民國 104 年	218	4069.1
民國 103 年	216	2723.4
民國 102 年	232	4265.1
民國 101 年	253	4742.8
民國 100 年	234	4443.8
民國 99 年	226	4738.2

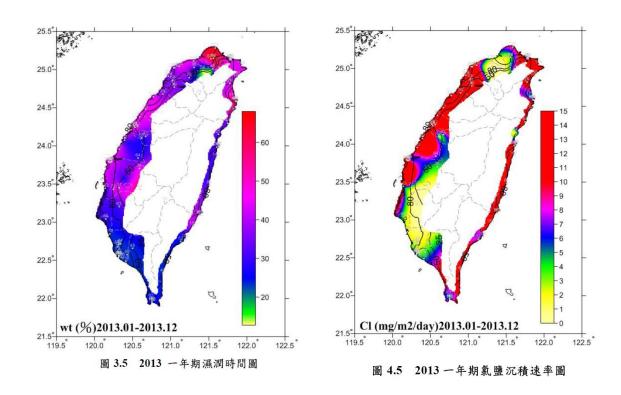


圖 1.6-3 臺灣沿岸 2013 一年期濕潤時間及氣鹽沉積速率圖

事故當日觀測資料

事故當日蘇澳氣象站觀測紀錄如下:

0900 時,氣溫攝氏 28.8 度,過去 1 小時內瞬間最大風速 10.7 公尺/秒,過去 1 小時內瞬間最大風向 340 度,時雨量 0 公釐。

1000 時,氣溫攝氏 30.7 度,過去 1 小時內瞬間最大風速 10.1 公尺/秒,過去 1 小時內瞬間最大風向 320 度,時雨量 0 公釐。

另依據蘇澳氣象站逐分風力資料,事故當日及前 2 日之風向風速資料如圖 1.6-4 及圖 1.6-5。

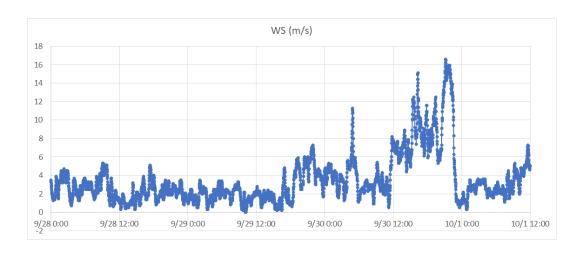


圖 1.6-4 9月 28日 0 時至 10月 1日 12 時風速資料

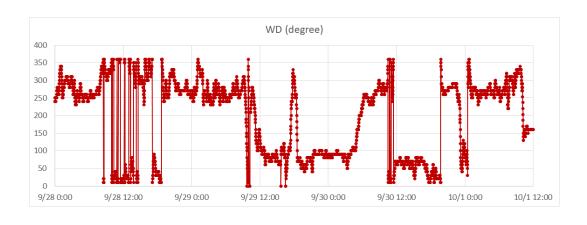


圖 1.6-5 9月 28日 0 時至 10月 1日 12 時風向資料

1.6.3 地震資料

中央氣象局地震觀測網即時地震資料顯示,民國 108 年 9 月 28 日至 10

月1日期間,發生1起小區域有感地震,地震時間為10月1日0154時, 震央位於花蓮縣政府北偏東方38.4公里處,深度13.9公里,芮氏規模3.8, 蘇澳氣象站測得之震度為1。中央氣象局地震報告如圖1.6-6所示。

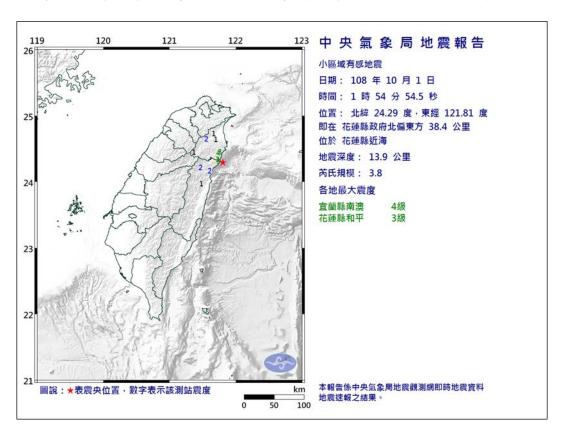


圖 1.6-6 中央氣象局地震報告

1.7 橋梁資料

1.7.1 橋梁設計與興建

民國 83 年 8 月 26 日前交通部臺灣省政府交通處基隆港務局(以下簡稱前基隆港務局)邀請前臺灣省政府交通處、宜蘭縣政府等相關單位,召開蘇澳港跨漁港航道拱橋興建協調會,決議由宜蘭縣政府負責施工,經費由臺灣省政府交通建設基金支應。民國 84 年 1 月 3 日宜蘭縣政府與亞新工程顧問股份有限公司(以下簡稱亞新)簽訂工程規劃及設計契約,同月 13 日宜蘭縣政府召開「蘇澳港跨漁港航道拱橋興建工程規劃」期前簡報說明

會,協調興建相關事宜。民國84年8月宜蘭縣政府提出興建工程規劃及初步設計報告,民國85年1月宜蘭縣政府與立永營造有限公司(以下簡稱立永)簽訂營造合約,工程經費約2.7億元,營造工程於同月27日開工。民國87年9月14日宜蘭縣政府辦理營造工程完工初驗,於同年11月26日完成複驗。

民國87年12月15日宜蘭縣政府發函通知前基隆港務局,拱橋營造工程已完成驗收,產權移交前基隆港務局並請其善加管養。

1.7.2 橋梁位置及基本資料

南方澳大橋位於蘇澳港轄區內,位置如圖 1.7-1,橋梁含引道全長 896.92 公尺,西起於蘇澳鎮江夏路,東至造船路,跨越港區主橋長 140 公尺,橋 寬 15 公尺,主橋高於海平面 18 公尺,主線雙向 2 車道,設有中央分向島 及人行步道,並設置 4 處半圓形景觀平台。



圖 1.7-1 南方澳大橋位置圖

1.7.3 主橋結構

主橋為雙叉式單拱設計,主橋結構包含主橋拱架、吊索、端錨系統、橋面大梁及其他結構,主橋結構示意圖如圖 1.7-2。

依據南方澳大橋竣工圖之結構立、平面圖(圖1.7-3),橋體長度140公

尺,寬度 15 公尺,主橋拱架最高處斷面中心線至橋面大梁中心線距離為 27.424 公尺,橋面大梁離水面 18 公尺,兩端以 750 公噸單向活動鋼支承與橋墩相接。大橋有 13 組吊索系統,拱架與橋面大梁間配置 13 股外置預力吊索,各吊索於拱架端間距為 7 公尺、於大梁端間距為 9 公尺,橋面置設中央鋼索分隔島與兩側人行道,南、北側人行道共設置 4 處觀景平台。主橋段編號 STA. 0k+421 座落於編號 P6 橋墩上(靠陸側),而主橋段編號 STA. 0k+561 則座落於編號 P7 橋墩上(靠海側)。

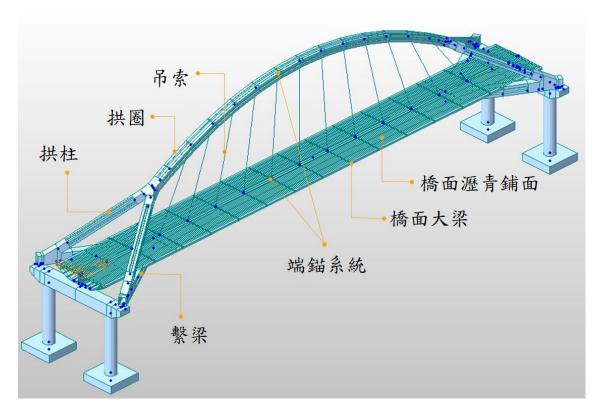
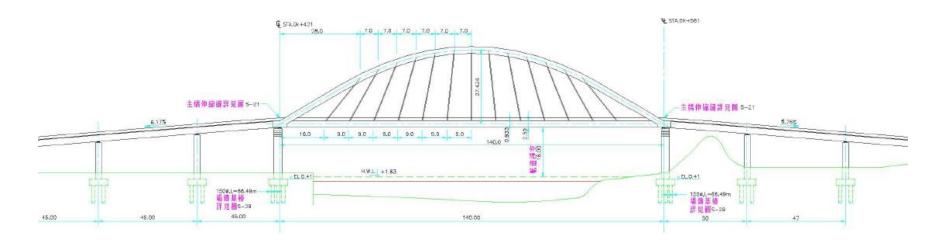
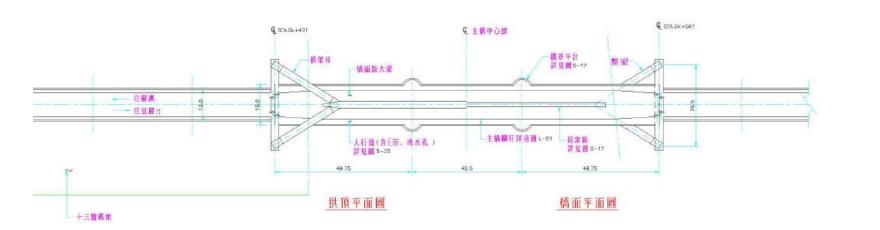


圖 1.7-2 主橋結構示意圖



(a) 立面圖



(b) 平面圖

圖 1.7-3 主橋立面及平面圖

依據南方澳大橋竣工圖及亞新提供之資料,該橋相關資訊如下:

- a. 設計規範:
 - (a) 交通部「公路橋梁設計規範 (76.1.19)」。
 - (b) 交通部「公路橋梁耐震設計規範(84.1.9)」。
 - (c) 美國公路及運輸協會「公路橋梁標準規範(1992)」。
 - (d) ACI 318-77「混凝土設計規範」。
 - (e) 日本「道路橋示方書(1990)」。
- b. 設計荷重:
 - (a) 活載重:除橋面板及大梁為 HS20-44 活載重加重 50%之外,其他構件均為 HS20-44。
 - (b) 地震力:依據交通部「公路橋梁耐震設計規範(84.1.9)」。
 - (c) 風速: 200 km/hr。
 - (d) 温差: RC 結構±20°C, 鋼結構±25°C。
- c. 設計應力:
 - (a) 混凝土 (波特蘭 Type II 抗硫水泥):

無筋混凝土: $f_c'=140 \text{ kgf/cm}^2$ 。

鋼筋混凝土: $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2 \circ$

預力混凝土: $f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$ 。

場鑄基樁: $f_c' = 280 \text{ kgf/cm}^2 \circ$

(b) 鋼筋(竹節鋼筋):

D32 以下(含 D32): $f_y = 2800 \text{ kgf/cm}^2$, $f_s = 1400 \text{ kgf/cm}^2$ 。 D36 以上(含 D36): $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$, $f_s = 1680 \text{ kgf/cm}^2$ 。

(c) 結構鋼:符合 ASTM A709 G50W 規定

降伏強度為 345 MPa (50 ksi)、抗拉強度為 485 MPa (70 ksi)。

- (d) 高拉力螺栓:符合 ASTM A325 規定 (摩擦型)。
- (e) 普通螺栓:符合 ASTM A307 規定。
- (f) 電銲應符合美國電銲協會(AWS)D11-90 結構銲接規範。 銲材(低氫素型)抗拉強度為72 ksi。

d. 鋼筋之淨保護層除特別註明者外,均應符合下列規定:

(a) 橋面板底層、護欄、胸牆、緣石、大梁及橫膈梁 2.5 公分

(b) 横膈梁底面、橋面板頂層 4.0 公分

(c) 橋墩、橋台、擋土牆 7.5 公分

(d) 基礎、椿帽 10.0 公分

- e. 吊索(stay cable)採用英國 Bridon-Bekaert 公司製造之七線鋼絞線(strand)。
- f. 吊索套管為奧地利製造之高密度聚乙烯 (high density polyethylene, HDPE)。
- g. 主橋端錨系統(anchorage,以下簡稱端錨)為法國 Freyssinet (法西 奈)公司所製造³。
- h. 單向活動鋼支承為日本川口金屬工業所製造。

1.7.3.1 主橋拱架

主橋拱架包括拱圈及拱柱,如圖 1.7-4,平面圖如圖 1.7-5(左側繪製有 拱圈及拱柱,如紅框處),拱架總長 140公尺、拱高 27.424公尺,就水平方 向而言,中央拱圈為 90公尺長,兩端拱架各 25公尺長;就垂直方向而言, 拱圈與拱柱交會處距離橋面大梁中心之高度為 14.434公尺。

拱圈是指拱架中央兩側各 45 公尺之範圍,採二次拋物線線型,長度為 90 公尺,以 11.6 公尺至 17.9 公尺不等之 7 個節塊進行安裝,並由中心位置往兩端每隔 7 公尺設置開口,以安裝 13 個端錨系統,單元間採雙開槽全 渗透銲。

拱柱架設於拱架兩端各 25 公尺長之範圍,該段以直線方式設計,中心線總長度約為 29.628 公尺,由拱圈分開成兩支形狀為倒 Y 型之柱構造,每支拱柱下端與繫梁連接,由單向活動支座支撑。

³ 南方澳大橋端錨系統之廠牌,將於第2章2.2.3 節討論。

根據竣工圖之拱圈及拱柱剖面圖,如圖 1.7-6 所示,拱圈剖面為 2.5 公尺×1.8 公尺,拱柱剖面為 1.8 公尺×1.8 公尺,兩者皆有四面側板設有內凹 25 公分之構造,主要板厚為 36 毫米。



圖 1.7-4 主橋拱架之拱圈及拱柱

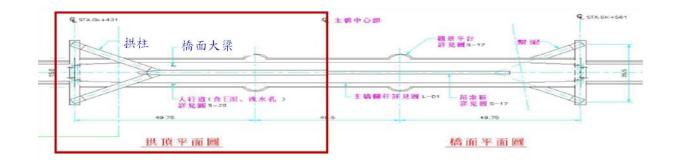


圖 1.7-5 主橋拱架平面圖

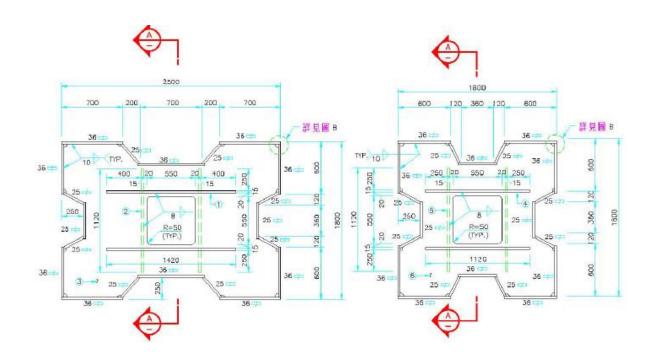


圖 1.7-6 拱圈 (左)及拱柱 (右)剖面圖

1.7.3.2 主橋吊索

吊索是將橋面大梁懸掛在拱架之結構構件,因本橋為單拱肋橋型,橋面大梁上的吊索位於斷面中央,故各吊索與拱圈皆位於同一個垂直面。本橋採後拉法預力系統(post-tensioned preload system)設計,且拱架與主橋是由 13 組端錨裝置搭配吊索承載其重量(如圖 1.7-7),由左至右分別為 1號至 13號,其鋼絞線束數、施加預力、長度見表 1.7-1,除 1號及 13號端錨配置 17束鋼絞線外,其餘則各配置 13束鋼絞線。13組端錨各施拉 52公噸之預力,預載大橋總體之重量。每一束鋼絞線包含 7線直徑 15.75 毫米(0.62 吋)之鍍鋅鋼線,其總標稱斷面積為 150 平方毫米,竣工圖標示之保證極限負載為 265.5 千牛頓(27.07 公噸),標稱極限負載為 279.0 千牛頓(28.45 公噸)。

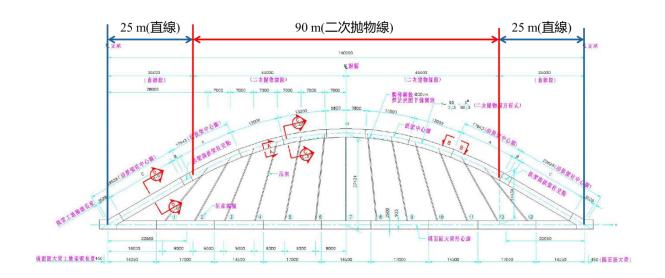


圖 1.7-7 主橋拱架結構圖(由左至右為 1 至 13 號吊索)

吊索編號	1 \ 13	2 \ 12	3 \ 11	4 \ 10	5、9	6 · 8	7
鋼絞線 束數	17	13	13	13	13	13	13
施加預力 (公頓,tf) ⁴	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0
長度 (公尺)	20.087	21.973	23.781	25.316	26.471	27.184	27.424

表 1.7-1 吊索資料

1.7.3.3 主橋端錨系統

依橋梁竣工圖之吊索端錨詳圖,端錨系統可分為固定端(位於上方拱圈)與施拉端(位於下方橋面大梁)。固定端端錨包含錨頭、承壓板(bearing plate)、帽蓋(cap)、彈簧及彈簧擋板等,如圖 1.7-8 所示。施拉端與固定端基本構造相似,惟錨定套管(anchorage tube)套筒後方錨頭構造、大小不同,如圖 1.7-9 所示。另外,本橋採用的楔形夾片(wedge)為三片式夾片。

⁴ tf 為公噸力,本報告中之公噸力以公噸表示。

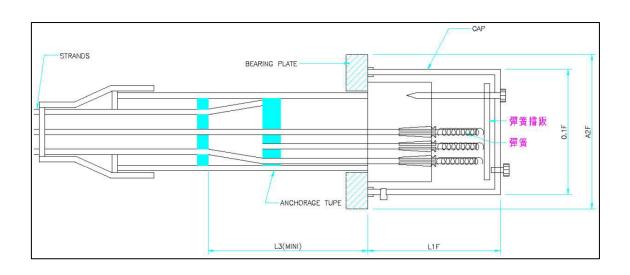


圖 1.7-8 南方澳大橋竣工圖端錨(固定端)構造

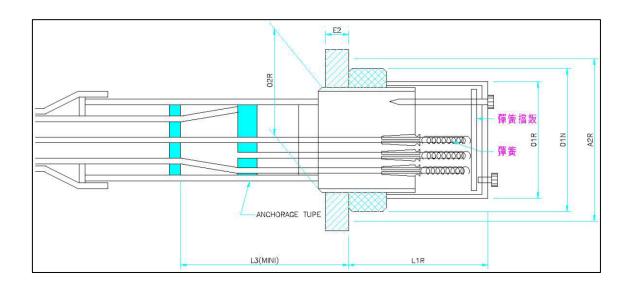
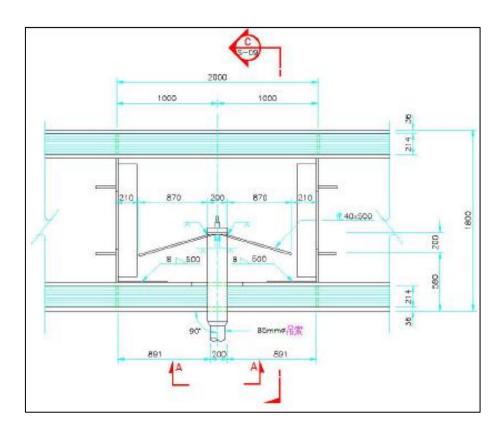
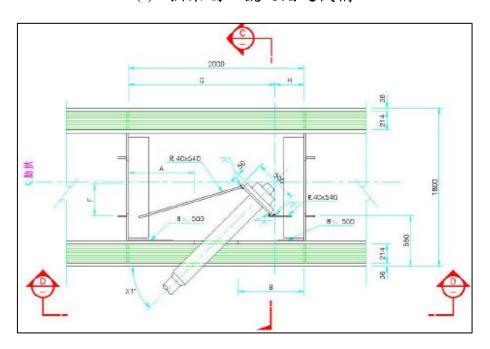


圖 1.7-9 南方澳大橋竣工圖端錨 (施拉端)構造

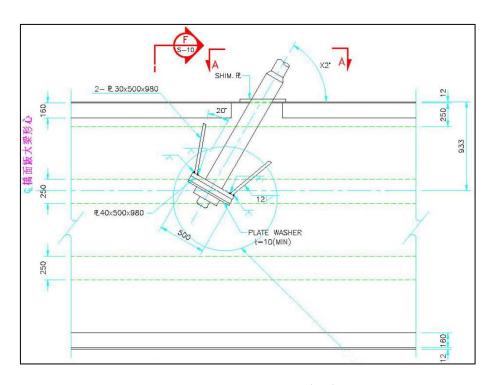
根據竣工圖之端錨系統組立剖面圖,如圖 1.7-10 所示,端錨系統之錨定機構設計分成拱架端(上)及大梁端(下)2 種,拱架端又區分為 7 號及 7 號之外 2 種設計。圖 1.7-10 (a)為拱架端 7 號端錨系統之錨定機構,固定鋼板尺寸為 PL40×500,厚度 40 毫米;圖 1.7-10 (b)為拱架端 7 號之外端錨系統之錨定機構,固定鋼板尺寸為 PL40×540,厚度 40 毫米;圖 1.7-10 (c)為大梁端內部之錨定機構,由 3 片鋼板所組成,其中 2 片厚度 30 毫米之固定鋼板,尺寸為 PL30×500×980,另一片為厚度 40 毫米之固定承壓鋼板,尺寸為 PL40×500×980,承壓鋼板之墊片厚度須大於 10 毫米,橋面板及 HDPE套管之間以填隙片 (shim plate) 作為防水。



(a) 拱架端7號之錨定機構



(b) 拱架端7號以外之錨定機構



(c) 大梁端之錨定機構

圖 1.7-10 端錨系統之之錨定機構組立剖面圖

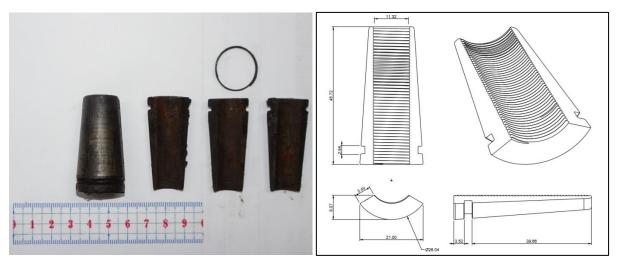
拱架端錨(上端錨)及大梁端錨(下端錨)使用相同規格之錨頭,其中 1 號及 13 號端錨配置 17 束鋼絞線,搭配 19 開孔錨頭,2 號至 12 號端錨各配置 13 束鋼絞線,搭配 14 開孔錨頭,如圖 1.7-11 所示。



圖 1.7-11 開孔數 14 及 19 之錨頭

錨頭與鋼絞線之間主要透過夾片箝固,夾片可固定及定位鋼絞線,亦

可將鋼絞線系統之張力負載傳遞至錨頭,事故橋梁所使用之夾片尺寸紀錄 及三視圖如圖 1.7-12 所示。



(a) 夾片照片

(b) 夾片三視圖

圖 1.7-12 錨頭夾片

1.7.3.4 主橋繋梁

繫梁位於拱橋兩端(陸山側、鄰海側),每端各有兩邊(南側、北側), 共有 4 支。繫梁是用於將拱架與橋面大梁、橋墩連接之構件,與橋面大梁 位於同一平面上,拱架兩端支撐於橋墩之支承座位於繫梁的最外端。

根據竣工圖之主橋繫梁斷面配置圖,如圖 1.7-13 所示,每支繫梁以角度 30°自主橋端部附近叉出,繫梁梁深與主梁同為高 2.5 公尺,其寬為 1.8 公尺,以下說明將繫梁分成支承段、拱柱連接段、一般箱型段與橋面大梁連接段,描述如下:

支承段

各繫梁自端部起約 1.5 公尺長為支承段,該段下方裝設活動型鋼支承, 支承座的斷面內部設有 5 片加勁板,每片加勁板均與腹板、下翼板連接。

拱柱連接段

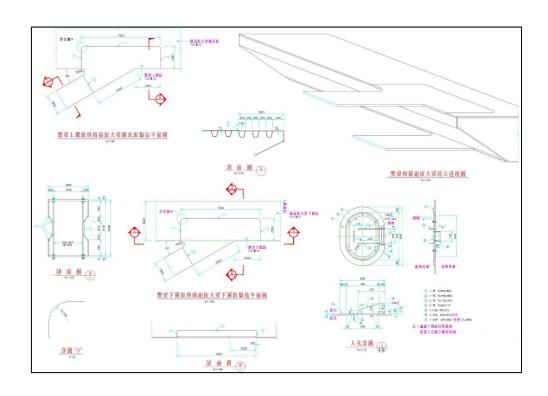
支承段後約4公尺長為拱柱連接段,此段範圍內拱柱是自上方接合成一個結構體,繫梁在此範圍內之上翼板就是拱柱的頂板。

一般箱型段

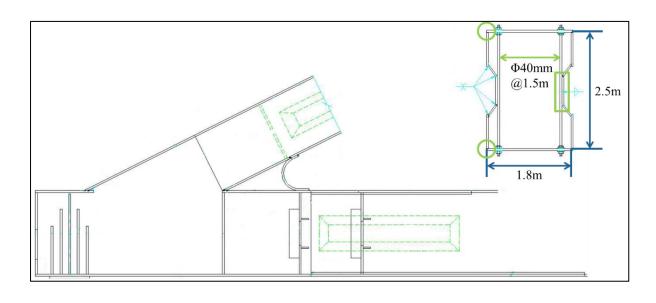
拱柱連接段後約8公尺長度即為一般箱型段,上翼板插入橋面大梁上 翼板,以全渗透銲接將繫梁與橋面大梁之上翼板連接起來,且兩邊斷面設 有鋼棒用以固定上下翼板之位置。另外,本段兩側腹板同拱柱之側面設有 內凹造型。

橋面大梁連接段

此段範圍內,繫梁位於橋面大梁的側斜面下方,本段無上翼板,兩側腹板上方直接連接橋面大梁側面之斜腹板上。下翼板是以水平方式叉進橋面大梁內,並以全滲透銲接方式進行與橋面大梁下翼板之接合。另外,繫梁腹板以間距 1.5 公尺之 Ø 40 鋼棒與上、下翼板鎖定成形,鋼棒與腹板於中央接觸段另以銲接方式進行連接。



(a) 繋梁配置圖(1/2)



(b) 繫梁配置圖(2/2)

圖 1.7-13 主橋繫梁配置圖

1.7.3.5 主橋橋面大梁及其他結構

橋面大梁斷面配置

主橋橋面大梁除了由 13 股吊索懸吊外,兩端分別支承在兩端橋墩帽梁上 (P6、P7橋墩),每端帽梁支承上設有 2 個橡膠支承墊與 3 支剪力鋼棒。竣工圖資料顯示,橋面大梁屬 3 箱室鋼箱型梁,高為 2.5 公尺,斷面兩邊無懸臂板,側邊是採斜放板方式,其上翼板寬度 15 公尺、下翼板寬度 7 公尺,上下翼板厚度皆為 12 毫米,而腹板厚度為 10 毫米,製成 14.25 公尺至 17公尺長之方塊體,依序銲接而成,如圖 1.7-14 所示。大梁每隔 4.5 公尺,沿內側四周銲接 12 毫米厚之横向加勁板,並於兩斜對角位置加上大直徑的鋼管支撐。同時,為再增加橋體剛性,在上、下翼板內側銲以大數量的 U型加勁板做加勁。吊索集中於拱圈的範圍內,共配置 13 股吊索,分別固定至大梁中立部,如圖 1.7-15 所示。

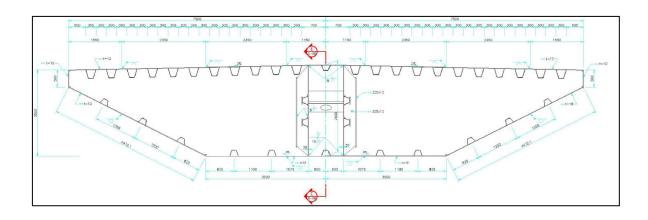


圖 1.7-14 主橋橋面大梁斷面無隔板配置圖

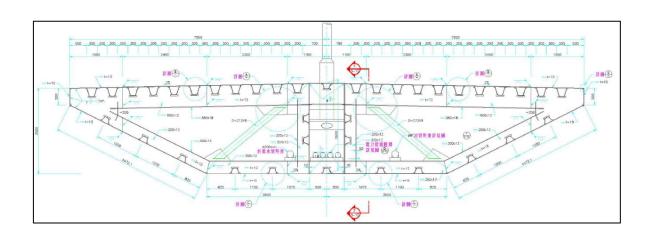


圖 1.7-15 主橋橋面大梁斷面有隔板配置圖

主橋隔板位置

根據竣工圖之主橋隔板配置圖,如圖 1.7-16 所示。在大梁部分,每 4.5 公尺設置 12 毫米厚之横向加勁隔板。吊索與大梁連接區域,由於吊索錨定設施須藉由內腹板向外傳遞力量,為確保局部構件安全,內腹板厚度由一般之 10 毫米改為 20 毫米;此外,拱柱的部分以每 1.982 公尺設置一處橫向加勁隔板為主,拱圈部分則以 1.686 公尺至 2.176 公尺不等間距設置橫向加勁隔板。對於支承部分,P6處、P7處以 750 公頓活動型鋼支承連接繫梁和帽梁,鋼箱型大梁和帽梁之連接方式,P6處為橡膠支承與活動型剪力鋼棒,P7處為橡膠支承與固定型剪力鋼棒。

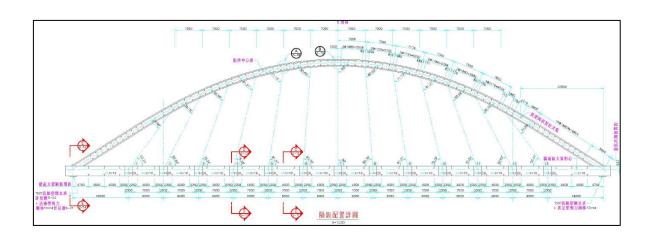


圖 1.7-16 主橋隔板配置圖 (左至右為陸側至海側)

支承處剪力鋼棒配置

根據竣工圖之剪力鋼棒詳圖,如圖 1.7-17、圖 1.7-18 所示,主橋之剪力鋼棒採用 ϕ 12 (A-36)之鍍鋅鋼棒,在鋼棒外側為鋼套管,中間空隙以 1: 1 水泥砂漿採高壓灌漿,鋼套管外側含有 6 根 ϕ 16 長 40 公分之鋼筋埋置於帽梁內,以此作為鋼棒與橋墩帽梁的連接方式。

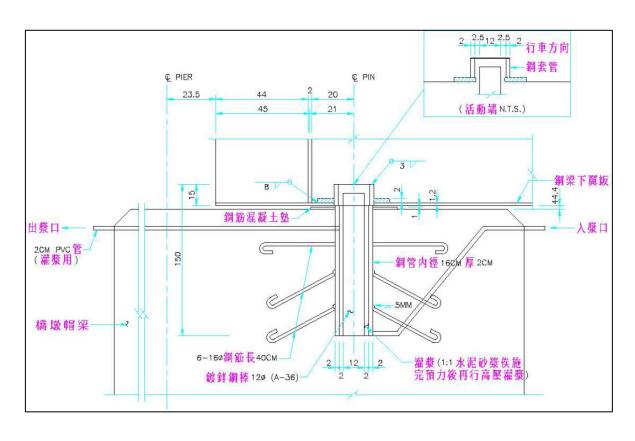


圖 1.7-17 剪力鋼棒剖面圖

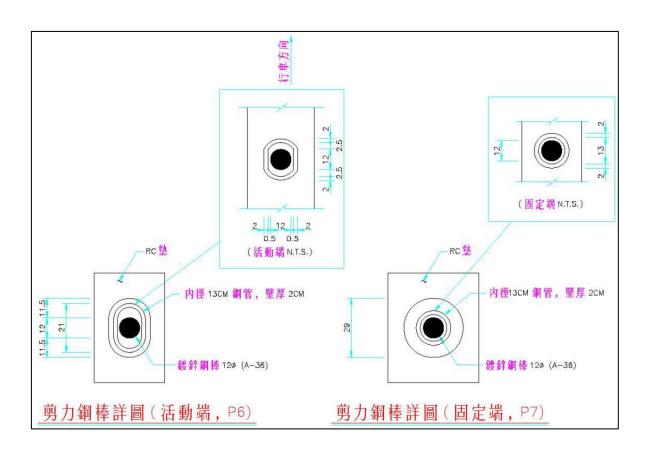
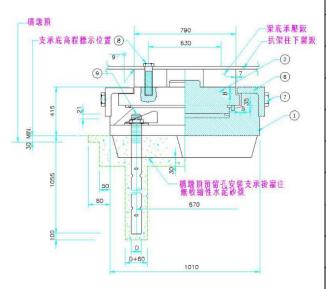


圖 1.7-18 剪力鋼棒詳圖

繁梁下方支承配置

繫梁與帽梁間單向活動支承如圖 1.7-19 所示,其支承鋼材均耐候性鋼材,可承受全反力 R為 750 公噸之力,靜載重反力 R_0 為 563 公噸、活載重反力 $R_{(1+i)}$ 為 187 公噸,橋軸方向移動時與地震時之水平力 $(R_{H1f}$ 與 $R_{H1e})$ 分别為 75 公噸與 135 公噸,橋軸直角方向地震時水平力 R_{H2e} 為 135 公噸,地震時的上揚力 V 為 56.3 公噸,設計水平震度 K_H 為 0.24,支承設計摩擦係數 f 則為 0.10。



反力								
全反力		R	750	公噸				
靜載重反力		R_D	563	公噸				
活載重反力		$R_{(1+i)}$	187	公噸				
橋軸方向水平力	(移動時)	R_{H1f}	75	公噸				
橋軸方向水平力	(地震時)	$R_{_{H1e}}$	135	公噸				
橋軸直角方向水平力	(地震時)	R_{H2e}	135	公噸				
上揚力	(地震時)	V	56.3	公噸				
水平震度								
設計水平震力	K_{H}	0.24						
摩擦係數								
設計摩擦係基	f	0.10						

圖 1.7-19 750 公噸單向活動型鋼支承設計圖

主橋橋面瀝青混凝土及防水及(黏)結層

包含防水及結層、上層瀝青混凝土和下層瀝青混凝土三層結構組成, 如圖 1.7-20。

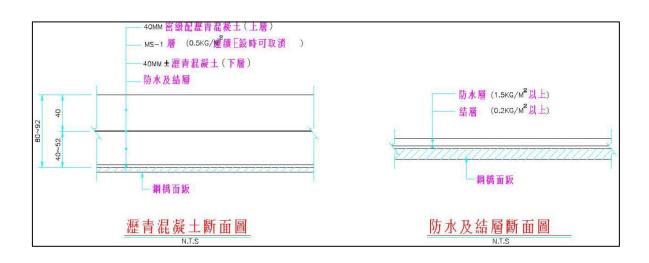


圖 1.7-20 瀝青鋪面斷面圖

根據竣工圖總說明資料顯示,本橋瀝青混凝土層相關設計如下:

(a) 設計依據:

美國瀝青學會 1970 年版 MS-4「The Asphalt Handbook」。 日本道路協會 1978 年版「瀝青混凝土鋪裝要網」。

- (b) 設計厚度:8~9.2 cm 分兩層鋪設。
- (c) 瀝青混凝土施工原則:除依下述特殊規定外,餘應依照頒布之工程施工 說明說內有關瀝青混凝土施工規範所規定之方式辦理。
- (d) 瀝青材料為中油產品,針入度 60~70。
- (e) 級配料規格:應符合美國瀝青學會SS-1於1984年版規定(ASTM D3515-83),其密集配規格見表表 1.7-2 所示。
- (f) 配合設計應依據馬歇爾配合設計方法辦理。
- (g) 瀝青混凝土之縱向施工接縫不得設置於橋面板加勁條之腹板上。
- (h) 上下層之縱向及橫向施工接縫應以適當間距離,不得設置於同一斷面上。

	1			
篩號	重疊通過百分率			
阿 颁	第一層(上層)	第一層(下層)		
3/4"	100	-		
1/2"	90~100	100		
3/8"	-	90~100		
#4	44~74	55~85		
#8	28~58	32~67		
#50	5~21	7~23		
#200	2~10	2~10		

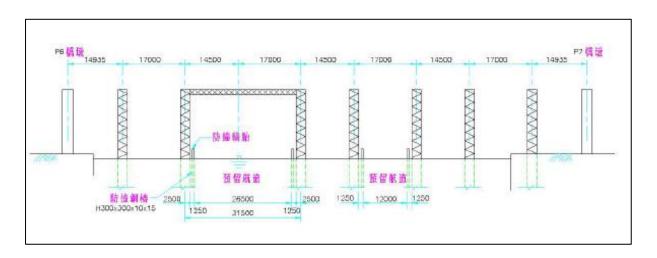
表 1.7-2 級配料規格

1.7.3.6 主橋架設方法

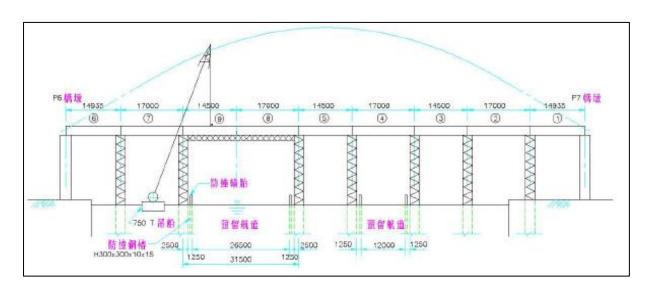
主橋組裝工法如圖 1.7-21 所示。相關組裝順序說明如下:

- a. 海上臨時支撐:架設鋼橋臨時支撐。
- b. 橋面梁吊裝:橋面大梁及繫梁之工作,由兩端往中間依序吊設。其中,組合場地旁先行組立臨時支撐鋼架,而銲接工作需先進行橫斷面組合銲接,再進行縱向接合。

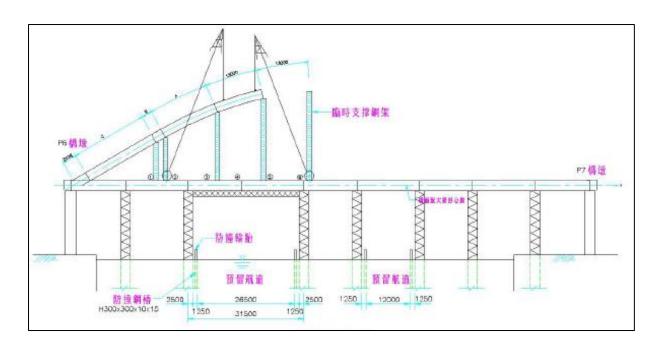
- c. 拱架吊裝:先於橋面板大梁鋼床板上組立臨時支撐鋼架,由一端往另 一端吊設拱架構材,並連結繫梁於拱柱與橋面板大梁間。
- d. 吊裝完成:完成拱架之架設。
- e. 吊索施加預力完成:拆除拱架臨時支撐鋼架,並安裝吊索與施加預力,完成後拆除海上支撐鋼架。



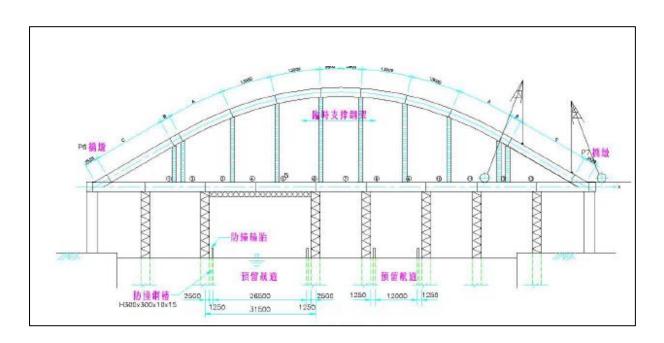
(a) 海上臨時支撐



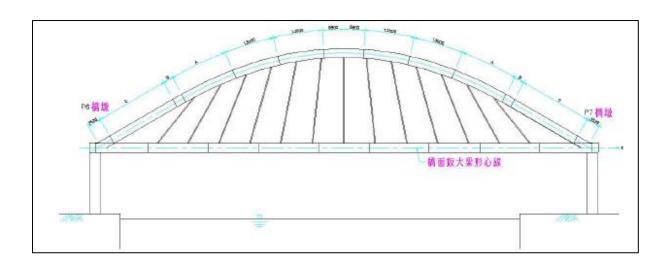
(b) 橋面大梁吊裝



(c) 拱架吊裝



(d) 吊裝完成



(e) 索施加預力完成

圖 1.7-21 主橋組裝示意圖

1.8 現場量測資料

事故現場位於宜蘭縣蘇澳鎮東南方約2公里處之南方澳漁港入口處,現場地理位置及主橋崩塌情形如圖1.8-1所示。事故發生後,本會先遣小組立刻趕赴現場,利用遙控無人機採集空中測繪資料,並利用高精度衛星定位儀測量特徵控制點後,以傾斜測量技術建立事故區2公分解析度正射影像及三維點雲資料,如圖1.8-2、圖1.8-3及圖1.8-4所示,其中崩塌之主橋東西向跨距約140公尺,橋面寬度15公尺,未崩塌之東西兩側橋面離地面高度約20公尺,東西兩側橋墩之結構損傷情形如圖1.8-5及圖1.8-6所示。



圖 1.8-1 事故現場位置示意圖

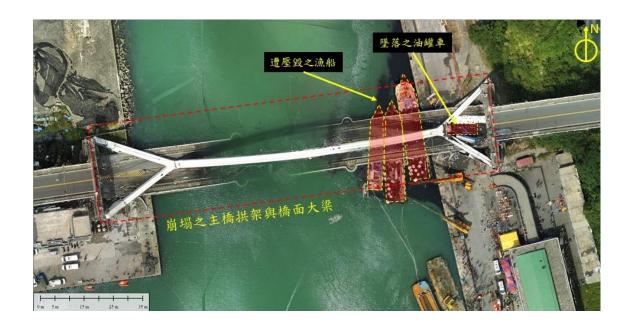


圖 1.8-2 無人機測繪正射影像圖



圖 1.8-3 無人機測繪正射影像圖 (東岸搜救作業區)



圖 1.8-4 無人機測繪三維點雲資料



圖 1.8-5 事故後東側橋墩結構損傷情形



圖 1.8-6 事故後西側橋墩結構損傷情形

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心(以下簡稱國震中心) 亦派遣測繪團隊前往現場進行三維掃描作業,於事故現場東西兩岸架設 92 個測站,以長距離光學雷達 (light detection and ranging, LiDAR) 掃描儀對事故主橋結構進行掃描作業,計 3 天完成作業。國震中心提供掃描成果,包括各測站點雲資料及部份測站日間作業時攝得之環景相片,經拼接後處理之事故現場三維點雲成果如圖 1.8-7,主拱吊索殘存情形與無人機空拍影像比對詳圖 1.8-8 及圖 1.8-9。經比對後,主橋拱圈向南傾倒約 8 度,如圖 1.8-10。

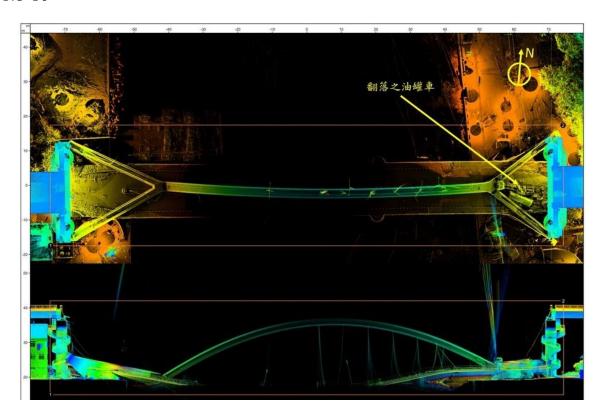


圖 1.8-7 國震中心 LiDAR 三維點雲成果



圖 1.8-8 殘存之主橋吊索(左至右為陸側至海側)

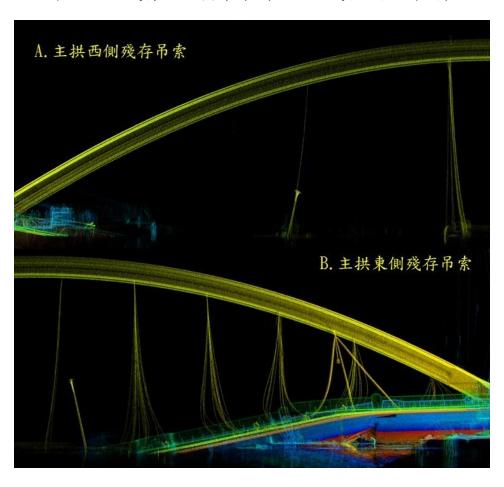


圖 1.8-9 殘存主拱吊索之 LiDAR 三維點雲

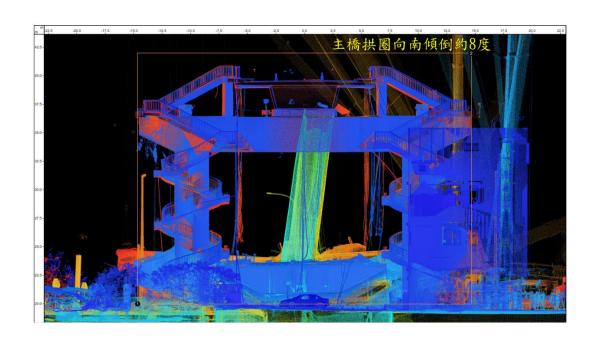


圖 1.8-10 主橋拱圈傾倒情形 (陸側向海側視角)

1.9 橋梁損害勘查結果

本事故發生後,由臺灣宜蘭地方檢察署(以下簡稱宜蘭地檢署)執行司 法調查、公路總局執行行政調查及運安會執行安全調查,上述 3 方於事故 調查初期共同進行關鍵證物的保存及檢測事宜,並於後續各依職權執行調 查。本節就主橋端錨、主橋吊索系統、橋面大梁等關鍵證物進行勘查及記 錄如下。

1.9.1 主橋吊索事故後現場狀況

依據本會先遣小組空中測繪資料及國震中心提供 LiDAR 掃描成果,事故後 13 股吊索的的殘留狀況如圖 1.9-1 所示,第 2、3、4、6 及部分第 5、7、8、9、10 號吊索脫離或斷裂後完全浸泡於海水中,如圖 1.9-2 所示。圖 1.9-3 為浸水吊索與水線套疊示意圖,圖 1.9-4 至圖 1.9-7 為吊索浸泡海水照片。



圖 1.9-1 事故後 13 股吊索的殘留狀況



圖 1.9-2 事故後吊索狀況

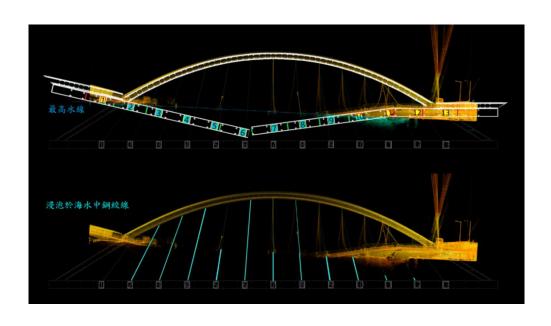


圖 1.9-3 浸水吊索 (藍色處)與水線套疊示意圖

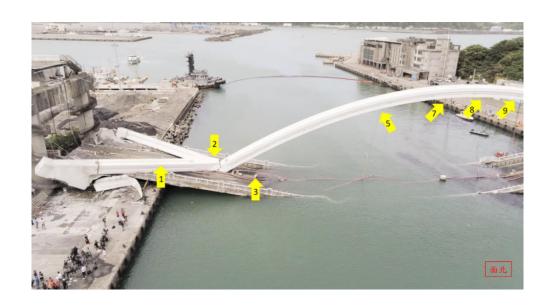


圖 1.9-4 第 1-9 號吊索入水狀況 (面北)



圖 1.9-5 第 1-7 號吊索入水狀況 (面南)



圖 1.9-6 第 7-13 號吊索入水狀況 (面北)



圖 1.9-7 第 9-13 號吊索入水狀況 (面南)

1.9.2 主橋拱架之勘查結果

本事故中, 錨定於拱架之吊索斷裂或鬆脫後, 橋面大梁斷裂掉入海中, 拱架亦隨之掉落, 並造成拱圈與兩端拱柱連接處發生斷裂, 兩端拱柱與各 自連接之繫梁之連接處亦發生斷裂, 斷裂後兩端拱柱分別落於倒塌後之橋 面上, 如圖 1.9-8 所示。



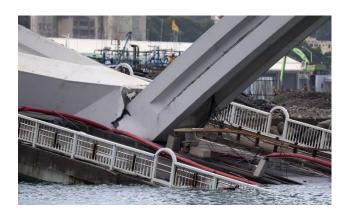
圖 1.9-8 倒塌後之拱架

1.9.2.1 拱圈與拱柱之斷裂

拱圈與拱柱相接處在橋梁墜落至海面時產生斷裂,在靠陸側(P6橋墩), 斷裂發生在拱圈末端與拱柱相接處,拱柱自分叉點至最外端於落橋後平躺 在橋面上,拱柱與相連之繫梁無明顯相對移動;靠海側(P7橋墩)的部分, 斷裂發生在兩支拱柱上端與拱圈相接處,兩支拱柱掉落後分別平躺於橋面 之兩邊,拱柱與繫梁於相接處完全斷裂,拱柱掉落後往 P7橋墩方向移動, 與繫梁產生明顯的相對移動。

1.9.2.2 靠陸側 (P6 橋墩) 拱柱之損害情形

此側斷裂發生在拱圈末端,斷裂處呈現斷面上方鋼板受壓力挫曲、下 方鋼板受拉撕裂之破壞模式,如圖 1.9-9 所示。另外,橋面頂板有貫穿式破 壞,包括瀝青混凝土面層、橋面大梁之上翼板與上翼板下方加勁之 U 型加 勁板均有破壞。





(a). 拱柱與拱圈斷裂處

(b). 斷裂面

圖 1.9-9 靠陸側拱柱之落橋損害照片

1.9.2.3 靠海側 (P7橋墩) 拱柱之損害情形

此側斷裂則發生在兩支拱柱上端,兩支拱柱的斷裂處均呈現上方受壓、下方受拉之破壞方式,而該側橋面受拱架撞擊後無明顯的結構性破壞,靠海側拱柱之落橋情況,如圖 1.9-10、圖 1.9-11 所示。



(a) 北側斷裂處



(b) 南側斷裂處

圖 1.9-10 靠海側拱柱之落橋損害照片





(a) 斷裂後之拱柱斷面(1/2)

(b) 斷裂後之拱柱斷面(2/2)

圖 1.9-11 靠海側之拱柱斷裂面照片

1.9.2.4 吊索穿過拱圈鋼板之銹蝕勘查結果

根據現場勘查,拱圈底板吊索開口處有銹蝕情形,由於拱圈採拋物線線型,除了最中央的第7號吊索外,如圖 1.9-12 (a)所示,各吊索穿過之拱圈鋼板皆有斜度,圖 1.9-12 (b)、(c)可見拱圈鋼板下緣之周邊有銹蝕現象。主橋掉落後,拱圈內端錨多有破壞,其中,尚可看見端錨內之防蝕油脂反彈至拱圈鋼板上,如圖 1.9-12 (d)所示。



(a) 7號拱圈開孔



(b) 8號拱圈開孔





(c) 1號拱圈開孔

(d) 端錨內油脂彈至拱圈內鋼板

圖 1.9-12 拱圈吊索開口照片

1.9.2.5 拱架油漆保護勘查結果

根據現場勘查,除拱圈底板開口處外,其餘部分從拱圈到拱柱之漆膜 尚稱完好,如圖 1.9-13 所示。



(a). 拱圈表面油漆情形



(b). 拱柱表面油漆情形

圖 1.9-13 拱架表面油漆情形

1.9.2.6 拱架鋼板銲接勘查結果

根據現場勘查,拱柱鋼板的銲接狀況並未發現有與落橋相關之不良銲接情形,如圖 1.9-14、圖 1.9-15 所示。



(a) 拱柱內側銲道(1/2)



(b) 拱柱內側銲道(2/2)

圖 1.9-14 拱柱內側銲道情形



(a) 靠海側北側斷裂處銲道



(b) 靠海側南側斷裂處銲道



(c) 靠陸側斷裂處角隅銲道(1/2)



(d) 靠陸側斷裂處角隅銲道(2/2)

圖 1.9-15 拱架斷裂表面銲道情形

1.9.3 主橋吊索與端錨系統之勘查結果

本節討論吊索與端錨系統之損害情形,包括吊索本身與上、下端端錨 系統及包覆於吊索外圍的外套管,本會進行現場吊索勘查紀錄詳附錄 1。

1.9.3.1 主橋吊索之損害資料

因吊索較長且重,事故發生後依施工安全性及運送存放限制,進行分段裁切作業,除少量因海上裁切時落入海中未收回外,主橋吊索所使用鋼絞線總共為 177 束,總長度約超過 90 %均移至蘇澳港 11 號倉庫存放。根據現場勘查,吊索的主要受損情況,包括吊索斷裂與銹蝕兩大情形,見表 1.9-1。

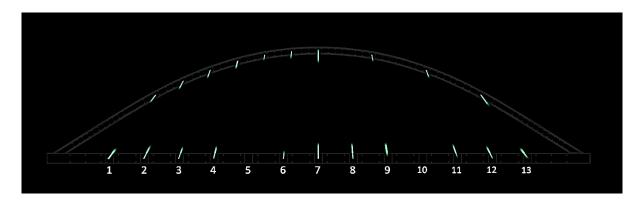
當發生落橋後,在靠海側之倒塌橋面上,可以看見許多斷落的鋼線呈現銹蝕、斷面頸縮的現象,經過現場勘查,發現吊索有被拉斷之情形,當中,第11號吊索位於上、下端錨處皆有斷裂,第8號吊索則斷裂於上端錨處,第7、9、10、12、13號吊索斷裂於下端錨處。此外,調查小組發現7號吊索損害情形為9束鋼絞線末端脫離錨頭,有夾持壓痕卻無破壞特徵,其餘4束鋼絞線有頸縮斷裂現象。

吊索的銹蝕狀況,可分成全表面銹蝕、上端銹蝕、下端銹蝕三類。根據 現場勘查,全表面銹蝕的吊索,主要有第5號吊索全部13束鋼絞線以及第 9號吊索中6束鋼絞線。上端錨部分銹蝕較不顯著,僅有第11、13號吊索 有銹蝕情形。下端錨部分許多吊索於下端錨處有銹蝕情形,包含第6、7、 10~13號吊索。

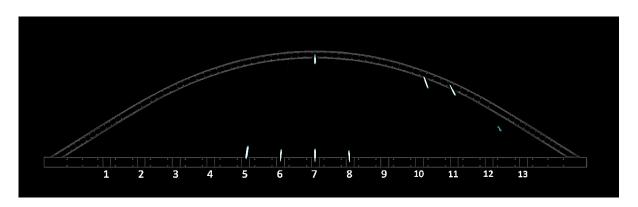
表 1.9-1 吊索斷裂、銹蝕情況

狀況	斷	· 裂	銹蝕				
位置	上端 (拱圏)	下端 (橋面大梁)	上端 (拱圈)	下端 (橋面大梁)	全表面		
1 號							
2 號							
3 號							
4 號							
5 號					\circ		
6 號				\circ			
7 號		\circ		\circ			
8 號	\circ						
9 號		\circ			\circ		
10 號		0		0			
11 號	\circ	\circ	\bigcirc	\circ			
12 號		\circ		\circ			
13 號		\circ	\circ	0			
斷裂 分布圖		2 3 4 5	6 7 8	9 10 11 12	13		
銹蝕 分布圖	1	2 3 4 5	6 7 8	9 10 11 12	13		

其他較顯著的吊索破壞型態包含退絞解離 (detwisted) 或四散 (openend)、鳥籠現象 (caging), 位置紀錄如圖 1.9-16 所示。



a. 退絞或四散狀況



b. 鳥籠狀況

圖 1.9-16 落橋時吊索破壞型態

調查小組對所有回收之鋼絞線進行受損狀況分類、統計、分布等資料 彙整,部分較輕微或細部之破壞型態有末段退穿 (extruded)、心線位移 (displaced)、心線遺落 (remaining)、心線遺失 (missing) 及鋼線脫離凸出 (protruded)等現象。

1.9.3.2 主橋端錨系統之損害資料

承 1.7.3.3 節描述,端錨系統可分為上端錨與下端錨,上端錨採用固定式端錨 (fixed anchorage),主要由帽蓋 (cap)、錨頭 (anchor head)、楔形夾片 (wedge,以下簡稱夾片)以及彈簧及其擋板之保險裝置組成,如圖 1.9-17(a)所示;下端錨則採用活動式端錨 (adjustable anchorage),主要由帽蓋、錨頭、夾片、承壓環 (ring nut)、螺紋調整管 (threaded tube),以及彈簧及

其擋板之保險裝置組成,如圖 1.9-17 (b)所示。另外,於端錨拆解時,發現有數具上端錨承壓端墊有與彈簧外側擋板相同規格之墊片配置,以下簡稱內側擋板,如圖 1.9-17 (c)所示。



- (a) 上端錨構造圖
- (b) 下端錨構造圖
- (c) 部分錨頭承壓端墊有內側檔板

圖 1.9-17 事故橋梁之上下端錨構造圖

本次落橋後端錨系統的主要受損情況,見表 1.9-2,當中,包括錨頭破裂、銹蝕及帽蓋脫離現象。

表 1.9-2 端錨系統受損情況

編	上端鉗				下端錨			
號	拆解前	拆解後	錨頭	帽蓋	拆解前	拆解後	錨頭	帽蓋
1 號			有裂縫 輕微銹蝕	脫離			破裂 輕微銹蝕	完整
2 號	000		破裂 輕微銹蝕	完整			完整 輕微銹蝕	脫離
3 號			破裂 輕微銹蝕	脫離			完整輕微銹蝕	脫離

編		上端錨			下端鉗				
號	拆解前	拆解後	錨頭	帽蓋	拆解前	拆解後	錨頭	帽蓋	
4 號		Contract of the contract of th	破裂輕微銹蝕	完整			完整輕微銹蝕	脫離	
5 號			破裂 中等銹蝕	完整			完整 中等銹蝕	完整	
6 號			破裂 輕微銹蝕	完整			完整輕微銹蝕	脫離	
7 號			完整輕微銹蝕	完整			完整嚴重銹蝕	完整	

編	上端鉗				下端錨				
號	拆解前	拆解後	錨頭	帽蓋	拆解前	拆解後	錨頭	帽蓋	
8 號			破裂輕微銹蝕	完整			完整輕微銹蝕	完整	
9 號			完整輕微銹蝕	完整			完整 中等銹蝕	完整	
10 號			完整輕微銹蝕	完整			完整嚴重銹蝕	完整	

編	上端鉗				下端鉗				
號	拆解前	拆解後	錨頭	帽蓋	拆解前	拆解後	錨頭	帽蓋	
11 號			完整輕微銹蝕	完整			完整嚴重銹蝕	完整	
12 號			完整輕微銹蝕	完整			完整嚴重銹蝕	完整	
13 號			有裂縫 中等銹蝕	完整			完整嚴重銹蝕	完整	

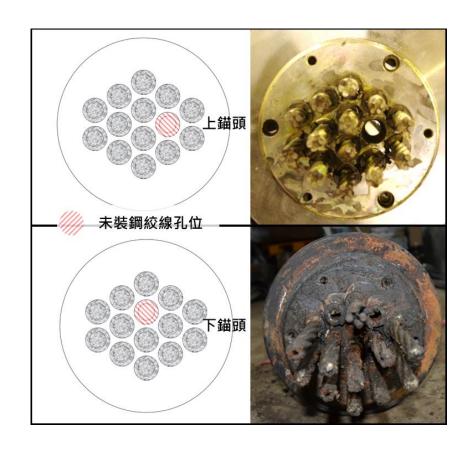
主橋大部分的重量係設計由各吊索承受,吊索之鋼絞線將拉力負載透過夾片傳遞至錨頭,承壓板目的為接收所有來自鋼絞線的負載並轉移至拱架本體上。事故橋梁承壓板設計於中央開一直徑約 162 毫米圓孔,承 1.7.3.3 節描述,由於錨頭孔數都大於鋼絞線束數,為避免偏心問題,一般橋梁工程會將未使用孔位留在錨頭中央,但根據現場勘查的結果,部分未使用孔位設在離中央較遠的位置,如圖 1.9-18 (a)、(b)所示,其中,第 10 號吊索之上下錨頭未使用孔位無法平行匹配,如圖 1.9-18 (c)所示。此外,部分承壓板上留有圓形且直徑與錨頭相仿的壓痕,其可見該壓痕圓心與開孔圓心有非同軸之偏心現象,如圖 1.9-19 所示。根據現場勘查,上端錨部分,第 2 至 6、8 號錨頭均已破裂,第 1、13 號錨頭發現些微裂縫;而下端錨部分,除了 1 號錨頭已破裂、分離,其他端錨均為完整。



(a) 9號上端錨



(b) 13 號上端錨



(c) 10 號端錨未使用孔位無法平行

圖 1.9-18 錨頭未使用孔位



圖 1.9-19 錨頭壓痕偏心現象

有關端錨的銹蝕程度,上端錨部分無嚴重銹蝕問題,部分上端錨內部 上有保護油脂,僅有第5、13號端錨銹蝕程度為中等,其他端錨均為輕微 銹蝕;而下端錨部分,則有多處端錨系統顯著銹蝕,其中,第7、10、11、 12、13 號呈現嚴重銹蝕,第5、9 號為中等銹蝕,其他端錨均為輕微銹蝕。

此外,第1、3 號上端錨及第2、3、4、6 號下端錨之帽蓋脫離。另部分錨頭中的夾片與鋼絞線有脫離的現象,發生在上端錨的5、8、13 號錨頭, 與下端錨的7號錨頭。

3 至 7 號上端錨有發生鋼絞線與錨頭脫離的現象;而下端錨部分,發生在 1、3 號端錨上,如圖 1.9-20 所示。

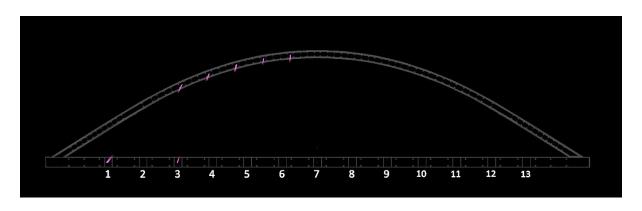


圖 1.9-20 鋼絞線與錨頭脫離

1.9.3.3 吊索套管損害情形

大橋吊索外部皆套有紅色外表之HDPE 吊索套管,其外徑為15.6公分、 壁厚約1公分,外套管可提供吊索之防蝕保護,由拱圈開孔內部至橋面板 端錨處。

根據竣工圖及現場勘查結果,橋梁興建時期,將鋼絞線安裝於吊索套管內,兩者間未有其他裝置或組件固定,故於事故橋及吊索斷裂後,吊索套管即掉落水中。檢視事故吊索套管內壁表面無異常損壞發現,亦無油脂或物質之施塗或添加之發現。外表面破斷型態可分為兩類,其一可能為事故橋斷裂過程所造成之壓裂破損,破口斷裂面呈撕裂態,且套管表面破口周遭伴隨摩擦;另一為事故後移除鋼索時,人為施工所造成之破壞,其表面斷裂處平整,如圖 1.9-21 所示。





圖 1.9-21 吊索套管破壞狀況

1.9.4 主橋繋梁之勘查結果

銜接拱柱與主橋的繫梁在設計上為受拉構件,以上下翼板承受拉力, 翼板與腹板間無銲接,以鋼棒將翼板與腹板定位。

本次落橋事件中,鋼橋因自上方落下撞擊地面,4支繫梁隨著橋面大梁 一起掉落,在陸地上未落海,4支繫梁皆有嚴重的損害。落橋過程中,前段 與橋面大梁相連部分先產生部分脫離,而後端部分再與橋墩帽梁上方支承 脫開後,撞擊帽梁前緣混凝土及橋墩柱之旋轉樓梯,最終掉落至地面。

1.9.4.1 繁梁前段之損害情形

繫梁前段包含了橋面大梁連接段與一般箱型段,損害情形如圖 1.9-22 (a)、(b)所示,在橋面大梁連接段之內部無隔板與各鋼板接合,腹板上下幾乎與相連鋼板完全分離。該段腹板高度是往橋梁中央逐漸縮小,兩側腹板與連接鋼板分離後,均呈現向外彎曲之現象,如圖 1.9-22 (c)、(d)所示。雖然腹板與上下相連鋼板分離,但各繫梁之上下翼板依然與橋面大梁之上下翼板相連,如圖 1.9-22 (e)~(h)所示。



(a) 靠海側北側腹板與上下連接板



(b) 靠海側南側腹板與上下連接板



(c) 靠海側南側腹板



(d) 靠陸側南側腹板



(e) 靠海側北側下翼板與主梁連接

(f) 靠海側南側下翼板與主梁連接





(g) 繋梁上翼板叉入主梁上翼板情形 (h) 繋梁下翼板叉入主梁下翼板情形

圖 1.9-22 繫梁前端之損害照片

1.9.4.2 繁梁後段之損害情形

繫梁後段包含了拱柱連接段與支承段,於拱柱連接段發生分離式的破 壞情形。

靠海側拱柱與繫梁連接處幾乎完全斷掉,且拱柱平躺於繫梁上,結構 體產生顯著破壞,拱柱與繫梁連接段之腹板沿著水平連接銲道切開、兩構 件完全分離, 緊梁頂板(上翼板) 與腹板自連接段到外端均分離、破壞, 如 圖 1.9-23 (a)、(b)所示。

靠陸側北側繋梁的破壞位置,發生在較靠近拱柱內側斷面,產生斷裂 狀破壞,該處的下翼板與腹板下方沿鋼板銲道拉斷,而上翼板呈現受壓挫 屈變形且與腹板沿銲道分開,如圖 1.9-23 (c)所示。南側繫梁的斷裂破壞主 要發生於一般箱型段與拱柱連接段相連處,腹板與下翼板斷裂,上翼板挫 屈並沿兩側與腹板分離,如圖 1.9-23 (d)所示。





(a) 靠海側北側與拱柱切開破壞

(b) 靠海側南側與拱柱切開破壞





(c) 靠陸側與拱柱連接處破壞

(d) 靠陸側後端折斷處情形

圖 1.9-23 繫梁後端之損害照片

1.9.5 橋面大梁及其他相關結構配置之勘查結果

1.9.5.1 橋面大梁之勘查結果

調查小組委請國立臺灣大學土木工程學系團隊協助勘察,詳附錄 2。橋面大梁拆除後分成不同節塊置於岸上,編號順序與相對位置及方位由西側至東側分別為 C1-1、C1-2、C2-1、C2-2、C3-1、C3-2、C4、C5、C6、C7、C8、C9-1、C9-2 等共 13 個節塊,切割位置如圖 1.9-24 所示,主要斷裂面在靠近中央位置 (C3-2 節塊與 C4 節塊連接斷面),距西側橋墩約 62.9 m。

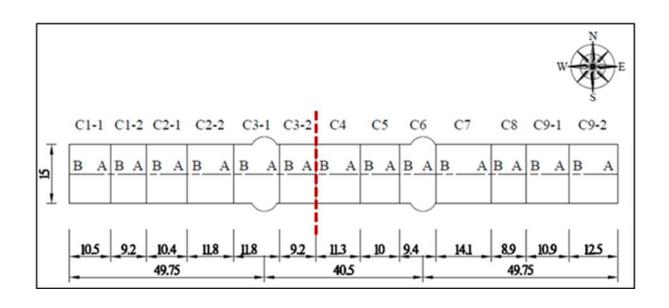


圖 1.9-24 橋面大梁拆除切割位置示意圖

本次落橋事件中,在橋面大梁失去吊索支撐後,靠近橋面中央的大梁 斷面發生顯著撓曲變形,並造成兩端扯斷支承錨定螺栓及剪力鋼棒後,以 類似 V 型方式掉落,使得橋面產生嚴重的破壞;另外,因橋面大梁與地面、 海面及其他物體撞擊的關係,亦造成部分的破壞,說明如下:

橋面大梁斷裂位置之損害

根據現場勘查,翼板與腹板之現場接縫與U型加勁板之接縫有錯開、不在同一直線上。橋面大梁斷裂處之破壞方式大致符合撓曲破壞行為,包含了下翼板的受拉破裂,以及上翼板呈現受壓損壞。另外,U型加勁板與端板間之現場銲接情形,似有銲道尺寸不均勻等缺陷情形,斷面紀錄如圖1.9-25、圖1.9-26所示。



圖 1.9-25 C3-2、C4 節塊連接斷面圖 (西側)

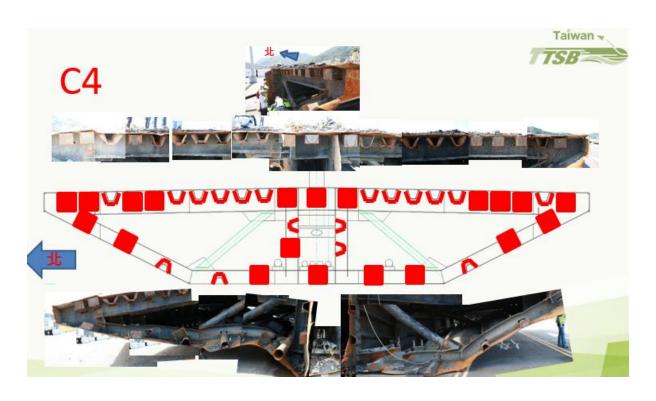


圖 1.9-26 C3-2、C4 節塊連接斷面圖 (東側)

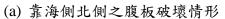
掉落撞擊造成之損害

橋面大梁掉落時,大梁底部撞擊到兩端海堤及漁船,由於上下翼板僅有12毫米厚,受到撞擊後斷面產生凹陷、彎折與開裂情形。根據現場勘查,靠海側之南邊撞擊處距端部31至32公尺,節塊之現場接縫有經過此處;而北邊主要撞擊變形區與端部的距離為27至28公尺,然而節塊之現場接縫並未經過此處。另外,兩撞擊區之U型加勁板接縫皆有開裂情形。

現場勘查結果顯示,北邊撞擊處之下翼板與斜腹板呈現凹陷、變形的情形,如圖 1.9-27 (a)所示,而南邊撞擊處之下翼板與斜腹板,在沿著現場接縫處有部分開裂,如圖 1.9-27 (b)所示。

在靠陸側(P6橋墩)處,由於拱架落下時造成拱圈末端與拱柱相連處 折斷,該折斷點撞擊橋面大梁之上翼板,造成上翼板與該處U型加勁板均 有破損,如圖1.9-27(c)、(d)所示。







(b) 靠海側南側之腹板破壞情形



(c) 靠陸側拱圈撞擊橋面大梁上翼板 (d) 靠陸側拱圈撞擊橋面大梁上翼板之破裂 之破裂情形(1/2)



情形(2/2)

圖 1.9-27 橋面大梁掉落撞擊損壞照片

橋面大梁其他損害

根據現場勘查,發現橋面大梁於U型加勁板之現場接縫處,其銲道有 開裂的情形,如圖 1.9-28 所示。

橋面大梁落下時,兩端齒型伸縮縫發生分離破壞之情形。其中,P6 橋 墩上方之伸縮縫分離後,一側留於未掉落之他跨橋面,另一側則隨橋面大 梁一起掉落;而 P7 橋墩之伸縮縫亦發現同 P6 橋墩之情形,但隨橋面大梁 掉落一侧,其伸縮縫之齒牙都因受磨而朝上彎曲,並且發現帽梁之側邊混 凝土表面留下齒痕。



圖 1.9-28 U型加勁板之現場接縫斷裂

1.9.5.2 大梁錨定區勘查結果

圖 1.9-29 為橋面大梁錨定區之結構示意圖,包括伸入橋面中央分隔島之 HDPE 套管、具保護作用之金屬材質箱體、橋面端錨(下端錨)以及錨定機構。如圖 1.9-30 (a)至(d)所示,橋面中央分隔島附近有裝設金屬材質箱體以保護 HDPE 套管,以接縫封條來避免水分滲入,檢視金屬材質箱體及橋面內部 HDPE 套管,發現橋面之金屬材質箱體與吊索套管之間的樹脂類填縫膠有硬質劣化、脫離與縫隙的現象,金屬材質箱體插入至混凝土構造之深度約 1 至 2 公分,金屬材質箱體內表面嚴重銹蝕,已有腐蝕剝離狀況,且橋面大梁內部之 HDPE 套管外表有乾漬水痕,如圖 1.9-30 (e)所示。

橋面大梁錨定機構由三片鋼板所組成,前後各一片 30 毫米之固定鋼板、下方為厚度 40 毫米之固定承壓鋼板,與大梁內兩片側垂直腹板連接。調查小組檢視 13 組橋面錨定機構,發現固定鋼板內外壁有不同程度高低之乾漬水痕,部分低邊鋼板上緣及外壁有溢出之乾漬水痕及銹蝕現象,勘查照片及橋面錨定機構狀況整理如表 1.10-1。

根據現場勘查,橋面大梁兩端支承處之鋼板有明顯銹蝕現象;例如,部分下翼板之銹蝕程度已到銹層結瘤、銹皮剝離情形,如圖 1.9-30 (f)所示,

其他位於較高處之鋼板,如外側腹斜板、橫向加勁板也有銹蝕現象。

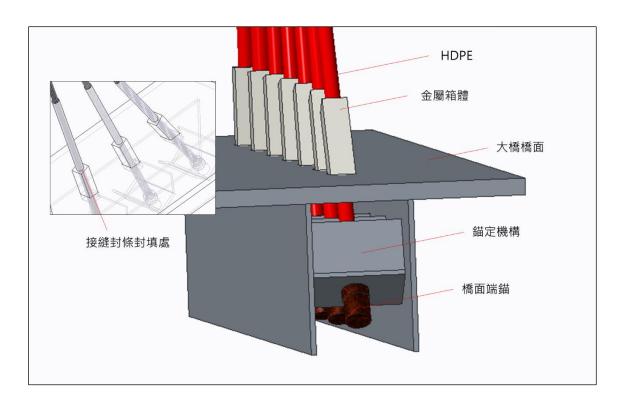


圖 1.9-29 橋面大梁錨定區之結構示意圖



(a) 金屬材質箱體與吊索套管之接縫封條



(b) 接縫封條有硬質劣化現象



(c) 金屬材質箱體進入橋面之銹蝕情形



(d) 金屬材質箱體內有嚴重銹蝕現象



(e) 大梁內部吊索套管之水痕跡象



(f) 主梁端部底板銹蝕情形

圖 1.9-30 橋面大梁銹蝕情形

表 1.10-1 橋面錨定結構及橋面端錨勘查照片







2號下端錨

















































10 號下端錨

























1.9.5.3 支承處勘查結果

支承於P7側為固定端,大梁端部底面為容納剪力鋼棒,設有3個圓型鋼帽蓋盒。經由大梁端部外側觀察顯示,其下翼板中間與北側鋼帽蓋盒處有因承壓導致被撕破的情形;大梁內部勘查顯示,南側鋼帽蓋盒尚完整,但中間與北側鋼帽蓋盒則與下翼板分離,在鋼帽蓋盒開孔之下翼板外緣有因承壓的因素,導致撕破情形。

P6 側為活動端,大梁端部底面設有 3 個長槽型鋼帽蓋盒,鋼帽蓋下方之下翼板開孔外緣有輕微承壓、摩擦等跡象;大梁內部勘查結果顯示,兩側鋼帽蓋盒尚完整,無鬆脫與損害情形;大梁端部外側勘查結果,未見下翼板有因承壓變形或拉破之情形。P6 側之剪力鋼棒有承壓之摩擦情形,鋼帽蓋盒與下翼板無明顯受壓反應。

根據現場勘查,橋兩側帽梁上之剪力鋼棒僅發現局部磨損變形,大部分均完好,並且全部留於原處。除 P7 橋墩北側鋼支承尚掛於橋墩上,其餘鋼支承下盤皆脫離於橋墩,並隨繫梁落下時一起掉落至地面。

1.10 測試與研究

本章節包含鋼絞線拉伸試驗、事故橋梁錨頭非破壞探傷檢測、新製及 事故橋梁錨頭拉伸試驗、斷裂鋼絞線及錨頭材料試驗、橋面瀝青鋪面鑽心 取樣等。

1.10.1 鋼絞線拉伸試驗

調查小組於民國 108 年 10 月 25 日進行鋼絞線取樣作業,圖 1.10-1 為事故橋梁之鋼絞線取樣示意圖,包含正常及生銹之鋼絞線,第 8 股吊索選定 1 束 4.5 公尺鋼絞線,裁切成 3 段 1.5 公尺之鋼絞線試驗件 (8-1;8-2;8-3);第 9 股吊索選定 2 束 4.5 公尺鋼絞線,其中 1 束鋼絞線外觀顏色比較黑,共裁切成 3 段 1.5 公尺之鋼絞線試驗件 (9-1;9-2;9-3),另 1 束為生銹之鋼絞線,裁切成 3 段 1.5 公尺之鋼絞線試驗件 (9-4;9-5;9-6),第 12 股吊索選定 1 束 4.5 公尺鋼絞線,裁切成 3 段 1.5 公尺之鋼絞線試驗件 (12-

1;12-2;12-3)。於民國 109 年 1 月 8 日將 12 段鋼絞線試驗件及所有端錨運送至國震中心,當日亦於第 10 股吊索選定 1 束 4.5 公尺鋼絞線,裁切成 3 段 1.5 公尺之鋼絞線試驗件(10-1;10-2;10-3)。

民國 109 年 1 月 21 日在華光工程顧問股份有限公司楊梅試驗室(以下簡稱華光公司楊梅試驗室)進行鋼絞線拉伸試驗,參與檢測單位包括:運安會及國震中心,本次拉伸試驗包含 15 段事故橋梁之鋼絞線以及 2 段新品鋼絞線(圖 1.10-2),試驗內容包括量測鋼絞線外徑、心線及外層鋼線外徑、拉伸極限負載、降伏強度、抗拉強度等。此 15 段事故橋梁之鋼絞線已使用 多年,本次拉伸試驗所得結果為鋼絞線殘餘強度。

正常鋼絞線外徑大致符合設計要求,拉伸極限負載均大於竣工圖標示之 265.5 千牛頓 (27.07 公噸);生銹鋼絞線 (9-4;9-5;9-6) 外徑約 15.41 毫米,低於設計要求,拉伸極限負載約 261.6 千牛頓 (26.68 公噸),低於竣工圖標示之 265.5 千牛頓,鋼絞線拉伸試驗報告詳附錄 3。圖 1.10-3 為拉伸試驗機台及斷裂之鋼絞線,圖 1.10-4 為拉伸試驗機台及斷裂之鋼絞線。

另於 2 月 21 日在華光公司楊梅試驗室進行另 3 段新品鋼絞線拉伸試驗,新品鋼絞線拉伸極限負載為 286.2 千牛頓 (29.18 公噸)。

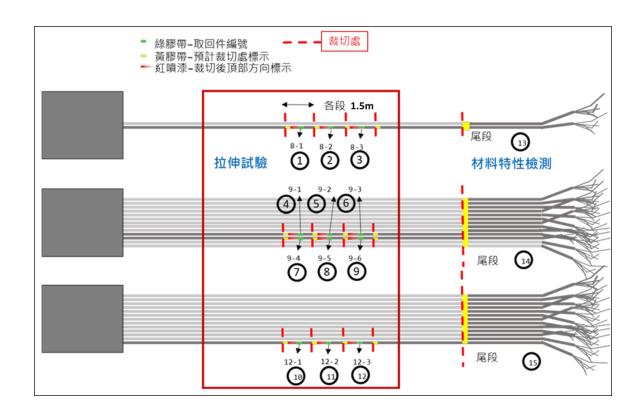


圖 1.10-1 鋼絞線取樣示意圖



圖 1.10-2 鋼絞線試驗件

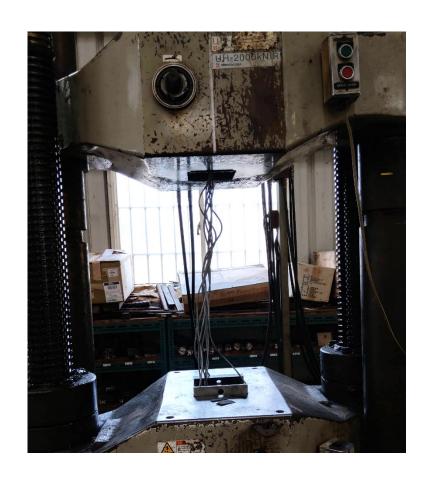


圖 1.10-3 拉伸試驗機台及斷裂鋼絞線



圖 1.10-4 拉伸試驗完成之斷裂鋼絞線

1.10.2 事故橋梁錨頭非破壞探傷檢測

調查小組於民國 109 年 2 月 7 日進行 10 號及 12 號上端錨錨頭非破壞螢光探傷檢測作業,參與檢測單位包括:運安會、國家中山科學研究院材料暨光電研究所(以下簡稱中科院)、國震中心。由於 10 號及 12 號上錨頭之 13 東鋼絞線皆完整留存固定於錨頭上,錨頭心部為鋼絞線貫穿之孔位,不易清理,故螢光檢驗主要針對錨頭側面及上下表面外圍處(圖 1.10-5),先以清潔溶劑去除錨頭表面之油膏及髒污,再以螢光探傷專用清潔劑清潔待測表面,之後噴塗螢光劑於待測表面,等候適當時間讓螢光劑滲透裂紋處,去除表面螢光劑後再噴上顯影劑,在紫外線燈下觀察,如圖 1.10-6。



圖 1.10-5 錨頭檢測區域

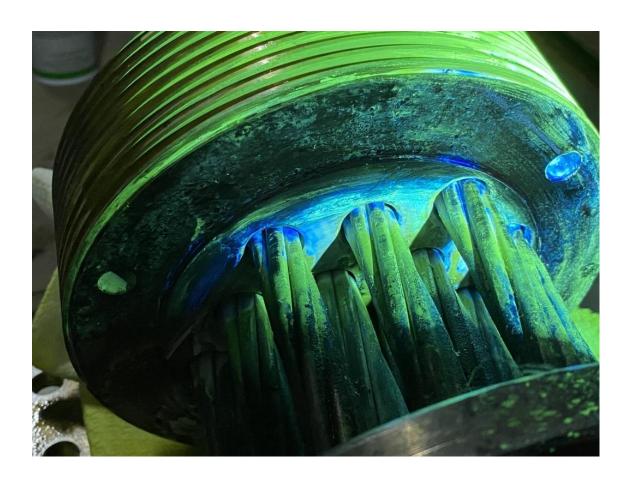


圖 1.10-6 螢光探傷檢測

10 號上錨頭側面共有兩處表面裂紋,位於側面螺紋之齒峰位置(圖1.10-7),圖中A處裂紋有向下延伸,但目視判斷其深度較淺;B處裂紋位於連續3齒之齒峰位置,且紋路筆直,疑似表面刮傷造成;其他表面並未發現明顯裂紋,可觀察到銹斑現象。12 號上錨頭側面亦有兩處表面裂紋,亦位於側面螺紋之齒峰位置(圖1.10-8);其他表面未發現明顯裂紋;上表面有較多銹斑,側面亦可觀察到銹斑現象。

經非破壞螢光探傷檢測後,發現 10 號及 12 號上錨頭側面皆有表面裂紋,但其深度相當淺,研判對後續拉伸試驗沒有影響。

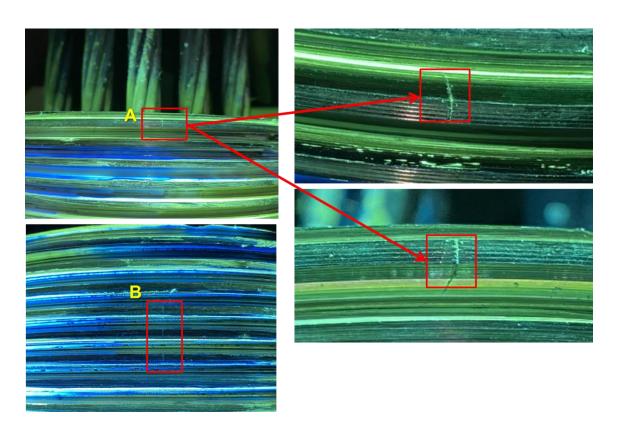


圖 1.10-7 10 號上錨頭側面之表面裂紋

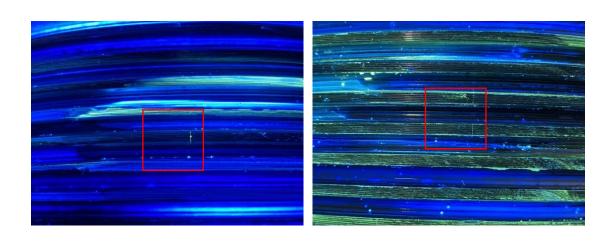


圖 1.10-8 12 號上錨頭側面之表面裂紋

另 11 號上錨頭留存之鋼絞線經褪除後,先以目視檢查方式檢驗錨頭表面是否有明顯傷痕或裂紋,再使用中科院 X 光電腦斷層 (CT) 進行檢測分析內缺陷。外觀檢視及 CT 檢測結果顯示,11 號上錨頭於側面螺紋發現一處裂紋,深度約到齒谷位置,並未往內部延伸,而內部亦未發現有明顯裂紋,研判對後續拉伸試驗沒有影響。

1.10.3 端錨及吊索系統測試規範

根據交通部高速公路局施工技術規範第 03232 章⁵,鋼拱橋吊索及架設之規定如下:整組端錨及吊索系統應依美國後拉法預力學會 (Post Tensioning Institute, PTI)「Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation」4.2 節規定或同等規範辦理疲勞及極限應力試驗。

依據 PTI 測試規範,承受拉力為主的斜張鋼絞線須符合 200 萬次反覆受力的測試規定,其測試應力值為鋼絞線極限強度的 0.45 倍。疲勞試驗結束後需再進行靜態載重極限應力試驗,測試合格的標準是強度需大於鋼絞線實際極限強度的 92%,亦需大於鋼絞線標稱強度的 95%,且任何端錨系統(如錨頭及夾片)不得發生破壞情況,才可判定為合格之端錨裝置。然而,考量目前國內並無財團法人全國認證基金會 TAF 認證之實驗室可進行 200 萬次反覆受力疲勞試驗,且南方澳大橋為逾 20 年橋齡之舊橋,可考量其已經過相當程度之疲勞試驗,因此調查小組僅規劃靜態載重極限應力試驗。

此外,因上述 PTI 規範並沒有規定後段極限應力試驗的加載方式,故本次試驗參考 ETAG 013 後拉預力系統之技術指引 (2002) (Guideline for European Technical Approval of Post-Tensioning Kits for Prestressing of Structures) 之預力端錨靜載重試驗方法,採二階段加載控制方法進行,第一階段採應力控制方式,以每分鐘約 100 MPa 之速率等速加載,直至施載力量達鋼絞線標稱強度 80%時,改採第二階段應變控制方式,以每分鐘約 0.0007 之應變速率加載,直至發生破壞為止。

1.10.4 新製錨頭拉伸試驗

為進行事故橋梁之錨頭拉伸測試,調查小組訂製一新製錨頭,並於民國 109年2月21日在華光公司楊梅試驗室進行新製錨頭拉伸試驗,參與檢

5 施工技術規範第 03232 章為交通部高速公路局於民國 106 年規劃高速公路國 2 甲延伸線時,請工程顧問公司參考國外資料所訂定。

測單位包括:運安會、國震中心。試驗目的為驗證新製錨頭強度是否符合規範,若新製錨頭通週測試,可做為後續事故橋梁 10 號上錨頭拉伸測試之另一固定端之錨頭。此次試驗方法為「ETAG 013 後拉預力系統之技術指引 (2002)」,合格標準 PTI 測試規範。

事故橋梁 2 至 12 號上錨頭各配置 13 束鋼絞線,搭配之錨頭採 14 開孔設計。圖 1.10-9 為新舊錨頭之比較圖,圖 1.10-9(左)為事故橋梁之錨頭,圖 1.10-9(右)為新製錨頭,係依照原事故橋梁之錨頭仿製,但開孔密度較低,孔與孔的距離較大,開孔直徑依新夾片尺寸而放大,新製錨頭及新製夾片如圖 1.10-10。新製錨頭實際鋼絞線安裝狀況如圖 1.10-11(右),圖 1.10-11(左)之紅色標示位置為未安裝鋼絞線之開孔。

錨頭測試的系統破壞模式為鋼絞線斷裂於夾片處,錨頭測試合格的標準是強度需大於鋼絞線實際極限強度的92%,亦需大於鋼絞線標稱強度的95%。依1.10.1 節鋼絞線拉伸試驗結果,新品鋼絞線的實際拉伸極限負載約286.2千牛頓(29.18 公噸),標稱極限負載是279.0千牛頓(28.45 公噸),因此錨頭測試合格的標準為286.2千牛頓×13 股×92%,等於3,423.0千牛頓(349.05 公噸),或279.0千牛頓×13 股×95%,等於3,445.7千牛頓(351.36 公噸)。依PTI測試規範,新製錨頭負載強度需大於3,445.7千牛頓。

拉伸試驗以每分鐘約 100 MPa 等速施加負載,達到 80%鋼絞線標稱極限負載(2,901.6 千牛頓)時,改以等應變速率施加負載,直至破壞為止。 拉伸試驗進行至出現第 1 束鋼絞線斷裂時,拉伸極限負載達 3,488 千牛頓 (355.68 公噸),鋼絞線破壞孔位分布及測試照片詳圖 1.10-12。本次試驗 結果顯示,新製錨頭負載強度達 3,488 千牛頓(355.68 公噸),大於 3,445.7 千牛頓(351.36 公噸),符合 PTI 測試規範。

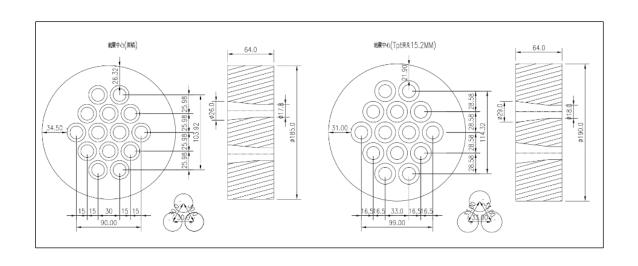


圖 1.10-9 新舊錨頭之比較圖



圖 1.10-10 新製錨頭及新製夾片

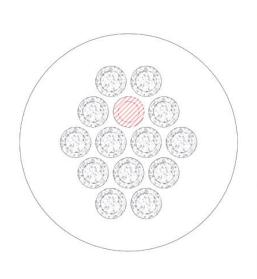




圖 1.10-11 錨頭開孔與實際安裝之鋼絞線

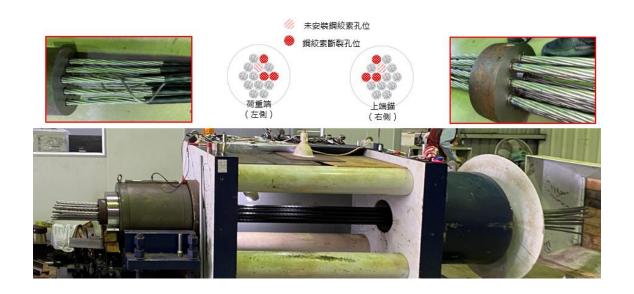


圖 1.10-12 新製錨頭拉伸試驗照片

1.10.5 事故橋梁錨頭拉伸試驗

調查小組於民國 109 年 3 月 10 日在華光公司楊梅試驗室進行 10 號上 錨頭拉伸試驗,參與檢測單位包括:運安會、國震中心、中科院、宜蘭地檢 署。試驗方法為「ETAG 013 後拉預力系統之技術指引 (2002)」,合格標準 為 PTI 測試規範,本次試驗目的為驗證 10 號上錨頭強度,試驗之 10 號上 端錨系統未經拆解,其錨頭、夾片及鋼絞線均為原始狀況,以事故後材料 殘餘強度進行試驗驗證。

拉伸試驗照片如圖 1.10-13,鋼絞線安裝狀況詳圖 1.10-14(右),圖 1.10-14(左)之紅色標示位置為未安裝鋼絞線之開孔。檢視 13 東原來的鋼絞線, 1 東鋼絞線有輕微剝離特徵,1 東有兩個地方呈現鋼線與心線脫離現象,但 未發生鳥籠破壞現象,如圖 1.10-15。

依 1.10.1 節鋼絞線拉伸試驗結果,10 號鋼絞線的拉伸極限負載約 276.2 千牛頓(28.16 公噸),標稱極限負載是 279.0 千牛頓(28.45 公噸),因此錨 頭測試合格的標準為 276.2 千牛頓×13 股×92%,等於 3,303.0 千牛頓(336.85 公噸),或 279.0 千牛頓×13 股×95%,等於 3,445.7 千牛頓 (351.36 公噸)。依 PTI 測試規範,10 號錨頭負載強度需大於 3,445.7 千牛頓(351.36 公噸)。

拉伸試驗以每分鐘約 100 MPa 等速施加負載,達到 80%鋼絞線標稱極限負載(2,901.6 千牛頓)時,改以等應變速率施加負載,直至破壞為止。 拉伸試驗進行時,兩束鋼絞線分別斷裂,拉伸試驗仍持續進行,施加拉伸 負載達 2,573.5 千牛頓(262.42 公噸)時,10 號上錨頭瞬間斷裂,斷裂鋼絞 線及破壞錨頭照片詳圖 1.10-16。



圖 1.10-13 10 號上錨頭拉伸試驗照片

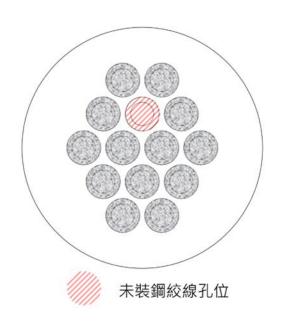




圖 1.10-14 錨頭開孔與實際安裝之鋼絞線

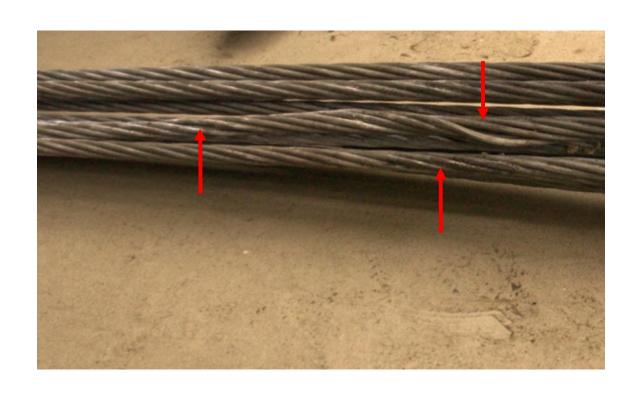


圖 1.10-15 心線脫離鋼絞線



圖 1.10-16 拉伸試驗後之照片

為再次驗證上端錨系統的極限強度,民國 109 年 9 月 23 日,調查小組 於華光公司楊梅試驗室進行 11 號上錨頭拉伸試驗,參與檢測單位包括運安 會及宜蘭地檢署。試驗方法為「ETAG 013 後拉預力系統之技術指引(2002)」, 合格標準為 PTI 測試規範。

本次拉伸試驗前,調查小組將 11 號上端錨系統退除後,取出 11 號上 錨頭,再由各端錨系統退除後取回之夾片中,選取 39 個狀況良好的夾片, 經清洗與重組後,配上狀況較佳之 4 號吊索鋼絞線,重新安裝於 11 號上錨 頭,組合成一組可視為翻修件之端錨系統。

依 PTI 測試規範, 錨頭負載強度需大於 3,445.7 千牛頓(351.36 公噸)。 本次試驗結果, 拉伸負載於 3,137.0 千牛頓(319.88 公噸)時, 11 號上錨頭 瞬間斷裂。

1.10.6 斷裂鋼絞線及錨頭之材料試驗

本會於事故發生後陸續將2束8號吊索之鋼絞線、13束9號吊索之鋼 絞線、13束12號吊索之鋼絞線、13個上錨頭及13個下錨頭送至中科院, 進行相關材料檢測與試驗,以協助研判吊索系統失效的可能原因,測試報 告如附錄4。

錨頭測試項目包括:非破壞螢光探傷檢測、7、9及11號上錨頭之X光電腦斷層檢測分析、火花發射光譜儀(spark optical emission spectrometry, SPARK-OES)化學成分分析、材質拉伸試驗、硬度測試等;鋼絞線測試項目包括:巨觀觀察及照相、掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察斷裂面、電子束顯微分析儀(EPMA)化學成分分析、表面鍍層分析、拉伸試驗、硬度測試等。針對上述之測試結果摘要說明如下。

錨頭化學成分分析

取樣 5 個上錨頭以及 5 個下錨頭,經研磨後以火花發射光譜儀進行成分分析,分析結果皆符合 JIS G4051 S45C 規格,亦符合 SAE AISI 1045 規格。

錨頭材質拉伸試驗

將 5 個上錨頭以及 5 個下錨頭切割取樣,並依照 ASTM E8/E8M 規範加工為拉伸試棒進行拉伸試驗,每個錨頭測試 3 件。測試結果顯示整體降伏強度平均值約 338 MPa,整體極限抗拉強度平均值約 674 MPa,伸長率平均值約 22.1%。

錨頭材質硬度測試

以洛氏硬度機進行錨頭硬度測試,每件隨機測試5點,測試結果顯示各錨頭材質之硬度相近,部份錨頭硬度略高。綜合拉伸試驗及硬度測試結果,研判錨頭使用之S45C材料並未經過淬回火熱處理。

鋼絞線成分分析

選取 8、9、12 號吊索進行成分分析,其中 9 號吊索分別取全段生銹及 未生銹之鋼絞線進行成分分析。分析結果顯示各鋼絞線之成分中,碳含量、 鉻合金元素含量有較大差異,研判不同成分之鋼絞線可能來自不同商源或 屬不同批次之產品。

鋼絞線表面鍍層分析

由外觀檢視可發現各鋼絞線之芯線表面氧化程度較少,故取芯線進行 表面鍍層分析,其中編號 9 號吊索亦取全段生銹及未生銹之鋼線。取樣後 針對鋼線橫剖面進行鑲埋、研磨及拋光後,以掃描式電子顯微鏡 (SEM) 搭配能量散布光譜儀 (EDS) 進行元素含量分析,以判斷鋼表面鍍層狀況。

8號吊索鋼絞線芯線之表面具有鍍鋅層,但厚度僅剩約 10μ m,且因氧化嚴重導致鋅層結構疏鬆,僅鋅層與鋼材界面處較密實。9號吊索全段生銹之鋼絞線芯線之表面僅有氧化層,並未發現鍍層,且因氧化嚴重,導致氧化層以侵入鋼材導致其表面不平整。9號吊索全段未生銹鋼絞線芯線之表面具有鍍鋅層,惟其形態亦不甚密實,可能受長時間氧化影響,鋅層厚度約接近 10μ m,但各處厚度不是很均勻。12號吊索鋼絞線芯線之表面亦有鍍鋅層存在,且含鋅層厚度可達約 30 至 40μ m,但可明顯看出有分層現象,

較外層氧含量較高,顯示亦受長時間氧化影響。

鋼絞線硬度測試

鋼絞線經剖面鑲埋、研磨及拋光後,以維氏硬度機進行硬度測試,荷重採用 300 公克重,每鋼線隨機測試 5 點。測試結果顯示不同鋼絞線之線材硬度差異不大,惟 12 號吊索之鋼絞線硬度有略低之現象。

1.10.7 橋面瀝青鋪面鑽心取樣

民國 108 年 10 月 10 日由宜蘭地檢署委託健荃技術顧問有限公司進行鋪面厚度鑽心量測,其取樣範圍僅就鋼纜下部固定端錨尚露出水面部分,計有編號 1、2、3、10、11、12、13 等 7處,現場採平均範圍取樣瀝青混凝土 (Asphalt Concrete,以下簡稱 AC) 試體共 21 處,採樣位置點如圖 1.10-17。

民國 108 年 10 月 25 日另請潛水伕進行水下之橋面 AC 厚度鑿孔量測,鋼纜下部固定端錨落入水中者計有編號 4 至 9 纜,經現場指定於第 5、7、8 纜附近各取 3 處進行測量,上述共 30 處量測數據及相對位置圖如圖 1.10-18 及表 1.10-2,平均鑽心厚度為 12.5 公分。

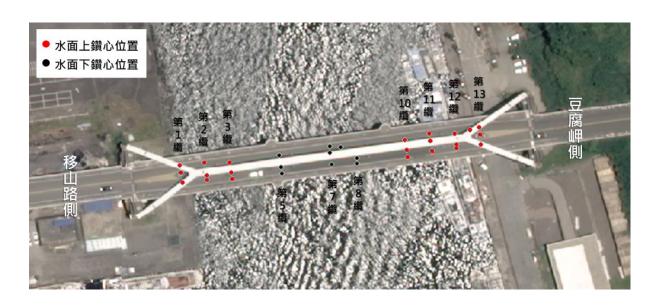
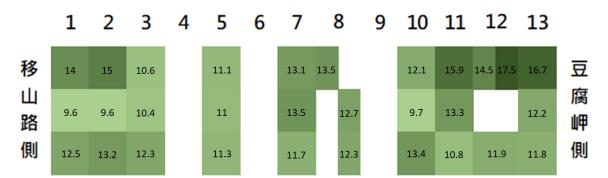


圖 1.10-17 鑚心位置示意圖



註1:白色區塊為未做檢測範圍,顏色越深表示鋪面越厚(單位:公分)

註2:此圖為厚度示意,非同比例繪製

圖 1.10-18 鋪面厚度俯視示意圖

表 1.10-2 鑽心檢測報告及現場量測數據

鋼索編號	採樣位置 1 (公分)	採樣位置 2 (公分)	採樣位置3 (公分)
1	14	9.6	12.5
2	15	9.6	13.2
3	10.6	10.4	12.3
5 (水下)	11.1	11	11.3
7 (水下)	13.1	13.5	11.7
8 (水下)	13.5	12.7	12.3
10	12.1	9.7	13.4
11	15.9	13.3	10.8
12	14.5	1	11.9
12~13	17.5		_
13	16.7	12.2	11.8

1.11 橋梁維修、檢測及使用

1.11.1 橋梁維修

南方澳大橋建置工程於民國87年11月26日驗收合格,保固期為5年,依據臺灣港務股份有限公司基隆分公司蘇澳港營運處(以下簡稱蘇澳港營運處)所提供資料,保固期內並未辦理過維護、保養工作。保固期滿前由宜蘭縣政府督導施工廠商執行契約保固工作,後續則由前交通部基隆港務局

蘇澳港分局(以下簡稱蘇澳港分局)視平日巡查結果、參考規劃報告或依受通知之檢測後建議維護事項辦理維護,以下將針對保固期滿維修、保固期滿後續維修兩部分做說明。

1.11.1.1 保固期滿前維修

宜蘭縣政府於民國 92 年 11 月 19 日辦理保固期滿前現場勘查,勘查結果為應進行主橋局部除銹補漆、引橋伸縮縫更換、投射燈具修復、人行步道局部剝落修復。考量原營造承包商立永已倒閉,故由橋梁營造工程之保固保證金辦理保固期滿之設計監造及維修工程案。

設計監造案採限制性招標,由橋梁原設計監造公司亞新得標,其依據橋梁竣工圖繪製維修工程案之設計圖,並製作工程發包文件;維修工程案採最低標,由正義土木包工業得標,依據本案契約內圖說敘明之工程內容為:鋼橋局部噴砂補漆、AB型欄杆局部更新、750公頓活動鋼支承除銹保養、主橋保養工作車除銹保養、鋼橋吊索套鐵件維修補漆、AB型欄杆局部除銹補漆、安全方向導引標誌固定角材更新、混凝土裂縫補強及鋼筋外露處理等,於民國 93 年 10 月 12 日驗收合格。

1.11.1.2 保固期滿後續維修

宜蘭縣政府於民國 87 年 12 月 15 日函文前蘇澳港分局,辦理工程移交事宜並檢附工程結算驗收證明書、工程竣工決算圖表及移交清冊資料,當中並無與橋梁相關之養護說明資料。依據訪談紀錄顯示,當時蘇澳港分局係依據「台灣省宜蘭縣政府蘇澳港跨漁港航道拱橋興建工程規劃報告」中成本估算養護費用之建議,可自完工後(第3年起),逐年編列橋面及引道道路之費用;橋梁結構部分,則於第9年、第14年、第19年等,分別編列表面塗裝之養護費用。

保固期滿維修完成後,後續維修工作皆由前蘇澳港分局(航港體制改革後為航港局)及港務公司辦理,自民國94年至民國108年間共有60項橋梁維護工程,其中如有民眾及其他機關反映或平日巡檢所發現之故障、

損壞情形,多以小額採購方式修繕完成;另橋梁整體結構維護則依據規劃報告內之建議辦理道路及表面塗裝之工程,查上述期間內辦理主橋整體結構維護計有鋪面工程1次及油漆工程2次。

橋面鋪面工程

民國 106 年辦理「南方澳大橋與銜接引道既有道路鋪面及伸縮縫改善工程」,工程範圍為全路面(含引道上游路面、引道及主橋)刨除重鋪及更換伸縮縫,將原道路刨除 5 公分後再重鋪 5 公分,工程金額為 338 萬餘元,係橋梁完工後第一次辦理鋪面更換6。依據該工程合約施工說明文件,瀝青鋪設完成後需辦理鋪面厚實度與壓實度檢測,故承包商取 0k+200 處、0k+380 處、0k+690 處各取 3 點進行鑽心取樣,檢測結果如表 1.11-1 所示,平均厚度為 6.8 公分,大於設計值 5 公分,故同意合格驗收,惟取樣點位係採全施作範圍平均取樣,故上述取樣點未涵蓋主橋範圍,且僅針對新鋪面之厚度進行檢測。

鑽心位置	採樣位置1 (公分)	採樣位置2 (公分)	採樣位置3 (公分)
0k+200	5.8	6.2	5.1
0k +380	7.1	8.3	7.6
0k +690	5.4	9.9	5.9

表 1.11-1 鋪設完成後鑽心檢測結果

橋梁油漆工程

橋梁塗裝係依據規劃報告建議,於民國 98 年(完工後第3年起計之第9年)辦理「蘇澳港南方澳大橋油漆工程」,其工作項目需針對外露表面⁷塗

6 設計監造單位為誠邦工程顧問有限公司,營造廠商為崧峰營造股份有限公司,施工方式為「半半施工」,以利施工時仍可維持車輛通行。

⁷ 含橋梁之拱架、拱架柱、繫梁、橋面板大梁外露部分、保養工作架。

裝、未外露表面8塗裝及主橋景觀平台欄杆更換為不銹鋼欄杆,工程金額為288萬餘元;民國99年辦理「蘇澳港南方澳大橋油漆工程(二期)」,其工作項目為主橋及引道兩側走道之護欄、立柱欄杆、連接觀景台之檢修、銲接及維修塗裝,工程金額為93萬餘元。

民國 102 年 9 月 26 日宜蘭縣政府函轉交通部公路總局(以下簡稱公路總局)辦理之宜蘭縣境內鋼橋及特殊橋梁檢視結果,敘明南方澳大橋漆面塗裝大致良好(近期有塗裝),惟有欄杆排水造成鋼腹鈑銹蝕(局部)及局部構件輕微銹蝕(人孔及翼鈑)之情形,故蘇澳港營運處據此未規劃辦理原 103 年(完工後第 3 年起計之第 14 年)應辦理之油漆工程;原規劃於民國 109 年(完工後第 3 年起計之第 19 年)之油漆工程,因遇橋梁斷裂事故停止辦理。

1.11.2 橋梁檢測

自南方澳大橋建置完成後,於民國 90 年至民國 105 年間,由宜蘭縣政府依據交通部頒布之「公路養護手冊」及相關規範,辦理 7 次南方澳大橋定期檢測作業⁹,檢測承包商依交通部運輸研究所建立之「臺灣地區橋梁管理資訊系統」(Taiwan Bridge Management System, TBMS)內規定項目辦理勘查,並針對橋梁各項設施之劣化程度(D)、劣化範圍(E)、劣化情況對橋梁結構使用性及用路人安全性(R)及處置急迫性(U)等四項目做評比,劣化狀況之檢測評等準則如表 1.11-2,檢測完成後需將檢測結果登載至TBMS內,歷年檢測摘要如表 1.11-3 所示。自民國 105 年 4 月 28 日後,南方澳大橋未再辦理過橋梁檢測作業。

⁸ 含橋面板大梁內部。

⁹ 宜蘭縣政府表示,南方澳大橋自民國87年驗收後交予前基隆港務局。宜蘭縣政府自民國90年至民國105年間因以為該橋管理機關為蘇澳鎮公所,故行政協助鎮公所及配合交通部評鑑規定,將該橋一併辦理7次DERU目視檢測,宜蘭縣政府與港務局並無代辦檢測或約定。

表 1.11-2 橋梁劣化狀況之檢測評等準則

	0	1	2	3	4
D	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞
E	無法檢測	0~10%	10~30%	30~60%	60~100%
R	無法判斷	微	小	中	大
U	無法判定急迫性	例行維護	3年內維護	1年內維護	緊急處理

表 1.11-3 歷年南方澳大橋 DERU 目視檢測紀錄

檢測日期	檢測單位	檢測辦理依據10	檢測員整體意見	結構形式11	檢測表摘要 (僅針對主橋範圍)
民國 90 年 3 月 2 日	萬鼎工程服 務股份有限 公司	未敘明	此橋為斜張橋與箱型橋合併之。	斜張橋	檢測結果良好,無修繕建議。
民國 96 年 8 月 23 日	亞新工程顧 問股份有限 公司	交通部頒「公路 養護手冊」 (未敘明版本)	整體橋梁所有多處須做維修處 理,但是並無立即性之危險 性,僅需做例行性維護即可。	斜張橋	建議例行維護時修復項目:人 行步道裝修層損壞約0.5平方 公尺;欄杆銹蝕約280公尺; 橋墩混凝土裂縫2處;鋼箱梁 底銹蝕、上構肋拱鋼梁銹蝕、 橋梁鋼箱梁銹蝕,共約2,000 平方公尺。
民國 98 年 6 月 16 日	亞新工程顧 問股份有限 公司	交通部頒「公路 養護手冊」 (未敘明版本)	橋梁狀況尚可,據悉橋梁已發 包油漆,鋼梁銹蝕部分應可改 善。	拱橋	建議1年內修復項目:景觀台 欄杆銹蝕斷裂8公尺共4處; 鋼箱梁銹蝕;鋼拱銹蝕。

¹⁰ 由契約內或招標文件內所敘明之橋梁檢測依據。

¹¹ 民國 90 年及民國 96 年之結構形式係整座橋梁 (含引道),民國 98 年後有將主橋及引道個別分類並填表。

檢測日期	檢測單位	檢測辦理依據 ¹⁰	檢測員整體意見	結構形式11	檢測表摘要 (僅針對主橋範圍)
					建議3年內修復項目:梁底維修天車軸承組銹蝕。
				拱橋	建議例行維護時修復項目:人 行道鋪面1平方公尺損壞共5 處;兩側欄杆脫漆130公尺; 右橋柱頂裂縫2處共0.4公 尺;橋墩柱附掛水管漏水。
民國 99 年 11 月 30 日	易鼎工程顧問有限公司	交通部頒「公路 養護手冊」 (未敘明版本)	各構件缺失均屬輕微,可在一般管理中維護即可。	拱橋	檢測結果良好,無修繕建議。
民國 101 年 3 月 4 日	四海工程顧問有限公司	交通部頒「公路 養護手冊」 (未敘明版本)	此橋有多處缺失,大部分範圍 小且輕微損壞,尚不影響橋梁 結構穩定,唯須注意遠端擋土 設施因地形關係,出現大範圍 混凝土破損情況,建議可協同 相關治理單位討論改善修護方 法。本次無法檢測與無此項為 5.12.13.16.19.21。	拱橋	建議例行維護時修復項目:摩擦層 AC 破損 (0.5 公尺*0.1 公尺*0.02 公尺); 兩側人行道破損 (150 公尺*1 公尺*0.1 公尺) 共2處; 兩側緣石保護層不足,鋼筋外露銹蝕 (150 公尺*0.1 公尺*0.01 公尺) 共2處;路燈燈泡遺失4處。

檢測日期	檢測單位	檢測辦理依據 ¹⁰	檢測員整體意見	結構形式 ¹¹	檢測表摘要 (僅針對主橋範圍)
民國 103 年 8 月 3 日	健行學校財 團法人健行 科技大學	交通部頒「公路 養護手冊」 (未敘明版本)	A1 ¹² 引道路堤右側龜裂、A1橋台蜂窩、P1橋墩鋼筋裸露、S02G01右側鋼筋裸露、P2保護層不足鋼筋裸露、P3頂板鋼筋外露、P6橋墩墩柱蜂窩、P6帽梁鋼筋裸露、P6橋墩墩柱鋼筋裸露、支承墊下方混凝土塊破損、S07左側人行道AC龜裂、P8橋墩鋼筋裸露混凝土龜裂、橋尾引道左側植物植生,應予以維修以策用路人安全。	拱橋	建議3年內修復項目:緣石及人行道左側鋪面龜裂。
民國 105 年 4 月 28 日	健行學校財 團法人健行 科技大學	*評選須知:交 通部頒「公路 護手冊」 (未敘明版本) *契約第二條 附件二:鋼橋檢 測依交鋼結構橋	1.排水孔多處阻塞,建議先行清理。 2.護欄與路燈銹蝕多處,建議除銹後重新上漆。 3.P6與P7樓梯底部多處破損鋼筋外露銹蝕,建議先行修復。 A1、P3與A2伸縮縫皆為老式壓縮式填縫,已有明顯變形損壞與沉陷,行車經過時感覺高	拱橋	建議3年內修復項目:人行道 鋪面裂紋(3公尺*1公尺)共 2處;人行道路燈柱銹蝕4 處;6號橋墩帽梁底混凝土剝 落鋼筋外露銹蝕(0.5公尺*0.2 公尺)共5處;6號橋墩柱混 凝土破損鋼筋外露銹蝕(1公 尺*0.6公尺)共1處;6號橋 墩樓梯底混凝土剝落鋼筋外露

 12 為標示橋梁各部位及位置之代號,A為橋台、P為橋墩、S為橋孔,數字代表其位置,南方澳大橋之橋墩編號為 P6 至 P7。

檢測日期	檢測單位	檢測辦理依據10	檢測員整體意見	結構形式11	檢測表摘要 (僅針對主橋範圍)
		梁之檢測及補強 規範」辦理	低落差造成不適感,建議更新耐用度較佳之伸縮縫。		銹蝕(0.5公尺*0.4公尺)共5處;6號橋墩柱混凝土蜂窩(0.4公尺*0.4公尺)1處;6號橋墩混凝土支承墊裂縫(0.4公尺公尺*0.5公尺)1處;鋼梁銹蝕10公尺;7號橋墩樓梯底混凝土剝落鋼筋外露銹蝕(0.4公尺*0.3公尺)1處;7號橋墩樓梯底混凝土破損鋼筋外露銹蝕(0.4公尺*0.4公尺)共5處。
					建議例行維護時修復項目:7 號橋墩混凝土剝落鋼筋外露銹 蝕(0.5公尺*0.2公尺)、白華 裂縫(0.5公尺*0.5公尺)。

1.11.3 橋梁監測

於南方澳大橋興建前,臺灣省議會考量橋梁處地震帶恐影響橋梁結構安全,建議宜蘭縣政府將安全監測系統納入興建工程,民國87年4月22日宜蘭縣政府委託國立中央大學辦理地震安全監測系統之規劃,民國88年10月20日宜蘭縣政府函送竣工報告書及移交清冊予前蘇澳港分局,系統內含4組三軸強震儀、5組單軸強震儀、2組風速風向計、9組應變放大計及2組熱電耦,安裝位置詳圖1.11-1、圖1.11-2;主要監測結構物震動、結構物應變、環境震動、環境風速風向及溫度,以量測橋梁結構反應及周圍環境資料。此系統於橋梁進出口及橋墩扶梯口設置6組強風預警燈,當風速超過預警值,則會啟動燈號給予警示。

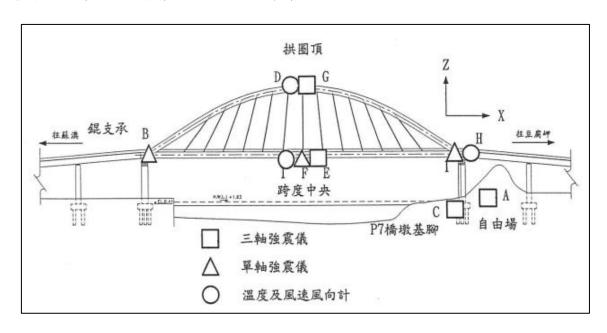


圖 1.11-1 監測系統儀器布設圖 (一)

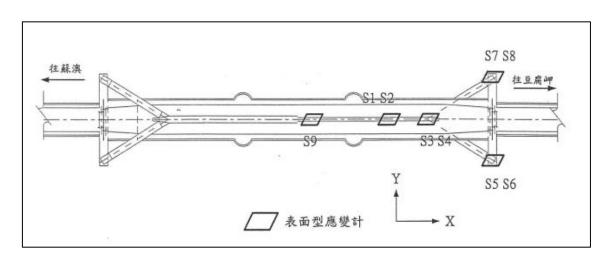


圖 1.11-2 監測系統儀器布設圖 (二)

民國 88 年底因碼頭施工作業將監測系統之電纜線挖斷,致無法正常接收監測訊號,故宜蘭縣政府於民國 90 年 1 月 10 日召開「南方澳大橋安全監測系統設施檢討工作報告會議」,決議辦理修復工作。

該系統使用年限為5年,依據蘇澳港營運處提供之資料,宜蘭縣政府 後續並無繼續辦理地震監測及回報監測資料。該系統於民國101年9月辦 理報廢。

1.11.4 橋梁使用

南方澳大橋自民國 87 年開放通車後,除提供一般民眾通行外,也開放蘇澳港堤防等設施工程進行載運,依蘇澳港營運處及宜蘭縣政府所提供之歷年工程合約資料及訪談紀錄,蘇澳港營運處於民國 105 年 10 月至民國 108 年 9 月共辦理 4 次堤防消波塊運輸工程,另宜蘭縣政府為安置公共工程產出之廢棄土方,於民國 107 年 9 月至民國 108 年 1 月進行土方載運,相關載運時程與數量說明如後。

1.11.4.1 消波塊載運工程

依據港務公司提供資料及訪談紀錄,蘇澳港區自民國 105 年起共辦理 4 次蘇澳港堤防等相關改善整修工程,計有 10 公噸、20 公噸及 40 公噸共 3 種雙 T 型消波塊運送經過南方澳大橋,為瞭解載運過程是否超過橋梁設計載重,調查小組蒐集通過南方澳大橋載運路線、時程及數量統計說明如

下:

民國 105 年蘇澳港堤防及公共道路舖面等改善整修工程

工程施工日期為民國 105 年 6 月 17 日至 10 月 16 日止,製作消波塊預 鑄場位於港區外之移山路旁工地,載運經南方澳大橋至豆腐岬遊憩區停車 場旁拋放,路程約為 1.5 公里,載運路線如圖 1.11-3。



圖 1.11-3 蘇澳港堤防及公共道路舖面等改善整修工程載運路線

載運期間為民國 105 年 10 月 12、13 及 15 日,總計運送 200 塊 10 公噸雙 T 消波塊,如表 1.11-4,施工照片顯示載運車種為前單軸後雙軸曳引車連結後雙軸半拖車,最大總聯結重量 40 公噸,如圖 1.11-4。

表 1.11-4 蘇澳港堤防及公共道路舖面等改善整修工程載運統計表

日期	吊掛 10 公噸雙 T 消波塊數量(塊)
民國 105 年 10 月 12 日	59
民國 105 年 10 月 13 日	69
民國 105 年 10 月 15 日	72
總計	200
	上市里上井海 2 16 10 八板冰边路

備註:依據施工照片顯示每台板車最大載運3塊10公噸消波塊





圖 1.11-4 蘇澳港堤防及公共道路舖面等改善整修工程載運消波塊車輛

民國 106 年蘇澳港豆腐岬潛堤及設施工程

工程施工日期為民國 106 年 4 月 20 日至 10 月 25 日止,製作消波塊預鑄場位於港區外之移山路旁工地,載運經南方澳大橋至蘇澳港豆腐岬北堤

抛放,路程約為1.5公里,載運路線如圖1.11-5。



圖 1.11-5 蘇澳港豆腐岬潛堤及設施工程載運路線

載運期間為民國 106 年 8 月 2、3、4、7 日及 10 月 3 日,總計運送 464 塊 10 公噸雙 T 消波塊,如表 1.11-5,施工照片顯示載運車種為前單軸後單軸曳引車連結後雙軸半拖車,最大總聯結重量 35 公噸,如圖 1.11-6。

表 1.11-5 蘇澳港豆腐岬潛堤及設施工程載運統計表

	日期						吊掛 10 公噸雙 T 消波塊數量(塊)
民國	106	年	8	月	2	日	96
民國	106	年	8	月	3	日	128
民國	106	年	8	月	4	日	86
民國	106	年	8	月	7	日	72
民國	106	年	10	月	3	日	82
總計							464
備註:	備註:依據施工照片顯示每台板車載運2塊10公噸消波塊						



圖 1.11-6 蘇澳港豆腐岬潛堤及設施工程載運消波塊車輛

民國 106 年蘇澳港外廓防波堤災損修復工程(含漁港外堤)

工程施工日期為民國 106 年 7 月 9 日至民國 108 年 1 月 23 日止,製作 消波塊預鑄場位於港區外之移山路旁工地,載運經南方澳大橋至南外廓防 波堤拋放,路程約為 2 公里,載運路線如圖 1.11-7。



圖 1.11-7 蘇澳港外廓防波堤災損修復工程載運路線

載運期間為民國 106 年 11 月至民國 107 年 11 月 ,總計運送 345 塊 40 公噸雙 T 消波塊,如表 1.11-6,監視器畫面顯示載運車種為前單軸後單軸

曳引車連結後雙軸半拖車,最大總聯結重量35公頓,如圖1.11-8。

表 1.11-6 蘇澳港外廓防波堤災損修復工程載運統計表

日期	吊掛 40 公噸雙 T 消波塊數量(塊)
民國 106 年 11 月 10 日	29
民國 106 年 11 月 11 日	33
民國 107 年 04 月 10 日	35
民國 107 年 04 月 11 日	26
民國 107 年 04 月 20 日	5
民國 107 年 04 月 30 日	1
民國 107 年 08 月 31 日	25
民國 107 年 09 月 11 日	35
民國 107 年 10 月 01 日	39
民國 107 年 10 月 02 日	41
民國 107 年 10 月 08 日	25
民國 107 年 10 月 18 日	20
民國 107 年 11 月 05 日	31
總計	345
備註:依據監視器畫面顯示每台	6板車載運1塊40公噸消波塊



圖 1.11-8 蘇澳港外廓防波堤災損修復工程載運消波塊車輛

民國 108 年蘇澳港填方區封堵、海堤修復及公務船渠浚挖工程

工程施工日程為民國 108 年 1 月 10 日至民國 109 年 1 月 18 日 (預定 完工日期)止,製作消波塊預鑄場位於港區外之移山路旁工地,載運經南方澳大橋至第四港渠填方區拋放,路程約為 2 公里, 載運路線如圖 1.11-9。



圖 1.11-9 蘇澳港填方區封堵、海堤修復工程載運路線

載運期間為民國 108 年 6 月至 9 月,總計運送 1,003 塊 20 公噸及 721 塊 10 公噸雙 T 消波塊,如表 1.10-7,施工照片顯示載運車種為前單軸後單軸曳引車連結後雙軸半拖車,最大總聯結重量 35 公噸,如圖 1.11-10。

表 1.11-7 蘇澳港填方區封堵、海堤修復工程載運統計

日期	吊掛 20 公噸 雙 T 消波塊數量(塊)	吊掛 10 公噸 雙 T 消波塊數量(塊)
民國 108 年 6 月	275	0
民國 108 年 7 月	484	270
民國 108 年 8 月	180	146
民國 108 年 9 月	64	305
總計	1,003	721

備註:依據施工照片顯示板車載運為 10 公噸消波塊單趟載 2 塊;20 公噸消 波塊單趟載 1 塊





圖 1.11-10 蘇澳港填方區封堵、海堤修復工程載運消波塊車輛

1.11.4.2 土方載運工程

依據宜蘭縣政府公共工程剩餘土石方運置於蘇澳港第四港渠回填區執行計畫書,民國 107 年 5 月宜蘭縣政府為辦理河道疏濬、道路工程、建築工程、都市計畫開發及前瞻基礎建設計畫各項公共工程,所產出之廢棄土方囿於縣內土石方資源堆置處理場已趨於飽和,仍有無法去化之 4 萬立方土方,尚無適切之收容處理場所,適經瞭解蘇澳港營運處刻正辦理填海造

地增建第四港渠工程¹³,位置如圖 1.11-11,期藉由解決宜蘭縣政府公共工程剩餘土方去化問題,讓相關公共工程順利推動外,又能加速第四港渠工程進度,惟載運車輛需經南方澳大橋至第四港渠暫置剩餘土方,相關運送時間及載重統計如後。



圖 1.11-11 蘇澳港第四港渠位置圖

經彙整宜蘭縣政府所提供之剩餘土方載運月報表,實際載運期程為民國 107 年 9 月 28 日至民國 108 年 1 月 18 日,進場前宜蘭縣政府依前述協議書內土方進場前規定事項,應先建置土堤工程,並依進場土質條件分層分區穩定堆置,經宜蘭縣政府考量排水性及施工性後,先期以太空包¹⁴裝載剩餘土方至回填區形成阻隔設施,當阻隔區域完成後始進行剩餘土方暫置作業。

¹³ 蘇澳港第四港渠設置目的,為收受蘇澳港每年因港池、航道疏浚土方,原依土方排填進度規劃,第四港渠填方區將於民國 113 年收受疏浚土方完畢。

¹⁴ 太空包又稱噸袋,以聚丙烯為主要原料,與吊帶等配件縫合後製成,是一種中型散裝容器,主要以起重機就可以實現集裝單元化運輸,便於裝運砂石土方,具有容積大,重量輕,便於裝卸等特點,是一種常見的包裝材料之一。本工程使用之太空包長 0.9 公尺、寬 0.9 公尺、高 1 公尺,1 包裝約 80%滿,換算土方比重 1.5,每包重量約為 1 公噸 (0.9*0.9*1*0.8*1.5)。

宜蘭縣政府提供換算廢棄土方比重為 1.5,前期載運土方(太空包)及 總載運土方統計見表 1.11-8。

表 1.11-8 總載運土方重量統計表

	時間		車輛類型15	載運太空包 (包)	載運土方體積 (立方公尺)			
民國	107 年 9	月	35 公噸	480				
RB	107 年 10	п	21 公噸		1,634			
民國	107 年 10 月		35 公噸	2,900	3,284			
RB	107 年 11	п	21 公噸		1,840			
民國	107 年 11	力	35 公噸		14,349			
民國	107 年 12	月	35 公噸		4,146			
民國	108年1	月	35 公噸		4,254			
	總計			3,380	29,507			
備註:	備註:車輛類型分為 21 公噸及 35 公噸							

1.11.4.3 消波塊及土方總載運統計

經調查小組彙整蘇澳港營運處載運消波塊數量及宜蘭縣政府載運餘土方之相關資料後,相關運送時間時程如表 1.11-9。

15 21 公噸及 35 公噸砂石車專用車依據「裝載砂石土方車輛使用專用車輛或專用車廂規定」及依據道路交通安全規則第 39 條第 20 款或第 39 條之 1 第 16 款,貨廂容積應合於下列規定:已登檢合格之砂石標示車,21 公噸(前單軸後雙軸式)傾卸式大貨車,貨廂容積以 7 立方公尺為上限;35 公噸(後雙軸式)傾卸式半拖車,貨廂容積以 14.7 立方公尺為上限。

表 1.11-9 經過南方澳大橋工程總載運時程表

	105年 10	106年			107年						108年					
		8	10	11	4	8	9	10	11	12	1	6	7	8	9	總計
1.(105)堤防及公共道路鋪面改善工程 載運消波塊10T_200塊	200															200
2.(106)豆腐岬潛堤及設施工程 載運消波塊10T_464塊		382	82													464
3.(106)外廓防波堤災損修復工程 載運消波塊40T_345塊				62	67	25	35	125	31							345
4.(108)海堤修復工程 載運消波塊10T_721塊													270	146	305	721
4.(108)海堤修復工程 載運消波塊20T_1003塊												275	484	180	64	1,003
1.(107)工程廢棄土方 載運填充太空包(3,380包)							480	2,900								3,380
工程剩餘土方 載運(29507m³)								4,918	16,189	4,146	4,254					29,507

1.12 組織與管理

1.12.1 橋梁維護及管理

1.12.1.1 南方澳大橋之維管機關

民國 83 年 8 月 26 日前基隆港務局召開蘇澳港跨漁港航道拱橋興建協調會,會議決議申請省政府交通建設基金興建大橋,興建工程由宜蘭縣政府負責,宜蘭縣政府於民國 87 年 11 月 26 日完成營造工程複驗,同年 12 月 15 日發函,移交由前基隆港務局管養。

因應機關改制,民國 101 年 2 月 24 日前基隆港務局進行財產移撥,將 土地、建物(包含南方澳大橋)等財產移撥交通部航港局¹⁶(以下簡稱航港局),民國 101 年 3 月 1 日航港體制變革,交通部所屬基隆港務局、臺中港務局、高雄港務局、花蓮港務局改制,成立航港局及港務公司。

依據商港法第10條第1項,航港局與港務公司簽訂「國際商港區域內

¹⁶ 由於「國營港務股份有限公司設置條例」於民國 100 年 11 月 9 日立法院三讀通過總統公布施行;「交通及建設部航港局組織法」卻未同步完成立法程序,航港局爰依據「中央行政機關組織基準法」第 36 條規定,訂定「交通部航港局暫行組織規程」、辦事細則及編制表,報經行政院民國 100 年 12 月 16 日核定,於民國 101 年 3 月 1 日與臺灣港務股份有限公司同時成立。

公共基礎設施興建維護委託辦理契約書」,自民國 101 年 3 月 1 日起將國際商港區域內公共基礎設施(包含橋梁) 興建維護委託港務公司辦理。依據商港法第 2 條及第 7 條第 5 項,航港局與港務公司簽訂「交通部航港局經管公有財產無償提供使用契約」,自民國 103 年 1 月 1 日起,航港局之公有財產無償提供港務公司使用,航港局於民國 105 年 12 月 29 日去函港務公司,為辦理民國 105 年度經管公用財產契約滾動檢討,始將拱橋納入民國 105 年上半年度蘇澳港土改無償提供使用清冊,南方澳大橋產權仍為航港局所有。

1.12.1.2 臺灣地區橋梁資訊管理系統

交通部為整合各機關橋梁資料,俾進行整體性之橋梁管理、預算分配及災害防救等業務,於民國88年責成運研所開發TBMS,該系統於民國89年建置完成,開放全國各橋梁管理機關將其轄管橋梁之「基本資料」、「檢測資料」及「維修資料」填報登載TBMS內。

事故當時使用 TBMS 之機關為交通部高速公路局(以下簡稱高公局)、 公路總局、交通部臺灣鐵路管理局及 22 個縣市政府,除上述機關外,其他 橋梁主管機關如農委會、經濟部等,皆未使用 TBMS 系統建置所屬橋梁資 料。

宜蘭縣政府於民國 105 年 10 月 31 日函請運研所將 TBMS 內南方澳大橋之管理機關由宜蘭縣政府更正為港務公司,運研所則於民國 105 年 11 月 3 日函請中央大學將該橋管理機關變更,中央大學亦於民國 105 年 11 月 10 日函復宜蘭縣政府,已將管理機關調整為港務公司,轄下機關調整為蘇澳港營運處;又蘇澳港營運處於民國 105 年 11 月 15 日函復運研所說明略以:「港務公司辦理港區內之公共基礎設施興建維護,係依交通部航港局及臺灣港務股份有限公司所訂『國際商港區域內公共基礎設施興建維護委託辦理契約書』辦理,其相關經費係以航港局項下之航港建設基金支應,公共基礎建設產權登記屬航港局。」,並請運研所參考上述說明辦理 TBMS 登錄。查運研所收文後即存查該函,後續未再調整南方澳大橋之管理機關,

TBMS 登錄資料仍為港務公司。

1.12.2 橋梁維護管理之相關規範

橋梁屬道路設施之一,各橋梁依其道路屬性遵循相關法規維護管理, 查目前我國橋梁維護管理制度以公路系統具有較完整法治規定及技術規範, 說明如下:

依據相關法規,我國公路主管機關在中央為交通部;在直轄市為直轄 市政府;在縣(市)為縣(市)政府。各公路主管機關應建立橋梁管理系統, 以加強公路橋梁檢測維護作業。橋梁檢測之制度、方法、頻率及檢測人員 之資格與培訓、簽證制度要點,由交通部統一訂定。

公路法第3條:「本法所稱公路主管機關:在中央為交通部;在直轄市 為直轄市政府;在縣(市)為縣(市)政府。」

公路法第 26 條:「國道、省道之養護,由中央公路主管機關辦理。但 省道經過直轄市、市行政區域部分之養護,除自成系統之快速公路外,由 中央公路主管機關與直轄市政府、市政府協商定之。市道、區道之養護,由 直轄市公路主管機關辦理;縣道、鄉道之養護,由縣(市)公路主管機關辦 理。但委託中央公路主管機關管理之市道、縣道,由受委託之中央公路主 管機關辦理。」

公路修建養護管理規則第 10 條:「公路主管機關,為加強公路橋梁檢 測維護作業,應建立橋梁管理系統。前項橋梁檢測之制度、方法、頻率及檢 測人員之資格與培訓、簽證制度要點,由中央公路主管機關統一訂定。」

公路修建養護管理規則第33條:「公路養護業務之範圍如下:...二、公 路路基、路面、路局、橋梁、隧道、景觀、排水設施、行車安全設施、交控 及通信設施之養護。...」

公路修建養護管理規則第35條第1項:「公路主管機關應就所轄路線, 劃分區段實施養護、巡查、檢測,認有損毀之虞者,應採取必要措施,維護 交通安全。」

1.12.2.1 橋梁檢測與補強規範

交通部為讓各級公路橋梁管理機關(單位)辦理公路橋梁檢測、評估、維修及補強作業時有所依循,於民國76年頒布「公路養護手冊」,後因養路技術逐年增進,原有養護規定已不符實需;及為讓各級公路橋梁管理機關(單位)辦理公路橋梁檢測、評估、維修及補強作業時有所依循,於民國92年公布修訂版之「公路養護手冊」,另於民國97年正式頒布「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」。

民國 99 年,交通部考量「公路養護手冊」內容多屬執行細節規定,與規範性質不合,為重新定義公路養護規範,於民國 101 年頒布實施「公路養護規範」,並同時廢止「公路養護手冊」。另考量當時對於鋼筋混凝土結構橋梁檢測評估及補強尚無一致性規範,故於民國 104 年正式頒布「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」。

經多年來實務操作後,各相關檢測單位均反映「公路鋼結構橋梁之檢 測及補強規範」及「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」兩項規 範對於橋梁檢測頻率、橋梁結構中相同部位之評估及維修補強等規定有諸 多不一致處,造成相互牴觸競合及檢測人員評判困擾,因此交通部於民國 107年正式頒布「公路橋梁檢測及補強規範」,並同時廢止民國 97年頒布之 「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」及民國 104年頒布之「公路鋼筋混 凝土結構橋梁之檢測及補強規範」。

事故發生時各級公路橋梁管理機關應以「公路養護規範」辦理橋梁養護,並依橋梁主要材質差異,依據「公路橋梁檢測及補強規範」進行橋梁結構之定期檢測與維護作業。

南方澳大橋斷裂重大公路事故發生後,交通部指出民國 107 年頒布之 「公路橋梁檢測及補強規範」係著重於一般性橋梁之檢測及補強,對於特 殊性橋梁則由各級公路橋梁管理機關依橋梁特性、現地狀況及養護條件另 訂檢測及養護規定。為避免再次造成類似南方澳大橋發生橋梁斷裂重大事故,交通部即針對特殊性橋梁之檢測及補強辦理「公路橋梁檢測及補強規範」修訂作業,並於民國 109 年 1 月 3 日頒布實施,我國公路橋梁養護、檢測及補強規範演進詳圖 1.12-1。

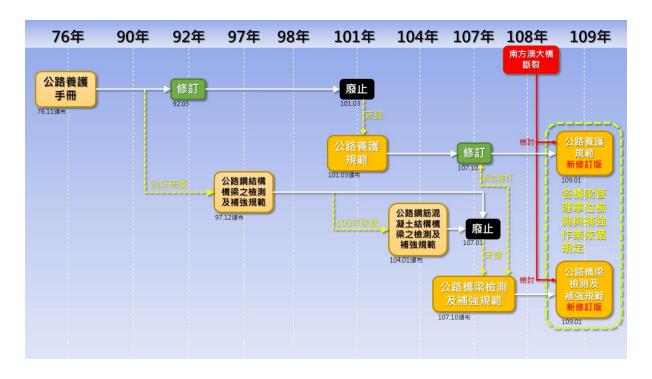


圖 1.12-1 我國公路橋梁相關規範演進圖

1.12.2.2 橋梁檢測及維護方法

事故發生後專案調查小組依據各年度「公路養護手冊」、「公路鋼結構 橋梁之檢測及補強規範」、「公路養護規範」以及「公路橋梁檢測及補強規 範」,彙整各規範之檢測定義、檢測方式、檢測頻率以及特殊性橋梁維修及 補強方法如表 1.12-1 所示。

表 1.12-1 各規範橋梁檢測及維護方法比較

檢測相 關規定	檢測定義			檢測方式				特殊性橋梁維 修與補強方法		
公養 養 手 76 年 頒	平時檢握狀善強力, 查道況作學是 實施 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。	定期檢查測係式, 查測係式, 所述 定期, 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個	臨時檢查: 在與等發生後立即 在與東京大水、 東京大水、 東大水、 東大 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、	平時檢查查原,中時檢查查原,中時檢查查與中華一人查查,與共由道發不完,,可以不可以不可以不可以不可以不可以不可以不可以不可以一一一一一一一一一一一一	定期檢查: 分為一般性定期檢 查及細部定期檢 查。	臨時檢查基礎之 應注 簡 注 續 主 始 之 後 等 、 位 發 等 、 位 發 等 、 必 後 後 後 後 後 後 後 後 。 後 。 後 。 後 。 後 。 後 。	平時檢查: 每周二~三次。	定期檢查: 每年一次。	臨時檢查: 必要時。	無精深 修 護注 護 建 報
公養手 92 年次 第6	經常學 等學 等 等 等 等 等 等 等 等 等 場 在 終 等 異 人 急 等 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。 。	定定件及錄狀在安件估及 期時實確記頻為學歷之檢續與稱全經之。檢稱期程功。 所檢巡緣傷握早化梁因 人	雨害大人 医 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电 电	經平二部以造發應 :原,,視狀疑查 查想組車檢種可檢 上乘車梁,處 以一上構若,	定定步殊接予查造使資式 無期或機械與以,物用科評 與別登車梁詳定全定 與別登車與對立機 與以之橋表 以之橋表 (DERU)。	特別檢測: 使用標準特別視視 時間表, 時間 時間 時間 時間 時間 時間 時間 時間 時間 時間 時間 時間 時間	經高至路次巡問一字 查公內週夜少每,查巡次中週其至查。 日快至路次巡他少, 查巡次 中	定原檢跨公梁橋年工梁應年檢測規定則測程以如鋼檢年無完行。率辦測每次過特針拱測內特工第而則理三二,一殊張橋一之殊後一後依。二二,一殊橋等次新情之次續照年惟百類橋等次新情之次續照年惟百類橋等次新情之次續照	特別檢測: 必要時。	無針等殊性針響。修護材料章節。
公結梁) 公結梁) 八 八 八 八 八 八 八 八 八 八 八 八 八	經確持時造急為意迅通常保良以成維重於維傷學不養人主人 查梁狀能響補。經修暢 言梁狀能響補。經修暢 常,第需之主檢維 ,第需之主檢維	定定作檢強梁定蒐及可況在檢料行結期期為查計通期集現了、問測之橋構測測來畫之後測梁資稱人。配立綜全測測來畫之後測梁資稱傷。配立綜全:之實或基之,基料梁情經合,合評結施維礎第除本外使形由橋即評估。果長修。一了資,用及定籍可估。明補橋次可料亦狀潛期資進與可期補橋次可料亦狀潛期資進與	害或需及時檢查之 損傷狀況進行檢 查。所謂災害 係指水災、地震、颱	經經常以是 人名	定定橋檢察行近或檢況, 用(評別)與施徒車可,檢查舊物之定期面工式地目儀梁 檢式與 無	特特特生流及之使表快依否 特別地災其災用,速劃開放 機震害他害檢以DERU估評。 一個人工作的 一位的 一位的 一位的 一位的 一位的 一位的 一位的 一位的 一位的 一位	經常巡查: 一般衛子 一般衛子 一般衛子 一般 一般 一般 一般 一般 一般 一般 一般 一般 一般 一般 一次 一般 一般 一次 一 一 一 一	定定得但准完橋巡沉五期測定 特性期期份於管不年應若自行,則。 梁檢測測兩理超內辦無完第後依 得測頻一種過之理特工一續前 依頻 人類	特別檢測: 之檢測 時別 機需 時 機 等 發 生 後 後 後 後 後 後 後 後 後 後 後 後 後	特斜橋活便超者行或同範與測修需性之殊張、動橋過,為重,所重、補考,方殊張、動橋過15因較要除列點評強慮採法橋、拱與及0其為性依之進估外其取。深π橋臨跨公結複不本原行與,特適深π橋臨跨公結模不本原行與,特適如型、時度尺構雜 規則檢維另 當如型、時度尺構雜 規則檢維另 當
公養規 101 年 頒布	養路巡查: 依第二章養路巡查 辦理經常巡查。	定定件及錄傷握早化造傷期時實確之。檢潔發度對原於認為人類,所檢巡狀點安件估功。所檢巡狀點安件估功。	特當發雨海車引了止 特雷發雨海車引了止 大風地或梁後度而 大風地或梁後度而 大風地或梁後度而 大風地或梁後度而 實際 震超等,及實	養路巡查: 平時於日、夜間,以 目力巡視,以 發現異常狀況。	步或攀登方式儘步 大式儘等 大式儘等 大式儘等 大式值 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大	特別 特別 特別 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大	養路巡查: 巡查頻整 應由各級 整查頻養等緩手體理於 發路養養 。	定期 炭期 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大 大	發生後或巡查發現 異狀及各級公路養 護單位認為必要時	橋梁上部結構

檢測相 關規定		檢測方式			檢測頻率				特殊性橋梁維 修與補強方法			
公養規 107一部 8	養路巡查章章。養理之為結度造低損因行之為結度造低損因行之之之。	喬建發 描述 生物 生物 生物 生物 生物 生物 生物 化二二甲基 电影 化二二甲基 电影 化二三甲基 医二甲基 医二甲基 化二甲基 化二甲基 化二甲基 化二甲基 化二甲基 化二甲基 化二甲基 化	正員方: 見之學 A 22 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	平時於以以常的人,其一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	定般定目結構統設橋河況 特之由管路依現機橋檢括、 施梁道。 殊檢公理養務關門所以 特之由管路依現養際別上部面附跨置遷 橋目養、單性一之項部結系屬河之情 梁,護公位、一之項部結系屬河之情 梁,護公位、一之項部結系屬河之情 梁,護公位、一之項部結系屬河之情 梁,護公位、四人理養事嚴巡殊形項 特之由管路依現養出機影故重查享,目 另檢公理者橋出數	關軍、狀發狀決。 性測路機護架狀條關、單災狀發狀定 橋目養、單性沉件規路視之或特情測 梁,護公位、及參範路視之或特情測 梁,護公位、及參範以一次,決目 殊檢公理養備地護相引	養州單檢檢見定。 性則路機護察狀條關護公位測測際檢 橋目養、單性況件規管路依或結需測 梁,護公位、及參範	巡由養關級養定查各護按於護。 整次理路公冊 應路機等路規	定新於後行期定間為特路機護實整過期建完二第檢期隔原別養關單際,四檢橋工年一測檢以則情護、位狀惟年測梁使內次爾測兩如,管路得況得。應用進定後之年有公理養視調起	特於災或顯公理養為理制重害巡著路機護必之制重害巡著路機護必之人,後現及管路認辦	檢測或特認 檢測後要 精測必要 行之 。	無僅護橋養殊梁理之之其照「測範。橋章梁護及:機特。中交公與」。橋章梁護及:機特。中交公與」梁節上一複由關殊 鋼遊路補理結內部節合養依性 結通橋補理結構針結,式護橋另 構部梁強。
公梁 移 與 及 規 和 節 107 年 須	為定 人名	大後度;異理單實 之護理事,及或狀機位施 巡規。 家了止查公、為檢 依相 災解災發路公必測 照關 災解災發路公必測 照關 照過等損害現養路要。 公規	細梁別必相破等河況之 梁養瓣 定測時設或檢梁基測 巡規。 地震, 人, 以進破;在沖 依相關認儀行壞或河刷 照關 照關 照關 照關 照關	定一檢部橋屬位況 特橋吊需般目量力特期般則結面設置。 殊、橋檢性外特學殊測橋目、統及河 橋背橋項梁必性為。 建智郎、跨道 梁橋型目之須橋及 梁橋型目之須橋及 梁橋型目之須橋及 梁橋型目之須橋及 新橋型 电光,除檢特梁其定:結關橋遷 斜框其依測別結構	上 關視重特決	單位 關、公路養 服 院 關 院 關 院 制 制 制 制 制 制 果 , 是 , 是 , 是 , 是 , 是 , 是 , 是 , 是 , 是 ,	管護或視測機 檢別際項	定期檢算爾隔如路公實不期檢為完定期檢為人工的,與其一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	行,間。公 養籍管護辦 養時 養時 養時 養時 養時 機位之 人。 人。 人。 人。 人。 人。 人。 人。 人。 人。 人。 人。 人。	故巡及關認為災發路公必要詳定測時	細檢測: 橋梁於 機測 構 構 開 動 機 別 動 後 過 後 後 後 後 後 で で で で で で で で で で で で で	特斜橋梁與梁梁鋼橋如處範與測修殊張拱(力合(板,),可動、補性橋橋如混)、如複本,可列點評強橋、、如混)、如複本的依之進估。深脊混鋼凝複波合規用本原行與如背合梁土合形梁範之規則檢維

1.12.2.3 車輛載重相關規範

公路橋梁設計規範

依據民國 76 年交通部部頒「公路橋梁設計規範」,與車輛載重相關之 規範規定於第二章載重,摘錄重點如下:

2.5 公路載重

A. 通則

在橋面或其他臨時結構上之公路活載重應為「標準貨車」或相當於 貨車行列之「車道載重」。載重之種類有二,即H(M)載重與HS(MS)載重; HS(MS)載重較相當級之H(M)載重為大。

. . .

C.HS(MS) 載重

HS(MS)載重如圖 2.5.B 及圖 2.5C 所示,為一曳引車後附掛一輛拖車,或相當之車道載重。HS(MS)載重以 HS(MS)表示之,其後附一個數字,該數字即為曳引車總重之噸數。曳引車與拖車間之軸距可以變動,俾能與實際所用之曳引拖車相符。此種可變動之間隔,能使連續結構獲得更適當之載重,因兩個重軸之載重可放於相鄰兩孔,以產生最大負力矩。

公路橋梁之車道載重

> H20-44(M18) 載重 HS20-44(MS18) 載重

集中載重 { 6150 kG (60 kN) 計算力矩用 8850 kG (87 kN) 計算剪力用 均佈載重——載重車道每公尺長720 kG (7.1 kN/m)

H15-44(M13.5) 載重 HS15-44(MS13.5) 載重

集中載重 { 4100 kG (40 kN) 計算力矩用 5900 kG (58 kN) 計算的力用 均佈載重——載重車道每公尺長480 kG (4.7 kN/m)

H10-44(M9) 載重

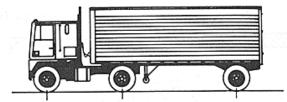
設計連續梁時,車道載重除包括上圖之載重外,應 於相鄰或其他一孔設置相同集中載重以產生最大負 力矩。

圖 2.5B H(M) 車道及 HS(MS) 車道載重

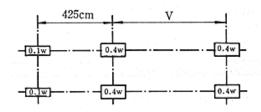
22 公路橋梁設計規範

公路橋梁之貨車載重

HS20-44(MS18) HS15-44(MS13.5)

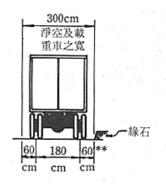


HS20-44(MS18) HS15-44(MS13.5) 3,650kg(36kN) 2,750kg(27kN) 14,600kg(144kN)* 11,000kg(108kN) 14,600kg(144kN):: 11,000kg(108kN)



W: 前兩軸之總重同H(M)貨車

V:距離可自4.25公尺變至9.15公尺以採能產生最大應力之距離



- 以 H20(M18) 或 HS20(MS18) 貨車設計木板及 鋼床鈑橋面時不含橫樑採用 11000kg(108kN) 之 單軸載重或用每個軸重 7300kg(72kN) 之雙軸載 重相距 1.20 公尺 , 視何者能產生較大之應力而 定,不用圖上所註之 14600kg(144kN) 軸重。
- ** 設計橋面版時,輸之中心線應假定距緣石面30公 分。

圖 2.5 C 標準 HS(MS) 貨車

2.7 標準貨車與車道載重

標準H(M)與HS(MS)貨車之輪距、重量分佈及所需淨空如圖2.5A及2.5C所示,與其相當之車道載重如圖2.5B所示。

每一車道載重,應包括每公尺車道長之均佈載重及一個集中載重(用於連續梁時則為兩個集中載重—見2.8C),其在跨徑上之位置應能產生最大應力者。集中載重與均佈載重應假定平均分佈於與車道中心線垂直之3.0m 寬度內。

計算彎矩與剪力時,應使用不同之集中載重,如圖 2.5B 所示。其較輕之集中載重用於計算以彎曲應力為主之應力,較重者用於計算以剪應力為主之應力。

2.8 載重之應用

. . .

D. 最大應力之載重

不論其為車道載重抑或貨車載重,不論用於簡支或連續跨徑,所用 載重應為能產生最大應力者。附錄 1-4 之力矩及剪力表係說明簡支跨徑 在何種載重下能產生最大之應力。HS(MS)貨車車輛之軸距,應於規定之 範圍內變動,以產生最大應力。

道路交通安全規則

道路交通安全規則第38條,經車輛型式安全審驗之汽車,其車輛之總 重或總聯結重量之限制,應符合道路交通安全規則附件十一之規定。

道路交通安全規則第82條第1項第4款,裝載物品後不得超過曳引車 核定之總聯結重量及拖架核定之總重量。

道路交通安全規則第82條第2項,拖架裝載整體物品超過前項第2款、 第4款之規定者,應依照貨車裝載整體物品之規定向公路監理機關申請核 發臨時通行證,憑證行駛。

1.12.2.4 道路鋪面改善工程規範

公共工程委員會所制定之公共工程施工綱要規範中,有關 AC 舖面之規範包含第 02742 章(瀝青混凝土舖面)、第 02745 章(瀝青透層)、第 02747章(瀝青黏層)以及第 02961章(瀝青混凝土面層刨除)等,其中第 02742章 3.3.8節規定鋪築厚度不得少於設計厚度 95%。

另第 02742 章中列舉多項與 AC 鋪面相關之中華民國國家標準 (National Standards of the Republic of China, CNS),其中與 AC 鋪面厚度及 壓實度有關之準則為 CNS 8755 及 CNS 12390, CNS 8755 中之 AC 鋪面厚度要求為「契約圖說之規定厚度以上」。

檢視蘇澳港營運處於民國 106 年 11 月 9 日所簽訂之南方澳大橋銜接引道段既有道面鋪面及伸縮縫改善工程契約內容,契約規定全線 AC 路面刨除 5 公分並重新鋪設 5 公分,設計書圖顯示 AC 鋪面厚度及壓實度所依循之檢驗規範為 CNS 8755 A3147 及 CNS 12390 A3288,並參考公共工程委員會公共工程施工綱要規範第 02742 章、第 02745 章以及第 02747 章規範施工。

1.12.3 橋梁資料之保存

1.12.3.1 南方澳大橋橋梁紀錄

橋梁紀錄是橋梁維護、檢測之基本資料,依據「公路橋梁檢測及補強規範」,橋梁紀錄儘可能包含以下項目:(1)橋梁基本資料.....,包含橋梁結構計算書、設計圖說及竣工圖說。(2)檢測紀錄先前之檢測紀錄,記載橋梁過去之構件劣化情形,可供研判那些構件須特別注意檢測,以及該構件劣化之演變情形。(3)地質與水文資料。

本事故調查過程中,調查小組陸續向南方澳大橋工程建造單位宜蘭縣 政府、財產主管機關交通部航港局、興建維護受委託單位港務公司、設計 監造單位亞新、施工檢測單位中國非破壞檢驗有限公司等索取橋梁規劃、 興建、施工、監造、檢測、驗收等文件資料。然而,因時間久遠文件保存單位已將文件銷毀,或是因火災等因素滅失,最主要之文件包括橋梁結構計算書、施工計劃書、工地銲接施工說明書、材料測試文件、材料進口報關審驗文件等已無法取得。

1.12.3.2 相關單位資料保存

宜蘭縣政府

南方澳大橋完工後,該橋之規劃設計、興建施工、監造及驗收等文件資料,由工程建造單位宜蘭縣政府保存。本會於民國 108 年 10 月 9 日去函宜蘭縣政府索取南方澳大橋相關文件,宜蘭縣政府於民國 108 年 11 月 5 日回函表示,有關南方澳大橋之規劃報告、工程招標文件、工程契約書、細部設計書、結構應力試驗報告、施工材料送驗紀錄、驗收紀錄、驗收抽樣測試報告書、完工竣工圖說、橋梁載重設計說明、監造契約、監造紀錄、監造工作日誌、監造驗收紀錄、移交紀錄、移交清冊、保固期間維護管理及檢測紀錄等文件,依據宜蘭縣政府民國 84 年至 90 年『檔案分類及保存年限基準表』,其檔案分類為農業工程網漁港工程 (974) 保存年限為 10 年,相關檔案已依據「機關檔案保存年限及銷毀辦法」規定,函報國家發展委員會檔案管理局同意後,分別於民國 96 年 4 月 3 日、民國 96 年 7 月 10 日、民國 97 年 5 月 20、民國 97 年 11 月 25 日、民國 98 年 8 月 11 日、民國 99 年 11 月 24 日、民國 100 年 12 月 20 日、民國 101 年 12 月 26 日等,共分 8 次辦理檔案銷毀。

橋梁資料保存應依據「檔案法」、「機關檔案保存年限及銷毀辦法」及 國家發展委員會檔案管理局訂定之「機關共通性檔案保存年限基準(GRS)」 行政規則等規定辦理。

檔案法施行細則民國 94 年 1 月 3 日修正案,第 12 條「各機關對於本 法施行前未屆滿保存年限之檔案,應辦理回溯編目建檔。前項檔案屬永久 保存者,應於本法施行後 5 年內完成;屬定期保存者,應於本法施行後 7 年 完成。」。依據民國 94 年 4 月 1 日檔案管理局檔徵字第 0940011272 號函訂 頒 06 行政類檔案保存年限基準表 0607 採購業務 060701 巨額非消耗性採購保存年限為 30 年。

另依據機關共通性檔案保存年限基準 (General Records Schedule,以下簡稱 GRS),民國 99 年函頒道路養護類檔案保存年限基準表:170201-7 道路、橋梁、隧道、地下道及其相關建築、人行陸橋等改善及修復工程設計之相關文件,檔案保存年限為機關永久保存。參照 GRS 運用指引,檔案原定保存年限為定期保存,但 GRS 所訂保存年限為永久,應修正檔案之保存年限為永久,並檢視 GRS 之清理處置方式。惟宜蘭縣政府未即時依法規異動情形修訂相關規定,將 2.7 億元興建之南方澳大橋歸屬於工程巨額採購項目,修正資料保存年限為為 30 年,亦未依機關共通性檔案保存年限基準,將橋梁相關資料保存年限修正為永久保存。

宜蘭縣政府提供之資料顯示,該府已於民國 108 年 1 月 1 日將巨額採購案件履約保存年限修正為 30 年,道路橋梁工程規劃建設、改善計畫、工程決算、道路設施財產登錄等相關文件修正為機關永久保存。

調查小組於民國 109 年 1 月 9 日前往宜蘭縣政府倉庫取得南方澳大橋 規劃與設計服務委託合約、南方澳大橋保固期修復工程委託設計監造合約、 南方澳大橋保固期修復工程合約等文件。

港務公司

運安會於民國 108 年 10 月 9 日去函港務公司索取南方澳大橋相關文件,港務公司於民國 108 年 10 月 23 日回覆提供蘇澳港跨漁港航道拱橋興建工程規劃報告、南方澳大橋工程合約副本 (第一冊/共二冊)、蘇澳港跨漁港航道拱橋興建工程竣工驗收結算圖表、蘇澳港跨漁港航道拱橋興建工程竣工圖等。

亞新工程顧問股份有限公司

運安會於民國 108 年 11 月 21 日去函亞新索取南方澳大橋相關文件,

亞新於11月27日回覆提供委託監造合約及竣工圖(版次不明),民國108年12月12日再提供橋梁興建時期現場施工照片、保固期滿前維修工程相關文件、民國96、98年橋梁目視檢測契約文件及成果及端錨、吊索之型錄等。

其他興建工程之相關資料(如施工圖、工地銲接施工圖等),因民國90年5月該公司發生火災,書面文件及電腦設備遭燒毀,資料已無法取得。

中國非破壞檢測公司

依據訪談紀錄,中國非破壞檢測公司表示相關檢測成果及報告文件會 交予委辦單位收存,該公司不會另外存檔,當年的設備也無法保存大量的 電子檔案,年代久遠相關文件已無法找到。

立永營造股份有限公司

為南方澳大橋營造廠商,已廢止公司營運17。

戰威鋼構股份有限公司

戰威鋼構股份有限公司(以下簡稱戰威鋼構)為南方澳大橋營造廠商 立永之下包廠商,負責橋梁鋼構工程,已廢止公司營運¹⁸。調查小組未能取 得戰威鋼構相關資料,無法確認南方澳大橋興建期間,戰威鋼構以何種方 式或公司名稱參與大橋之興建。

1.13 訪談資料

1.13.1 亞新南方澳大橋興建規劃設計工程師

受訪者民國 81 年進入亞新服務,民國 85 年被指派到南方澳大橋的設

 17 依據經濟部商業司資料,立永營造股份有限公司,核准設立日期為民國 84 年 11 月 7 日,資本額 130,000,000,統一編號 22216237,民國 91 年 7 月 1 日廢止公司登記。

¹⁸ 依據經濟部商業司資料,戰威鋼構股份有限公司,核准設立日期為民國 90 年 5 月 18 日,資本額 60,000,000,統一編號 12805782,民國 98 年 1 月 13 日廢止公司登記。

計部門工作,在工程發包後幾個月離職出國。受訪者當時為初階工程師, 未參與投標的工作,只參與設計,設計工作大約持續 1 年。南方澳工程設 計完成後,就交接給監造部門。

橋梁設計

南方澳大橋是由 VCE (Vienna Consulting Engineers ZT GmbH)外國顧問公司負責規劃與初步設計。橋梁型式決定後,細部設計、結構分析、橋梁各部分的細節設計、造型是由 VCE 負責,亞新負責後續的結構分析複審與校對。

亞新在設計標得標後,與相關單位討論大橋設計。南方澳大橋的設計 構想是 VCE 提供的,當時提供博覽會 DM 上類似提籃的造型圖片給業主參 考,由業主決定最後造型型式後據以設計,土木工程的結構分析、鋼梁尺 寸、吊索數量等皆由 VCE 負責。

鋼拱橋的尺寸 140 公尺,也是由外國顧問公司提案,經過多次討論後 決定橋梁的尺寸、外型、吊索數量及設計概念。其中的造型概念,細部連結 等都是參考博覽會的照片。

有一些概念性的創舉,其實起頭難,要別人試驗成功後,才會快速發展,臺灣的鋼結構橋也是如此,對於結構行為沒有把握前,不會去做鋼結構橋,所以,南方澳大橋的結構是由 VCE 設計、分析,亞新做雙向的檢核,確認可行才設計。

施工順序主要是先編列預算,業主決標後,由得標的營造廠商負責,營造廠商再依據設計圖說,出具有經濟性、快速完成的施工計畫與施工圖說,鋼構部分主要是廠鑄為主,都用比較保守的方式施工,再在現場進行組裝。

結構設計計算

亞新是用 SAP90 及 SAP2000 結構分析程式(Structure Analysis Program, SAP), 是最安全、最保守的軟體,協助分析結構力學,包含有限元素分析

功能,可以執行三維分析。

先初步設計,可行性通過後再回過頭作結構分析,工程上只要依據規範,增加板厚、加勁板使用,一定可以達到設計的強度。主要使用 AASHTO 規範。也有做載重分析,並參考日本工業規格協會及美國銲接工程協會等規範且盡量保守。

橋面板是主要結構工程,其結構計算書主要是由 VCE 提供,亞新覆核確認,附屬結構部分才由亞新負責,例如損壞不會影響整體結構的構件; 鋼結構部分並不需要計算其強度,參照材料規範的強度即可,且鋼結構可以進入大梁內檢視,所以很難偷工減料。鋼結構主要會產生問題點是銲接的好壞。

一般設計結構強度會依據需求增加約 25%的強度,包括颱風、地震、外力等都會影響鋼結構的強度。鋼結構最怕結構的疲勞產生,在分析結構時,橋梁重量是靜載重,是固定的,活載重如車輛、外力等是額外加上去的。當初考慮到要載運防波堤的消波塊施工需求,承載力增加了 50%。

AC 鋪面也是靜載重,屬於橋梁的重量,原設計鋪設 5 公分,如果維護時不刨除就加鋪上去,會增加橋梁的重量,增加橋梁負擔。

因為是靠近海邊的橋梁,考量使用鍍鋅加油漆或耐候鋼兩種材質,最後選用耐候鋼。

VCE 有做各種吊索損壞的排列組合計算分析其結構力,斷2至3根吊索,甚至是三分之一的吊索斷掉,也可以支撐,都有做過模擬,但是沒有計算全部吊索都斷掉的情境,不會去過度設計。在靜載重情境下,吊索斷2至3根是一定沒問題的。

Urib 加勁板有 2 個功能,主要是輔助大面寬的橋板,增加其強度,若沒有 Urib,橋面會形成波浪狀;另外,Urib 會有轉動慣量(Moment of inertia,以下簡稱 I 值),但是貢獻不大,其重量會計算在橋梁自重上。不清楚 Urib 的銲接施工過程,但是原則應該要分段銲接,如何分段不清楚,重點是銲

接切面不能與主梁板在同一個位置。

鋼支承是做為橋梁與橋墩的連接,應該設置二個比較合理,相關的結構力有經過計算,其計算過程也只是輸入一個參數條件而已。

橋梁施工

營造廠商是由業主(宜蘭縣政府)公開招標決定,受訪者參加設計團隊時,就已經決定了,所以不清楚其過程。

營造廠為立永營造,鋼構廠為戰威鋼構,工地主要是由監造負責,設計 部門和施工廠商互動較少。有協助廠驗及組立規劃,現場組立是立永營造 最擔心的部分,工程較困難,且所需費用較高,若工程拖長,會增加很多成 本。鋼構工程除預力系統外都交由戰威鋼構負責。

工地銲接說明書應該是參考公路總局的資料,應由鋼構廠提供,戰威可能找其他的廠商負責設計繪製,當時有能力製作施工圖的廠商應該只有5個左右。

施工完成後由甲方負責檢核鋼結構的安裝是否符合設計規範,但是業主宜蘭縣政府沒有能力檢核,都是由監造負責。

現場可以檢驗的部分很少,只能指定部分位置進行檢驗,材料檢驗才 是重點,程序上廠商報完工後進行初驗,初驗報告通過後才進行正驗(複 驗),所有需檢驗的項目,都會在監造計畫中規定,監造依據監造計畫進行 檢驗。且橋梁完工後,是沒有辦法再去驗算材料是否符合規定,只能取樣, 在不影響結構的部分切一小塊鋼板做檢驗。

驗收及維養

驗收時受訪者已經離職,當沒有提供維修保養的建議,只有交付設計 圖。橋梁會因不同的個體、環境會有不同的維修方法,但是當時對於維修 保養的概念不是很清楚。

1.13.2 亞新南方澳大橋興建監造工程師

受訪者在南方澳大橋興建時期擔任工程監造,當工程設計完成並由業 主完成發包作業,營造單位開始施工後,現場就由監造部門負責,受訪者 是由設計公司指派擔任南方澳大橋的監造工作。

橋梁設計

南方澳大橋的設計概念,最早提出的構想有混凝土橋、鋼構橋兩種,最 後由地方以發展觀光、建造地標為目的之需求,由亞新規劃設計的橋梁樣 式得標,採用鋼構橋。

設計工程案從民國83年起進行規劃,民國84年1月至民國85年1月 設計,民國85年1月至民國87年6月施工。設計、監造採購案係由宜蘭 縣政府公開辦理,其過程應洽詢宜蘭縣政府,亞新僅是參與投標的廠商, 當時參與備標、投標的同事都已經不在公司服務,過程並不清楚。

工地開工後,監造合約即開始運作,工地施工一般會從地質鑽探開始, 各項材料進場前都會先行送驗,由監造審查同意後,送給縣政府核定,也 會依據合約要求辦理第三方的檢測,所有的材料進場前都符合契約的要求。

主結構建材的選定都是依據契約要求規格辦理,鋼材採用耐候性高強度低合金鋼,鋼板規格符合 ASTM 之規範,鋼板的供應商是中鋼公司。端錨是國際大廠法西奈 (Freyssinet),當時國內約有百分之 70 至 80 都是法西奈的產品,事故後已透過香港的代理商,找到當時錨定的型錄與規格說明。吊索是使用英商布頓 (Bridon)。

營造廠商是由業主(宜蘭縣政府)辦理招標選定,因預力及鋼構需要非常專業的廠商,得標的立永營造只會土建工程,如橋梁引道、混凝土工程 及機電設備,故將鋼構部分委託給戰威鋼構,由戰威鋼構負責提供材料及 施工,其中預力系統部分再由戰威交由專業廠商負責。

設計單位負責工程設計,後由業主發包給營造廠負責施工,工程施工 過程由監造單位進行監造,確保各項工程品質符合設計單位之要求,若是

工程施工期間對設計內容有疑義時,就由設計單位、營造廠與業主討論,再由設計單位負責工程圖說修訂,例如原來橋梁沒有命名,但是依據地方單位要求命名後,就由設計單位修改圖說,另外橋上的魚造型圖騰,也依據地方要求,做過修改變更。

營造廠會依據設計圖,製作施工圖,原則會製作 3 份,1 份由業主保留,1 份由施工單位做為施工依據,另外由設計單位保留 1 份,亞新的資料,因為辦公室大火,已經無法找到。

施工狀況

由戰威鋼構依據設計圖說繪製工地銲接施工圖,並依據施工圖進行裁切、組裝。裁切部分則由 CNC 自動裁切機械處理,銲接方式依據契約規定及設計需求由戰威鋼構負責。當時為了達到高標準的施工品質,找到許多在銲接施工比賽的冠軍技工來施作,也找來許多中船造船的專業技工來協助銲接,都是有銲接證照的技工,特別是一些薄板銲接比較怕熱,需要較有經驗的技工來施作,以確保品質。

所有的鋼材檢驗、銲道檢驗都是由獨立第三方的中國非破壞檢驗公司 負責,鋼材進場前都有進行包含抗拉、抗壓、物性等取樣檢測,檢驗合格才 能施作。檢驗取樣標準都是依據規範辦理,契約有明訂規範的則依據契約 辦理,契約沒有明訂規範的部分,則依據 ASTM、AASHTO、CNS 等規範 辦理。

鋼索進場前也有抽驗及測試,至於錨定部分,20多年前的預力系統皆是進口品,依設計圖上指定的廠牌去確認,當時以大木箱運送進來,有看到裡面包含錨頭、夾片、承壓座、吊索等組件,不記得進了幾組。印象中夾片、承壓環及鋼索有取樣送驗,錨頭20多年前不確定是否有實驗室可以試驗,如果有實驗室可試驗就會做。規範中要求錨頭需為國際大廠,當時高速公路多數工程亦是用相同品牌之預力系統,依據契約工程設計圖要求,以審驗相關證明文件方式辦理,承包商須提供(1)中華民國海關進口證明書、(2)原製造廠出場證明、(3)原製造廠檢驗證明、(4)銀行信用狀結匯文件、(5)

裝箱單及(6)船提單,經工地工程司認可後始得施工,程序嚴謹。

受訪者表示有看過預力系統的 6 項證明文件,當時有送公司設計單位 及業主確認,正本由業主存檔,以此文件來認定預力系統是法西奈。預力 系統是專業施工,由專業廠商執行,不清楚法西奈是否有派員參與。

Urib 直接在工廠進行銲接,橋梁板分成多塊,在工地銲接,橋梁板是 主要的承重結構,Urib 只是作為加勁板使用,不會列入 I 值的計算內。

橋梁板對接之銲接工法是採用全渗透工法,Urib 則是避免銲道弱面集中,採一前一後的方式處理,中間以 30 至 60 公分不等的結塊補足橋梁板 銲接之公差,Urib 則採用端板的方式銲接。因為 Urib 不算進 I 值,故其採用之銲接方法在工地可能會採用比較簡單的工法,但是都符合設計規範。

本案同時有邀請國外顧問公司來協助監造,退休之公路總局副局長來 協助查驗,勘查工程施工品質。

<u>橋梁監造</u>

監造的角色就是確保施工品質,廠商將各項材料依據契約規定採購,送樣給監造審查,監造審查合格後,經過業主同意才可以施工。監造的契約很簡單,都是依據工程契約進行,確保工程品質符合設計規範要求。

亞新監造團隊分為大地、土建及鋼構 3 類,受訪者負責其中現場土建 及鋼構的部分。橋梁興建過程為鑽探、確認基樁長度、完成基礎、建立橋面 支撐、完成橋面板、建立拱架支撐、完成拱架、安裝上下錨頭、施預力、去 除橋面支撐(拆除千斤頂)。其中因運輸限制,將橋面分成小塊體運送至現 場,再於現場組裝為大塊體,橋面之大塊體在岸邊有作假組立,以確認橋 面之平整性,當時依規範抽測橋面是否水平,詳細數字沒印象,不記得安 裝完成後是否有調整橋面平整度,若不平應會調整。

工程驗收

採購驗收是由宜蘭縣政府、港務局共同辦理驗收¹⁹。監造驗收需要有施工日誌、監造日誌,施工月報、監造月報等。材料則必須要有送驗紀錄、檢驗紀錄等。

主橋梁工程部分,則須有檢驗紀錄,應力集中部分採 100%檢驗,其他部分則是抽驗,至於抽驗標準,檢驗頻率與百分比等,以及檢驗工法如 X 光檢驗、超音波檢驗、螢光檢驗等,則依據契約規定辦理,或是依據 ASTM 等規範辦理。

驗收方式包括文件審驗、現場查驗、材料檢驗及品質檢驗等項目;現場查驗部分採目測及實際量測,隱蔽部分則採用書面審查;驗收時有進入橋梁內全程查驗,橋梁有設置工作車,可以檢驗橋梁下部結構,工程車可作為後續維修使用。

保固與維護檢測

驗收後的工程保固是由營造廠商負責,保固5年。使用單位在保固期間,有問題時會找各單位會勘,保固期滿時也會找設計單位、監造單位、營 造廠辦理會勘。

民國 96 年、98 年曾進行南方澳大橋目視檢測,檢測採購由業主公開招標,亞新參與競標得標後,依契約規定執行檢測。

檢測契約雖沒有規定要進入主拱或主梁內檢查,但是亞新是專業廠商, 所以有進入主梁內檢視的紀錄,也會去注意吊索的情況,依據檢測的報告, 橋梁大致都 OK,都有照片作為佐證。

橋梁應該都要定期維修,若耗材有定時更換,南方澳大橋應該可以使

19 依宜蘭縣政府農業局民國87年11月編製之「蘇澳港跨漁港航道拱橋興建工程竣工驗收決結算圖表」,港務局僅參與複驗。

用 50 年以上。

依照工程施工的工法,橋梁板在吊索安裝之前,是可以支撐橋梁板自身的載重,但是若經過長期、且短時間內頻繁超載使用,會造成吊索疲勞,影響使用年限。另外,AC鋪面若超過厚度,其增加之荷重,也會造成惡性循環,加速橋梁損壞。

橋梁若有積水產生,應檢查橋梁板是否有變形,也建議應該查明南方 澳大橋斷橋前是否有變形發生,另外,橋梁長期單向往豆腐峽載重消波塊, 回程空車所造成之單向荷重不平衡,也會對橋梁造成損壞。

1.13.3 中國非破壞檢測檢驗師

受訪者民國 81 年進入中國非破壞檢測公司,於民國 85 年執行南方澳 大橋鋼構工程銲道檢測,當時有 5 年檢測資歷。

當年執行的工作為南方澳大橋橋面間跟橋拱主懸臂間各單位連接的銲道放射照相檢測(RT),檢測項目為銲道每1公尺抽驗1組(即1張底片), 其他如Urib等項目,因契約中沒有所以沒有施作,而抽驗之銲道包含橋拱各單元間之縱、橫向銲道,各單元縱向銲接組合後,再進行橫向橋面間之對銲。因年代久遠,南方澳橋拱的單元已不記得有多少個,只記得有很多單元組裝在一起。

現場檢測之工具為使用 IR 射源跟放射線工業底片進行拍照工作。進行放射線照相時,基於安全考量現場會先進行安全值量測,當測到低於 20 微西弗才能進行拍照檢測。工地現場搭架由業主提供,記得當年現場只有做放射線非破壞檢驗,現場沒有看到其他類似超音波的檢驗。

在南方澳大橋鋼構工程中,主要針對鋼構銲道進行放射照相檢測抽驗, 經由業主通知進行檢測,並先研判工地檢測數量,再至現場進行銲道檢測 抽驗,如需增加檢測數量則於現場協調後執行。而檢測的合約均依照設計 規範來進行,因時間久遠,只記得合約規定檢測是1公尺拍照1張,當時 的銲接工法知道是採用 CO2 銲接執行的。而現場除了合約沒有看過其他的 銲接文件,因為進工地現場時鋼結構已經都是完成品。

施工時會依照現場狀況來進行檢測,有時候會有難以檢測的地方,例如主橋拱有高度及曲度,就會先全貼上底片後再一次照相,拍照時兩人同時在鋼構內外以基準點開始進行檢測拍照,有時候會有一點偏差,但不影響檢測的結果。而 RT 檢測係指鋼結構銲道每 100 公分照 1 張 25 公分的放射性底片,也就是每 1 公尺銲道檢測有效的檢測距離只有 1/4,並不會百分百全照到,另外以每 1 公尺檢測時,假如剩不足 1 公尺也會再拍 1 張,例如 2.5 公尺就會拍 3 張照片。

一般銲道檢測多少都會有一些不合格的狀況,一般比例為檢測 50 張約有 2 張不合格,而檢測不合格的地點,就會通知業主,請銲接廠商重新補強施工,修繕完成後,會在上下或是左右邊各重新檢測一張,這樣才算是完成檢測及補強。雖然時間有點久,但記得當年在南方澳大橋的檢測工作上沒有特別異常狀況,都在一般可接受的範圍內。

現場檢測拍照以1個工班2人,如現場需施作數量較多則最多4人同時檢測,有時機器的強度強,時間也會縮短,而有經驗的工作人員也會因熟悉操作而比較快完成,原則上會看現場狀況以1天做完,如人手不夠會再加派。南方澳大橋當年花多久的檢測時間,因時間久遠已經記不得。

現場檢測完畢後,會提出檢驗報告並附上照相底片,而報告的內容會 記載依合約施作的單元及銲道檢測數量,報告的內容也包括檢測設備型號、 底片型號及照相日期等相關資料。完工後交檢驗報告跟照相底片後,業主 看過沒有問題或狀況,原則上就會付款。

當時在工地檢測時有看過亞新人員,但都是在檢測作業之前才會看到。另外立永會來監督,但比較常接觸是戰威鋼構,在提出檢驗報告跟照相底片後,就未再跟戰威有任何接觸。當年各單位相關聯絡資訊都因年代久遠無法記得。

1.13.4 宜蘭縣政府南方澳大橋工程承辦人

受訪者是宜蘭縣政府辦理南方澳大橋建造業務的承辦人。當年因舊橋 影響港區內船舶進出,經漁業署與港務單位及地方單位商討後,辦理新建 南方澳大橋工程,舊橋的位置較靠近第1、2漁港,南方澳大橋才建至蘇澳 港區內。

橋梁設計與採購

當時有委託顧問公司規劃設計南方澳大橋,規劃報告為亞新提供,有 提出幾個方案與地方政府辦理說明會,橋梁設計之型有提籃(滿載)之意, 較有景觀特色,才決定選用此造型。當初有幾個方案已經不記得,得到長 官核定後,細部設計交由亞新負責。

因工程案浩大,應是請顧問公司提出規劃,並按照程序公開招標,但細節已不清楚。當時以公開招標方式選定營造廠,得標後簽約才開始與立永接觸,印象中應該有3間以上投標,為最低標廠商得標辦理。

投標應提出公司資料,但因時間久遠是否有提供其他文件也不太記得,當初辦理發包時是在舊辦公室,民國86、87年搬到新辦公室,各課室有固定倉庫放資料,但之後又陸續搬移過幾次,資料不確定是否有一起搬遷,後來農業工程課也因單位整併已不存在,也不知道相關資料是否有移交給其他課室,當初受訪者是有保留1份資料,但民國96年調離且原單位打散後就不知是否有再留存。

橋梁施工

工程全權委託亞新監工,有需要時才會直接與廠商接觸,營造廠找好 鋼構廠後才知道戰威鋼構這間廠商,有跟亞新去看過廠區設備,監造認定 後才可在該廠區加工,每月估驗時有去過幾次,營造廠也有工地主任駐點。 對於法西奈沒有印象,但所有証明文件都會由監造審核認可後送縣府備查, 送件及要查看的項目非常多,特殊、重要的項目都與廠商、業主偕同會驗, 但錨定的部分已無印象。

印象中營造廠的鋼材是在新竹或楊梅的工廠加工,鋼材有規定的型號,

鋼索就不知道是否有特殊規定,所有材料都由監造負責檢驗;對於錨定選材已無印象,本身對於材料專業也不是非常了解。

受訪者表示應該有看過工地銲接說明書,設計監造單位審核完後都會 送來備查;在工廠會有假組裝後,確認尺寸沒問題才會在工地現場組裝, 在銲接時下方會做臨時支撐架,因鋼橋在現場銲接的時間很長,所以也沒 有全程參與,印象中是橋面板裝完後才做上面的拱架,預力拉完後才撤除 下方的臨時支撐架。

材料試驗相關報告太多,都由監造單位審核後送縣府備查,詳細有什麼內容已沒有印象,但材料都需檢驗合格或提送原廠證明後才能施作。

橋梁驗收與維護

工程驗收分初驗及複驗,長官有指派驗收官,主要是針對圖面上尺寸、數量等屬外顯及目視的部分進行驗收,隱蔽的部分就查看書面資料,也有會同港務局(縣府為代辦),專業的部分就由監造負責。如摩擦係數、鋼索強度等,許多進口材料在施工前就由營造廠提出證明,故竣工驗收時無法再確認此部分。對於結構設計計算書已沒有印象,但應該是會有這份文件。工程完工後,並沒有針對設計監造特別去驗收。

保固期分兩部分,鋼構 5 年、土木 3 年,保固期內並無其他預算再去做維護工作,因營造廠倒閉,保固期滿檢驗時有部分缺失,故利用保固保證金另行發包修繕及監造工程,並請亞新提出應修繕的資料,工程主要為油漆補強及表面銹蝕之處理;有進入橋梁內目視檢查,並無特殊情形,另橋拱部分過於高斜,且無特殊儀器可做檢測,就沒有進入查看;也沒有其他印象有針對什麼部分去查看。

有無提供維護手冊已無印象,當初橋梁建造係為解決漁港進出問題, 與廠商合約部分執行完成後並無特別進行維護。

大橋完工後移交給港務局蘇澳分局,保固期滿後亦有會同各單位協驗 並點交,也會送一份資料給港務局,預算經費都由港務局支出。

安全監控系統

因橋梁較高,擔心車輛行駛受風力影響會有危險,印象中有做風力及 地震偵測警示系統,風速達定值,告警會通報到港務局的警衛,橋頭也有 警示燈,保固期內確定都有在運作。橋梁沒有通行管制,僅靠燈號告警,警 報器也會響。安全監控系統係為另外的標案,非屬南方澳大橋工程案內項 目。

1.13.5 基隆港務分公司蘇澳港營運處主管

受訪者民國 79 年任職蘇澳港分局港埠工程所工程師,後升任主管,管理港區維護工作。

南方澳大橋興建與維修

南方澳大橋建置業務係由縣政府辦理,委託亞新規劃設計及監造。當初有將拱橋興建工程之規劃報告以公文給縣政府及前基隆港務局,除規劃設計報告外,還有一個初步報告,談到需做橋面、引道的維護費用、鋼結構的部分依據完工後第9、14、19年編列塗裝費用。民國98年辦理油漆工程即是依據上述第9年的塗裝建議,進行整體塗裝。其餘零碎的工程也是依據上述3項大原則進行,一般維修的小型工程如路燈、路面坑洞等,巡檢時自行發現或民眾反映缺失時就會啟動維修工程,通常都是隨到隨辦,有人反映即會處理。當初並無告知鋼索如何維護。

大橋是民國 87 年 11 月 26 日驗收,驗收完成後於 12 月 15 日函送驗收資料及驗收清冊並請前基隆港務局善加管養,有 5 年的保固期。民國 92 年保固期滿後,隔年宜蘭縣政府又辦了保固維修,民國 93 年後前基隆港務局才接著維護管養,後續約有 60 件工程,均有付款憑證資料,如路燈、伸縮縫、油漆等,其中較大的工程有民國 98 年油漆工程 288 萬、民國 99 年油漆工程 93 萬左右、500 多萬的堤防修繕及港區路燈改善工程,民國 106 年的引道、道路鋪面及伸縮縫改善工程 338 萬,民國 107 年伸縮縫及紐澤西護欄 81 萬多。

規劃報告內規定做 3 項動作,最大項就是橋梁整體塗裝,建置過了 10 年後銹蝕的蠻嚴重的,連欄杆都快要銹斷了,民國 98、99 年就把銹蝕的部分上三層塗漆並把欄杆換新;上拱前後端通道被錨頭擋住剩下 20 公分的空間,所以無法進去,另下層廊道有進入去對下錨頭外層除銹補漆,鋼纜部分也看不見,結構安全評估則沒有執行,因縣政府及公路總局都有目視檢測²⁰,結果均為正常。

保固期間內前基隆港務局對橋梁並無任何維護,僅有安全監測,因為當初的省議會提出橋梁應做安全監測作業,故縣政府有編預算委託中央大學教授團隊辦理,因考量地震頻繁,所以此監測僅針對地震安全監測,非屬鋼纜的安全監測。此系統有在橋梁外部安裝應變儀,如有產生嚴重變位則會提出警告。此系統大約是在民國 88 年建置,民國 90 年有修繕並改良成較好的傳輸系統,監測資料未提供給前基隆港務局。

消波塊工程

目前統計有 5 項消波塊工程,民國 99 年時,5、10、20 頓消波塊都是在港區內的貨櫃廣場製作,完成後再過橋拋放,40 頓的消波塊因數量較少且載運困難,所以就在堤防處製作完直接拋放。後來的消波塊工程,因在堤防處製作消波塊有風險,如颱風時都會被沖到海裡,故改至港埠服務區製作。40 頓消波塊後來僅有堤防修復工程有用到,是在港埠服務區做好再載過去,其他工程是使用 10、20 頓消波塊。通常 10 頓會載 3 顆,20 頓只會載 1 顆。

橋梁活載重設計有到 49 或 50 頓,實際活載重安全係數會再提高,應由專家來評估實際載重為何。當初設計前有提供載運 40 頓消波塊之需求給設計公司,所以設計出之結果應該符合要求。

消波塊工程招標文件中的施工說明書,涵蓋針對工程在哪裡製作、注

²⁰ 公路總局表示,該橋非屬公路總局養護,未曾對該橋進行目視檢測。

意事項等內容。如有委託設計規劃,通常都由監造提出文件,並會督促廠商要提送施工說明書內要求之資料,如施工計畫、試體檢驗等。

施工計畫都會先透過監造公司審查,如有不妥當的地方會請廠商修正, 審核完成後再報本公司備查,交通、安衛、環保等計畫書如有需求,廠商都 會配合提出。相關文件並沒有一定的格式,只要廠商提出的資料經監造審 核沒有問題,基本上都會同意。

載運消波塊車輛行經路段均為港區道路範圍,設計公司如有規劃在內 都認為是安全的,至於一般道路行駛如有違規均按交通規定去執行,因執 行港區工程,行駛港區道路港警通常都會放行。

AC 鋪面工程

先前所提的 60 件工程內,做了1次 AC 刨鋪工程,是刨5公分鋪5公分。所有橋梁維護有關 AC 的部分僅有做過這次大工程,其餘均為補洞,並不影響原來的厚度。

1.13.6 公路總局養路組設計科主管

受訪者約民國 100 年年底至公路總局服務,主要負責橋梁設計及橋梁 檢測、維護之業務。

國內公路橋梁載重限制之法規依據

車輛跟橋梁載重是息息相關,一般橋梁設計的時候,都依照部頒公路橋梁設計規範來設計的,而橋梁設計規範內有規定車種跟載重,需依照規範內之軸距與軸數來做設計,不同的道路等級上會有不同的加乘,目前公路總局設計新建的橋梁載重都是加乘30%,且都適用HS20-44,但當時如果沒有這個車種及載重,就會依照當時規範去做調整。

事實上,橋梁要通車也要依照道路交通安全規則,有通行的規定載重限制,另車輛也有安全性上的問題,例如車輛制式的重量等,就由經濟部所屬財團法人車輛研究測試中心檢測,車輛要能掛牌就會符合規範。

國內公路橋梁設計與車輛載重

橋梁設計跟車輛通行的載重如何做連結,就依交通安全規則第38條規定,交通部曾委託運研所邀集專家學者進行研究,研訂出第38條附件十一「車輛總重量及總聯結重量限制規定」,各相關載重車種都有詳細規定,至於橋梁可通行的車種規定就應依照交通安全規則去執行。

當初交通部運研所委託的研究報告,是依據影響線的分析,估算剪力 跟彎矩是否會超過車輛的軸重與軸數計算,橋梁在設計時,必須去核算不 同的跨距是否可承受不同的彎矩跟剪力,以及引響線的估算。當假設一輛 車走過去,對橋梁跨距產生的彎矩跟剪力,及對每一段所產生最大的剪力 跟彎矩,再回歸到依車輛過去時,會小於這個數據,那就可以走,用這樣影 響線去往回推,就可以評估是否可以讓車輛安全行走,用最大的車輛來分 析得到最大的剪力跟彎矩,那軸距與軸重比它小的車輛就是可以安全通行 的。當時交通安全規則第38條應該是用影響線去回推,並擬定出的載重係 數。

而每座橋梁設計都有極限值,事實上橋的容許車輛載重通行值不可能 以極限值來通行,一定有個安全係數存在,所謂的極限值,就是這些車種 再加重的話,就變成橋梁的極限值,就類似這樣。

南方澳大橋當時的活載重規定

活載重加計50%係針對車輛每軸加計50%的載重,當車輛設計配重時, 每點都有受力行為,但車輛走在橋梁上的受力行為只要小於這個數值就是 可安全行走,在一般受力行為之下,只要能符合交通安全規則第38條附件 十一的數據都是安全的。

當時的車輛總載重值皆有考量性,不會超過其上限值,總載重都是通 用噸數,也就是說在任何一個橋梁,只要沒有掛限重標誌都可以行走,既 然是通用的規定,就可通行用在所有的橋梁上,而且南方澳大橋使用活載 重加 50%規格。規範訂的不得小於 HS20-44 (MS18) 之 1.25 倍應屬通案 性,一般橋梁都適用,但就公路總局跟高公局都比一般規定再高,但地方政府是否按照或是有其他考量,這就不清楚了。

公路橋梁載運車輛的限制

依照交通安全規則第 38 條附件十一的規定,曳引車及半拖車總聯結重量是有其限制的,應回歸到檢視車種是否符合規定,假如不符合,那不管走哪座橋或哪條道路都是危險的,因為當時這個規定就是考量相關車種載重的因素,如果超重就會容易造成重大公路事故,所以超過規定的重量就是不安全的。

公路橋梁(老舊與特殊橋梁)載重限制

部頒公路橋梁檢測及補強規範內有規定要做橋梁檢測,在第六章結構 安全評估有提到,檢測後發現有問題,會立即進行評估並限重通行。假設 橋大梁檢查有剪力裂縫,就是結構行為影響,會馬上做結構安全評估,目 前所有的橋梁檢測資料都要匯入橋梁管理系統內,並都會填報檢測結果。

記得之前的 0206 花蓮地震災害後,花蓮有一些橋梁已進行載重限制, 因為檢查出來有結構上的損傷,也只開放小客車通行,並禁行大貨車。另 外當發生地震,也會依照地震等級規定進行特別檢測,颱風豪雨過後各公 路主管機關也會依規定檢測,當檢測發現有問題時,就會請專家學者協助 評估,並依規定辦理橋梁限重通行。

檢測規範及橋梁管理系統演進過程

橋梁檢測及補強規範主要委託高公局訂定的,並由部統一頒布實施, 今(109)年增加特殊橋構件的修訂,之前的版本都有規定特殊橋梁要辦理 檢測,目前因應南方澳大橋斷裂後,交通部重新修正特殊橋梁檢測的規定, 並由公路主管機關自行訂定辦理,但並沒有規定一定要訂出自己的橋梁維 護管理手冊。

橋梁管理系統的項目也是慢慢的演進,一開始雖然沒有特殊橋梁主項

目,但有針對特殊橋梁吊材的選項。另在民國 107 年由「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」及「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」兩規範,共同合併成「公路橋梁檢測及補強規範」,在這規範前分別以鋼橋跟混凝土橋去進行檢測與補強。

民國 100 年時,運研所提出橋梁目視檢測評估手冊(草案),內容有規定各種檢測方式與規定,而運研所的橋梁管理系統構件項目也比規範還完整,例如規範內沒有規定的吊材,運研所的手冊跟系統內都有,大家都知道相關規範內沒有的,可是在運研所的系統內都可填報。

至於進行檢測的顧問公司如何規劃檢測項目,就看業主如何要求,原 則都是依照公路橋梁檢測及補強規範辦理,但顧問公司也要依經驗或現場 的檢測結果進行回饋,並告知檢測構件結果。

地方政府橋梁檢測規範

地方政府是如何執行檢測工作,受訪者表示不清楚,但公路總局轄管各區養護工程處之工務段均自行辦理橋梁檢測與補強工作,也會依橋梁管理系統內規定項目進行檢測,公路總局轄管的橋梁檢測通常都是依照部頒規範,合約內也會加註如有新規範就依照部頒新規範,以前大部分的顧問公司都依循運研所的橋梁目視檢測評估手冊(草案),通常顧問公司也都知道該怎麼做。去(108)年開始公路總局已經開始擬訂給第一線人員橋梁目視檢測的執行手冊,也會放一些案例進去,目前還在針對特殊橋梁的部分進行審查討論中。

公路橋梁限重標誌

公路橋梁檢測及補強規範內有規定,檢測結果有安全疑慮時,應進行 結構安全及承載力分析,並就分析結果去執行橋梁限重,這是部頒規範規 定,但地方政府如何評估及限重,受訪者表示不清楚。目前因南方澳大橋 斷裂事故後,公路總局即針對轄管橋梁進行調查,目前都沒有限重的橋梁, 因為有問題的橋梁就會馬上進行補強,公路總局各區養護工程處均依權責 有發現問題就會依照規範進行處理。

橋梁限重的部分就是依照道路交通標誌標線號誌設置規則處理,計算的數值經過結構安全評估,並依道路等級及車流量去作承載力分析,當評估出來時就可依要求設置載重限制,但受訪者不確定除了其他單位的橋梁限重是否都有依照規範評估計算,公路總局都是委託專家學者或專業團隊協助,不過並沒有相關規定評估單位的資格。

另外當橋梁檢測補強完成後,會再做一次安全評估看是否有問題,當符合安全值時,就不會進行橋梁限重。所以公路總局的橋梁都會立即補強,沒有限重通行的橋梁,而新建設計的橋更不會有限重,如依照部頒規範新建設計的橋梁還要限重通行,那就是不符合規範設計,但這並不包含其他農路、原住民道路等橋梁,也許其他道路有其他的設計規範,因為各公路主管機關的規定都不一樣的。

1.13.7 公路總局監理組承辦人(1)

受訪者於民國 92 年在臺北市監理處負責車輛檢驗業務,民國 107 年 11 月至總局監理組服務,負責各所站車輛安全審驗至領牌及檢驗相關事務。

國內橋梁限重與車輛載重之關聯

現今車輛的結構、負重都遠超過法規之上限,或許上百噸都可以載,但考量橋梁、路面養護成本,如道安規則 38 條附件十一中,軸組越長的車荷重越重,平均分擔到路面上,其單位面積乘載之重量可分散,如軸組短的,荷重越重對路面之負擔較大,對橋梁、路面都破壞較大。如人為蓄意要超載,對車輛無太大損害,但對道路橋梁可能就會有損害,尤其對於老舊橋梁會更有影響。

橋梁可以做得非常堅固,但國家沒有辦法負擔其龐大的建置費用,所 以應該要取一個均衡值來設計橋梁限重,其實每台車的拖曳能力都遠超過 現在法規限制,但可能會對於其他因素(人、車、路)都有安全上的影響。 民國 85 年交通部路政司委託中華民國運輸協會、車安中心、臺大土木 系團隊,研究對橋梁鋪面之破壞程度,普查臺灣車輛情形,訂定出附件十 一之數據。以前國內大客車總重僅有 15 噸,但歐規 16、17 都有,後來逐 漸放寬到 17 噸,現在因後軸歐規規定越來越重,這次交通部也有再放寬規 定,目前也有專家在檢視是否會對橋梁鋪面有影響。

車輛超載之管理與取締

高速公路會有地磅站,對車輛來說超載 1 頓是不會造成損害的,只是 對橋梁及道路鋪面之養護成本會變高,或是道路壽命會急遽縮減。一般道 路上,警察會在路邊攔查,如有看到可疑車輛,會強制要求去最近之地磅 站過磅,如拒絕過磅會有處罰,通常會在距地磅站不遠處做攔查。大貨車 進監理站檢查通常是空車做煞車力測試,不會有載重來監理站過磅之情形。 因監理人員並無執法權,超重載運僅能由警察開罰,但警察對於超載之攔 查頻率受訪者表示不清楚。因人力有限,如警察未攔查取締,在路上還是 會有超載的車輛,除非上橋前可以先過磅才有辦法實際限重。

車輛是否超載,需要有自主管理及執法取締相互配合,是管理層面之問題,與車輛本身限重無關。我國道路橋梁設計值並不比歐美差,所以車輛限重也有逐漸放寬,車輛出廠核定之總重量是取「原廠設計值」、「輪胎荷重」與「法規上限」三者最小值,在核定總重量限制內裝載才能確保行車安全。

1.13.8 公路總局監理組承辦人(2)

受訪者於公路總局服務約 10 年,主要負責軍事及民力車輛、物力結合 之動員、臨時通行證、防竊識別碼等相關業務。

超重之臨時通行證申請方式

臨時通行證是依據道路交通安全規則第79至83條,由公路監理機管 受理發證,主要分為5類,貨櫃、動力機械、危險物品、政府機關特種車 及整體物(不能分解之物體,例如捷運車廂)。貨車以現行車輛之最大規格, 還無法載運時,才可申請臨時通行證。舉例如 40 頓消波塊因無法分割,所以是符合申請之條件。

整體物之申請是依據道路交通安全規則第80條規定,由起運地或車籍 所在地之公路監理機關核發通行證,申請時須檢附應備文件(申請書、裝 載圖、車輛狀態、駕駛人之駕駛條件,裝載後前後左右輪之彩色照片)等相 關文件,由監理機關受理。

審核流程

公路總局主要流程係由監理機關受理業者申請文件,確認車輛安全性後,即會陳報總局養路組,再分至該路段之管養工程處做個案的審核,確認道路條件無虞後再回報養路組,再由養路組回復監理機關,由監理機關發給申請單位。

審核主要分兩部分,第一部分是監理方面,確認車輛安全性符不符合、 車輛是否可載運此物品、原廠文件是否可證明車輛有載運能力…等,如原 廠證明不足時,業者須再檢附技師認證,監理機關同意後才會往路權機關 申請;第二部分則是針對道路條件,由路權機關做判斷,選定路線之道路 條件是否可供通行。

車輛安全性之查核需檢附車輛原廠設計值、乘載能力等,如佐證資料不完備時,則需請技師簽證,確認車輛確實具有承載能力,提出安全證明。 道路條件審核則由路權機關認定,如養護單位或地方政府主管機關等准駁, 以車輛軸組、荷重、道路橋梁現況去做判斷。

1.13.9 交通部路政司承辦人

受訪者主要負責交通部轄管高公局及公路總局的國、省道系統,以及 公路系統的法規面。

<u>公路系統的定義</u>

「道路」係為最廣層面的定義,交通部主管的公路只是道路的一部分,

且公路有非常嚴謹的路線規劃跟規範規定,其養護等級為全國最主要幹道 的系統,而道路規範內也涵蓋眾多系統,像是港區、村里聯絡道或其他供 公眾通行的地方。

公路系統內都有編號,但沒有囊括所有的道路系統,且交通部無法跨部會去管其他部會的道路,例如農委會林務局(以下簡稱林務局)的農路、內政部營建署(以下簡稱營建署)的市區道路,雖然其轄管的路線數量不多,但大部分都是參照最嚴謹的交通部的規範及規定。

道路系統分為兩大主管機關,除了交通部主管的公路系統,另外就是 營建署的市區公路。一般公路系統屬性都會包含里程、地名及里程樁號等; 而地方政府的公路系統,就會由地方政府來規劃路線,例如鄉道係指聯絡 鄉鎮市間與村里、原住民部落間之道路;縣道係指聯絡縣市間與鄉鎮市間 之道路;而省道為聯絡直轄市及縣市間之主要道路;國道就是以全國整體 路網去規劃的。這些要素就是要考量交通量達多少以上的幹道才可以納編 到公路系統,在交通部的規範內就有非常嚴謹的養護及規定設計,也都應 陳報交通部核定公告。

營建署轄管的市區道路屬地方政府自己都市計畫內,像是都市內的住宅、工業區等規劃需求,計畫完成後會報內政部核定公告,就像是公路系統路線建置完成後也會報交通部核定,都有明確的里程跟路線資訊,維護的權責也很明確。

南方澳大橋屬港區的設施,是跟地方村里的聯絡道,當初依地方的需求向中央申請蓋這條道路,但這個介面當初管理權責單位上沒有講清楚, 橋蓋完後港務公司可能沒有跟地方做溝通,沒有認識到這些問題,在養護責任上沒有講清楚,造成後續有一些漏掉的狀況,這些介面上的模糊地帶就需要逐案來檢討。

目前交通部正在研擬中的院級橋梁管理要點中有寫到,未來如某座橋 有權管及介面上的問題,需要兩個管理機關相互協商,當協商不成時,希 望由工程會以行政院的角度來作協調,原則是每座橋梁都需有維護管理單 位,目前這管理要點仍尚未定案。

公路系統基本上較單純也很明確,不會有管理漏掉的問題,但也會遇到管理介面的問題,例如公路與市區道路重疊,在公路法有明確規定,公路的位階就是最高的,有重疊的地方就歸公路管理機關去處理,另外如公路系統在縣市交界,就會訂一些原則,像以南橋北管、東橋西管的行政原則去做協商,就像是有一種共通性的語言,但某些特殊地區性橋梁例外,像是新竹縣市有橋各管一半,自新竹縣市縣界開始自行養護,但只要協調好權管原則就不會有問題,公路系統主管機關的責任定的都很明確。但其他道路非交通部主管就不清楚如何主導協商了。

公路法中的主管機關

公路法有訂定中央及地方的主管機關,中央主管的就是國、省道這種 跨縣市的道路,屬全國幹道的路網養護工作,國道由高公局、省道由公路 總局來管理,而地方政府的公路系統部分,在公路法第三條有敘明地方公 路主管機關為各直轄市、縣(市)政府,由他們去規劃路網,完成後報交通 部編號並核定公告,這有明確的行政程序。

只要進到公路系統的道路,就要依照公路系統,所有的規範從設計到 養護應由中央主管機關去訂定,而地方納到公路系統的道路也都要依照交 通部的規範去做設計跟養護,如果沒有達到就會裁罰。

交通部除了主管國、省道及整體公路系統規範的制定,對地方政府另外還會以專案計畫的方式去協助,例如公路系統生活圈方式,如果地方政府認為公路系統路網不夠健全,甚至是地方橋梁需要改善及補強的時候,可以循程序到交通部申請公路系統的道路補強經費,這計畫仍在執行當中,只是地方政府仍應該負起地方的公路主管機關責任,補助地方的計畫經費都不會全額補助,尤其是養護的部分,地方應負起一部分的責任,交通部只是指導角色,有補助配合款的情形,要由中央跟地方一起合作才能往下推展,而不是給他一筆全額補助的經費,這有其制定的方式跟規則。

非公路系統的主管機關

公路法第三條並沒有包括縣市政府所管的市區道路,但有包含公路系統的縣、鄉道,而市區道路有其需求跟強度,營建署只有訂定市區道路的附屬設施規範,包含天橋、地下道及人行空間偏屬人本設施,至於其他的規範據了解是沒有,是否有其他的行政命令去要求地方政府的市區道路應比照交通部的規範去設計及養護,這可能就要由內政部來說明。

至於農路、林道有其強度跟需求,比如說農路只是一些農業機具去行走的,他的強度、跨距就不需比照交通部的養護資源或是設計標準,但也許預算夠也可以這樣的高規格去處理,但農路跟林道另外都有自己的一套系統,至於規定就看中央的目的事業主管機關如何去訂定。

非公路系統的道路管理機制

南方澳大橋港區對外聯絡道路不屬公路系統,但交通部轄下還有鐵路、 觀光局各自的系統,各自進行督導,但不確定是否有其相關規範。港區屬 航政司及航港局所管,應制定相關行政命令,雖然數量很少,而其在港區 內因與公路系統無法串接,以致港區道路無法進入公路系統,但仍要去想 應如何比照公路系統,受訪者覺得因數量過少,不可能為了只有幾座橋梁 去制定規範,且制訂規範也不是這麼容易。

但管理橋梁數量少的,也可參照公路規範或是國外相關規範建立制度, 不見得要納入公路系統,如果交通部主管的橋梁全都放入公路系統,反而 會亂掉公路系統的規畫,因各橋梁都有不一樣的目的訴求,且跟公路系統 不一定能串接,但如果路網是由重要港區串連到公路系統的支線,這樣就 會尊重地方整體的路網規劃;但如果把人行路橋等都放入公路系統,反而 會亂掉公路系統的規則。

受訪者的見解是,也許可用行政命令方式去指導,假如沒有建立規範,可參照目前最完整的一套公路系統制度去做管理,這是最快的管理方式。 但如果有一定的規模時,例如港區的橋梁越來越多,那就應該要去制定對 應的系統及規範,去做相對上的需求管理。

事故前,非公路系統的特殊性橋梁維護管理方式

就受訪者了解,在國內其他單位都沒有相關規範及系統,例如像營建署管的人行天橋在國內數量蠻多的,應該要建立相關系統及規範讓大家遵循,但在公路系統上是不合用的,目前大都參照最嚴格的公路系統規範去做養護管理,這是短期內可以解決的方式。

經過南方澳大橋斷裂事件之後,交通部也幫行政院擬定橋梁維護管理要點草案,針對這些議題,讓未來各中央目的事業主管機關應制定相關制度、督導方法及規範,如尚未訂定時應參照相關有的規範去處理,未來要點希望要求各主管機關應比照公路系統去正視這件事情。

大約在民國八十幾年時,行政院指示交通部從無到有去建立一套橋梁管理系統,但交通部位階上應是制度上的建置及指導,現今變成管理龐大的橋梁系統卻無法有效執行,就是因各單位的橋梁管理需求都不一樣;且現在建立一套系統或資料庫不是很困難,各單位都應自行規畫財產設施清冊、資料庫檔案或建置系統等管理方式,不能老是仰賴中央去輔導大家,未來希望地方及中央其他部會都要有自己的系統,但如果真的管理數量少,再去協調機關共用系統,主要是自主不需仰賴別人,避免發生事情後連責任說不清楚。

宜蘭縣政府說橋檢資料是登錄在交通部建立的管理平台上,用系統化來管理橋梁,又說是帳號管理上的問題,造成好像是交通部管理不當。但地方橋檢管理常將系統帳號轉給發包的廠商去登錄,中央不可能會管到縣市政府的契約管理發包作為,只在制度上以每兩年要定期填報系統,以這制度上去指導,但交通部不會伸手去對地方橋梁的契約做管理,也無法對全國上萬座各種橋梁都去管理,且當初的制度有規畫分層的相關管理責任。

未來橋梁管理要點會課責各管理機關應要有自己的系統,這塊未來在地方及其他單位要推動上仍然要有很大努力的地方,但行政院內也同意要

重新律定清楚,雖然這套大系統大家都很上手,但卻不應該無法有效執行,應要與時俱進,像是公路總局就針對系統建有分級與相關管理制度,未來應自行帶動公路維護管理的作為,而不應交由交通部或運研所去帶動實際養護的作為,這是未來要點要去釐清的作為,但也要結合地方的想法,這是未來要努力的地方,目前跟院內已有共識來執行這方向。

各橋梁主管機關相關橋梁維護管理法規

各橋梁主管機關都有自己的法,但管理強度沒辦法一致性,而行政院 所訂的橋梁維護管理要點實際上無法跨越法的位階,只能像是執行指導的 部分,但法的責任就要回歸到各目的事業主管機關去檢討,是否適度的加 強維護管理的責任,並考量是否去強化這法條。不知道其他單位有沒有相 關法規,而在行政院的橋梁維護管理要點裡面不宜到法的位階,因各主管 機關自有主管權責,不需這麼詳細去指導。

橋梁檢測與評鑑

公路修建養護管理規則第十條內第一項是建立系統,交通部當初是編 法跟實務同步進行,且法條上也規定交通部要建立系統,應該在民國 92 年 時就針對法律跟執行面上去同步檢討,而相關制度、方法、頻率及要點都 有包含在規範裡。

檢測人員之資格與培訓、簽證制度都有訂定培訓要點,當初就一直有在討論,前幾年因為牽涉到技師方面的看法,所以一直沒定論,記得在民國 105 或 106 年時交通部有訂定一個培訓要點,包括課程及上課範本也在研擬中,針對上課的時數,也定了一些條文,要做檢測工作的都應該要上過課程,才會有一些基本的概念去執行。

受訪者覺得橋梁的檢測,在個人專業上有一定的影響程度,大部分問題都出在委外廠商的檢測工作上,例如隨便檢測的態度、不確實填寫,反而問題是出在督導,但如果檢測能夠詳實記錄,其實只要有基本概念,就不會是很難的課題,當確實記錄後有看到很大的劣化時,還可協助去進行

更詳細的檢查,有時更可找專業的顧問團隊來執行,所以檢測員第一線是 在做紀錄,做最基本的判斷,技術上不會有太大的瓶頸,反而是落實檢測 這部分。

過去橋梁評鑑並沒有法源,當初是從系統開發的角度,開放給各道路 主管單位去使用,例如營建署的市區道路非交通部主管,而交通部也無法 督導考核,所以就用橋梁系統讓大家去填報狀況,並用全國的角度去做評 鑑,但交通部畢竟不是農路、市區道路的督導機關,會被質疑為什麼來督 導,但交通部基於是系統建置者,仍做了很久的評鑑工作。

評鑑時除了看填寫跟維修率,並會公布成績及數據,也公布給社會媒體知道,主要希望能讓地方政府有養護工作的壓力在,過去透過評鑑來做處理,未來在要點裡會希望各主管機關自己要做評鑑,也許也可以聯合評鑑的方式。

但各目的事業主管機關也要能盡到督導的責任,畢竟不是公路系統, 相關計畫經費也無法補助,交通部從鞭策到補助也無法對應,未來希望能 重視這塊,並結合在補助計畫上,如果評鑑成績好的就可以多一點補助, 那這制度就可以落實在未來督導的作為上。

交通部有訂一個橋梁管理管理系統評鑑要點,因沒有法律授權僅屬於 行政規則,各局評鑑由各局自行負責,而縣市政府的評鑑則由運研所負責, 每個單位每年都看得到評鑑的狀況,每年運研所都會配合督導持續檢討。

每年的評鑑報告都會發函給地方政府,也會公布在系統網頁上,甚至 有需要時也會開記者會說明執行的現況,但是基本上相關資訊一定會公開 給地方政府。

不同年代的相關檢測規範是否包含特殊橋梁檢查

特殊性橋梁基本上也是橋梁的一種,橋梁規範內本身就有包含基本的 養護檢測,當然可能會有特殊額外超過的,但規範沒辦法針對每座橋作詳 細的規範檢測說明,當初是用較彈性的方式,就是特殊性橋梁都要訂定自 己的養護手冊,公路系統的橋梁最基本都會有兩年檢測,不會有漏掉的。

而特殊性橋梁因其特殊性,有造型上的需求及不同的構件,所以當初 規範想法是以適用大部分橋梁為主(例如混凝土及鋼構等),把檢測項目都 逐一列出來,但其他的特殊構件就沒列入了。

南方澳大橋斷裂事件後,開始將較通用的特殊性橋梁構件如鋼索、錨 定等放入,包括每座橋梁的養護手冊未來也會特別要求,當初並沒有這麼 強制性,但現在大部分新建橋梁都會納入,而未來指標性的橋梁也都會有, 至於以前的橋梁部分就不了解了,但交通部轄管的橋梁是沒有漏掉的狀況。

高公局及公路總局未來在督導上,重點就是橋梁項目,高公局只有兩座特殊橋,分別是國 6 及高屏溪斜張大橋,並已有訂定養護重點手冊,而公路總局的轄管橋梁數量較多,已經在逐步回朔檢討各個特殊性橋梁,也會定期去做定檢。

至於地方政府,未來則由公路系統評鑑內以加或扣分的項目方式處理, 但也無法一次到位,只能用這個機制上去做督導,不可能都涵蓋到全國的 橋梁,數量少也許可能做到,但數量一多就會較擔心了,制度上交通部會 再配合這次規範修訂的重點,放在未來的督導考核重點項目裡面。

南方澳大橋之橋梁主管機關

受訪者認為每個設施都一定會有產權及管理權責,只要談清楚,兩者 是可分開的,像公路的省道連接到市區道路時,因屬市區道路的路段,就 會跟地方政府協商養護路段的管理及權責,也會進行公告,地方政府管理 以外的就是公路總局所管,管理權跟所有權是可以分開的,但要談清楚。

如果沒有談養護管理權,這就是跟在財產權身上,因為如果橋蓋了就不能不管,蓋了就要想辦法去養護及協商,如果有協商給宜蘭縣政府去管理,權責就在宜蘭,如果沒有,就會落在原本設施財產權的管理單位身上。但是航港局有委託給港務公司去處理,責任如何分工,實際上還是要看本部航政司的說明。

另依據當年南方澳大橋新建後地方跟中央協商產權的狀況來看,假設要移給地方政府,在公路法內有個代養機制,就是可請公路總局代養縣道,不過代養有其年限及機制,但一般不會代養非公路系統的,且公路總局所管橋梁已經非常多了,基本上也不太可能會去幫忙管別人的橋,就受訪者看法是航港局單方面希望別人幫他們管理,但這不太可能會發生,全國的橋梁太多了,甚至學校、園區也都有非常多的橋梁,這樣下去公路總局會管不完。

至於如果考量移給宜蘭縣政府管理後,納編至公路系統去轉變成縣道, 再請公路總局代養,但目前各縣市政府委託代養的期限都到了,比較特殊 的只有澎湖仍在代養,其他的都回歸給地方政府自行養護了。

港區內道路設計養護規範

南方澳大橋的部分不敢確定,但基本上設計書圖裡都會有引用的規範,或許特殊性橋梁會引用國外的規範,基本每座橋梁設計上都會說明引用的規範為何,例如像耐震程度的規定,且要經主管機關同意,在設計上就會說清楚引用的規範為何。至於各道路養護的部分就由主管機關決定,航港局會說每年都要管都要養護,或是要照公路系統的規範,如沒有規範也還是要講清楚。

1.13.10 交通部航政司主管

受訪者主要負責交通部督導蘇澳港的工程相關建設計畫及與港埠有關之業務,並於民國 102 年進交通部航政司後就承接蘇澳港相關業務。而航政司業務主要督導航港局跟港務公司之間的業務及預算執行狀況。

南方澳大橋屬性與契約委託關係

南方澳大橋主要位於商港港區的範圍內,並非給港區的作業車輛專用, 港區內還有管制區,且管制區需換證才能進入,以從事一些碼頭作業的工作,南方澳大橋基本是在管制區外,但卻在商港區的範圍內。 南方澳大橋當初興建主要跟當地的交通需求有關,在管理單位上,101年3月1日以前是前基隆港務局蘇澳港分局,101年3月以後屬商港區內的公共基礎設施財產管理單位是航港局,航港局再依商港法第10條規定透過公共基礎設施興建維護契約,委託港務公司去興建維護。港務公司認為這契約屬性上應為業務委託,航港局是認為比較像是行政委託,而航港局認定的原因係依商港法第10條委託規定。

而港務公司認為行政委託契約應受行政程序法規範,所以需先完備行 政程序法,再達成契約的內容,才叫行政委託契約,受訪者認為無論這契 約是屬行政或業務委託契約,在契約裡明定委託範圍的附表內確實有提到 港區內橋梁,所以在港區內的這些公共基礎設施是包含橋梁的,至於新建 跟維護的工作是雙方透過委託契約去執行的委託關係。港務公司是屬委託 契約的乙方,就必須要做好受託的設施維護和管理工作。

民國 106 年時,航港局跟港務公司另有訂公共基礎設施的委託作業機制。這個機制是讓航港局去做履約管理,畢竟當初跟港務公司簽訂的委託契約,裡面並沒有寫太多的細節,比如說一般的勞務委託的採購契約,裡面都會說明甲方跟乙方要做的項目,但港務公司跟航港局簽的委託契約還蠻簡化的,只有簡單講到港務公司要做什麼項目,以及興建維護的基礎設施大概有哪些項目要做。

港區設施管理督導機制-航港建設基金與港務公司設施及作業督導機制

基本上港區橋梁就是商港區裡的設施,不管是營運設施或是公共基礎設施,都會依商港法相關規定,要求由經營管理單位去負責。

商港公共基礎設施,不管是興建或維護經費,都由航港建設基金負擔, 該基金由航港局管理。

交通部每年辦理兩項督導機制,一個機制為航港建設基金督導,主要 針對的重點是預算執行率,依據每年提報的預算需求,去看實際執行情形 是否如預期規劃,並透過這樣的督導計劃,於後續編列預算需求時,更能 夠符合實際狀況,所以航港建設基金督導考核工作較偏向預算執行面。

另外一個督導工作為港務公司設施及作業督導,這比較偏業務面及設施管理面,業務就是包含港務公司的日常經營業務內容,較偏財務類,然後設施管理面會較偏向港務公司的營運設施,以及被航港局所委託的公共基礎設施,目的主要是為確保設施有沒有做好管理,因這些設施管理會攸關商港營運的順暢度。所以是有規劃這兩個督導機制,分別擔負著不同的兩個角色。

這兩個計畫並無直接載明依據法規,屬於航港建設基金及業務設施面 向的督導,而當初制定港務公司設施及作業督導計畫時,主要是考量民國 101 年開始航港體制改革,運作了 3 至 4 年後,希望透過督導計畫去了解 港務公司的營運狀況,另外也希望瞭解公司在業務執行面上是否遇到困難。

交通部在進行設施督導時,初步會較針對制度面的建立,那時航港局有委託設施去管理維護,也有律定標準作業流程,據了解當初律定時,主要還是在預算編列,因為每年港務公司會跟航港局提出,公共基礎設施需要多少管理維護費,要編多少預算,航港局將預算編好後送部裡,但為確保預算編列過程中沒有浮編和漏編,所以查核航港局是否依標準作業流程去確認預算編列,是那時督導的第一個目的。

第二個目的是希望透過標準作業流程,航港局可以確認港務公司是否按所編列預算去落實執行,經確認後才能給予經費,而港務局確有執行監督確認工作,但交通部針對港務局督導考核時,初期還是會針對制度面或作業面,避免航港局無法瞭解港務公司為何編這些預算,另也希望港務公司編預算時應要有所負責,能夠落實巡查工作,發現設施老舊或損壞,就要提出所需修復預算,最後確認修繕工作是否都完成。

所以訂這個督導計畫,一開始是希望能夠了解,實際在執行的過程當中有沒有困難點,是否需要部裡來協調,或去找出有沒有分工不明確的地方需要裁處。再來是想要瞭解港務公司運作得如何,希望透過這樣督導的過程,讓港務公司能夠知道,每年交通部都會督導相關設施管理的情形,

也期望透過督導計畫,能夠幫助港務公司內部管理上能更謹慎及完整。

港務公司在今年1月初新修訂公司內部設施巡查規定,清楚地提出橋梁檢測頻率等規定,但在南方澳大橋發生斷裂事故前,相關巡查的規定,並沒有針對特殊設施,在做設施督導時,也沒有額外的檢視特別設施,只是單純去關注和業務執行面上會遇到困難的地方,所以並不會額外關注橋梁。

交通部每年航港建設基金督導考核計畫,主要是在預算執行面的部分, 每年都會去考核港務公司的預算執行狀況,如港務公司因遇到困難而造成 執行率不佳,那年就會特別針對落後較嚴重的工程,去現場督導,瞭解發 生困難點,也會找交通部其他單位來協助解決,主要的督導就是看這個。

針對管理面的部分,一般會看歷年的執行率,當執行率未達九成時,必須要提出不可抗力因素,如果提不出不可抗力因素,而預算執行又未達到九成以上的話,會請港務公司就預算執行不力的狀態,去對相關的人員做懲處的動作,並提報相關改善作為,後續也發現這一兩年,在預算執行率稍微有好一點,在提報預算時,就不會浮報過高的預算,會較符合實際的狀況跟需求。

港務公司橋梁管理項目及範圍

港區內設施樣態有很多種,港口管理單位將一般熟知的碼頭堤防或是燈塔等相關構造物,視為港區專業核心的部分,但商港港區範圍這麼大,不可能只有堤防、港灣構造物等,還有倉庫等一般性土木建築,而港區內因有跨越地理的環境因素也會有道路,不論是跨越其他道路或河川,或是南方澳大橋,都是屬於跨越一個航道到另外的地點,所以跨越環境大部分就會有橋梁及道路。

受訪者認為屬整體港區的營運維護,其中包含的設施除橋梁外,也有 道路、建築物或變電站等,都涉及眾多不同的電力或土木工程專業概念, 不能因為是非核心就不去努力,畢竟是維繫日常運作的重要一環,如果港 區裡沒有這些道路、聯絡通道或橋梁,港區就會無法運作。而一般科學園 區或是工業區,也會有橋梁或是道路的設施,在自己所管轄的區域內,還 是要想辦法找人來協助管理,雖然有可能不是屬核心或是熟悉的業務。

南方澳大橋還沒發生斷裂之前,非公路系統單位不會特別把公路橋梁檢測規範拿出來,其實相關設施的檢測規範不會只有公路橋梁一種,像港灣構造物也有自己的規範,這幾年沒有特別關注的原因,是以港區巡查作業規範辦理一般日常的巡查維護,如果要特別關注,通常是要在規定及制度上變更時才會去做。針對橋梁設施的看法應屬港區的道路,且港區內還有一些其他的公共設施,比如說堤防等都視為公共設施,並不會額外針對橋梁做特別檢查,也不會另外訂定檢測規範和規定。

事故後作為

南方澳大橋斷裂事故後,交通部請運研所擬定一個精進作為,主要針對部內外以一個完整的橋梁維護管理要點來考量,最大的改變,就是各部會更認真去看待橋梁檢測,除了港區的橋梁外,還有機場聯絡橋梁、風景區聯絡橋梁等,不管人或車行走的橋梁,封閉性或限定工作人員行走的橋梁,都需要檢測,經過這次事情後,促使大家再去檢查所管轄地區內,有哪些特殊設施必須關注,而且不能用一般性的檢查規定去看待,這是受訪者覺得事故後比較不一樣的地方。

針對各港區內的橋梁後續因應措施

事發後第一時間請港務公司就轄區範圍內七個國際商港進行整體盤點, 瞭解商港內到底有幾座橋梁,包含這些橋梁歷年檢測過程,或維修的過程, 後續在盤點完後,希望港務公司趕快去做定期檢查跟詳細檢查,並透過定 期及詳細檢查,去瞭解這些橋梁是否哪些需要改善,哪些是儘快在未來年 度編列經費去逐步進行修繕,以維通行安全。

但透過盤點的過程中,發現每個港區內橋梁,部分有檢測,部分只是簡單的巡查,檢查的頻率也都各自不一,各分公司各有不同做法和頻率,也

發現總公司對於分公司的設施管理規定並不完整,總公司如何督導分公司 落實執行的機制可以再加強。

今年1月初時,港務公司修訂內部設施巡查檢測及維護權責規定,就 把總公司對分公司的督導機制及各分公司工作執行的規定更完整。

港區設施是否適用部頒規範

就以往港務公司在做設施巡查時,會參照部裡的相關規定,譬如港灣 構造物是依部頒規定,所以也許會認為交通部橋檢的規定,應該也是可以 參照,但實際上,後來才知道港務公司並不是很清楚橋梁的檢測規定。

1.13.11 交通部技監室承辦人

受訪者於交通部技監室擔任技正的工作,技監室編組為1至2位技監, 另配置1位技正協助處理業務,主要業務為部頒技術規範審定與頒布,另 外也監督財團法人中華顧問工程司的業務。

部頒規範機制與流程

交通部於民國 98 年頒布部頒規範機制,剛開始係進行初擬或初審,這 是交由部屬機關去分工負責,例如高公局就負責公路橋梁檢測及補強規範 初擬跟初審,審完後會陳報交通部頒布,頒布前會由交通部組審議委員會 就規範變動幅度及內容進行複審,完成後再頒布施行。

而新訂的規範基本上就會委由公正第三方來協助審查,例如 108 年公路橋梁耐震設計規範就委託國震中心幫忙複審,但如有較急迫性或針對部分條文作些修訂的,則由交通部會自己組委員會來審,審查委員除部裡的長官外,另也會邀請一些產官學界的專家。

去年南方澳大橋發生斷裂事故後,因要求修訂時程較急迫就由交通部自己審,由交通部技監擔任召集人,另外也請了12位委外學者,包含產官、學術界及政府機關的專家學者來進行審查,辦理規範的新修訂。

橋梁檢測規範演進的過程

橋梁檢測一開始最早是在公路養護手冊中規定,後來因公路法第33條「公路設計、施工、養護及交通工程之各項技術規範,由交通部定之」規定,交通部考量規範與手冊應屬不同層級之規定,而該手冊談的內容不論是大原則性或是一些細節的部分,通通都放在一起,因此,經會商決定將手冊與規範分開,並將原則性的列在部頒規範,較細節的部份由各個公路主管機關自行去訂定手冊,因為各公路養護需求跟標準並不會一樣,且各單位最了解自己的公路,,請他們自行研訂最適合的養護手冊。

檢測規範的原則性是由交通部來訂定,一開始先訂「公路鋼結構橋梁 之檢測及補強規範」,民國 104 年再訂頒「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測 及補強規範」,後來在執行上時,經反映這兩個規範內容裡太多項目細節相 同或不一致,所以在民國 106 年時,高公局將兩規範整併成「公路橋梁檢 測及補強規範」,並同時廢止前述兩個規範,並於民國 107 年 10 月複審頒 布,這次因南方澳大橋斷裂事件,交通部又再於民國 109 年 1 月重新修訂 部分內容後頒布。

當初頒訂的版本是適用於一般性橋梁,但其用意並不是忽略特殊性橋梁,而是各主管機關對於轄管的特殊性橋梁,應該就要有更嚴謹的方式去管理,所以交通部才會對針對特殊性橋梁規定是,各主管機關應訂定相關的檢測或養護手冊,如有共同的項目就可參考這個規範,當初條文是這樣寫的,不過因為南方澳大橋斷裂後,部的政策將由過去消極性的態度改為積極性,所以隔年後馬上一併做修訂。

各橋梁主管機關之相關管理辦法

高公局或公路總局目前都有訂自己的養護手冊及檢測手冊,就公路法 來說,部屬機關轄管的公路特殊性橋梁都有一定的掌握跟了解,只是當南 方澳大橋斷裂後,才發現原來港區道路的橋梁有這樣的問題。

所以事故發生後,交通部覺得身為全國大部分橋梁的主管機關,在規

範內應適度的去提醒,非公路管理機關而引用公路規範後,應瞭解特殊性橋梁要注意部分為何,所以修訂的角度上是以更應積極提醒方式撰寫,不過各橋梁主管機關還是要有自己的養護手冊對於特殊性橋梁更要訂定維護管理計畫。

特殊性橋梁檢測規定

針對特殊性橋梁,例如高公局的手冊是針對不同的購件,像是吊橋及 斜張橋就應注意纜索、塔柱等構件,在手冊內都有規定注意的事項目。

事故後,橋梁檢測規範修訂目的與依據

目的希望作更積極宣示性的提醒,依據則是南方澳大橋斷裂後,交通 部提出應變措施去規定,,把規定適用範圍擴大到特殊性橋梁,也重新討 論定義各類型橋梁,一般性橋梁分為鋼筋混凝土、鋼構混凝土及預力混凝 土這三種橋梁,特殊性橋梁是包括吊橋、鋼拱橋、斜張橋、脊背橋、桁架橋 及還有一些混合性橋梁。

當特殊橋種類確定後,接著就規定特殊性橋梁檢測頻率及時機,除定期檢測外,特別檢測依規定來做,特別檢測是在地震、颱風過後就要做,詳細檢測原本是在定期或特別檢測後,發現橋梁有問題就要立即去做的,但現在的增訂詳細檢測時機,除了定期及特別檢測有疑慮時要做外,另針對特殊性橋梁要做詳細檢測,例如斜張橋的纜索等需量測項目,也要進行詳細檢測,經由這樣一個積極性的宣示規定,另外針對幾個項目的 DERU 也做了定義,在表裡也呈現出來,且所有特殊性橋梁主管機關需訂維護管理作業計畫,除了定義檢測內容跟監測項目,例如桁架橋跟鋼吊橋纜索檢測及監測項目,要寫清楚執行方式、執行頻率及判定的標準,規範內也有新增幾個判定的標準提供參考。

主管機關針對特殊性橋梁的管理、檢討及因應措施

過去的規範主要是適用一般性橋梁,公路橋檢規範依法只適用公路系 統的橋梁,市區道路或港區道路他們是參考引用而不是適用,例如營建署 的「市區道路及附屬工程設計規範」就是依照交通部橋梁設計規範對於非屬公路系統的橋梁,雖然非公路規範適用的對象,但大多機關(單位)會拿交通部頒規範為指導原則,就部來說還是有提醒的必要,所以雖然南方澳大橋不屬公路系統橋梁,後來還是重新修訂公路橋檢規範。

至於非屬公路系統特殊性橋梁的模糊地帶,如管理權責、適用法規等, 基本上會尊重其他主管機關的認定,後續行政院所頒「橋梁維護管理作業 要點」中,未來針對三不管的橋梁會有處理機制,將來要點施行後,就不會 有雙方互相推卸的問題發生了。

交通部訂頒的技術規範是依公路法或鐵路法的相關條文去授權制定的, 未來不管機場或港埠,都有一些讓民眾通行的橋梁設施,建議未來主管單 位應自己訂定相關檢測或設計規範,或指名引用部頒的公路橋梁規範,這 才有一個連結,不然交通部頒布只能要公路橋梁一定要用,但不能強制其 他的單位來用,這樣就很難做一個連結。

非交通部單位有無養護手冊

高公局及公路總局都有訂定相關的橋梁養護手冊,但部外機關的無法 瞭解,地方政府每兩年的橋梁檢測都是依交通部的檢測規範進行,但通常 是定期檢測,對轄內特殊性橋梁較不會進行詳細檢測。

南方澳大橋斷橋後,交通部開過多次會議,甚至據瞭解經濟部、科技部 及教育部等都有很多橋梁設施,因無法在短時間內建置系統,就想納入交 通部的橋梁管理系統內。再來是其他部會想訂定相關的檢測手冊或規範, 交通部曾在相關會議上提出建議,以營建署的範例說明,內政部市區道路 及附屬工程設計規範中的橋梁章節內,就只寫到:應依交通部公路橋梁設 計規範辦理,其他部會可參考交通部規定來修訂自己的規定。

南方澳大橋斷裂後,也希望市區道路主管機關能夠訂定相關檢測規範,若覺得交通部的規範有採用性,在自己的規範還沒訂定前,短時間無法建置時,可以這樣的方式一句話帶過,交通部也表示尊重,但就長期來說,應

該還是要有自己的管理規範會較好,當初有給他們這樣的建議。

部頒規範修訂期限及責任分工

交通部於民國 98 年訂定規範修訂作業機制,原則為三年小修訂,五年一大修訂,但如遇緊急狀況就會立即修正,像公路橋梁檢測及補強規範在 民國 107 年 10 月才頒布,後來因南方澳大橋斷裂事故後又立即重新修正。

相關規範的擬定都有分工,會分給所屬各單位去協助,當初的檢測規 範是給高公局,而橋梁設計規範是給國工局,公路總局則是負責養護類, 另外鐵路還分為高鐵局、鐵工局等相關單位。

1.13.12 公路總局第四區養護工程處承辦人

受訪者於民國 106 年 12 月調任至公路總局四工處的養護科,因先前在 工務段服務之 6 至 7 年間辦理過橋檢業務,故於四工處即負責橋檢整合性 的業務約 2 至 3 年,訪談當時已調整為協助檢測業務之角色。

公路總局辦理橋梁檢測之依據

依據公路總局的公路養護手冊及部頒規範辦理,去(108)年10月公路總局有依據部頒規範制定一份較為詳細的「公路橋梁目視檢測參考手冊」,所以在檢測填列DERU值時,就會參考這份手冊,判斷構件於不同劣化情形時要填列何種數值。配合今(109)年部頒規範調整涵蓋特殊橋梁,公路總局亦將該手冊依據部頒規範將特殊橋梁納入,該手冊都會依據部頒規範做調整,在不違背部頒原則的規範下,都會比部頒規範更為嚴格,但因為公路養護手冊還有其他例如隧道、路面等規定,橋梁僅為其中一個章節,內容也是較為原則性的規定,如檢測的頻率、特別檢測的規定等,參考手冊就是告訴橋檢人員如何執行DERU的填列。

檢測契約內都會要求廠商須依據最新版的相關檢測規範去執行,如後 續有規範的更新,都會再通知廠商須依據新規範執行合約。

如何進行橋梁檢測及填表

每座橋會有不同的構件,橋梁基本資料登載的資料就會不同,一般的 目視定期檢測,就是依據 TBMS 表格上所列的構件去檢測,因 2 代系統係 因構件化造成需檢測的量體過多,工務段的人員無法在時間內執行完成, 所以每年都會委外請專業廠商協助檢測。檢測前會告知廠商需在期限內檢 測哪些橋梁,在檢測時會帶平板登載資料並上傳,業主在系統內就可以即 時看到資料及現場照片,工務段會偕同廠商至現場抽檢,會拿著他們的檢 測成果去現場核對檢測值是否正確。

廠商填列完後會送成果報告,工務段會依據現況去做比對,平常受訪者也會隨時進系統查看有無 U 值大於 3、4 的橋梁,也會告知廠商如有 U 值列為 4 的情形需立即通報。現在都會請廠商針對逐構件去拍照,也會去查看照片拍攝的實際情形與填列值是否符合。

TBMS 第1代及第2代之差異

受訪者在還工務段服務時,是使用1代系統,約莫106年開始試辦2 代系統,107年公路總局就全面使用2代系統,1代與2代系統差別最大的 應該就是構件化的部分,其他沒有太大差異。以前1跨內的構件都算同個 項目,換成2代後,1跨內如有多個構件,都必須單獨填列,差異都直接呈 現在2代的表格上;另外2代系統也需在檢測現場上傳檢測人員之照片。

2代系統需攜帶平板使用 APP 去現場登錄資料,進行檢測前會先將橋梁資料下載,因山區有可能網路訊號不佳,所以可以下載完成後進行離線填列,完成後至訊號良好處將資料上傳至系統內。以前 1 代都是去現場拍照,紀錄在紙本上後,回來再登載至系統內,2 代的話都必須在現場填列並拍照。檢測結果係個人主觀認知,如對於判定上有爭議,就可以拿出規範及參考手冊來討論。2 代系統內會對於每次登錄的時間、軌跡、路徑都有紀錄,有時會發現時間或位置有不合理的情況,經詢廠商後才知道是在辦公室內做資料修正,因現場檢測人員填列完成後,計畫主持人檢視後如發現資料有需修正的部分,所以會有在非現場填列的情形,但有時訊號不好也

會造成軌跡紀錄之異常。

檢測人員之要求

以前對於檢測人員的要求較為嚴格,可能會要求必須為土木系畢業、實際檢測經歷,但可能各契約內的要求略有差異。民國 109 年公路總局統一要求需持有運研所頒發的檢測人員資格才可進行橋梁檢測工作。

檢測人員培訓也非常重要,且在公家機關做檢測更讓人卻步,檢測人員雖有執行檢測,但卻還是會有遇到狀況的可能,很多在橋梁內部的構件 是看不見的,也有可能受到施工瑕疵的影響造成橋梁損壞,這都是檢測人 員無法控制的,橋梁細部的變化還是需靠長期觀察才會發現。

時常遇到檢測人員都是較沒經驗或剛畢業的學生,他們可以做的是初步發現及反應狀況,不應加注過多的責任在第一線人員身上,才能讓第一線人員真實告知現場情形。

肉眼不可見之項目如何檢測

大概都以外觀狀況來填,如外套管無明顯腐蝕、破損,即可合理推論內部應該沒有進水的情形,通常就會填列 D=1,但也有部分較嚴謹的人,可能就會填列無法檢測 (E=0),所以這還是要看檢測人員如何判定。

假設鋼構有銹水的痕跡,就可以合理推斷其內部應該有銹蝕的情形,但這種情形都與檢測的經驗及資歷有關,只能透過外觀的跡象來推估內部情形。據受訪者表示,公路總局有推動要進到鋼箱梁內部去檢測,但錨頭通常施工完會灌油或包起來,進去了也看不到。

TBMS內與特殊橋梁相關之欄位包含吊材、吊索(斜索),事故後配合部頒規範修訂,新增了錨頭及外套管;使用者在不清楚該如何填列時,就會有很多 E=0 的情形,內部無法以肉眼看見的部分仍然無法填列,還是僅能依外部狀況填列,所以公路總局在推動橋梁的索力監測,利用振幅去換算吊索的震動頻率,受訪者表示也有看到新聞提過有補助新竹地區的橋梁

做索力監測。以前有請大學教授以X光方式做預力梁的預力鋼腱檢測,但 還是無法很明確的直接判斷狀況,這些間接的監測都只是輔助判斷橋梁是 否安全的方法之一。

進入鋼箱梁內檢測之時機

鋼箱梁內檢測不算一般定期檢測的項目,因公路總局認為鋼箱梁內應該要做檢測,才推動各處(段)去做,所以才開始發包去做鋼箱梁內檢測,受訪者印象中106年、108年各有完成1次,包含鋼箱梁內的檢測及維修,如鋼拱是可進入的也會進去。近期有顧問公司推行利用儀器探測箱體內是否有積水,但肉眼還是無法看見,以前曾有過討論,箱內積水不等同於生銹,所以還是無法肯定內部狀況。

事故後因應規範修訂加入新構件,但並未規定一定要進入鋼箱梁內部檢測,就算進入內部,可能也只能看到錨定板、承壓板,並無法看到鋼纜或錨頭,如為肉眼不可見之項目,則還是填列無法檢測(E=0);項目訂的太過詳細,但實際還是看不到,並沒有達到其檢測的效果,雖然現在都委外請廠商辦理,但第一線還是要做到監督的責任,規範訂的太嚴苛會讓第一線單位難以執行。

南方澳事故後對橋梁檢測之影響

加強檢測人員的核對,查看資格是否符合,照片與檢測人員姓名是否同一人、減少無法檢測構件的情形,盡量去鋼箱梁內檢查、請工務段將特殊橋梁的竣工圖找出來,才能了解其結構才有辦法去做檢測。公路總局也有要求各單位去做全面的檢測,利用空拍機靠近看錨頭的部位,另外也有做橋面高程的變位監測,如有吊索的橋梁要做索力監測。若遇橋梁進行鋼箱內塗裝工程,亦會利用其通風設備順勢進入檢測。

南方澳事故後檢測特殊橋梁之差異

與事故前沒有太大的差別,各座橋梁都按照系統列出的構件去填列, 就肉眼可見的部分做檢測,較無法透過一般的定期檢測查出特殊的問題, 也只能就外觀去查看。事故後調整了部分的構件,像是增加錨定這個項目, 有些錨定也是被包覆起來,目視檢測也無法看到內部的情形,所以特殊橋 梁的檢測與一般橋也無太大的差別,除非橋梁在建置施工時就有考量裝設 監測系統,才能有詳細的檢測資料來輔助目視的判斷。

南方澳大橋使用目視檢測之看法

只能針對橋梁的外部結構去檢測,因南方澳大橋為全銲接無螺栓,就看銲接部位是否有問題,上部錨頭只能看到錨定板有無問題,外套管是否有銹水,但下錨頭都封死了是看不到的。在維護的時候,其實也可以透過路面平不平整來判斷是否有初步的問題,但非長期觀測,如此細微的變化其實也看不出來,更何況是一年一次的檢測。

橋梁建造對於後續維護及檢測之影響

公路總局算是設備及制度都非常完整的單位,但還是會有部分橋梁無法進入或是無法檢測的狀況,橋梁在設計時應要考量後續維護管理,臺灣在設計橋梁時常拘泥於造型美觀,但對於橋梁維護會有一定的難度;當設計者認定為重要之構件時,更應該考量後續該如何對該構件做檢測。

正常橋梁完工後,應要提供維管手冊,但受訪者目前看過的維管手冊都是參照規範做出來的文件,不是針對該座橋梁的維護管理文件,通常設計契約內都會要求其在橋梁移交前提供。近期新建的橋梁就有嚴格要求廠商告知那些構件需特別注意,或哪些構件有問題時該如何處置,但目前看到的內容都還是較為籠統的說明,對實際檢測其實也沒有太大助益,但交通部今年有要求要針對每座特殊橋梁都必須有維護管理手冊。

對於橋梁檢測之補充看法

現在很多人喜歡把檢測的頻率縮短,但將橋梁檢測之時間拉長,其檢 測之細緻度可以大幅提升。

公路總局有完整的橋梁人員體系,有新工、維護管理等,若新進同仁承

辦橋梁業務遇到問題,有許多前輩經驗可請教、解決,但縣市政府僅能依 靠檢測公司,檢測公司之品質優劣會有很大影響。受訪者曾聽說會成立橋 梁維管單位,因橋梁工程屬非常專業的業務,確實有其成立之必要性。

1.13.13 臺灣地區橋梁管理資訊系統維護團隊成員

受訪者約民國 91 年時加入 TBMS 團隊,負責 TBMS 維護工作,民國 102 年起參與 TBMS 第 2 代系統開發的計劃,對系統運作非常熟悉。

TBMS 建置之緣起及依據

民國 75 年時中興大橋斷橋時,造成1重傷5輕傷的事故,印象中當時 連第一版的公路養護手冊都沒有,行政院經濟建設委員會就我國橋梁安全 問題進行檢討,77 年經建會委託臺大辦理臺灣地區橋梁安全之初步研究, 當時提出一些建議,包含建議橋梁管理系統及全國橋梁普查,84年行政院 責成交通部進行橋梁安全維護作業,交通部則提報了橋梁安全維護工作計 畫,當時擬定了短中長期計畫,當中有一項為建立橋梁管理系統。84、85年 時,各機關逐漸開發自己的系統,公路總局、高公局、臺北市、新北市等都 有各自的系統,但彼此資料並不相通。88年3月召開中央橋梁技術諮詢委 員會,會議中即有決議要建置橋梁資訊管理系統,但9月就遇到921大地 震,中部地區斷了許多橋,公路總局系統當時為姚老師團隊開發,系統中 有 GIS 模組,所以可以透過 GIS 了解該地區有哪些橋梁及其狀況,但僅限 於公路總局轄管橋梁,地方政府所管轄的橋梁則無法得知,這起事件的發 生就更加速的開發全國性的系統,在民國88年底有公開招標要開發橋梁管 理系統,同時間也有一個案子是進行橋梁普查,因當時在沒有系統的狀況 下,臺灣地區到底有多少橋梁,其實大家都不曉得,普查時同時做了第一 次大規模的定期檢測,當系統完成後,就將這次普查的資料建入系統中。

TBMS 修訂歷程

自系統開發完成後持續都有小部分的滾動式更新,自民國 102 年運研 所開始規劃 2 代系統至民國 105 年建置完成,大部分的單位都改使用 2 代 系統,但1代系統還是有持續運作使用。

系統內之橋梁主要分三類,車行橋主要都放在2代系統內;人行橋(內政部營建署管轄)本來並沒有規劃納入 TBMS,後來因基隆人行橋垮下壓到鐵軌案,才緊急將人行橋納入系統內,各縣市政府都可以將人行橋資料鍵入系統中,但交通部只負責提供平台給各單位建置資料,並不負責監督管理,目前是在1代系統內使用;軌道橋只有臺鐵在使用 TBMS 的1代系統,因高鐵或捷運屬於民間公司,並無法要求其配合使用公務系統去做管理,公司應都有內部自有之管理系統去做橋梁的管理,目前臺鐵刻正規劃將軌道橋改使用自有系統去做管理,目前正在雙系統並行使用,未來也會獨立管理,不再使用 TBMS。

2代系統建置期長達3年,在第1年間,於全省對於會使用系統的單位去進行需求訪談,依據其訪談回饋去設計系統內表格、確認架構,系統運作過程中也依據使用者所提出之需求去做滾動式修正。每座橋都有資本資料表,另依據各橋梁型式不同,會登錄不同構件之資料。

TBMS 使用情形

交通部可控管轄下之高公局、公路總局及臺鐵,其他縣市政府是地方單位,難以掌控其管理情形,許多縣市政府也將該縣市內非轄管之橋梁納入該縣市管理,後續才陸續發現有其狀況,斷橋前有邀請水利署、林務局等單位召開會議,告知其有轄管橋梁,不應由縣市政府管理,應自建系統或使用 TBMS 做管理,但在處理規劃過程中,即遭遇斷橋事故,斷橋後則更加速處理此狀況。多數縣市政府管理橋梁之人員不像公路總局或高公局會有專門的團隊負責橋梁業務,甚至有可能連他該管理哪些橋梁都無法全盤了解。

自南方澳斷橋後,運研所邀集許多單位陸續召開多次會議,請各部會 將未納入TBMS中的車行橋加入2代系統中;人行橋則是使用1代系統, 但無法確保各縣市政府均有將該轄管之人行橋納入;斷橋前僅有臺鐵在使 用1代系統,斷橋後運研所認為鐵道局應負有監理軌道之責,後由鐵道局 後來找了高鐵、臺鐵、各縣市的捷運公司、森林鐵路、台糖鐵路等確認有無管理系統,若無則加入 TBMS 內,林鐵及糖鐵就有將該轄管之橋梁建入 1代系統內。據悉,未來內政部應自行建置人行橋之管理系統,軌道橋則由鐵道局管理。

不分1、2代系統,斷橋前即有在使用的單位為高公局、公路總局、臺鐵及各縣市政府。斷橋後另加入的單位內政部營建署、科技部、教育部、文化部、經濟部、民航局、桃園機場、原民會、農委會、退輔會、鐵道局...等,後續加入的單位都陸續有將資料建入系統中。

惟水利署、林務局等單位,因其主要業務並非橋梁管理,還是會有部分 缺漏的橋梁未建入系統中,對橋梁需檢測之概念也不清楚或不完整。除公 路、鐵路等橋梁有相關規範去做管理,非公路、鐵路系統的橋梁(如防汛道 路橋梁),並無相關規範可參照去做維護及檢測,如市區道路多數都會與公 路相接,內政部相關規範就會比照公路系統之方式去執行橋梁維護及檢測。

系統僅提供填列平台供各單位使用,資料之正確性仍應由各單位自行管理;但交通部有一個評鑑制度,其中一項評分項目為外部稽核,每年年初運研所會邀請各縣市政府,每縣市各抽籤選取幾座橋梁,去現場檢核其狀況是否與系統內登載之檢測紀錄相符,藉此請各機關確實執行橋梁檢測。

TBMS 實際操作

1 代系統都是使用紙本表格,實際作業通常都是以小白板寫下檢測情形後拍照記錄,回去再登入系統內輸入 DERU 值、上傳照片、填寫檢測人員意見。2 代系統需使用平板登錄檢測的 APP,檢測前及檢測結束皆須自拍以確認檢測人員資格,填列完成、拍照後上傳至系統內。但據使用者回報,在現場將檢測狀況登錄之作業時間,比起以往在現場僅先需拍照記錄耗時許多,在檢測費用未提升之狀況下,許多公司其實是無法負荷這項現場人力的費用,所以有些公司會有投機的方式,在現場僅打開平板紀錄其GPS 位置但不填列資料,後續回辦公室後再用補充或修正之方式去上傳照片及登錄資料,減少其人員在現地之時間。

事故後對於 TBMS 之調整

加入其他部會,增加配合的選項及欄位,設立帳號。交通部亦須增加快速統計的資料或報表,以備隨時提供資料給長官。系統長期重點放在公路橋,以往人行橋只有人行天橋的項目,但其實人行橋的類型非常複雜,內政部無法短期建置自己的系統,所以TBMS暫時有先擴充一些類別,如吊橋、天空步道、景觀橋、建築空橋、自行車橋等。因部分的道路會有代養代管的狀況,運研所特別指示每座橋需增加「維管中央主管機關」及「財產權屬機關」。

其實系統內早就有特殊橋梁的構件欄位,只是名稱不一定完全相同, 如吊材與吊索的差別,但現在有因應規範多一個「套管」的構件。

目視檢測對於特殊橋梁之有效性及正確性

多數人對於目視檢測抱有存疑,但檢測通常都是先以目視檢測做初步的檢查,如發現有問題才會進行下一步的詳細檢測,內部構件如有銹蝕狀況,外部通常會有油漆剝落、銹水或其他痕跡,就應該有所警覺。詳細檢測需進行非破壞檢測,但並未明確指示多久需進行一次。若發現銹蝕僅用補漆的方式處理,未確認是否有其他隱藏的狀況,反而就忽略了真正的問題。

考量詳細檢測之費用及所費時間,不可能每座橋都做詳細檢測,所以 才需先透過目視檢測來發現問題,但目視檢測之品質都與檢測員之能力及 細心程度有關。

對於檢測人員資格及能力之看法

應屬產業面的問題,以往公務員較多時,很多橋檢都是自行辦理,但現在公務員常遇缺不補,單位人力越來越吃緊,許多業務都委外給廠商辦理,但廠商的檢測能量不足以應付這麼多的需求,短時間內要找到合適的人選並不容易,雖然運研所每年有辦理橋檢人員訓練,但名額有限且優先給公家單位人員報名,剩下的名額才開放給民間公司,此時剩下的名額已不多,惟檢測合約內仍要求檢測人員資格,其實人力都是不夠的。

橋梁新工的經費常高達幾千萬,但後續橋梁檢測的費用卻是好幾百座橋約才幾百萬,此條件下能吸引到的廠商有限,許多大型的顧問公司都不願意做橋檢業務,尤其東部的資源更少,更難有適合的廠商可執行,其實是一個很矛盾的生態。在檢測費用有限的情況下,大公司不願意做,小公司也不會給檢測人員太優渥的薪資,在南方澳斷橋後,許多橋檢人員已不願意再從事相關業務,工作環境不佳、薪資不高且壓力大,又只能找更沒經驗的人員來執行橋檢。現在環境一昧要求檢測人員水準,但其相對給予的反饋太低,即便辦理再多的訓練,也很難將人才留住。

特殊橋梁檢測結果填列

這部分與規範較相關,多數規範以一般性橋梁為主,特殊橋梁不太著墨,今(109)年初的修訂也只新增特殊橋梁需有管理手冊,可能會將構件的判定標準放入手冊中,但也僅針對目視的部分。在斷橋前,並無相關規範可供檢測人員依循去填列評定的標準,系統內都會有特殊構件的欄位可填列,但填列的標準就得依各使用單位自行訂定。

南方澳大橋檢測方式之看法

在看不到內部狀況下,主要先看油漆有無剝落或銹蝕,但南方澳大橋 位於海邊,本來銹蝕的情形就會比一般橋梁嚴重,像這種位置比較特殊的 橋梁,應該要定期做非破壞檢測。如要建造特殊樣式的橋梁,本就應該考 慮其維護經費會較高,並不是只有目視檢測,也要考慮做非破壞性的檢測, 也要安裝監測系統。

惟沒有一項非破壞檢測可以完全判斷構件內部情形,如放射線檢測需要有專業人員才可執行,且需分段檢測非常耗時,但這算是目前可以看得 比較清楚的非破壞檢測,可以看到內部是否有斷裂的情形,但針對銹蝕沒 有辦法看出。

高公局、公路總局都會自行要求做箱梁內部的檢測,而拱圈比較難進 入通常不會要求,就算外部有爬梯也很少會有人真正去爬,現在多使用空 拍機去查看拱圈上部的狀況,拱圈內的錨定及鋼纜都被包覆,就算進入拱圈內也看不到,還是得用非破壞性的檢測去查看,所以定期的非破壞性的抽檢應有其必要性。

對於橋梁檢測之補充看法

1代系統大家其實不是很願意使用,但後來交通部辦了評鑑制度後,會將評鑑結果公布於媒體,所以政府單位其實對於橋梁檢測及維修近年來都有比較重視,運研所都有在慢慢推動及規劃,使各單位逐步將 TBMS 內之資料及檢測結果更加完善,所以每年評鑑的辦法都略有不同,在各縣市政府都較為積極辦理的狀況下,還會發生斷橋事件,受訪者感到非常訝異,也讓人反思這樣的檢測到底有沒有效果,檢測人員之經驗對於檢測結果影響甚大,未來要避免類似悲劇重演,政府也需重視該產業的推動,如縣市政府在橋梁檢測業務並未給予太多預算,所以也無法提升檢測品質。

受訪者也曾耳聞政府應成立專門管理橋梁的部會,如本次事故中,港 務公司主業並非橋梁管理,也沒有專責辦理橋梁業務的人,對於橋檢或維 管並沒有概念,對於此類非專責辦理橋梁業務的機關,沒辦法將橋梁業務 辦得相當完善,若有類似橋梁局之統管單位,可以解決非常多問題。

1.13.14 宜蘭縣政府檔案管理承辦人

受訪者於民國 95 年 1 月至宜蘭縣政府檔案科服務,於去(108)年 7 月以前係從事檔案銷毀、移轉移交、鑑定等業務。

公文銷毀檔案管理作業規定

依據檔案區分表上之檔案號作公文歸檔,依序上架保存,並每年針對保存年限到期之公文進行清查,將清查結果列冊交由各業務單位檢視是否有延長保存之需要,有需要延長保存者會再歸檔。需銷毀者列冊交由縣史館先行檢視是否有需保留或是館藏項目,其餘再交由檔管局檢視,再循程序送國史館、臺灣文獻館等篩選需要保留之公文文件。各單位需要保留項目將由檔案科列冊,挑選後送各單位館藏,其餘無保留或延長保存年限之

到期公文,由檔案科列冊循程序簽辦銷毀。

民國 84 年至民國 90 年文件銷毀程序

經上述程序需辦理銷毀之民國 84 年至民國 90 年到期公文文件,由檔案科列冊簽報同意銷毀後,報請檔管局同意銷毀,約需 4 個月的工作時間; 宜蘭縣政府檔案科的內部作業,會再逐一核對,通常約 6 個月的時間讓業 務單位及檔案科核對,簽辦銷毀程序到完成銷毀動作,監視所有文件銷溶 為紙漿為止,約需 3 個月,總計需要 1 年左右的時間才能完成銷毀的動作。

檔案管理電子化作業

民國 99 年之後的公文文件,部分會以電子檔案的形式保存,就算紙本文件銷毀,也可以找到電子檔案。民國 99 年以前的公文並未保存電子化掃描副本檔案。

宜蘭縣政府檔案區分表作業程序

宜蘭縣政府各單位的檔案區分表,由各單位自行依據業務特性及參考檔管局的規定訂定,再由檔案科彙整報請檔管局核定後實施,檔管局於民國 94 年度雖有要求巨額採購的保存年限 30 年規定,但是並沒有強制要求各單位配合執行,且所有的檔案區分表都是經過檔管局同意核備後實施,因此,若檔管局沒有強制要求巨額採購需變更為 30 年保存年限,宜蘭縣政府也不會自行去變更,通常在有組織變動調整時,才會去修訂檔案區分表;宜蘭縣政府最早配合檔管局基準表訂定檔案區分表的是行政、人事、主計、政風等 4 單位。

各年度的檔案區分表沿革,都會寫在最新版本的區分表中,可以追查 到各版本之變革與差異,宜蘭縣政府於民國 99 年的區分表才開始有依據採 購法規定訂定相配合之檔案區分表保存年限,並於民國 102 年度才強制要 求各業務單位依據檔管局基準表規定,獨立一個採購案的保存年限區分檔 號,專門保存採購案件文書資料。

1.14 橋梁歷程

南方澳大橋自設計施工至倒塌之歷程如表 1.14-1 所示。

表 1.14-1 南方澳大橋橋梁歷程

日期	事項	類別	備註
民國 83 年 5 月 27 日	臺灣省政府交通處請 蘇澳港分局查明研辦 舊拱橋改建	規劃	
民國 83 年 6 月 16 日	臺灣省總預算審議意見續稱第十二點等省總預算等的。 电电子 电电子 电电子 电电子 电电子 电电子 电电子 电电子 电电子 电电	規劃	
民國 83 年 7 月 28 日	蘇澳港分局研議蘇澳港跨漁港航道舊拱橋改建為虹形橋案。	規劃	依蘇與港南 養 及 要 預 重 建 於 成
民國 83 年 8 月 26 日	基隆港務局召開拱橋興建協調會	規劃	· · · · · · · · · ·

日期	事項	類別	備註
	* **	, ,	縣政府負責。
民國84年1月3日	宜蘭縣政府與亞新簽	設計	,,,,,,,
	訂工程規劃及設計契		
	約;合約規定於75日		
	內提出工程規劃報告		
民國 84 年 7 月	宜蘭縣政府提出興建	設計	
	工程規劃及初步設計		
	報告		
民國 84 年 8 月	亞新提出工程施工說	設計	
	明(此施工說明出現		
	於營造合約中)		
民國 85 年 1 月 22 日	宜蘭縣政府與立永簽	營造	
	訂營造合約 (內含宜		
	蘭縣政府施工規範、		
	亞新工程施工說明)		
民國 85 年 1 月 27 日	南方澳大橋營造工程	營造	
	開工		
民國 85 年 3 月	宜蘭縣政府與亞新簽	監造	
	訂工程監造契約		
民國 87 年 4 月 22 日	宜蘭縣政府辦理安全	營造	1.監控風速
	監測系統委辦案		2.監控地震強度
民國 87 年 7 月 23 日	南方澳大橋營造工程	營造	
	竣工		
民國 87 年 8 月 12 至 14 日	宜蘭縣政府辦理初驗	營造	
民國 87 年 9 月 14 日	宜蘭縣政府辦理再驗	營造	列為初驗合格日
民國 87 年 10 月 2 日	蘇澳港分局函請公路	管理	
	局第四區工程處接管		
	「移山路經南方澳大		
	橋至豆腐岬止」,以		
	利管理事權一致		
民國 87 年 11 月 2 至 3 日	宜蘭縣政府辦理第1	營造	
	次複驗		
民國 87 年 11 月 20 日	宜蘭縣政府辦理第2	營造	
	次複驗		
民國 87 年 11 月 26 日	宜蘭縣政府辦理第3	營造	同意驗收
	次複驗		
民國 87 年 12 月 15 日	宜蘭縣政府通知基隆	營造	檢送工程結算驗收證明
	港務局完成驗收,移		書、工程竣工驗決算書
	交並請善加管養	L.F.	圖表
民國 88 年 1 月 15 日	公路局第四區工程函	管理	
	請宜蘭縣政府及蘇澳		
	鎮公所研議接管台二]	

日期	事項	類別	備註
	戊及台二線終點至移		
	山路銜接處路段後,		
	再轉報公路局研議		
民國 88 年 3 月 25 日	蘇澳港分局函請公路	管理	
	局第四區工程處惠知		
	接管「移山路經南方		
	澳大橋至豆腐岬止」		
	路段之後續作業情形		
民國88年4月6日	公路局第四區工程處	管理	
	函復蘇澳港分局有關		
	台二戊及台二線終點		
	至移山路銜接處路		
	段,需俟宜蘭縣政府		
	承諾同意接管後,再		
	轉報公路局研議		
民國 88 年 12 月 28 日	蘇澳港分局函詢公路	管理	
	局第四區工程處接管		
	「移山路經南方澳大		
	橋至豆腐岬止」並建		
	請納入省道台二省道		
	延長線案,尚未接獲		
	處理結果		
民國 89 年 1 月 11 日	公路局第四區工程處	管理	
	函復蘇澳港分局有關		
	「移山路經南方澳大		
	橋至豆腐岬止」納入		
	省道台二延長養護路		
	線案,因地方政府尚		
	未承諾,暫時無法接		
P = 00 + 1 P 14 =	管	於一 四	
民國 89 年 1 月 14 日	蘇澳港分局函請公路	管理	
	局第四區工程處邀請		
	相關單位擇期辦理路		
B 13 00 & 10 11	權轉移事宜	115 Att	中田 (4) (4) (4) (4) (4)
民國 89 年 12 月	臺灣地區橋梁管理系	維護	建置依據:公路修建養
R国 00 年 2 日 2 日	統上線	Lee AL	護管理規則第10條
民國 90 年 3 月 2 日	宜蘭縣政府辦理「宜	檢測	檢測員意見:
	蘭縣各鄉鎮市轄內橋		此橋為斜張橋與箱型橋
	深基本資料普查及目		合併之。
	視安全檢測作業」-萬		
P 图 00 左 4 日 12 日	鼎執行 * * * * * * * * * * * * * * * * * * *	//4 上社	
民國 90 年 4 月 12 日	南方澳大橋於臺灣地	維護	

日期	事項	類別	備註
	區橋梁管理系統建檔		
民國 91 年 5 月 7 日	立永營造解散	營造	
民國 92 年 11 月 19 日	宜蘭縣政府辦理保固	營造	會勘結論:
	期滿現場勘查作業		1.承包商已倒閉未派
			員。
			2.列出維修項目(主橋
			局部除銹補漆、引橋伸
			縮縫更換、投射燈具、
			人行步道局部剝落修復
			等)通知承商若無異議
			時由縣府用保固金選商
			辦理維修事宜。
民國 92 年 12 月 16 日	宜蘭縣政府發函亞新	營造	會勘結論(亞新):
	(保固連帶保證廠		1.建請宜蘭縣政府動用
	商)進行現場勘查作		保固金另行發包辦理保
	業		固缺失改善。
			2.宜蘭縣政府請亞新協
			助準備發包文件。
			會勘結論(宜蘭縣政
			府):
			1.動用保固金辦理修
			復。
			2.請亞新於93年1月底
			前編列修復預算書。
民國 93 年 1 月 20 日	亞新提供宜蘭縣政府	營造	預算書含預算總表、預
	保固期滿維修工程預		算詳細表、單價分析
	算書		表、施工補充說明。
民國 93 年 2 月 18 日	南方澳大橋營造工程	營造	
	保固期滿維修工程設		
	計及監造工作案-亞新		
D = 02 + 2 = 0 =	得標	1. 44.	1加加爾在加西小 -
民國 93 年 3 月 9 日	亞新提供宜蘭縣政府	營造	1.設計圖參照原竣工
	保固期滿維修工程設		圖。
	計圖及預算書		2.預算書含預算總表、
			預算詳細表、單價分析 表、施工補充說明。
 民國 93 年 6 月 4 日	 南方澳大橋營造工程	營造	<u>水、地土</u> 棚 兀 矶 切。
八凶 /2 十 八 + 口	保固期滿維修工程案-	呂垣	
	正義土木包工業得標		
	宜蘭縣政府辦理保固	營造	
N 10 70 7 10 71 12 H	期滿維修工程案驗收	五元	
	791 M9 VF 19 一往 未 例 仪		

日期	事項	類別	備註
民國 96 年 8 月 23 日	宜蘭縣政府辦理「宜	檢測	檢測員意見:
	蘭縣各鄉鎮市轄內橋		整體橋梁所有多處須做
	梁基本資料普查及目		維修處理,但是並無立
	視安全檢測作業」-亞		即性之危險性,僅需做
	新執行		例行性維護即可。
民國 97 年 9 月 5 日	蘇澳港分局函送 97	管理	會議結論摘要:
	年9月3日召開「蘇		1. 宜蘭縣政府及蘇澳
	澳港南方澳大橋及轄		鎮公所承接意願未
	屬道路規劃案」會議		明,由蘇澳港分局
	紀錄		洽兩單位再協商。
			2. 在不影響港埠營運
			前提下,可考慮將
			南方澳大橋及轄屬
			道路併入南方澳漁
			港環港道路規劃。
民國 98 年 3 月 19 日	基隆港務局進行繫梁	維護	會勘結論:繋梁部分鋼
	鋼板安全評估		板接縫未銲接狀況,現
			場勘查係按原設計圖標
			示施作,無須銲接。
民國 98 年 5 月 19 日	基隆港務局辦理油漆	維護	完工日期民國 98 年 11
	工程		月9日。
			本橋於竣工移交時,宜
			蘭縣政府並未提送維護
			管理手册或特殊橋梁之
			檢測頻率及規範,前蘇
			澳港分局及蘇澳港營運
			處係依據設計單位(亞
			新工程顧問公司)之規
			劃報告養護原則 (自完
			工後第三年(90年)
			起,橋梁結構部分,按
			評估期間之第九(99
			年)、十四(104
			年)、十九(109年)
			年等分別編列表面塗裝
			之養護費用),進行「矮深知仕棋如八」力
			「橋梁鋼結構部分」之
			表面塗裝維修,分別於
			98 年辦理南方澳大橋油
			漆工程計 297 萬元及 99
			年辦理南方澳大橋油漆
			工程(二期)計94萬元

日期	事項	類別	備註
			9千元,針對大橋鋼板
			進行油漆防銹工程,另
			該規劃報告並無特別要
			求辦理相關之檢測工
			作。
民國 98 年 6 月 16 日	宜蘭縣政府辦理「宜	檢測	檢測員意見:
	蘭縣各鄉鎮市轄內橋		橋梁狀況尚可,據悉橋
	梁基本資料普查及目		梁已發包油漆,鋼梁銹
	視安全檢測作業」-亞		蝕部分應可改善。
	新執行		
民國 98 年 10 月 21 日	基隆港務局辦理油漆	維護	完工日期民國99年3月
	工程(二期)		31 日
民國 99 年 11 月 30 日	宜蘭縣政府辦理「宜	檢測	檢測員意見:
	蘭縣各鄉鎮市轄內橋		各構件缺失均屬輕微,
	梁基本資料普查及目		可在一般管理中維護即
	視安全檢測作業」-易		可。
	鼎執行		
民國 101 年 3 月	交通部頒布公路養護	設計	
	規範		
民國 101 年 3 月 1 日	航港局與港務公司簽	使用	
	訂「國際商港區域內		
	公共基礎設施興建維		
	護委託辦理契約書」		
民國 101 年 3 月 4 日	宜蘭縣政府辦理「宜	檢測	檢測員意見:
	蘭縣各鄉鎮市轄內橋		此橋有多處缺失,大部
	梁基本資料普查及目		分範圍小且輕微損壞,
	視安全檢測作業」-四		尚不影響橋梁結構穩
	海執行		定,惟須注意遠端擋土
			設施因地形關係,出現
			大範圍混凝土破損情
			況,建議可協同相關治
			理單位討論改善修護方
			法。本次無法檢測與無
			此項為 5.12.13.16.19.21
民國 103 年 1 月 1 日	航港局無償提供蘇澳	使用	民國 103 年 1 月 1 日至
	港南方澳大橋引道土		民國 121 年 12 月 31
	地給港務公司使用		日,共計19年。
民國 103 年 8 月 3 日	宜蘭縣政府辦理「宜	檢測	檢測員意見:
	蘭縣各鄉鎮市轄內橋		A1 引道路堤右側龜
	梁基本資料普查及目		裂、A1 橋台蜂窩、P1
	視安全檢測作業」-健		橋墩鋼筋裸露、S02G01
	行科大執行		右側鋼筋裸露、P2 保護

日期	事項	類別	備註
民國 105 年 4 月 28 日	宜蘭縣政府辦理「宜	檢測	層不足鋼筋裸露、P3頂板鋼筋裸露、P6橋墩墩柱鋼筋裸露、P6橋墩墩柱鋼筋裸露、P6橋墩墩柱鋼筋裸露、支承墊下方混凝土塊水。S07左側人行道AC龜裂、P8橋墩網筋裸塞。與其上龜裂、P8橋墩網衛果與土龜人人類與其一種。
氏國 105 年 4 月 28 日	宜闌縣政府辦理-宜縣各鄉鎮市轄內橋梁基本資料普查極目。	檢測	檢別 檢別 大行銹重 機大行銹重 機大行銹重 機大行銹重 機大行銹重 機大子 大子 大子 大子 大子 大子 大子 大子 大子 大子
民國 105 年 10 月 12 日	基隆港務分公司辦理 堤防改善工程-10 噸 200 塊消波塊	使用	司。 消波塊吊放自民國 105 年 10 月 12 日至民國 105 年 10 月 15 日
民國 105 年 10 月 14 日	蘇澳鎮公所函請基隆 港務分公司辦理橋梁 維護改善事宜	維護	依據宜蘭縣政府「105 年度宜蘭縣橋梁檢測及 鄉道橋梁巡查作業委託 服務」案期中成果報告 書
民國 105 年 10 月 20 日	基隆港務分公司函復 蘇澳鎮公所視經費情	維護	建議維修工項包含:混 凝土修復、清淤除草、

日期	事項	類別	備註
	形列入年度預算辦理		鋼筋除銹、落水管修
	維護		復、角鋼伸縮縫更換
			等。
民國 105 年 11 月 7 日	運研所「臺灣地區橋	維護	
	梁管理資訊系統」之		
	管理機關由宜蘭縣政		
	府改為臺灣港務股份		
	有限公司		
民國 105 年 11 月 15 日	蘇澳港營運處函復運		
	研所說明港務公司辦		
	理港區內之公共基礎		
	設施興建維護,係依		
	『國際商港區域內公		
	共基礎設施興建維護		
	委託辦理契約書』辦		
	理,其相關經費係以		
	港務局項下之航港建		
	設基金支應,公共基		
	礎建設產權登記屬航		
	港局		
民國 106 年 8 月 2 日	基隆港務分公司辦理	使用	消波塊吊放:
	潛堤設施工程-10 噸		民國 106 年 8 月 2 日至
	464 個消波塊		民國 106 年 8 月 4 日-
			310 塊
			民國 106 年 8 月 7 日-
			72 塊
			民國 106 年 10 月 3 日-
			82 塊
民國 106 年 11 月 10 日	基隆港務分公司辦理	使用	消波塊吊放:
	堤防災損修復工程-40		民國 106 年 11 月 10 日
	噸 345 塊消波塊		至民國 107 年 11 月 5 日
民國 106 年 11 月 20 日	基隆港務分公司辦理	維護	刨5公分鋪5公分
	橋面與銜接引道道路		
	鋪面改善工程-開工		
民國 107 年 1 月 18 日	基隆港務分公司辦理	維護	
	橋面與銜接引道道路		
	鋪面改善工程-竣工		
民國 107 年 9 月 13 日	基隆港務分公司與宜	使用	
	蘭縣政府簽訂土方暫		
	置協議書		
民國 108 年 7 月 2 日	基隆港務分公司辦理	使用	1 消波塊吊放:721 塊
	堤防災損修復工程-		民國 108 年7月2日至

日期	事項	類別	備註
	10/20 頓 1,724 塊消波		民國 108 年 9 月 12 日
	塊		
			2 消波塊吊放:1,003 塊
			民國 108 年 10 月 12 日
			至民國 108 年 10 月 15
			日
民國 108 年 10 月 1 日	南方澳大橋倒塌	使用	
民國 108 年 12 月	交通部研擬修改公路	設計	
	橋梁檢測及補強規範		

第2章 分析

南方澳位於臺灣東北方,氣候特徵為雨量多、日照少。南方澳大橋則位 於漁港出海口,屬重鹽害、高濕度區域。

事故當日凌晨,臺灣地區曾發生1起有感地震,蘇澳氣象站測得震度為1級,另事故發生時南方澳受到颱風及其外圍環流影響,蘇澳氣象站觀測之1小時內瞬間最大風速為10.7公尺/秒,然上述地震與颱風對大橋結構應無影響。

經勘查與檢視主橋拱架、吊索、端錨、橋面大梁等關鍵證物,及後續關鍵證物檢測與試驗均無發現疲勞破壞特徵。

現場勘查結果顯示,竣工圖資料與大橋實際施工狀況有多處不符,如 橋面U型加勁板接頭處需採全滲透對接,實際施工情況採增設端板,並以 填角銲方式處理。翼板與腹板間以樹脂類之防水材料填充,竣工圖中對此 處防水措施並無明確標示等。然依大橋實際破壞過程順序,上述竣工圖與 實際施工結果不符之情況,與大橋斷裂應無直接的關係。而竣工圖端錨系 統資料與實際施工狀況不符之議題,將於本章 2.2 節中討論。

南方澳大橋為一雙叉式單拱設計之特殊性橋梁,由吊索系統支撐主要 負載。依據橋梁損害勘查及橋梁斷裂事故影片,吊索系統受損後,造成橋 面大梁崩塌及拱架斷裂,本章將依序探討吊索系統之破壞模式及原因。

大橋 13 組吊索系統之破壞大致可分為鋼絞線斷裂及錨頭破裂兩種模式。調查小組以鋼絞線及錨頭之拉伸及材料試驗,分析鋼絞線之材質、降伏負載、極限負載,及確認錨頭之材質與強度、極限負載,是否符合 PTI 測試規範。此外,由於上下端錨之構件略有不同,故以有限元素分析比對上下端錨強度之差異,並探討不同設計參數對錨頭強度的影響。

另為分析主橋損壞過程及判斷吊索系統破壞順序,調查小組參照竣工圖、現場量測資料、測試結果與相關規範,使用 Midas Civil 2020 結構分析

軟體驗證主橋設計負載,並分析主橋破壞順序。

為評估平均厚度大於設計值之橋面 AC 鋪面,及載運消波塊及土方車輛載重對南方澳大橋負載的影響,調查小組先以結構分析軟體分析主橋實際鋪面厚度對吊索負載的影響,繼而以實際鋪面作為邊界條件,分別探討設計車載重、載運消波塊車載重及載運土方車載重對吊索負載的影響。其次,依大橋相關設計參數,以吊索未考慮銹蝕之條件,加入所有靜載重及設計車載重之模型,依照錨頭設計強度與錨頭實際殘餘強度兩種情況進行分析,探討主橋最多容許吊索斷裂股數,以及驗證主橋在設計階段是否滿足設計需求。最後,以實際銹蝕後吊索殘餘有效截面積進行分析,以靜態負載分析模擬橋梁動態失效過程,確認主橋連鎖破壞順序是否與事故發生過程一致。

另就橋梁維護管理議題,調查小組先就我國橋梁維管相關法規,探討 南方澳大橋之主管機關,進而探討財產管理機關對於國際商港內公共基礎 設施之維管機制,以及橋梁檢測方法及檢測人員資格及培訓等議題,以探 討南方澳大橋歷年檢測作業方式及斷橋前3年多未有橋梁主管機關進行橋 檢作業之原因。此外,由於公路法之規範範圍未包括國內所有橋梁,本章 中亦探討除交通部外各部會對其轄管特殊性橋梁之維管機制,並從上述各 議題中發掘我國橋梁管理體制中可能存在之風險。

2.1 主橋吊索系統失效分析

南方澳大橋為一雙叉式單拱設計之拱橋,由主橋吊索系統支撐主要之橋梁負載,本章節著重於主橋端錨系統破壞模式分析,分別就鋼絞線拉伸試驗結果、鋼絞線材料試驗、錨頭材料試驗及拉伸試驗、上下端錨設計差異、錨頭破壞有限元素分析、錨頭設計與強度分析等,探討主橋端錨系統失效原因。

2.1.1 主橋吊索系統破壞模式

依據 PTI 測試規範,在合格標準強度之下,任何吊索系統元件都不能發生破壞情況,若超過此合格標準強度時,吊索系統破壞模式應該是鋼絞線斷裂於夾片處,當鋼絞線未斷裂的情況下,錨頭不應發生破壞。

檢視大橋 13 組吊索系統的破壞模式,1 號吊索系統之下錨頭破裂;2、3、4、5、6、8 號吊索系統之上錨頭破裂;9、10、11、12 號吊索系統下錨頭附近之生銹鋼絞線斷裂;13 號上錨頭微裂,下錨頭附近之生銹鋼絞線斷裂;7 號吊索系統之錨頭未破裂,下錨頭附近之9 束鋼絞線末端脫離錨頭,有夾持壓痕但無破壞特徵,其餘 4 束鋼絞線有頸縮斷裂現象,研判 9 束鋼絞線並無夾持受力,4 束鋼絞線於大橋斷裂坍塌時破壞。圖 2.1-1 為吊索系統破壞模式示意圖,所有錨頭損害照片如圖 2.1-2 及圖 2.1-3。

13 組吊索系統中,鋼絞線發生斷裂之7、9、10、11、12、13 號吊索系統之錨頭均完好正常,而鋼絞線大部分均完好之其餘7組吊索系統,錨頭卻發生破裂現象,顯示大橋斷裂時,該7組吊索系統之錨頭強度小於鋼絞線強度,以下將分節探討鋼絞線及錨頭破壞原因。

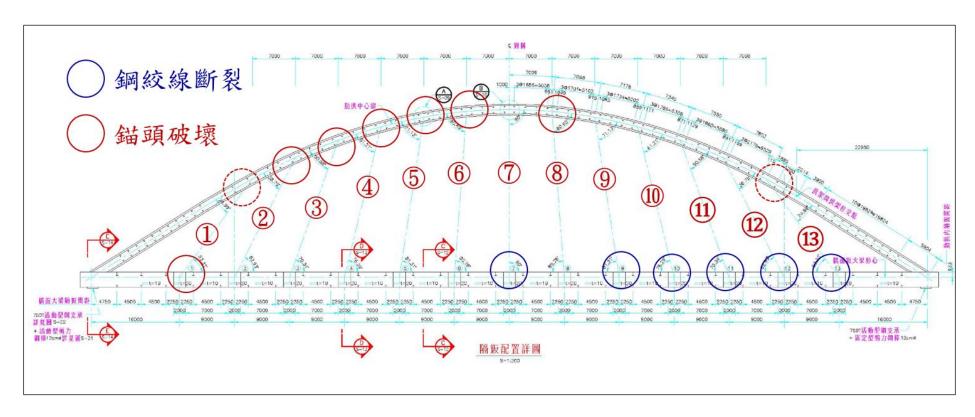


圖 2.1-1 吊索系統破壞模式示意圖



圖 2.1-2 上錨頭損害照片



圖 2.1-3 下錨頭損害照片

2.1.2 鋼絞線拉伸試驗分析

依據 1.10.1 節鋼絞線拉伸試驗結果,12 段正常鋼絞線平均降伏負載為 245.2 千牛頓 (25.00 公噸²¹);平均拉伸極限負載為 277.6 千牛頓 (28.30 公噸),大於原始設計之 265.5 千牛頓 (27.07 公噸);3 段生銹鋼絞線平均拉伸負載為 261.6 千牛頓 (26.68 公噸),略低於竣工圖標示。依 PTI 測試規範,端錨系統合格標準是強度需大於鋼絞線實際極限強度的 92%,亦需大於鋼絞線標稱強度的 95%,亦即 28.30 公噸 (實際極限負載)×13 股×92% 為 338.47 公噸,或 28.45 公噸(標稱極限負載)×13 股×95%為 351.36 公噸,故錨頭及鋼絞線負載強度均需大於 351.36 公噸。

在不考慮吊索局部損傷、銹蝕或是其他應力集中現象,巨觀分析每股 吊索之極限負載。1 號及 13 號吊索共 17 東正常鋼絞線,因此1 號及 13 號 吊索的總負載為 481.14 公噸;5 號吊索的 13 東鋼絞線均生銹,總負載為 346.83 公噸,略低於合格標準;9 號吊索為6 束生銹鋼絞線,7 東正常鋼絞 線,總負載為 358.19 公噸;其餘吊索為 13 東正常鋼絞線,每股吊索總負載 為 367.93 公噸。除5 號吊索外,其餘吊索總負載均大於合格標準 351.36 公 噸。

2.1.3 鋼絞線材料試驗分析

依據 1.10.6 鋼絞線材料試驗結果,幾點發現如下:

- 在鋼絞線材方面,抽樣測試結果顯示鋼線材質有所不同,表面鍍層 狀態亦有差異,顯示鋼線來源可能不同,但機械性質測試結果顯示 不同材質鋼線之強度及硬度差異不大,惟表面鍍鋅層狀態將會影響 鋼線之耐蝕性。
- 鋼線檢視時發現許多鋼線皆有生銹之情況,雖大部份鋼線皆有鍍鋅層保護,但鍍層分析亦顯示鍍鋅層消耗嚴重,應該是局部區域之腐

²¹ 依平均降伏強度 (N/mm2) 及標稱截面積 (mm2) 換算。

蝕因子造成腐蝕嚴重。

3. 檢視橋面附近鋼絞線斷裂處,鋼線生銹嚴重,進一步分析比對 12 號斷裂鋼絞線上下端,上端 13 束鋼絞線中有 11 束鋼絞線之芯線被抽出,末端仍保持平整面,另兩束鋼絞線之芯線為拉伸破斷面,將其編號為 U1 及 U2;比對橋面 12 號錨頭殘留鋼絞線(圖 2.1-4),恰有 L1、L2 兩束鋼絞線仍保有 7 線,其餘 11 束皆為 6 線,故可確認上端 U1 及 U2 兩束鋼絞線對應到橋面 L1、L2 兩束鋼絞線。經比對四束鋼絞線,發現橋面 L1 鋼絞線有兩鋼線長度較長,而上端 U1 鋼絞線恰有兩鋼線較短,故可確認此兩束鋼絞線為同一束鋼絞線斷裂之兩端,下一步為比對同一束鋼絞線斷裂處上下端生銹程度之差異。

圖 2.1-5 為橋面 L1 與上端 U1 鋼絞線斷裂處對應端,發現橋面端的 鋼線生銹情況較嚴重,較短的五線甚至已生銹成蓬鬆狀,且有層狀 剝離的現象,而斷裂處兩端芯線的狀況亦是如此,如圖 2.1-6 所示, 橋面端芯線的生銹情況較嚴重,推論在此位置有較強的腐蝕因子, 導致鋼線腐蝕嚴重。



圖 2.1-4 第 12 號吊索橋面端殘留鋼絞線外觀照片





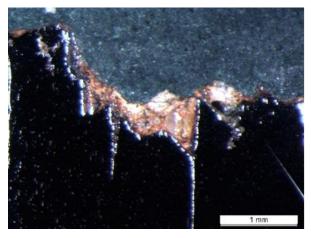
圖 2.1-5 橋面 L1 鋼絞線與上端 U1 鋼絞線斷裂處

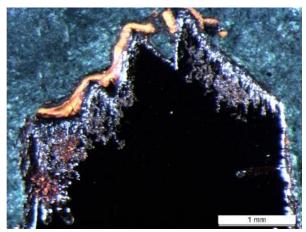




圖 2.1-6 上端 U1 鋼絞線芯線 (左) 與橋面 L1 鋼絞線芯線 (右)

4. 同一鋼線斷裂處,橋面端與上端生銹程度有差異,表示鋼線斷裂後, 上端鋼線已較脫離嚴重腐蝕環境、橋面端鋼線則仍保持在該腐蝕環境中。為確認斷裂處兩端鋼線銹蝕深度差異,進行鋼線剖面金相分析,經比對,上端或橋面端斷裂處皆已另外生成相當厚度的銹蝕層, 且橋面端的銹蝕層更厚,已達毫米等級(圖 2.1-7),已非新鮮鋼線 斷裂後浸泡在海水中所能產生的氧化層厚度,故可確認此線束在大橋斷裂前早已斷裂,且由銹蝕深度可推論該現象並非數週或數月可造成,應更早之前即已斷裂。





(a)上端 U1 芯線高倍率

(b) 橋面 L1 芯線高倍率

圖 2.1-7 同一束鋼絞線上下端之高倍率金相照片

5. 橋面錨頭周遭部件銹蝕嚴重,除錨頭本身有生銹情況外,多件螺紋調整管有嚴重銹蝕,出現膨脹及層狀剝離情形,推論橋面鋼絞線多數處於積水環境,在水面與空氣交界處再加上海水鹽分作用,腐蝕環境較一般嚴重,在長時間反應下產生嚴重銹蝕(如圖 2.1-3)。

2.1.4 錨頭拉伸試驗

依據 1.10.6 節錨頭材料試驗結果,上錨頭及下錨頭之成分符合 JIS G4051 S45C 規格,亦符合 SAE AISI 1045 規格;依據錨頭材質拉伸試驗,平均降伏強度約 338 MPa,平均抗拉強度約 674 MPa,伸長率平均值約 22.1%。檢視共 10 個錨頭的檢測結果,其材質皆相同,機械性質皆相近,顯示可能為同商源或同批次生產之材料。

依據 PTI 測試規範,吊索系統應依該規範 4.2 節規定或同等規範辦理 疲勞及極限應力試驗,再做極限強度試驗。南方澳大橋係橋齡逾 20 年之舊橋,假設該橋已歷經等同於 200 萬次反覆疲勞試驗條件,檢視大橋斷裂後 之端錨系統狀況,其中有 7 個上錨頭完全破裂,強度小於鋼絞線強度。為進一步分析未破裂之錨頭是否符合規範,調查小組安排 10 號及 11 號上錨頭極限強度試驗。

依 1.10.1 節鋼絞線拉伸試驗結果,10 號鋼絞線的拉伸極限負載約 276.2 千牛頓(28.16 公噸),標稱極限負載是 279.0 千牛頓(28.45 公噸),因此 10 號錨頭極限負載需大於 3,445.7 千牛頓(351.36 公噸)。拉伸試驗進行時, 其中兩東鋼絞線分別斷裂,拉伸試驗仍持續進行,施加拉伸負載達 2,573.5 千牛頓(262.42 公噸)時,10 號上錨頭瞬間斷裂。而施加拉伸負載達 3,137.0 千牛頓(319.88 公噸)時,11 號上錨頭瞬間斷裂

拉伸試驗 10 號上端錨之錨頭、夾片及鋼絞線均為原始狀況,使用多年後各元件強度會降低。拉伸結果顯示,10 號上錨頭極限負載未達 3,445.7 千牛頓 (351.36 公噸),未達 PTI 測試規範之規定,上錨頭殘餘強度低於鋼絞線殘餘強度。

拉伸試驗 11 號上端錨之錨頭為原 11 號錨頭,夾片及鋼絞線為搭配由 其他吊索系統取回狀況較佳之元件,拉伸試驗結果顯示 11 號上錨頭極限負 載亦未達 3,445.7 千牛頓(351.36 公噸),未達 PTI 測試規範之規定。

2.1.5 上下端錨設計差異分析

依據事實資料 1.9.3 端錨系統勘驗狀況,上端錨與下端錨之主要組成構件大致相同,惟下端錨系統另加設有承壓環及螺紋調整管;部分上端錨系統配置內側擋板,而下端錨系統無加裝內側擋板(詳圖 2.1-8),內側擋板之功能及目的不明。此外,1 號及 13 號上錨頭四周無螺紋設計,與其他錨頭外觀上有明顯的差異,錨頭間構型差異原因無法查證。

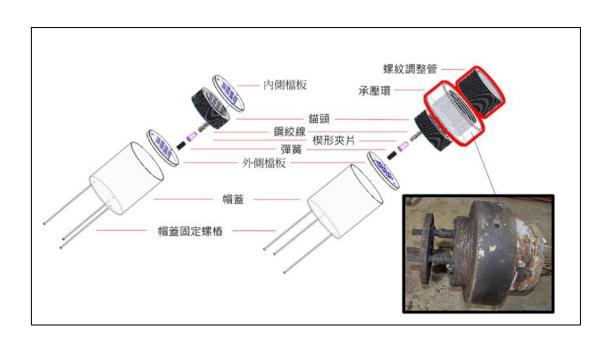


圖 2.1-8 上端錨與下端錨之差異

為了解上錨頭、下錨頭強度上的差異,調查小組採用 LS-DYNA 軟體進行錨頭的破壞有限元素分析。其分析結果顯示上錨頭(無承壓環)在拉力達 252 公噸時,產生破壞,此數值與 10 號上錨頭拉伸實驗結果 (262 公噸) 十分接近,後續以相同參數及邊界條件進行其他分析。下錨頭(有承壓環)在拉力達 284 公噸時,產生破壞。相較之下,有承壓環的下錨頭的強度比無承壓環的上錨頭的強度高 12%。

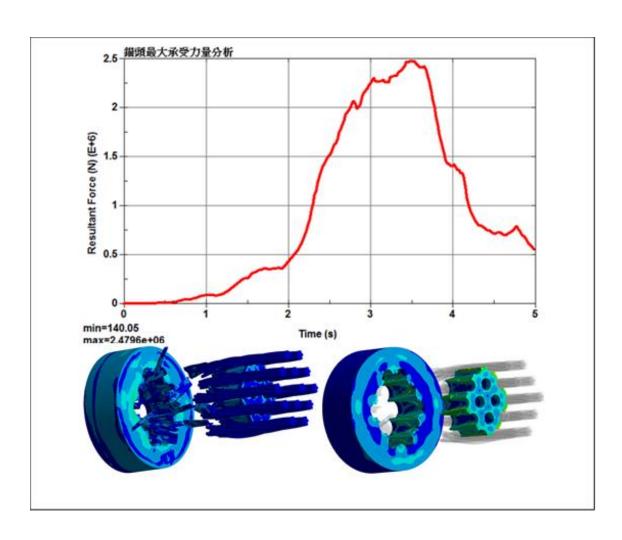


圖 2.1-9 上錨頭破壞有限元素分析

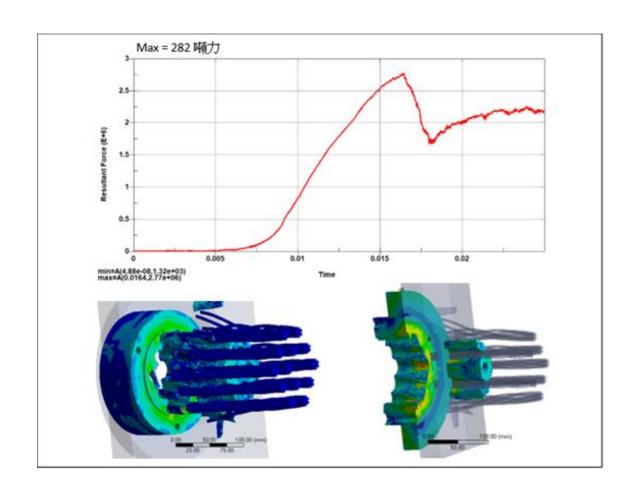


圖 2.1-10 下錨頭破壞有限元素分析

2.1.6 錨頭設計與強度分析

對於成分及材質均符合設計要求下, 錨頭整體強度未能達到 PTI 測試規範。調查小組擬透過力學分析, 探究其原因可能與下列相關設計尺寸有關。1.開孔間距; 2.錨頭厚度; 3.承壓板開孔大小; 4.裝設承壓環; 5.錨頭與承壓板偏心; 6.開孔數量 (19 孔與 14 孔); 7.其他因素。

在現有邊界條件下每股吊索設計總負載為 351.36 公噸,本分析以 351 公噸做為施加負載,依據 ANSYS 應力分析結果,開孔間距若由 30 毫米增大至 33 毫米,錨頭強度可以提升 3%至 4%,如圖 2.1-11 及圖 2.1-12。承壓板孔徑由 160 毫米縮小至 130 毫米,錨頭強度可以提升 2%至 3%,如圖 2.1-13。錨頭厚度由原先 64 毫米增加為 74 毫米、84 毫米,錨頭強度可以提升 23%至 44%,如圖 2.1-14。錨頭偏心若增大至 12 毫米 (考慮最大

滑移時), 錨頭強度降低 10%至 12%, 如圖 2.1-15。下錨頭外圍有承壓環設計,可提升錨頭強度 12%, 圖 2.1-16。19 孔錨頭較 14 孔錨頭強度增大 10%, 如圖 2.1-17 及圖 2.1-18。另外,對於錨頭未置內側擋板、空孔位置不同、上下孔位未對正、夾片角度偏差及錨頭之鋼絞線孔位匹配等問題對錨頭強度的影響,因相較於鋼索長度甚微,經分析結果差異不大,影響極小不予討論。然而,經過多種設計嘗試,錨頭仍不易達到 PTI 測試規範的要求。

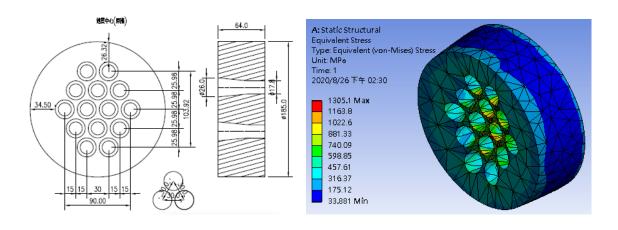


圖 2.1-11 錨頭有限元素分析 (開孔間距 30 毫米)

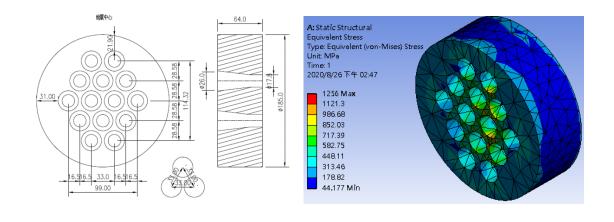
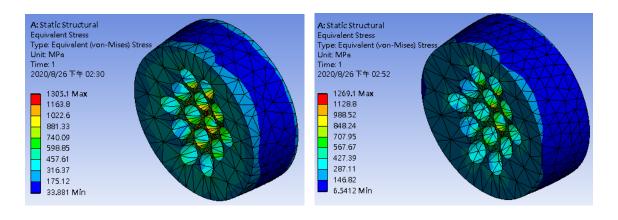


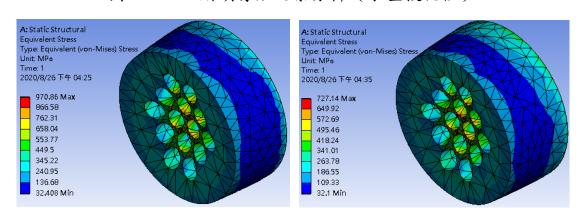
圖 2.1-12 錨頭有限元素分析 (開孔間距 33 毫米)



a.承壓板孔徑 160 毫米

b.承壓板孔徑 130 毫米

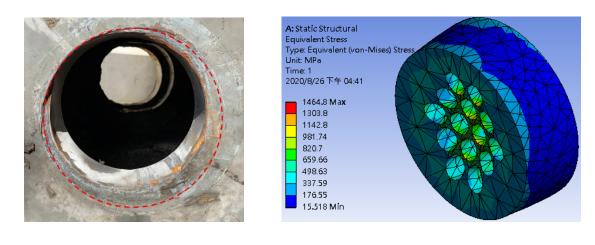
圖 2.1-13 錨頭有限元素分析(承壓板孔徑)



a.錨頭厚度 74 毫米

b.錨頭厚度 84 毫米

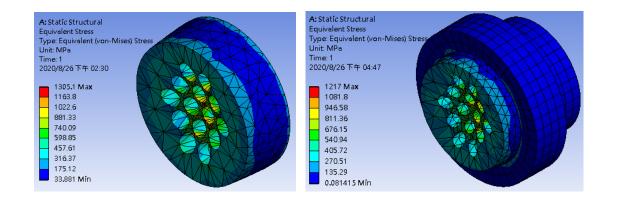
圖 2.1-14 錨頭有限元素分析(錨頭厚度)



錨頭施壓於承壓板之偏心壓痕

錨頭承壓板偏心(滑移12毫米)

圖 2.1-15 錨頭有限元素分析(承壓板偏心)



上錨頭

下錨頭 (有承壓環)

圖 2.1-16 上下錨頭有限元素分析

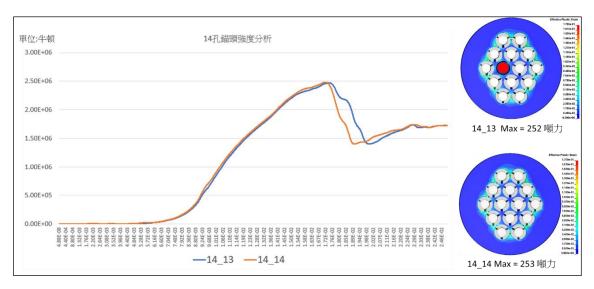


圖 2.1-17 14 孔錨頭有限元素分析

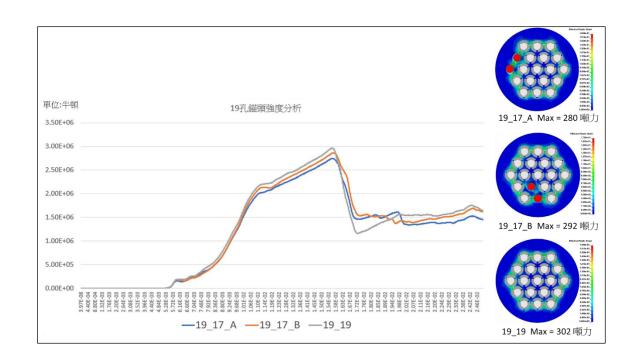


圖 2.1-18 19 孔錨頭有限元素分析

2.2 主橋端錨系統

依據南方澳大橋斷橋後錨頭破裂狀況及錨頭拉伸測試結果,大橋主橋 的端錨系統殘餘強度未達 PTI 測試規範之規定。本節將針對端錨系統竣工 圖樣、防銹防水設計及端錨系統來源等議題進行探討。

2.2.1 端錨系統竣工圖

竣工圖資料顯示,南方澳大橋預力端錨乃使用法國法西奈之預力系統,並由承包商提供海關進口及原廠檢驗合格證明等文件經工地工程司查驗合格。端錨系統使用直徑 0.62 吋高拉鋼絞索設計,竣工圖標示極限負載為265.5 千牛頓。竣工圖中並於 S-09 及 S-10 處記載上、下端錨組立剖面圖及端錨詳圖。然比對斷橋後實際取得之端錨系統,與竣工圖記載之端錨系統,有多處不符之處。

 上、下端錨組立剖面圖皆顯示(圖 2.2-1),錨頭以連接承壓環的方式置於承壓板,然大橋端錨系統實際施工方式僅下錨頭有承壓環, 上錨頭則無承壓環裝置,直接置於承壓板。

- 2. 上、下端錨組立剖面圖皆顯示,連接錨頭之吊索外部先以類似喇叭口之保護套管包覆後,再連接至 HDPE 套管。實際施工方式則為吊索直接包覆 HDPE 套管,無喇叭口套管。
- 3. 上端錨詳圖中之錨頭直接置於承壓板,無承壓環裝置,與實際施工方式相同。然圖中錨頭、承壓板開口及厚度、套管等皆未標示尺寸。 而圖中標尺寸處,帽蓋直徑標示為 194 毫米,實際帽蓋直徑為 220 毫米;帽蓋高標示為 130 毫米,實際為 260 毫米(圖 2.2-2)。
- 4. 下端錨詳圖中之錨頭以連接承壓環的方式置於承壓板,與實際施工方式相同。然圖中錨頭及帽蓋之直徑皆標示為 194 毫米,但實際錨頭直徑為 186 毫米,實際帽蓋直徑為 220 毫米;帽蓋高加承壓環厚度標示為 250 毫米,實際應為 360 毫米(圖 2.2-3)。

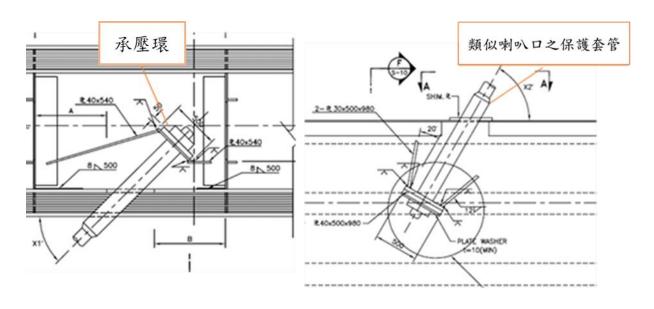
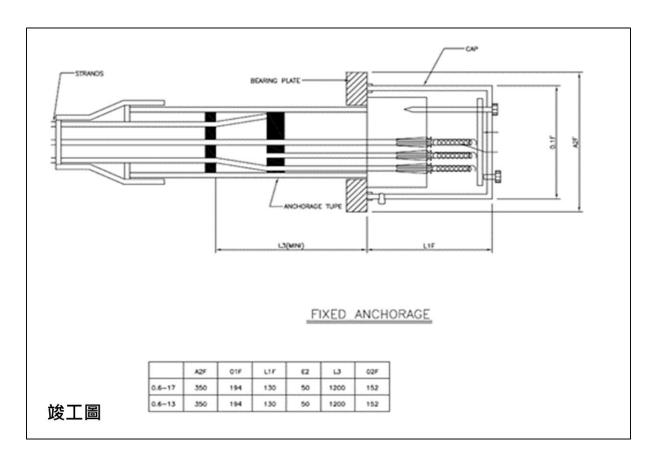


圖 2.2-1 設計圖及竣工圖上、下端錨組立剖面圖



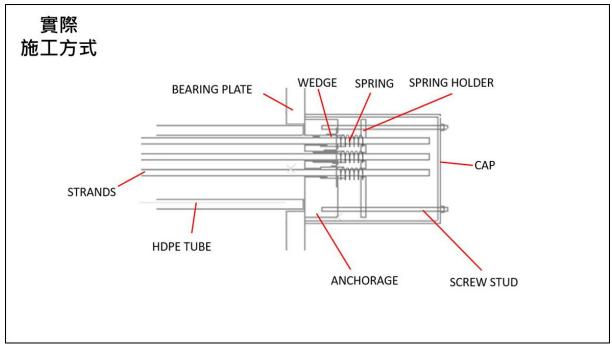
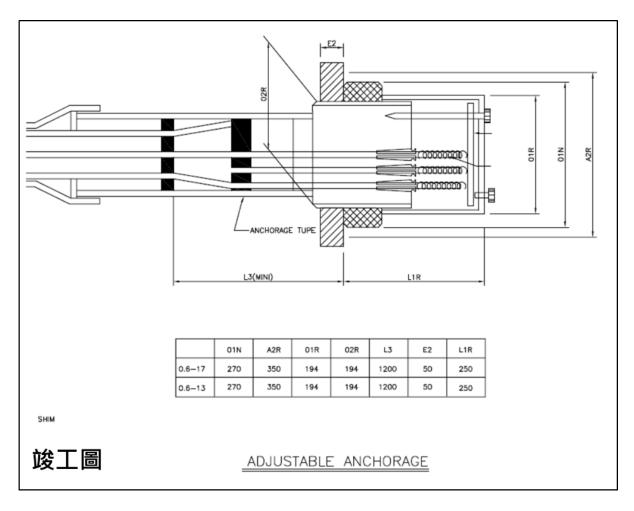


圖 2.2-2 上端錨竣工圖與實際施工方式圖



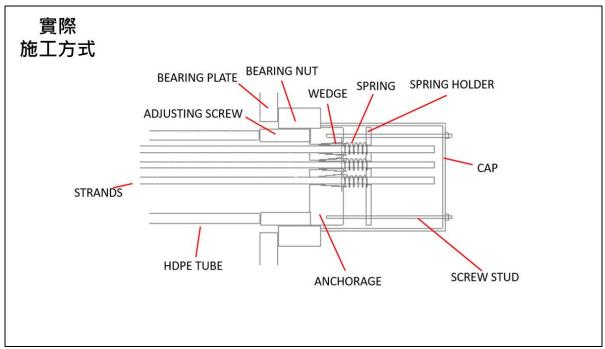


圖 2.2-3 下端錨竣工圖與實際施工方式圖

竣工圖為橋梁基本資料之一,為公路養護管理機關執行橋梁後續養護 及檢測工作之參考圖樣,應確實按實際完成之尺寸、位置、高度、深度及數 量製作²²。南方澳大橋竣工圖中所記載之端錨系統,除尺寸標示有遺漏或誤 植之情形,與實際施工狀況亦有差異,影響後續橋梁養護及檢測工作之評 估、規劃與執行。

2.2.2 端錨防銹防水之考量

端錨系統設計、施工及維護應考量水密性,隔絕水氣侵入,避免端錨系統組件銹蝕。端錨系統組件中之鋼絞線的防銹處理由內而外有幾種常見方式(參照圖 2.2-4):

- 絞合前,所有鋼線表面進行鍍鋅處理;
- 絞合後,鋼絞線表面塗抹防銹油料;
- 於鋼絞線最外層包覆石化材質類之膠套(plastic sheath),常見採用聚乙烯(polyethylene, PE)或較高密度的 HDPE;
- 所有鋼絞線安裝至端錨機構內後,最外層以 HDPE 套管保護全段 鋼絞索,隔絕腐蝕因子;
- 以油膏或蠟質填充鋼絞線與 HDPE 套管間的空隙,達到防銹及部分吸震之效果。

之圖樣。竣工圖應確實按實際完成之尺寸、位置、高度、深度及數量製作。尤其對地下管線及預埋物之確實位置、尺寸、數量、種類,應確實註記並於圖上列表說明。

行政院公共工程委員會民國 93 年 11 月 26 日彙編之公共工程製圖手冊(V3.1) 1.2 適用範圍及一般說明(3) 竣工圖:為承包商施工工作告一段落,(包括全部完工或部份完工)所應製備供驗收及日後查核用

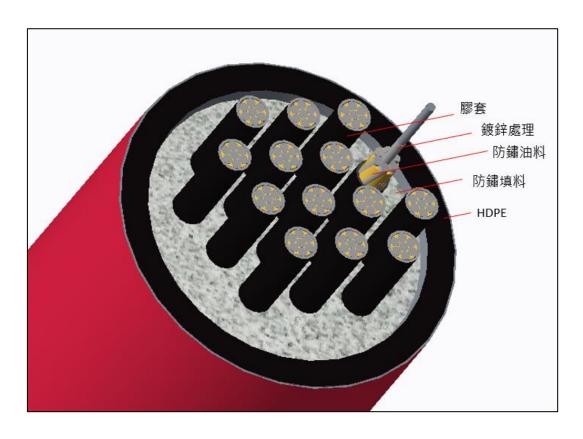


圖 2.2-4 鋼絞線的防銹處理示意圖

依據第 1.9.3 節主橋端錨系統勘查結果,除部分錨頭內仍有少量防銹黃油外,事故端錨系統中未發現其他防銹塗料或填充材;此外,大橋端錨系統共 177 東鋼絞線,均未包覆膠套保護層,部分鋼線表面鍍鋅厚度不足,5號吊索之鋼絞線 13 東全數表面銹蝕,9號吊索之鋼絞線則為7東表面銹蝕,6束表面無明顯銹蝕情形。

檢視南方澳大橋端錨系統主要防水方式,HDPE 套管由拱圈開孔內部至橋面端錨處,HDPE 套管進入橋面內部後,與錨定機構間並沒有鎖固機構的設計,而僅以本身重量相接於橋面錨定機構(詳圖 2.3-1)。橋面中央分隔島之金屬材質箱體未見於竣工圖上,該箱體內部表面及接合面有嚴重銹蝕現象,已出現腐蝕剝離狀況,箱體與 HDPE 套管相接之樹脂類接縫封條有硬質劣化現象,且 HDPE 套管管壁外側有軸向乾漬水痕,研判雨水可能由套管與箱體間劣化之矽膠裂口或下方銹蝕之金屬箱體滲入。

橋面大梁內部之錨定機構由 3 片鋼板所組成,因鋼板開口向上,讓錨 定機構成為一槽狀空間,且該結構沒有洩水孔或導水功能,調查小組發現 13 組橋面錨定機構內外壁有不同程度之乾漬水痕,部分低邊鋼板上緣及外壁有溢出之乾漬水痕及銹蝕現象,顯示錨定機構內曾發生積水狀況,積水示意圖如圖 2.2-5。圖 2.2-6 左圖為 11 號橋面錨定機構有乾漬水痕及銹蝕現象,圖 2.2-6 右圖為積水對照示意圖。

南方澳大橋靠海,長年受到高鹽量海風侵蝕,加上當地潮濕多雨,每年 下雨日數超過兩百天以上,年雨量高達四五千毫米,大橋端錨系統水密性 劣化後不足以抵擋當地氣候,侵蝕問題嚴重。

綜上所述,中央分隔島金屬箱體與 HDPE 套管之接縫封條硬質劣化, 具鹽分的水易沿 HDPE 套管滲入錨定機構,然而開口向上之錨定機構未有 洩水孔或導水功能,因此易出現積水現象;HDPE 套管與錨定機構相接處 無防水裝置,該處鋼絞線與端錨可能直接浸入水中,易產生銹蝕。事故大 橋端錨系統水密性劣化破壞後,無法有效隔絕腐蝕因子,若無定期維護與 管理,端錨系統元件易發生銹蝕。

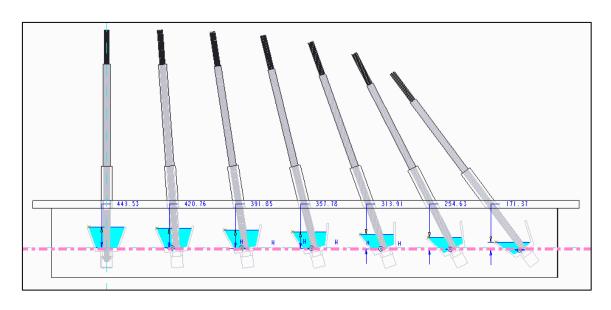


圖 2.2-5 端錨錨定機構出現積水之示意圖

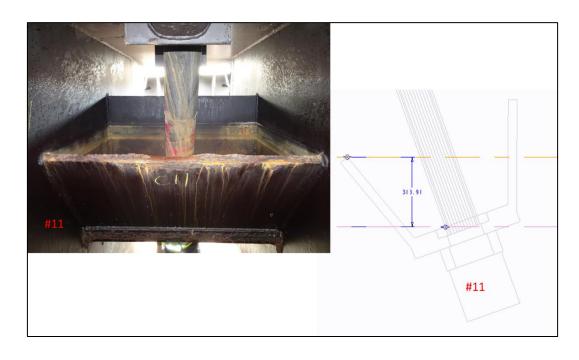


圖 2.2-6 11 號橋面錨定機構照片及積水示意對照圖

2.2.3 端錨系統來源

斷橋事故發生後,調查小組由竣工圖、亞新提供之書面及訪談資料,皆 顯示南方澳大橋預力端錨是使用法國法西奈之預力系統,然施工前承包商 須提出之海關進口證明書、原製造廠出場及檢驗證明等原始證明文件,因 遭宜蘭縣政府銷毀,或因亞新失火而燒毀,無法取得。

調查小組於民國 109 年 3 月 16 日去函法西奈公司,詢問其產品是否用於南方澳大橋,法西奈於同年 4 月 3 日回覆 (詳附錄 5),表示由該公司之檔案紀錄及詢問現職及退休員工,法西奈未曾參與南方澳大橋之興建工程。相關回覆資訊摘錄如下:

- 民國 79 年至 87 年間,法西奈的端錨系統用於臺灣的 2 座橋:臺北麥帥橋及臺南 T-05 橋。
- 法西奈錨頭上有該公司之產品編號[FI xxx],如圖 2.2-7 所示。
- 經檢視調查小組提供之南方澳大橋端錨系統之相片,事故端錨非法 西奈端錨系統。法西奈端錨系統具 6 項構件,包括:(1)吊索有 HDPE 套管包覆;(2)法西奈鋼絞線為(i)鍍鋅鋼絞線、(ii)鋼線間充填蠟、

(iii)每根鋼絞線皆由高密度聚乙烯護套包覆;(3)裝有防水填料之端 錨鋼管;(4)填料函(a stuffing box);(5)錨頭內部表面之塑料襯套; (6)特殊夾片(special stay cable jaws)如圖 2.2-8 所示。



圖 2.2-7 法西奈提供之錨頭產品照片

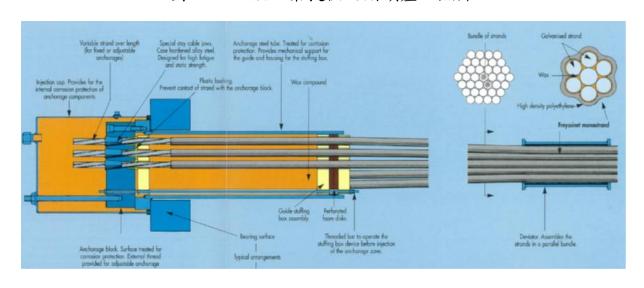


圖 2.2-8 法西奈提供之端錨系統說明

檢視南方澳大橋端錨系統之各構件,錨頭上無任何產品型號標示,單根鋼绞線皆未包覆高密度聚乙烯護套,未見裝有防水填料之端錨鋼管,無填料函,亦無錨頭內部表面之塑料襯套等法西奈端錨系統構件,與法西奈

民國 109 年提供之錨頭照片及該公司端錨系統 1999 年版之產品說明不同。 南方澳大橋之端錨系統,可能不是使用竣工圖記載之法西奈預力系統。

2.3 主橋失效順序分析

事故後,調查小組依據南方澳大橋斷裂崩塌影片,以30幅/每秒逐格之時間間隔進行局部動態變化偵測,試圖研判斷橋過程及吊索系統失效順序。惟各吊索外部,由拱圈開孔內部至橋面板端錨處,皆以HDPE套管包覆(詳圖2.3-1),錨頭亦在拱圈及橋面內部,且鋼絞線斷裂發生在套管中,錨頭破壞發生在拱圈及橋面內部,視線受阻隔,透過影片難以得知吊索實際破斷位置及失效狀況,以及失效相對順序,因此事故影片僅能呈現斷橋部份狀況。

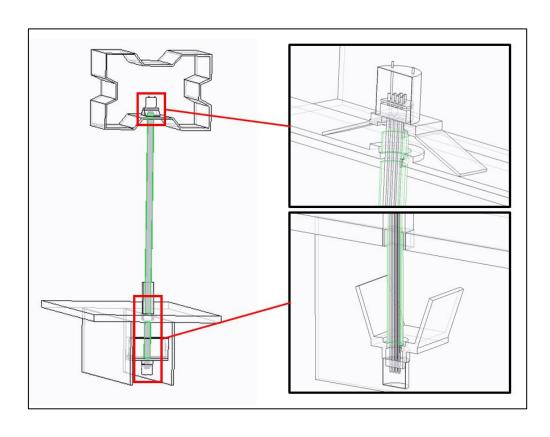


圖 2.3-1 吊索受 HDPE 套管包覆狀況

為了分析南方澳大橋主橋橋損過程以及判斷其端錨系統破壞順序,本 會與臺灣大學工學院地震工程研究中心合作,參照竣工圖、現場量測資料、 測試結果與相關規範,使用 Midas Civil 2020 結構分析軟體來建立主橋結構 模型,驗證主橋設計負載,並以靜態負載分析模擬橋梁動態失效過程。

2.3.1 結構分析之參數設定

材料參數

依據竣工圖資料,大橋使用的竹節鋼筋、波特蘭 TypeⅡ抗硫水泥、無筋混凝土、鋼筋混凝土、場鑄基樁以及預力混凝土;鋼結構部分係以 ASTM A709 G50W 為主,螺栓採用高拉力螺栓(ASTM A325 摩擦型)及普通螺栓(ASTM A307),而吊索及聯結器係採用高拉力鋼絞索設計。依此定義結構分析軟體之混凝土參數、鋼材參數、吊索參數。

結構斷面

在主橋斷面參數部分,因斷面形狀特殊且為封閉薄壁斷面,因此利用 Midas 內建 Line Section 方式,並依竣工圖繪製各種斷面圖形。橋面大梁斷 面可以分為一般斷面圖、含橫向加勁隔板斷面圖以及含圓型鋼管斜撐斷面 圖;主橋拱架細分為拱圈、拱柱;而拱架及橋面大梁之間則使用繫梁連接; 下部結構橋墩部分主要為混凝土澆置而成,可再細分為帽梁、墩柱及基礎。

邊界條件

繫梁與帽梁係以750公頓活動型鋼支承連接,分析模型以Elastic Link 將全域 Z 向 (垂立車道面方向)固定進行模擬,而橋面大梁係以橡膠支承及剪力鋼棒連接,分析模型以 Elastic Link 將全域 Z 向固定。P6 橋帽採用活動型剪力鋼棒,以 Elastic Link 將全域 Y (垂直車道行進方向)、Z 向固定,如圖 2.3-2 所示;而 P7 橋帽則是使用固定型剪力鋼棒,以 Elastic Link 將全域 X (沿車道行進方向)、Y、Z 三向皆固定,如圖 2.3-3 所示。另定義橋墩基礎、繫梁與橋面大梁交接處之剪力及彎矩、海上臨時支撐等邊界條件,進行後續模擬。

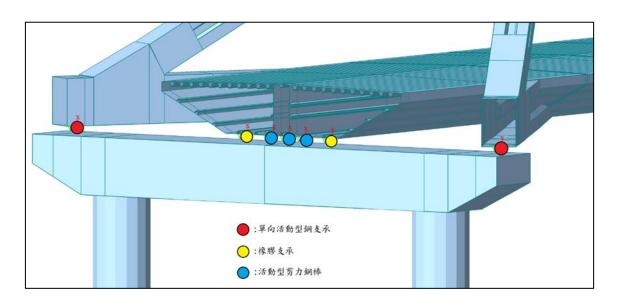


圖 2.3-2 P6 橋墩邊界條件

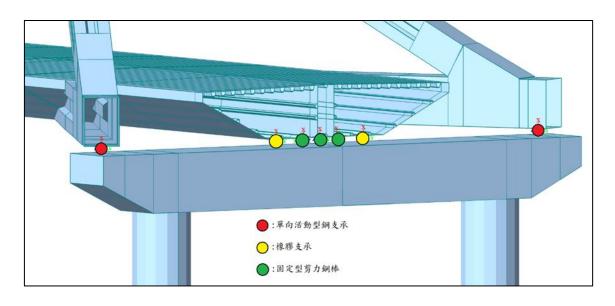


圖 2.3-3 P7 橋墩邊界條件

模型節點及桿件

主橋分析模型之節點及桿件如表 2.3-1、圖 2.3-4 及圖 2.3-5 所示。吊索係採用高拉力鋼絞索設計,且每股吊索均施拉 52 公噸預拉力,因此建模時採用 Tension Only 之 Truss 二力桿件進行模擬,並加載預拉力,以模擬實際吊索之狀況。

表 2.3-1 節點及桿件編號表

類型	節點編號	桿件編號
橋面大梁	1~167	1~166
繋梁	222~247	191~214
拱柱	248~263 \ 266~273	215~234
拱圈	274~288	235~250
帽梁、墩柱、基礎	178~221	167~190
海上臨時支撐	289~302	

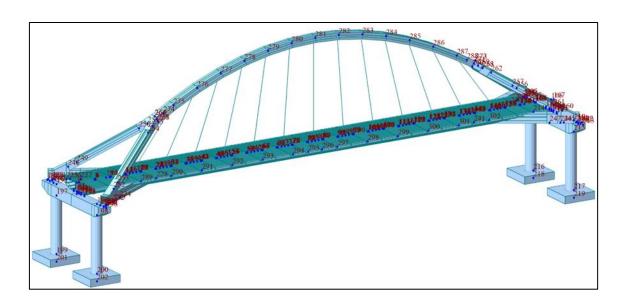


圖 2.3-4 主橋分析模型節點

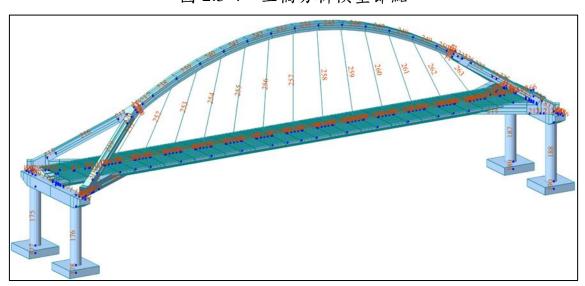


圖 2.3-5 主橋分析模型桿件

靜載重

依照竣工圖以及現場量測資料顯示,各項靜載重計算後並整理如下:

- 1. 景觀投射燈及主橋路燈;
- 2. 觀景平台之鋼筋混凝土及鋼骨重量;
- 3. 事故發生時的油罐車重量;
- 4. 主橋人行道及中央分隔島之鋼筋混凝土厚度;
- 5. 人行道兩側欄杆;
- 6. 電力管線、油管以及附掛自來水管;
- 7. 車道瀝青混凝土與防水及黏結層厚度,在竣工圖中瀝青混凝土厚度 為8公分至9.2公分,但依照第1.10.7節之實地鑽心勘查後測得之 數據為9.6公分至17.5公分。

所有靜載重皆以 Element Beam Loads 方式加入模型,而 1 至 3 項以集中載重模擬,4 至 7 項則以線載重模擬,如表 2.3-2 所示,採樣位置 1 至 3 之實際鋪面分布重量如圖 2.3-6 至圖 2.3-8 所示。

表 2.3-2 静載重統整表

項目	單位重(公噸/立方公尺)	數量(座)	體積 (立方公尺)	重量(公噸/處)
景觀投射燈	7.85	10	0.0018	0.0139
主橋路燈	7.83	4	0.0563	0.3232
項目	單位重(公噸/立方公尺)	厚度(公尺)	面積 (平方公尺)	重量(公噸/處)
觀景平台 RC	2.4	0.25	25.3133	3.1642
觀景平台 SS	7.85	0.008	55.4159	3.4801
油罐車		油罐車重量	量為 26(公噸)	
項目	單位重 (公噸/立方公尺)	厚度(公尺)	寬度(公尺)	重量(公噸/公尺)
兩側人行道 RC	2.4	0.25	2.25	1.3500
中央分隔島RC	2.4	0.25	1.5	0.9000
項目	單位重 (公噸/立方公尺)	單位長度 (公尺)	體積 (立方公尺)	重量(公頓/公尺)
欄杆(靠近車道)	7.95	1.02	0.007	0.0068
欄杆(遠離車道)	7.85	2.05	0.0119	0.0455
項目	單位重(公噸/立方公尺)	面積 (平方公尺)	形式	重量(公噸/公尺)
電線			共有4條	0.0302
電管附掛			直徑 6"PVC 管	0.0258
水管			直徑 300 毫米	0.0226
水	1	0.0638		0.0638
油管附掛	7.85	0.0019	直徑 8"鋼管	0.0153
油	0.8	0.0348		0.0278
車道 AC	單位重 (公噸/立方公尺)	厚度(公尺)	寬度(公尺)	重量(公噸/公尺)
採樣位置1		0.106~0.175	3	0.7632~1.2024
採樣位置2	2.4	0.096~0.135	1.5(×2) _*	0.3456~0.4860
採樣位置3		0.108~0.134	3	0.7776~0.9648

^{*}兩側車道為4.5公尺,而實際採樣分為3區,因此在輸入參數時將兩側車道各分1.5公尺給採樣位置2,最終分配則如上表敘述。

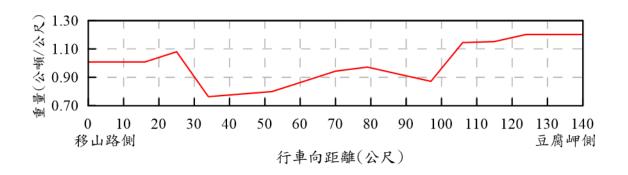


圖 2.3-6 採樣位置 1 之實際鋪面分布重量

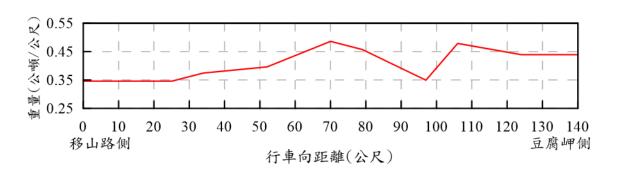


圖 2.3-7 採樣位置 2 之實際鋪面分布重量

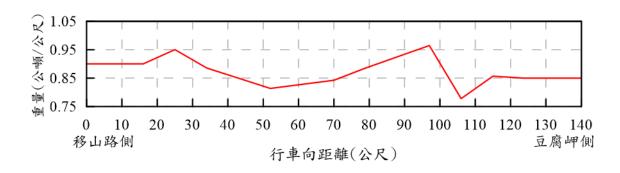


圖 2.3-8 採樣位置 3 之實際鋪面分布重量

吊索及錨頭實際拉伸強度

正常鋼絞線平均降伏負載及極限負載分別為 25.00 公噸及 28.30 公噸,可推算每一股吊索的降伏與極限負載,例如 1 號及 13 號吊索有 17 束鋼絞線,降伏負載約為 424.99 公噸,而極限負載約為 481.14 公噸。10 號上錨頭實際極限負載為 262.42 公噸,而 11 號上錨頭經重新配置狀況較佳之夾片及鋼絞線後之極限負載為 319.88 公噸,因此將 2 至 9 號及 12 號錨頭極限負載設定為 10、11 號錨頭極限負載之平均值 291.15 公噸,另依孔數差異線

性推算,1 號及13 號錨頭極限負載設定則採用該平均值進行推算,其值為395.14 公噸,詳細數值見表2.3-3。

吊索編號	數量 (束)	吊索降伏負載 (公噸)	吊索極限負載 (公噸)	數量 (孔)	錨頭極限負載 (公噸)
1 \ 13	17	424.99	481.14	19	395.14
2至9、12	13	325.00	367.93	14	291.15
10	13	325.00	367.93	14	262.42
11	13	325.00	367.93	14	319.88

表 2.3-3 未銹蝕吊索及錨頭實際拉伸強度

2.3.2 實際鋪面厚度對大橋影響

依據竣工圖之構材斷面尺寸資料以及實際靜載重分布和數值,建立結構模型進行結構分析,此分析未含任何車載重,僅以靜載重分析進行比較。

竣工圖設計鋪面厚度:依據竣工圖設計鋪面厚度採 8 公分至 9.2 公分, 分析模型採平均 8.6 公分鋪面瀝青厚度進行載重分析,分析結果如圖 2.3-9 所示,數值詳表 2.3-4。

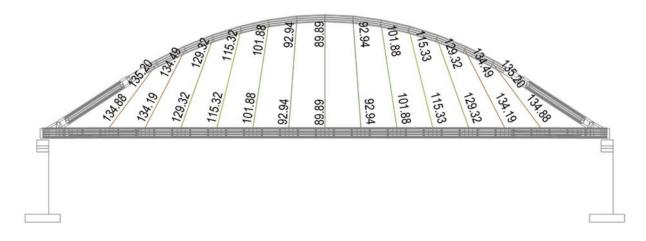


圖 2.3-9 竣工圖鋪面之吊索拉力分布圖23

實際量測鋪面厚度:依照實際現地鑽心探測結果可以得知鋪面厚度並未如竣工圖之標示,大約介於 9.6 至 17.5 公分,而實際鋪面分布圖如上節

²³ 本節分析中所用之大橋吊索圖示,由左至右為第1至第13號吊索。

所示。以此作為載重分布之現況,分析結果如圖 2.3-10 所示,數值詳表 2.3-4。

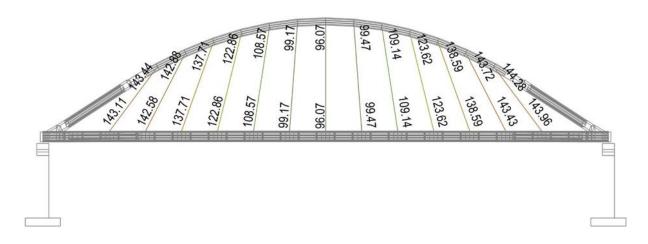


圖 2.3-10 實際量測鋪面影響之吊索拉力分布圖

最後將兩者分析之吊索拉力數值整理,發現兩者分析結果之最大拉力 值差距僅 9.27 公噸左右,而在吊索拉力對實際拉伸極限負載百分比結果發 現,兩者分析結果差距最大僅約 2.5 %左右,顯示實際量測鋪面對吊索拉力 影響不大,詳細數值比較見表 2.3-4。

表 2.3-4 竣工圖及實際量測鋪面分析結果比較

吊索編號	吊索極限負載 (公噸)	竣工圖鋪面 (公噸)	實際量測鋪面 (公噸)	竣工圖 力量比 (%)	實際量 測力量 比(%)	差距 (%)
1	481.14	135.20	143.44	28.1	29.8	1.7
2	367.93	134.49	142.88	36.6	38.8	2.3
3	367.93	129.32	137.71	35.1	37.4	2.3
4	367.93	115.32	122.86	31.3	33.4	2.0
5	367.93	101.88	108.57	27.7	29.5	1.8
6	367.93	92.94	99.17	25.3	27.0	1.7
7	367.93	89.89	96.07	24.4	26.1	1.7
8	367.93	92.94	99.47	25.3	27.0	1.8
9	367.93	101.88	109.14	27.7	29.7	2.0
10	367.93	115.33	123.62	31.3	33.6	2.3
11	367.93	129.32	138.59	35.1	37.7	2.5
12	367.93	134.49	143.72	36.6	39.1	2.5
13	481.14	135.20	144.28	28.1	30.0	1.9

2.3.3 主橋設計載重分析

本節分析內容主要係以竣工圖數據以及事實資料探討主橋設計議題, 包括設計車載重、載運消波塊車載重及載運土方車載重對南方澳大橋的影響。當吊索皆維持於設計數值,以三種車載重通過橋梁時,探討各吊索產 生之最大拉力值和極限負載之關係、對於整座橋體鋼構產生之最大應力, 以及比較加入車載重前後的應力變化範圍,而鋪面載重部份則採用實際量 測數值做為靜載重,分析結果如後。

2.3.3.1 設計車載重分析

查南方澳大橋竣工圖中之設計規範,設計單位係依據交通部於民國76年頒布之「公路橋梁設計規範」作為其設計之準則,該規範說明橋梁設計車載重為公路橋梁貨車載重或相當於貨車行列之車道載重,以應力較大者作為橋梁設計之活載重。根據竣工圖總說明,南方澳大橋是以 HS20-44 (MS18)標準車輛加計50%作為設計之貨車載重,考慮其貨車載重影響或相當於貨車行列之車道載重,經程式反覆分析並包絡後得出結果,分析結果顯示車道載重對吊索拉力值有較大的影響,如表2.3-5、圖2.3-11及圖2.3-12所示。

分析結果顯示,吊索最大拉力值為 180.63 公噸,而吊索力量比約介於 33.5 %至 49.1 %,對鋼構最大應力則發生在拱柱,其與鋼構降伏應力比為 32.7 %,而吊索應力變化範圍介於 1,386 至 1,923 kgf/cm²之間。

表 2.3-5 加入設計車載重後數值比較

吊索產生之最大拉力值和極限負載之關係						
吊索編號	吊索極限負載(公 噸)	A.車道載重 (公噸)	B.HS20- 44(MS18)加計 50%貨車載重(公 噸)	吊索力量比(%)		
1	481.14	179.54	156.56	37.3		
2	367.93	179.79	156.11	48.9		
3	367.93	175.20	151.80	47.6		
4	367.93	157.07	136.72	42.7		
5	367.93	139.07	121.88	37.8		
6	367.93	127.09	112.01	34.5		
7	367.93	123.11	108.74	33.5		
8	367.93	127.40	112.32	34.6		
9	367.93	139.64	122.45	38.0		
10	367.93	157.83	137.48	42.9		
11	367.93	176.08	152.68	47.9		
12	367.93	180.63	156.95	49.1		
13	481.14	180.39	157.41	37.5		
	對鋼構產生之最大應力					
項目	分析數值(kgf/cm²)	與鋼構降伏應力比(%)		最大應力位置 圖例		
橋面大梁	729	2	20.7			
繋梁	580	16.5				
拱圈	-1,000	28.4				
拱柱	-1,150	32.7				
	加入設計	車載後吊索的應	力變化範圍			
吊索編號	靜載重分析 (kgf/cm²)	加入設計車載(kgf/cm²)		應力變化範圍 (kgf/cm²)		
1	5,625	7,041		1,416		
2	7,327	9,220		1,893		
3	7,062	8,985		1,923		
4	6,301	8,055		1,754		
5	5,568	7,132		1,564		
6	5,085	6,517		1,432		
7	4,927	6,313		1,386		
8	5,101	6,533		1,432		
9	5,597	7,161		1,564		
10	6,340	8,094		1,754		
11	7,107	9,030		1,923		
12	7,371	9,263		1,892		
13	5,659	7,074		1,415		

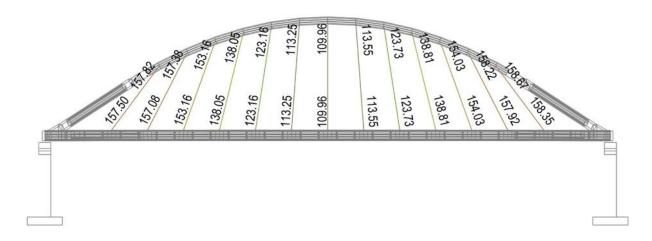


圖 2.3-11 設計車載重之吊索拉力分布圖

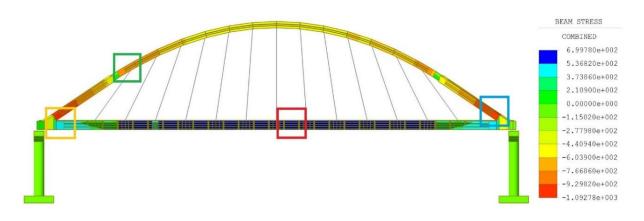


圖 2.3-12 設計車載重之鋼構應力分布圖

2.3.3.2 載運消波塊車載重分析

根據第 1.11.4.1 節資料,港務公司曾於辦理堤防消波塊運輸工程時,運送 40 公噸重之消波塊通過南方澳大橋,採用之貨車重為 14 公噸,因此設定上採用最大單輛載運車輛總重為 54 公噸,以貨車載重模擬實際之曳引車及半拖車,最後經程式反覆分析不同車輛位置,並包絡後得出結果,如表 2.3-6、圖 2.3-13 及圖 2.3-14 所示。

分析結果顯示,吊索最大拉力值為 158.67 公噸,而吊索力量比約介於 29.9%至 43.0 %,對鋼構最大應力則發生在拱柱,其與鋼構降伏應力比為 31.0 %,而吊索應力變化範圍介於 564 至 792 kgf/cm²之間。

表 2.3-6 加入載運消波塊車載重後數值比較

吊索產生之最大拉力值和極限負載之關係					
吊索編號	吊索極限負載(公噸)	加入消波塊車載(公噸)	吊索力量比(%)		
1	481.14	157.82	32.8		
2	367.93	157.38	42.8		
3	367.93	153.16	41.6		
4	367.93	138.05	37.5		
5	367.93	123.16	33.5		
6	367.93	113.25	30.8		
7	367.93	109.96	29.9		
8	367.93	113.55	30.9		
9	367.93	123.73	33.6		
10	367.93	138.81	37.7		
11	367.93	154.03	41.9		
12	367.93	158.22	43.0		
13	481.14	158.67	33.0		
對鋼構產生之最大應力					
項目	分析數值(kgf/cm²)	與鋼構降伏應力比(%)	最大應力位置圖例		
橋面大梁	700	19.9			
繋梁	541	15.4			
拱圈	-835	23.7			
拱柱	-1,090	31.0			
	加入載運消波	塊車載後吊索的應力變化範	圍		
吊索編號	靜載重分析(kgf/cm²)	加入消波塊車載(kgf/cm²)	應力變化範圍 (kgf/cm²)		
1	5,625	6,189	564		
2	7,327	8,071	744		
3	7,062	7,854	792		
4	6,301	7,079	778		
5	5,568	6,316	748		
6	5,085	5,807	722		
7	4,927	5,639	712		
8	5,101	5,823	722		
9	5,597	6,345	748		
10	6,340	7,119	779		
11	7,107	7,899	792		
12	7,371	8,114	743		
13	5,659	6,222	563		

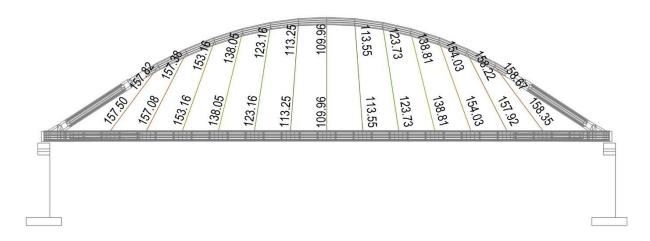


圖 2.3-13 加入載運消波塊車載重之吊索拉力分布圖

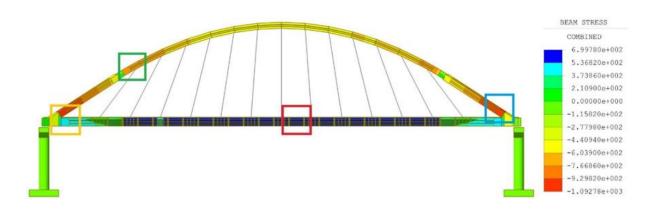


圖 2.3-14 加入載運消波塊車載重之鋼構應力分布圖

2.3.3.3 載運土方車載重分析

在第 1.11.4.2 節之中得知,宜蘭縣政府曾於辦理工程剩餘土方運置工程時,運送土方過南方澳大橋,載運土方之車輛採用總載運重量為 21 公噸及 35 公噸之大貨車,而載運方式分為太空包載運土方及直接載運土方兩種方式,而一包太空包裝 80%滿重量約為 1 公噸,且土方單位重為 1.5 公噸/立方公尺,最大載運土方總載重為 37 公噸。載運土方車載以 37 公噸之貨車重量進行設定,經程式反覆分析不同車輛位置,並包絡後得出結果,如表 2.3-7、圖 2.3-15 及圖 2.3-16 所示

分析結果顯示,吊索最大拉力值為 154.14 公噸,而吊索力量比約介於 28.7 %至 41.8 %,對鋼構最大應力則發生在拱柱,其與鋼構降伏應力比為 30.7%,而吊索應力變化範圍介於 387 至 543 kgf/cm²之間。

表 2.3-7 加入載運土方車載重後數值比較

	吊索產生之量	是大拉力值和極限負載之 	
吊索編號	吊索極限負載(公噸)	加入土方車載(公噸)	吊索力量比(%)
1	481.14	153.29	31.9
2	367.93	152.81	41.5
3	367.93	148.29	40.3
4	367.93	133.27	36.2
5	367.93	118.57	32.2
6	367.93	108.81	29.6
7	367.93	105.59	28.7
8	367.93	109.12	29.7
9	367.93	119.13	32.4
10	367.93	134.03	36.4
11	367.93	149.17	40.5
12	367.93	153.66	41.8
13	481.14	154.14	32.0
	對金	岡構產生之最大應力	
項目	分析數值(kgf/cm²)	與鋼構降伏應力比(%)	最大應力位置圖例
橋面大梁	632	18.0	
繋梁	533	15.2	
拱圈	-786	22.3	
拱柱	-1,080	30.7	
	加入載運土力	方車載後吊索的應力變化	範圍
吊索編號	靜載重分析(kgf/cm²)	加入土方車載(kgf/cm²)	應力變化範圍(kgf/cm²)
1	5,625	6,012	387
2	7,327	7,837	510
3	7,062	7,605	543
4	6,301	6,834	533
5	5,568	6,080	512
6	5,085	5,580	495
7	4,927	5,415	488
8	5,101	5,596	495
9	5,597	6,109	512
10	6,340	6,873	533
11	7,107	7,650	543
12	7,371	7,880	509
13	5,658	6,045	387

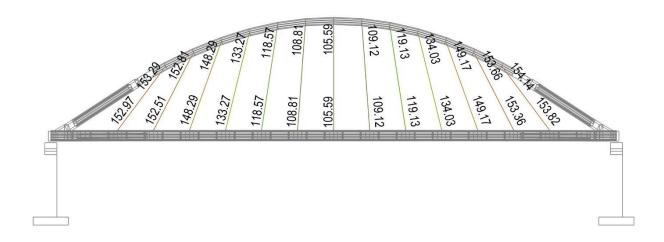


圖 2.3-15 加入載運土方車載重之吊索拉力分布圖

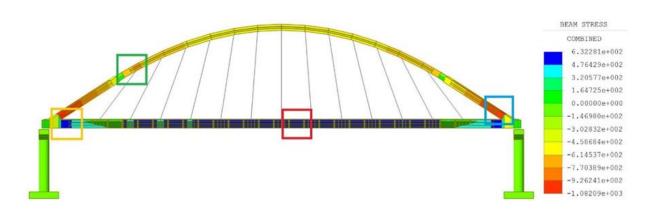


圖 2.3-16 加入載運土方車載重之鋼構應力分布圖

2.3.3.4 小結

經由竣工圖記載之斷面性質、材料特性以及各種載重狀況,並搭配現場實際探勘和事實資料之輔助,分析橋梁在設計車載、載運消波塊車載以及載運土方車載作用下吊索與鋼構的受力,詳細統整結果見表 2.3-8。分析結果顯示,設計車載造成吊索最大拉力約為極限負載之 49.1%,消波塊與土方車載造成吊索最大拉力約分別為極限負載之 43.0%與 41.8%;設計車載、消波塊或土方車載對鋼構部分造成的最大應力對降伏應力之比例分別為 32.7%、31.0%與 30.7%,可見消波塊與土方之載運對吊索與鋼構受力之影響並未超出設計車載之範圍。

表 2.3-8 各項車載重比較結果

	加入設	計車載	加入載運河	肖波塊車載	加入載運土方車載		
吊索編號	與極限負 載比 (%)	應力變化 範圍 (kgf/cm²)	與極限負 載比 (%)	應力變化 範圍 (kgf/cm²)	與極限負 載比 (%)	應力變化 範圍 (kgf/cm²)	
1	37.3	1,416	32.8	564	31.9	387	
2	48.9	1,893	42.8	744	41.5	510	
3	47.6	1,923	41.6	792	40.3	543	
4	42.7	1,754	37.5	778	36.2	533	
5	37.8	1,564	33.5	748	32.2	512	
6	34.5	1,432	30.8	722	29.6	495	
7	33.5	1,386	29.9	712	28.7	488	
8	34.6	1,432	30.9	722	29.7	495	
9	38.0	1,564	33.6	748	32.4	512	
10	42.9	1,754	37.7	779	36.4	533	
11	47.9	1,923	41.9	792	40.5	543	
12	49.1	1,892	43.0	743	41.8	509	
13	37.5	1,415	33.0	564	32.0	387	
項目			與鋼構降伏	ミ應力比(%)			
橋面大梁	20).7	19	0.9	18	3.0	
繋梁	16	5.5	15.4		15.2		
拱圈	28	3.4	23.7		22.3		
拱柱	32	2.7	31	.0	30).7	

2.3.4 主橋吊索容許斷裂股數分析

本節探討主橋依設計參數,最多可缺少多少吊索仍不會產生橋體崩塌破壞,分析模型建置係依據未銹蝕吊索及錨頭強度數據,因設計錨頭強度與實際錨頭強度有顯著差異,因此分設計錨頭強度與實際錨頭強度兩種情況進行分析討論。而此分析以加入所有靜載重及設計車載重之模型做為初始階段,且吊索為未銹蝕之情況。考慮吊索於橋梁為對稱分布,且有三種不同的錨頭實際極限負載,因此選取1號、2號、7號、10號及11號吊索做為探討目標。

2.3.4.1 依錨頭設計強度分析吊索容許斷裂股數

因為設計階段錨頭強度需要超過吊索強度,因此以吊索拉伸極限負載做為基準,分析時分別逐一拆除目標吊索(1、2、7、10及11號吊索)之相鄰吊索,直至目標吊索破壞,最後得出吊索容許斷裂股數。

1號吊索:已知1號吊索降伏負載為 424.99 公噸,而極限負載為 481.14 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的 2、3、4 號 吊索(共3股),1號吊索拉力值即會超過降伏負載;而當拆除相鄰的 2、 3、4、5號吊索(共4股),1號吊索拉力值即會超過極限負載,並造成橋 梁的連鎖破壞,分析結果如圖 2.3-17 所示。

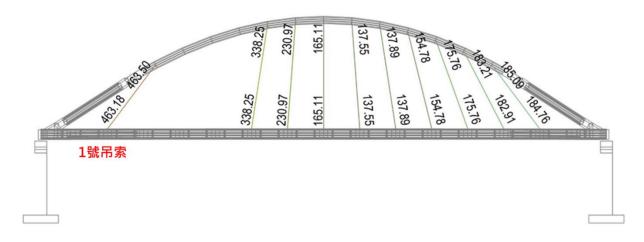


圖 2.3-17(a) 拆除 2、3、4 號吊索後其他吊索受力

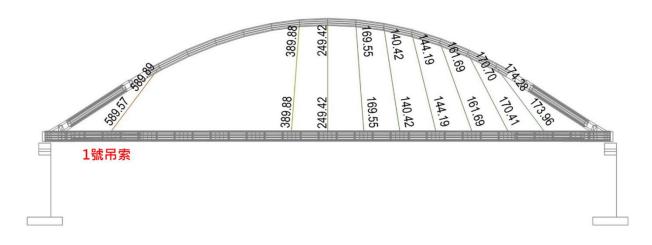


圖 2.3-17(b) 拆除 2、3、4、5 號吊索後其他吊索受力

2 號吊索:已知第 2 號吊索降伏強度為 325.00 公噸,而極限強度為

367.93 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的第 1、3、4號吊索(共3股),2號吊索拉力值即會超過降伏及極限強度,並 造成橋梁的連鎖破壞,分析結果如圖 2.3-18 所示。

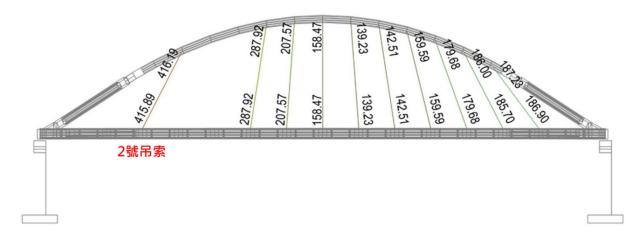


圖 2.3-18 拆除 1、3、4 號吊索後其他吊索受力

7號吊索:已知7號吊索降伏負載為325.00 公噸,而極限負載為367.93 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除第5、6、8、9號 吊索後即會超過降伏負載;而當拆除相鄰的4、5、6、8、9號或5、6、8、 9、10號吊索(共5股),7號吊索拉力值即會超過極限負載,並造成橋梁 的連鎖破壞,分析結果如圖2.3-19所示。

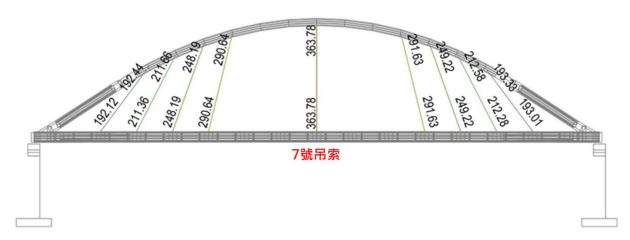


圖 2.3-19(a) 拆除 5、6、8、9 號吊索後其他吊索受力

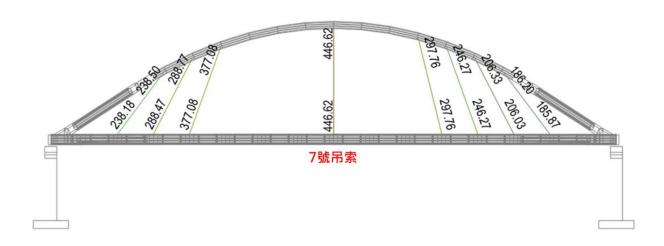


圖 2.3-19(b) 拆除 4、5、6、8 與 9 號吊索後其他吊索受力

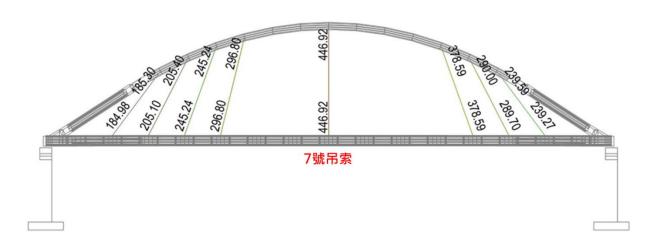


圖 2.3-19(c) 拆除 5、6、8、9、10 號吊索後其他吊索受力

10 號吊索:已知第 10 號吊索降伏強度為 325.00 公噸,而極限強度為 367.93 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的第 9、11、12 號吊索(共 3 股),10 號吊索拉力值即會超過降伏及極限強度,並造成橋梁的連鎖破壞,分析結果如圖 2.3-20 所示。

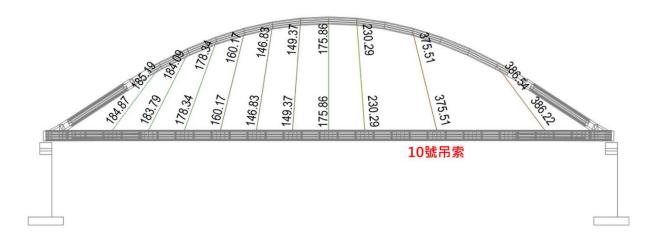


圖 2.3-20 拆除 9、11、12 吊索後其他吊索受力

11 號吊索:已知第 11 號吊索降伏強度為 325.00 公噸,而極限強度為 367.93 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的第 10、12、13 號吊索(共 3 股),11 號吊索拉力值即會超過降伏及極限強度,並造成橋梁的連鎖破壞,分析結果如圖 2.3-21 所示。

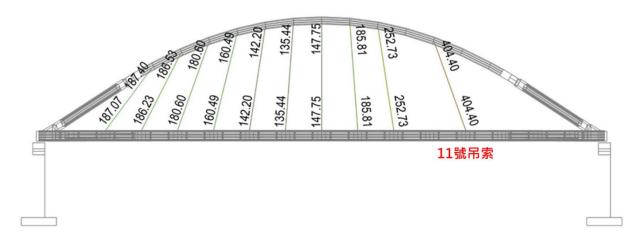


圖 2.3-21 拆除 10、12、13 號吊索後其他吊索受力

透過以上 5 種分析結果可以知道,當錨頭強度如設計預期時,斷裂約 3 至 5 股吊索後,橋體將產生連鎖破壞。

2.3.4.2 依錨頭實際拉伸強度分析吊索容許斷裂股數

因為錨頭實際極限負載低於吊索未銹蝕降伏負載及極限負載,因此本 節設定整股吊索系統之強度為錨頭實際強度,分別對前述 5 股目標吊索之 相鄰吊索逐一拆除,直至目標吊索系統破壞,求得吊索容許斷裂股數。 1號吊索:假設 1號錨頭實際強度為 395.14 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的 2、3、4號吊索(共3股)後,1號吊索之拉力即會超過錨頭實際極限負載,並造成橋梁的連鎖破壞,分析結果如圖 2.3-22 所示。

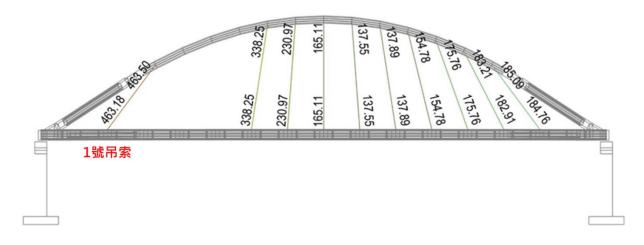


圖 2.3-22 拆除 2、3、4 號吊索後其他吊索受力

2號吊索:假設2號錨頭實際極限負載為291.15 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的1、3號吊索(共2股),2號吊索拉力即會超過錨頭實際極限負載,並造成橋梁的連鎖破壞,分析結果如圖2.3-23 所示。

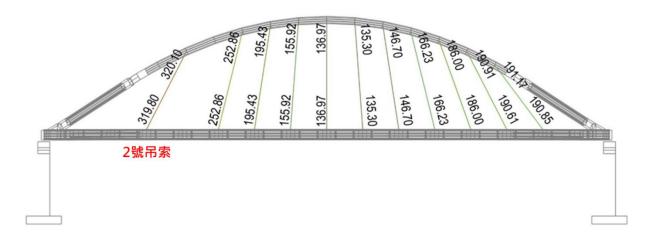


圖 2.3-23 拆除 1、3 號吊索後其他吊索受力

7號吊索:假設7號錨頭實際極限負載為291.15 公噸,並從相鄰吊索 開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的5、6、8、9號吊索(共4股), 7號吊索拉力值即會超過錨頭實際極限負載,並造成橋梁的連鎖破壞,分析結果如圖 2.3-24 所示。

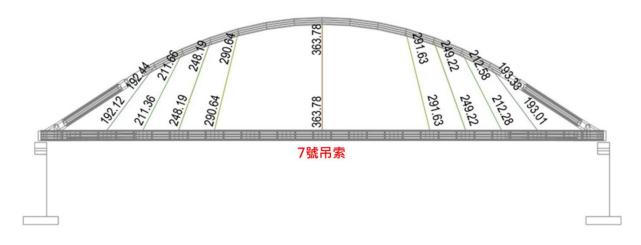


圖 2.3-24 拆除 5、6、8、9 號吊索後其他吊索受力

10 號吊索:假設 10 號錨頭實際極限負載為 262.42 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的 9、11 號(共2股)後,10 號吊索拉力值即會超過錨頭實際極限負載,並造成橋梁的連鎖破壞,分析結果如圖 2.3-25 所示。

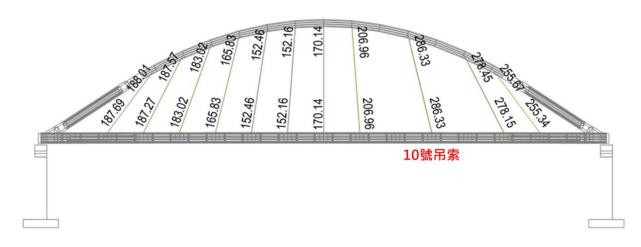


圖 2.3-25 拆除 9、11 號吊索後其他吊索受力

11 號吊索:假設 11 號錨頭實際極限負載為 319.88 公噸,並從相鄰吊索開始依序拆除,分析結果可知當拆除相鄰的 10、12、13 號(共3股)後, 11 號吊索拉力值即會超過錨頭實際極限負載,並造成橋梁的連鎖破壞,分析結果如圖 2.3-26 所示。

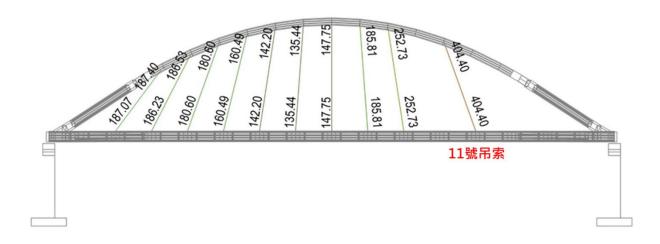


圖 2.3-26 拆除 10、12、13 號吊索後其他吊索受力

透過以上5種分析結果可以知道,當錨頭強度採用錨頭實際強度時,斷裂約2至4股吊索後,橋體產生連鎖破壞。

2.3.4.3 小結

在設計車載作用下,若吊索未銹蝕且錨頭強度為設計值,吊索容許斷 裂股數約為2至4股,斷裂3至5股吊索後,橋體就會發生連鎖破壞;若 錨頭強度為實際強度,則吊索容許斷裂股數約為1至3股,斷裂2至4股 吊索後,橋體就會發生連鎖破壞。可知錨頭強度低於設計值,會降低了吊 索容許斷裂股數,但不論錨頭強度為設計值或實際值,橋梁皆有吊索可斷 裂股數之餘裕。

2.3.5 主橋破壞失效分析

斷橋影片顯示,油罐車在經過大橋 11 號吊索附近時,橋體開始產生連鎖破壞。調查小組利用數值模型軟體 Midas Civil 2020 模擬破壞失效分析油灌車通過大橋時主橋受力情形,以分析主橋破壞順序。由於主橋部分吊索有嚴重腐蝕之狀況,為能盡量真實地模擬吊索銹蝕後油罐車通過之情形,故先進行吊索銹蝕程度之分類與銹蝕量之估計。

2.3.5.1 橋面銹蝕鋼絞線殘餘強度估算

依據鋼絞線材料試驗分析結果,橋面附近鋼絞線的銹蝕特別嚴重,造成有效截面積大幅減少,使得吊索的極限負載達不到原始設計的要求。對於銹蝕鋼絞線有效截面積大小的估算,乃透過實際檢視銹蝕情況,如圖 2.3-27,經判斷、修正後估算。









圖 2.3-27 橋面鋼絞線銹蝕情況

吊索銹蝕之判斷分為兩區域,分別為錨頭區域以及吊索其他區域,以 10%的截面積折減率作為不同腐蝕程度之截面積比例最小差異,分別判斷 各區域之銹蝕後有效截面積比例,再取兩個區域有效截面積比例較小值進 行模型吊索截面積修正。另外,現場調查發現 10號至 13號吊索錨頭區域 銹蝕極為嚴重,且錨頭區域吊索多已斷裂、生銹,且有層狀剝離情形。故對 10號至 13號吊索採更精細的單線判定,即對吊索每一鋼線之斷面銹蝕程度給予判定標準,根據不同銹蝕程度設定其有效截面積比例,再疊加所有鋼線之有效截面積比例,得到每股吊索之有效截面積比例。有效截面積比例則斷標準詳表 2.3-9,而初始判斷後計算結果詳表 2.3-10。

表 2.3-9 吊索銹蝕有效截面積比例判斷標準

·	索判定	有效截面積 殘餘比例(%)		判斷標準			
l	區域	殘餘	七例(%)				
		1	00	錨頭及吊索呈現乾淨無生銹狀況			
	1號		90	錨頭有黃色銹斑,但吊索呈現乾淨狀況			
	-9號	80 70				錨頭有黃色銹斑,吊索也有黃色銹斑	
錨	~ ラ が			70		錨頭、吊索皆有黃色和小部分黑色銹斑	
頭		(60	錨頭、吊索皆有黃色和黑色銹斑			
品			100	每一鋼線斷面皆為銀白或灰色(標示為白圈)			
	10 號	50	66	每一鋼線斷面有部分黃色或黑色(標示為黃圈)			
	~13 號	以下	33	每一鋼線斷面皆為黃色或黑色(標示為紅圈)			
			0	脫離錨頭,無法判定			
		1	00	吊索外觀呈現銀白或灰色			
吊	索區	9	90	吊索外觀有局部黃色銹斑			
		:	80	吊索外觀皆有黃色銹斑			

表 2.3-10 吊索銹蝕有效截面積比例

編	有效截面	積比例(%)	編	有效截面	積比例(%)
號	錨頭區	吊索區	號	錨頭區	吊索區
1 號			2 號		
	90 %	90 %		90 %	100 %
3 號			4 號		
	90 %	100 %		90 %	100 %
5 號			6 號		
	80 %	*94 %		90 %	100 %
*7 號					
	31%	90 %			
8 號	90 %	90 %	9 號	70 %	*97 %

編	有效截面	積比例(%)	編	有效截面	積比例(%)
號	錨頭區	吊索區	號	錨頭區	吊索區
10 號			11 號		
	23 %	90 %		22 %	90 %
12 號			13 號		
	27 %	100 %		23 %	90 %
	(1)關於5號及9號	虎吊索之吊索區的判	斷標	準則是透過鋼絞線:	拉伸試驗結果,並
	將其數據與極門	艮拉伸強度比較後計	算得	到其有效截面積比	例,計算如下:
*	9 號吊索⇒3	58.19/367.93×100%	=97 %	6	
備	5 號吊索⇒3	46.83/367.93×100%	=94 %	6	
註	(2) 7號吊索經勘	查後,9束鋼絞線標	喬面區	ā末端完好無破壞痕	跡,鋼絞線外觀
	僅有夾片壓痕	, 有些微退絞現象	,但	卻未發生斷裂破壞	,經研判大橋斷裂
	坍塌前,9束	鋼絞線已無夾持受	カ。		

根據前述計算得各股吊索之有效截面積比例後,因吊索強度與面積成 正比,因此可利用該比例乘上實際拉伸試驗強度,可得銹蝕後吊索降伏負 載及極限負載,吊索銹蝕後強度如表 2.3-11。

表 2.3-11 吊索銹蝕有效截面積比例、降伏負載及極限負載

吊索編號	有效截面積比例 (%)	吊索降伏負載 (公噸)	吊索極限負載 (公噸)
1	90	382.49	433.02
2	90	292.50	331.14
3	90	292.50	331.14
4	90	292.50	331.14
5	80	260.00	294.34
6	90	292.50	331.14
7	31	100.00	113.21
8	90	292.50	331.14
9	70	227.50	257.55
10	23	75.43	85.40
11	22	71.89	81.39
12	27	88.40	100.08
13	23	96.64	109.41

2.3.5.2 橋梁破壞前油罐車對吊索拉力之影響

藉由前一節得到之吊索銹蝕有效截面積比例後,將其加入分析模型以分析油罐車²⁴行駛過程之吊索拉力變化趨勢。當油罐車尚未進入橋面時,11號吊索因嚴重銹蝕之故,其拉力值已些微超過降伏負載,其他吊索拉力值皆小於降伏負載,所有吊索之拉力皆小於錨頭極限負載。而當油罐車行進至10號吊索位置時,11號吊索拉力值已超過降伏負載約3.5%,達極限負載之91.4%,此時其他吊索拉力皆小於降伏負載,所有吊索之拉力皆小於錨頭極限負載。考量橋梁逾20年之車載疲勞效應,且銹蝕吊索之殘餘強度比同截面積吊索低,因此判斷11號吊索產生破壞,破壞模式為吊索斷裂、錨頭不產生破壞。分析結果如圖2.3-28及表2.3-12所示。

²⁴ 以核定總重 26 公噸計算。

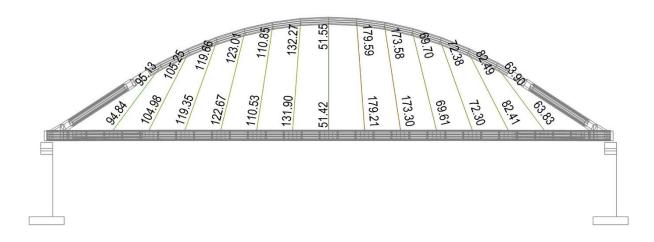


圖 2.3-28(a) 油罐車尚未進入時吊索拉力

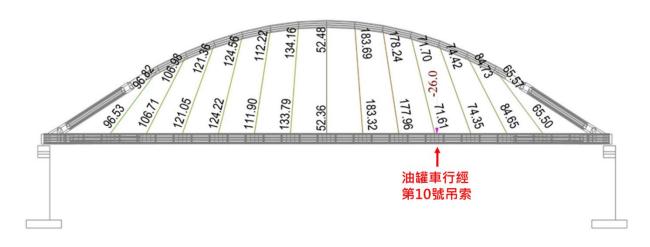


圖 2.3-28(b) 油罐車達第 10 號吊索時吊索拉力

表 2.3-12 油罐車對吊索拉力之影響

吊索	吊索降伏	吊索極限	實際錨頭	吊索拉	吊索拉力(公噸)			
編號	負載	負載	極限負載	(吊索降伏負載%/吊索極限負	負載%/實際錨頭極限負載%)			
10 TH 10 C	(公噸)	(公噸)	(公噸)	尚未進入橋面	達第 10 號吊索			
1	382.49	433.02	395.14	95.13	96.82			
1	302.49	433.02	393.14	(24.9 / 22.0 / 24.1)	(25.3 / 22.4 / 24.5)			
2	292.50	331.14	291.15	105.25	106.98			
2	292.30	331.14	291.13	(36.0 / 31.8 / 36.2)	(36.6 / 32.3 / 36.7)			
3	292.50	221 14	291.15	119.66	121.36			
3	292.30	331.14	291.13	(40.9 / 36.1 / 41.1)	(41.5 / 36.7 / 41.7)			
4	292.50	331.14	291.15	123.01	124.56			
4	292.30	331.14	291.13	(42.1 / 37.1 / 42.2)	(42.6 / 37.6 / 42.8)			
5	260.00	204.24	201 15	110.85	112.22			
3	260.00	294.34	291.15	(42.6 / 37.7 / 38.1)	(43.2 / 38.1 / 38.5)			
6	292.50	331.14	291.15	132.27	134.16			
0	292.30	331.14	291.13	(45.2 / 39.9 / 45.4)	(45.9 / 40.5 / 46.1)			
7	100.00	112.01	201.15	51.55	52.48			
/	100.00	113.21	291.15	(51.5 / 45.5 / 17.7)	(52.5 / 46.4 / 18.0)			
8	292.50	331.14	291.15	179.59	183.69			
8	292.30	331.14	291.13	(61.4 / 54.2 / 61.7)	(62.8 / 55.5 / 63.1)			
9	227.50	257.55	201 15	173.58	178.24			
9	227.30	237.33	291.15	(76.3 / 67.4 / 59.6)	(78.3 / 69.2 / 61.2)			
10	75.43	85.40	262.42	69.70	71.70			
10	73.43	83.40	202.42	(92.4 / 81.6 / 26.6)	(95.1 / 84.0 / 27.3)			
11	71.89	01.20	210.00	72.38	74.42			
11	/1.89	81.39	319.88	(<u>100.7</u> / 88.9 / 22.6)	(<u>103.5</u> / <u>91.4</u> / 23.3)			
12	88.40	100.00	201 15	82.49	84.73			
12	88.40	100.08	291.15	(93.3 / 82.4 / 28.3)	(95.9 / 84.7 / 29.1)			
13	96.64	109.41	395.14	63.90	65.57			
13	90.04	109.41	373.14	(66.1 / 58.4 / 16.2)	(67.8 / 59.9 / 16.6)			

2.3.5.3 吊索連鎖破壞模式

11 號吊索破壞

根據前小節分析結果,當油罐車通過 10 號吊索時,判斷 11 號吊索發生斷裂破壞,而該吊索的錨頭未產生破壞。在 11 號吊索斷裂前,橋面大梁最大下垂量約為 31.8 公分。油罐車通過 10 號吊索時吊索受力與橋梁變位

狀況分別如圖 2.3-28(b)與圖 2.3-29 所示。

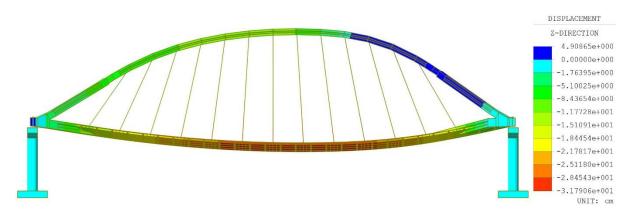


圖 2.3-29 油罐車達第 10 號吊索之橋梁變位

<u>10、12 號吊索破壞</u>

11 號吊索斷裂後,將其從分析模型中移除,接續分析可得缺少 11 號吊索時各吊索受力情形,分析結果顯示 10、12 號吊索拉力值皆超過降伏負載甚多,10 號吊索之拉力約為極限負載之 96 %,而 12 號吊索之拉力約為極限強度之 98 %,兩吊索之拉力皆未超過錨頭之極限強度,因此判定 10、12 號吊索產生斷裂破壞,而錨頭未破壞,其他吊索與錨頭皆未達破壞,此時橋面大梁最大下垂量約為 33.4 公分。11 號吊索斷裂後吊索受力與橋梁變位狀況如圖 2.3-30 所示。

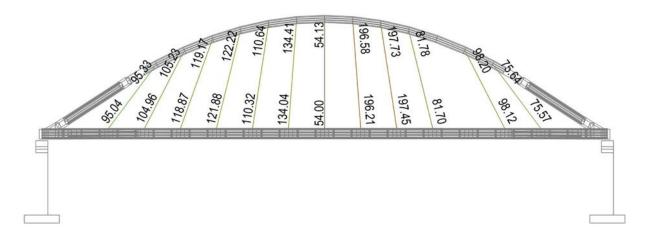


圖 2.3-30(a) 11 號吊索移除後吊索受力

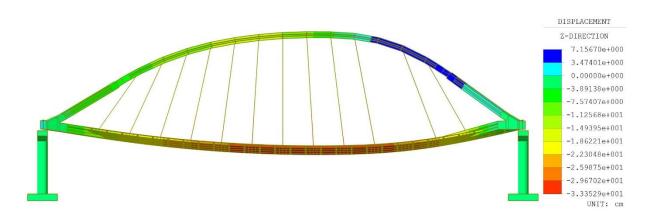


圖 2.3-30(b) 11 號吊索移除後橋梁變位

9、13號吊索破壞

將斷裂的 10、12 號吊索移除後再進行分析,結果顯示 9 號吊索拉力值 超過降伏負載及極限負載,而 13 號吊索拉力值超過降伏負載,且約為極限 負載之 98%,兩吊索之拉力皆未超過錨頭之極限負載,因此判定 9、13 號 吊索產生斷裂破壞,錨頭未損壞,其他吊索拉力皆未超過吊索與錨頭強度, 此時橋面大梁最大下垂量約 38.4 公分。10、12 號吊索斷裂後吊索受力與橋 梁變位狀況如圖 2.3-31 所示。

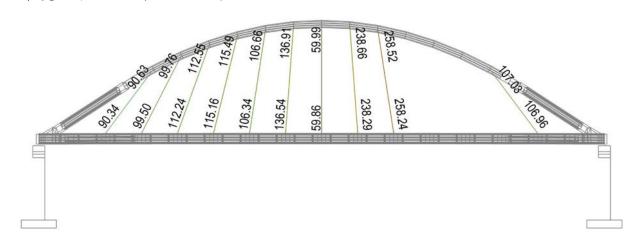


圖 2.3-31(a) 10、12 號吊索斷裂後吊索拉力

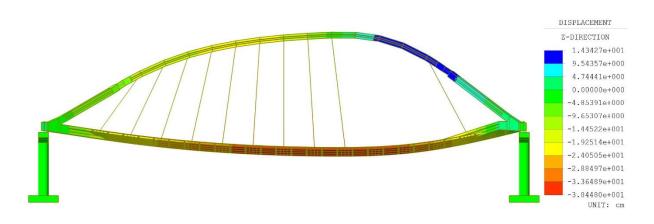


圖 2.3-31(b) 10、12 號吊索斷裂後橋梁變位

將斷裂之 9、13 號吊索移除後再進行分析,結果顯示 8 號吊索拉力值 超過降伏與極限負載,同時也超過錨頭極限負載,但超過錨頭極限負載之 比例,高於超過吊索極限負載之比例,因此其破壞模式為錨頭破裂破壞, 其他吊索拉力皆小於降伏與極限負載以及錨頭極限負載,此時橋面大梁最 大下垂量約為 54.3 公分。9、13 號吊索斷裂後吊索受力與橋梁變位狀況如 圖 2.3-32 所示。

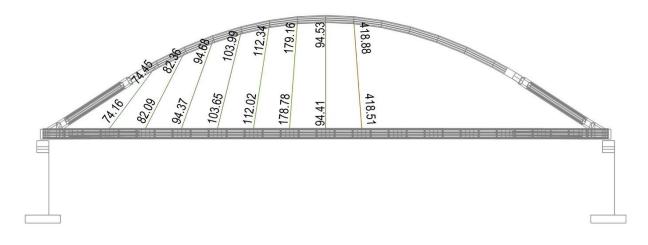


圖 2.3-32(a) 9、13 號吊索斷裂後吊索拉力

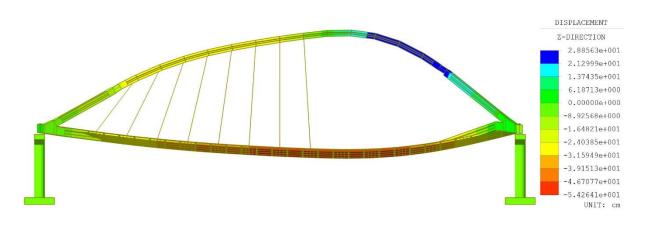


圖 2.3-32(b) 9、13 號吊索斷裂後橋梁變位

6、7號吊索破壞

將8號吊索移除後再分析,結果得知6號吊索拉力值雖然超越吊索降 伏與極限負載,亦超過錨頭極限負載,而超過錨頭極限負載比例高過於超 過吊索極限負載比例,因此其破壞模式判斷為錨頭破裂破壞;而7號吊索 拉力值超過吊索降伏負載及極限負載,但未超過錨頭極限負載,因此其破 壞模式判斷為吊索斷裂破壞,其他吊索拉力皆未超過降伏與極限負載,亦 未超過錨頭極限負載,此時橋面大梁最大下垂量約為85.4公分。8號吊索 破壞後吊索受力與橋梁變位狀況如圖2.3-33所示。

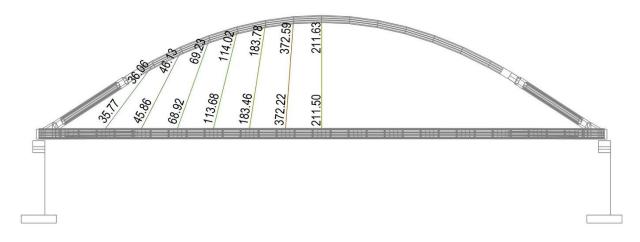


圖 2.3-33(a) 8 號吊索移除後吊索受力

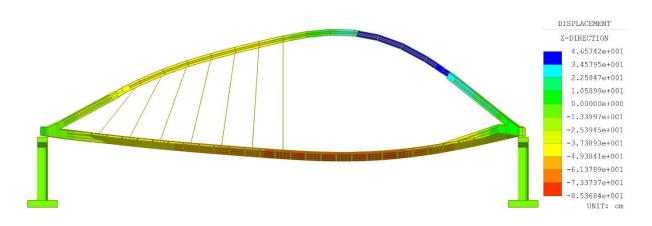


圖 2.3-33(b) 8 號吊索移除後橋梁變位

4、5號吊索破壞

將6、7號吊索移除後再分析,結果顯示4號吊索拉力值超過吊索降伏 負載,但未超過極限負載,其拉力值亦超過錨頭極限負載,因此其破壞模 式判斷為錨頭破裂破壞;而5號吊索拉力值超過吊索降伏與極限負載,亦 超過錨頭極限負載,由於超過錨頭極限負載的比例大於超過吊索極限負載 的比例,因此判斷5號吊索破壞模式為錨頭破裂,此時其他吊索拉力皆未 超過吊索與錨頭極限負載,此時橋面大梁最大下垂量約136.2公分。6、7號 吊索破壞後吊索受力與橋梁變位狀況如圖2.3-34所示。

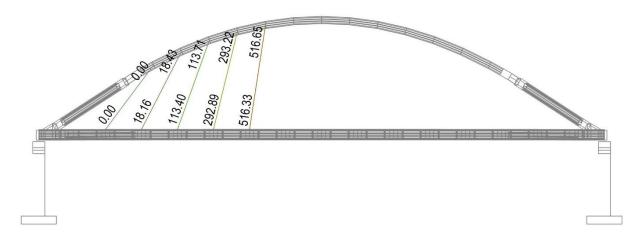


圖 2.3-34(a) 6、7 號吊索移除後吊索受力

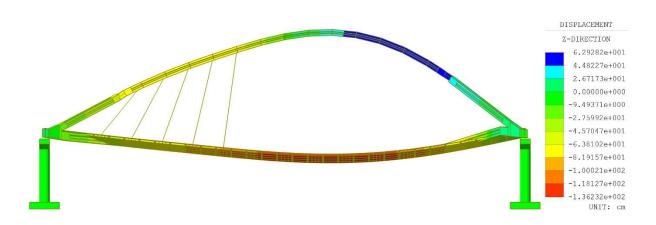


圖 2.3-34(b) 6、7號吊索移除後橋梁變位

將第4、5號吊索移除後再分析,結果顯示第3號吊索拉力值超越吊索 降伏與極限負載,亦超過錨頭極限負載,但超過錨頭極限負載比例高於超 過吊索極限負載比例,因此其破壞模式判斷為錨頭破裂破壞,其他吊索拉 力皆小於吊索與錨頭極限負載,此時橋面大梁最大下垂量約222.9公分。4、 5號吊索破壞後吊索受力與橋梁變位狀況如圖2.3-35所示。

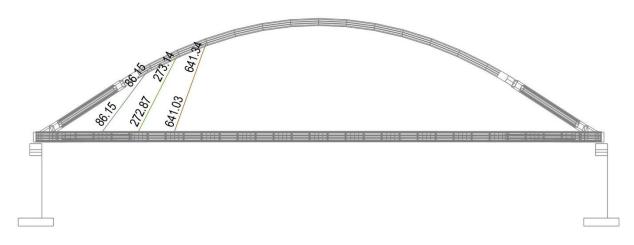


圖 2.3-35(a) 4、5 號吊索移除後吊索受力

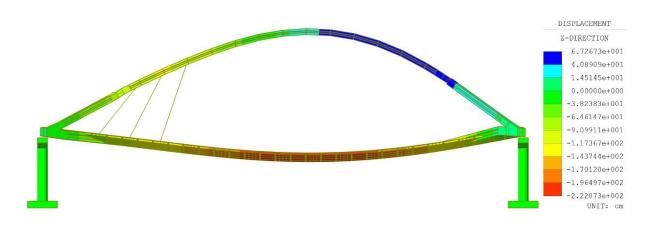


圖 2.3-35(b) 4、5 號吊索移除後橋梁變位

將 3 號吊索移除後再分析,結果顯示第 2 號吊索拉力值超越吊索降伏 與極限負載,亦超過錨頭極限負載,但超過錨頭極限負載比例高於超過吊 索極限負載比例,因此其破壞模式判斷為錨頭破裂破壞,此時橋面大梁最 大下垂量約 273.7 公分。3 號吊索破壞後吊索受力與橋梁變位狀況如圖 2.3-36 所示。

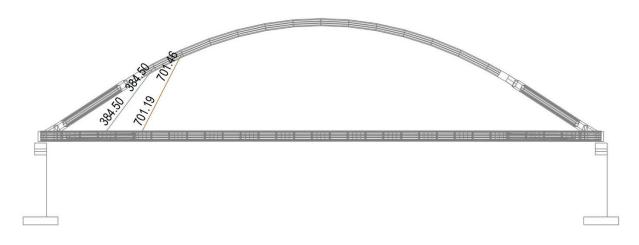


圖 2.3-36(a) 3 號吊索移除後吊索受力

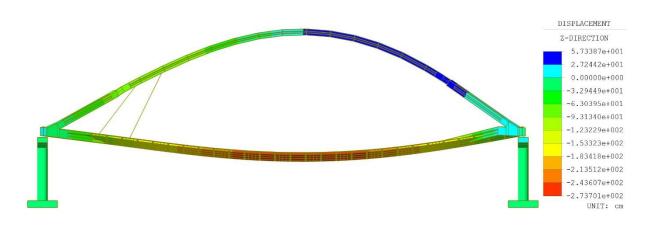


圖 2.3-36(b) 3 號吊索移除後橋梁變位

將2號吊索移除後再分析,結果顯示第1號吊索拉力值超越吊索降伏 與極限負載,亦超過錨頭極限負載,但超過錨頭極限負載比例高於超過吊 索極限負載比例,因此其破壞模式判斷為錨頭破裂破壞,此時橋面大梁最 大下垂量約332.6公分。2號吊索破壞後吊索受力與橋梁變位狀況如圖2.3-37所示。

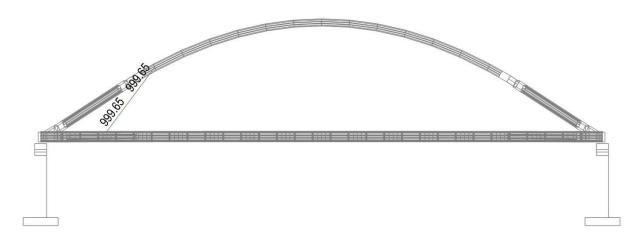


圖 2.3-37(a) 2 號吊索移除後吊索受力

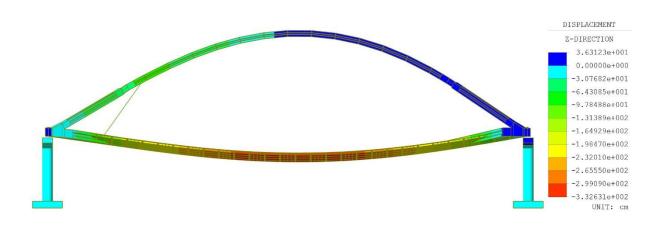


圖 2.3-37(b) 2 號吊索移除後橋梁變位

將上述分析之吊索拉力分布變化整理並比較,結果可見表 2.3-13 及表 2.3-14,而破壞順序及模式總整理可見表 2.3-15。

表 2.3-13 連鎖破壞之吊索拉力分布比較(1/2)

吊索編號	號 貝載(公 貝載(公		實際錨頭極限負載	載 (吊索降伏負載%/吊索極限負載%/實際錨頭極限負載%)						
₩ <i>™</i> ₩	噸)	噸)	(公噸)	11 號吊索破壞	10,12 號吊索破壞	9,13 號吊索破壞	8號吊索破壞			
1	382.49	433.02	395.14	96.82	95.33	90.63	74.45			
	502.19		370111	(25.3 / 22.4 / 24.5)	(24.9 / 22.0 / 24.1)	(23.7 / 20.9 / 22.9)	(19.5 / 17.2 / 18.8)			
2	292.50	331.14	291.15	106.98	105.23	99.76	82.36			
	272.50	331.14	271.13	(41.5 / 36.7 / 41.7)	(36.0 / 31.8 / 36.1)	(34.1 / 30.1 / 34.3)	(28.2 / 24.9 / 28.3)			
3	292.50	331.14	291.15	121.36	119.17	112.55	94.68			
3	292.30	331.14	291.13	(36.6 / 32.3 / 36.7)	(40.7 / 36.0 / 40.9)	(38.5 / 34.0 / 38.7)	(32.4 / 28.6 / 32.5)			
4	292.50	331.14	291.15	124.56	122.22	115.49	103.99			
4	292.30	331.14	291.13	(42.6 / 37.6 / 42.8)	(41.8 / 36.9 / 42.0)	(39.5 / 34.9 / 39.7)	(35.6 / 31.4 / 35.7)			
5	260.00	294.34	291.15	112.22	110.64	106.66	112.34			
3	200.00	<i>294.34</i>	291.13	(43.2 / 38.1 / 38.5)	(42.6 / 37.6 / 38.0)	(41.0 / 36.2 / 36.6)	(43.2 / 38.2 / 38.6)			
6	292.50	331.14	291.15	134.16	134.41	136.91	179.16			
0	292.30	JJ1.1 4	291.13	(45.9 / 40.5 / 46.1)	(46.0 / 40.6 / 46.2)	(46.8 / 41.3 / 47.0)	(61.3 / 54.1 / 61.5)			
7	100.00	113.21	291.15	52.48	54.13	59.99	94.53			
/	100.00	113.21	291.13	(52.5 / 46.4 / 18.0)	(54.1 / 47.8 / 18.6)	(60.0 / 53.0 / 20.6)	(94.5 / 83.5 / 32.5)			
8	292.50	331.14	291.15	183.69	196.58	238.66	418.88			
O	292.30	331.14	291.13	(62.8 / 55.5 / 63.1)	(67.2 / 59.4 / 67.5)	(81.6 / 72.1 / 82.0)	(<u>143.2</u> / <u>126.5</u> / <u>143.9</u>)			
9	227.50	257.55	291.15	178.24	197.73	258.52				
9	227.30	237.33	291.13	(78.3 / 69.2 / 61.2)	(86.9 / 76.8 / 67.9)	(<u>113.6</u> / <u>100.4</u> / 88.8)	(/ /)			
10	75.43	85.40	262.42	71.70	81.78					
10	73.43	83.40	202. 4 2	(95.1 / 84.0 / 27.3)	(<u>108.4</u> / <u>95.8</u> / 31.2)	(/ /)	(/ /)			
11	71.89	81.39	319.88	74.42						
11	/1.89	81.39	319.88	(<u>103.5</u> / <u>91.4</u> / 23.3)	(/ /)	(/ /)	(/ /)			
12	88.40	100.00	291.15	84.73	98.20					
12	88.40	100.08	291.13	(95.9 / 84.7 / 29.1)	(<u>111.1</u> / <u>98.1</u> / 33.7)	(/ /)	(/ /)			
13	96.64	109.41	395.14	65.57	75.64	107.03				
13	90.04	107.41	393.14	(67.8 / 59.9 / 16.6)	(78.3 / 69.1 / 19.1)	(<u>110.8</u> / <u>97.8</u> / 27.1)	(/ /)			

表 2.3-14 連鎖破壞之吊索拉力分布比較(2/2)

吊索	吊索降伏	吊索極限	實際錨頭			吊索拉力分布(公噸)				
編號	負載(公	負載(公	極限負載		(吊索降伏負載%	/吊索極限負載%/實際銓	苗頭極限負載%)			
%刑 沙心	噸)	噸)	(公噸)	第6,7號吊索破壞	第 4,5 號吊索破壞	第3號吊索破壞	第2號吊索破壞	第1號吊索破壞		
1	202.40	433.02	395.14	36.06	0.00^{25}	86.15	384.50	999.65		
1	382.49	433.02	393.14	(9.4 / 8.3 / 9.1)	(0.0 / 0.0 / 0.0)	(22.5 / 19.9 / 21.8)	(<u>100.5</u> / 88.8 / 97.3)	(<u>261.3</u> / <u>230.9</u> / <u>253.0</u>)		
2	202.50	331.14	201.15	46.13	18.43	273.14	701.46			
2	292.50	331.14	291.15	(15.8 / 13.9 / 15.8)	(6.3 / 5.6 / 6.3)	(93.4 / 82.5 / 93.8)	(<u>239.8</u> / <u>211.8</u> / <u>240.9</u>)	(/ /)		
3	292.50	331.14	291.15	69.23	113.71	641.34				
3	292.50	331.14	291.13	(23.7 / 20.9 / 23.8)	(38.9 / 34.3 / 39.1)	(<u>219.3</u> / <u>193.7</u> / <u>220.3</u>)	(/ /)	(/ /)		
4	292.50	331.14	291.15	114.02	293.22					
4	292.50	331.14	291.13	(39.0 / 34.4 / 39.2)	(<u>100.2</u> / 88.6 / <u>100.7</u>)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
5	260.00	204.24	204.24	294.34	291.15	183.78	516.65			
3	200.00	294.34	291.13	(70.7 / 62.4 / 63.1)	(<u>198.7</u> / <u>175.5</u> / <u>177.4</u>)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
6	292.50	331.14	291.15	372.59						
0	292.30	331.14	291.13	(<u>127.4</u> / <u>112.5</u> / <u>128.0</u>)	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
7	100.00	113 21	113.21	291.15	211.63					
/	100.00	113.21	291.13	(<u>211.6</u> / <u>186.9</u> / 72.7)	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
8	292.50	331.14	291.15							
0	292.30	331.14	291.13	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
9	227.50	257.55	291.15							
	227.50	237.33	271.13	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
10	75.43	85.40	262.42							
	, , , , ,			(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
11	71.89	81.39	319.88							
				(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
12	88.40	100.08	291.15	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)			
				(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
13	96.64	109.41	395.14	 (/ /)	 (/ /)	(/ /)	(/ /)	(/ /)		
				(/ /)	(/ /)	(/ /)	(//	(/ /)		

²⁵ 分析模型設定吊索僅受正向拉力,數值為0代表當時受反向拉力。

表 2.3-15 分析所得之破壞模式與順序

	破壞	模式									
吊索編號	吊索斷裂	錨頭破裂	破壞順序								
1		0									9 th
2		0								8 th	
3		0							7 th		
4		0						6 th			
5		\circ						6 th			
6		0					5 th				
7	0						5 th				
8		0				4 th					
9	0				3 rd						
10	0			2 nd							
11	0		1 st								
12	0			2 nd							
13	0				3 rd						

2.3.5.4 檢核各階段橋梁鋼構應力

各吊索產生連鎖破壞之過程中,同時對各階段檢核其鋼構斷面上下緣 應力,確認是否達到降伏或極限強度,分析結果如下敘述。

11 號吊索破壞前

當油罐車達 10 號吊索位置且 11 號吊索破壞前,鋼構斷面上下緣應力皆未超過降伏強度及極限強度。

剩餘1至7號吊索

當剩餘第1至7號吊索時,鋼構斷面上下緣應力仍未超過降伏強度及 極限強度。

剩餘1至5號吊索

當剩餘1至5號吊索時,鋼構斷面上緣最大受壓應力已超過降伏強度, 但未超過極限強度,如圖2.3-38及表2.3-16所示。

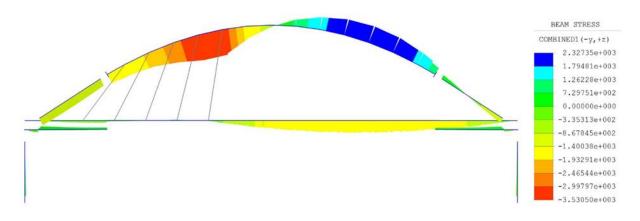


圖 2.3-38(a) 剩餘 1 至 5 號吊索時鋼構斷面上緣應力

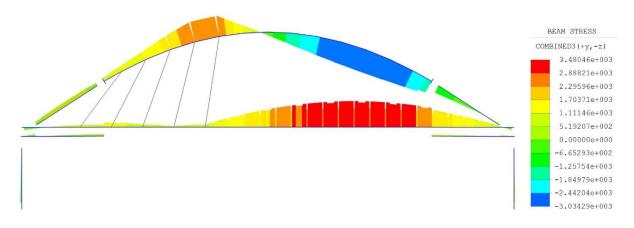


圖 2.3-38(b) 剩餘 1 至 5 號吊索時鋼構斷面下緣應力

表 2.3-16 剩餘 1 至 5 號吊索時鋼構最大應力

细堆	-	極值	降伏強度	極限強度	與降伏強度	與極限強度
鋼構斷面位置		(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	應力比(%)	應力比(%)
上緣	受拉	2,327.35			66.2	47.1
上隊	受壓	-3,530.50	3,518.02	4 045 62	100.4	71.4
下緣	受拉	3,480.46		4,945.62	98.9	70.4
「豚	受壓	-3,034.29			86.2	61.4

剩餘1至2號吊索

當剩餘 1 至 2 號吊索時,鋼構斷面上緣最大受壓應力超過降伏強度,但不超過極限強度;而下緣最大受拉應力已超過降伏及極限強度,如圖 2.3-39 及表 2.3-17 所示。

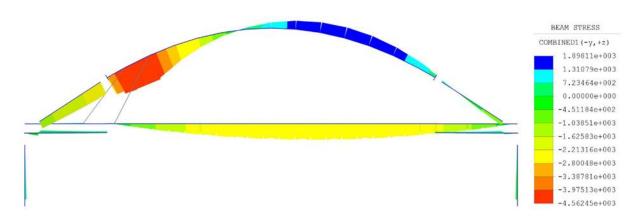


圖 2.3-39(a) 剩餘 1 至 2 號吊索時鋼構斷面上緣應力

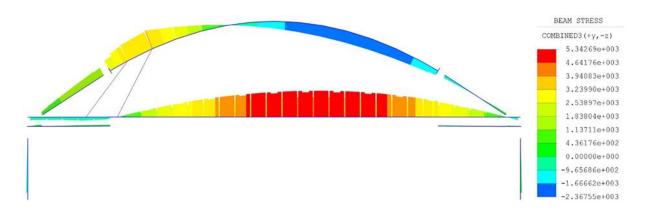


圖 2.3-39(b) 剩餘 1 至 2 號吊索時鋼構斷面下緣應力

表 2.3-17 剩餘 1 至 2 號吊索時鋼構最大應力

鋼構斷面位置		極值	降伏強度		與降伏強度	
		(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	應力比(%)	應力比(%)
上緣	受拉	1,897.87			53.9	38.4
上隊	受壓	-4,561.90	3,518.02	4 045 62	129.7	92.2
下緣	受拉	5,342.67		4,945.62	151.9	108.0
下隊	受壓	-2,367.27			67.3	47.9

全數吊索失效

全數吊索失效後檢核鋼構應力,結果顯示橋面大梁鋼構應力顯著高於 拱架,橋面大梁斷面最大拉應力顯著超過降伏及極限強度,部分受壓應力 超過降伏強度,判斷橋面大梁產生鋼構斷裂破壞,部分區域受壓挫屈破壞, 鋼構應力分析結果如圖 2.3-40 及表 2.3-18 所示。

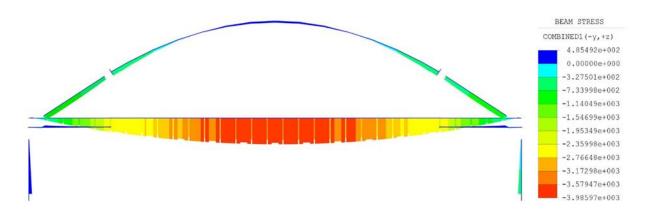


圖 2.3-40(a) 吊索全部失效時鋼構斷面上緣應力

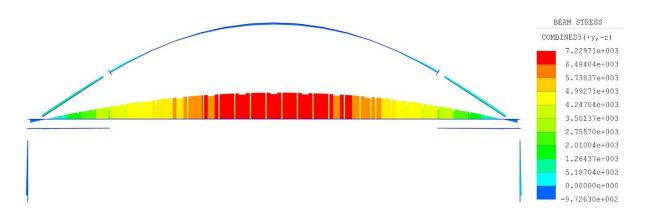


圖 2.3-40(b) 吊索全部失效時鋼構斷面下緣應力

表 2.3-18 吊索全部失效時鋼構最大應力

鋼構斷面位置		極值	降伏強度	極限強度	與降伏強度	
		(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	應力比(%)	應力比(%)
上緣	受拉	485.49	3,518.02	4,945.62	13.8	9.8
	受壓	-3,985.97			113.3	80.6
下緣	受拉	7,229.71			205.5	146.2
	受壓	-972.63			27.6	19.7

2.3.5.5 小結

吊索連鎖破壞分析之結果顯示,油罐車在通過 10 號吊索時,橋梁因 11 號吊索斷裂產生連鎖破壞,破壞順序為:11 號吊索斷裂→10、12 號吊索斷裂→9、13 號吊索斷裂→8 號錨頭破裂→6 號錨頭破裂及7 號吊索斷裂→4、5 號錨頭破裂→3 號錨頭破裂→2 號錨頭破裂→1 號錨頭破裂,而當連鎖破壞進行至剩下1至5 號吊索時,橋梁鋼構部分開始降伏,而剩下1至2 號吊索時,橋梁鋼構部分區域達到極限強度,開始產生破壞,當吊索全部破壞時,鋼構橋面大梁將產生大區域的破壞。

2.4 橋梁維護與管理

2.4.1 橋梁維管法規

依據我國公路法,公路指國道、省道、市道、縣道、區道、鄉道、專用公路及其用地範圍內之各項公路有關設施,而公路主管機關在中央為交通部,在直轄市為直轄市政府,在縣(市)為縣(市)政府,並應負責轄下公路之養護。另依公路修建養護管理規則,公路養護業務範圍包含橋梁,公路法中所定義的公路主管機關為加強公路橋梁檢測維護作業,應建立橋梁管理系統,並負責其轄下橋梁之檢測及養護作業。

南方澳大橋位於蘇澳港商港區域內,為蘇澳港之公共基礎設施,屬於港區道路,未歸類於公路法定義之國道、省道、市道、縣道、區道、鄉道及專用公路等各類公路中,故依我國現行法規,南方澳大橋並無公路法定義之公路主管機關應依公路橋梁相關檢測及養護規範負責該橋之維管作業。

南方澳大橋於完工至斷橋前,共執行過7次依公路養護手冊及相關規

範辦理之定期檢測作業。而斷橋前約3年又5個月的時間,未有任何單位 辦理過南方澳大橋之定期檢測。各有關單位包括港務公司、交通部、宜蘭 縣政府等,對於南方澳大橋道路屬性、維管權責、維管主管機關之看法及 說明如下。

港務公司認為,南方澳大橋屬於蘇澳港跨港路之道路設施,而跨港路係屬蘇澳鎮供公眾通行於南建里與南安里、南正里之道路(前後銜接造橋路與江夏路),位於蘇澳商港管制區外,非屬專用公路,且依橋梁管理資訊系統及宜蘭縣政府委託健行科技大學所辦理 105 年度橋梁檢測報告之記載,南方澳大橋(跨港路)之道路等級為『市區道路』。故不論南方澳大橋屬『市區道路』,或非屬公路系統之『村里道路』,皆應由地方政府即宜蘭縣政府主管。

交通部資料²⁶顯示,因跨港路(含南方澳大橋)非屬港區專用道路,前蘇澳港分局於民國 87 年 10 月函請前公路局四工處將南方澳大橋併入台二線省道延長線系統,以利管理事權一致原則,惟前公路局四工處表示「地方政府尚未承諾,暫時無法接管」。前基隆港務局蘇澳港分局於民國 97 年 9 月召開「蘇澳港南方澳大橋及轄屬道路規劃案」,宜蘭縣政府及蘇澳鎮公所未同意承接。依航政司訪談紀錄,南方澳大橋並非給港區的作業車輛專用,有當地交通的需求,亦供一般民眾通行,商港另有管制區,大橋位於商港管制區外,但在商港區域的範圍內,為港區的道路。

宜蘭縣政府則表示,該府僅係受託代辦南方澳大橋興建工程,自民國 87年大橋驗收後即交予前基隆港務局。自民國 90年至民國 105年間因以 為該橋管理機關為蘇澳鎮公所,故行政協助鎮公所及配合交通部評鑑規定, 將該橋一併辦理7次目視檢測,並非基於公路主管機關或橋梁管理機關立 場。

南方澳大橋之產權屬於前基隆港務局,多年來該局嘗試將南方澳大橋 納入省道台二線,協調前臺灣省交通處公路局及宜蘭縣政府接管,但皆未

²⁶ 監察院糾正案文:109 交正 0003 案號。

能有結果,各單位對南方澳大橋之道路屬性及路權並無共識。在南方澳大橋所屬道路多年來皆不屬於公路系統之情況下,造成無公路主管機關需依相關規範負責南方澳大橋之維管作業。

蘇澳港為國際商港,由交通部設港務公司經營及管理;管理事項涉及公權力部分,由航港局辦理。南方澳大橋位於蘇澳港商港區域內,其港區公共道路應屬航港局委託港務公司興建維護範圍,而航港局及港務公司均隸屬交通部,港區公共道路亦應屬交通部管轄範圍。然依交通部主管之公路法,該部僅負責國道及省道之養護及檢測,並未包括所屬機關之港區道路,或其他非屬公路系統之道路橋梁。將造成該部轄下仍有如南方澳大橋之其他橋梁未納入維管範圍之狀況。

2.4.2 國際商港公共基礎設施維管機制

由於南方澳大橋所屬道路非屬公路系統,不適用於公路法及公路修建 養護管理規則中,公路主管機關對其轄下橋梁之檢測及養護作業相關規範。 故本節以國際商港區域內公共基礎設施及財產歸屬之維修作為,討論大橋 財產管理機關之管理權責。

南方澳大橋興建完成後,宜蘭縣政府即將財產移撥予前基隆港務局。 民國 101 年航港體制變革,分別成立航港局及港務公司,將公共基礎財產 均登記於航港局,並由航港局無償提供港務公司使用,因此前基隆港務局 亦將該橋財產移撥予航港局,故事故發生時由航港局擔任財產管理機關。

依國有財產法第25條²⁷,管理機關²⁸對其經管之國有財產,應注意保養 及整修。航港局即依商港法第10條²⁹,與港務公司簽訂「國際商港區域內 公共基礎設施與建維護委託辦理契約書」,自民國101年3月1日起將國際

²⁷ 管理機關對其經管之國有財產,除依法令報廢者外,應注意保養及整修,不得毀損、棄置。

²⁸ 國有財產法第 11 條:『公用財產以各直接使用機關為管理機關,直接管理之。』

²⁹ 國際商港區域內各項設施,除防波堤、航道、迴船池、助航設施、公共道路及自由貿易港區之資訊、門哨、管制設施等商港公共基礎設施,由政府委託商港經營事業機構興建維護外,得由商港經營事業機構興建自營,或由公民營事業機構以約定方式投資興建或租賃經營。

商港區域內公共基礎設施之興建與維護委託港務公司辦理。檢視契約書內容,與如何進行興建維護委託方式有關之說明,於第三條乙方之義務中提及「乙方(即港務公司)應本於善良管理人之注意義務辦理委託事項...」,對於如橋梁等公共基礎設施之具體維護方式,於契約中並未說明。

另依契約內容,「甲方應審核確認乙方所提辦理本契約委託國際商港公 共基礎設施資本支出事項之費用項目資料。」以及「甲方應編列前款審核 確認之委託事項所需預算,並依乙方預估或實際執行進度撥付。」,亦即航 港局主要之義務為審核並編列港務公司所提之支出事項費用。航政司訪談 紀錄亦顯示,航港局對於港務公司之維護及管理,主要是審核其預算執行 相關資料。以上資料顯示,對於港區內南方澳大橋之維護方式,航港局未 提供港務公司維護作業相關注意事項或文件資料,港務公司亦未提出維護 及檢測計畫。

資料顯示,前基隆港務局及港務公司於南方澳大橋興建工程保固期滿維修完成後,自民國94年至民國107年間,共進行60項³⁰橋梁維護工程,然各項維護工程中,除2次主橋油漆工程及1次AC瀝青鋪面刨除重鋪工程外,其他多屬例行巡查及維修之小工程。

由於南方澳大橋未被歸於公路系統道路所屬橋梁,大橋財產管理機關航港局,港區內公共基礎設施興建與維護之受委託單位港務公司,皆非法定之公路主關機關,未能了解橋梁相關維護及檢測規定,故未依循交通部頒布之相關橋梁檢測及補強規範進行養護,亦未依相關規範針對特殊橋梁訂定南方澳大橋之檢測項目及檢測方式,對該橋進行檢測作業。

2.4.3 交通部外各部會橋梁維管機制

為釐清除交通部外其他各部會對於特殊橋梁之維管機制,本會發函事故發生當時尚未將轄內橋梁納入 TBMS 系統之各部會31,函詢各單位所屬

³⁰ 其中民國 94 年至 101 年間,前基隆港務局共計進行 18 項,航港體制變革後,民國 102 年至 107 年間,港務公司共計進行 42 項。

³¹ 計有內政部營建署、科技部、教育部、文化部、經濟部工業局、經濟部水利署、經濟部國營事業委員會、交通部民用航空局、交通部觀光局、港務公司、桃園機場公司、原住民委員會、農委會林務局、

之車行橋數量、特殊橋數量、橋梁養護法規依據、特殊橋梁檢測方式及頻率,以及有無電子化之橋梁管理系統等。資料顯示,事故發生時,除交通部外之各部會共計有104座車行橋,其中包括9座特殊橋梁,未被納入TBMS系統中。事故時各單位皆無獨自的橋梁養護法規,大多參照交通部函頒之「公路橋梁檢測及補強規範」;各單位對於特殊橋的檢測方式採日常巡檢、目視/定期檢測、特殊檢測等,頻率則有每3月1次、每1年1次及每2年1次之分別;且各單位皆無各自之電子化橋梁管理系統。

以上資料顯示,除交通部及地方政府所轄管之橋梁外,各單位未訂定 獨自之橋梁養護法規或規範,部分單位參照交通部部頒之檢測規範,對於 特殊橋梁有各自的檢測方式及頻率,全國無統一之作法。

我國公路系統之養護相關規定包含公路法、公路修建養護管理規則、公路養護規範以及公路橋梁檢測及補強規範等,然國內除交通部及地方政府所轄管之橋梁已納入公路系統,可依循公路法等相關規定進行橋梁養護作業,其他單位轄管橋梁因不屬於公路系統而無公路橋梁相關養護規範作為橋梁養護與檢測之參考。

另針對特殊性橋梁,參照事故當時交通部所函頒之「公路養護規範」及「公路橋梁檢測及補強規範」,公路養護單位應對特殊性橋梁訂定特殊橋梁之檢測方式、檢測項目以及檢測頻率等,然交通部函頒規範主要是規定屬於公路系統之交通部轄下單位或是地方政府轄管之橋梁,對於其他部會而言,因轄下橋梁不屬於公路系統,不受公路法相關規定制約,雖可參照交通部規範制定各自的特殊性橋梁檢測方式,但資料顯示,未有其他部會參照上述規範訂定各自的特殊性橋梁檢測方式。亦即,我國目前以公路法規範交通部及地方政府轄管之橋梁,無其他法規或機制統管全國各部會轄管橋梁之養護方式。而各部會缺乏與交通部相同或相對完整的養護相關之法規或規範,造成養護方式上之差異,進而增加橋梁養護不完善之風險。

綜上所述,除交通部及地方政府所轄管之橋梁外,其他部會之橋梁因

國軍退輔會等單位。

非屬公路系統,未有與交通部相同或相對完整的養護相關之法規或規範,全國未有統一之橋梁養護做法,造成各單位可能無法有效地對轄管橋梁進行維管。

2.5 橋梁檢測

事故發生後調查小組檢視大橋殘骸,發現位於主橋預力系統下方端錨處,有多組連接端錨之吊索呈現鏽蝕之狀況,進一步發現部分端錨承壓板上方有積水之狀況(如 1.9.5.2 節所述),比對承壓板積水之水線與吊索鏽蝕位置,發現積水之水線與吊索鏽蝕處相吻合,可以推論吊索鏽蝕之原因與承壓板上方長期間積水有關。依據調查小組所收集之資料,除了港務公司對大橋進行例行巡查及一般性養護工程外,僅有宜蘭縣政府於民國 90 年至 105 年辦理過 7 次南方澳大橋定期檢測作業,故調查小組探討橋梁定期檢測之方式及民國 105 年以後為何未對大橋進行檢測之原因。據此,本節分為宜蘭縣政府歷年檢測情形、民國 105 年後之檢測情形以及橋梁檢測人員資格及培訓等議題進行分析。

2.5.1 宜蘭縣政府歷年檢測情形

根據南方澳大橋歷年檢測資料,宜蘭縣政府自民國 90 年至民國 105 年間共辦理 7 次南方澳大橋定期檢測作業,直至民國 105 年宜蘭縣政府發覺蘇澳鎮公所並非南方澳大橋之管理機關,遂於同年 10 月函請運研所更改管理機關為港務公司,民國 105 年 11 月後 TBMS 內之改為港務公司,此後至南方澳大橋斷裂事故發生時,未有機關(構)對大橋進行檢測作業。

前述7次南方澳大橋定期檢測作業皆為目視檢測,其中僅民國98年由 亞新進行目視檢測時,檢測人員曾進入大橋箱梁中進行目視檢測,並記錄 鋼箱梁內銹蝕之檢測結果,未有主橋預力系統之相關檢測紀錄。其他6次 目視檢測,皆無檢測人員進入大橋箱梁中進行目視檢測之紀錄。

針對特殊性橋梁之檢測方式,交通部於民國 97 年及民國 101 年曾頒布「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」與「公路養護規範」,內容皆提及針對特殊性橋梁之檢測,應由主管機關依橋梁特性、現地狀況及養護條件參

照相關規範另訂之。

由於南方澳大橋所屬道路不屬於公路系統,造成無公路主管機關應遵 照交通部頒布之「公路橋梁檢測及補強規範」與「公路養護規範」,負責南 方澳大橋之維管作業,並針對南方澳大橋訂定特殊性橋梁檢測方式進行橋 梁檢測。僅宜蘭縣政府自民國 90 年至民國 105 年間因以為該橋管理機關為 蘇澳鎮公所,故行政協助鎮公所及配合交通部評鑑車行橋梁規定,以定期 檢測之方式對包括南方澳大橋之所有轄內橋梁進行目視檢查,藉由全面性 的目視檢測,提供各公所掌握所管橋梁一般性損壞情形,未能達到以特別 檢測方式檢查特殊橋梁,以發掘特殊橋梁潛在性風險之目的。

2.5.2 民國 105 年後之檢測情形

民國 105 年 11 月,南方澳大橋於 TBMS 內之管理機關由宜蘭縣政府 更改為港務公司,港務公司雖曾去函運研所說明產權為航港局,供辦理登 錄橋梁管理資訊系統時參考,運研所認為無應立即配合辦理事項,收文後 存查該函,南方澳大橋於 TBMS 登錄之管理機關仍為港務公司。其後未有 任何單位再對南方澳大橋進行定期檢測。

民國 105 年 4 月為南方澳大橋最後一次定期檢測,至事故發生時,已 逾公路橋梁檢測相關規範之 2 年定檢週期,對 TBMS 系統對於未依期限登 錄橋梁檢測結果之告警及控管機制,運研所表示,依近年橋梁評鑑結果, 各縣市政府橋梁檢測率平均已達 99%以上,而維修率雖逐年提升,仍只達 67%,故 TBMS 過去只提供未維修橋梁的警告,未有未檢測橋梁之警告機 制。TBMS 原使用單位僅交通部所屬部分機關及各縣市政府,事故後,行 政院指示擴大提供各部會(包括內政部、經濟部、教育部、文化部、科技 部、農委會、退輔會、原民會)使用,請各單位本於權責進行橋梁管理。同 時為讓橋梁維管機關適時掌握轄管橋梁檢測及維修情形,並據以管控,運 研所已請 TBMS 維護團隊規劃設計於系統登入後之頁面及統計儀表板專區 提供「近 2 年度迄今尚未檢測橋數」及「尚未維修橋數」資訊,定期以電 郵方式寄送通知橋管單位。 查交通部曾於民國 105 年 6 月訂定「臺灣地區橋梁維護管理作業督導考核及評鑑實施要點」,其中規定橋梁維護管理作業包括橋梁之基本資料建立,而各單位所使用來管理橋梁基本資料之工具即為 TBMS,藉由定期檢測完成 TBMS 中橋梁基本資料之登錄,該要點明定督導考核對象為高公局、公路總局及臺鐵局;評鑑對象為各直轄市、縣(市)政府³²。民國 105 年 11 月南方澳大橋於 TBMS 內之管理機關由宜蘭縣政府更改為港務公司,由於港務公司並非該要點中之督導考核或評鑑對象,故亦未能藉由督導考核或評鑑作業過程,發覺南方澳大橋未依時程進行定期檢測。

2.5.3 橋梁檢測人員資格及培訓

檢視我國歷年來對於橋梁檢測人員資格相關之規定,僅有交通部於民國 97 年 12 月頒訂之「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」中敘明檢測人員應具備相關資格³³,未有檢測人員培訓相關規定。交通部於民國 106 年 5 月,依據公路修建養護管理規則第 10 條³⁴,頒訂「交通部公路橋梁檢測人員資格與培訓要點」,始有較完整之檢測人員資格與培育制度,及對專業培訓之相關要求。檢視該要點中規定初訓與回訓應包含之課程內容³⁵,未包含特殊性橋梁檢測相關課程。

針對人員培訓課程內容之規劃,運研所表示,培訓課程係以一般性混 凝土橋梁及鋼結構橋梁定期檢測作業內容為主。對於特殊性橋梁,規範則 說明可由公路養護管理機關、公路養護單位依橋梁特性、現地狀況及養護

32 基於橋梁維護管理資源及作業方式差異,高公局、公路總局及臺鐵局自行辦理督導考核所屬各工務 段橋梁維護管理作業;各直轄市、縣(市)政府橋梁維護管理作業評鑑則由交通部運輸研究所邀請內政 部辦理。

³³ 檢測人員應宜以具鋼結構橋梁工程之實務經驗者;或經由橋梁管理機關或其認可之專業機構訓練合格者;或通過國家相關考試並取得專門技術人員資格者為佳。

³⁴ 公路主管機關,為加強公路橋梁檢測維護作業,應建立橋梁管理系統。前項橋梁檢測之制度、方法、頻率及檢測人員之資格與培訓、簽證制度要點,由中央公路主管機關統一訂定。

³⁵ 第 4 點「初訓內容應含公路養護規範、公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範、公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範、臺灣地區橋梁管理資訊系統操作及現地實橋檢測訓練。回訓內容由培訓機關依橋梁檢測之新技術、新法規或相關發展趨勢排定。教材由培訓機關與橋梁檢測實務機關會審編定,講師宜具備橋梁檢測實務經驗,培訓機關應依實務需要及培訓成效定期檢討教材內容及講師名單,訓練容及成果應適度對外公開。」

條件,參照該規範另訂檢測及養護規定。初訓課程內容應含現地實橋檢測訓練,操作過程是擇一現地實橋方式演練,供學員現地操作目視檢測作業;但考量授課時程、經費及學員管理與安全(進入箱梁或拱架內等局限空間有高風險性),故場地選擇主要是為梁底淨高較低、操作環境無車輛通行,可供學員於橋下即可進行相關目視檢測作業訓練。以上資料顯示,培訓課程未包含特殊性橋梁檢測相關內容,實橋檢測訓練亦未要求學員需進入箱梁或拱架等局限空間內進行檢測。

公路總局具有豐富橋梁檢測經驗之檢測人員表示,若僅以目視方式進 行橋梁檢測,需有相當之橋檢經驗或具有敏銳觀察力且細心之人員始能由 橋梁外部之狀況推測內部之劣化問題。另管理單位亦需有特殊橋梁管理之 敏感度,如有發現外部劣化情形,則須安排詳細檢測以釐清內部損壞程度。

本會認為,如南方澳大橋此類特殊性橋梁,其多數重要構件設置於大 橋箱梁或吊索套管內,僅靠外部之目視檢測甚難發現內部劣化情形,若僅 依照一般性橋梁之培訓課程,無法確保檢測人員具有辦理特殊性橋梁檢測 之能力。

2.6 橋梁其他議題

有關載運消坡塊對橋梁荷重之影響,除 2.3.3 節之工程計算外,調查小組檢視車輛總重限制相關規定。另討論有關南方澳大橋瀝青鋪面高度之議題以釐清事故後路面鑽心檢測平均厚度高於設計值之原因,分析如下。

2.6.1 維管單位之管理

依據 1.11.4 節資料,港務公司曾辦理過 4 次堤防消波塊運輸工程,其中以民國 106 年 11 月至 107 年 11 月「蘇澳港外廓防波堤災損修復工程(含漁港外堤)」載運 40 公噸消波塊之車輛載重為最重。

依據「道路交通安全規則」附件十一車輛總重量及總聯結重量限制之 規定,前單軸後單軸曳引車總聯結重量限制為35公噸;前單軸後雙軸曳引 車總聯結重量限制為43公噸,而由調查小組所收集到之照片資料顯示,載 運 40 公噸雙 T 消波塊工程所使用之載運車輛為前單軸後單軸曳引車,連結後雙軸半拖車,加上載運板車之重量,總重達 54 公噸³⁶ (消波塊 40 噸、貨車 14 噸,合計 54 噸),無論載運消波塊之車種為前單軸後單軸亦或是前單軸後雙軸之曳引車,皆超過超過道路交通安全規則之限制。

依據「道路交通安全規則」第82條規定,裝載物品後不得超過曳引車 核定之總聯結重量及拖架核定之總重量,如超過者應依規定,向公路監理 機關申請核發臨時通行證。對於車輛載運消波塊超重狀況,承包廠商未依 上述規定向公路監理機關申請核發臨時通行證,未評估超載之消波塊車輛 是否會影響橋梁荷重。

2.6.2 瀝青鋪面高度

南方澳大橋斷橋後,由宜蘭地檢署委請顧問公司進行主橋鋪面鑽心取樣,檢測後得知主橋鋪面厚度有 9.6 至 17.5 公分不均等之情形,與竣工圖內所要求之鋪面厚度 8.2 至 9 公分有將近 2 倍之差距,依據 2.3.2 節分析,雖多出之鋪面厚度雖對橋梁靜載重最多增加 2.6%,但對於實際狀況與竣工圖不一致之情形,將於本小節內探討。

南方澳大橋建置之相關資料並無留存鋪面鑽心檢測之紀錄,查民國87年8月12至14日之初驗紀錄提及有關鋪面部分為:「入口槽化AC路面抽驗厚度不足,應加鋪厚度2.5公分以上」,並無其他文字提及主橋範圍抽驗厚度為何;經檢視竣工之結算明細表,其標示主橋範圍所用之瀝青混凝土為241.92公噸,依據主橋道路面積為1,269.59平方公尺推算可鋪設之平均厚度約8.3公分,符合竣工圖內規定之鋪面厚度8至9.2公分之間。

經查歷年與事故橋梁鋪面相關之工程,僅有於民國 106 年辦理 1 次「南方澳大橋與銜接引道段既有道路鋪面及伸縮縫改善」工程。查該次工程之結算明細表及驗收紀錄,顯示全工程(含引道上游路面、引道及主橋)之道路面積為 8,565.53 平方公尺,瀝青混凝土鋪面之用料計價 427 立方公尺,

271

³⁶ 依據港務公司所提供消波塊載運說明資料,載運消波塊之空車重量為14公噸。

以其推算可鋪設之平均厚度約 4.985 公分,另依據 1.11.1.2 小節所敘述之 9 處鑽心檢測結果平均為 6.8 公分,雖高於契約內之設計值 1.8 公分,惟考量路面排水之功能,須將道路中央鋪設略高於兩側,另考量原有之中央分隔島、人行道及伸縮縫位置,且本工程採半半施工方式,均須配合原有設施及鋪面位置做銜接,並無法大幅增加鋪面厚度。另查本案驗收紀錄顯示,路面刨除 5 公分之瀝青混凝土重量應為 985.04 公噸,查施工廠商瀝青混凝土出貨單為 1,063.42 公噸,約可鋪設厚度 5.4 公分,尚屬合理。綜上,本工程應無明顯超鋪之狀況。

依據 1.10.7 節,南方澳大橋斷裂後之路面鑽心檢測厚度平均為 12.5 公分,歷年來除「南方澳大橋與銜接引道段既有道路鋪面及伸縮縫改善」工程外,其他工程皆屬路面修補小工程,不會影響整體鋪面厚度,惟依據調查小組所收集之資料,無法判斷橋面平均厚度高於設計值之原因。

第3章 結論

本章中依據調查期間所蒐集之事實資料以及綜合分析,總結以下 三類之調查發現:「與可能肇因有關之調查發現」、「與風險有關之調 查發現」及「其他調查發現」。

與可能肇因有關之調查發現

此類調查發現係屬已經顯示或幾乎可以確定為與本次事故發生 有關之重要因素,包括不安全作為、不安全狀況,或與造成本次事故 發生息息相關之安全缺失等。

與風險有關之調查發現

此類調查發現係涉及影響運輸安全之潛在風險因素,包括可能間接導致本次事故發生之不安全作為、不安全條件,以及關乎組織與系統性風險之安全缺失,該等因素本身非事故之肇因,但提升了事故發生機率。此外,此類調查發現亦包括與本次事故發生雖無直接關聯,但基於確保未來運輸安全之故,所應指出之安全缺失。

其他調查發現

此類調查發現係屬具有促進運輸安全、解決爭議或澄清待決疑慮 之作用者。其中部分調查發現係屬大眾所關切,以作為資料分享、安 全警示、教育及改善運輸安全目的之用。

3.1 與可能肇因有關之調查發現

1. 南方澳大橋位於漁港出海口,屬重鹽害、高濕度區域。大橋於使用多年後,吊索系統防水設施逐漸劣化,中央分隔島金屬箱體與高密度聚乙烯(HDPE)套管之防水接縫封條發生硬質破壞,雨水沿 HDPE套管滲入槽狀之錨定機構而產生積水現象,橋面端錨與

鋼絞線長時間處於具鹽分的積水環境中,造成積水線附近之鋼絞線嚴重銹蝕,致使 10、11、12、13 號橋面端錨處之數束鋼絞線於事故發生前陸續銹斷,吊索有效殘餘截面積僅剩約 22 至 27%。 (1.6.2, 1.9.5, 2.2.2, 2.3.5)

- 2. 當中油油罐車行經大橋 10 號吊索附近,11 號吊索系統生銹鋼絞線之殘餘強度因無法承受負載而斷裂,接著相鄰之 10、12 號吊索及9、13 號吊索系統橋面端錨處之銹蝕鋼絞線陸續斷裂,後續造成8號錨頭,6 號錨頭及7號吊索,4、5 號錨頭,3 號錨頭,2 號錨頭,及 1 號錨頭等其他吊索系統之連鎖破壞。(1.10.1,1.10.5,2.3.4,2.3.5)
- 3. 大橋吊索系統開始破壞,橋面大梁鋼構應力隨著吊索破壞數目之 增加而逐漸上升,當吊索全數破壞時,橋面大梁鋼構已產生顯著 破壞,導致大橋斷裂崩塌。(1.9.3, 2.3.5)
- 4. 南方澳大橋為一雙叉式單拱設計之特殊性橋梁,重要承載構件如 吊索及端錨系統,皆位於拱架、套管,或大橋鋼箱梁等隱蔽處, 應依該橋結構力學行為及構件特殊性,定期執行特殊性橋梁檢測, 較能掌握橋梁結構之健全度。然事故發生前,我國橋梁屬性定位 及主管機關相關法規不完整,特殊性橋梁檢測方式及規範指引不 完備,且未落實執行,導致該橋於竣工後執行過之7次橋梁檢測 皆為定期目視檢測,且事故前3年7個月間,未有任何橋梁檢測 作業。(1.7.3,1.12.1,1.12.2,2.4,2.5)

3.2 與風險有關之調查發現

 南方澳大橋所屬道路多年來因不屬於公路系統,造成無公路法定 義之公路主管機關,依循交通部頒布之相關橋梁檢測及補強規範 進行檢測、評估、維修及補強作業,亦未針對南方澳大橋訂定特 殊性橋梁之檢測項目及檢測方式。(1.12.2, 2.4.1)

- 2. 交通部依公路法僅主管國道及省道之養護,未包括所屬機關之港 區道路,造成該部轄下仍有如南方澳大橋之橋梁未納入維管範圍 之狀況。(1.12.2, 2.4.1)
- 3. 交通部航港局及臺灣港務公司皆非公路法定義之南方澳大橋公路主管機關,未能了解橋梁相關維護及檢測方式,故多年來皆執行一般性巡查及維護工作,未依交通部頒布之相關橋梁檢測及補強規範針對南方澳大橋進行養護及檢測。(1.11.1, 2.4.1, 2.4.2)
- 4. 事故前除交通部外,各部會橋梁養護機關未針對轄內橋梁,自行或參照公路橋梁檢測及補強相關規範,訂定特殊性橋梁之檢測及養護作業相關規範並據以執行特殊性橋梁檢測及養護作業。 (1.12.2, 2.4.3)
- 5. 除交通部及地方政府所轄管之部分橋梁外,我國其他部會未有與 交通部相同或相對完整之公路橋梁養護及檢測法規或規範。全國 橋梁未有統一之養護及檢測機制,可能造成國內某些橋梁未能有 效執行檢測、評估、維修及補強作業的風險。(1.12.2, 2.4.3)
- 6. 事故前交通部雖已頒布「公路橋梁檢測及補強規範」做為公路主 管機關執行橋梁檢測、評估、維修及補強作業的依據。然該規範 係著重於一般性橋梁之檢測及補強,對於類似南方澳大橋之特殊 性橋梁之檢測及補強,較無相關規定及指引,乃交由公路養護管 理機關、公路養護單位依橋梁特性、現地狀況及養護條件另訂檢 測及養護規定。(1.12.2, 2.4.3)
- 7. 南方澳大橋重要構件多數設置於拱架、鋼箱梁或套管內,僅靠外部之目視檢測甚難發現內部劣化情形,檢視「交通部公路橋梁檢測人員資格與培訓要點」中之培訓課程內容,未有特殊性橋梁檢測相關課程,實橋檢測訓練亦未教導學員需進入箱梁或拱架等局限空間內進行檢測,無法確保檢測人員具有辦理特殊性橋梁檢測

之能力。(1.13.12, 2.5.3)

- 8. 勘查結果顯示,大橋之13組橋面錨定機構內、外壁有不同程度之 乾漬水痕,部分低邊鋼板上緣及外壁有溢出之乾漬水痕及銹蝕現 象,顯示錨定機構內曾發生積水狀況。(1.9.5, 2.2.1)
- 9. 材料試驗結果顯示,大橋吊索系統之鋼絞線成分有所差異,可能 來自不同商源或不同批次之產品,但其強度及硬度差異不大。而 鋼絞線表面鍍鋅層厚度不均勻,可能影響耐蝕性。(1.10.6,2.1.3)
- 10. 拉伸試驗結果顯示,13 股吊索中,除5號吊索因銹蝕總負載殘餘 強度較低,其餘吊索總負載殘餘強度均大於合格標準351.36 公噸。 (1.9.3, 2.1.2)
- 11. 拉伸試驗結果顯示,10 號上錨頭於拉伸負載達 262.42 公頓時斷 裂,11 號上錨頭於拉伸負載達 319.88 公噸時斷裂,殘餘強度未達 美國後拉法預力學會(PTI)測試規範之規定。(1.10.5,2.1.4)
- 12. 南方澳大橋竣工圖中所記載之端錨系統,除尺寸標示有遺漏或誤植之情形,與實際施工狀況亦有差異,影響後續橋梁養護及檢測工作之評估、規劃與執行。(1.7.3.3, 1.9.3, 1.9.5, 2.2.1)

3.3 其他調查發現

- 事故當日凌晨,臺灣地區發生1起蘇澳氣象站測得震度為1級之 有感地震,及事故發生時南方澳受到颱風及其外圍環流影響,對 大橋結構應無影響。(1.6.1, 1.6.3)
- 經勘查與檢視主橋拱架、吊索、端錨、橋面大梁等關鍵證物,及 後續關鍵證物檢測與試驗均無發現疲勞破壞特徵。(1.9.3, 1.9.5,
 2.1)
- 3. 竣工圖資料顯示橋面 U 型加勁板接頭處需採全滲透銲接,現場勘

查實際施工情況採增設端板,並以填角銲方式處理。然依大橋實際破壞過程順序,上述竣工圖與實際施工結果不符之情況,與大 橋斷裂無直接的關係。(1.9.5, 2.3)

- 4. 大橋鋪面載重分析結果顯示,平均厚度 12.5 公分之實際鋪面與平均厚度 8.6 公分之竣工圖設計鋪面,兩者吊索拉力對實際拉伸極限負載百分比差距最大僅約 2.5 %左右。(1.10.7, 2.3.2)
- 材料分析結果顯示,大橋錨頭成分符合 JIS G4051 S45C 規格,降 伏強度約 338 MPa,抗拉強度約 674 MPa。(1.10.6, 2.1.4)
- 6. 經結構分析軟體模擬,在設計車載作用下,若吊索未銹蝕且錨頭 強度為設計值,吊索容許斷裂股數約為2至4股;若錨頭強度為 實際殘餘強度,則吊索容許斷裂股數約為1至3股。(1.10.5,2.1.4, 2.3.4)
- 7. 經結構分析軟體模擬,設計車載造成吊索最大拉力約為極限負載 之 49.1%,消波塊與土方車載造成吊索最大拉力約分別為極限負 載之 43.0%與 41.8%,顯示消波塊與土方之載運對吊索與鋼構受 力之影響並未超出設計車載之範圍。(1.11.4, 2.3.3)
- 8. 大橋各吊索外部均以HDPE套管包覆,錨頭亦在拱圈及橋面內部, 鋼絞線及錨頭破壞發生在內部,大橋斷裂影片僅能呈現斷橋部份 狀況,無法得知實際破壞位置及失效相對順序。(1.5.2, 2.3.5.3)
- 9. 檢視南方澳大橋端錨系統之各構件,與法西奈民國 109 年提供之 錨頭照片及該公司端錨系統 1999 年版之產品說明不同。南方澳 大橋之端錨系統,可能不是使用竣工圖記載之法西奈預力系統。 (1.9.3, 1.9.5, 2.2.2)
- 10. 調查小組於事故調查過程中陸續向相關單位索取橋梁規劃、興建、 施工、監造、檢測、驗收等文件資料,然因時間久遠文件保存單

位已將文件銷毀,或是因火災等因素減失,最主要之文件包括橋梁結構計算書、施工計劃書、工地銲接施工說明書、材料測試文件、材料進口報關審驗文件等已無法取得。(1.12.3)

- 11. 事故發生前,臺灣地區橋梁管理資訊系統對於橋梁逾期未檢之情 形,未有提醒機制。(1.11.2, 2.5.2)
- 12. 民國 105 年 11 月後,南方澳大橋於臺灣地區橋梁管理資訊系統 內之管理機關由宜蘭縣政府更改為臺灣港務公司,由於臺灣港務 公司並非「臺灣地區橋梁維護管理作業督導考核及評鑑實施要點」 中之督導考核或評鑑對象,故未能藉由督導考核或評鑑作業過程, 發覺南方澳大橋未依時程進行定期檢測。(1.12.1.2, 2.5.2)
- 13. 臺灣港務公司辦理堤防消波塊運輸工程時,載運 40 公噸雙 T 消波塊工程所使用之載運車輛為前單軸後單軸曳引車,連結後雙軸半拖車,加上載運板車之重量,總重達 54 公噸,超過道路交通安全規則之限制。工程執行單位未依規定向公路監理機關申請核發臨時通行證,未評估超載之消波塊車輛是否會影響橋梁荷重。 (1.11.4, 2.6.1)
- 14. 南方澳大橋斷裂後之路面鑽心檢測厚度平均為 12.5 公分,歷年與橋梁鋪面相關之工程,僅有於民國 106 年辦理 1 次「南方澳大橋與銜接引道段既有道路鋪面及伸縮縫改善」工程,檢視工程驗收相關紀錄,該工程應無明顯超鋪之狀況,而其他工程皆屬路面修補小工程,不會影響整體鋪面厚度,惟依據調查小組所收集之資料,無法判斷橋面平均厚度高於設計值之原因。(1.10.7, 1.11.1.2, 2.6.2)

第4章 運輸安全改善建議

4.1 改善建議

事故調查結果顯示,南方澳大橋斷裂事故發生前,我國橋梁屬性 定位及主管機關相關法規不完整,南方澳大橋所屬道路多年來因不屬 於公路系統,造成無公路法定義之公路主管機關依相關規範進行檢測 及養護作業,且全國橋梁未有統一之養護與檢測規範及機制,使各橋 梁主管機關可依循相同規範有效地進行橋梁維管作業,可能造成國內 某些橋梁未能有效執行檢測、評估、維修及補強作業的風險。

行政院於民國 109 年 7 月 21 日頒布「橋梁維護管理作業要點」,明確定義全國橋梁主管機關及橋梁養護、檢測及維修權責,以落實橋梁養護、考核及督導作業,維護公眾通行安全。本會不再針對上述風險提出改善建議。

另查事故前交通部雖已頒布「公路橋梁檢測及補強規範」做為公 路主管機關執行橋梁檢測、評估、維修及補強作業之依據。然該規範 係著重於一般性橋梁之檢測及補強,對於類似南方澳大橋之特殊性橋 梁之檢測及補強,較無相關規定及指引,乃交由公路養護管理機關、 公路養護單位依橋梁特性、現地狀況及養護條件另訂檢測及養護規定。

南方澳大橋事故發生後,交通部於民國 109 年 1 月 3 日頒布新版之「公路橋梁檢測及補強規範」,針對特殊性橋梁之檢測及補強訂定原則性規定,要求公路養護管理機關、公路養護單位應針對特殊性橋梁訂定維護管理作業計畫,擬定特殊性橋梁檢(監)測項目、執行方式與頻率、判定標準等,並對特殊性橋梁重要構件進行檢測,以掌握特殊性橋梁狀況。規範中亦增訂特殊性橋梁構件非破壞檢測作業方法及說明,作為檢測參考依據。

而就特殊性橋梁設計相關規範,交通部鑑於南方澳大橋斷橋事故,

於民國 109 年 1 月 3 日頒布新版之「公路橋梁設計規範」,其中針對特殊性橋梁之定義予以修正,並增訂公路橋梁設計成果除須符合使用需求外,並須以橋梁全生命週期設計理念考量其維護管理需求,設置檢測維修所需要之設施。且特殊性橋梁於設計時,應考量其結構型式、材料性質、現地狀況及養護條件等,訂定個別維護管理作業計畫,以利橋梁之維護管理。本會在此亦不再針對特殊性橋梁之設計、檢測及補強等規範提出改善建議。

以下為本會針對本案提出之運輸安全改善建議。

致各橋梁主管機關(交通部高速公路局、交通部公路總局、交通部觀光局、交通部民用航空局、交通部航港局、桃園國際機場股份有限公司、臺灣港務股份有限公司、內政部、教育部、經濟部、文化部、科技部、行政院農業委員會、原住民族委員會、國軍退除役官兵輔導委員會、基隆市政府、臺北市政府、新北市政府、桃園市政府、新竹縣政府、新竹市政府、苗栗縣政府、臺中市政府、彰化縣政府、南投縣政府、新竹市政府、嘉義縣政府、臺中市政府、彰化縣政府、南投縣政府、雲林縣政府、嘉義縣政府、嘉義市政府、臺南市政府、高雄市政府、屏東縣政府、直蘭縣政府、花蓮縣政府、臺東縣政府、澎湖縣政府、金門縣政府、連江縣政府)

1. 盡速依照行政院院頒「橋梁維護管理作業要點」,辦理橋梁檢測、維修、補強、資料建置與開放等橋梁維護管理工作,並確實執行督導及考核。訂定轄管特殊性橋梁維護管理作業計畫,並建立橋梁檢測人員資格評鑑機制,以確保橋梁檢測作業能有效執行。 (TTSB-HSR-20-11-001~TTSB-HSR-20-11-037)

致交通部

- 1. 盤點所屬單位轄下所有橋梁,納管未歸類於公路系統之橋梁並建立養護機制。(TTSB-HSR-20-11-038)
- 2. 檢討「交通部公路橋梁檢測人員資格與培訓要點」,針對特殊性橋梁檢測之培訓課程內容,提供橋梁檢測人員適當之特殊性橋梁檢測方式及訓練,提升檢測人員辦理特殊性橋梁檢測之能力。

(TTSB-HSR-20-11-039)

致宜蘭縣政府

- 1. 持續提升對公共工程施工品質之要求,強化品質管理人員對公共 工程必要專業知識及施工細節之熟悉程度,確保公共工程施工成 果符合其設計及規範之品質要求。(TTSB-HSR-20-11-040)
- 2. 強化機關檔案保存及銷毀機制,即時依「機關共通性檔案保存年限基準」異動情形修訂相關規定,確保機關檔案依規定保存及銷毀。(TTSB-HSR-20-11-041)

致亞新工程顧問股份有限公司

1. 依工程技術以及最新相關規範之演進及發展,持續強化工程監造之嚴謹度,要求監造人員熟悉所監造工程之必要專業知識及施工細節,確保工程材料、構件之選用與施工,及施工廠商竣工圖之製作,符合相關設計圖要求及施工規範。(TTSB-HSR-20-11-042)

4.2 已完成或進行中之改善措施

南方澳跨港大橋斷橋事件後,交通部已於民國 108 年 12 月 31 日檢討函頒「橋梁維護管理策進作為」報告,要求各部屬橋梁管理機關全面盤點所屬單位轄管供公眾通行之橋梁、全面進行檢測,並納入橋梁管理資訊系統中進行管理;另行政院亦於民國 109 年7月21日頒訂「橋梁維護管理作業要點」,並要求供公眾通行6公尺以上橋梁全面納管、各橋梁管理應建立三層次督導考核機制,以及建立橋梁管理系統進行管理,交通部運輸研究所續於民國109 年 8 月 10 召開研商會議,已盤點院頒要點頒布後交通部各主管機關後續應配合辦理事項。按此,後續交通部轄管各類橋梁(如公路、軌道、觀光、商港、機場)之主管機關(或其指定機關),將依其主管橋梁特性檢討訂定養護機制相關規定(或參照公路系

- 統)。目前交通部各所屬機關刻正持續檢討辦理中。
- 2. 交通部運研所辦理民國 109 年公路橋梁維護管理訓練講習計畫時, 已配合交通部民國 109 年 1 月新頒布「公路橋梁檢測及補強規 範」,將新規範內容中特殊橋梁納入培訓課程教材中,講授各類特 殊性橋梁型式、結構特性、檢測要點、評等準則、訂定維護管理 作業計畫等內容,並將持續關注特殊性橋梁檢測技術發展情形, 適時將最新檢測技術納入橋梁檢測人員初訓或回訓課程內容,以 提升橋梁檢測人員專業能力;惟現地實橋方式訓練部分,考量授 課時程、經費及學員管理與安全(進入箱梁或拱架內等侷限空間 有高風險性),爰場地選擇仍以一般橋梁為主。後續將依院頒橋梁 維護管理作業要點及交通部新頒規範,檢討修訂「交通部公路橋 梁檢測人員資格與培訓要點」相關內容。
- 3. 交通部於民國 109 年 1 月 3 日修訂「公路橋梁檢測及補強規範」、「公路養護規範」及「公路橋梁設計規範」,各規範修訂重點簡述如下:
 - (1) 公路橋梁檢測及補強規範
 - A.修正適用範圍,將特殊性橋梁納為適用對象。
 - B.於詳細檢測定義下,增訂要求特殊性橋梁應依其維護管理 作業計畫,並就重要構件進行檢測,以掌握特殊性橋梁狀 況。
 - C. 增訂特殊性橋梁檢測項目,例如橋塔或立柱、鋼纜系統(包括鋼纜錨碇裝置、鋼纜保護套管、鋼纜)、吊索、拱肋(拱圈)或橫桿等。
 - D.針對鋼纜索力量測技術,補充相關非破壞檢測作業方法。
 - (2) 公路養護規範:因規範第五章橋梁篇部分條文與「公路橋梁 檢測及補強規範」相關,為避免規範間競合,爰一併修正處

理。

(3) 公路橋梁設計規範:增訂要求橋梁設計成果需一併考量橋梁 維護管理需求,以符全生命週期設計概念;另針對特殊性橋 梁於設計時,應考量其結構型式、材料性質、現地狀況及養 護條件等,訂定個別維護管理作業計畫。

附件1 亞新工程顧問股份有限公司對調查報告草案之回覆 意見

頁數/章節/ 段落/行數	調查報告委員會複審後版本草案內容	建議修正	理由
第一冊 iv/摘要報告 /與風險有關	11. 11. 拉伸試驗結果顯示,10 號上錨頭於拉伸負載達262.42 公噸時斷裂,11 號上錨頭於拉伸負載達319.88 公噸時斷裂,殘餘強度未達強度不符合美國後拉法預力學會(PTI)測試規範之規定	示,10 號上錨頭於拉伸負載達 262.42 公噸時斷裂,11 號上錨頭於拉伸負載達319.88 公噸時斷裂,已使用逾20年的錨頭之殘餘強度未達強度不符合美國後	276 頁/3. 2 節/第 11 點內容 工程會 2001 年 03 月 27 日 V2. 0 版施工綱要規範 01610 章第 1. 2. 2 節材料及機具之 供應第(2)條:除另有規定 外,所供材料及機具應全為 新品(2013 年 05 月 01 日 V6. 0 版亦同)。
第一冊	成分分析,其中 9 號吊舍 分分析,其中 9 號吊舍 及未生銹分分取全 投生銹分分經 。 分子 。 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	分析結果顯示各鋼絞線之成分中,碳含量、鉻合金元素含量有較大差異。 研判	武年品結元原自之附告另件耗 且使重果部 整生需數明的來次冊報再文, 因不產錄若相經用 不已影明 。 就是是果素因不產錄若相經用 不已影明 。 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個 一個
195百/9 1 3	析	試結果顯示鋼線材質有所 不同, 表面鍍層狀態亦有 差異, 顯示鋼線來源可能	依1.10.6之記載:「8號吊索鋼絞線芯線之表面具有 鍍鋅層,但厚度僅剩約 10μm,且因氧化嚴重導致 鋅層結構疏鬆,僅鋅層與鋼

	驗結果,幾點發現如下 1. 在鋼絞線材方面,排質 動話器, 有動物 動材網層 動物 動物 動物 動物 動物 動物 動物 動物 動物 動物	已逾20年,鹽(氧)化嚴重,可能影響化學成份試驗結果。惟不論原因為何,程機械性質測試結果顯示不同 材質鋼線之強度及硬度差 異不大。 惟表面鍍鋅層狀態將會影響鋼線之耐蝕性 鋼絞線表面鍍鋅層厚度不	材索全。…9號 電震 電震 電震 電影 電影 電影 電影 電影 電影 電影 電影 電影 電影
第一冊 199頁/2.1.4 節/第二段/ 第三行 第三段/第三 行	未達PTI測試規範之規定	未達PTI對經疲勞試驗後 之錨頭新品測試規範之規 定	工程會 2001 年 03 月 27 日 V2.0 版施工網要規範 01610 章第1.2.2 節材料及機具之供應第(2)條:除另有規與外,所供材料及機具應至 05 月 01 日 V6.0 版亦同)。 試驗樣品係使用已逾 20 年
第一冊 206 頁 /2.2 節/第一段/ 第二行	依據南方澳大橋斷橋後錨 頭破裂狀況及錨頭拉伸測 試結果,大橋主橋的端錨	2.2 主橋端錨系統 依據南方澳大橋斷橋後錨 頭破裂狀況及錨頭拉伸測 試結果,大橋主橋 角 20 年之端錨系統殘餘 強度未達 PTI 對經疲勞試 驗後之錨頭新品測試規範 之規定	供應第(2)條:除另有規定外,所供材料及機具應全為新品(2013 年 05 月 01 日
第一冊 210 頁/2.2.1			竣工圖與實際施工狀況之 差異性,對具檢測與養護資

節/第一段/ 第四行	與實際施工狀況亦有差 異,影響後續橋梁養護及 檢測工作之評估、規劃與	與實際施工狀況亦有差 異,恐影響相關部分後續	格或橋檢經驗人員,並不一定會影響橋梁養護及檢測工作之評估等,本項所述竣工圖差異部分若有影響後續橋梁養護及檢測工作之評估等,亦僅及於相關部分,故建議修改如左。
	端錨系統設計、施工 及維護應考量水密性,阻 絕水氣侵入,避免端錨系	及維護應考量水密性,阻 絕水氣侵入,避免或減少 端錨系統組件銹蝕。現行 端錨系統組件中之鋼絞線 的防銹處理由內而外有幾 1000000000000000000000000000000000000	關於鋼絞線的防銹處理,工程技術不斷進步,防蝕觀念也日漸精進,調查報告所述常見防蝕方式應為執行調查時之現況,建議新增文字如左,以反映真實。
211 頁/圖 2.2-4	圖 2.2-4 鋼絞線的防銹處理示意圖	圖 2.2-4 現行 鋼絞線防銹 處理示意圖	
第一冊 213頁/2.2.3 節/第一段/ 第二行	斷橋事故發生後,調查小 組由竣工圖、亞新提供之 書面及訪談資料,皆顯示 南方澳大橋預力端錨是使 用法國法西奈之預力系統	組由竣工圖、亞新提供之 書面及訪談資料,皆顯示 南方澳大橋預力端錨是使	依施工廠商製作之竣工圖 及相關資料,南方澳大橋吊 索系統包括: 吊索(stay cable)採用英國Bridon- Bekaert公司製造之鍍鋅七 線鋼絞線(strand)之鍍鋅 套管為奧地利製造端系 套管為奧地利製造端系 (anchorage)方採用)公認 Freyssinet(法報告) 影達產品。調查報告國 吊索系統 条之預力系統,應予釐清。
第一冊	檢視南方澳大橋端錨系統 之各構件,錨頭上無任何		相關產品之證明文件雖已滅失,但當時已經採購機關

節/第一段/ 第二行

215 頁/2.2.3 產品型號標示,單根鋼绞 109年提供之錨頭照片及 線皆未包覆高密度聚乙烯 該公司端錨系統1999年版 護套,未見裝有防水填料之產品說明不同,但因南 之端錨鋼管,無填料函,亦 方澳大橋端錨系統於1996 無錨頭內部表面之塑料襯 年即已進口,且相關材料 套等法西奈端錨系統構進口審驗文件已經採購機 件,與法西奈民國109年提關查驗認可後存檔,惟該 供之錨頭照片及該公司端一等文件已逾保存期限無法 錨系統1999年版之產品說 取得。南方澳大橋之端錯 明不同。南方澳大橋之端系統,可能 錨系統,可能不是使用竣 圖記載之法 工圖記載之法西奈預力系統。 統。

查驗。至於現況固與109年 提供之錨頭照片及該公司 端錨系統 1999 年版之產品 說明不同,然是否肇因於南 方澳大橋端錨系統於 1996 年即已進口,或有無其他原 因造成,亦屬不明,似仍不 宜推論「可能不是使用法西 奈端錨系統」,建議僅就蒐 集之資料敘述。

另,該公司之說明應屬訪談 資料,建議納於1.13節。 尚且當時台灣建築雜誌 1998 年 10 月 37 期亦曾公 開發表過相關資料,未見香 港商法西奈工程股份有限 公司台灣分公司(84 年-95) 年)出面澄清相關疑義。

且於 2009 年 01 月 07 日 V4.0 版方開始規定標示其 製造廠名稱等(工程會施工 | 綱要規範 03231 章第 3.4.2 節預力端錨及預力續接器 之各元件應標示其製造廠 名稱、型式及號碼等(夾片 則僅需標示製造廠名稱))。

與可能肇因有關之調查發

第一册 273 頁/第3章

此類調查發現係屬已經顯 示或幾乎可以確定為與本 次事故發生有關之重要因 素,包括不安全作為、不安 全狀況,或與造成本次事 故發生息息相關之安全缺 失等。

查發現」既定義為「不安全 作為」「不安全狀況」「安 全缺失」,應指導致事故發 生之不安全原因,而非事故 發生之經過

本項「與可能肇因有關之調

(3.1節)

第一册

273 頁/3.1 節/第1點

南方澳大橋位於漁港出海 口…. 大橋於使用多年後, 吊索系統防水設施逐漸劣 27% \circ

化,中央分隔島金屬箱體 南方澳大橋位於漁港出海 與高密度聚乙烯(HDPE)套口.... 大橋於使用多年後 管之防水接縫封條發生硬<mark>期間未善加管養</mark>,吊索系 i/摘要報告/|質破壞,雨水沿 HDPE 套管|統防水設施逐漸劣化,中 與可能肇因滲入槽狀之錨定機構而產中分隔島金屬箱體與高密 有關之調查 生積水現象…吊索有效殘 度聚乙烯(HDPE)套管之防 發現/第1點 餘截面積僅剩約 22 至 水接縫封條發生硬質破 壞,雨水沿 HDPE 套管滲入 槽狀之錨定機構而產生積 水現象…吊索有效殘餘截 面積僅剩約22至27%。

民國 87 年 12 月 15 日宜蘭 縣政府發函通知前基隆港 務局,拱橋營造工程已完成 驗收,產權移交前基隆港務 局並請其善加管養(p.15)

第一册

274 頁/3.1 節/第2點

|ii/摘要報告 /與可能肇因 有關之調查 發現/第2點 吊索系統之連鎖破壞。

吊索系統之連鎖破壞。

當中油油罐車行經大橋 10 當中油油罐車行經大橋 10 依 2.3.4.3 小節記載「在設 號吊索附近,11 號吊索系 號吊索附近,11 號吊索系 計車載作用下,若吊索未銹 |統生銹鋼絞線之殘餘強度||統生銹鋼絞線之殘餘強度||蝕且錨頭強度為設計值,吊 因無法承受負載而斷裂,因無法承受負載而斷裂,索容許斷裂股數約為2至4 接著相鄰之 10、12 號吊索|接著相鄰之 10、12 號吊索|股,斷裂 3 至 5 股吊索後, 及 9、13 號吊索系統橋面 及 9、13 號吊索系統橋面 橋體就會發生連鎖破壞」 端錨處之銹蝕鋼絞線陸續|端錨處之銹蝕鋼絞線陸續|(p.239)(另參 p.277 3.3| 斷裂,後續造成8號錨頭,斷裂,後續造成8號錨頭,第6點),則 11、10、12、 6 號錨頭及7號吊索,4、|6 號錨頭及7號吊索·4、|9、13 號吊索斷裂後,已達 |5 號錨頭, 3 號錨頭, 2 號| 5 號錨頭, 3 號錨頭, 2 號 | 5 股吊索破壞, 橋體就會發 **錨頭,及1號錨頭等其他 錨頭,及1號錨頭等其他 生連鎖破壞;則後續錨頭及** 其他吊索之連鎖破壞即非 本事故發生之原因,僅屬物 理上之連鎖反應,建議刪除

			「後續」以後之文字。
第一冊 274 頁/3.1 節/第3點		橋面大梁鋼構應力隨著吊 索破壞數目之增加而逐漸 上升,當吊索全數破壞時, 橋面大梁鋼構已產生顯著	理由同上。吊索全數破壞 時,橋面大梁鋼構以及大橋 斷裂崩塌僅僅屬物理上之 連鎖反應,並非本事故發生 之原因,建議刪除本項。
ii/摘要報告 /與可能肇因 有關之調查 發現/第3點			
第一冊 276 頁 /3.2 節/第8點	勘查結果顯示,大橋之 13 組橋面錨定機構內、外壁 有不同程度之乾漬水痕 部分低邊鋼板上緣及外壁 有溢出之乾漬水痕及銹蝕 現象,顯示錨定機構內曾 發生積水狀況。	組橋面錨定機構內、外壁 有不同程度之乾漬水痕。 部分低邊鋼板上緣及外壁 有溢出之乾漬水痕及銹蝕	此段文字為 3.1 第 1 點: 「大橋於使用多年後,吊索 系統防水設施逐漸劣化,中 央分隔島金屬箱體與高密 度聚乙烯(HDPE)套管之防 水接縫封條發生硬質破壞, 雨水沿 HDPE 套管滲入槽狀
iii/摘要報告/與風險有關之調查發現/第8點			之錨定機構而產生積水現象…」 肇因之結果(參p. 273),係使用期間未管養發現防水接縫封條發生硬質破壞,雨水滲入致積水,顯屬重複,建議刪除。
第一冊 211 頁/2.2.2 節/第二段/ 第三行	橋面錨定機構(詳圖 2.3-	僅係 以本身重量相接於橋 面錨定機構並以金屬箱體	1.9.5.2 節述明橋面中央分隔島附近有裝設金屬材質箱體以保護 HDPE 套管,以接縫封條來避免水分滲入(參 p.71)。 建議 p.211 增加文字如左。
276 頁 /3.2節/第9點	橋吊索系統之鋼絞線成分 有所差異,可能來自不同 商源或不同批次之產品, 但其強度及硬度差異不 大。而網絞線表面链锌局	果顯示,大橋吊索系統之 鋼絞線成分有所差異,成 分差異可能 來自不同商源 表屬不同批次之產品,但 亦不能排除試驗樣品因使	若為不同商源,則需再另提 相關材料進口審驗文件,經 採購機關查驗認可,耗時且

/ th - D - D - D - D - D - D - D - D - D -	At 13	· 一一儿 口/ 納 ハ ロ ト ハ い	
/與風險有關			鍍鋅層,但厚度僅剩約
之調查發現/			10μm,且因氧化嚴重導致
第9點			鋅層結構疏鬆,僅鋅層與鋼
			材界面處較密實。…9 號吊
			索全段未生銹鋼絞線芯線
			之表面具有鍍鋅層,惟其形
		氧化影響。	態亦不甚密實,可能受長時
			間氧化影響,…。12 號吊索
			鋼絞線芯線之表面亦有鍍
			鋅層存在…但可明顯看出
			有分層現象,較外層氧含量
			較高,顯示亦受長時間氧化
			影響。」(p. 95-96)可知鋼絞
			線表面鍍鋅層厚度不均勻
			係肇因於長期氧化之結果,
			而非影響耐蝕性之原因,故
			建議修改如左。
	11 拉仙计队从甲肟二。	11 拉仙计队从甲肟二。	エ妇会 9001 年 09 日 97 ロ
	•	•	工程會 2001 年 03 月 27 日
			V2.0版施工綱要規範01610
			章第1.2.2節材料及機具之
			供應第(2)條:除另有規定
			外,所供材料及機具應全為
			新品(2013年05月01日
		度未達美國後拉法預力學	
第一冊	\mathcal{L} \circ (1.10.5, 2.1.4,)	會(PTI)對經疲勞試驗後	 第一冊附44 930 百「十、綜
34 111		之錨頭新品測試規範之規	第二冊附錄 239 頁「七、綜
276 頁 /3.2		定。本案事故的主因仍是	合討論」第2點記載本案編號7、9、10、11、12號之上
節/第11點		编员可以对派派回权川可	
		致。(1.10.5, 2.1.4,第二	下錨頭皆未破裂,顯然尚有
		冊附錄 248 頁)	其他與失效有關之因子存
· / l +			在。
iv/摘要報告			第二冊附錄248頁第8點並
/與風險有關			記載:「雖然錨頭的材質強
之調查發現/			度和孔位設計搭配不足以
第 11 點			負荷全部線束的總強度,但
			在全部鋼絞線未斷的情況工,在上來
			下,應力平均分配,並不會
			發生錨頭斷裂的情況,因
			此,本案事故的主因仍是鏽
			蝕導致鋼絞線斷裂所導
			致」,建議增加文字如
			左。
l			

與執行 第一册 276 頁 /3.2 節/第12點 iv/摘要報告 /與風險有關 之調查發現/ 第 12 點

差異,影響後續橋梁養護 異,恐影響相關部分後續 工作之評估等。 及檢測工作之評估、規劃 橋梁養護及檢測工作之評 估、規劃與執行

12. 南方澳大橋竣工圖中|南方澳大橋竣工圖中所記|竣工圖與實際施工狀況之 所記載之端錨系統,除尺 載之端錨系統,除尺寸標 差異性,對具檢測與養護資 寸標示有遺漏或誤植之情|示有遺漏或誤植之情形,|格或橋檢經驗人員,並不一 形,與實際施工狀況亦有與實際施工狀況亦有差|定會影響橋梁養護及檢測

> 另本件事故主要肇因於 1. 雨水沿 HDPE 套管滲入槽狀 之錨定機構而產生積水現 象以及2. 竣工後執行過之7 次橋梁檢測皆為定期目視 檢測,且事故前3年7個月 間,未有任何橋梁檢測作 業。(參見3.1第1點及第 4點; p. 273-274), 與施工 廠商製作之竣工圖所記載 之端錨系統尺寸無直接或 間接關聯,本項所述竣工圖 差異部分若有影響後續橋 梁養護及檢測工作之評估、 規劃與執行,亦僅及於相關 部分,與本件事故發生無 關,故建議修改如左後,移 列3.3節「其他調查發現」。

第一册

277 頁 /3.3 節/第9點

v/摘要報告/ 其他調查發 現/第9點

檢視南方澳大橋端錨系統檢視南方澳大橋端錨系統相關產品之證明文件雖已 之各構件,與法西奈民國 之產品說明不同。南方澳 是使用竣工圖記載之法西 **奈預力系統。**

系統,可能不是使用竣工集之資料敘述。

之各構件,與法西奈民國滅失,但當時已經採購機關 109 年提供之錨頭照片及 查驗。至於現況固與 109 年 109年提供之錨頭照片及該公司端錨系統1999年版提供之錨頭照片及該公司 |該公司端錨系統1999年版|之產品說明不同,但因南|端錨系統 1999 年版之產品 **方澳大橋端錨系統於 1996**|說明不同,然是否肇因於南 年即已進口,且相關材料 方澳大橋端錨系統於 1996 大橋之端錨系統,可能不|進口審驗文件已經採購機|年即已進口,或有無其他原 關查驗認可後存檔,惟該 因造成,亦屬不明,似仍不 **等文件已逾保存期限無法**|宜推論「可能不是使用法西 取得。南方澳大橋之端錨索端錨系統」,建議僅就蒐

> 另,該公司之說明應屬訪談 資料,建議納於1.13節, 尚且當時台灣建築雜誌 1998 年 10 月 37 期亦曾公 開發表過相關資料,未見香 港商法西奈工程股份有限

			公司(84 年-95 年)出面澄清相關疑義。 且於 2009 年 01 月 07 日 V4.0 版方開始規定會 與造廠名稱等(工程會3.4.2 網要規範 03231 章第 3.4.2 網要規範 超及預力端 是 一次 一次 一次 一次 一次 一次 一次 一次 一次 一次 一次 一次 一次
第一冊 281 頁/4.1 節 viii/摘要報 性/運輸 改善建議	第4章 運輸安全改善建議	例如: 依工程技術以及最新相關 規範之演進及發展,持續 落實執行施工一級自主品 質管制。 致特殊工程專業分包廠商 及材料供應商 例如:	營場 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一

附件2交通部航港局對調查報告草案之回覆意見

	頁數/章節/ 段落/行數	調查報告草案內容	建議修正	理由
1	2.4.2節第3	區維民際施公容託條(管託公共建與101年3月公護委門101年3月公護委門門門內衛門與對別日共基語與與人類的一個人類,將礎港書護第乙方務司意對與與人類,將礎港書護第乙善理梁,將礎港書護第乙善理梁,將礎港書護第乙善理梁,將礎港書護第乙善理梁縣,將礎港書護第乙善理梁縣	區域內公共基礎設施 維護委託辦理契約書」 展國 101 年 3 月 1 日起 與 上國 上 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	

頁數/章節/ 段落/行數	調查報告草案內容	建議修正	理由
			最小改制原則認定,管理事項涉公權力部分(航政、港政)由航港局辦理。故根據商港法修法意旨及原則,前港務局之人力及組織依港務公司及航港局之法定權責及組織監查差異進行配套分配,前港務局約92%人力、工程專業人力及組織皆延續編制於港務公司,並設有工程處、維護管理處等工程專責單位(如附件2)。 2. 有關前港務局時期工程相關文件,依據103年12月12日「交通部航港局時期工程相關文件, 港局與臺灣港務股份有限公司間財產管理業務無縫接軌」會議紀錄結論第五點(如附件3):「有關原交通部各港務局時代之財產管理檔卷或

頁數/章節/ 段落/行數	調查報告草案內容	建議修正	理由
			財產單據等資料,無論港務公司協助期限屆至前或後,均維持由港務公司(含各分公司)保存。」,故前基隆港務局雖將本橋財產移撥予航港局,惟自宜蘭縣政府移撥予前基隆港務局之工程結算驗收證明書、工程竣工決算圖表及移交清冊資料,由航港局及港務公司雙方協議維持由港務公司(含各分公司)保存。
			3. 考量航港局相關人力有限、另依據 前開專業人力分配,爰航港局依商 港法第10條規定委託港務公司辦理 國際商港公共基礎設施維護,並與 港務公司簽訂委託契約 (如附件 4);另航港局依商港法第7條與港 務公司簽訂「交通部航港局經管公 有財產無償提供使用契約書」並無

頁數/章節/ 段落/行數	調查報告草案內容	建議修正	理由
			償提供港務公司使用,依據無償使用契約定條文,在應盡善良管理人之注意;使用本契約成危害的之安全,應自行負責。如構成危害賠償責任(如附件5)。 4. 綜上,航港局委託港務公司辦理國際,係依「商港法」第10條規定簽訂委託契約,而非依「政府採購法」所辦。委託契約中雖未明確說明具體維護,然依契約及相關法規之意,係交由港務公司本於善良管理人注意義務就不同之設施予以不同之具體維護,航港局基於歷史
			背景、人員編制、專業能力及契約內 容等因素,並無提供具體維護方式

	頁數/章節/ 段落/行數	調查報告草案內容	建議修正	理由
				之法定義務;且港務公司亦無向航 港局提出維護及檢測計畫之義務。
3	1.11.1.2 節	保固期滿維修完成後,後續維修工作皆由前蘇澳港分局(航港體制改革後為航港局)及港務公司辦理,	維修工作皆由前蘇澳港分局(航港體制改革後為港務	N = 1

附件3臺灣港務股份有限公司對調查報告草案之回覆意見

南方澳大橋於 108 年 10 月 1 日上午 9 時 30 分在無異狀情形下,發生無預警瞬間橋面斷裂崩塌事件,根據運安會對本事故調查報告事實資料、分析與結論,斷橋原因就是橋梁下方鋼索銹蝕及橋梁上方錨頭負載強度不足所引起。

為何吊索發生長期銹蝕現象原因值得深究,從南方澳大橋的吊索錨頭系統,發現 10 項缺失不符工程常規,更進一步探究,從調查報告發現,失敗的端錨系統是斷橋的直接原因,包括:

- (1) 鋼絞線部份鍍鋅並無灌注防腐油脂
- (2) 無喇叭套管防護接頭
- (3) 具鹽分的水沿 HDPE 套管渗入錨定機構出現積水現象
- (4) 隱蔽處端錨密封性不佳產生銹蝕
- (5) 多項防蝕元件竣工圖與施工圖不符,錨定系統來源不明

港務公司所提意見在第 18 次委員會議複審未被採納部分,經再檢視事實資料及分析結果後,提出 20 項修正與建議(如附件,包括 19 項未採納及 1 項其他單位建議修改事項),並依運輸事故調查法第 24 條規定,提出書面申請參加第 19 次委員會議陳述意見,**謹請採納修正或列入調查報告附錄**。

				_	
頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正		說明
P97~98/1.1	未採納(駁回)	南方澳大橋建置工程於民國87年	南方澳大橋建置工程於民國87年	1.	保固期間由宜蘭縣政府依契約
1.1/第1段		11月27日驗收合格,保固期為5	11月27日驗收合格,保固期為5		負責監督施工廠商保固工作,
/第3行起	2	年,依據臺灣港務股份有限公司基	年,依據臺灣港務股份有限公司基		經查港務公司於101年3月1
		隆分公司蘇澳港營運處(以下簡稱	隆分公司蘇澳港營運處(以下簡稱		日成立,無法推知92年基隆港
		蘇澳港營運處)所提供資料,保固	蘇澳港營運處)所提供資料,查保		務局時代如何辦理,但該局74
		期內並未辦理過維護、保養工作,	固期內基隆港務局並無維護、保養		年1月8日修訂「基隆港務局
		保固期滿前由宜蘭縣政府督導施工	經費之支出,但該局74年1月8		港區巡察工作執行要點」作為
		廠商執行契約保固工作,後續則由	日起修訂「基隆港務局港區巡察工		辦理依據; 另建議依前開要點
		前交通部基隆港務局蘇澳港分局	作執行要點」執行辦理維護、保養		用語,將P98第1行「巡查」
	2	(以下簡稱蘇澳港分局)視平日巡查	工作。保固期滿前由宜蘭縣政府督		改為「巡察」。
		結果、參考規劃報告或依受通知之	導施工廠商執行契約保固工作,後	2.	宜蘭縣政府自90年度起辦理本
		檢測後建議維護事項辦理維護,以	續則由前交通部基隆港務局蘇澳港		橋檢測,惟該期間相關檢測辦
		下將針對保固期滿維修、保固期滿	分局(以下簡稱蘇澳港分局)視平日		理歷程及其後續辦理情形,並
		後維修兩部分做說明。	巡察結果、參考規劃報告辦理維		未函送前基隆港務局、航港局
	-		護,以下將針對保固期滿維修、保		或港務公司。
	· ·		固期滿後維修兩部分做說明。		
P100/1.11.	未採納(駁回)	自民國105年4月28日後,南方	自民國105年4月28日後,南方	1.	若南方澳大橋屬於港區道路,
2/第1段/		澳大橋未再辦理過橋梁檢測作業。	澳大橋未再 <u>適用公路法相關規定</u> 辦		即非公路系統,未適用公路法
第8-9行	7		理過橋梁檢測作業。		相關規定辦理過橋梁檢測作
					業。參 2.4.2 P264。
P117/1.12	未採納(駁回)	依據商港法第2條及第7條第5項	依據商港法第2條及第7條第5項	1.	參據臺灣港務股份有限公司106
.1.1/第3	307	, 航港局與港務公司簽訂「交通	, 航港局與港務公司簽訂「交通		年5月16日港總財字第
段/第2-8		部航港局經管公有財產無償提供	部航港局經管公有財產無償提供		10601022181號函,有關105年上
	段落/行數 P97~98/1.1 1.1/第1段 /第3行起 P100/1.11. 2/第1段/ 第8-9 行 P117/1.12 .1.1/第3	段落/行數查報告結果P97~98/1.1未採納(駁回)1.1/第1段/第3行起P100/1.11.未採納(駁回)2/第1段/第8-9行未採納(駁回)P117/1.12 .1.1/第3未採納(駁回)	中国	及落/行數 查報告結果 第 18 次會議 港務公司建職修正 P97~98/1.1 未採納(駁回) 南方澳大橋建置工程於民國 87 年 11.1/第 1 段 /第 3 行起	股落/行數 查報告結果 第 18 次會議

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
	行		使用契約」,自民國103年1月1	使用契約」,自民國103年1月1	、下半年度港務公司使用航港局
	(f)		日起,航港局之公有財產無償提	日起,航港局之公有財產無償提	經管公有財產滾動檢討案,修正
			供港務公司使用,航港局於民國	供港務公司使用, 經航港局及港	文字。
			105年12月29日去函港務公司,	務公司滾動檢討,雙方分別於民	
			為辦理民國105年度經管公用財	國106年4月24日及民國106年5月	* ***
		*	產契約滾動檢討,始將拱橋納入	16日換文確認後,納入105年上	
		*	民國105年上半年度蘇澳港土改	、下半年度蘇澳港無償提供使用	V
	,		無償提供使用清冊,南方澳大橋	清冊,南方澳大橋產權仍為航港	
		-	產權仍為航港局所有。	局所有。	
04	P118/1.12	未採納(駁回)	宜蘭縣政府於民國105年10月31	宜蘭縣政府於民國105年10月31	1. 參據宜蘭縣政府105年10月31
	.1.2/第3	-	日函請運研所將TBMS內南方澳大	日函請運研所將TBMS內南方澳大	日府工養字第1050175118函請
	段/第1-4		橋之轄管機關由宜蘭縣政府更正	橋之轄管機關由宜蘭縣政府修正	運研所於臺灣地區橋梁管理系
	行		為港務公司,運研所則於民國	為港務公司,運研所則於民國	統修正管理機關,修正文字。
	Δ.	-	105年11月3日函請中央大學將該	105年11月3日函請中央大學將該	
			橋轄管機關變更,中央大學亦於	橋轄管機關變更,中央大學亦於	
	*		民國105年11月10日函復宜蘭縣	民國105年11月10日函復宜蘭縣	
			政府,已將轄管機關調整為港務	政府,已將轄管機關調整為港務	
		7.27	公司,轄下機關調整為蘇澳港營	公司,轄下機關調整為蘇澳港營	
			運處;…	運處(民國105年11月7日前之管	
				理機關為宜蘭縣政府); …	9
05	185/1.14/	未採納(駁回)	日期:民國 103 年 1 月 1 日	日期:民國 103 年 1 月 1 日	1. 航港局與港務公司於104年7月1
	橋梁歷程/				

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
	表 1.14-1		事項:航港局無償提供蘇澳港南方	事項: 航港局無償提供蘇澳港南方	日簽訂「交通部航港局經管公有
	南方澳大橋		澳大橋引道土地給港務公司使用	澳大橋引道土地給港務公司使用	財產無償提供使用契約書」,追
	橋梁歷程/	-		***	溯自103年1月1日將航港局經管
	第8欄		備註:民國103年1月1日至民國	備註: <u>航港局與港務公司自101年3</u>	位於國際商港內供國際商港公共
		=	121 年 12 月 31 日,共計 19 年。	月1日簽訂興建維護契約起至契約	設施或配合政府政策使用之公有
				期限屆至之105年12月31日此段期	財產,無償提供予港務公司使用
				間,並未將南方澳大橋列為無償使	,但當時未將南方澳大橋列入無
			* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *	用之財產標的,且興建維護契約之	償使用之財產標的。
				契約期限屆至後至今並未訂立新的	2. 嗣經航港局及港務公司滾動檢討
				买到,政府務公司除日常例行性 維	,雙方分別於民國106年4月24日
				護工作外,依據興建維護契約之規	及民國106年5月16日換文確認後
		0	7.4	定,按各該年度預算編列具體項目	,納入105年上、下半年度蘇澳
			*. ×.	執行委託事宜,惟港務公司自受委	港無償提供使用清冊,南方澳大
			_	託以來 ,並無受委託辦理南方澳大	橋產權仍為航港局所有。
				橋檢測事宜。	3. 是以, 航港局與港務公司自101
	.1			y =	
			. "	* "	年3月1日簽訂興建維護契約起至
			*		契約期限屆至之105年12月31日
	-				此段期間,並未將南方澳大橋列
					為無償使用之財產標的,且興建
					維護契約之契約期限屆至後至今
		(6)			並未訂立新的契約,故港務公司

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
					除日常例行性維護工作外,依據 興建維護契約之規定,按各該年 度預算編列具體項目執行委託事 宜,惟港務公司自受委託以來, 並無受委託辦理南方澳大橋檢測 事宜。
06	P208/2.2/ 主橋端錯系 統/圖 2.2- 2/第 2 圖	部分採納	### (1/2) 1/2	(A)	1. 竣工圖錨定套管(ANCHORAGE TUBE)內有2組間格器 (Spacer),在實際施工現場未 發現,加註說明。
			質問 施工方式 BEARING PLATE WEDGE SPRING SPRING HOLDER STRANDS ANCHORAGE MB 2.2-2 上端斜境工闘発資際施工方式闘	實際 施工方式 BEARING PLATE WEDGE SPRING SPRING HOLDER STRANDS MDPE TUBE ANCHORAGE SCREWSTUD M 2.2-2 上端娟埃工開発實際地工方式開 註:竣工 圖 鈷定套管(ANCHORAGE	

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
				TUBE)內有2組間格器(Spacer), 在實際施工現場未發現。	. ,
07	P209/2.2/ 主橋端錯系 統/圖 2.2- 3/第 2 圖	部分採納		1 5 5 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1. 竣工圖錨定套管(ANCHORAGE TUBE)內有2組間格器 (Spacer),在實際施工現場未 發現,加註說明。
			意識 BEARING NUT ADJUSTING SCREW WEDGE SPRING SPRING HOLDER BEARING PLATE STRANDS ### CAP	関際 能工方式 BEARING NUT ADJUSTING SCREW BEARING PLATE STRANDS THE TOTAL AND THE ANGLED SPRING SPRING HOLDER STRANDS THE TOTAL ANGLED SPRING SPRING SPRING HOLDER STRANDS	
			MOPE TUBE ANCHORAGE SCREW STUD 圖 2.2-3 下端紡竣工關與實際施工方式關	ANCHORAGE SCREWSTUD M 2.2-3 下端編度工圖與實際施工方式圖 註:竣工圖錯定套管(ANCHORAGE TUBE)內有2組間格器(Spacer), 在實際施工現場未發現。	
	P210/2.2.2 /第1段/第	其他單位建議	2.2.2 端錨防銹防水之考量 端錨系統設計、施工及維護應考量	2.2.2 端錨防銹防水之考量	1. 端錨系統多項重要防水防銹之 水密性,於設計、施工時應注
	1-3 行	E III		性,隔絕水氣侵入,避免端錨系統	意而未注意,且未確保任何狀

	工业/立坎/	罗山人生中四	VP - A V		
項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
			系統組件銹蝕。端錨系統組件中之	組件銹蝕。端錨系統組件中之鋼絞	況下,鋼索與錨定系統能完全
		ř =	鋼絞線的防銹處理由內而外有幾種	線的防銹處理由內而外有幾種常見	水密,若在工程缺乏考量水密
			常見方式 (參照圖 2.2-4):	方式(參照圖 2.2-4):	性,不能歸咎維護,文字修
	,3				正。
09	P210/2. 2. 2	未採納(駁回)	(空白)	端錨系統元件防水設計施工常採用	1. 現勘發現 HDPE 套管包覆鋼絞
	/增列第2		a * *	鋼套管保護方式,是在主梁頂板前	線,藉著套管自重與端錨頂
	段			設置一鋼質之套管,該鋼套管須與	接,沒有裝設至少1.2公尺之
				主橋頂板銲接,在鋼套管外再設置	錨定鋼套管及防水喇叭口套管
			4 "	一連接管(喇叭口套管),上下能與	等端錨系統元件(與竣工圖不
				鋼索外套管及鋼套管密接。	符)。
		· ·			2. 有關端錨防銹防水設計章節,
					依工程實務上水密性作法,說
		ā j			明常見之喇叭口套管及密接之
	62		0		必要性,爰建議增列本段文
				* 5	字。
10	P210/2. 2. 2	未採納(駁回)	(空白)	依現場勘查發現吊索端錨系統,上	1. 據查 108 年 11 月 13 日由運安
	/增列第3			端僅以 HDPE 套管頂住錨頭,無法	會等相關單位,於蘇澳港8號碼
	段	- (-)		有效隔絕腐蝕因子, 導致雨水藉著	頭證物現場勘查,其中7號吊索
				上揚風力滲入拱圈套管內部,並藉	及錨定機構勘查發現其下端錨
				重力順流堆積在套管下方內部與下	之錨頭與 HDPE 套管接觸面外
				端錨處,又下端錨之錨頭與 HDPE	側,僅以水泥密封等情形,發覺
		100		套管接觸面外側,僅以水泥密封	端錨系統在設計及施工面,因無
d O	(8)			(如附圖 1-圖 3),積水無法排出,	考量水密性,而無法有效隔絕腐

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
				造成下方吊索與錨頭長期泡雨而產	蝕因子,爰於端錨防銹防水設計
				生銹蝕。	增列第3段。
				圖1: 拱圈內上錨頭與套管接觸	
			2 8	面並無妥善之防水設施(雨水藉風	
	-22	-		力滲入)	
				圖 2: 7號下錨頭與 HDPE 套管接	
	8			觸面被混凝土包覆並敲除後痕跡	

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
		*		圖 3: 7號下錨頭現場拆卸情形	
			¥	(混凝土包覆下錨頭及 HPPE 套管是	
			,	現場施工人員發現並負責敲除)	
				9:75 < 20:0年:17:12:18 1-17:10:187	
				muadi -	
11	P212/2. 2. 2	未採納(駁回)	事故大橋端錨系統水密性劣化破壞	事故大橋端錨系統位於隱蔽處非目	1. 端錨系統多項重要防水防銹之
	/第3段/第4		後,無法有效隔絕腐蝕因子,若無	視所及。設計、監造及施工應注意	水密性,且位於隱蔽處非目視
× .	行		定期維護與管理,端錨系統元件易	水密性,澈底有效隔絕腐蝕因子,	所及。於設計、監造及施工時
			發生銹蝕。	避免端錨系統元件發生銹蝕。	應考量澈底有效隔絕腐蝕因
					子,避免端錨系統元件發生銹
				1 2	蝕,文字修正。
12	P262/2.4.1	未採納(駁回)	(空白)	有關橋梁檢測、養護、維管 (維護	1. 本調查報告(草案)內容,包括
	/增列第2段			、管理)、修建、巡檢(巡查、檢	「維管」、「修建」、「養護」、
				測)等用語之定義及出處似無一致	「檢測」、「維護」、「巡檢」及
		,		性之說明,應依公路法及其相關子	「巡查」等語,惟上開用語之

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
				法,如公路修建養護管理規則、公	定義及出處似無一致性之說
13			*	路橋梁檢測及補強規範等規定,予	明,故建議橋梁維管法規增列
				以明確定義。	第2段。
					2. 橋梁「檢測」分為「定期檢
	(A		, "		測」、「特別檢測」及「詳細檢
		a a			測」,目的係為早期發現橋梁結
	N .	,			構物的異常與損傷劣化,以掌
					握橋梁之安全與使用性(交通
		-	* 3	* -	部「公路橋梁檢測及補強規
		-			範」第二章「檢測一般規定」
70		£ 100			參照)。
			2. 2		3. 「養護」應相近於「維護」之
20		1 2			概念,公路修建養護管理規則
			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	,	第5條已對「養護」有明確定
	*				義,係指為維持公路原有效用
					及公路用地之完整,並避免造
					成環境公害,所採行之各種維
		10			護措施。此外,交通部「公路
					橋梁檢測及補強規範」即是依
	.*				公路法第33條授權訂定之「養
					護」規範,而該規範第七章係
					規定「維修與補強」,故「養
					護」(「維護」)應包括維修與補

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
					強,其內涵為橋梁經定期或特
		*			別檢測後,若發現有劣化損壞
					狀況時,要依據檢測評估結
					果,分析構件劣化損壞型態、
					原因與程度,再依各構件劣化
					嚴重程度選擇適合各構件現況
					的維修方法,防止橋梁繼續劣
					化以满足使用功能,以及進行
			g		補強以提升橋梁之承載力與強
		F E E			度(交通部「公路橋梁檢測及
7					補強規範」第七章「維修與補
					強」參照)。
	-				4. 「維管」應包括「維護」與
					「管理」,關於「維護」之內
					涵,已如前述,「管理」應係指
					公路主管機關依公路法暨公路
		w ⁼			修建養護管理規則等法規就其
					所轄公路進行相關管理行為,
					例如對所轄公路指定養護單位
					擬訂全年養護計畫切實辦理,
		-			並保持各項設施之完整(公路
		4,	* *		修建養護管理規則第32條參
			,		照),以及財產管理機關依國有

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
					財產法相關法規進行之管理行 為,例如對其經管之國有財 產,進行保養及整修(國有財
					產法第 25 條參照)。 5. 「修建」應指新路線之興建、
					原路線之改善或修復工程(公路修建養護管理規則第4條參
	E.				照)。 6. 「巡檢」應包括「巡查」與 「檢測」,關於「檢測」之內
					涵,已如前述,至於「巡查」 係指公路主管機關為修建或維
					護公路及其設施安全就公路暨公路設施進行巡視查看之行為
13	P269/2. 5. 2	未採納(駁回)	查交通部曾於民國 105 年 6 月訂定	查交通部曾於民國 105 年 6 月訂定	(公路法第60條之1參照)。 1. 建立「臺灣地區橋梁管理資訊
	/第1段/第		「臺灣地區橋梁維護管理作業督導	「臺灣地區橋梁維護管理作業督導	系統」(TBMS)之法源依據為公
	1-8行		考核及評鑑實施要點」,其中規定	考核及評鑑實施要點」,其中規定	路法第79條第2項及公路修建
			橋梁維護管理作業包括橋梁之基本		養護管理規則第10條,而公路
			資料建立,而各單位所使用來管理		法第3條已明文規定公路主管
				橋梁基本資料之工具即為TBMS,	機關在縣(市)為縣(市)政府,
			藉由定期檢測完成 TBMS 中橋梁基本資料之登錄,該要點明定督導考	藉由定期檢測完成 TBMS 中橋梁基本資料之登錄,該要點明定督導考	且自「臺灣地區橋梁維護管理 作業督導考核及評鑑實施要

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
			局;評鑑對象為各直轄市、縣 (市)政府 ³¹ 。民國 105 年 11 月 南方澳大橋於 TBMS 內之轄管機關 由宜蘭縣政府更改為港務公司,由	南方澳大橋於 TBMS 內之轄管機關 由宜蘭縣政府更改為港務公司,由 於港務公司並非該要點中之督導考 核或評鑑對象,故 <mark>主管機關</mark> 亦未能	點」規定評鑑對象為各直轄 市、縣(市)政府乙節亦可 知,解釋上應無將管理機關登 錄為屬於私法人之港務公司之 空間。 2. 宜蘭縣政府雖於105年11月間 函請交通部運輸研究所將TBMS 所登錄南方澳大橋之管理機關
				覺南方澳大橋未依 <mark>公路法相關規定</mark> 之時程進行檢測。	更改為港務公司,惟 TBMS 係於 89 年建置完成,資料庫中包含 高速公路局、公路總局、鐵路 局及各縣市政府橋梁之基本資 料及定期檢測資料,建置此系 統之目的僅在於透過網際網路 瀏覽器,各橋梁管養單位及上 級機關可隨時上網掌握橋梁狀
					況,該管理資訊系統僅為「登 錄、評鑑系統」,並無決定或變 更公路主管機關及國有財產法 所規定管理機關之權限,故各 該橋梁之權責機關自應回歸公 路法及國有財產法相關法令據 以認定。

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
		,			3. 况查,TBMS之主管機關即交通
		_			部運輸研究所於本件事故發生
		1 2			後 108 年 10 月 16 日邀集超過
					20 個單位而召開「『臺灣地區
	71	24			橋梁管理資訊系統』相關事宜
					策進第1次會議」,該次會議結
-					論第(七)點已敘明:「橋梁雖
					登錄於 TBMS, 其功能是提供給
9					橋管機關及其目的事業主管機
	,				關便於有系統地掌握管理(監
		**			理),但管理與監理職責仍依各
					機關職權法規辦理。」
					4. 準此,依上開交通部運輸研究
			*		所之意見, TBMS 之功能在於有
					系統地進行管理,管理與監理
					之職責應依相關法規辦理,南
			**		方澳大橋法定之財產管理機關
					及公路主管機關分別為航港局
					及宜蘭縣政府,不因 TBMS 之登
-			#		載而有所變更,至為明確,調
		*	~		查報告草案此處記載恐遭錯誤
			*		解讀為「港務公司依 TBMS 之記
					載即成為管理機關而有就南方

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
					澳大橋進行橋梁檢測之義務」 爰予修正文字。
14	P271/2.6.1 /第2段/第 3-5行	未採納(駁回)	對於車輛載運消波塊超重狀況, <u>承</u> 包商未依上述規定向公路監理機關 申請核發臨時通行證 <u>,未評估超載</u> 之消波塊車輛是否會影響橋梁荷	對於車輛載運消波塊超重狀況, 車輛所有人或駕駛人未依上述規 定向公路監理機關申請核發臨時 通行證。	1. 查道路交通安全規則第7條、 第82條第2項規定之申請核 臨時通行證義務人應為車輛所 有人或駕駛人,修正文字。
			重。		2. 參據本調查報告 2.3.3.4 (P230) 小結略以:「可見消波 塊及土方之載運對吊索與鋼構 受力之影響並未超出設計車載
		,			之範圍」可證,似無須再釐清 有無「 評估超載之消波塊車輛 是否會影響橋梁荷重 」之實質 意義,爰建議刪除該等文字。
15	P272/2.6/ 增列第3段	未採納(駁回)	(空白)	設計圖排水工法之設計: 設計圖(圖號 S-10)中有繪製下錨 定三片鋼板,但未註明排水工法。	
	3 -				一,增列說明排水工法。

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
	-			(1-16) 2000(1-20) (1-10)	
	**			吊索下方組立透視圖 ₅=1 ±0	
				84年8月台灣省宜蘭縣政府蘇澳 港跨漁港航道拱橋新建工程設計圖 S-10	A
16	P273/3.1 /	未採納(駁回)		1-1. 事故大橋端錨系統設計無考	1. 參據本報告 2.2.1 (P211) 倒
	第1段/增列		40 1	量水密性,無法有效隔絕腐	數第2段所示,有關南方澳大
	第1-1點;			蝕因子,且錨定機構三片鋼	橋端錨系統主要防水方式,顯
	第1-2點;	<u>.</u>	* .	板未設計洩水孔或導水功	現與事故橋梁端錨與鋼絞線嚴
	修正第1點			能,讓錨定機構成為槽狀空	重銹蝕有因果關聯,應將上述
				間,造成積水銹蝕,為主要	調查事實內容於 3.1 節內揭
				肇因之一(参2.2.1 P210-	露,增列第1-1點。
				211) •	2. 参據本報告 2.2.1, 2.2.2
					(P210-215) 所示,有關南方澳

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	**	港務公司建議修正		說明
		a		1-2	件,其組件之鋼絞線防銹在		大橋端錨系統主要防水方式及 端錨系統來源,顯現端錨系統
					絞合前後、充填空隙及套管 保護等,有實務上的處理方 式,而南方澳大橋端錨系統		的使用及防銹處理與鋼絞線嚴 重銹蝕有因果關聯,應將上述 調查事實發現於3.1節內揭
					之各構件,無相關產品編號標示,應不是使用竣工圖記	3.	露,增列第1-2點。 經查與該橋同期興建之數座吊
*					載之法西奈預力系統。現場 HDPE 套管與錨定機構間並		索橋,同位於海口、高鹽度、高濕度,使用期間亦未經拆卸
					無鎖固機構的設計,僅以本 身重量相接於錨定機構,造 成滲水導致錨頭處吊索銹		檢查維護,但至今仍健全良 好,相較之下,興建時期之防 蝕考量確為未來是否劣化之重
			1. 南方澳大橋位於漁港出海口,		<u>飯,為主要筆因之一(參</u> 2.2.1,2.2.2 P210-215)。	4.	點。
		1	屬重鹽害、高濕度區域。大橋 於使用多年後,吊索系統防水	1.	南方澳大橋位於漁港出海口, 屬重鹽害、高濕度區域。檢視		建請吊索系統防水設施逐漸劣化之原因(如未按圖施工,鋼
5			設施逐漸劣化,		南方澳大橋端錨系統 HDPE 套管 進入橋面內部後,與錨定機構 間並沒有鎖固機構的設計,僅	6	索、HDPE 套筒及錨頭銜接段防 蝕保護等),應予明確列入調查 發現,爰予修正第1點文字(參
		8 ,			以本身重量相接於橋面錨定機構。橋面中央分隔島之金屬材		2. 2. 2 , P213~215) •
		19			質箱體非竣工圖上之原始設 計。主橋施工時錨定吊索系統		

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	説明
				未按圖確實施工,吊索、HDPE	
		s 8		套筒及錨頭銜接段防蝕保護不	
				足,部分鋼絞線未經鍍鋅處	
				理,端錨預力系統來源不明,	
			* * *	故於使用多年後,吊索系統防	
	4)		9 9		
				水設施逐漸劣化,	
17	P274/3.1/	未採納(駁回)	然事故發生前,我國橋梁屬性定位	然事故發生前,我國橋梁屬性定位	1. 依據監察院 109 交正 0003 號糾
	第4點/第4-	F =	及主管機關相關法規不完整,特殊	及主管機關相關法規不完整,特殊	正案文之事實與理由,南方澳
	8行		橋梁檢測方式及規範指引不完備,	橋梁檢測方式及規範指引不完備,	大橋梁檢測、評估作業權責不
			且未落實執行,導致該橋於竣工後	且未落實執行,導致該橋於竣工後	清,酌予修正文字。
		B	執行過之7次橋梁檢測皆為定期目	執行過之了次橋梁檢測皆為定期目	
			視檢測,且事故前3年7個月間,	視檢測,且事故前3年7個月間,	
	*		未有任何橋梁檢測作業。	因權責不明 未有任何橋梁檢測作	
		-	(1.7.3, 1.12.1, 1.12.2, 2.4, 2.5)	業。	
		a1		(1. 7. 3, 1. 12. 1, 1. 12. 2, 2. 4, 2. 5)	
18	P277/3.3/	未採納(駁回)	9. 檢視南方澳大橋端錨系統之各	13. 檢視南方澳大橋端錨系統之	1. 參據本報告 2.2.2 端錨防銹防
	第9點		構件,與法西奈民國109年提供之	各構件,調查小組由竣工圖、亞	水之考量及2.2.3端錨系統來
	移列		錨頭照片及該公司端錨系統1999	新提供之書面及訪談資料,皆顯	源 (P210-215), 法西奈端錨系
	P276/3. 2/		年版之產品說明不同。南方澳大	示南方澳大橋預力端錨是使用法	統具6項構件,其組件之鋼絞
	新增第13點		橋之端錨系統,可能不是使用竣	國法西奈之預力系統;與法西奈	線防銹在絞合前後、充填空隙
	1.1 N 10 WD	* =	工圖記載之法西奈預力系統。(民國109年提供之錨頭照片及該公	及套管保護等,且有實務上的
			1. 9. 3, 1. 9. 5, 2. 2. 2)	司端錨系統1999年版之產品說明	處理方式。
			1. 0. 0, 1. 0. 0, 2. 2. 2)		2. 斷橋事故發生後,調查小組由
				不同。南方澳大橋之端錨系統,	4. 圆简争以贫生夜,两旦小组田

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
	26	,		可能不是使用竣工圖記載之法西	竣工圖、亞新提供之書面及訪
			# · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	奈預力系統。(1.9.3, 1.9.5,	談資料,皆顯示南方澳大橋預
				2.2.2)	力端錨是使用法國法西奈之預
					力系統,惟法西奈公司表示未
			2,0		曾參與南方澳大橋之興建工
					程。亦即該橋之端錨系統,可
					能不是使用竣工圖記載之法西
			*	- ·	奈預力系統,廠商使用不明系
		2 2	×		統,對本案應有風險性之影
	VI 1				響,建議移列與風險有關之調
					查發現第13點,並文字修正。
19	P278/3.3/	未採納(駁回)	工程執行位單未依規定向公路監理	車輛所有人或駕駛人 未依規定向	1. 查道路交通安全規則第7條、
	第13點/第		機關申請核發臨時通行證,未評估	公路監理機關申請核發臨時通行	第82條第2項規定之申請核發
	4-6行		超載之消波塊車輛是否會影響橋梁	證。	臨時通行證義務人應為車輛所
		8 3	荷重。(1.11.4,2.6.1)		有人或駕駛人,修正文字。
				2 -	2. 參據本調查報告 2.3.3.4
	A)		aler e		(P230) 小結略以:「可見消波
		-			塊及土方之載運對吊索與鋼構
	578	**			受力之影響並未超出設計車載
			ys ***		之範圍」可證,似無須再釐清
					有無「評估超載之消波塊車輛
					是否會影響橋梁荷重」之實質
		* 12.1			意義,爰建議刪除該等文字。

項次	頁數/章節/ 段落/行數	運安會複審調 查報告結果	運安會複審調查報告 109.11.06 第 18 次會議	港務公司建議修正	說明
20	P281/4.1/	未採納(駁回)	(空白)	致營造業主管機關(內政部、各直轄 1.	本事故發生之主因為營造廠商
	增列第3段			市政府、各縣 (市) 政府(因立永營	於吊索錨頭處未按圖施工、選用
			*	造股份有限公司已廢止公司登記,	施工材料低劣、施工方式不良等
	à.			故依營造業法第2條規定,轉致營	造成,然其營造廠商立永營造股
				造業主管機關)	份有限公司已廢止公司登記,無
				1. 持續宣導主管之營造業加強工	法要求其改善。
	**			程品質,並於承攬特殊性橋梁、2.	依營造業法第2條規定,請致營
				特殊性工程時,需評估自我施工	造業主管機關,加強提醒轄內營
				能力謹慎執行,施工期間務必按	造業應加強公共工程品質,爰予
				圖切實施工,選用合格材料,於	增列。
				施工隱蔽處需特別考量後續維	
-				護修繕之可行性。	