

台 15 線關渡大橋吊索更換工程簡介

鄭朝安*

摘要

近年來國內採用鋼纜的鋼橋有日益增多之趨勢，鋼纜橋梁使用年限一久，鋼纜就會面臨斷裂、銹蝕等損壞問題，故本局除平時養護巡查外於每年 3 月及 9 月亦會辦理橋梁定期檢測，如發現橋梁鋼纜有嚴重銹蝕且有裂紋之情況，即會邀集相關專家學者辦理進一步現勘檢測，經檢測判定有安全之虞，就必須以更換鋼纜的方式處理，所以除了橋梁改建，否則類似橋梁鋼纜更換工程會慢慢浮現，關渡大橋目前為國內第一座更換鋼纜的吊索橋梁，橋梁吊索的更換，不只牽涉到施工，尚包括力學上的行為，如何在施工上能順利的進行，並且滿足力學上的行為，在本工程中是需要探討並相互配合的，日後國內鋼纜橋梁也會因使用的時間而逐漸面臨此問題，本文中，將以實際吊索受力之情形，並說明施工過程中，如何逐一克服施工上的困難，且對新吊索的施拉力量，作力學上的簡單討論，建立日後國內鋼纜橋梁更換之雛形，以求拋磚引玉之效。

關鍵字：關渡大橋、吊索、鋼絞線

一、關渡大橋簡介

台 15 線關渡大橋新建工程於民國 72 年 10 月 31 日竣工，主要為聯絡新北市八里與淡水間的交通要道。關渡大橋位於淡水河下游，離淡水河出海口約 6 公里，連接新北市淡水與八里二區，該橋貫通北部濱海公路系統，肩負八里、淡水、蘆洲等區間交通運輸，有利發展地區經濟、與觀光旅遊，鋼拱橋全長 539 公尺，淡水端及八里端引橋長分別為 135.5 公尺及 134.5 公尺，總長計 809 公尺，橋面淨寬為 19 公尺，計雙向四車道，主橋採彎矩圖型式之三跨連續式鋼拱圈。

二、工程緣起

* 交通部公路總局中和工務段幫工程司

99年3月間中和工務段人員巡查關渡大橋時發現吊索有斷裂現象，並向段長通報，初步觀察吊索狀況，僅下游側淡水往八里方向第23條斷1股（CB-13）、第28條斷5股（CA-15），其餘吊索狀況均無斷裂之情況。

段長邀請台灣世曦人員及公路總局前總工程司王慶一現勘，台灣世曦出席代表表示本橋吊索從72年10月31日竣工以來，至99年已27年餘，除目前已斷裂二條吊索外，其餘吊索狀況目視均良好，最初討論僅考慮更換斷裂的二條吊索，然若只更換斷裂二條吊索，恐會造成新舊吊索受力不一；另王前總工程司慶一則表示舊吊索為61股鋼絞線，雖吊索表面有油漆保護，但每股鋼絞線間難免有空隙，且時間一久造成內部鋼絞線防蝕的鋅含量用盡而無防銹功能，造成鋼絞線銹蝕斷裂，最後越斷越多股，又舊吊索自完工至99年已27年餘，其餘未斷裂吊索應有相同之問題，故建議該橋全面更換吊索。綜合上述意見，中和工務段遂編列預算將關渡大橋吊索全面更換。

三、吊索斷裂原因

吊索斷裂的原因有很多，關渡大橋吊索斷裂可能因素有疲勞破壞、環境所造成吊索之銹蝕、外力過大超過吊索之極限強度等，關渡大橋吊索CB-13斷5股與CA-15斷1股，經現場肉眼觀察，其斷裂部位有銹蝕現象，經研判斷裂原因屬銹蝕所造成。

四、關渡大橋吊索更換工程計畫書之審定

因「台15線關渡大橋吊索更換工程」為國內第一座吊索（鋼纜）更換工程，故於工程施工補充條款特別明定，工程施工前須提送施工計畫、吊索監測計畫、材料送審計畫等，由工務段邀請相關專家與學者審查核可後方得施工。

本工程原先設計時，更換吊索之材料均參照原竣工圖所採用之型式，而材料試驗項目也針對原吊索之試驗項目做檢驗，承攬廠商於得標後與專業纜索的廠商合作，經協力廠商向東京製鋼株式會社接洽，原舊吊索之吊耳與錨頭已不生產品，故協力廠商遂向大陸最大鋼纜生產的公司洽詢，並考慮適合關渡大橋現有狀況之吊索，吊索本身可承受之設計張力值及吊索材料的防腐銹蝕等，採用大陸上海浦江纜索有限公司生產之吊索，並歷經二次審查會，與會的審查委員同意就廠商所提出的吊索先行試用。

五、新舊吊索之材料性質

舊吊索採用日本東京製鋼株式會社出品 Galvanized Structural Strand A Coating Throughout，其材料性質如下：

直徑 D=4.22 公分

斷面積 A=10.08 平方公分

重量為 8.83kgf/m

彈性模數 E=16330kgf/mm²

降伏應力 Fy=110kgf/mm²

極限應力 Fu=135.185kgf/mm²

新吊索採用 ASTM A416 及 ASTM A90 低鬆弛率所規定之 PC 鍍鋅鋼絞線。吊索材料皆為大陸上海浦江纜索股份有限公司製造（包括纜索、HDPE【高密度聚乙烯】、鐵製配件、錨頭、夾片、吊耳等）。每條吊索有 9 根鋼絞線，每根有 7 股，故每條是 63 股鋼絞線，並以 HDPE 披覆其外。

吊索直徑 D=15.2mm/根

吊索斷面積 A=138.7mm²

張力降伏荷重 Py=22.6T/股

張力極限荷重 Pu=26.6T/股

鍍鋅量 ≥ 300g/m²

表 1 新舊吊索材料性質比較

種類 項目	新置 NEW-PPWS 吊索	舊有吊索	
防蝕性能	索體	每根鋼絲採鍍鋅	無法辨識
		每根鋼絞線除充填油脂外並於每根鋼絞線外部熱擠 HDPE 共三層防蝕功能	無
		每根吊索外部均採雙色(外部色澤配合業主指定，內部採黑色抗 UV 材料)熱擠成型	鋼絲直接鋪露或油漆直接塗裝
		有最新置索之截雨線降低索體雨振	無
		設置不銹鋼防雨罩	無
		新置制振器降低索體風振增加索體壽命	無
	錨頭	採 40Cr 合金鋼耐腐蝕	S46MNC 中碳錳鋼
		有不銹鋼防護罩並灌漿防蝕	無任何保護裝置
		表面採 Cr 合金電鍍	中碳鋼熱處理

力學及安全性能	新置螺栓雙重螺母及防鬆裝置	採用 Pin 方式
	耐磨軸承	無
	錨體與鋼線無任何媒介傳達力量使力量由上拱經索體及錨頭直接傳達至橋梁端	上部索體經由下部錨頭連接螺桿再由螺桿與螺帽將力量傳達至承板，間接損失並減短壽命，上部錨頭與橋面板間無法完美收尾保護，易漏雨水影響壽命
	有最新置索之截兩線降低索體風雨振	無
	新置制振器有效降低索體振動增加索體壽命	無
	<p>力學檢核：新置 7 股 15.2 ϕ 鋼絞線 X9 根</p> $f_u = 26.6 \times 10^3 \text{ kg} \times 9 \text{ 股} = 239.4^T$ $239.4^T > \text{設計要求 } 146^T \dots 0. \text{ K.}$ <p>降伏強度 $22.6 \times 9 = 203.4^T > 146^T \dots 0. \text{ K.}$</p> $\text{斷面積 } 140 \text{ mm}^2 \times 9 \text{ 股} = 1260 \text{ mm}^2 > 1073.9 \text{ mm}^2$	<p>規範原規定 146^T</p> <p>(現有吊索並未測試)</p> <p>理論計算值：斷面積 $1073.9 \text{ mm}^2 \times 1680 \text{ MPa} = 184.0^T < 239.4^T \dots$ 小於新置吊索受力</p>
施工效率	安裝方式快速安全大大減少工期時間，也不需墊片來調整鋼索長度之誤差，採隨時可調式錨具，精確可靠。	鋼絲線與連接鋼棒之接頭下方，需要用墊片以調整鋼纜吊索長度之誤差，如果長度過長將無法補救此缺點。

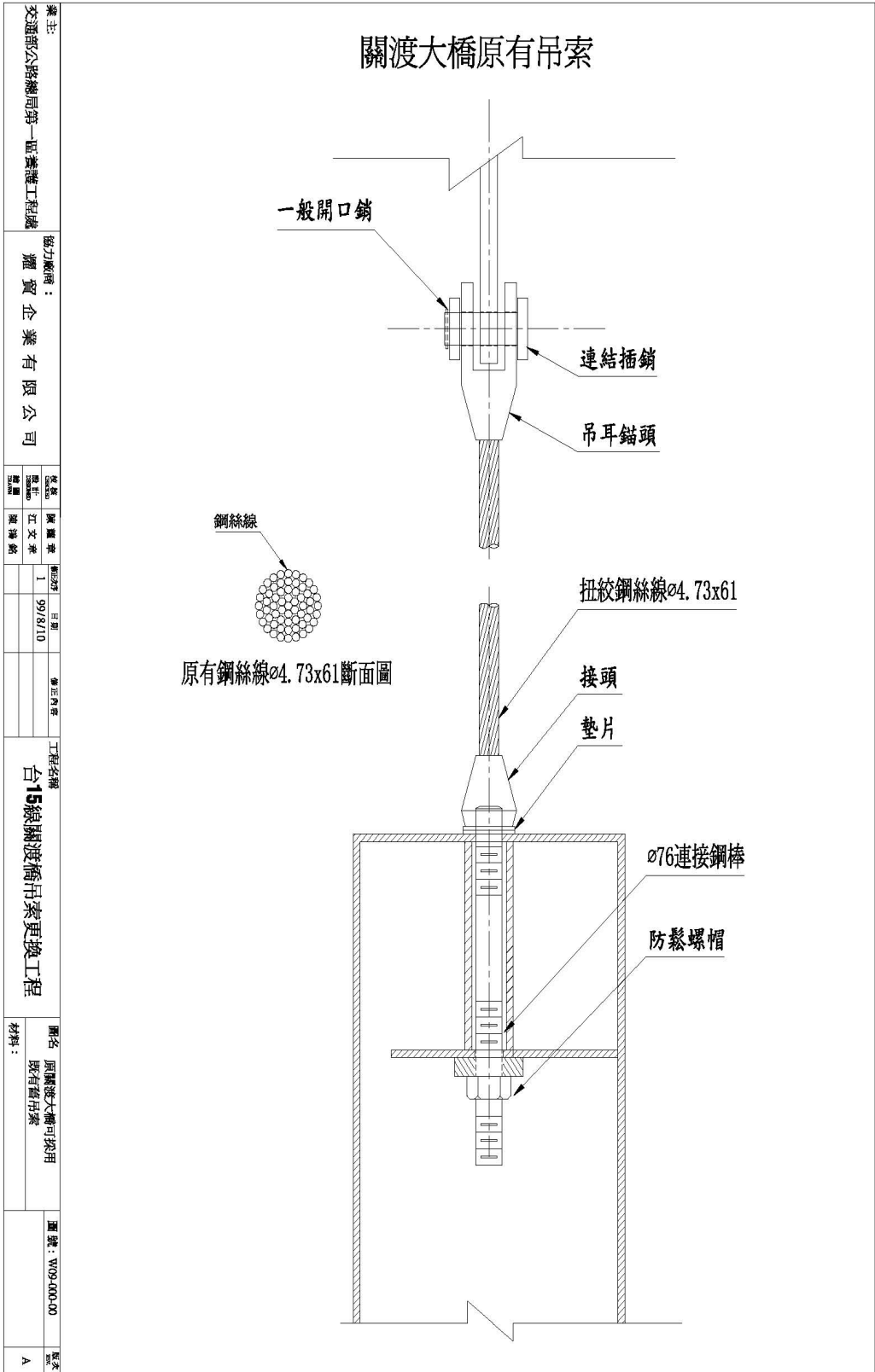


圖 1 關渡大橋舊吊索構造圖

業主： 交通部公路總局第一區養護工程處	協力廠商： 耀賀企業有限公司	名稱： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索
圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索
圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索
圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索
圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索	圖號： W09-000-01	圖名： 圖名：本關渡大橋換索工程 擬採用之吊索

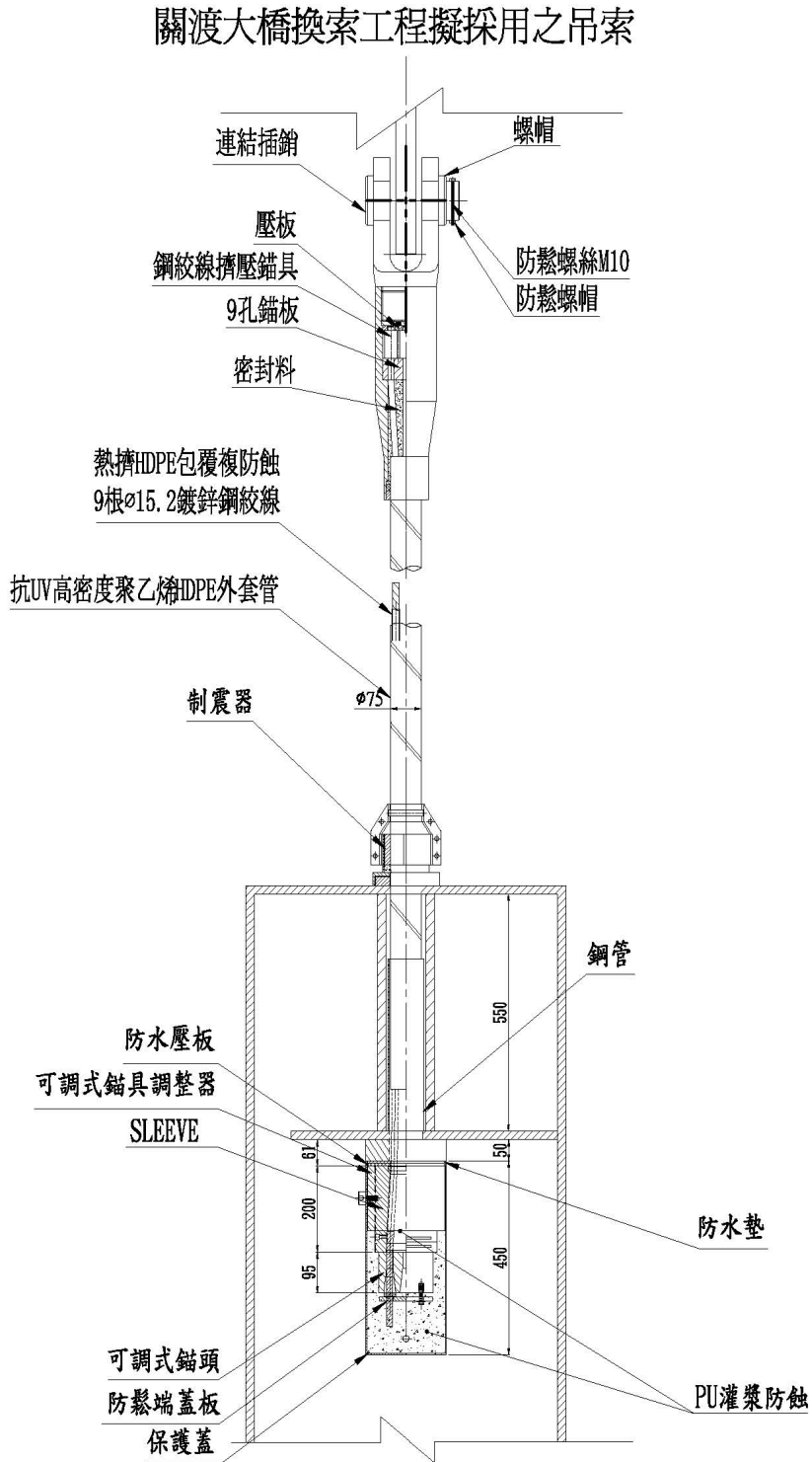


圖 2 關渡大橋新吊索各部構造圖

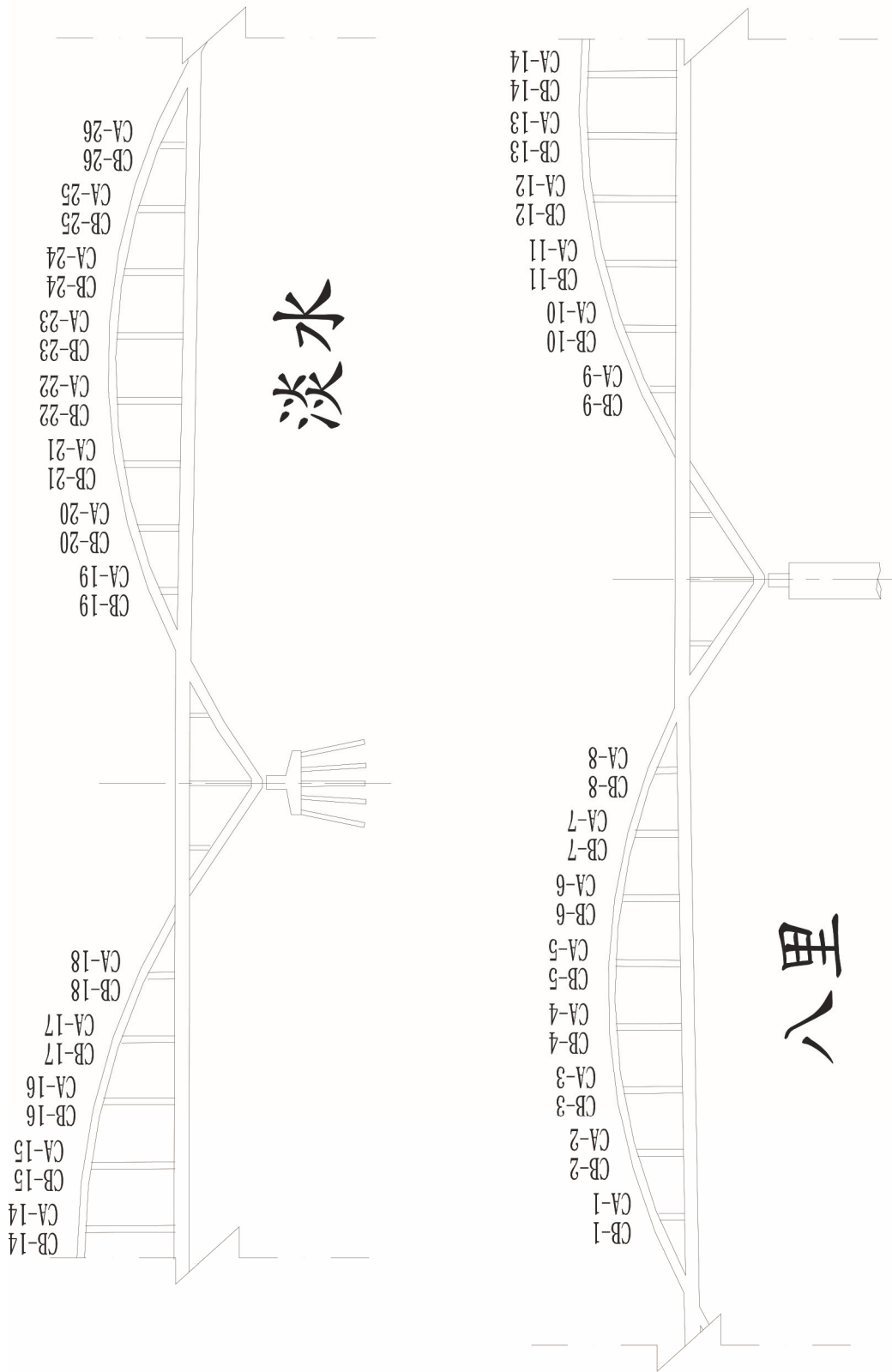


圖 3 關渡大橋各吊索位置分佈圖

關渡大橋換索步驟 (圖 4~圖 23)

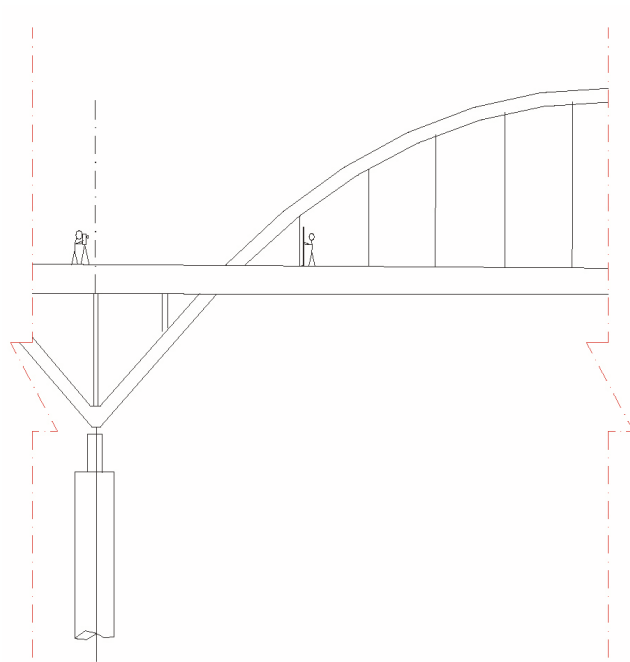


圖 4 步驟一〈拆除舊有吊索前〉

先用水準儀測出舊有高層並紀錄數據判別該橋線型並檢討

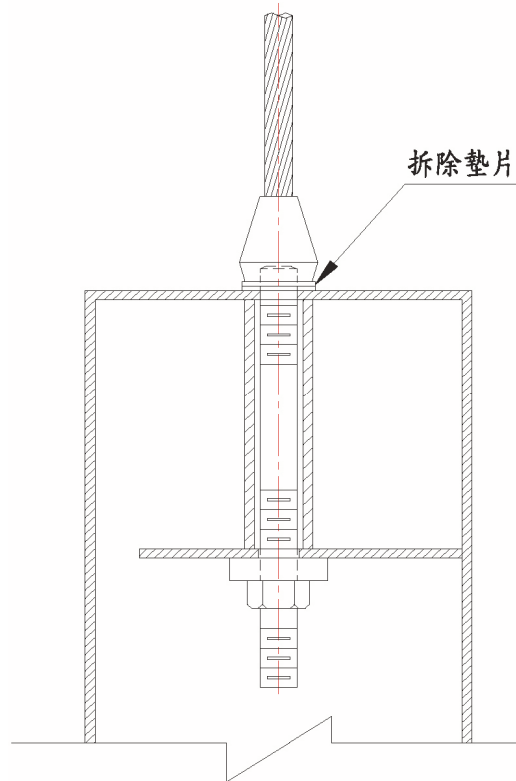


圖 5 步驟二 拆除承座與鋼箱梁間接頭之墊片

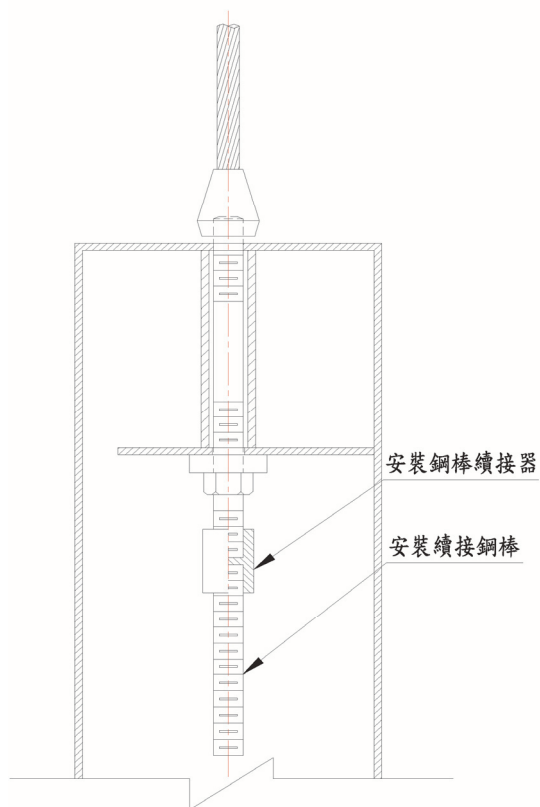


圖 6 步驟三 安裝鋼棒續接器與續接鋼棒

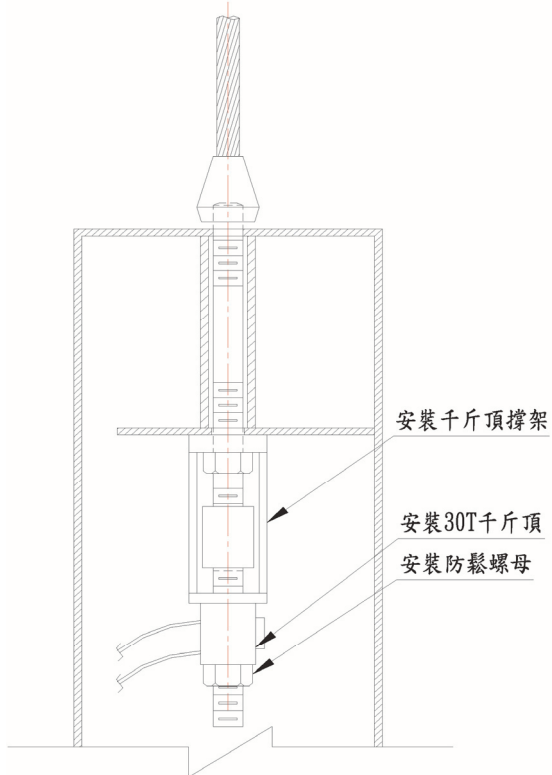


圖 7 步驟四 安裝千斤頂撐架、千斤頂與螺母

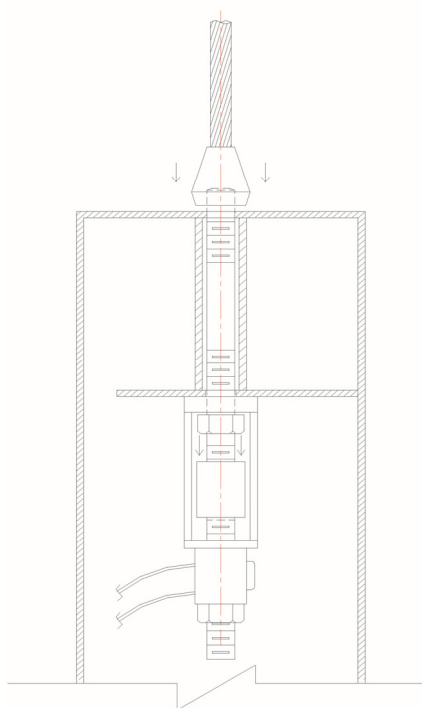


圖 8 步驟五 以千斤頂施力微微頂開螺帽時，
記錄千斤頂所施的力量以利換新索時之參考

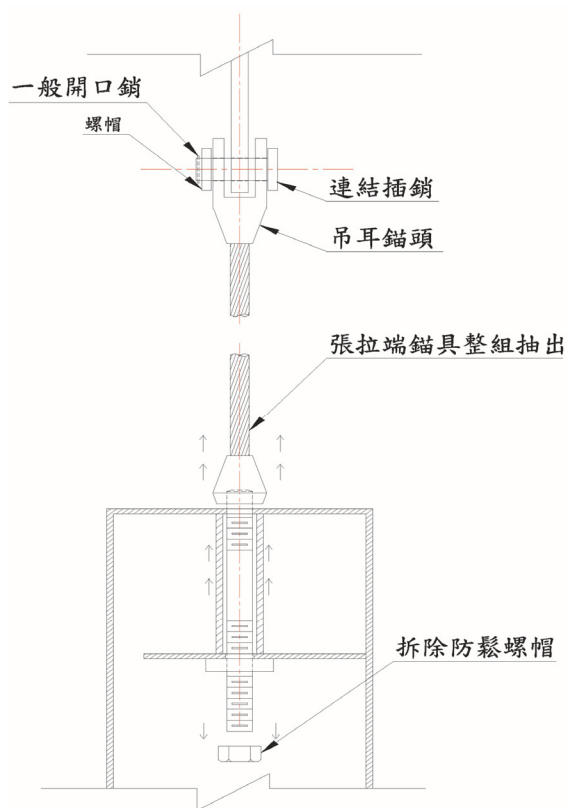


圖 9 步驟六 拆除螺帽，經卸壓後切除或抽出整支張拉端鋼索

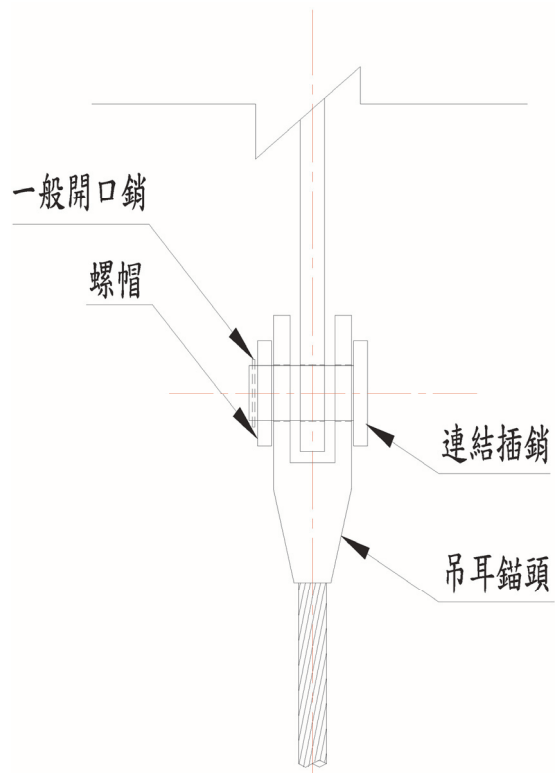


圖 10 步驟七 原吊耳端是由吊耳、插銷、開口銷組合而成。

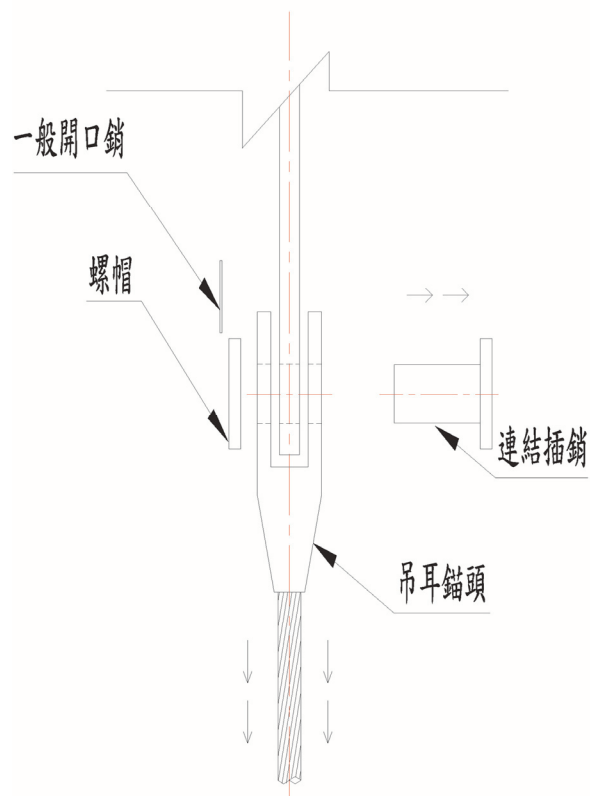


圖 11 步驟八 拆除開口銷與連結插銷後，完成固定端拆除作業

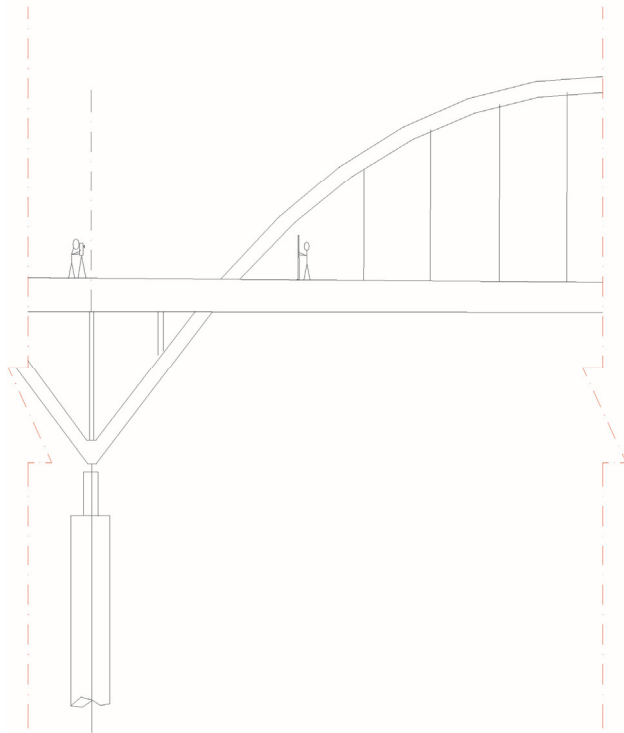


圖 12 步驟九 拆除舊有吊索後用水準儀測量高程線型並紀錄數據檢討

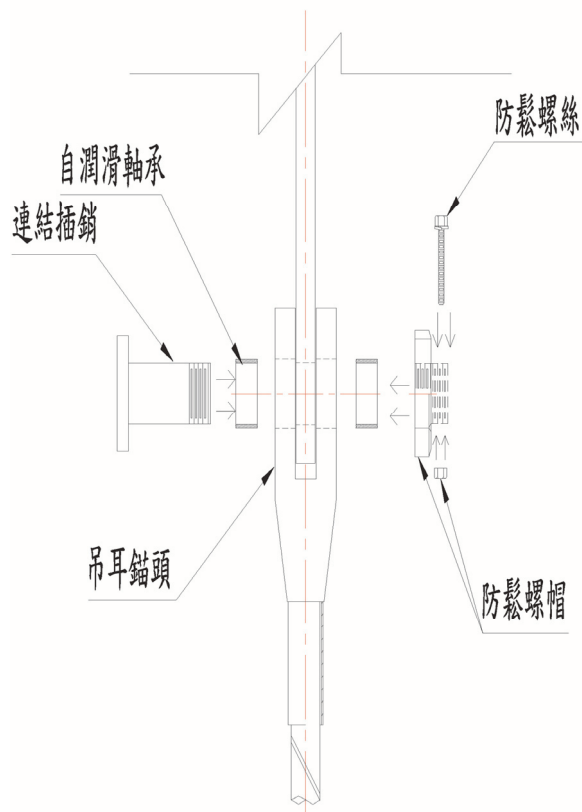


圖 13 步驟十 新吊索吊耳端固定

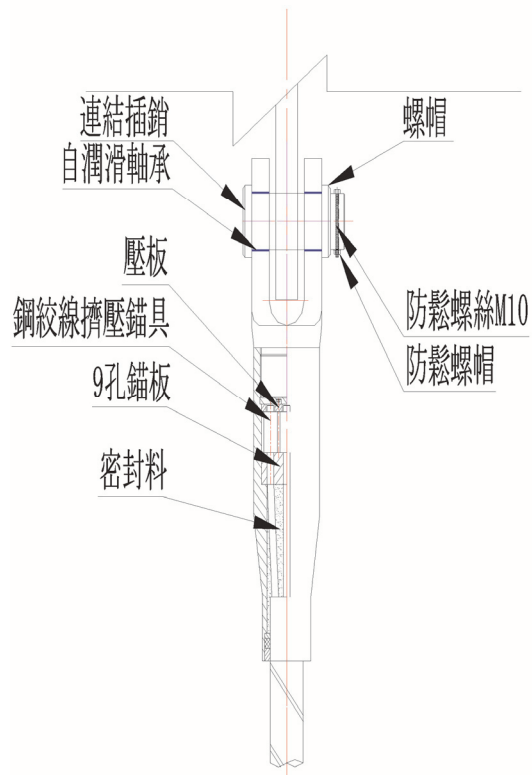


圖 14 步驟十一 組裝好後的新吊索吊耳端

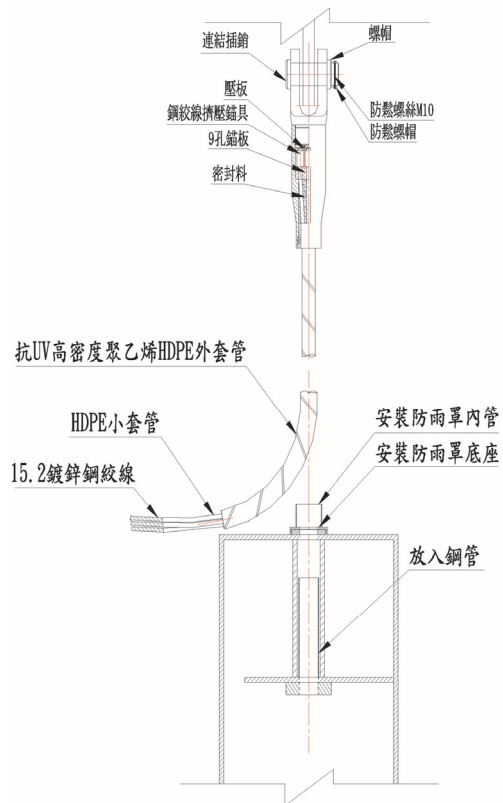


圖 15 步驟十二 吊耳端完成後，拉力端先固定防水套管

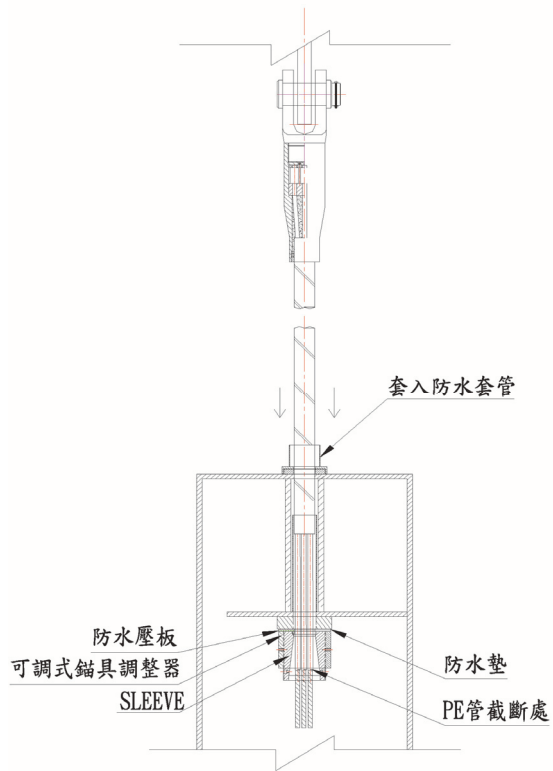


圖 16 步驟十三 吊索直接穿過固定好的防水套管，並安裝可調式錨具調整器

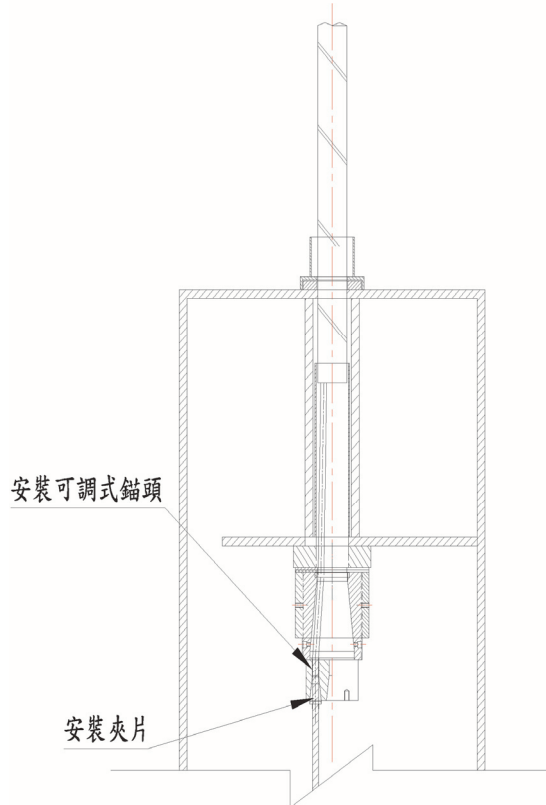


圖 17 步驟十四 安裝錨頭與夾片

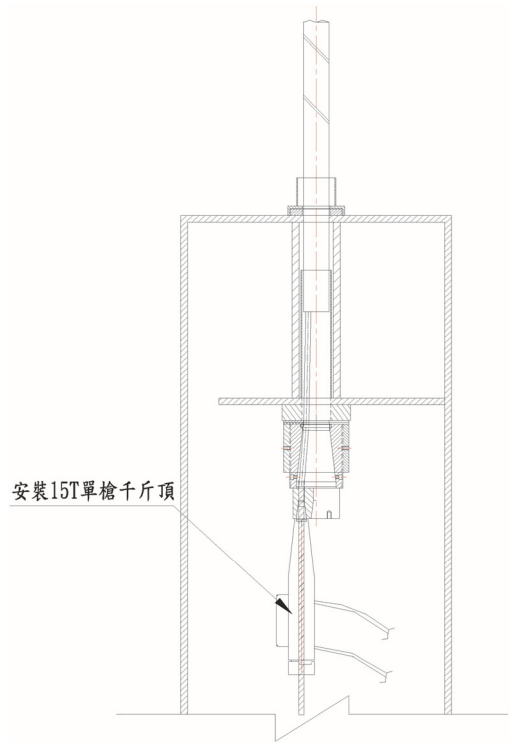


圖 18 步驟十五 安裝單槍千斤頂施拉，施加的力量是按照拆除舊有吊索時所記錄並經檢討後的力量

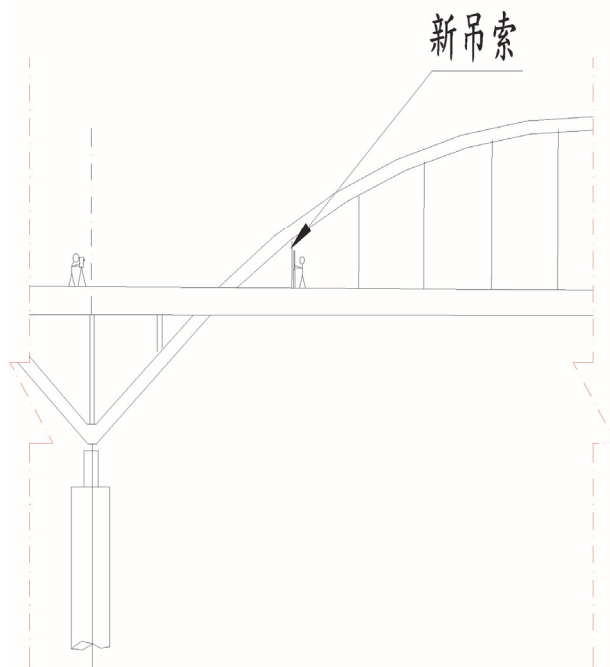


圖 19 步驟十六 依上述方式重複施作完成所有吊索後，以水準儀測量各組吊索高程，確認與初始未拆除舊吊索高程是否變化異常或需再進行調整

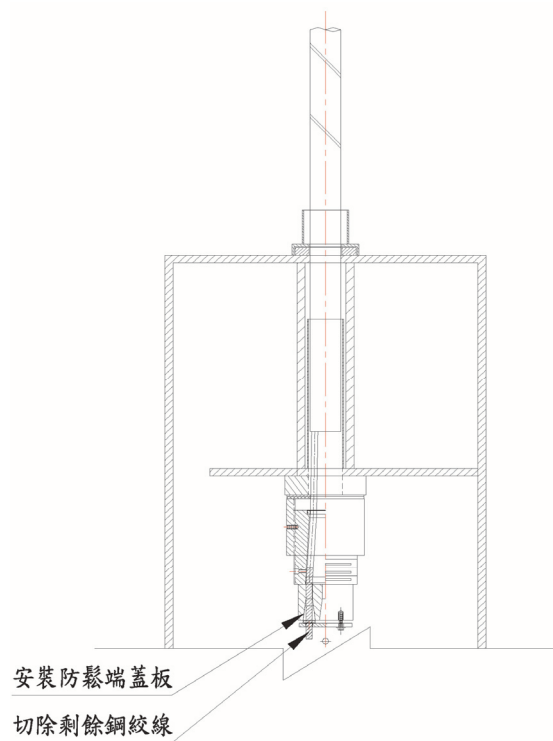


圖 20 步驟十七 如果測量後沒有變化即可以切除剩餘鋼絞線，然後鎖上防鬆端蓋板

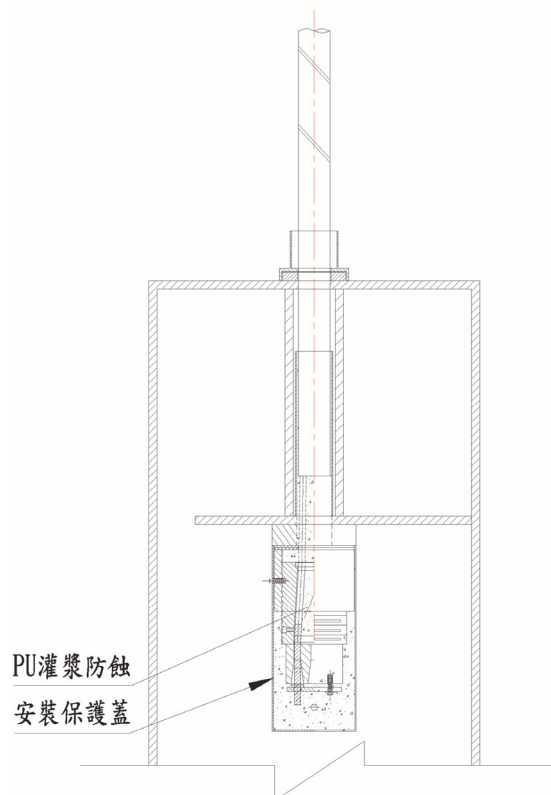


圖 21 步驟十八 蓋上不銹鋼保護蓋，固定後打入 PU 灌漿增加防蝕效果

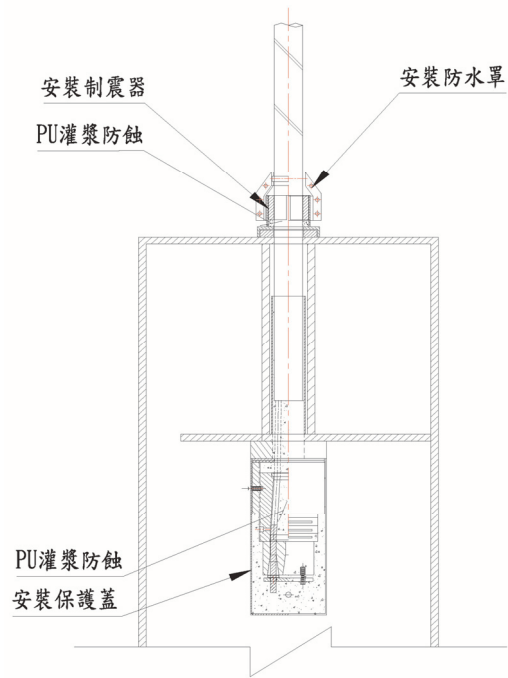


圖 22 步驟十九 設置防水套管內之制震器為減少鋼索振動，最後蓋上不銹鋼防水罩塞入橡膠墊圈補上矽膠封頭做到完全防水

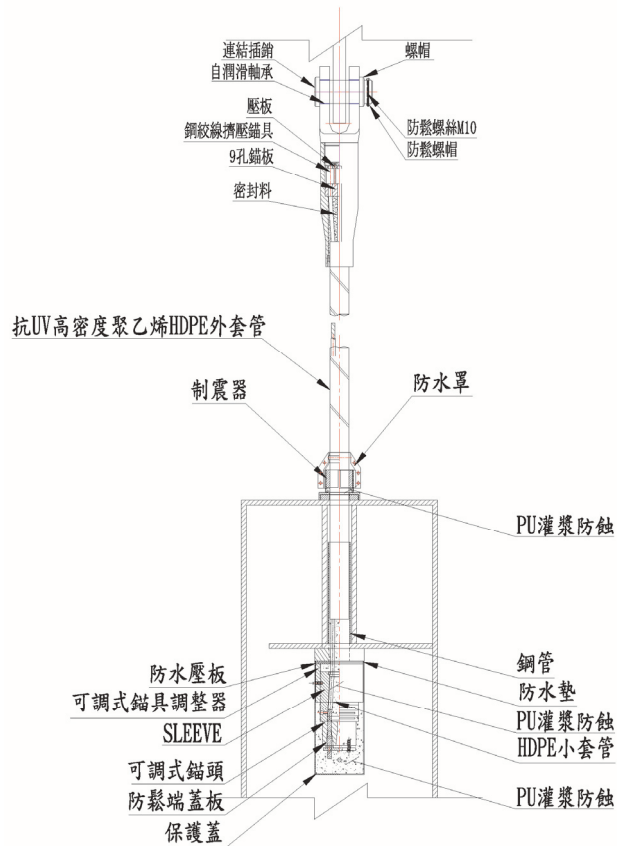


圖 23 新鍍鋅鋼絞線吊索更換完成
 六、吊索監測之目的及方式

本工程為國內第一座鋼拱橋吊索更換工程，因無類似工程經驗可供參考，為求更換過程能順利進行，避免橋梁過大變形及吊索過度受力，故更換過程中須進行監測，以維持橋梁外形。吊索監測時機分為：換索前、中、後監測。

換索前監測：關渡大橋共有 104 條吊索，經查竣工圖，側拱圈因向二端有 3% 之坡度，故每條吊索因位置不同而有不同之底部高程，而中央拱圈坡度為 0，故每條吊索之底部高程均相同，關渡大橋通車 30 年餘來，在活載重、靜載重及其他載重互相作用下，每條吊索之伸長量不盡相同，然為了解換索前每條吊索之底部高程，故須先以水準高程測量方式在每一吊索點測量其高程值，作為日後控制吊索長度之依據。

換索中監測：關渡大橋係淡水與八里間往返唯一的橋梁，尖峰時段交通量大，且工作人員須在鋼箱梁內作業，為減少車流量引起之震動，造成吊索更換不易，及鋼箱梁內環境不佳，故吊索更換採夜間施工。但因夜間施工視線較差，採用水準測量進行各吊索間之監測，讀數不易，且易產生誤差，故換索過程中採用紅外線測距儀監測，量測大梁與拱圈之距離，作為日後安裝新吊索距離控制之參考。

換索後監測：新吊索全部更換完畢後，為控制吊索之伸長量，必須進行全橋吊索底部之高程測量，並以此高程測量值作為測量基準，再與日後所測之高程測量做比較，了解吊索伸長量是否在容許範圍值，並以此作為吊索保固之依據。

除了吊索位移量的監測，尚有換索中力量的監測。

表 2 歷次施工審查會議日期及結論

審查會日期	審查會內容	會議結論摘述
99 年 9 月 10 日	第一次審查會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意廠商所提平行鋼纜之替代工法，惟大梁端錨之錨錠及防銹蝕處理，需在下次會議中提出。 2. 下次會議中承包廠商需提出詳細之施工計畫、吊索監測計畫書、材料規格檢驗計畫書等，施工計畫書須包括吊索更換期間，各吊索受力之結構計算書、施工期間交通維持計畫、吊索更換之緊急應變處理計畫等。
100 年 1 月 7 日	第二次審查會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 施工計畫書之施工細節未臻完善，請承包廠商將施工計畫書撰寫完整後，再提送審查，作為吊索更換施工過程之依據。 2. 原則同意承包廠商先進口二條吊索，以

		便將已斷裂吊索更換，請承包廠商盡速進口二條吊索，並簡化吊索進口流程，加速受損吊索更換之時程。
100年6月3日	第三次審查會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請承包廠商針對已更換 4 條吊索（CB-13、CA-13、CB-15、CA-15）進行高程監測，連續施測 4 周，施測當日需記錄氣候、車流概況、溫度、溼度、紀錄數值等。 2. 施工計畫書內的吊索換索吊裝順序需要再重新調整，並提出完整換索步驟。 3. 材料試驗部分（吊耳、掉索本體、夾片之滑動量等），請承包廠商盡速尋找可試驗之試驗室，以利日後做為施工及驗收之依據。
100年8月5日	鋼纜破壞機制試驗	<ol style="list-style-type: none"> 1. 華光工程顧問楊梅試驗室表示本工程掉索整組拉力試驗為非標準試驗，若在該試驗室進行試驗可能會有許多未知風險，且當時已安排許多預力鋼絞線靜載重試驗，故不接受本工程吊索整組之拉力試驗。 2. 請承包廠商參考財團法人全國認證基金會網頁，國際合作 ILAC 相互承認協議，尋找國外 3~4 間離台灣較近有認證機構之試驗室且可進行本試驗來進行；新吊索整組拉力試驗必須超過舊吊索之極限拉力強度值。
100年9月26日	吊索委外試驗項目 審查會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本工程吊索需進行整組靜載重試驗，以模擬現場吊索受力狀況，試驗拉力至少需達 167T 以上。 2. 位於中國大陸之中國船舶第 702 研究所試驗室為經 CNAS 認證之試驗室，與 TAF 均有 ILAC 相互承認協議，試驗結果可被認可。

100 年 12 月 22 日	整組吊索委外試驗 結果審查會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 整組吊索試驗結果審核原則通過，請承包廠商向中國船舶第 702 研究所試驗室提供吊索斷裂部位之照片，以確認斷裂狀況。 2. 請承包廠商將已更換之 4 條吊索，建立拱圈與鋼箱梁距離之觀測值，以了解吊索自安裝後迄今長度之變化。
參與專家學者：交通部公路總局王前總工程司慶一、台灣科技大學營建工程系潘誠平副教授		

七、吊索的同意試用

為避免斷裂吊索承受過大力量導致斷裂破壞，故於第二次審查會中先行同意更換原 CB-13 及 CA-15 的二組吊索，以減少斷裂吊索繼續承受過大力量。

7.1 吊索之進口

關渡大橋一共有 104 條吊索，於第二次審查會後，承包商遂催促大陸上海浦江纜索有限公司趕緊製索，因吊索在大陸上海製造並進口，屬於特殊使用目的，需經過經濟部國際貿易局的核可，經濟部國際貿易局以 100 年 2 月 16 日貿服字第 10001003111 號函核准進口本工程 105 條吊索，供台 15 線關渡大橋吊索更換工程用，交通部公路總局第一區養護工程處 100 年 3 月 7 日一工養字第 1000003398 號函表示該批材料規格經審查符合契約規定並同意使用，經濟部再以 100 年 3 月 14 日經授貿字第 10040004370 號函確認進口本工程之新吊索 105 條及其鐵製配件。

第一批進口 13 條吊索，於 100 年 4 月下旬進場，第二批再進口 92 條吊索，於 100 年 5 月中旬再進場，共 105 條吊索，多出來的一條吊索，係作試驗的樣品，日後做為整組吊索承受拉力試驗用。

最後雍欣營造有限公司 100 年 4 月 12 日 (100) 雍關字第 100041201 號函通知進口新吊索及配件預計於 100 年 4 月 17 日到基隆港，並於 100 年 4 月 20~22 日先行更換下游側編號 CB-13 及 CA-15 二條已斷裂吊索。

7.2 試辦更換受損之吊索

在實際進場更換吊索前，因人行道與外車道間有欄杆隔離，且吊索更換過程中，會有吊車占用外側車道，為減少施工中對交通的影響，先洽請新北市政府警察局淡水分局

與蘆洲分局，以求能協助疏導交通。

第一晚（100年4月20日）於21時封閉要更換吊索的施工區域車道，進行至22時餘，由於承包商第一次更換吊索，不熟悉吊索更換過程，導致當晚未能更換成功，無功而返。其原因如下：

1. 先更換 CB-13 吊索的位置在中央拱圈的中央地點，鋼箱梁內的作業人員從鋼箱梁二端的入口進入到 CB-13 的位置，因距離最長，又每組吊索所處的加勁板開孔較小，要移動較不便，且未善用橋底下方的工作台車，故較為耗時。
2. 鋼箱梁內為密封空間，與橋梁上之作業人員需透過通訊器材溝通，才能確保作業情況，而當晚通訊器材收訊不良，需由鋼箱梁內的人員從 CB-13 的位置爬出鋼箱梁外，再走到 CB-13 吊索橋面板上的位置，如此一上一下，已耗費不少時間，且易消耗作業人員的體力。

經檢討後，於第二晚（100年4月23日）再度施工，但仍無法更換完成，其原因如下：

1. 通訊器材再度收訊不良，無法與鋼箱梁內之作業人員溝通。
2. 承座（如照片 1、照片 2）為鋼纜與鋼棒交接處，承座下方有墊片與其連接，為避免水分滲透至內部，造成鋼棒（如照片 3~照片 6）銹蝕，當初係以焊接方式將其相接，以杜絕水分滲透其內部。更換吊索需將承座與墊片焊接部分切開（如照片 7~照片 9），才可將整條吊索抽出，進行更換，而當晚未能找對方法切開銲接處，又未能了解承座之構造，導致再度無功而返。

歷經二晚波折，為避免再度浪費時間，中和工務段要求承包廠商先行沙盤演練，針對更換吊索整個過程模擬演練一次，包括施工過程的控制、相關人員與機具的配合、通訊器材的選用、施工過程可能遭遇的問題等，均需加以演練，並採最短一組吊索進行更換，經更換過程或演練過程無問題後，才同意承包商進場施工更換。

承包商為避免進場後再度發生之前類似的狀況，一一克服相關問題，且確認通訊器材均可正常收訊，於 100 年 5 月 6 日再度進場更換，雖有前兩次之經驗及後續演練，但因為是第一次正式更換，對於整個換索過程仍不是很熟悉，所以在拆卸 CB-13 吊索時花費相當多時間，到了翌日凌晨 1 時，CB-13 吊索仍未拆卸完畢，因上午六時前要開放通車，為避免新吊索未能於上午五時前安裝完畢，故要求停止拆卸動作，俟次晚再進行 CB-13 吊索拆卸動作。



照片 1 原吊索承座之形式



照片 2 已將外表磨去的承座



照片 3 於施工前先行進入鋼箱梁內部了解舊吊索之構造



照片 4 舊吊索鋼棒處以螺帽鎖緊於鋼箱梁的加勁板中



照片 5 吊索鋼棒上部之構造



照片 6 以千斤頂先試著微微頂開螺帽即可讀取吊索承受之拉力



照片 7 吊索承座以氧氣與乙炔的混合高溫火焰切開後之狀況



照片 8 承座切開後距離下方墊片有 6 公分



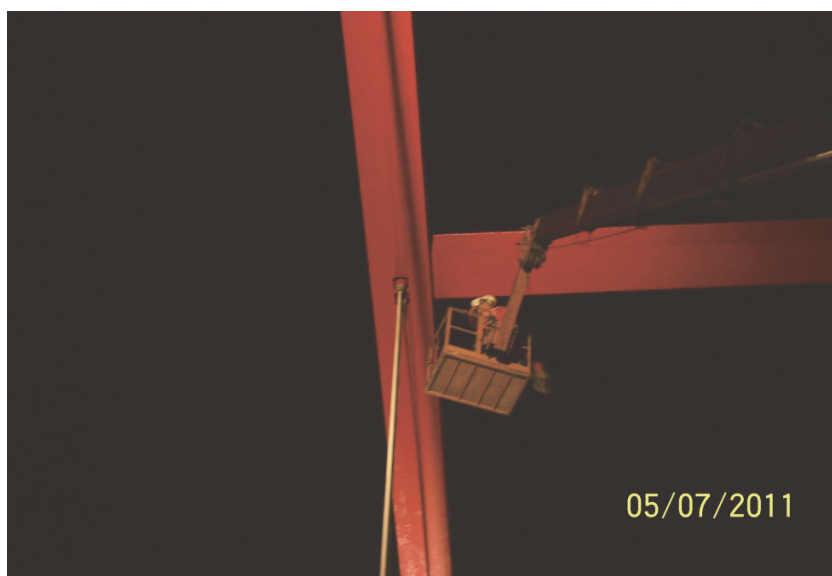
照片 9 切開承座 6 公分

100 年 5 月 7 日 23 時餘，在眾人的期待中終於將 CB-13 吊索拆卸完畢。將舊吊索拆卸下來後（如照片 10~照片 22），欲把新吊索裝上，等吊車將上頭吊耳吊上去時，卻無法將新吊索的吊耳部分安插在原先鋼拱圈內的孔洞中，最後在中和工務段段長的建議下，採用木棍架於吊車上工作架，才把新吊索的吊耳用插銷固定於拱圈上方的孔洞中（如照片 27~照片 30）。由此可知，安裝新吊索的關鍵點就是如何將新吊索的吊耳在很短的時間內固定到孔洞上，以求能減少更換時間、縮短更換吊索的空窗期並減少舊吊索拆卸下來釋放的力量由其他吊索承受的時間，這是承包商所必須面對思考的問題。上方的吊耳以插銷固定好之後，接下來就是將吊索下方的錨錠部分要穿入鋼箱梁上的孔洞中（如照片 23~照片 26、照片 31~照片 38），在要穿入之前，需先安裝防雨罩內管、防雨罩底座及防雨套管，而這三個防雨措施，與原舊吊索採用的承座亦有相同之功能，都是避免吊索進入到鋼箱梁中，吊索與鋼箱梁間有間隙，因雨水滲入間隙，導致下方錨錠部分日久銹蝕，故皆是防止水份滲入鋼箱梁內部的作用，到此部分橋面上的作業算是暫時完成了。但要做到完全密封不透水，還需要將所有接縫處以矽膠封住，以免任何水分滲入的可能，但用矽膠封住縫隙，雖施工容易，但暴露在陽光下，需要每隔一段時間進行檢查，必要時再重新封補矽膠。

安裝完防雨罩之後，接下來就是新吊索 9 股要以夾片夾住，再套入 9 孔的錨頭，而施拉的力量係以將吊索拆卸前，以千斤頂微微頂開螺帽所記錄的數據做為施加拉力的依據，因有 9 股，故要將整條吊索要施拉的力量除以 9，才是每股所要拉的力量，但分 9 次施拉，拉第一股完再拉第二股，第一股的力量會微微損失，為減少此一現象，承包商採三次循環分別施拉，第一次施拉至 60%，第二次施拉至 80%，第三次施拉至 100

%，以減少施拉預力的力量值。如此反覆進行三次循環，CB-13 的吊索施力就告完成，第一條吊索的拆卸與安裝亦告一段落。

因為承包商更換吊索步驟熟練了，所以第二條與第三條吊索均於 100 年 5 月 9 日更換完畢，第四條吊索於 100 年 5 月 11 日更只花了約三個小時就更換完成。如此說明，雖然關渡大橋吊索更換工程是國內第一座更換鋼纜的橋梁，如果第一條吊索能確實更換成功，後續吊索的更換只是第一條吊索的重覆動作，將可大幅縮短更換時間。



照片 10 工作人員坐上吊車準備拆卸吊索上方的吊耳



照片 11 拆卸吊索前先於上端安裝可承受一受力點裝置，避免吊索拆卸後因重力砸傷下方工作人員



照片 12 將 CB-13 吊索拆卸下來之情形



照片 13 將拆卸下的舊吊索移至旁邊放置



照片 14 拆卸吊索之情況



照片 15 上面拆卸吊索之情形



照片 16 拆卸下的承座



照片 17 拆卸下的吊耳



照片 18 狀況良好的舊吊耳



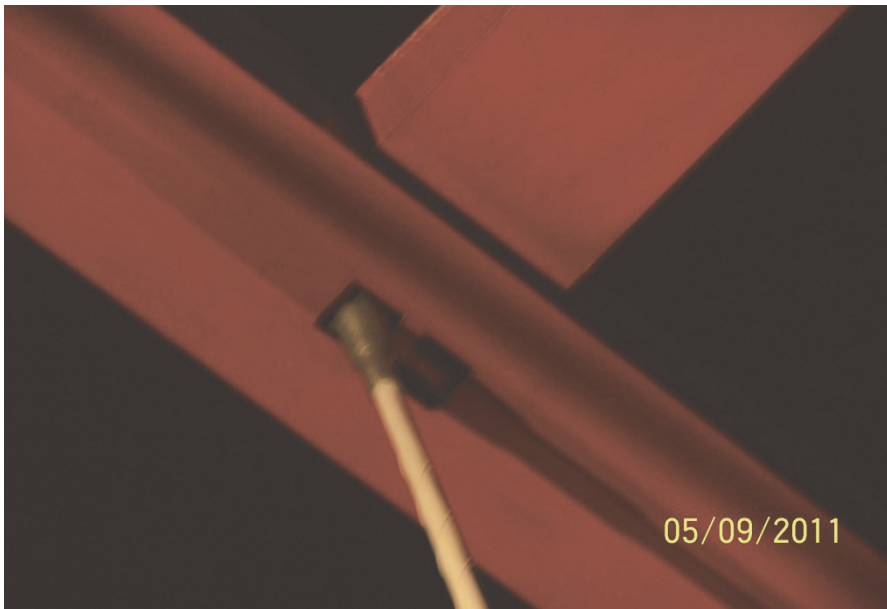
照片 19 拆卸下來的舊連結插銷



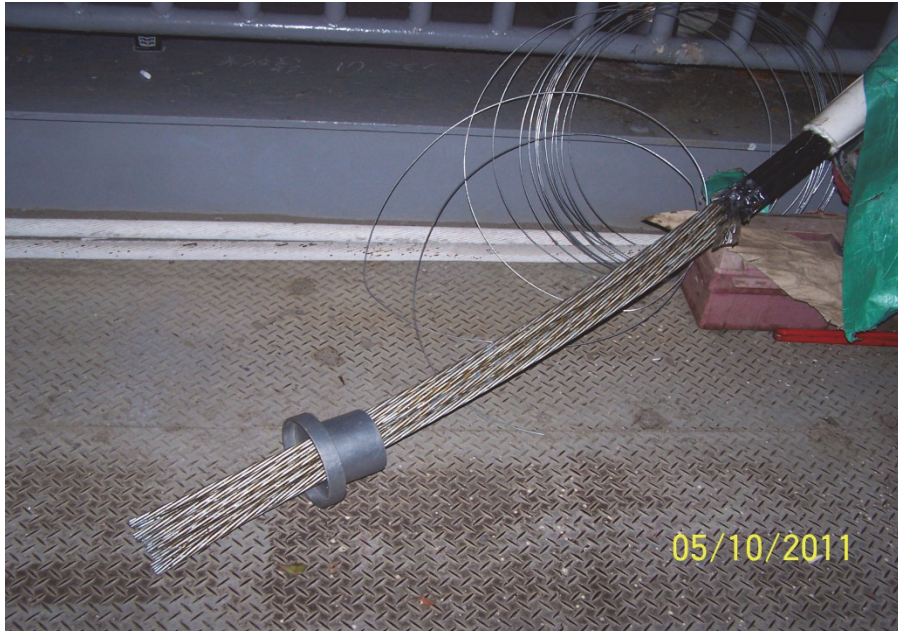
照片 20 拆卸下舊吊索的承座與鋼棒



照片 21 拆下舊吊索後鋼箱梁的孔洞



照片 22 拆下第二條吊索



照片 23 新吊索末端的 9 股鋼絞線



照片 24 熱擠壓式黑色 HDPE 護套



照片 25 與鋼箱梁內的工作人員溝通後將吊索的 9 股鋼絞線放入孔洞中



照片 26 已將 9 股鋼絞線安插至鋼箱梁的孔內



照片 27 將新吊索吊耳先行固定於滑輪旁的鐵環內（一）



照片 28 將新吊索吊耳先行固定於滑輪旁的鐵環內（二）



照片 29 已固定於滑輪旁的新吊耳



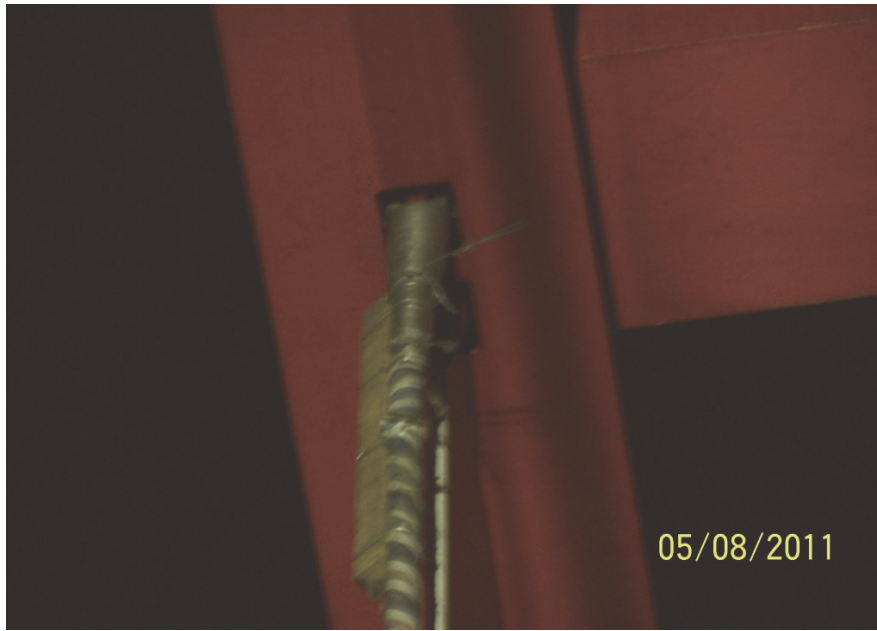
照片 30 第二條吊索進行安裝



照片 31 將吊索吊耳安插於拱圈的孔洞



照片 32 已安裝完成的吊耳



照片 33 已固定完成的吊耳



照片 34 上方的吊耳已用插銷固定



照片 35 將吊索安插至鋼箱梁下方的錨定端



照片 36 放置制震器可減少吊索的震動



照片 37 制震器放置完成



照片 38 最後再安裝防水罩即完成

八、吊索釋放力量的安全範圍（換索中之力量監測）

在拆卸 CB-13 吊索時，承包商分 5 階段來進行力量釋放，準備 4 具型式相同的千斤頂，分別架設於 CA-12、CB-13、CA-13、CB-14 等吊索下方鋼棒處，分別以千斤頂施力到微微頂開螺帽時記錄所施的力量後，並量測 CB-13 吊索拱圈與鋼箱梁的距離，再將 CB-13 吊索螺帽緩緩鬆開，分階段緩慢釋放吊索拉力後，並同時注意其他 CA-12、CA-13、CB-14 的千斤頂讀數，以記錄 CB-13 緩慢釋放力量的同時，其餘三條吊索受力增量的變化。若 CA-13 的千斤頂讀數超過原來受力紀錄數值的 1.5 倍（係假設同組吊索容許可承受多出的 50% 受力值）以上時或 CA-12、CB-14 有一千斤頂讀數超過原來紀錄數值的 1.3 倍（係假設相鄰組吊索容許可承受多出的 30% 受力值）以上時將視為已經超過警戒值，當千斤頂讀數超過警戒值時，將釋放之吊索拉力回拉至原紀錄之數值，並隨即思考對策。前述更換的四條吊索，均無達到警戒值的狀況發生。

九、換索期間之緊急應變處理

為確保施工期間能順利進行，拆卸舊吊索時，因有吊索力量釋放的問題，為避免拆卸吊索時，該吊索力量釋放造成相鄰吊索承受過大的力量，而造成相鄰的吊索產生破壞，故須有吊索之監測及緊急應變處理。

本工程的内容就是吊索更換，也就是將舊吊索拆卸再將新吊索裝上，在本工程審查會的一開始就擔心若無力學分析的基礎下，再加上無任何事先的預防措施，很有可能因為將舊吊索拆卸下來後，該條拆卸下來的舊吊索因為原本承受的力量由拆卸釋放而轉移至其他吊索，而下方的鋼箱梁，原本承受吊索之張力，吊索拆卸後，鋼箱梁承受吊索張力不在，在力學上會有向下位移，並同時對鋼箱梁產生剪力與彎矩；所以吊索的拆卸，不只對其他吊索的受力產生影響，也對鋼箱梁產生額外的剪力與彎矩，此部分需藉由較詳細的結構分析才得知鋼箱梁額外的剪力與彎矩。因吊索拆卸增加其他相鄰吊索的受力，是可以藉由千斤頂監控讀數而得，若千斤頂監控的讀數增加太多，超過警戒值，則必須停止拆卸吊索，以架設臨時索的方式，是避免吊索因拆卸後之力量傳遞到其他吊索，而可能造成的連續性破壞，進而影響到用路人的行車安全。是以，為避免發生此一連續性的破壞，於施工審查會中要求承包廠商提出說明該如何避免此一現象發生，承包廠商提出架設臨時吊索的方式，來分擔拆卸下的吊索力量之轉移，其臨時吊索的架設方式如圖 24。

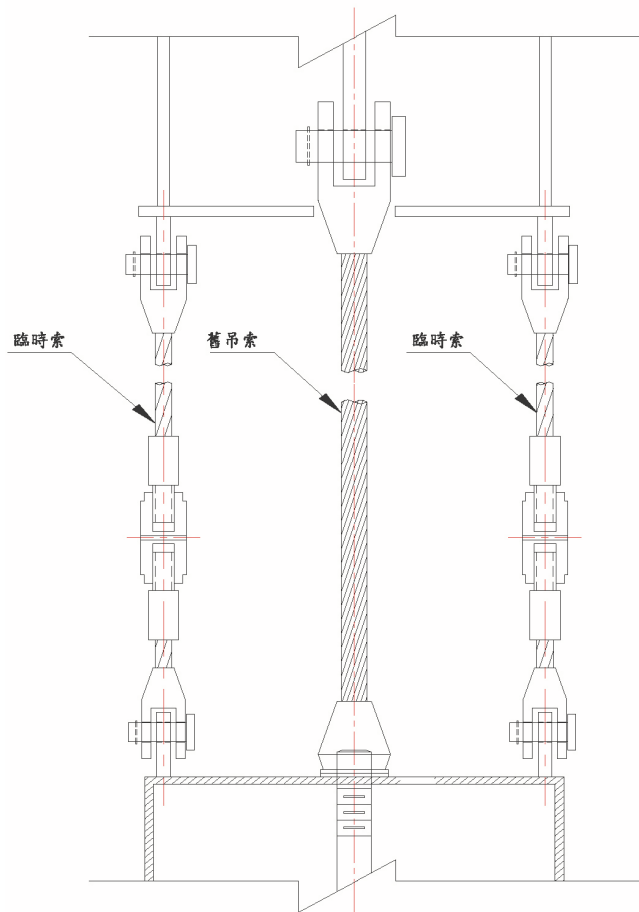


圖 24 臨時吊索示意圖

架設臨時吊索的想法固然不錯，但觀察現場拱圈狀況，除現有吊索的位置上有孔洞外，其餘並無可架設臨時索的孔洞，再者不可在拱圈與鋼箱梁外焊接與鑽孔，故架設臨時索的方法並不可行。鑑此，在拆卸吊索時僅能以分階段釋放力量的方式減少因突然將吊索力量釋放，所造成其他吊索之受力破壞，故必須朝向吊索受力監測的方向來控制吊索受力，避免拆卸期間的失敗。

9.1 縮短安裝吊耳所需的時間

由於第一晚安裝吊索的吊耳浪費太多時間，承包商於是在吊車滑輪旁裝設一鐵環，以裝設吊耳頸部，鐵環一扣住吊耳頸部，即可隨吊車升高至拱圈高度時，再調整吊耳的角度，以便將吊耳安裝於拱圈中，如此就可以節省後續很多將吊耳安裝在拱圈孔洞的時間（照片 28~照片 30）。

後續更換第二、三、四條吊索時，均採此鐵環方式安裝吊索，確實有縮短安裝時間的效果。

十、舊吊索拆卸後各千斤頂與新吊索施力紀錄

經過四條吊索的更換，承包廠商也對於這四條新更換吊索做了施加拉力與位移的監測紀錄。

10.1 拆除舊吊索釋放拉力監測紀錄（表 3~表 6）

表 3 CB-13 吊索更換拉力紀錄表

日期	100 年 5 月 7 日				
更換吊索	CB-13 吊索		使用 60T 千斤頂進行監測記錄		
	CA-12 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CB-13 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CA-13 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CB-14 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	拱圈與鋼箱梁間距離 (M)
STEP 1	360/41	365/42	375/43	365/42	17.356
STEP 2	365/42	260/26	380/43	370/42	
STEP 3	380/43	160/18	385/44	380/43	
STEP 4	400/45	60/8	387/44	395/45	
STEP 5	405/46	0/0	390/44	405/46	17.370

表 4 CA-13 吊索更換拉力紀錄表

日期	100 年 5 月 9 日				
更換吊索	CA-13 吊索		使用 60T 千斤頂進行監測記錄		
	CA-12 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CB-13 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CA-13 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CB-14 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	拱圈與鋼箱梁間距離 (M)
STEP 1	360/41	未監測	380/43	375/43	17.357
STEP 2	370/42		280/32	385/44	
STEP 3	385/44		180/20	390/45	
STEP 4	390/44		80/8	400/46	
STEP 5	405/46		0/0	405/46	17.373

表 5 CA-15 吊索更換拉力紀錄表

日期	100 年 5 月 9 日				
更換吊索	CA-15 吊索		使用 60T 千斤頂進行監測記錄		
	CA-14 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CB-15 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CA-15 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CB-16 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	拱圈與鋼箱梁間距離 (M)
STEP 1	360/41	375/43	380/43	365/42	15.790
STEP 2	370/42	380/43	280/32	375/43	
STEP 3	385/44	390/44	180/20	380/43	
STEP 4	390/44	395/45	80/8	395/45	
STEP 5	395/45	405/46	0/0	405/46	15.802

表 6 CB-15 吊索更換拉力紀錄表

日期	100 年 5 月 10 日				
更換吊索	CB-15 吊索		使用 60T 千斤頂進行監測記錄		
	CA-14 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CB-15 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CA-15 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	CB-16 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	拱圈與鋼箱梁間距離 (M)
STEP 1	375/43	400/46	未監測	370/42	16.483
STEP 2	385/44	300/34		385/44	
STEP 3	390/45	200/23		390/45	
STEP 4	400/46	100/11		400/46	
STEP 5	410/47	0/0		405/46	16.494

10.2 試辦更換新吊索拉力施加紀錄

表 7 安裝 CB-13 新索施力紀錄表

15T 千斤頂	每次循環施力%	CB-13 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	9 股鋼絞線總施力	相對距離 (M)
第一循環	60%	140/2.8	25T	
第二循環	80%	185/3.8	34T	

第三循環	100%	225/4.7	42T	17.364
		285/6	54T	17.353

表 8 安裝 CA-13 新索施力紀錄表

15T 千斤頂	每次循環施力%	CA-13 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	9 股鋼絞線總施力	相對距離 (M)
第一循環	60%	145/2.9	26T	
第二循環	80%	190/3.9	35T	
第三循環	100%	235/4.8	43T	17.362
		310/6.3	57T	17.354

表 9 安裝 CA-15 新索施力紀錄表

15T 千斤頂	每次循環施力%	CA-15 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	9 股鋼絞線總施力	相對距離 (M)
第一循環	60%	145/2.9	26T	
第二循環	80%	190/3.9	35T	
第三循環	100%	235/4.8	43T	15.797
		320/6.7	60T	17.787

表 10 安裝 CB-15 新索施力紀錄表

15T 千斤頂	每次循環施力%	CB-15 (千斤頂讀數 kgf/cm ²)、(吊索張力 T)	9 股鋼絞線總施力	相對距離 (M)
第一循環	60%	145/2.9	26T	
第二循環	80%	190/3.9	35T	
第三循環	100%	235/4.8	43T	16.489
		340/7.2	64T	16.480

在吊索釋放力量的安全範圍一節中有提到，承包商在拆除舊吊索前，會先在拆除吊索之相鄰吊索下方架設千斤頂，以供拆卸吊索時，監測相鄰吊索之受力變化，但吊索力量在釋放時，是一次就把所承受的力量全部都釋放掉？若是瞬間就釋放所承受之拉力，則該拉力就如同等值之動力載重，會造成更大的位移反應，故答案是否定的，必須緩緩的釋放其拉力，在此承包商是分 5 階段來釋放拉力，STEP1 為架設千斤頂微微頂開螺帽時之讀數，STEP 2、STEP 3、STEP 4 是分別以 STEP1、STEP2、STEP 3 卸除油壓千斤

頂讀數 100kgf/cm^2 時所得到的讀數，STEP 5 為將 STEP 4 剩餘的受力全部釋放，而在 STEP 1（釋放拉力前）與 STEP 5（釋放拉力後）都記錄拱圈與鋼箱梁間之距離值，分越多階段，釋放力量時間較久，但較安全（參考表 3~表 6）。

新吊索為 9 根鋼絞線，其施拉力量的方式如前述係採分三次循環施拉，每一根為舊吊索釋放前以千斤頂微微頂開所記錄數值的 $1/9$ ，每一根以千斤頂施拉第一次為 60%、第二次為 80%、第三次為 100%，共經三次循環後即與原記錄的吊索受力值相同，但為了保持與換索前相同的相對距離，故又再以千斤頂施拉力量至接近相對距離值的力量值（參考表 7~表 10）。

從拆除舊吊索釋放拉力監測紀錄的表格中可知（參考表 3），拆卸 CB-13 吊索時，監測 CA-12、CA-13、CB-14 等吊索、其增加力量分別為 5T、1T、4T，而 CB-12、CA-14 與 CA-12、CB-14 係為同一組吊索，故雖未監測 CB-12 與 CA-14 吊索，但其受力在理論分析上應為相同之受力值，故 CB-12、CA-12、CA-13、CB-14、CA-14 之受力值應分別為 5T、5T、1T、4T、4T，這五條吊索承擔 CB-13 拆卸的力量共計 19T，尚有 $42-19=23\text{T}$ ，剩下 23T 的釋放力量可能由其他組或另一側的吊索去承擔，由於未有足夠的千斤頂可供監測紀錄，不然就可得知剩餘的 23T 力量由哪幾條吊索承擔，則可更為清楚了解拆卸吊索的力量重分配。

而實際千斤頂以夾片夾住施拉鋼絞線時，除了拉到預定力量，還會再多拉一些力，這多拉的力主要是克服夾片滑動的問題，其問題一般有二種方式解決如下：第一，預估夾片滑動量（採經驗法則，一般為 3~5mm），施拉時多施拉克服夾片滑動所需之力量；第二，不額外施力，運用千斤頂油路設計於千斤頂施拉至預定力時回頂錨頭夾片，使不致滑動。而所多拉的力也同時產生位移，這位移可使錨頭安裝定位後將鋼絞線的夾片位置回復到錨頭處的夾片孔，這段每股多拉的一些力，全都未記錄於千斤頂讀數上，故實際每條新吊索的受力會比原預定的力量還要大些。

由上述四條吊索的紀錄結果，不難發現，第 1~4 條原紀錄值分別為 42T、43T、43T、43T，均因配合原橋梁形狀，保持拱圈與鋼箱梁間的相對距離，故又再分別拉至 54T、57T、60T、64T，吊索的施力有趨於增大之情形，日後施拉新吊索的力量，還是要注意施力不可超出原先紀錄舊吊索紀錄值太多並配合上下桁材之相對距離。

10.3 吊索的材料試驗

為使新吊索的各部構件是否符合相關規定，需進行相關材料檢試驗，以了解新吊索之抗拉強度、物理、化學性質及材料防蝕功能，故更需進行相關的材料檢試驗，使新吊索通過檢驗。

有關吊索子線、HDPE 外套管、錨頭等之試驗報告如下（表 11~表 13）：

表 11 吊索子線檢驗項目

檢驗項目	依據規範	合格標準	試驗地點
抗拉強度	CNS 3332	≥1670MPa	CECI 楊梅試驗室
鋅層單位質量	CNS 1247	≥300g/m ²	CECI 楊梅試驗室
鋅層附著性	CNS 1247	5d×8 圈	CECI 楊梅試驗室
子線直徑	CNS 3332	Ø5.0±0.12 mm	CECI 楊梅試驗室
外觀	-	無鏽蝕	CECI 楊梅試驗室

表 12 HDPE 外套管試驗項目

檢驗項目	依據規範	合格標準	試驗地點
密度 (g/cm ³) (23℃)	ASTM D792-08	0.941-0.955	SGS
軟化指數(g/10min), (192℃/2.16kg)	ASTM D1238-04c	1.0 以下	SGS
抗拉強度 (N/mm ²)	ASTM D638-08	21-28	SGS
抗彎模數 (N/mm ²)	ASTM D790-07	550-1100	SGS

表 13 錨頭試驗項目

檢驗項目	依據規範	合格標準	試驗地點
螺紋	-	M76(直徑 mm)*P3(牙距 mm)	採現場量測
螺母外徑	-	Ø140.0mm+2.5mm	採現場量測
鋼管防水罩外徑	-	Ø91.0mm+2mm	採現場量測

試驗報告

試驗項目：鍍鋅鋼絞線試驗
 工程名稱：台15線關渡橋吊索更換工程
 委託單位：公路總局第一區養護工程處中和工務段
 報告編號：11-00911

- 備註：1. 本報告僅對送驗之樣品負責。
 2. 本報告內容不得摘錄複製，但全部複製除外。
 3. 本報告保存期限3年。

CECI 台灣世暉工程顧問股份有限公司
 CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan
 材料試驗部 楊梅試驗室
 桃園縣楊梅鎮富岡里新明街525號
 電話：(03)472-7262 傳真：(03)472-7245

中華民國100年06月01日

真正本相符

CECI 台灣世暉工程顧問股份有限公司
 CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan

材料試驗部
 MATERIAL TESTING DEPARTMENT
 楊梅試驗室
 YANG-MEI LABORATORY

TS-11-04

真正本相符

鍍鋅鋼絞線試驗

工程名稱：台15線關渡橋吊索更換工程
 委託單位：公路總局第一區養護工程處中和工務段
 委託單位地址：N/A
 承包商：雅欣營造有限公司
 供應廠商：耀賢企業有限公司
 取樣者：公路局：鄭朝安 雅欣：趙旭華 耀賢：孫嘉明 報告編號：11-00911X
 送樣者：公路局：鄭朝安 雅欣：趙旭華 耀賢：孫嘉明 頁次：第1頁共1頁
 會試者：公路局：鄭朝安 雅欣：趙旭華 耀賢：孫嘉明 收件日期：100.05.26
 試驗機型：SHIMADZU 2000kNIR 試驗日期：100.05.31
 材料稱呼：CNS 3332 G3073-1998 報告日期：100.06.01

一、尺量測定

試樣編號	縱合外徑 (mm)	心線線徑 (mm)	外層單線線徑 (mm)	心線與外層單線線徑差 (mm)
1	15.3	5.21	5.01-5.02	0.19-0.20
以下空白				
規程值由委託者提供	—	—	5.0±0.12	—

二、單位長度質量、截面積及機械性質

試樣編號	單位長度質量 (kg/km)	截面積 (mm ²)	斷面0.2%永久伸長率之負載 (kN)	條件負載 (kN)	降伏強度 N/mm ²	抗拉強度 N/mm ²	伸長率 (%)	斷柱張數 kgf/cm ²
1	—	—	238	264	1716	1903	—	—
以下空白								
規程值由委託者提供	—	—	—	—	—	≥1670	—	—

備註：1. 本試驗依據CNS 3332 G3073-1998 試驗法施行。

試驗室主管：

報告簽署人：[簽名]

02-06-11:15:54 ;

3 / 4

TS-21-06

CECI 台灣世環工程顧問股份有限公司
CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan



桃園縣楊梅鎮富岡里明和街523號
電話：(03)4727262 傳真：(03)4727245

材料試驗部
MATERIAL TESTING DEPARTMENT
楊梅試驗室
YANG-MEI LABORATORY

金屬材料及產品試驗報告

工程名稱：台15線關渡橋吊索更換工程 報告編號：11-00911Y
 委託單位：公路總局第一區養護工程處 頁次：第1頁共2頁
 中和工務段

承包商：雅欣營造有限公司 收件日期：100.05.26
 供應廠商：耀賢企業有限公司 試驗日期：100.06.01
 取樣者：公路局：鄭朝安 雅欣：趙旭華 報告日期：100.06.01
 耀賢：孫嘉明
 送驗者：公路局：鄭朝安 雅欣：趙旭華 會驗者：N/A
 耀賢：孫嘉明

材料名稱[規範]：鍍鋅鋼絞線[CNS 1247 H2025(1995)]

試樣編號	材料種類	材料規格	附著量 (g/m ²)
1	—	—	330
規範值由委託者提供			≥300

- 備註：1. 本試驗依據CNS 1247 H2025(1995)試驗法施行。
 2. 本報告僅對送驗之樣品負責。
 3. 本報告內容不得摘錄複製，但全部複製除外。
 4. 本報告保存期限3年。

試驗室主管：

報告簽署人：

02-06-11:15:54 ;

4 / 4

CECI 台灣世環工程顧問股份有限公司
CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan



桃園縣楊梅鎮富岡里明和街523號
電話：(03)4727262 傳真：(03)4727245

材料試驗部
MATERIAL TESTING DEPARTMENT
楊梅試驗室
YANG-MEI LABORATORY

金屬材料及產品試驗報告

工程名稱：台15線關渡橋吊索更換工程 報告編號：11-00911Y
 委託單位：公路總局第一區養護工程處 頁次：第2頁共2頁
 中和工務段

承包商：雅欣營造有限公司 收件日期：100.05.26
 供應廠商：耀賢企業有限公司 試驗日期：100.06.01
 取樣者：公路局：鄭朝安 雅欣：趙旭華 報告日期：100.06.01
 耀賢：孫嘉明
 送驗者：公路局：鄭朝安 雅欣：趙旭華 會驗者：N/A
 耀賢：孫嘉明

材料名稱[規範]：鍍鋅鋼絞線[CNS 1247 H2025(1995)]

試樣編號	材料種類	材料規格	附著性
1	—	—	表面未產生龜裂或剝離現象
規範值由委託者提供			表面不得產生龜裂或剝離現象

- 備註：1. 本試驗依據CNS 1247 H2025(1995)試驗法施行。
 2. 本報告僅對送驗之樣品負責。
 3. 本報告內容不得摘錄複製，但全部複製除外。
 4. 本報告保存期限3年。

試驗室主管：

報告簽署人：

與正本相符

與正本相符



材料及工程實驗室-台北



Testing Laboratory
0104

試驗報告

報告號碼: HW-11-03084Z
頁數: 1 OF 1
日期: 100年06月02日

工程名稱: 台15線關渡橋吊索更換工程
業主: 交通部公路總局第一區工程處中和工務段
承包商: 雍欣營造有限公司
委託單位: 耀賢企業有限公司
供料廠商: 耀賢企業有限公司
樣品名稱: HDPE 外套管
送驗人員: 公路局第一區養護工程處(鄭朝安)、雍欣營造有限公司(趙旭華)、
耀賢企業有限公司(孫嘉明)
採取日期: 100年05月26日
文件日期: 100年05月26日
試驗日期: 100年05月26日~100年06月02日
備註: 以上資料由顧客提供(收件及試驗日期除外)

試驗結果:

SAMPLE 1

試驗項目	試驗方法	試驗結果	要求值
密度(g/cm ³)(23°C)	ASTM D792-08 Method A	0.947	0.941-0.955
熔融指數(g/10min)	ASTMD1238-10 Procedure A	0.41	1.0 以下

SAMPLE 2

試驗項目	試驗方法	試驗結果	要求值
抗拉強度(N/mm ²)	ASTM D638-10 TYPE IV, V=50mm/min	27.4	21-28
抗曲彈性模數(N/mm ²)	ASTMD790-10 Procedure A	1083	550-1100

註: 1. 本試驗報告密度、抗拉強度、抗曲彈性模數試驗為 TAF 認可項目。
熔融指數委本公司高雄材料實驗室試驗(試驗條件為 192°C/2.16kg)。
2. 要求值由顧客提供。

--- o o ---

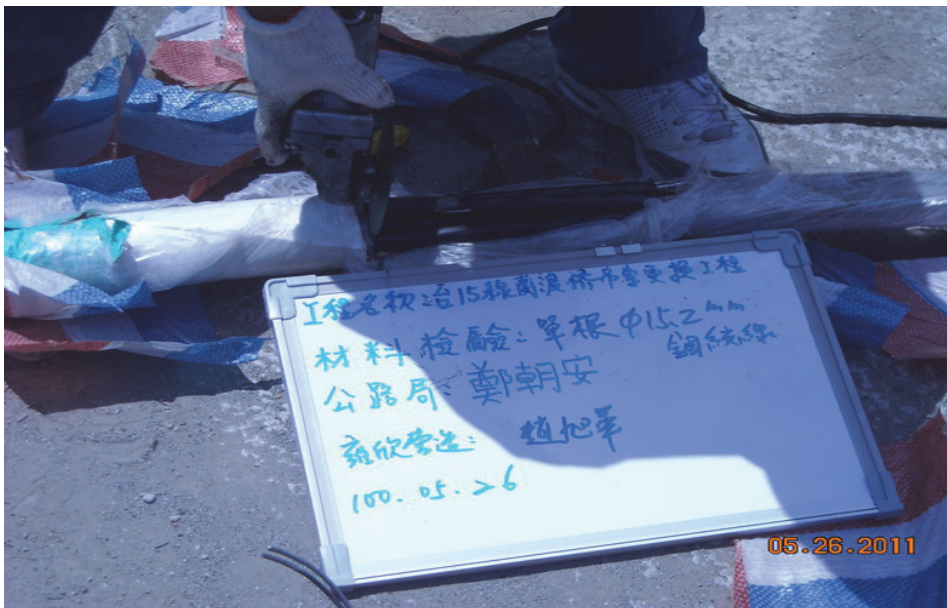
孫嘉明
報告簽署人

規範要求值僅供參考, 合格之判定以委託單位實際要求為準。

Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested. This test report cannot be reproduced, except in full, without prior written permission of the Company. 除非另有說明, 本試驗報告之試驗結果僅供參考, 合格之判定以委託單位實際要求為準。未經本公司書面許可, 不得重印或轉載。
This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at www.sgs.com/terms_and_conditions.htm and, for electronic format documents, subject to Terms and Conditions for Electronic Documents at www.sgs.com/terms_e-document.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction clauses defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

SGS Taiwan Ltd. | 35, Wu Chyuan Road, Wu Ku District, New Taipei City, Taiwan / 新北市五股區五權路35號
台灣檢驗科技股份有限公司 | 電話: (886-2) 2298-3355 | 傳真: (886-2) 2298-7857 | www.tw.sgs.com
TWA 4968427
Member of SGS Group

影本與正本相符

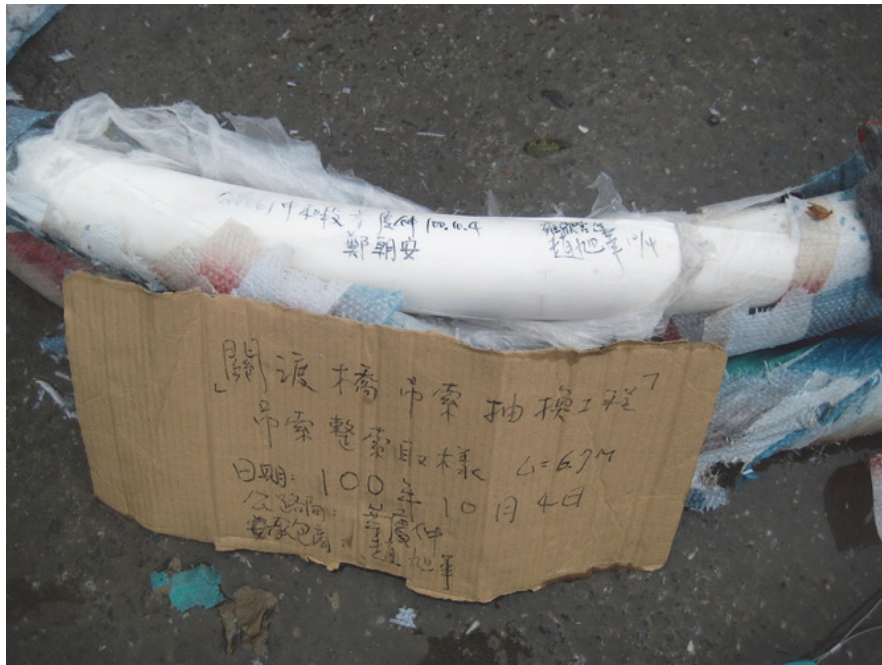


照片 39 單根鋼絞線取樣試驗



照片 40 吊索單根試拉會同試驗

除新吊索各部構件之試驗項目外，也進行取樣單根鋼絞線（如照片 39）來進行拉力試驗（照片 40），另為了瞭解整組新吊索受力後之力學行為，尚需進行此部分的靜載重試驗，以模擬現場吊索受力後，最大的可承受極限拉力值及何處破壞。台灣世曦楊梅實驗室雖有做靜載重試驗，但其靜載重試驗之受力邊界條件與新吊索不同，且經協調仍無法配合本工程需要進行後續試驗，故必需尋求國外可供試驗且與國內 TAF 互相承認的試驗室方可，經承包商洽詢並收集資料，僅中國大陸與美國有進行此項試驗，考量經費與路程遠近，最後選擇中國船舶第 702 研究所進行試驗（如照片 41）。以下是整組吊索的試驗報告。



照片 41 吊索整條取樣



檢 測 報 告

力測字第 C11-150 號

15. 2mm×9T吊索靜載強度試驗

送檢單位名稱 臺灣耀賢企業有限公司

送檢單位位址 臺灣臺北市敦化南路二段5號8F-4

效力聲明：

1. 本檢測中心1990年通過了國家計量認證，2002年通過了中國實驗室國家認可委員會認可。
2. 本報告加蓋檢測單位公章（紅印）有效，部分複製無效。
3. 送檢方若對本報告有異議，請於收到報告之日起九十天內書面提出申訴，逾期不予受理。
4. 本報告結果僅對受檢試件的本次檢測有效。

中國船舶重工集團公司第七〇二研究所

艦船流體與結構性能檢測實驗室

地址：江蘇省無錫市袁家灣1號

2011年11月3日

檢測報告首頁

共 2 頁 第 1 頁

一、檢測試件

試件名稱 15.2mm×9T吊索 試件數量 壹索
 試件型號 15.2mm×9T 試件編號 2011-11-1
 接收日期 2011.10.25 檢測日期 2011.11.3

二、檢測方法

《預應力筋用錨具、夾具和連接器》GB/T 14370-2007

三、檢測儀錶設備

序號	名稱	型號	編號	檢定有效期
1	CX-15000型感測器	CX-15000	3001	2011.11.23

四、檢測結果

提供實測試驗結果。

參試人員 劉玉航、宋孝林等

檢測員 李盛年 校核員 張晉念

批准人 岳百輝

結構強度疲勞試驗室
 聯繫電話：0510-85555243；通信地址：無錫市116信箱；郵遞區號：214082

1

結構試驗報告

構件名稱 15.2mm×9T吊索 數量 壹隻
 構件來源 臺灣耀賢企業有限公司 聯繫人 陳耀章
 委託者 雍欣營造有限公司 耀賢企業有限公司
 取樣者 交通部公路總局第一區養護工程處中和工務段 雍欣營造有限公司 耀賢企業有限公司
 送樣者 雍欣營造有限公司 耀賢企業有限公司
 會驗者 雍欣營造有限公司 耀賢企業有限公司
 試驗時間 2011年11月3日 氣候 陰 室溫 20℃
 試驗機名稱 結構試驗平臺 使用噸位 10000kN 使用人 宋孝林

構件情況

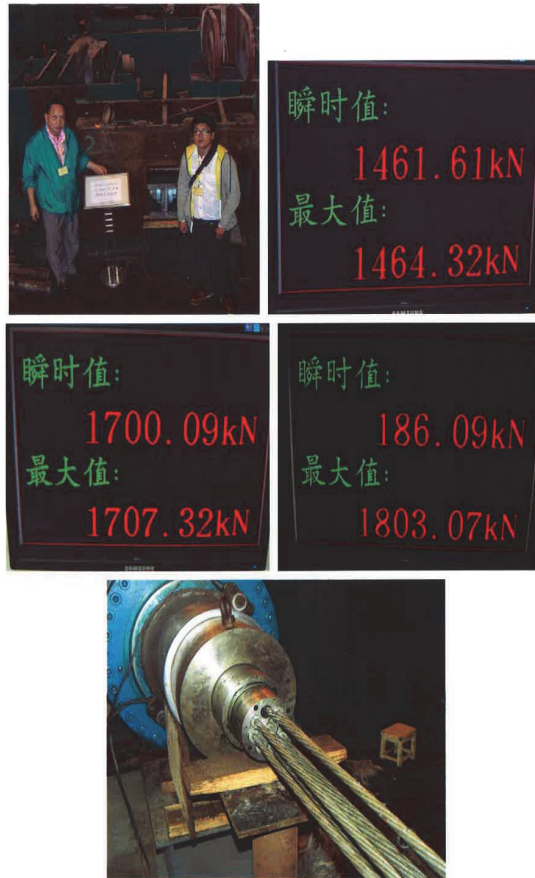
編號	型號	數量	試驗前狀況
2011-11-1	15.2mm×9T	1只	試件表面無明顯加工缺陷。

試驗情況記錄

編號	載入形式	試驗負荷	保載時間	試驗後情況
2011-11-1	拉伸	1460kN	5 min	未破斷。
	拉伸	1700kN	5 min	未破斷。
	拉伸	1803kN		斷1股。

檢測 李盛年 校核 張晉念 批准 岳百輝
 結構強度疲勞試驗室

2



15. 2mmx9T吊索靜載試驗照片



整組吊索試驗完後，中和工務段於 100 年 12 月間邀請委員針對本次試驗召開審查會，會議結論同意其試驗結果，並可繼續更換後續之 100 條吊索，工程於 101 年 2 月 6 日復工，101 年 4 月 30 日完工，期間因有之前的更換經驗，更換過程較為熟悉，一個晚上可更換最多 4 條。

十一、吊索換裝完成後受力值列表

表 14

換裝日期	索號	舊距離	釋放距離	拉回距離	舊噸數	新索總噸數
	下游側	m	m	m	T	T
101 年 2 月 6 日	B1	4.936	4.942	4.936	38	43.2

101年2月7日	A1	5.197	5.202	5.197	42	52.65
101年2月8日	B2	8.714	8.724	8.714	51.5	60.03
101年2月8日	A2	8.86	8.865	8.86	47	48.6
101年2月8日	B3	11.189	11.2	11.189	46	48.6
101年2月9日	A3	11.373	11.385	11.373	51	58.5
101年2月9日	B4	12.337	12.347	12.337	44.5	58.5
101年2月12日	A4	12.347	12.358	12.347	52	59.85
101年2月12日	B5	12.163	12.173	12.163	44.5	52.65
101年2月13日	A5	12.064	12.075	12.064	56	63
101年2月13日	B6	10.619	10.627	10.619	43.5	58.5
101年2月13日	A6	10.618	10.627	10.618	46	60.75
101年2月14日	B7	7.942	7.95	7.942	43.5	54.9
101年2月14日	A7	7.599	7.605	7.599	44.5	56.7
101年2月14日	B8	3.751	3.754	3.751	32	38.7
101年3月5日	A8	3.42	3.424	3.42	33	58.5
101年3月5日	B9	5.16	5.164	5.16	32	64.8
101年3月6日	A9	5.706	5.711	5.706	32	58.5
101年3月6日	B10	9.965	9.972	9.965	35.5	54.9
101年3月6日	A10	10.44	10.448	10.44	39.5	60.75
101年3月6日	B11	13.645	13.658	13.645	41	58.5
101年3月7日	A11	13.993	14.001	13.993	33	55.8
101年3月7日	B12	16.184	16.2	16.192	47	48.6
101年3月7日	A12	16.333	16.347	16.335	58.5	60.75
100年5月7日	B13	17.356	17.37	17.353	42	54
100年5月9日	A13	17.357	17.373	17.354	43	57
101年3月7日	B14	17.464	17.476	17.469	42	45.9
101年3月8日	A14	17.417	17.44	17.434	38	41.85
100年5月10日	B15	16.483	16.494	16.48	46	64
100年5月9日	A15	15.790	15.802	17.787	43	60
101年3月8日	B16	13.951	13.968	13.965	35.5	39.6
101年3月8日	A16	13.673	13.688	13.678	41	45.9
101年4月3日	B17	10.39	10.416	10.408	56	58.86
101年3月8日	A17	9.907	9.921	9.918	32	36.9

101年3月9日	B18	5.592	5.603	5.6	39.5	43.65
101年3月9日	A18	5.138	5.149	5.144	39.5	43.65
101年3月9日	B19	3.399	3.401	3.401	39.5	43.65
101年3月12日	A19	3.823	3.831	3.828	33	37.8
101年3月12日	B20	7.62	7.628	7.625	28	32.85
101年3月12日	A20	7.937	7.954	7.953	38	42.3
101年3月12日	B21	10.482	10.502	10.493	38	42.3
101年3月13日	A21	10.684	10.704	10.702	42	46.8
101年3月13日	B22	12.065	12.083	12.083	38	42.3
101年3月13日	A22	12.142	12.171	12.158	42	46.8
101年3月13日	B23	12.349	12.366	12.357	47	51.75
101年3月14日	A23	12.311	12.332	12.325	52	54.9
101年3月14日	B24	11.335	11.354	11.347	46	49.95
101年3月14日	A24	11.158	11.178	11.174	49.5	54.63
101年3月14日	B25	9.014	9.027	9.021	44.5	48.6
101年3月15日	A25	8.737	8.752	8.751	48.5	52.65
101年3月15日	B26	5.387	5.397	5.394	44.5	48.6
101年3月15日	A26	5.019	5.028	5.028	41	45.9

表 15

換裝日期	索號	舊距離	釋放距離	拉回距離	舊噸數	新索總噸數
	上游側	m	m	m	T	T
101年4月4日	26A	5.172	5.173	5.171	43.3	47.7
101年3月16日	26B	5.172	5.188	5.18	33	36.72
101年3月16日	25A	8.854	8.858	8.851	42	46.8
101年4月4日	25B	8.854	8.868	8.859	52.3	56.7
101年3月16日	24A	11.237	11.246	11.242	41	45.9
101年3月16日	24B	11.237	11.254	11.244	46.5	50.85
101年3月19日	23A	12.353	12.365	12.363	43	47.61
101年3月19日	23B	12.353	12.371	12.365	48.4	51.75
101年3月19日	22A	12.119	12.134	12.126	45.8	49.77
101年3月19日	22B	12.119	12.138	12.131	49.8	53.73
101年3月20日	21A	10.609	10.619	10.611	43	47.61

101年3月20日	21B	10.609	10.625	10.614	49.8	53.73
101年3月20日	20A	7.773	7.787	7.783	43	47.61
101年4月3日	20B	7.773	7.791	7.789	56	58.86
101年3月20日	19A	3.617	3.625	3.622	34.4	38.61
101年3月20日	19B	3.617	3.62	3.619	28	32.85
101年3月21日	18A	5.345	5.349	5.348	33	37.62
101年3月21日	18B	5.345	5.351	5.35	33	37.62
101年3月21日	17A	10.135	10.138	10.136	41	45.9
101年3月21日	17B	10.135	10.144	10.138	47	51.75
101年3月22日	16A	13.78	13.798	13.79	44.5	48.6
101年3月22日	16B	13.78	13.81	13.8	51	55.8
101年3月22日	15A	16.218	16.24	16.229	46	50.85
101年3月22日	15B	16.218	16.245	16.236	49.8	53.82
101年3月23日	14A	17.442	17.46	17.455	47	51.75
101年3月23日	14B	17.442	17.472	17.466	52.3	55.8
101年3月23日	13A	17.432	17.455	17.448	47	51.75
101年3月23日	13B	17.432	17.464	17.455	55.5	59.85
101年3月26日	12A	16.188	16.212	16.204	48.4	52.65
101年3月26日	12B	16.188	16.217	16.21	51	55.8
101年3月26日	11A	13.817	13.832	13.826	45.9	49.95
101年3月26日	11B	13.817	13.837	13.83	48.4	52.65
101年3月26日	10A	10.24	10.248	10.246	43.4	47.7
101年3月27日	10B	10.24	10.25	10.246	47	51.75
101年3月27日	9A	5.402	5.411	5.405	34.4	38.7
101年3月27日	9B	5.402	5.413	5.409	41	45.9
101年3月28日	8A	3.646	3.648	3.647	47	51.75
101年3月28日	8B	3.647	3.65	3.65	39.5	43.65
101年3月28日	7A	3.765	3.77	3.769	46	50.85
101年3月28日	7B	3.769	3.774	3.77	49.8	53.73
101年3月29日	6A	11.611	10.626	10.619	49.8	53.73
101年3月39日	6B	10.619	10.629	10.626	48.4	52.65
101年3月30日	5A	12.075	12.091	12.084	39.5	43.65
101年3月30日	5B	12.084	12.096	12.09	45.9	49.77

101年3月30日	4A	12.342	12.353	12.347	43.4	47.7
101年3月30日	4B	12.347	12.356	12.352	47	51.75
101年3月30日	3A	11.248	11.263	11.258	44.5	48.6
101年4月2日	3B	11.258	11.266	11.263	44.5	48.6
101年4月2日	2A	8.855	8.878	8.872	43.3	48.6
101年4月2日	2B	8.872	8.888	8.842	43.3	48.6
101年4月2日	1A	5.18	5.198	5.193	37	41.85
101年4月2日	1B	5.193	5.2	5.198	46.5	50.67

十二、工程契約中工程項目的增列

由於本工程為國內第一座吊索更換工程，在預算的編列上有許多不夠周延的地方，例如工期的訂定、吊索材料的選定、吊索材料的檢試驗項目、吊索的監測、吊索的力學行為，都是需要再行檢視並修正的，經過本次的經驗後，日後有類似的工程，將可以此為借鏡，使工程更順利、更符合目標，但每座橋梁的結構形式均不同，更換時仍須就個案來討論。

結論

1.無吊索更換經驗

本工程為國內第一座吊索更換之橋梁，無前例可循且換裝經驗不足，在審查過程中耗時較久係為慎重起見；採沙盤演練，以模擬施工過程可能遭遇的困難與問題，是為了避免更換失敗。

2.吊索換裝順序採逐一更換

除了最先更換的四條吊索之外，承包商更換吊索順序為下游側八里端開始更換至淡水端，再從上游側淡水端更換至八里端。

3.新吊索之拉力值分為回復原始距離與回復原先承受拉力值之 $\pm 5T$ 範圍內

承包商初期更換吊索係以紅外線測距儀量得鋼箱梁與拱圈之距離，以此距離作為新吊索施拉力量，故下游側更換初期，新吊索受力值大於舊吊索之受力值，而且大很多，從吊索換裝受力值列表中可知，如 B9 吊索，舊吊索受力 32T，新吊索受力 64.8T，整整差了 32.8T，等於舊吊索 2 倍受力，為了避免有這種受力差值過大的情況發生，故指

示承包商勿以回復至舊吊索紀錄之距離值作為新吊索施拉力量之依據，自 101 年 3 月 7 日開始更換 CB-12 之後到最後一條，新吊索受力與舊吊索受力之差值皆控制在 5T 以內。

4.力與位移控制之選擇

控制受力範圍，其位移可能無法回復到原先狀況，若滿足了位移，則力量可能會超出原先許多，二者要皆滿足，實非易事。

5.採用大陸製吊索材料

對於大陸的產品材料負面新聞時有所聞，若工程上之需要非得選用大陸製產品，則需經過相關契約規範所訂之材料檢試驗合格後，方得使用，或採用其他國家的吊索材料，並可採用日本或歐盟的預力系統。

6.吊索材料之進口

國內因無生產吊索材料，需仰賴國外進口，為確保工程上的可使用性，需進行相關材料的檢試驗，依據的規範也盡量以國內或先進國家的試驗規範為主，使國人建立對吊索材料之信心，並可作為工程驗收之依據。

建議

1.進行詳細的結構分析

吊索的更換，牽涉到力量的釋放與施加，需以周延的角度去面對力量重分配的問題，並考慮對其他構件之影響，不是單純的靠工程技術去解決，且經由詳細的結構分析，除了可清楚了解在更換過程對其他構件之影響，還可決定吊索更換之順序，減少對原有構件之影響。

2.預算編列需考慮詳盡

本預算尚有許多考慮欠缺之處，例如工期的擇定、材料檢試驗項目、施工過程中之監測、完工後之保固監測等，都有改進的空間，以使下次若有類似的工程，在編列預算時能更臻完善。

最後要討論的是

以保持橋梁拆卸舊吊索前之距離作為施拉吊索的最終力量，是否可行？或者以舊吊

索拆卸前所受的力量去控制新吊索的最終拉力，就本工程而言，力量滿足了，位移就不能滿足，只能二擇一，要選擇何者，這部分尚無法定論，讀者可動動腦思考，新吊索最終力量的施拉筆者建議由專家、學者或是大型顧問公司來進行討論，可做為日後國內橋梁更換鋼纜施力的參考。另外，本案在更換 CA-13 吊索時，並未對 CB-13 的新吊索進行受力監測，以致無法追蹤新吊索受力變化的情形，是否要監測，還是不需要？筆者建議仍須對相鄰的新吊索，進行必要之受力監測，以了解新吊索的扮演角色。

園地公開 歡迎投稿

