

以 SAP2000 程式輔助田美大橋鋼橋結構構件損傷分析與修

復之探討

彭永光⁽¹⁾ 侯順耀⁽²⁾ 陳文福⁽³⁾

摘 要

九二一集集大地震後因鋼橋施工期短且有諸多其他優點，已引起大眾對鋼結構之重視，依申請施設跨河建造物審核要點橋墩（中心）跨距不得小於 40m 為原則，致使國內橋樑設計採用鋼橋設計之趨勢亦日益增多，鋼橋具有相當多的特色及優點，特別在地震折曲帶上的臺灣地區，使用鋼橋對於防震及施工均較其它材料構造容易處理，也更能滿足安全、經濟、美觀及適用之設計目標，已廣為各界接受。然而近來極端氣候日益嚴重河川溪水暴漲頻率增多，連帶使鋼橋組裝期間風險提高，本文旨在探討田美大橋鋼橋施工組立期間遭逢蘇拉颱風帶來豐沛雨量將臨時支撐架沖毀，鋼橋在無支撐下呈現彎曲變形，藉由 SAP2000 分析檢核來探討橋樑損傷情形，並進行災後複建修復之依據。

（關鍵字：SAP2000 程式、跨河建造物審核要點、極端氣候）

Auxiliary the Tian Mei Bridge, Steel Bridge Structural Member Damage Analysis and Repair of SAP2000 Program

Yung-Kuang Pren⁽¹⁾ Shung-Tao Hou⁽²⁾ Wen-Fu Chen⁽³⁾

Graduate student⁽¹⁾, Doctoral student⁽²⁾, Professor⁽³⁾, Department of Soil and Water conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

In the wake of the Chi-Chi earthquake, steel constructed bridges have been in great importance to the general public, with its short construction time and many advantages. This has attracted public attention in configuring the facilities across the river; constructing material verifying that the pier's center has a span of no less than 40m. This resulted in a growing trend of domestic bridge designs

(1)國立中興大學水土保持學系研究生(通訊作者 e-mail：Puk959@ms18.hinet.net)

(2)國立中興大學水土保持學系博士生

(3)國立中興大學水土保持學系教授

making use of the steel bridge design as it has a few features and advantages, like seismic bending during earthquakes. The use and construction of steel bridges for earthquakes is widely accepted and meets the security, economic, aesthetic and design goals of everyone. However, recently there is an increase in extreme weather, worsening the river stream and the frequency associated, which increased the risk during the assembly of the steel bridge. This paper primarily discusses the Tianmei Bridge steel bridge construction group, which was established after the aftermath of Typhoon Sura, which brought abundant rainfall and washed away the temporary support frames in the steel bridges which were unsupported, resulting in bending and deformation. Based on the post-disaster reconstruction, SAP2000 was tested to explore the extent of the damage to the bridge and its repair condition.

(Keywords: SAP2000、River crossing construction material audit points、Extreme weather)

前言

近年來由於全球氣候異常，極端災變天氣發生頻率增加，造成人命與經濟損失也日益增加，面對環境變遷與災害風險提高之嚴峻挑戰，四季變化、降雨與水文迴圈，為地球運作過程中的動態氣候現象，但近年來環境相關研究統計發現，全球氣候變遷趨勢正在加速之中，極端氣候發生頻率有增加的現象。IPCC 於 2001 年提出第三次評估報告 (IPCC AR3, 2001) 與 2007 年提出的第四次評估報告 (IPCC AR4, 2007) 均指出，全球極端氣候發生的頻率和規模將可能增加，在此情形下大規模災害如：熱浪、乾旱、極端超大豪雨、颶風等災難性氣候發生機率可能因而增加，因而全球各國將投入更多的預算經費進行防、救災工作。

河川工程於極端氣候造成衝擊下之調適策略為防水、洩洪及其他以水患防治為目的之水利建造物之工程策略及非工程策略。依據「水利建造物檢查及安全評估辦法」，防水建築物包括防護河川、海岸及區域排水之建

築物，排水構造物包括排水或洩洪設施等等。由相關文獻可瞭解，極端氣候現象對橋樑工程之影響與衝擊，依工程生命週期階段進行分類，可分為新建工程之「規劃設計階段」、「施工階段」，以及既有設施之「營運維護階段」。



圖 1-1 2012 年 8 月 2 日颱風造成鋼樑下陷
Fig. 1-1 August 2, 2012 steel beams subsidence caused by typhoon



圖 1-2 蘇拉颱風後，只剩少數支撐遺留現場
Fig. 1-2 Aftermath of Typhoon Sura, Only a few support left on site

橋樑於規劃設計階段除考慮河川整體治理，宜順應河川自然水理進行規劃設計外，橋樑選址應配合基地脆弱度風險分析及規劃，迴避敏感區位並選適當工法設計，一併考慮直接、間接效益及不可計量之無形效益，審慎評估其工程興建之必要性。

施工階段應注意汛期是否備妥防災備材及妥善應變措施，且儘可能於汛期前恢復災前原有防洪功能，施工期間以避免造成水文、水理以及周遭環境改變，在安全無虞前提下，採取因地制宜之工法與自然環境融合可有助於幫助生態復育，施工前於工程範圍內投保工程災害保險，將施工中之風險緩和、保留或轉移。

田美大橋位於苗栗縣南庄鄉，為跨度 75m 之鋼拱橋，完成下弦樑結構體之現場組裝工作，上弦拱肋尚未吊裝，後因颱風豪雨，造成溪流沖毀設置於河中之臨時支撐架，導致已組裝之下弦樑結構體產生下垂變形，其中大樑中央處之垂直位移量為 107cm。

田美大橋兩側下弦拱大樑均已組裝完

成，惟兩大樑間之橫樑、縱樑與水準斜撐等尚未全都組裝完成，並未構成一完整受力結構體，在臨時支撐架遭沖毀時，下弦結構體並未能以整體依線性理論分析。二側大樑除中央點下垂 107cm 外，需探討瞭解其他點之下垂量，是否各點下垂量之連線呈撓曲變形之形狀(拋物線)。

文獻回顧

在鋼橋設計規範設計單位常用的參考資料如下：

1. 交通部 2009 年頒行「公路橋樑設計規範」。
2. 內政部 2007 年修訂，鋼結構容許應力設計法及強度設計之規範及解說。
3. 中國國家標準(CNS)，經濟部標準檢驗局。

本工程依據公路橋樑設計規範第九章鋼結構之相關規定如下：

1. 結構鋼材：結構鋼材應符合容許疲勞應力內構材及聯結物承受反復變化或正反方向之應力，設計時最大應力不得超出結構鋼材應符 ASTM A709 50 級，最小拉力強度 F_u 為 4550 kgf/cm²，最小降伏點或最小降伏強度 F_y 為 3500 kgf/cm²，鋼材之彈性模數假定為 2.1×10^6 kgf/cm² (2×10^5 MPa)，線膨脹係數為每 1℃ 11×10^{-6} 。
2. 聯結物－螺栓：聯結物可為碳鋼螺栓 (ASTM A307) 或 AASHTO M164 (ASTM A325)，AASHTO M253 (ASTM A490) 高

強度螺栓。

3. 重複載重及衝擊韌性之規定：容許疲勞應力內構材及聯結物承受反復變化或正反方向之應力，設計時最大應力不得超出結構鋼材應符合 ASTM A709 50 級，最小拉力強度 F_u 為 4550 kgf/cm^2 ，最小降伏點或最小降伏強度 F_y 為 3500 kgf/cm^2 ，鋼材之彈性模數假定為 $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ ($2 \times 10^5 \text{ MPa}$)，線膨脹係數為每 1°C 11×10^{-6} 。
4. 機械式聯結物之接頭：摩阻型高強度螺栓接頭總斷面處之母材，但軸壓接頭導致構材結合處產生載重作用面外之彎曲者除外。

田美大橋在鋼橋下弦拱大樑結構體產生下垂變形，需以設計規範重新檢核鋼板應力是否已超出容許張應力強度、容許剪應力強度。螺栓承受剪力強度與翼板螺栓孔承壓應力檢核。

依交通技術標準規範公路類公路工程部公路鋼結構橋樑之檢測及補強規範第五章特別檢測 5.1 適用時機：特別檢測為橋址發生地震災害、土石流災害、水災、火災及其他重大事故後之災害後檢測。特別檢測包括三個階段：(1)緊急勘查；(2)搶修階段之檢測；(3)復舊階段之檢測。

緊急勘查目的在瞭解道路是否可通行，以做為是否須進行限速、限重或封橋等緊急措施之判斷依據。根據緊急勘查結果，橋樑管理機關可視需要進行進一步之搶修階段之檢測與復舊階段之檢測。搶修階段之檢測目的係為掌握全盤性受災狀況，並提供是否須

進行搶修之判斷依據；復舊階段之檢測目的係為提供是否須進行復舊之判斷依據。

田美大橋在施工期間遭蘇拉颱風侵襲造成臨時支撐架沖毀，因橋樑尚未完工通車使用，工區仍在封閉階段並未開放通行，因此緊急勘查不須針對道路是否可通行、道路限速、限重等因素作考慮。

鋼橋下弦拱大樑結構體產生下垂變形，搶修階段先以「非破壞檢測」來瞭解鋼構受損情形，「非破壞檢測」為運用各種不同的物理方法，對材料、零件、成品，在不破壞其組織、不影響其性能下，來量測其潛伏於表面或內部之缺陷，或作尺寸之量測。「非破壞檢測」以目視檢測及磁粒檢測(MT)來執行。目視檢測檢查鋼板沿構件方向之焊道是否有異樣。磁粒檢測(MT)以磁粒適當地施用於經過磁化對象表面，以檢測焊道表面附近的瑕疵。

在修復階段檢測與搶修階段相同以「非破壞檢測」來瞭解鋼構受損情形及是否完成修復，經持續觀察已達到完善的修繕成果。

在橋樑的分析模擬上，由於 SAP2000 程式是屬於工程上的分析程式，非學術上所使用的分析程式，因此，在使用上並無像 ABAQUS、ANSYS、OPENSEES 等程式，進行整個結構的非線性分析，採針對需要細部探究的部分以非線性元素取代進行分析。因此針對現地勘查發生破壞的部分進行非線性模擬，以 SAP2000 中的 Nonlinear Link 取代該部分之元素，其餘部分則還是以一般三維線性元素取代。

研究材料與分析方法

(一) 研究材料

1. 區域概況

中港溪流域位於苗栗縣境內，為苗栗縣主要河川之一，其北臨鹽港溪及客雅溪，東與頭前溪流域支流上坪溪相鄰，西接後龍溪流域支流老田寮溪。中港溪河川發源于原南庄鄉加里山山脈之鹿場大山，稱為東河溪。在南庄鄉公所後方與發源于八卦山之南河溪匯流，稱為南庄溪。南庄溪向北流至獅頭山再折西流至三灣，複轉北流至銅鑼圈峨眉溪匯入而成中港溪。北流至珊瑚湖附近再改向西流，經門煥坪、頭份、竹南至尖山下承匯南港溪後注入臺灣海峽。中港溪流域面積共 445.58km²，主流長度 54km，多屬山丘區，河道蜿蜒曲折，坡度稍陡，洪流急湍。

田美大橋位於南庄溪上游，南庄溪由東河溪及南河溪匯流而成。東河溪發源于標高 2,616m 鹿場大山，流域面積 80.8km²，河道主流長約 21.58km，大部分流經山區，河幅寬窄不一，坡陡流急，流域平均坡降為 1/19，屬於山坡地形急流河川。南河溪發源于標高 2,220m 加里山，流域面積 50.98km²，河道主流長約 13.88km，大部分流經山區，河幅寬窄不一，坡陡流急，流域平均坡降為 1/21，屬於山地地形急流河川。

依據經濟部中央地質調查所集水區地形及地質調查成果查詢(詳圖 3-1 區域地質圖)，在田美大橋鄰近區域所出露之地層為全新世之沖積層(a)及中新世之南庄層(Nc)。本基地位於沖積層(a)。

依據圖 3-1 區域地質圖，本基地鄰近地區所出現之地質構造主要為祭山凸斷層、獅頭山斷層、獅頭山背斜、軟橋斷層、龍門背斜、大南坑斷層及內大坪斷層，依據經濟部中央地質調查所之臺灣活動斷層分佈圖(詳圖 3-2)，以上斷層皆不是活動斷層。另依圖 3 基地與活動斷層關係位置圖，距離本基地最近之活動斷層為獅潭斷層，係屬第一類活動斷層，距基地約 3.78km，因此本基地不受活動斷層之相關法規(建築技術規則，第十三章第 262 條)，地震規模 M>7，斷層帶兩側各 100m 內不得開發建築之限制。

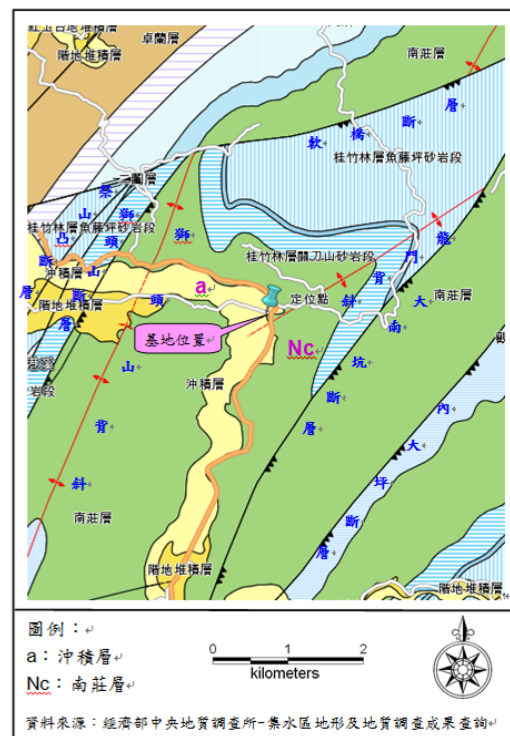


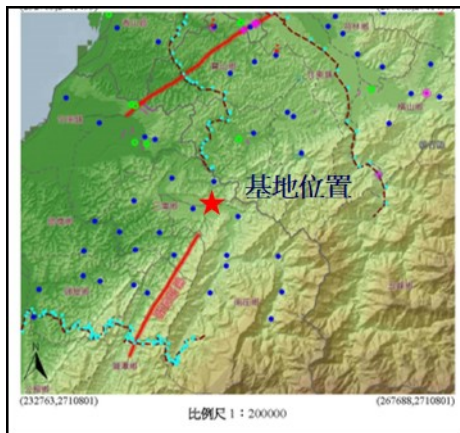
圖 3-1 區域地質圖

Fig. 3-1 Regional Geological Map



圖 3-2 台灣活動斷層分佈圖

Fig. 3-2 Taiwan active fault maps



資料來源：經濟部中央地質調查所台灣活動斷層 GIS 線上查詢

圖 3-3 基地與活動斷層關係位置圖

Fig. 3-3 The relationship between the base and active faults location map

2. 氣候概況

中港溪流域位於臺灣中北部，屬亞熱帶氣候區，為典型之東亞氣候，于冬季吹東北季風，夏季則以西南或東南季風為主，根據最接近之中央氣象局新竹氣象站統計資料，其氣候特性如下：

(1) 氣溫：

氣溫隨地形之不同，而有顯著之變化，亦即沿海平原及鄰近丘陵屬亞熱帶氣候，高山屬溫帶氣候，全年之平均氣溫為 22.88°C ，其中以 7、8 月份之氣溫最高 29.16°C ，1 月份之氣溫最低 15.63°C 。

(2) 雨量：

由於受季風和地形影響，降雨量大約集中 5 月上旬至 9 月底，平均年降雨量為 $1,809.48\text{mm}$ ，小於全台平均年降雨量，每年降雨量以 5、6、9 月等三個月最高，約占全年降雨量之 45%，10 月至翌年 2 月為枯水期，雨量約占年降雨量之 16%。另就地形對雨量之影響，以山區降雨量最大，其次為丘陵，平原地區之降雨量最小。

(3) 相對濕度：

根據中央氣象局 2001~2009 年之資料統計結果得知，年平均相對濕度為 76.08%，濕度最低月份為 10 月及 11 月 71.67%，濕度最高月份為 2 月及 4 月 80.22%。

(4) 風向和風速：

依據新竹氣象站統計資料顯示，主要風向為東北風，每年 10 月至翌年 3 月最為盛行，西南季風則發生於 5 月至 9 月間，年平均最大每 10 分鐘，其中又以 10 月平均風速最高，可達每秒 10.07m ，對沿海地區之影響

較烈。

劇烈降雨的氣候變化 liu 等 (2008)分析自 1961 至 2005 年來時雨量的長期變化，發現 40 多年來降雨時數漸減，平均時雨量強度漸增。例如以時雨量 7mm 為界，小雨的降雨量漸減，大雨的降雨量強度漸增；和 1961~1969 年時期相比，2000 年後時雨量<2mm 的小雨減少幅度達 30%，而大雨(時雨量>20mm)大幅增加了 200%。同樣的，若以降雨日數來看，時雨<2mm 的降雨日數明顯較 1961-1969 年時期減少約 30%，而時雨量>10mm 的大雨增加約 50~80%不等。顯示短延時降雨強度，近年來顯著增強，亦即近年來不易降雨，但一旦發生降雨，降雨量將會比以往來的要多。

雨量大於 50mm(近似中央氣象局定義的大雨)的降雨日數占總降雨日數的比例，除了東部平地(台東除外)及南部的台南，均呈現上升趨勢(陳雲蘭，2008)。類似的結果也可從一日暴雨的長期變異看出。陳憲宗(2009)探討全台 67 個雨量站 1960~2008 年之歷年最大一日降雨值的長期變異。其結論為近十年來，除了東區的蘭陽平原及花蓮沿海地區外，全台大多數地區的年最大一日降雨量均呈現增加現象，西南部及中央山脈山區的增加尤其顯著。

2012 年 8 月 2 日蘇拉颱風過境，由田美大橋上游苗栗縣南庄鄉南礦雨量站測得雨量為 526mm，24 小時累積雨量已超過 350mm 以上，雨量屬「超大豪雨」。橋樑跨越中港溪，河川行經此段受限於地形因素屬河道瓶頸束縮段，洪水經此區域時流速均比其他河段快又湍急，原來舊有之田美大橋沉箱基礎亦因此因素造成沉箱基礎有一半因河道刷深而裸

露，此次臨時支撐架亦因無法承受洪水衝擊而倒塌，造成下弦拱大樑之沉陷變形。

(二) 研究及分析方法

SAP2000、ETABS 和 SAFE 是 CSI 公司 (Computers and Structures, Inc.) 開發的結構分析與設計軟體。每個軟體都是針對某種特定類型的結構而開發，是完全集成化的模式、分析、設計與優化的系統。

1. SAP2000 針對常用的結構，包括橋樑、體育館、鐵塔、工業廠房、海岸結構、管道系統、建築結構、大壩、土壤、機械部分及其他。
2. ETABS 針對建築結構。
3. SAFE 針對樓版和基礎底版。

這些軟體的核心是有共同的分析程式，在使用手冊都被稱為 SAP2000。在眾所皆知的 SAP 系列結構分析程式中為最新與功能最強的版本。SAP2000 儘管同樣應用於 ETABS、SAFE 程式。CSI 分析程式特性有靜力和動力分析、線性和非線性分析、動力地震分析和靜力 pushover 分析、橋樑車輛活載重分析。

SAP2000 是套功能強大之全視窗介面結構分析軟體，在新版本中加入了非線性元素分析的能力，其資料庫中含鋼筋混凝土、鋼構材的材料性質並可自行定義新材料的特性。至於各種靜力分析、動力分析、反應譜分析、歷時分析、側推分析、鋼結構設計、鋼筋混凝土結構設計等皆可輕易的由 SAP2000 視窗介面中準確無誤的完成。

如今，新一代的設計方法-性能設計法

(Performance Based Design)逐漸受到普遍的使用，於是側推分析(Pushover Analysis)日益受到重視，SAP2000 可快速的作側推分析，分析的過程以及結果都是由圖形化的介面呈現，相當的人性化，彌補了傳統的分析軟體無法自行定義各項破壞模式的缺點。

由 SAP2000 分析結構安全評估來檢核探討橋樑損傷情形，田美大橋跨長 75m，橋寬 10.6m，已安裝鋼構結構總重為 397.57ton 進

行模型靜載重設定，橋樑各單元節塊尺寸及重量如表 3-1 所示，並且載重載入於結構變形前，模型依實際斷面建立，靜載部份則參照各單元節塊重量進行施加，並於橋樑中央給予一考慮衝擊載重作用下 1.25 倍之現況垂直位移(107cm×1.25=133.75cm)，支承條件則依實際狀況模擬，一邊為鉸支承，另一邊為滾支承設定，分析模擬模型如圖 3-4 所示。

表 3-1 橋樑各單元節塊尺寸及重量

Table 3-1 Block size and weight of each unit of the bridge section

單元	基礎位置	安裝節塊編號	重量(T)	長度(m)	跨距(m)
下構鋼梁	A1~A2	G1A01	22.57	10.20	75m
		G1A02	19.91	11.20	
		G1A03	16.29	11.25	
		G1A04	14.96	11.50	
		G1A05	16.43	11.25	
		G1A06	20.96	11.20	
		G1A07	20.16	10.20	
		G1B01	22.57	10.20	
		G1B02	19.91	11.20	
		G1B03	16.29	11.25	
		G1B04	14.96	11.50	
		G1B05	16.43	11.25	
		G1B06	20.96	11.20	
		G1B07	20.16	10.20	
		橫梁	80.89		
		縱梁	33.08		
		斜撐	21.04		

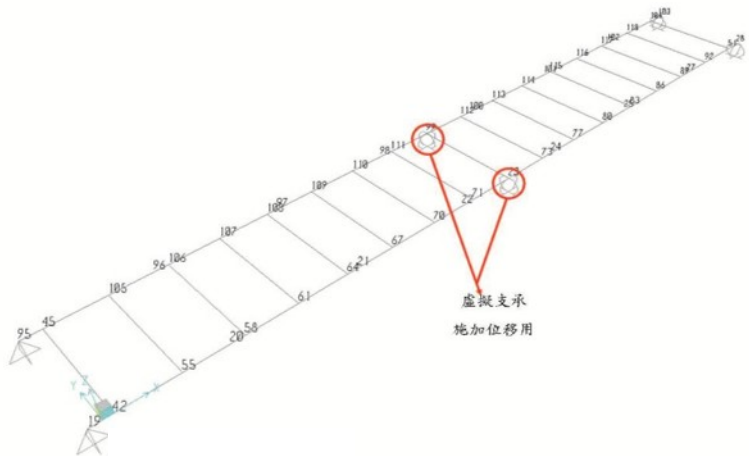
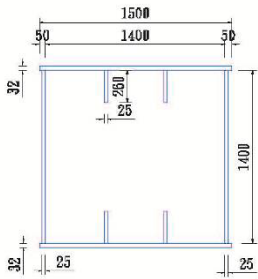


圖 3-4 分析模擬模型

Fig. 3-4 Analysis of simulation models

彭永光、侯順耀、陳文福：
以 SAP2000 程式輔助田美大橋鋼橋結構構件損傷分析與修復之探討

載重施加方式：

2. LL=0

1. DL:依各節塊實際重量，施加均佈線
載於模型節塊上。

3. 於中央(節點 23、99)虛擬支承處，
施加一考慮衝擊載重(現況未移加 25%)。

表 3-2 模型內力及位移分析結果

Table 3-2 Model the internal force and displacement analysis

單元	節點編號	節點彎短(t-m)	節點剪力(t)	節點垂直變位(cm)
GIA	19	0.00	129.89	0.00
	20	1160.59	99.42	54.02
	21	2097.53	67.67	102.31
	22	2723.38	43.31	129.92
	23(CENTER)	2933.63	31.96	133.75
	24	2724.70	43.18	129.93
	25	2100.78	67.56	102.34
	27	1158.87	100.43	54.03
GIB	28	0.00	128.55	0.00
	95	0.00	129.89	0.00
	96	1160.59	99.42	54.02
	97	2097.53	67.67	102.31
	98	2723.38	43.41	129.92
	99(CENTER)	2933.63	31.96	133.75
	100	2724.70	43.18	129.93
	101	2100.78	67.56	102.34
	102	1158.87	100.43	54.03
	103	0.00	128.55	0.00

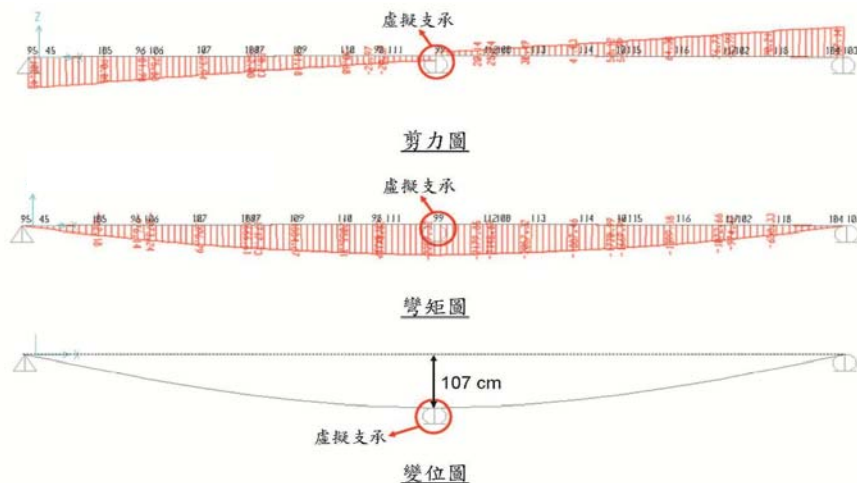


圖 3-5 剪力、彎矩、變位點陣圖

Fig. 3-5 Shear, bending moment, displacement bitmap

經現況模擬分析後，藉由模擬所得之內力檢核主樑斷面及各接合處之主斷面、接合鉸斷面及螺栓等結果詳如表 3-3 所示。

注：

(C)表為挫曲破壞(Buckling failure)

(T)表為張力破壞 (Tension stress is yielding)

表 3-3 主樑斷面及各接合處檢核結果表

Table 3-3 Main beam cross-section and the junction checking results table

腹鉸接合方式	主斷面	WA25	WA19	WA19
上下翼鉸接合方式		FA32	FA25	FA19
上翼鉸應力檢核	OK	OK	OK	OK
上翼接合鉸 PL1 應力檢核	-	OK	NG!!(C)	NG!!(C)
上翼接合鉸 PL2 檢核	-	OK	NG!!(C)	NG!!(C)
上翼加勁鉸 PL3 應力檢核	-	OK	OK	NG!!(C)
上翼鉸螺栓剪力檢核	-	OK	NG!!	NG!!
上翼加勁鉸螺栓剪力檢核	-	OK	NG!!	NG!!
下翼鉸應力檢核	OK	OK	OK	NG!!(T)
下翼接合鉸 PL1 應力檢核	-	OK	NG!!(T)	NG!!(T)
下翼接合鉸 PL2 應力檢核	-	OK	NG!!(T)	NG!!(T)
下翼加勁鉸 PL3 檢核	-	OK	OK	NG!!(T)
下翼鉸螺栓剪力檢核	-	OK	NG!!	NG!!
下翼加勁鉸螺栓剪力檢核	-	OK	NG!!	NG!!
腹鉸應力檢核	OK	OK	OK	OK
腹鉸接合鉸 PL4&PL5 檢核	-	OK	OK	OK
腹鉸螺栓剪力檢核	-	OK	OK	OK

彭永光、侯順耀、陳文福：
以 SAP2000 程式輔助田美大橋鋼橋結構構件損傷分析與修復之探討

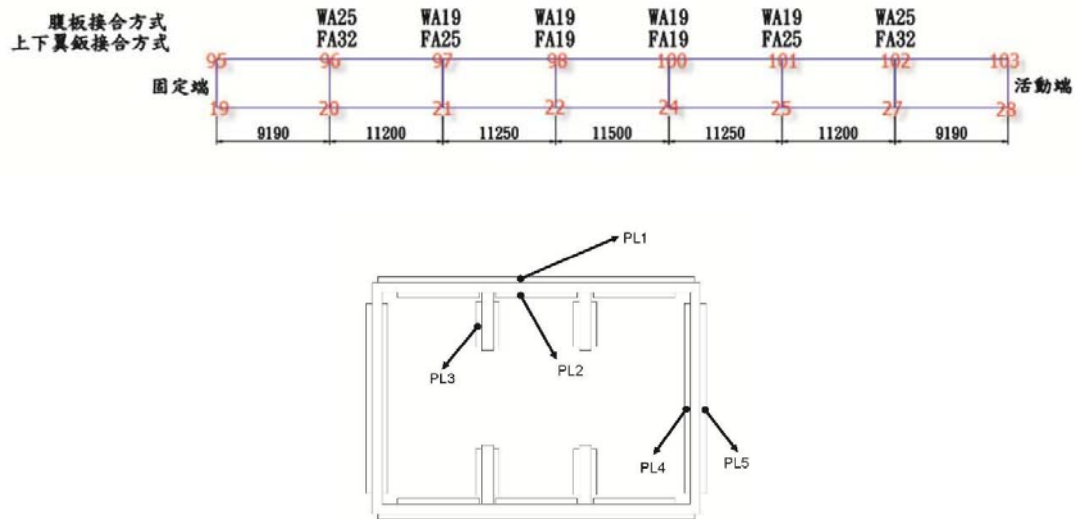


圖 3-6 接合鉚位置及標準斷面圖

Fig. 3-6 Bonding sheet standard and position cross-sectional view

分析結果說明如下：

1. 主斷面經檢核，接合型式 FA19 之下翼鉚已達降伏。
2. 節點 21、25、97 及 101 等接合型式為 FA25 & WA19 之接合處，經檢核上翼接合鉚 PL1 及 PL2 已挫曲，下翼接合鉚 PL1 及 PL2 業已降伏，上、下翼鉚以及上、下翼加勁鉚之接合螺栓均超出容許剪力。
3. 節點 22、24、98 及 100 等接合型式為 FA19 & WA19 之接合處，經檢核，上翼接合鉚 PL1、PL2 及加勁鉚 PL3 均已挫曲，下翼接合鉚 PL1、PL2 及加勁 PL3 亦已降服，另上、下翼鉚及上、下翼加勁鉚之接合螺栓均已超出容許剪力。
4. 建議更換構件整理詳如表 3-4。

田美大橋因尚未完工，蘇拉颱風過境時

經現場勘查發現臨時支撐架已遭洪水沖毀並造成橋樑之下弦拱大樑結構體產生下垂變形，橋樑橫樑、縱樑及斜撐雖已安裝就定位，但高張力螺栓均並未完全裝上且都未完成鎖緊及剪斷。

因橋樑之下弦拱大樑結構體產生下垂變形，需進行檢測項目如下：

1. 各構件鋼板是否有變形等異樣，包括油漆面是否有龜裂、剝離。
2. 各構件鋼板在沿構件方向之焊道是否有異樣。
3. 各構件埠是否有碰撞變形情形。各橫樑、縱樑是否變形，以儘量瞭解掉落時是否有扭轉情形。

4. 各接合板與構件交界處之油漆面及螺栓

孔附近是否有異樣。螺栓與其接合處、油漆面是否有異樣。

表 3-4 建議更換構件表

Table 3-4 Proposal to replace the member

上下翼板接合方式	WA19	WA19
	FA25	FA19
上翼接合板 PL1	更換	更換
上翼接合板 PL2	更換	更換
上翼加勁板 PL3	—	更換
上翼板螺栓	更換	更換
上翼加勁板螺栓	—	更換
下翼板	—	更換
下翼接合板 PL1	更換	更換
下翼接合板 PL2	更換	更換
下翼加勁板 PL3	—	更換
下翼板螺栓	更換	更換
下翼加勁板螺栓	—	更換



圖 3-7 高張力螺栓均未完成鎖緊及剪斷
Fig. 3-7 High tensile bolts locking and cut were completed

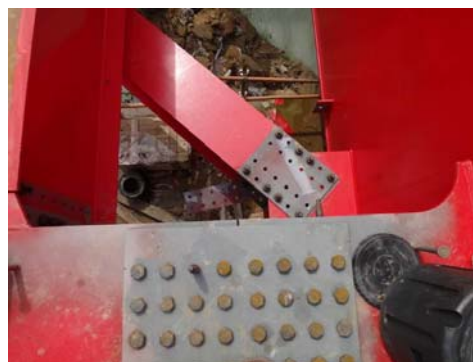


圖 3-8 斜撐高張力螺栓均並未完成鎖緊及剪斷
Fig. 3-8 Bracing were not completed for high tensile bolts and shear locking



圖 3-9 高張力螺栓扭力值檢測
Fig. 3-9 High tensile bolts torque detection



圖 3-10 磁粒檢測(MT)結果均未發現異常
Fig. 3-10 Magnetic particle testing (MT) results were not unusual



圖 3-13 高張力螺栓、油漆面檢測結果未發現異常
Fig. 3-13 High tensile bolts, paint surface has normal test results



圖 3-11 焊道經目視檢測結果均未發現異常
Fig. 3-11 The visual weld test results were not unusual



圖 3-14 焊道經磁粒檢測(MT)，未發現異常
Fig. 3-14 No abnormalities were found in the magnetic particle testing weld (MT)



圖 3-12 高張力螺栓、油漆面檢測結果未發現異常
Fig. 3-12 High tensile bolts, paint surface has normal test results



圖 3-15 箱樑上翼接合鉸高張力螺栓拆除
Fig. 3-15 Box on the wing joining sheet metal high tensile bolts were removed



圖 3-16 箱樑上翼接合鈑、高張力螺栓更換
Fig. 3-16 Both the Box on the wing joining sheet and high tensile bolts were replaced



圖 3-19 接合鈑、高張力螺栓更換完成
Fig. 3-19 Replacement of bonding sheet and high tensile bolts were completed



圖 3-17 支撐架安裝完成進行更換作業
Fig. 3-17 The replacement work for supporting frame installation has been complete



圖 3-20 鋼索預力重新調整
Fig. 3-20 Re-adjust the prestressing wire rope



圖 3-18 扭力值重新檢測
Fig. 3-18 Re-torque value testing



圖 3-21 高張力螺栓扭力值檢測
Fig. 3-21 High tensile bolts torque value testing



圖 3-22 檢視接合板、油漆面及高張力螺栓
是否異常

Fig. 3-22 The view bonding sheet metal, painted surfaces, and high tensile bolts were checked for abnormal

結果分析與討論

受到暖化的影響，大氣中的水氣含量會隨著溫度上升而增加，水氣增加意味著降雨量或降雨強度可能增加。根據不同降雨強度過去全球各地測站極端降雨長期變化分析，也多半有相似的趨勢，但是局部區域差異還是相當大，鄰近測站的長期趨勢也未必一致。南庄地區的極端降水變化造成溪水瞬間暴漲，然因施工中已搭設完成支撐架抗洪水沖刷能力不足，在無法抵擋沖刷力瞬間倒塌沖毀，造成組裝一半之鋼箱型樑變形，施工期亦因此延宕。施工前雖於工程範圍內投保工程災害保險，已將施工中之風險緩和並轉由保險公司分擔，但因延宕所造成的損失，非保險可以量化的理賠。

由 SAP2000 分析結構安全評估來檢核探討橋樑損傷情形，經分析結果共有四處接合處上、下翼板及高張力螺栓需更換。並經現場構造外觀檢查之結果大致均正常、無異

樣，且兩支主樑之下垂量亦大致如結構分析計算情形，本工程各構件之補強與更換建議如下：

1. 主樑：依分析大致在中央幾節塊附近之斷面應力將超過容許應力值，且如加計 25% 之動力效應，斷面應力亦將接近材料降伏應力。故經加強現況檢查(包括箱型樑之內部)，並未發現任何異樣因此無需進行補強。若有需要補強可選擇在箱型樑內部方式辦理也可不影響外觀。
2. 因應力已接近材料最大降伏應力值，其缺陷有可能在後續應力增加時發生，在後續各階段應力變化時，均須持續進行本項檢查，例如橋面版完成、上下弦間之系杆完成、臨時支撐拆除時等階段均需檢查，若有異樣則須進行補強，至全橋完成，若均無異樣發生始能解除管制。
3. 其他橫樑等構件：建議先進行檢查，再視檢查結果，研擬對策。另亦可比照上述大樑方式，持續在各階段應力變化時均進行檢查。
4. 主樑接合板與螺栓：本案兩側主樑各有 6 個接頭，依計算結果與酌加計動力效應之影響，中間 4 個接頭之接合板與螺栓，建議均予更換；另最外側各一個接頭之接合板與螺栓則再視檢查結果，決定是否須更換。
5. 其他接頭之接合板與螺栓：視檢查結果，決定是否須更換。

工程於汛期期間進行鋼橋施工組裝，承

包商於施工前曾向業主反映希望鋼樑暫緩組裝，能夠展延至非汛期期間施工，但礙於工程契約規定合約工期以日曆天計算，並未有汛期可以扣除之規定可以遵循，在汛期期間施工因此造成工程需承受遭洪水破壞之高風險。

本工程雖依「申請施設跨河建造物審核要點」規定汛期中使用場撐支撐架順水流或平行水道治理計畫線方向排列一個以上者，應成一直線施設，橫跨河川排列之場撐支撐架，其淨間距不得小於 10m，除墩柱外，上部結構施作範本之最低點不得低於計畫洪水位，施工期間累計場撐橫斷面寬度不得超過河寬之 1/4 等規定設置施工架，但仍無法抵擋瞬間暴雨帶來的洪水沖刷，汛期期間的施工未來有討論的空間，如何讓工程施工順利完成均是大家需要努力達成的目標。

結論與建議

本文主要探討田美大橋於 2012 年 8 月 2 日蘇拉颱風帶來豪雨將支撐架沖毀造成下弦拱大樑下陷，藉由 SAP2000 分析是否造成下弦拱大樑構件損傷及作為日後修復工作進行之依據。分析主要以 SAP2000 程式建立田美大橋之模型，配合現場勘查照片，以非線性動力分析迅速找出田美大橋於支撐架沖毀後造成的破壞結果，診斷出結構損壞部位作為修復之依據。田美大橋進行修復工作時，亦於施工期間做好相關檢測工作，確保了完成修復後能夠維持橋樑安全無虞。現場更換過程並未發現有外觀異常現象，全在分析結果範圍內，完成更換構件後鋼橋結構安全仍合乎設計安全規定。

橋樑工程都需依「申請施設跨河建造物審核要點」規定申請施工，但極端災變天氣帶來劇烈降雨的氣候變化致使汛期期間的施工的風險較非汛期為高，政府機關於工程契約都有規定工程需於工程施工期間在工程範圍內投保工程災害保險，期望能將施工中之風險緩和並轉由保險公司分擔。現行理賠金額係由保險公司自行核算後理賠給被保險人，往往保險理賠金額與承包商實際損失有顯著認知差異，造成承包商損失慘重，未來建議政府機關應考量委由公正單位評估損失後交付保險公司作為理賠標準。橋梁於汛期期間施工普遍面臨於極端災變天氣的嚴峻考驗，承包商除須承擔天災造成損失，亦面臨工程逾期受罰壓力，若提高臨時支撐安全係數亦面臨工程經費增加，在政府財政艱困下，如何讓工程安全順利的完成，是大家需要努力達成的目標。

參考文獻

1. 內政部(2007)，鋼結構容許應力設計法及強度設計法之規範及解說，內政部。
2. 交通部編(2006)，公路鋼結構橋樑之檢測及補強規範，交通部。
3. 交通部編(2008)，公路橋樑耐震設計規範，交通部。
4. 交通部編(2009)，公路橋樑設計規範，交通部。
5. 吳宜昭、陳永明，朱容練(2010)，臺灣氣候變遷趨勢，國家災害防救科技中心。
6. 周智傑(2004)，集鹿大橋震害評估與修

- 復之研究，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
7. 許晃雄、周佳、吳宜昭、盧孟明、陳正達、陳永明(2012)，臺灣氣候變遷的關鍵議題，臺灣醫學 2012 年 16 卷 5 期。
 8. 張仁豪(2011)，全球暖化對臺灣極端降雨量影響之評估，國立臺灣大學生物資源暨農學院生物環境系統工程研究所碩士論文。
 9. 姚昭智、練乃齊(1993)，鋼結構破壞部位診斷之數值分析，中華民國振動與噪音工程學會論文集。
 10. 陳雲蘭(2008)，由極端氣候指標看台灣氣候變化，2008 台灣氣候變遷研討會。
 11. 陳憲宗、游保杉(2009)：氣候變遷與台灣極端降雨變異趨勢，水資源管理會刊，12 月號。
 12. 經濟部水利署(2012)，申請施設跨河建造物審核要點，經濟部水利署。
 13. 經濟部水利署第二河川局(2010，中港溪治理規劃檢討，經濟部水利署。
 14. 聯邦工程顧問有限公司、李森柑(2008)，”SAP2000 結構設計實務”，科技圖書。
 15. 謝宜君(2012)，河川工程因應極端氣候衝擊與調適策略之研究，國立中央大學營建管理研究所碩士論文。
 16. IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
 17. Liu, S.-C, C.-J. Shiu, J.-P. Chen, and C.B. Fu, 2008, Changes of Precipitation Intensity in East Asia, 2008 臺灣氣候變遷研討會。
-
- 102 年 04 月 29 日收稿
102 年 05 月 01 日修改
102 年 06 月 13 日接受

水土保持學報 45 (3): 703 – 720 (2013)

Journal of Soil and Water Conservation, 45 (3): 703 – 720 (2013)