



美濃地震 台86線24號橋 震後災害橋梁 橫移復位 介紹

黃炳勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部資深協理

蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部技術經理

陳彥豪／台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部正工程師

2016年2月6日凌晨發生於高雄美濃規模6.6的地震，對台南部分地區造成相當大的災情，而在距離震央約24公里之省道台86線24號橋，大梁結構在P7伸縮縫處向外錯位最大達到59cm，且多處支承受損。24號橋盤式支承因採用舊規範的設計標準，且本次地震力亦超過舊規範的規定值，故有明顯的破壞發生。公路總局第五養護工程處隨即應變，封閉受損嚴重的東行線，緊急委由台灣世曦進行復建及補強設計；經過工程人員全力投入，遂於5月20日修復達通車標準並開放通行。本文主要說明在震後的調查及緊急復建工作中盤式支承更換、大梁頂升復位的規劃及耐震補強方案的選擇。

前言

2016年2月6日凌晨發生於高雄美濃地震，於台南地區產生之震度達到5級以上，而新化測站更是測到7級震度（圖1）。本次地震造成距離震央約24公里之省道台86線24號穿越橋受損（圖2），原東西行線分離的橋面板結構由中央分隔護欄向外錯位最大達到59cm（圖3），當天經公路總局第五區養護工程處新化工務段緊急會勘後發現多處支承嚴重受損，伸縮縫橋墩RP7的支承更因過大的橫向位移而陷落，支承嚴重受損集中於東行線RP5~RP9及西行線LP5~LP9，LP8橋墩上方則是因盤式支承錯位導致大面積的保護層混凝土掉落。工程處在考量橋梁結構嚴重受損及維護用路人行車安全下，隨即封閉側向位移嚴重的東行線，並緊急以重型支撐架臨時加固。台灣世曦在2月19日銜命辦理本橋之緊急復建及耐震補強工程之設計工作，同時國家地震工程研究中心（以下簡稱：國震中心）則受託進行震後橋梁特別檢測及車輛載重試驗。

本工程須儘快確認橋梁結構安全及儘早恢復通車為目標，設計時程非常的急迫，因此在國震中心進行詳細

目視檢測同時，復建及耐震補強工程便同步進行。台灣世曦在進行細設前即進行必要的檢測，以釐清橋梁損傷是否達到重建的程度。考量本案時程及現場施工的可行性，施工分為兩階段進行，第一階段為受損的盤式支承更換作業及大梁復位限期完工，並在通車前由國震中心進行車載試驗，以確認上部結構的安全性，而第二階段則是進行耐震能力補強工作。

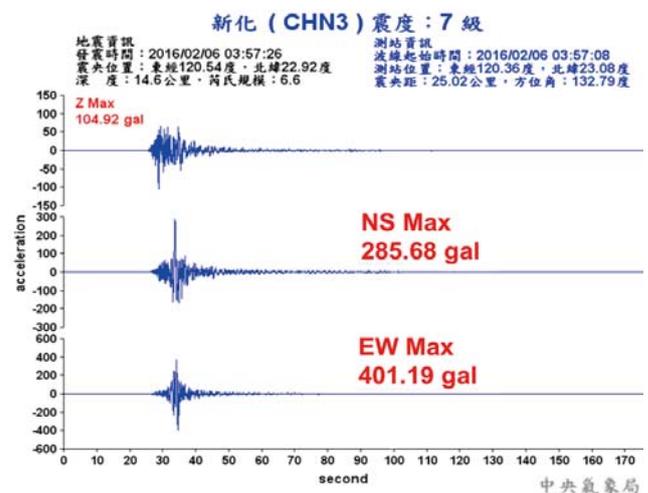


圖1 中央氣象局高雄美濃地震新化測站地表加速度紀錄

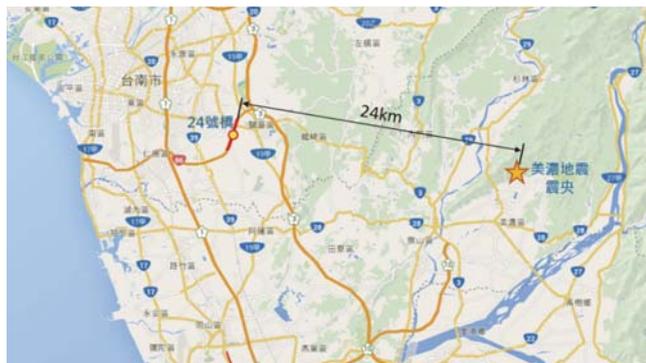


圖 2 美濃地震震央與台 86 線 24 號橋位置示意圖



圖 3 大梁向外位移現況照

24 號橋結構配置

24 號橋為東西行線分離的結構系統，共有 4 個振動單元，每個單元為 7 跨連續的預力箱型梁，橋梁上部結構為梁深 2.0 m 之預力箱型梁，一般斷面採單箱室設計，靠近 A2 橋台側變橋寬則採雙箱室配置。橋跨

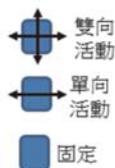
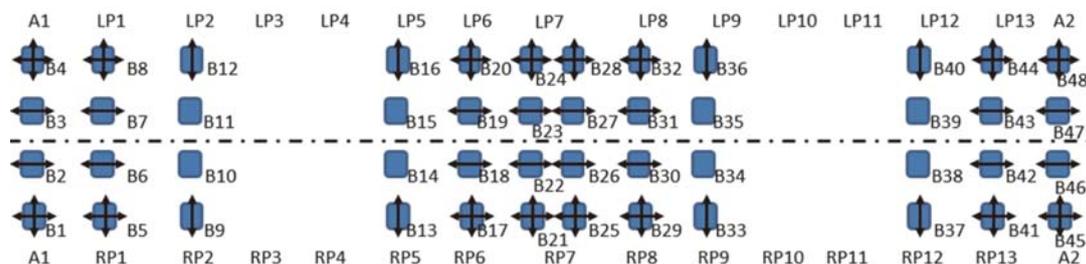
徑配置由 A1 橋台 (16k + 080) 依序為西行線 5 @ 40 + 2 @ 37.5 = 275.0 m，2 @ 37.5 + 2 @ 40 + 50 + 40 + 35 = 280.0 m；東行線 7 @ 40 = 280.0 m，3 @ 40 + 50 + 3 @ 35 = 275.0 m，全橋長為 555.0 m。各單元皆為 M-M-H-R-R-H-M-M 的支承配置方式，在行車方向由 4 根橋柱承受水平力，而橫向水平力則由各墩分擔，各橋墩的支承配置如圖 4 所示。

下部結構為單柱橋墩，墩柱標準斷面為 1.5 m × 3.0 m，柱高約為 4.5 ~ 7.0 m，基礎型式為全套管式基樁。

橋梁災害調查

受本次地震影響橋梁上部大梁有明顯的橫移破壞，東行線及西行線橋梁盤式支承皆有程度不一的損傷，且於上下部結構發現多處裂縫。以東行線 RP7 伸縮縫處的支承損害最為嚴重，支承全面破壞並且大梁有陷落的現象。經國震中心現地測量結果顯示東行線大梁最大偏移量為 49.6 cm，西行線大梁最大偏移量約為 9.1 cm，詳表 1 及圖 5。

台灣世曦在地震發生後配合細部設計需求，必須檢視橋梁主要損傷狀況，因此著重於受力最大處結構的損傷狀況的調查，而全橋詳細檢視則由國震中心另案辦理。透過橋梁受損橫移的現況可以反算構件的內力 (圖 6)；根據變位可知在固接橋墩 P4 及 P10 處存在最大內力，現場損傷調查亦在此處發現較明顯的結構損傷 (圖 7)，且裂縫方向與受力方向吻合，而嚴重損壞支承則分佈於 P4 ~ P10 之間 (圖 8)。



支承編號	型式	設計軸力(T)	橋軸方向力(T)	橋橫方向力(T)
B2, B3, B22, B23, B26, B27	單向活動	300	0	60
B1, B4, B21, B24, B25, B28	雙向活動	300	0	0
B9, B12, B13, B16, B33, B36	單向活動	500	100	0
B6, B7, B18, B19, B30, B31, B46, B47	單向活動	500	0	100
B5, B8, B17, B20, B29, B32, B45, B48	雙向活動	500	0	0
B10, B11, B14, B15, B34, B35	固定	500	100	100
B42, B43	單向活動	800	0	160
B37, B40	單向活動	800	160	0
B38, B39	固定	800	160	160
B41, B44	雙向活動	800	0	0

圖 4 24 號橋支承配置

表 1 24 號橋東行線與西行線支承位位移統計表

橋墩	RP5	RP6	RP7	RP8	RP9
最大位移	14.4 cm	30.7 m	49.6 cm	26.9 cm	12.6 cm
橋墩	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9
最大位移	-2.1 cm	6.7 cm	9.1 cm	5.2 cm	0.3 cm

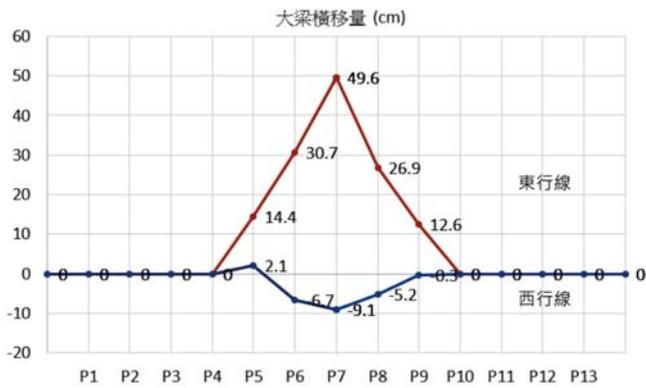


圖 5 24 號橋東行線上部結構位移示意圖

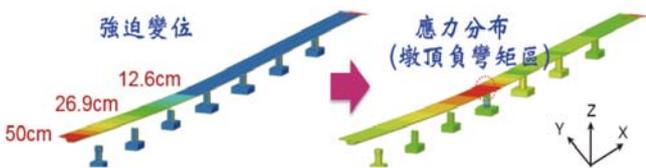


圖 6 最大變位下橋梁內力結構分析示意圖

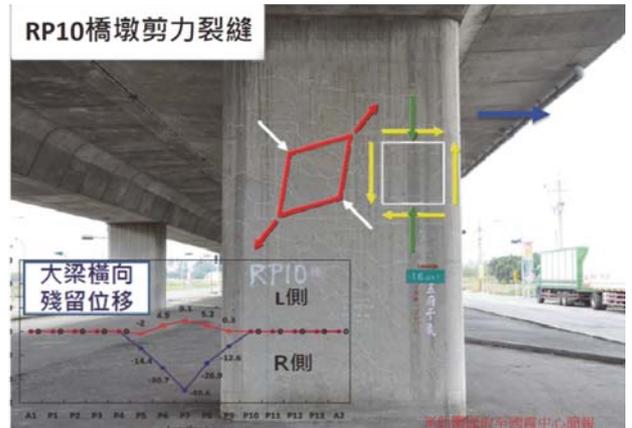
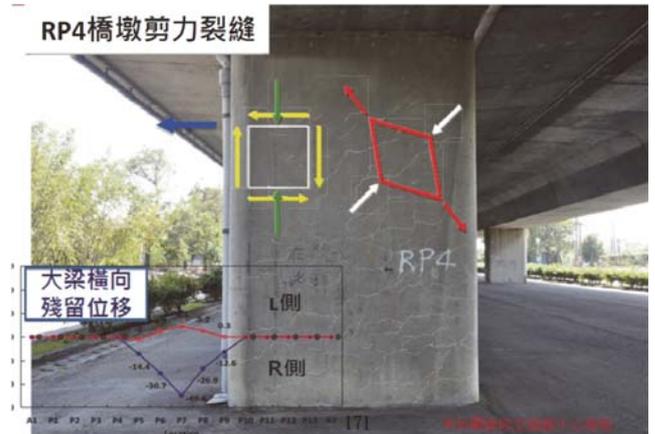


圖 7 下構裂縫與受力狀況研判



照片 1 RP7 單向活動支承嚴重破壞



照片 2 RP7 雙向活動支承嚴重破壞



照片 3 RP7 單向活動支承嚴重破壞



照片 4 RP7 雙向活動支承嚴重破壞



照片 5 LP7 支承墊破壞



照片 6 LP7 支承墊破壞

圖 8 橋梁損傷照片

盤式支承更換設計考量

根據竣工圖說進行檢核發現盤式支承的設計軸力符合需求，但設計水平力皆不符最新規範的要求。24號橋設計完成年代為民國 85 年，所採用的設計規範雖有參考 84 年版橋梁耐震設計規範，但研判支承的設計水平力仍沿用 76 年版公路橋梁設計規範，因設計水平力僅為垂直力的 10 ~ 15%，屬於弱支承的設計考量。84 年版的公路橋梁耐震設計規範開始導入韌性設計的觀念，允許橋柱產生塑鉸消能，支承則需以強支承的方式設計，以便塑鉸可以順利產生。各時期規範支承的設計目標差異如圖 9 所示。

有鑒於支承的水平抵抗力存在明顯的差異，新設置的支承若要滿足現行規範的規定，下錨定板螺栓的數量及深度皆會大幅度增加，大梁端的上錨定螺栓亦需補強，因此採用功能性分散的方式設計新的盤式支承；新設置的盤式支承採用雙向活動，僅承受垂直力，而水平力則全部由新設置的鋼製止震塊承受。此方案可大幅度減少柱頭打除的深度，更可避免大梁支

規範	kh	盤式支承設計目標	材料強度
76 年	0.120	設計水平力：ZSICW 地震力係數C：0.15 震區：中震區	0.55Fy
84 年	0.153	設計水平力： min[塑鉸力 ， 彈性地震力] 震區係數Z：0.23 震區：第二區	Fy
現行 (98 年)	0.193	設計水平力： min[塑鉸力 ， 彈性地震力] 震區：歸仁區(Z=0.28) 設計水平譜加速度係數 $S_D^0=0.7$ ； $S_1^0=0.4$	Fy

圖 9 各版本規範支承設計目標的差異

承處的補強工作，且新設置的鋼製止震塊可先於工廠加工製作，縮短現場作業的時程。新設置的鋼製止震塊配置另詳圖 10 所示。

大梁頂升橫移規劃

頂升復位工作必須先確認在目前變位下，大梁的損傷仍屬輕微可復舊為前提，因此在現場調查則著重於 RP3 ~ RP5 及 RP9 ~ RP11 受拉側腹板的裂縫調查，另外，透過結構分析模型檢視支承損壞後橋梁變形與受力的情形。因為大梁配置了預力鋼腱，大梁的內力應保留施工階段之內力，再進行支承系統變更與強制變位等步驟。根據分析結果，斷面上的應力值部分超過開裂應力，但大梁垂直撓度初步檢視並無發現異常，因此有必要在大梁橫移復位後，透過國震中心的車載試驗檢視預力是否有受損。

結構模擬分析中，於 RP7 處之上部結構指定強迫變位量，除可觀察其他相關位置之位移量是否與現實相符，用以佐證分析過程之準確性，亦可藉由分析成果反推橋梁復位所需之回推值（約為圖 11 所示之主梁橫向剪力值 V）。爰此，規劃強迫變位值以每 5 cm 為間隔，最大至現況所發生之 50 cm 變形，相關評估結果詳如表 2 所示。由表 2 可知，當 RP7 上方主梁強迫變位 50 cm 時，於 RP6 及 RP5 所產生之橫向變位為 28.2 cm 和 10.4 cm，比對表 1 所示之現場量測結果（31 cm 及 14 cm）顯示，兩者雖有些微差異，但數值分析成果仍可供修復時之參考依據。另觀察因強迫變位所產生之主梁橫向剪力中，當 RP7 上方主梁橫向位移 5 cm 時，上部結構約受 10.2 tf 之橫向剪力；若主梁橫向位移 50 cm 時，上部結構則約受 101.8 tf 之橫向剪力，因構件內力仍在彈性範圍內，因此可預期將來移除已損傷之支承系統時，主梁會緩慢彈性復位，但仍可能留存殘餘

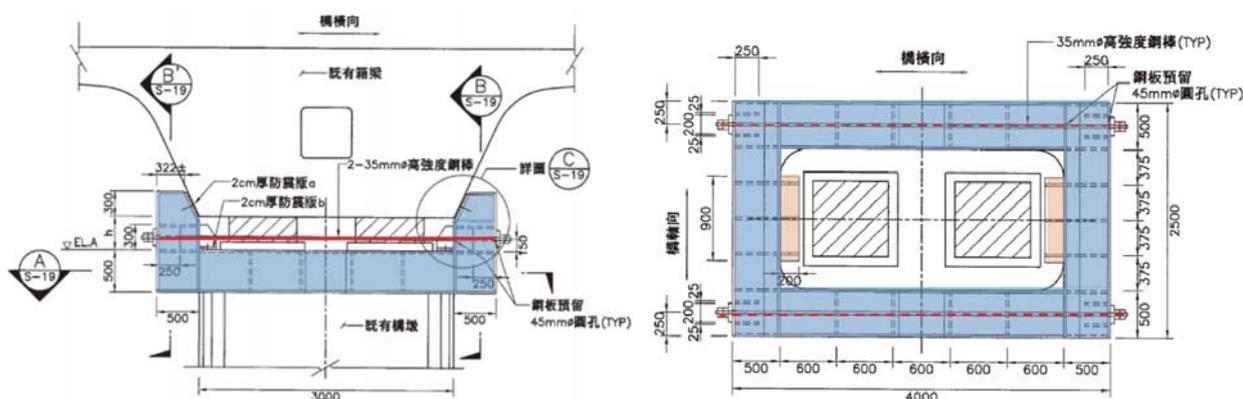


圖 10 水平抵抗裝置（鋼止震塊）配置示意圖

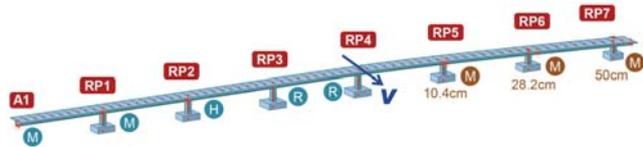


圖 11 橋梁橫向變形與受力示意圖

表 2 數值分析結果比較表

橋墩	RP7	RP6	RP5	橋墩	RP4
主梁 橫向 位移 (cm)	5	2.8	1.0	主梁 剪力 (tf)	10.2
	10	5.6	2.1		20.4
	20	11.3	4.2		40.7
	30	16.9	6.2		61.1
	40	22.6	8.3		81.4
	50	28.2	10.4		101.8

變形。透過此分析成果，亦可快速推算上部結構可能之內力，並作為千斤頂橫移時的重要考量因素。

在規劃頂升橫移工作尚存在一些不確定因素，以致於增加了施工的困難度。主要不確定主因有三：1. 結構物損壞程度；2. 邊界不確定性；3. 橫移系統的選擇。根據上述不確定因素分述如下：

1. 結構物損壞程度：因為混凝土結構本身並非均質等向性材料，施工過程、老劣化等皆會引致裂縫，而此次地震部分應力亦超過開裂應力，大梁結構的受損狀態初步無法完全掌握，以致於結構物受損後勁度折減不確定。
2. 邊界不確定性：大梁在 P7 伸縮縫處向外變位，P7 ~ P5 及 P7 ~ P9 的支承破壞，甚至於 P7 處大梁有陷落的狀況。整體的變形猶如懸臂梁，而在 P4 及 P10 亦發現柱身有明顯的扭剪裂縫（圖 7），故固接橋墩對大梁的拘束力無法完全掌握。損壞的支承與破碎的支承墊摩擦力亦無法量化，且地震前支承是否已經存在損傷皆不確定，因此，結構模擬分析無法完全與實際狀況吻合。
3. 橫移系統（設備）的選擇：目前常見的頂升橫移設備都是處理剛體移動的案例，被移動的物體並不存在內力，為剛體平移的運輸過程，然而本案橋梁受損後因為陷落及損壞盤支的拘束，導致頂升橫移設備不止需承受被移動結構體本身的重量，尚須承受額外的拘束力，因此頂升橫移設備如何支撐導引或機具量能亦會影響頂升橫移的進行。

根據上述不確定因素，頂升橫移最後決定採用頂升自復位移的方式修復，當清理受損支承、釋放拘束力後，藉由大梁本身的彈性變形回到穩定位置，因為上述諸多不確定因素，最終穩定位置理論上不會正好

在原設計的橋墩中心軸，而不回推至墩柱中心軸則主要是考量永久釋放因地震導致的額外內力。而在規劃頂升復位的施工步驟則是要考慮逐步釋放力量，以期施工的安全性，相關施工步驟規劃如下，配置規劃示意圖如圖 12 所示：

上構頂升橫移工作：

1. 先安裝橋梁前後兩側之垂直重型支撐架（現場支撐架型式如圖 13），並順利轉移垂直力至重型支撐架系統後進行東行線（R 側）P5 ~ P9 水平反力座安裝，將大梁兩側以千斤頂固定，水平力由千斤頂傳遞至墩柱結構。
2. RP7 橋面伸縮縫拆除。
3. 垂直千斤頂向上頂升 1.0 cm 或支承達脫離狀況，千斤頂須保持均勻受力，油壓表之總反力參考表 3 所示，並於各墩配置位移監控裝置。（頂升及橫移回推仍以位移做為主要監測及檢核值，千斤頂承壓力為輔助數據，承包商仍需依說明之要求執行橫頂回推工作）
4. 清除 RP7 單側（UNIT1）損傷支承後，水平千斤頂（T1 & T2）回油解壓，使大梁自行緩慢復位，待千斤頂已無持續變位即可再將千斤頂固定。
5. 依序清除 RP6（UNIT1）損傷支承後，水平千斤頂（T1 ~ T4）回油解壓，使大梁自行緩慢復位，待千斤頂已無持續變位即可再將千斤頂固定。
6. 同步驟 5，清除 RP5（UNIT1）損傷支承後，水平千斤頂（T1 ~ T6）回油解壓，使大梁自行緩慢復位，待千斤頂已無持續變位即可再將千斤頂固定。
7. 檢視殘餘的變形量，根據表 3 水平力與殘餘變位建議之水平力緩慢施加於各橋墩，並紀錄回復量並檢視殘留變形量。若水平總推力已達表 3 建議值，但大梁尚未復位則不得再強行回推，最終將水平千斤頂（T1 ~ T6）固定。
8. 同理，參照步驟 4. ~ 7. 進行 UNIT2 的橫移工作。
9. 根據橫移後最終的橋梁線型放樣支承位置，打除柱頭支承墊並配筋。
10. 更換新的盤式支承。
11. 待盤支基座養護完成後，垂直千斤頂解壓，將力量轉換至新設盤式支承。
12. 水平千斤頂裝置待鋼製止震塊安裝完畢後即可拆除。
13. 同理，重複步驟 4. ~ 12. 進行西行線（L 側）的上構橫移及支承更換工作。原則上西行線橫移過程中交通仍保持暢通，不進行 LP7 伸縮縫拆除。因西行

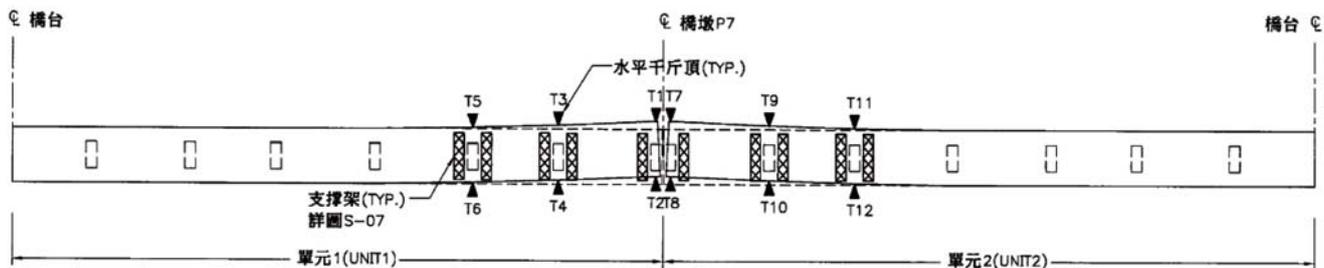


圖 12 支撐架及水平千斤頂配置示意圖



圖 13 現場設置之重型支撐架系統

線變位較小，承包商得根據千斤頂系統的附載能量調整，可考慮兩個單元（UNIT1 & UNIT2）同時橫移，惟橫移的方式仍以回油解壓進行。橫移過程中若遭預阻礙需打除伸縮縫，需通知設計單位及工地工程司會勘後裁示辦理。

耐震補強方案研析

由設計規範沿革可以發現既有橋梁耐震能力恐無法滿足現行規範規定，本橋配合盤支更換及橫移工作一併進行耐震能力補強工作。根據公路總局 98 年 12 月「公路橋梁耐震能力評估及補強準則」（草案）進行本橋的耐震能力詳細評估及補強設計。考量到橋梁耐震能力不足可運用系統補強的方式提升，故補強工作配合盤支更換提出了 3 個可行方案，並根據優選排序選擇了方案 A。（雙向活動支承 + 外加止震塊 + 鋼板補強）作為最後細設提送的方案。以下簡述各方案的內容：

方案 A.（雙向活動支承 + 外加止震塊 + 鋼板補強）：損壞支承改採雙向活動支承可以減少大梁支承處補強及柱頂支承的水刀鑿除範圍，其工期、工程經費、施工難易度皆為最佳方案。

表 3 垂直及水平千斤頂施力表

橋墩編號	千斤頂油壓力總值 (靜載重條件下) (tf)
RP5、LP5	800
RP6、LP6	800
RP7、LP7 (單側)	400

垂直千斤頂總反力值

P7 上構殘留 位移 Δ (cm)	水平千斤頂 總推力 (tf)
50	100
40	80
30	60
20	40
10	20

水平千斤頂施力對應表

方案 B.（原設計支承配置 + 外加止震塊 + 鋼板補強）：採用與既有配置相同的支承條件會導致錨定的螺栓數量與深度增加，錨定於大梁的支承上錨定螺栓亦會因為地震需求提高而需補強，將會額外增加施工工期，且施工難易度較高。

方案 C.（雙向活動支承 + 反力分散裝置 + 鋼板補強）：藉由整體系統補強，以反力分散裝置（圖 14）使原本活動端的支承一併抵抗水平力將可

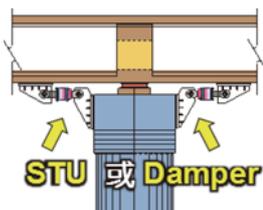


圖 14 反力分散裝置示意圖

以提高橋梁整體的耐震性能，且反力分散裝置額外提供的阻尼亦可使整體的耐震性能提升，但因為工程經費較高故不採用。

各種補強方案評選的比較表如表 4 所示。

結語

台 86 線 24 號橋在設計過程中針對頂升橫移進行許多討論，惟考量專業承商各有其獨特的橫推設施，故將重點放在規定頂升橫移過程的安全性，儘可能在頂升橫移步驟中闡述注意事項。實際執行時，專業承商頂升橫移設備為同一個系統設備，因此當受損支承由 P7 橋墩處逐墩清除，便可觀察到大梁因自身的彈性變形緩慢復

表 4 補強方案初步評估比較表

方案	方案A(設計圖方案) 雙向活動支承 外加止震塊 鋼板補強	方案B 原設計支承配置 外加止震塊 鋼板補強	方案C 雙向活動支承 反力分散裝置 鋼板補強
恢復通車時間	預計5/25	再增加20天(約6/15)	預計5/25
工期	1.00	1.16	1.15
經費	1.00	1.20	1.30
施工難易度	低	高	中
耐震能力	1.00	1.00	1.10
主要工作	雙向活動降低鉗縱數量 增加施工性 鋼止震塊承受100%水平力 橋柱動性補強	地震力需求大幅提高 支承鉗縱數量、長度增加 鋼止震塊承受部份水平力 橋柱動性補強	雙向活動減少敲除部位 反力分散至所有橋墩 耐震能力可再提升 橋柱動性補強

建議方案

位。更新的盤式支承考量施工性改採雙向活動，並配合新設置的鋼製止震塊縮小既有結構鑿除的範圍，確實達到縮短施工時程，在預定時程內完成工作。

台 86 線 24 號橋為國內第一座通車中震損橋梁橫移復舊的案例。補強設計皆以短期恢復通車為主要考量，故相關設計仍有改進的空間；惟本次橫移復位工法的寶貴經驗可提供工程界參考，以期未來針對類似破壞能更有效掌握橋梁的行為及修復方向。

106年水土保持 創新教具徵選活動



水土保持與
農村再生教育網

即日起開始收件 **6/30** 截止
活動詳情請至水土保持及農村再生教育網查詢

參賽資格

- 校園組：全國國中小、高中(職)及大專院校學生(需具備在學學生身分或為應屆畢業生)。
- 社會組：教具開發出版社、遊戲開發公司、對教具開發有興趣之民眾...等。
- 可以個人或團隊方式參賽。

作品主題

作品主題及教學概念須與水土保持、土石流防災或農村再生相關。

- 徵件類型：依教具設計功能，區分為遊戲操作類、講解模型類。
 1. 遊戲操作類：動態教具如互動式教具、認知教具、桌遊、繪本教具等。
 2. 講解模型類：如靜態模型教具。

· 作品規格：

須符合教具定義：指專為搭配水土保持、土石流防災或農村再生教學活動所研發、設計或本身可自成水土保持教育活動之實體器材，不含一般任何教學過程中所需之器具、材料包、平面繪本以及虛擬之電腦軟體。

辦理時程



報名方式

請至水土保持與農村再生教育網
(<http://learning.swcb.gov.tw>)
填寫報名資料，上傳報名表。
報名截止日至106年6月30日止。

電話：04-23580613 #51馬小姐、#32吳小姐
傳真：04-23581143



團隊報名者，請自行擇定一人為團隊代表人。
(為使資料傳送無誤，請於報名時填入經常使用之E-mail信箱，主辦單位將會以此信箱傳送競賽相關消息)

洽詢時間：週一至週五上午9時至下午5時
活動專用電子信箱：swcbstory@gmail.com

