



# 國道 8 號之橋梁耐震補強工法解析

趙汝凱／交通部高速公路局第二新建工程處第三工務所 正工程師

林邦奎／宏義工程股份有限公司 總經理

張發魁／台灣世曦工程顧問股份有限公司高工處 計畫經理

林建志／台灣世曦工程顧問股份有限公司高工處 技師

台灣位處環太平洋地震帶及颱風路徑要衝，屬高溫炎熱、潮濕之海島型氣候，受溼氣及空氣污染影響，工址環境嚴苛，橋梁易受多重災害威脅，再加上隨著使用時間增長，材料劣化老舊，在在都將減損橋梁原本的性能及承載能力，因此提升橋梁耐震與耐洪能力，建立妥適之防蝕對策，以延長橋梁之生命週期，實屬重要交通議題。據統計全台灣國道河川橋、高架橋、穿越橋、跨越橋、匝道橋墩座多達一千餘座，採用橋梁之補強工法多達十餘種，常見包括，橋墩基礎補強、鋼板包覆補強、帽梁補強、增設混凝土止震塊、設置液態黏滯性阻尼器、更換 LRB 支承等，足見國內在橋梁耐震補強領域，已具備領先各國的管理經驗；本工程執行迄今已累積一定程度之橋梁施工成果，藉由施工經驗分享，冀望可為後續國道相關補強作業，略盡棉薄之力。

## 國 8 橋梁耐震補強工法介紹 – M81 標

國 8 肩負台南地區關鍵運輸責任，為台灣重要生命線救災道路，既有橋梁之耐震補強標準以再服務 50 年為原則，並考慮河川沖刷與邊坡穩定影響，以補強工程費不超過同型式橋梁新建工程費 45% 為本，提昇原橋梁耐震能力與延長使用年限，達到全橋結構安全及耐震均一性。本文旨述「國道後續路段橋梁耐震補強工程（區段 2-2）第 M81 標 – 國 8 全線暨國 3 新化段」，範圍位於國 8 全線及國 3 新化系統交流道至鹽水溪橋（詳圖 1），全長 30 公里，橋址分別座落於台南市安定區、新市區及新化區，在工法設計與耐震施工時，必須避免交通中斷，減小封路衝擊，常有穿著衣服改衣服之感，此為補強工程與新建工程最大差異之處；本案就國 8 現地環境與橋梁全生命週期，作有效與適當的耐震補強施工，相關工法（詳圖 2）概述如下：

### 支承系統補強

1. 支承補強：包括更換鉛心橡膠支承（LRB）。

2. 上構防落補強：主要為增設鋼板止震裝置及混凝土止震塊、增設剪力樺等防落橋設施。

### 基礎墩柱補強

1. 基礎補強：可分為深基礎與淺基礎，深基礎主要於既有基礎四周，增加基樁，並配合加大基礎樁帽，回填復舊；淺基礎則以斜坡明挖或擋土支撐方式，加大既有基礎 RC 結構。
2. 橋墩墩柱、帽梁補強：主要於墩柱、帽梁位置，採鋼板包覆及混凝土包覆等工法增加結構韌性、強度，包括必要之銜界面（水刀）處理、化學植筋、無收縮水泥砂漿灌注、鋼板外露防水及塗裝等。
3. 其他補強工程（既有混凝土面劣化修補）：耐震補強施工前，先進行目視調查既有劣化情形，調查項目包含裂縫、蜂窩、剝落、鋼筋外露銹蝕等，若發現有劣化現象，採相片及錄影方式紀錄，依序辦理修繕作業。

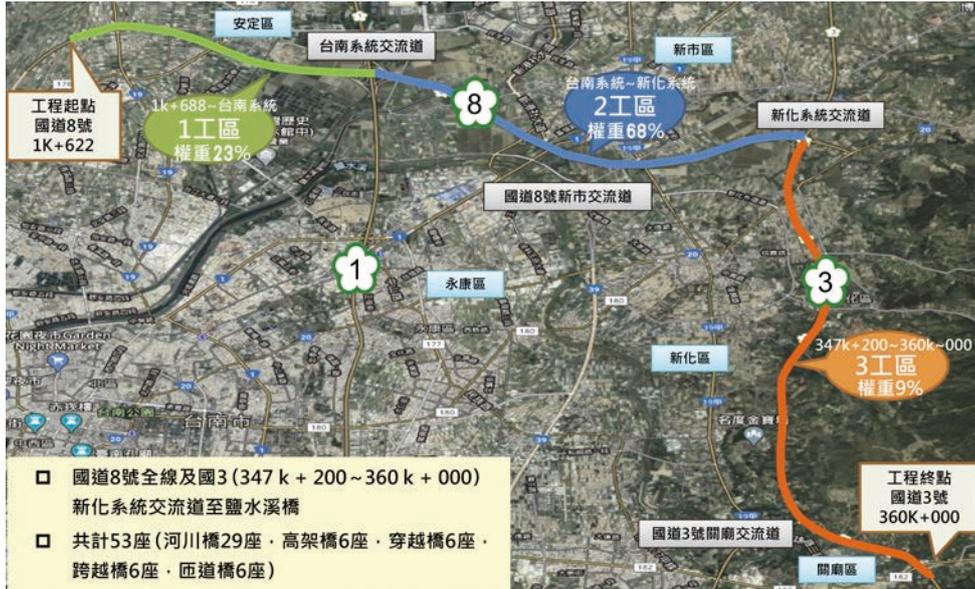


圖 1 M81 標耐震補強範圍示意圖

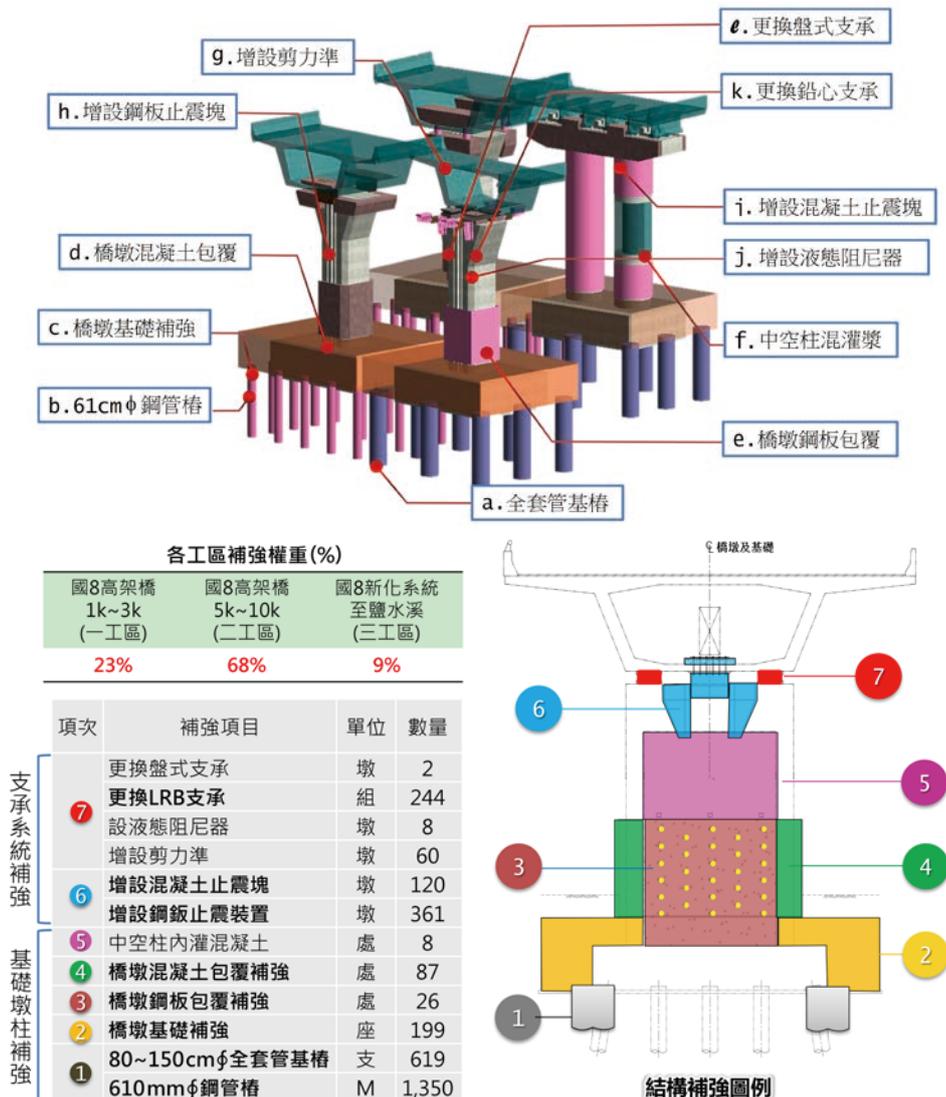


圖 2 M81 耐震補強工法一覽表

## 支承系統補強，以更換鉛心支承為例

國道 8 號（總長 15 km，1 k ~ 15 k）民國 82 年設計，採用 76 年公路橋梁設計規範進行地震力設計，並於民國 88 年竣工，其中 1 k ~ 3 k 補強內容為將既有盤式支承更換為鉛心橡膠支承（LRB），以延長基本振動週期及增加橋梁單元系統阻尼，達消散地震能效益；鉛心橡膠支承以水平隔震為原則，其垂直向須能完全承受結構垂直載重，運用鉛支隔震元件柔性延長結構系統震動週期，貢獻額外阻尼消能，遇震時可減輕橋梁上構之慣性力及加速度反應，進而降低下構耐震設計需求。

國 8（1 k ~ 3 k）上構補強墩數 226 墩，更換 LRB 達 244 組，主因為工址地表加速度及震區劃分改變、老舊橋梁耐震能力不足，既有基礎檢核已無法滿足現行耐震需求，再加上橋下限高、用地等因素，經系統評估優選更換 LRB 作為模組化工法。鉛心橡膠支承相對於盤式支承有較小之水平勁度、阻尼比高，可達「延遲地震震動週期、增加橋梁阻尼係數」進而衰減橋梁在地震中最大加速度，增加使用壽命，LRB 相關施工流程、品質控管作為，說明如下（詳圖 3）。

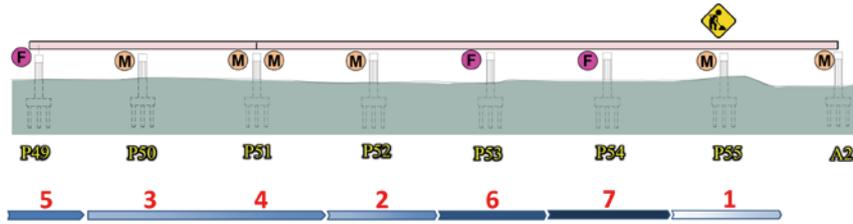
1. 鉛心支承在進場前須進行成品尺寸檢查及原型測式、實體測式、性能保證測試，確保各項試驗數

值符合新頒耐震規範需求。

2. 進行橋梁頂升，須同步垂直加壓且上升量不得大於 5 mm，頂升設備（千斤頂）採偶數配置，避免產生偏心旋轉，每加壓 100 噸量測頂升高度，避免過度抬昇橋梁受損。
3. 頂升完成後，辦理既有盤支拆除，過程中應注意粉塵、人因工程對人員之危害，且在臨路側鋪設防塵網，以維行車安全。
4. 鉛支吊裝及定位測量傾斜度（許可差  $\pm 0.003\text{rad}$ ， $\pm 0.17^\circ$ ），循序安裝支承。
5. 進行鉛支調整座無收縮水泥砂漿澆注，屆齡期強度移除頂升設備。
6. 施工過程中，為避免突逢地震增加頂升落橋風險，LRB 更換工序為，先做活動端、伸縮縫，最後才可進行固定端支承更換，且同一單元不得同時進行多個支承更換作業，如圖 4。
7. 精進作為，地震發生時（震度 4 級以上），監造、技服、廠商，共同研擬監測作為，建立地震後即時檢查機制（率定警戒值、行動值），同步成立技師團督管巡檢，透過電子測距輔以測量圖形模組化，達到操作容易與落實監測的目的，國道技師團督導作為，如圖 5。



圖 3 鉛心支承施工流程及品質控管作為



更換原則：

- ① 同一橋梁單元更換順序：  
中隔梁(原活動端 M)→端隔梁伸縮縫端→中隔梁(原固定端 F)  
例：P55→P52→P50→P51→P49→P53→P54
- ② 同一單元不得同時進行多個支承更換作業

圖 4 鉛心支承安裝工序 (以橋梁單元 P49~P54 為例)

監測項目	時機	頻率	警戒值	動作	行動值	動作
垂直變位觀測	頂昇完成後	每周2次	相對位移大於3mm	加強觀測	相對位移大於5mm	加壓頂昇
水平位移觀測	頂昇完成後	每周2次	相對位移大於2mm	加強穩定裝置	相對位移大於4mm	立即停工研討後續作為

地震(震度4級以上)發生時，監測頻率每小時1次

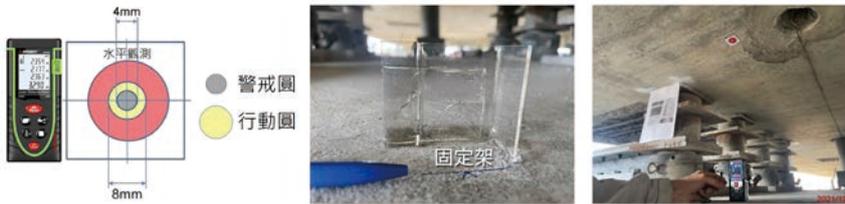


圖 5 鉛心支承監測作為

### 基礎墩柱補強，以鋼管樁為例

本工程基礎補強可分為增樁擴基與基礎頂板加厚，基礎板主筋採用銲接延伸至新設基礎，新舊混凝土界面則於既有混凝土面水刀打毛後(水壓 2,760 bar, 40,000 psi)，配置化學黏著錨筋(具中空鑽頭吸塵效果)，以增加新舊介面之抗剪能力。本文基礎增樁舉特色工法「鋼管樁打設」為例，因橋下常須配合既有結構及現地施工限制因素，如：橋下淨空不足、受限

施工開挖範圍等，須另採低淨空(H = 6 m ~ 8 m)小口徑樁機施作(樁徑 610 mm)，內灌混凝土鋼管樁工法(Cast-in-Steel-Shell piles, 簡稱 CISS piles)因此孕育而生，相關材料規格及驅動設備，如圖 6 所示，此種工法係於樁頭 10 m 範圍內設置鋼筋籠，形成鋼管鋼筋混凝土的複合斷面，除可有效增加樁載彎矩容量外，亦成功克服環境限制，將耐震能力提升至足夠標準，建造一條安全回家的路。



圖 6 鋼管樁規格及驅動設備

鋼管樁施工相較於全套管基樁具有低噪音、減少開挖範圍與縮短工期等特性，有效減低因傳統基樁施工所造成的土方暫置與鄰損問題，滿足敦親睦鄰趨勢

發展，儼然已成近年來橋梁耐震補強的新興工法，相關圖說、施工流程、品質控管、安全管理作為，如圖 7-1 至圖 7-4。

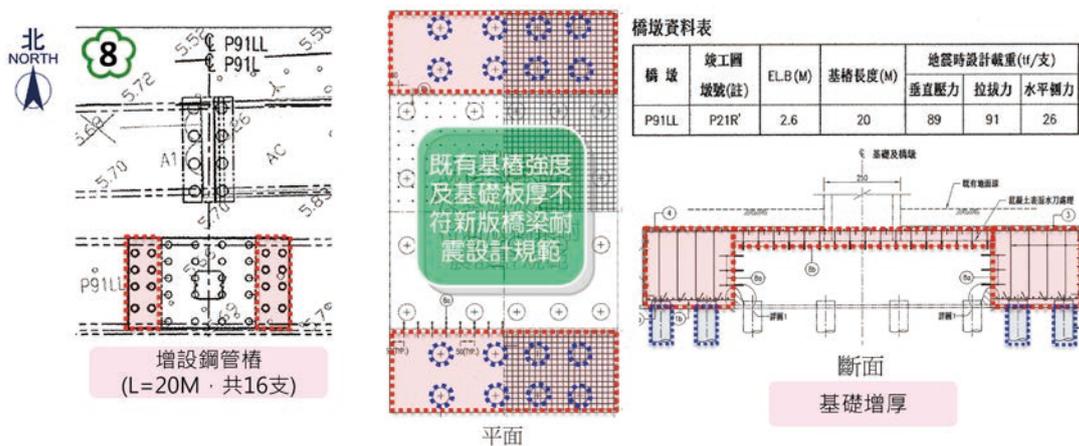


圖 7-1 鋼管樁施工圖



圖 7-2 鋼管樁施工流程



圖 7-3 鋼管樁品質控管

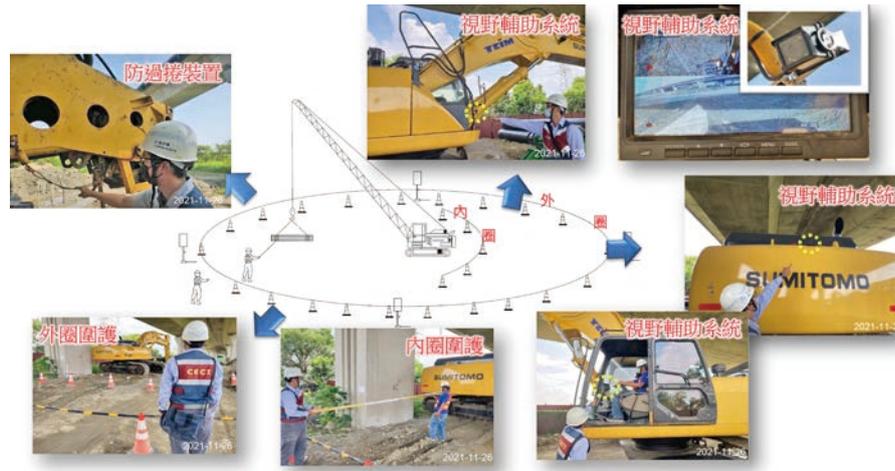


圖 7-4 鋼管樁安全管理作為

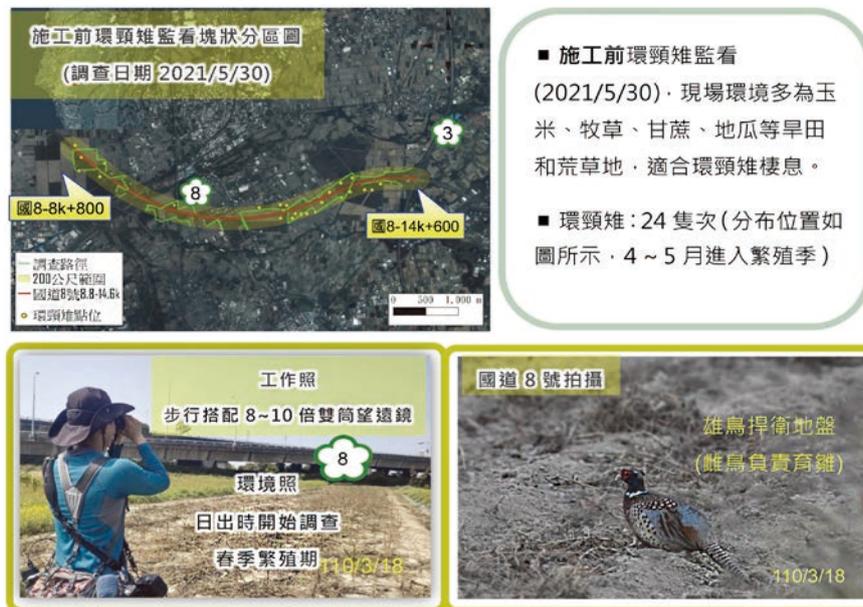


圖 8 環頸雉監看作為

### 國道建設之生態友善作為

國道建設已邁入環境永續發展為主的 3.0 思維，生態友善規劃係採「打造環境可永續發展之綠色國道」為目標，追求運輸服務安全度提升的同時，能融入減量、減廢，強調順應環境、自然穩定、低維護管理的粗放式生態景觀，建構更強韌的國道環境，因此進行國道橋梁耐震評估補強之前，匡列重要的生態課題—環頸雉、蝙蝠，提報監看成果。

### 環頸雉物種特性及監看作為

1. 在調查範圍的既有道路上，於日出後至中午 12:00 前，慢速前進，搭配 8~10 倍的雙筒望遠鏡搜尋，同時輔以鳴叫聲辨識，紀錄沿途看到或聽到

的環頸雉座標位置、數量，若發現育雛行為需加註雛鳥或幼鳥的數量和座標，紀錄時注意活動的位置及方向，監看作為，如圖 8 所示。

2. 主食是野生植物之果實，雄鳥捍衛地盤、雌鳥負責育雛。
3. 臺南系統交流道為高架路段，橋梁補強工程須進入橋下空間，施工時避開 4~5 月間之繁殖高峰期，降低對環頸雉之干擾。
4. 工程完成後的橋下空間，保留栽植原生於當地之植物，使環頸雉能持續棲息使用，並且能穿越橋下空間，進入交流道下方等綠地環境，避免因人造設施造成棲地切割，或迫使環頸雉需要穿越平面道路等負面影響。



圖 9 蝙蝠監看作為

### 蝙蝠物種特性及監看作為

1. 蝙蝠為夜行性哺乳動物，在人為活動較頻繁之地區，蝙蝠常利用屋瓦縫隙、建築物夾層、箱涵、橋梁下方等人造設施作為日棲所。
2. 蝙蝠具有高度的生態多樣性，提供了包括植物授粉（如榴槤、山竹）、種子傳播與控制經濟作物害蟲數量（秋行軍蟲）等具高度經濟價值的生態系統服務，使其成為反映陸域生態系環境狀況的生物指數。
3. 本工程配合國道耐震補強上構期程，執行施工路段箱室之蝙蝠族群清查作業，並依循勞安法規穿著安全防護裝備（侷限空間），進入箱梁內進行調查，依序對箱梁進行編號，紀錄各箱梁內蝙蝠棲息種類及數量，相關監看作為，如圖 9 所示。
4. 施工前、中、後由專業生態人員進行蝙蝠監看，作業內容包括，生態異常狀況通報及處理（單一箱室內發現  $\geq 10$  隻蝙蝠屍體，或單座橋梁發現總數  $\geq 20$  隻蝙蝠屍體）、定期舉辦環境生態教育訓練、生態保護作為成果報告（含音軌輔以影像紀錄）。
5. 工程完成後的橋下空間，保留原生當地植物，除可提升植被覆度，亦可增加昆蟲棲地及全對象之食物來源，使蝙蝠能持續棲息使用，避免因人造設施造成棲地切割，降低國道建設對環境之干擾。

### 結語

1. 原橋補強工程，雖有竣工圖作為參考依據，惟實

際基礎尺寸、高程及位置，常與圖說有所偏差，加上施工時原橋尚在通車使用，圖說澄清全仰賴工程團隊的同心協力，使橋梁耐震補強工作更臻完善，符合國人對工程人員之期望。

2. 本案的耐震補強施工經驗，成功延壽國道 8 號的生命週期與營運軌跡，期許全台興建中的國道高速公路，持續守護橋梁安全再創台灣奇蹟。
3. 國道耐震補強刻不容緩，筆者深感橋梁之美的魅力，本著國道美學再進化，交通建設納入生態、永續、經驗傳承、世代共鳴的初心，型塑台南地標，自詡為美好台灣貢獻心力。
4. 工程進行中不免遇設計圖說未臻周詳之處，如地下管線衝突、材料取得困難、施工差異，全仰賴訓練有素的工程團隊平時即就圖說、規範及疑義澄清主動進行檢討，藉本文給辛苦的主辦機關、監造單位與施工廠商，讚美喝采。

### 誌謝

本文承蒙交通部高速公路局第二新建工程處與第三工務所之指導及支持，謹致謝意。

### 參考文獻

1. 交通部高速公路局 (2021)。橋梁耐震補強設計注意事項。
2. 交通部高速公路局 (2018)。橋梁耐震補強設計及維護管理手冊。
3. 陳韋丞 (2018)。國道橋梁應用隔減震支承系統耐震補強之案例分析與探討。第 14 屆結構工程研討會，台北。