

橋梁安全性分析及維護之探討 —以宜專一線公路多望橋為例

文、圖 ■ 林志明 ■ 林務局羅東林區管理處治山課課長／蘭陽技術學院講師（通訊作者）

崔國強 ■ 國立宜蘭大學土木工程學系副教授

林鴻忠 ■ 林務局羅東林區管理處處長

一、前言

太平山林道早期由土場經過溪底便道再由林道2.3公里處上坡到達太平山，自1982年太平山發展森林遊樂，溪底便道每逢汛期即中斷，故於1983年開始規劃橋梁，採沉箱基礎興建，因位於多望溪上而命名為多望橋。

多望橋為R.C預力橋梁，使用年齡至今已逾25年，為判斷多望橋混凝土之現況是否符合當時之設計強度，又2000年921地震後耐震系數提高，因此於2007年辦理非破壞性檢測，以機具及工具作工型梁、帽梁、托架、橋台、橋墩、橋柱檢視，以混凝土反彈衝錘、透地雷達試驗法，將呈現之缺失現象描述、並建議解決方案。

雪山隧道開通，國道5號與國道1、2號連接，因此遊客及車輛增加快速，目前太平山每年已超過30萬遊客及5萬以上車輛進入，為顧及遊客安全，以檢測所獲得之資料後，在2008年編列預算進行耐震詳評及微振量測橋梁結構振動頻率測驗，初步判定需對該橋補強以符合內政部新修訂之耐震係數，並提高使用年限，隨即進行橋梁各項改善工作，目前已全部施設完竣，本文以後續橋梁安全性分析及維

護重點提供相關單位參考。

二、多望橋現況分析

多望橋結構形式係由五跨簡支梁組成，每跨跨徑30.6 m，上部結構分由兩支預鑄預力I型梁與橋面版組成，橋面寬5.8 m，墩柱為鋼筋混凝土直徑2 m圓柱，高度12.1～13.6 m，橋台為鋼筋混凝土扶壁式橋台，基礎採鋼筋混凝土沉箱基礎直徑為4.4 m、深度16 m，並於上游側包覆5 m高、0.9 cm厚之鋼板。

因多望橋於民國72年竣工，橋齡已逾25年，局部出現結構有老化損壞與耐震強度不足疑慮，需進一步進行安全檢視與評估，表1為多望橋現況問題之分析。

三、多望橋問題檢討

經多望橋現況分析檢討後，初步結論為先確認本橋是否符合內政部2005年12月21日修正「建築物耐震設計規範及解說」之規範需求，並進行必要之補強措施。遂於2008年初辦理多望橋耐震詳評及土壤液化破壞評估，以下就多望橋之耐震詳評結果進行檢討：

表1 多望橋SWOT分析

S	W
Strength：優勢 1· 每年約5萬輛車輛通行，如進行補強有助於車輛之行車服務水準。 2· 本橋原設計圖說及結構計算書保存良好，有利耐震詳評之進行。 3· 多望溪平時水位低，有助評估檢視與後續補強作業。 4· 上部結構為P.C.I.梁，如評估後需增加外置預力，施工性佳。	Weakness：劣勢 1· 本橋係依舊規範設計，耐震能力應不符最新修正之耐震規範。 2· 橋高約12~14 m，評估需注意高架作業之風險。 3· 本橋為進出太平山重要通道，無法長時間佔用車道進行評估與補強。
O	T
Opportunity：機會 1· 2008年已編列預算進行耐震詳評與補強設計，以確保進出太平山遊客安全。 2· 太平山為林務局重要之國家森林遊樂區，應爭取橋面拓寬或另建新橋之預算。	Threat：威脅 1· 地球氣候快速變遷，河床高度變化極端，基礎耐沖蝕能力備受考驗。 2· 採歷年平均雨量進行通洪檢討，是否能滿足接踵而來之暴雨考驗。 3· 多望橋淨寬4.6 m會車不便，且橋齡25年，結構老化及替代道路將影響進出太平山之重大課題。

表2 多望橋耐震詳評結果整理

項目	需求	可承受或提供值	結果
墩柱強度與韌性評估	0.268 g	0.189 g	不符合
支承破壞評估（水平向）	0.268 g	0.335 g	符合
支承破壞評估（垂直向）	外加垂直力79.16 t	支承垂直承載力94.5 t	符合
落橋長度評估	71.25 cm	145 cm	符合
預力 I 型梁耐震評估	驅動彎矩	抵抗彎矩	符合
	1357.2 t-m	1362.4 t-m	符合
基礎破壞評估	23.34 t / m ²	310.32 t / m ²	安全
土壤液化破壞評估	礫石地層，土壤摩擦角為45°，平均粒徑約7.5~10 cm，推估不會液化。		安全
橋梁耐洪能力評估	低於30分	19.05分	安全

土層其顆粒粒徑大小範圍為0.1 mm~0.3 mm，屬於細砂之範圍，當相對密度 D_r 在50%以下（鬆散）時，地震震度大於4級以上時，有可能發生液化。參考林炳森與黃群凱（2001）

之「礫石土液化潛能之研究」得知，土層礫石含量大於40%時，即相當於砂土相對密度70%以上。依據「土場溪整治工程整體規劃報告書」（羅東林管處2003年）針對多望溪



表面粒徑之調查，其礫石含量約80~90%，平均粒徑D50約為7.5~10 cm，已超出一般可能發生土壤液化的範圍。

多望橋之基礎採用沉箱基礎，深入地下16 m以上，經查原設計地質條件摩擦角為45°，顯示地質狀況為良好之堅硬岩盤，另基礎承载力計算顯示僅以底部承载力便可輕易滿足上部載重需求，故研判縱使液化發生，亦應無造成沉箱基礎喪失穩定性之可能。

四、解決方案

依耐震詳評成果顯示，必須就橋梁墩柱、預力 I 型梁、橋台、防落橋裝置進行必要之補強，補強設計主要考慮兩個方面，一是依據耐震詳評報告，針對不符規範之要求時，加以設計補強。第二個是依現況調查，將缺陷或損傷位置，加以修復。

（一）墩柱之補強

補強以耐用年限50年為準，耐震需求為 $A_c = 0.33 g$ （地震甲區）。補強鋼板厚度為6mm，補強範圍P1~P4，墩柱整支包覆6 mm鋼板。補強後平行車行及垂直車行向耐震能力 $A_c = 0.3866 g$ 均達到使用壽命50年之耐震能力需求值0.33 g。

（二）上部結構補強—外加預力系統

考慮本橋已使用25年以上之時間，預力系統難免有所折減，經檢視原計算書與本案進行之載重試驗都在合理範圍內，估計預力損失並不大，為保守起見，依耐震法規之要求，增加垂直向地震力之負荷，可使用外加鋼絞索之預力系統。在每根預力梁外側另加設一130T

之外加預力。

（三）橋台補強構想及設計

橋台A1（往土場）、A2（往太平山）經現況調查，側邊均出現明顯裂縫，裂縫出現之位置有二種，一為橋台胸牆與翼牆接合處之裂縫，另一為胸牆處之裂縫（僅A2橋台出現）。因此除裂縫填補外，並需加固既有橋台穩定性。橋台補強構想及設計是打入岩釘將橋台與牆背之土壤緊密結合，提供橋台縱向之抵抗力，如圖3、4設計圖。

（四）防止落橋裝置

原設計之止震塊原足夠抗水平剪力，為考量水平向地震力效果及過去鄰近地區之地震災害歷史，因此考慮需增加防落橋裝置，橫向增設40 cm×40 cm×H 50 cm之止震塊，詳細設計圖，如圖5、6所示。

五、多望橋補強施工

（一）鋼板補強施工

鋼板補強工法係利用環氧樹脂所具備之優越接著性能，促使補強鋼板R.C結構結合為一體，藉由鋼板之高承载力進而提高結構體之抗力的一種補強工法。

1. 施工步驟如表3。
2. 施工前及施工後照片如照片2、3。

（二）裂縫、鋼筋銹蝕外露補強、蜂窩處理施工

1. 裂縫補強

裂縫補強工法利用環氧樹脂具高接著性，原有裂縫施工後，不會再裂且強度高於原材料，環氧樹脂硬化後不再收縮，可確保

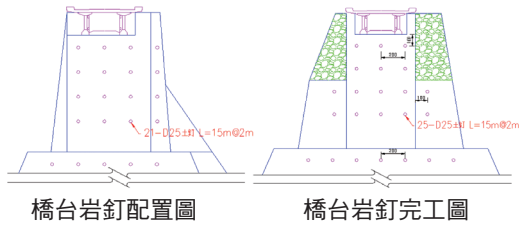


圖3 A1、A2岩釘設計配置圖。

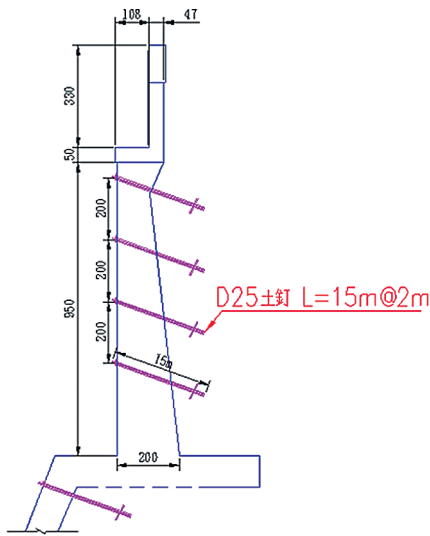


圖4 A1、A2岩釘設計側視圖。

完全填充。

2. 鋼筋銹蝕外露補強

鋼筋外露修補工法即利用銹轉換劑材料先做防銹處理形成保護膜，將鋼筋與外部之空氣及水份隔絕，不讓其繼續銹蝕，再以環氧樹脂及特殊輕質砂，以適當之配比混合成環氧樹脂輕質砂漿此修補材料具重量輕、良好接著性、耐久性及高強度等優點，將剝落之部位填充成一個整體形成原保護層作用，達到修復之目的。

其施工步驟：

- (1) 打除滲水現象或沉降裂縫處 (V CUT)。

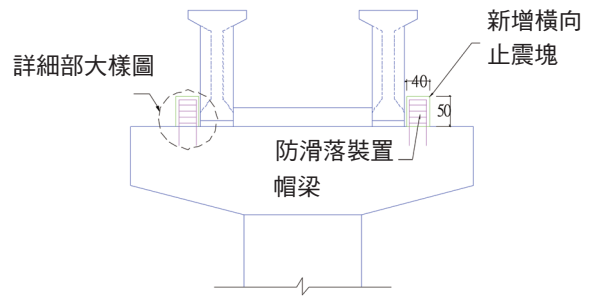


圖5 防滑落裝置立面圖。

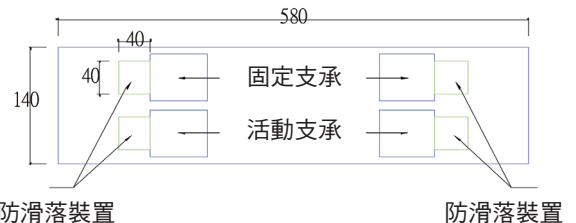


圖6 防滑落裝置平面圖。

- (2) 以高壓空氣吹淨。
- (3) 鋼筋刷除銹，並塗佈鋼筋防蝕劑。
- (4) 打除面均勻塗布EPOXY介面接著劑。
- (5) 以補土封塞劑將表面填封，並待一天至達到初期強度。
- (6) 完成面依原有外觀復原。

3. 蜂窩處理

結構體在混凝土澆置時，因骨材過粗、坍度過低或未充分搗實而形成蜂窩、空洞，破壞結構原設計應有的強度，如果未能有效



表3 鋼板補強施工步驟

項目	步驟
鋼板加工	鋼板噴砂、定尺、剪裁。
表面處理	混凝土補強表面粉刷層或油漆去除至原R.C結構。
錨栓安裝	外加垂直力79.16 t。
鋼板安裝	71.25 cm。
密封	使用EPORY密封鋼板四周及錨栓與鋼板間隙，同時埋設灌注孔與排氣孔。
灌注	使用壓力灌注EPORY，灌注時由低處灌注，高處排氣。
表面清理	鋼板表面清潔，排氣管及灌注管切除。
塗裝	鋼板表面油漆或泥作粉光處理。
驗收	驗收。



▲照片2 鋼板補強施工前。



▲照片3 鋼板補強竣工。

密實封補空洞，可能會讓外來不當的水分加速銹蝕鋼筋。

其施工步驟：

- (1) 鑿除蜂窩現象，厚度不能太薄，根部稍為較大。
- (2) 潤溼及塗抹粘結層：鑿除四周15 cm範圍內充分潤濕，並塗抹1：1水泥沙漿粘結層。

- (3) 水泥沙漿拌合試色，必要時可用白色水泥代替部分灰色水泥，以求修補顏色接送原有色澤。
- (4) 粘結層失去水澤時間開始修補，充分壓實刮平。
- (5) 修補後7日內保持修補部分潤濕作養護。

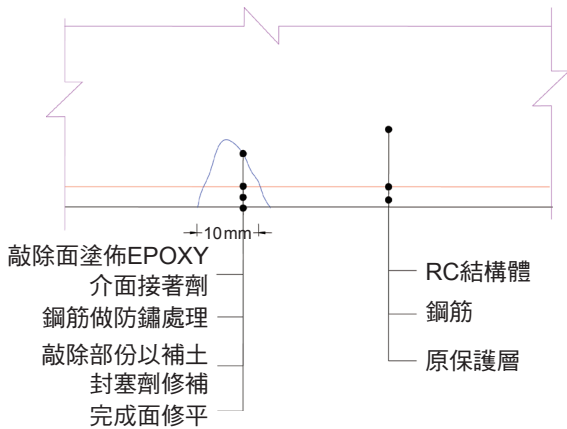


圖7 鋼筋銹蝕外露補強設計。

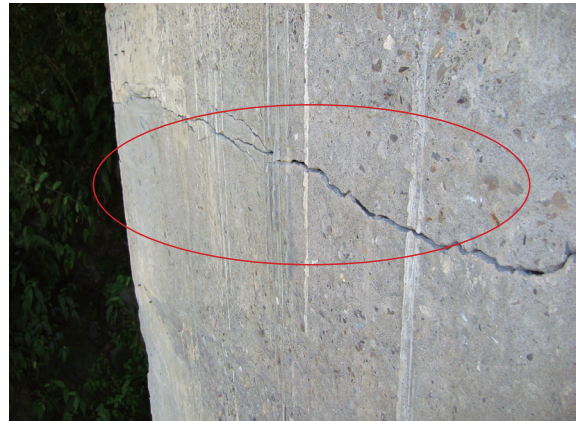
六、多望橋補強執行成效及效益評估

(一) 多望橋於民國1983年新建竣工，橋墩以單柱模型分析，推算其現有耐震能力為0.189 g，不符合設計規範之耐震需求（0.268 g），經改善施外加預力後已符合安全規定。

(二) 多望橋經改善後具固定式剪力鋼棒及抗震墩塊，其支承的水平耐震能力為0.335 g，考慮水平地震力時，支承的承載力安全係數為1.2，又因設置抗震墩塊、剪力鋼棒，落橋評估符合耐震規範要求，應不致發生落橋。

(三) 多望橋依據ASTM C586之標準檢測鋼筋腐蝕，推測其腐蝕機率 < 10% 之機率，但對於外露鋼筋則有部分以達高度腐蝕之程度；裂縫檢測則有部分已穿透保護層，已儘速修復，減低腐蝕之程度。

(四) 多望橋墩柱不符現行耐震需求，經每根墩柱全面包覆6 mm鋼板，可使耐震能力提高至0.3866 g，符合現行規定至0.33 g。



▲照片4 橋台裂縫及岩釘補強施工前。



▲照片5 橋台裂縫及岩釘補強竣工。

(五) 補強後之多望橋將提供更安全之行車服務，其補強效能更可確保原設計之使用年限。

(六) 多望橋係太平山國家森林遊樂區唯一聯外道路，無替代性，一但損壞重建需經費超過5,000萬元以上，而設計至完工需一年，遊樂區遊客也需受汛期經常中斷，對遊樂區及沿線營運及遊客影響非常大。

(七) 羅東林區管理處向上級爭取到重建經費五分之一（約1,000萬元）進行多望橋維護，使該座橋延長使用年限25年（約橋的使用年限50年的二分之一），施工中保持該



▲照片6 鋼筋銹蝕外露補強施工前。



▲照片7 鋼筋銹蝕外露補強竣工。

橋繼續通行，而以該橋重建與維修比較，不僅維修時間短、經費少、且不影響通行，對多望橋結構可提高使用效能，維修時間短、不影響通行使多望橋提高使用效率，經費少延長使用年限長對納稅人比較公平。

七、結論與建議

(一) 橋梁為土木工程之重要公共工程結構，橋梁依需求功能、各型荷載狀況、使用之材質及所處之地質地理條件並配合當地景觀，而有多樣性之變化，在公共安全及經濟成本效益的考量之下，應對於橋梁結構之橋址



▲照片8 蜂窩處理施工前。



▲照片9 蜂窩處理竣工。

規劃、設計荷重、橋型之選擇、動力分析、耐震設計、檢測、監測、老劣化診斷、維修補強、壽命評估、生命週期成本估算、養護維修策略和基本資料之管理都需深入研究。

(二) 橋梁結構物在建成之後必須滿足下列各項功能要求

1. 在正常使用時能承受可能出現的各類作用。
2. 在正常使用時能具有良好的工作性能。
3. 在正常維護條件下具有足夠的耐久性能。



▲照片10 利用環氧樹脂填充作鋼板補強。



▲照片11 多望橋防止落橋裝置。



▲照片12 多望橋外加預力補強。

4. 在偶然事件發生時及發生後，仍能保持必須的整體穩定性。

當結構物有可能無法滿足某項功能的要求或對滿足某項功能的要求發生疑問時，就必須對結構的整體、結構的某一部分或某些構件進行檢驗。檢驗的目的是對其安全性、適用性或耐久性作出正確的評估。

(三) 公路交通運輸系統是現代人類生活中極為重要的維生線，而橋梁則為此系統中不可或缺之構造物。由於橋梁通常須跨越河川、溪谷等障礙物，工程費用龐大，施工期間長，損害修復不易，故具重要地位。台灣地狹

人稠，崇山峻嶺、河川短促，且位於亞熱帶又屬高溫、潮濕的海島型氣候，是一個容易發生腐蝕的環境，加上都市化與工業化的急速發展，使得大氣中的腐蝕因子大為增加，因而影響到橋梁的耐久性。此外，台灣位居颱風的正衝，也是地震頻繁地帶，橋梁在地震或颱風洪水中產生的災害，除了可能造成直接的生命財產損失外，更可能因交通中斷，阻礙搶救與復原工作之進行，而對社會、經濟造成難以估計之傷害。因此，近年來橋梁的安全維護問題及防災能力深受大家的重視。

(四) 多望橋1983年規劃測量設計，為R.C預力橋梁，使用年齡已逾25年，進行安全性分析及維護後預定使用年限可再延長25年，多望橋由檢測、安全性分析及維護整個過程係一個連貫性的經驗，檢測部分已刊登台灣林業34卷4期，在林務局所轄林道之橋梁，可藉由本文介紹之橋梁安全性分析及維護等改善方法，提供林業工作同仁參考。▲

參考文獻 (請逕洽作者)