



4 工作心得及研究報告

橋梁耐震補強第M13A標 橋墩補強工程變更設計方案報告

一、緣起

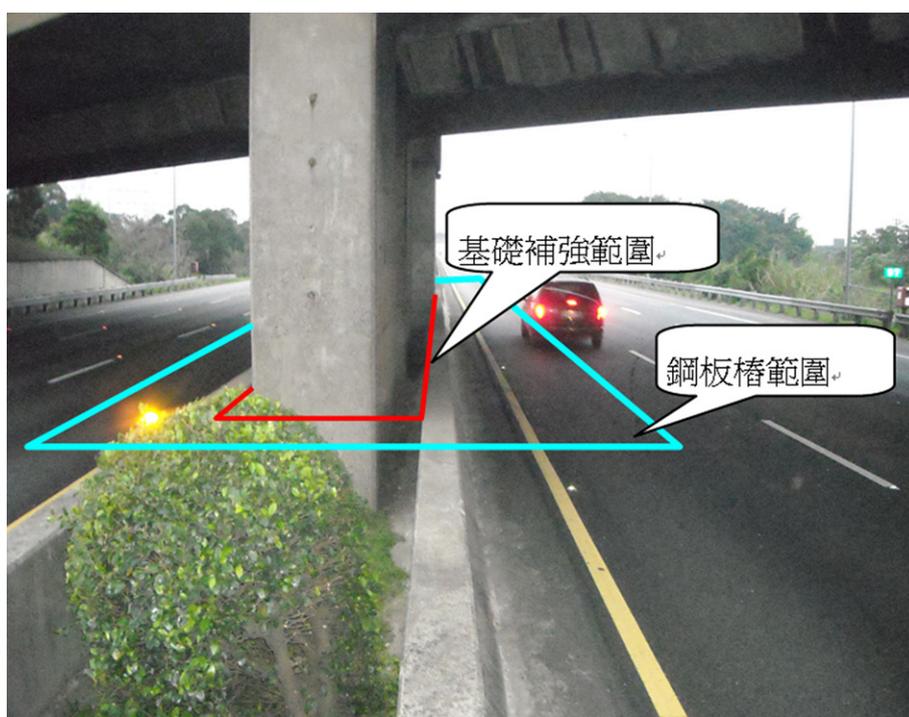
本標工程範圍，包含林口交流道至頭份交流道北側(40K+900~110K+300)路段所有國道1號中山高速公路橋梁耐震補強，其中內壢交流道 STA.56K+980聯絡道跨越橋P1橋墩，承包商於前置作業階段發現施作地點位於交通繁忙處，為避免基礎開挖封閉車道造成交通衝擊，故經施工進度檢討會討論後，由技術顧問及監造單位研擬建議方案，並由高速公路局拓建工程處邀集相關單位與會研商，依現況特性及耐震規範要求調整本橋補強方式，以減少施工時之交通衝擊。



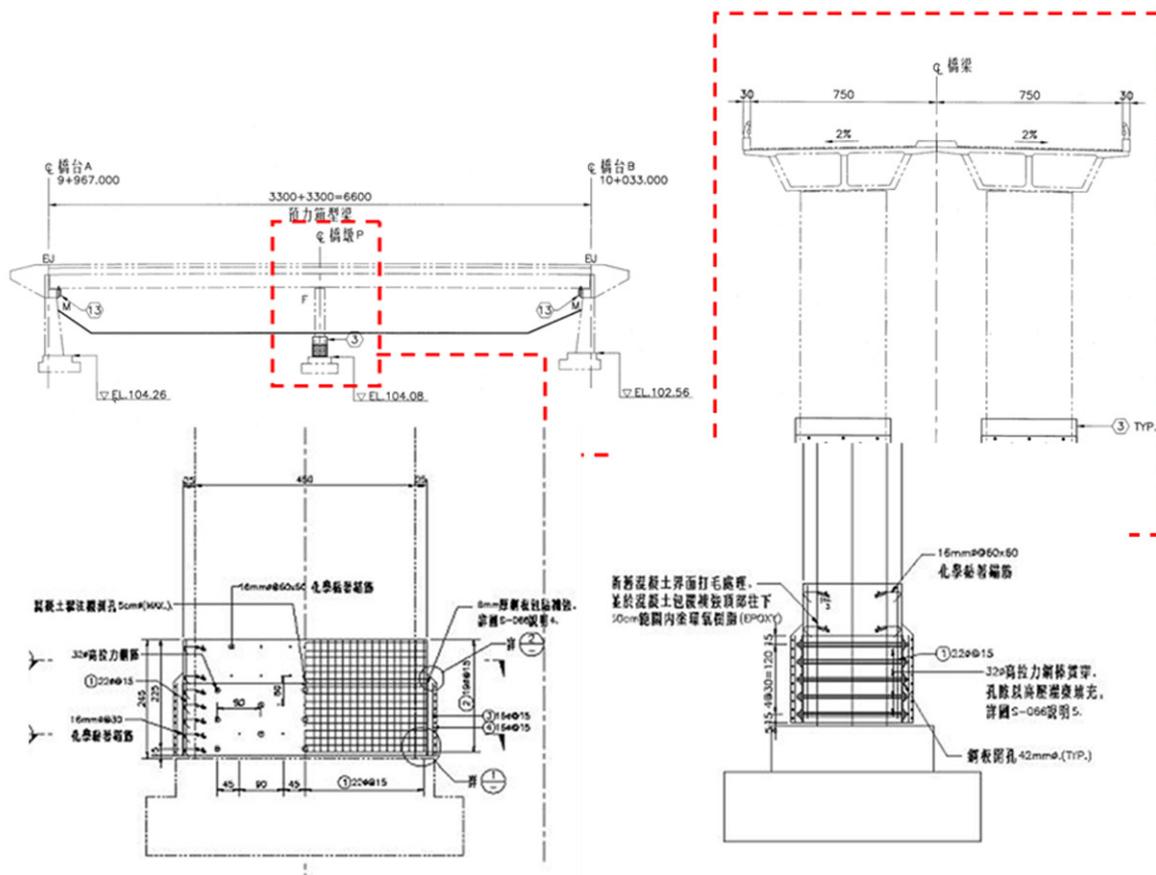
二、原設計方案

原方案分析模式乃以既有結構系統採非線性靜力分析，於塑鉸可能產生處指定其塑鉸性質與側向力分佈情形，執行側推分析。依原設計之耐震能力分析結果顯示，P1橋墩主要有基礎穩定性(接觸面積比、傾倒彎矩)及頂層橫向撓曲鋼筋量不足的問題，原設計為加強結構體耐震及剪力行爲，於橋墩底部利用對穿之32mm ϕ 高拉力鋼棒、16mm ϕ 化學黏著錨筋及6mm厚鋼板包貼，以加強結構體之耐震及剪力行爲，並規劃施作時佔用高速公路南下及北上各一車道、封閉南北向外側路肩並平移車道進行作業。其相關補強設計如圖2-1所示。

惟因本橋P1橋墩位於高速公路中央分向島上，現場狀況如右列照片所示。辦理補強工作時，約需封閉內側二車道約2個月進行施工，因封閉位址位於交通量極大且經常塞車之中壢地區，封閉部分車道施工恐將造成交通嚴重衝擊。



內壢交流道聯絡道跨越橋P1基礎原設計補強範圍



2-1 內壢交流道 56K+980聯絡道跨越橋P1橋墩補強設計圖





三、建議方案

本橋若採用原有補強方案，需封閉二車道進行施工，將對交通造成嚴重衝擊，經研析本橋耐震需求後，擬於橋台處裝設液態黏性阻尼器，以降低地震力對橋墩的作用，並以阻尼器來消耗地震所輸入之能量，使其符合現行耐震需求，並取消P1橋墩混凝土包覆補強及相關交維。

本案主要依據交通部「公路橋梁耐震設計規範(97年11月)」第七章隔震與消能設計、內政部「建築物耐震設計規範及解說(95年1月)」第十章含被動消能系統建築物之設計，並參考FEMA 273、FEMA 274、FEMA 356、FEMA 357及社團法人日本免震構造協會「被動制震構造設計施工手冊」進行分析設計。

採用非線性之阻尼元件時，需對橋梁結構進行非線性歷時分析。分析時採用近工址之地震歷時資料，以盡量能確切反應工址設計地震之地震規模、斷層距離與震源效應為考量，強地動紀錄選取之測站距離工址約3-5公里，測站相關站碼、經緯度資料整理如下表，測站位置如圖3-1所示。

站名	站碼	經度	緯度	與工址距離	蒐集之地震資料
青埔國小	TCU008	121.2062	25.0093	約3 km	921集集地震
新街國小	TCU009	121.2200	24.9655	約 3 km	921集集地震
中央大學	TCU083	121.1867	24.9700	約 5km	921集集地震



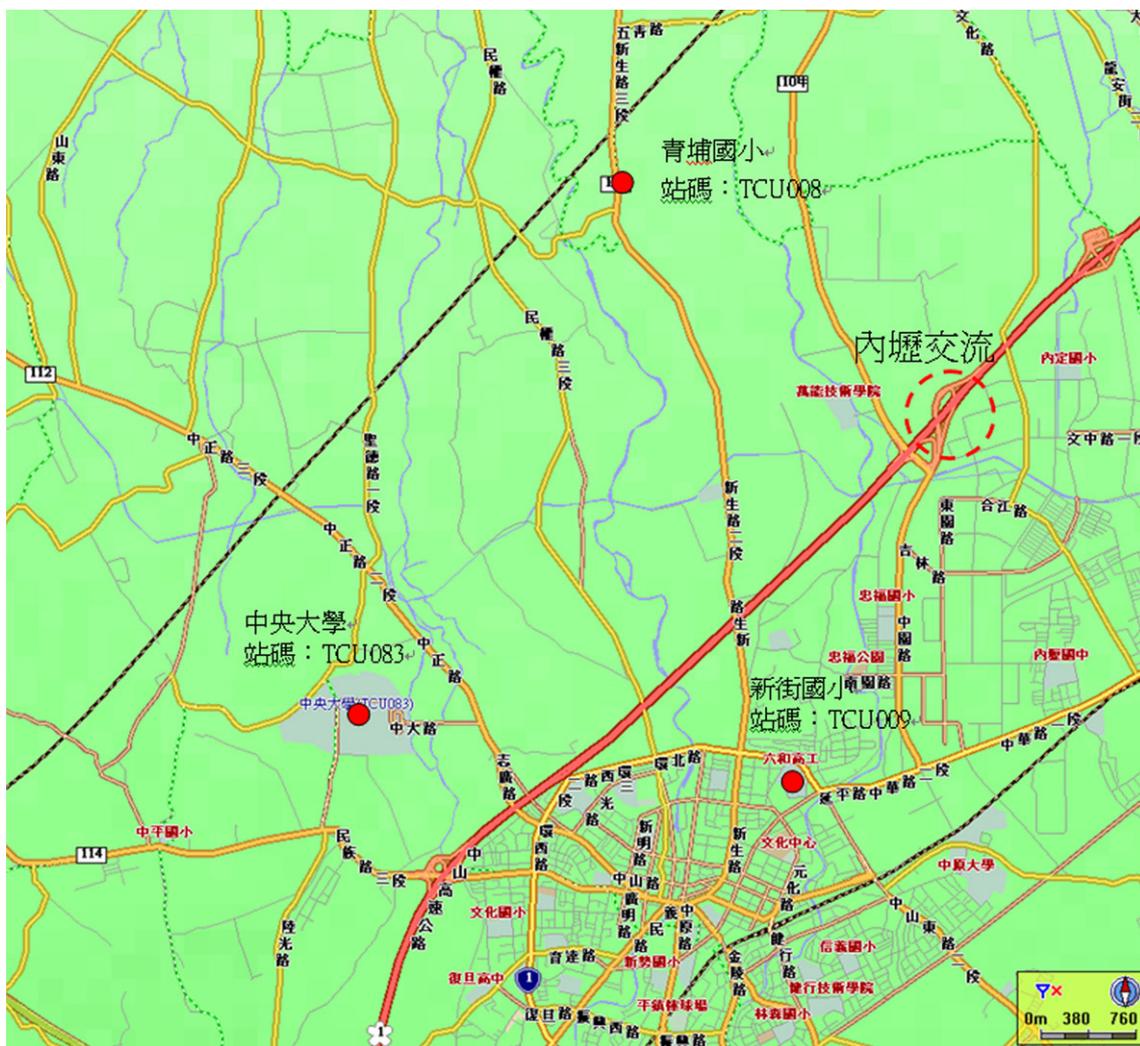


圖3-1 測站位置示意圖





依橋梁耐震設計規範規定(97年)，分析所參用之地震歷時紀錄，為與工址鄰近之三組測站(站碼TCU008、TCU009及TCU083)所搜集之九二一集集大地震歷時資料進行動力歷時分析，以SPECMAP程式轉換取得符合設計反應譜之人造地震歷時資料(如圖3-2所示、以TCU008測站為例)，再以SAP2000分析程式進行分析設計。分析步驟說明如下：

1. 由各測站之地震歷時紀錄求得各測站相應之地震反應譜。
2. 與規範之設計反應譜比較，並修正各測站相應之地震反應譜。
3. 由修正後之各測站反應譜求得修正後之地震歷時紀錄。
4. 以修正後之地震歷時紀錄進行動力歷時分析。

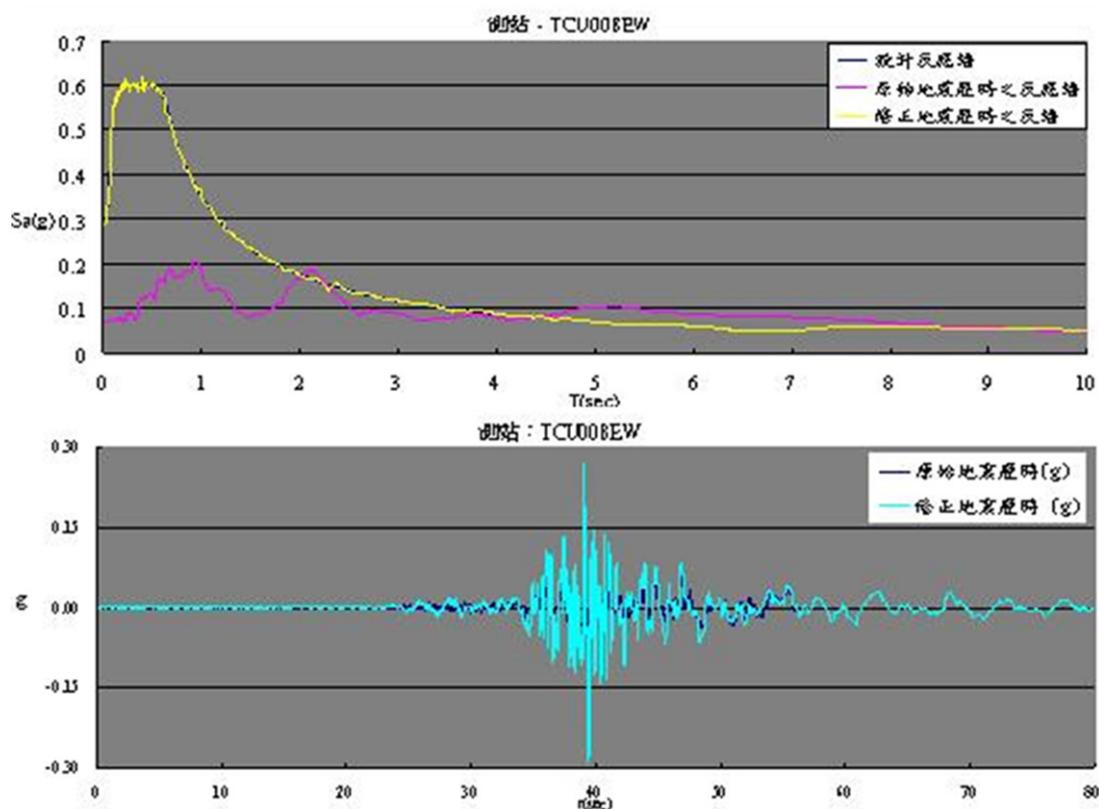


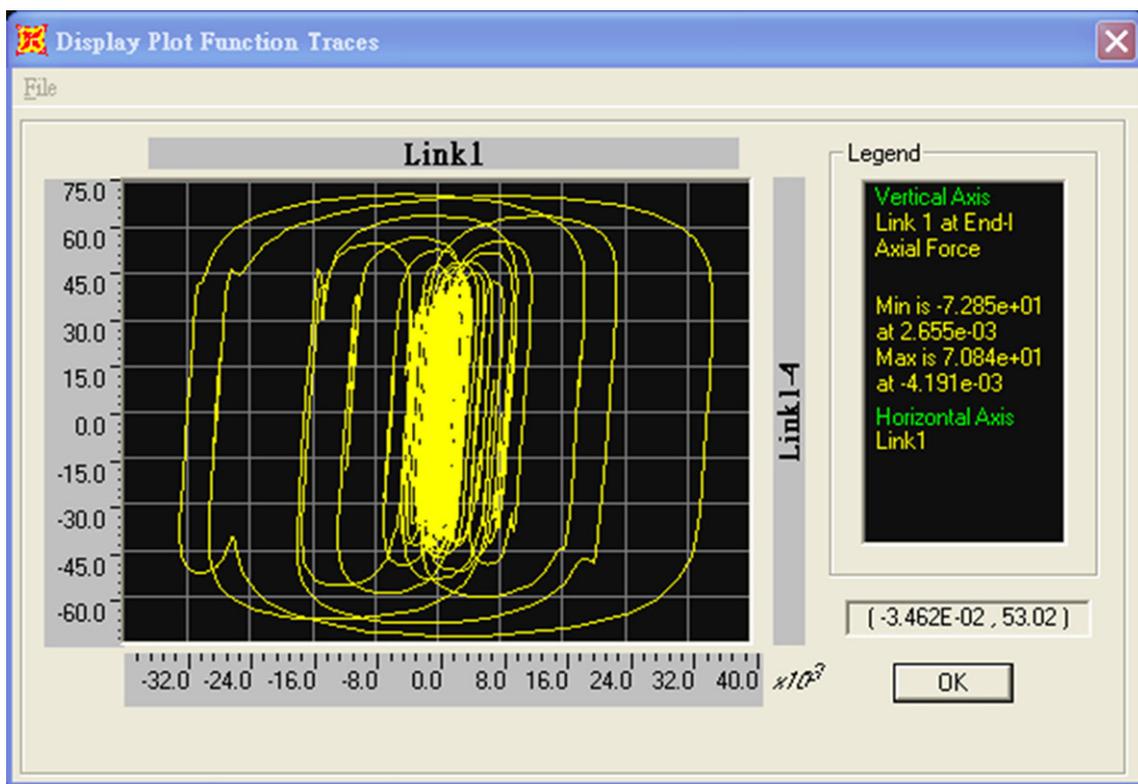
圖3-2 符合設計反應譜之人造地震歷時資料圖





所需阻尼力 $36.400\text{ton}=357.08\text{KN}$ 、設計使用 400KN ，使橋墩及橋台在受到未折減最大地震情況下，仍保持在彈性範圍內。阻尼器最大設計速度量為 580.53mm/sec ，阻尼器最大位移量為 $3.6\text{cm}(< 3/\sin 50^\circ=3.92\text{cm}$ (伸縮縫平行車行方向之寬度))。

本補強方案經增設液態黏性阻尼器後，採等能量法則($\xi_{\text{eff}}=WD/(4\pi W_k)$ WD ：阻尼一周期所作的功 W_k ：系統一周期內最大之彈性應變能)，求得阻尼器之等效阻尼比約為 2.4% ，加上原有結構體之阻尼比 5% ，補強後之整體等效阻尼比約為 7.4% 。其於橋台處加裝組尼器後，阻尼器消能效果之遲滯迴圈如下圖所示：



阻尼器選用設計：(結構基本振頻=1.45(1/sec))

依阻尼方程式 $F=CV^\alpha$ ，其中

$F(\text{KN})$ =阻尼器最小出力容量

$C(\text{KN}/(\text{mm}/\text{sec})^\alpha)$ =阻尼係數

$V(\text{mm}/\text{sec})$ =阻尼器活塞相對外殼的運動速度

α =阻尼指數

設計需求之阻尼器相對速度一般選用阻尼器之最大軸向相對速度值需大於設計需求之阻尼器相對速度值，以確保阻尼器在此速度值下仍可正常運作。經參考廠商儀器規格，故選用 $V=1000 \text{ mm}/\text{sec}$ 、 $C=100 \text{ KN}/(\text{mm}/\text{sec})^\alpha$ 、 $\alpha=0.2$ 之阻尼器，其出力容量 $F \approx 400 \text{ KN} (> 357.08 \text{ KN})$ 。其相關補強設計如圖3-3所示。

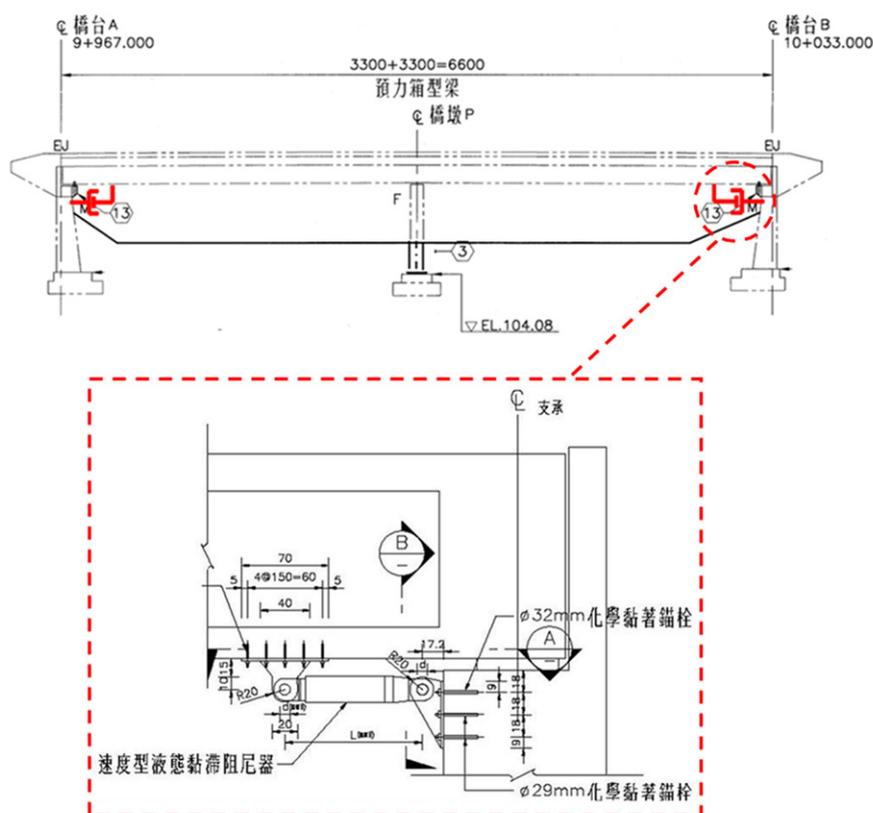


圖3-3 加設阻尼器變更結構系統補強



四、討論

本標係屬於既有橋梁之耐震補強工程，在維持原有高速公路交通之原則下，改採用於兩側橋台各裝置4組速度型黏性阻尼器，依此設計中央橋墩即可不必補強並取消相關交通維持措施，以避免施工期間對既有交通造成衝擊。

另比較原設計與本建議方案之施工費用比較，若不考慮交通維持及假設工程費用，本建議方案較原設計約多出199萬元，但若將交通維持及假設工程費用併入計算，則本建議方案實際減少之工程經費約75萬元，另用路人交通阻塞所耗費之間接社會成本尚未計入。

	結構及大地工程費	交通工程費	小計
原設計方案	625,000	2,735,000	3,360,000
建議方案	2,610,000	0	2,610,000

因此，既有橋梁之補強工程若無交通維持及相關配合工程(如管線遷移)考量時，本案之原設計補強方式較為經濟，但若考慮交通維持及其所導致交通阻塞的社會成本增加，則本建議方案應是可滿足上述需求。

