

# 國道橋梁工程耐震設計介紹

## -以國道 6 號南投段為例

陳國隆<sup>1</sup> 羅財怡<sup>2</sup> 許文珊<sup>3</sup> 詹景堯<sup>4</sup>

<sup>1</sup>交通部臺灣區國道新建工程局規劃組 組長

<sup>2</sup>交通部臺灣區國道新建工程局局規劃組橋梁科 科長

<sup>3</sup>交通部臺灣區國道新建工程局規劃組橋梁科 工程師

<sup>4</sup>交通部臺灣區國道新建工程局規劃組橋梁科 幫工程師

### 一、前言

國道高速公路肩負臺灣交通的動脈，而橋梁工程於其中所佔比例日益增加，為克服臺灣地區多斷層帶所導致地震活動頻繁之地形特性，及因應各種不同條件之橋梁建造，故積極增進橋梁專業知識並引進先進耐震建造技術乃為必要之任務工作。本文首先就國內「公路橋梁耐震設計規範」演進與 921 大地震震後對橋梁工程耐震設計部分帶來的影響做一簡介，並以位於臺灣強震區且通過及臨近活動斷層之「國道 6 號南投段」計畫為例(圖 1)，針對該路段國道工程在考慮符合耐震需求及斷層近域效應影響下，其因應之橋梁結構系統、機制、型式及使用材料，做一介紹。

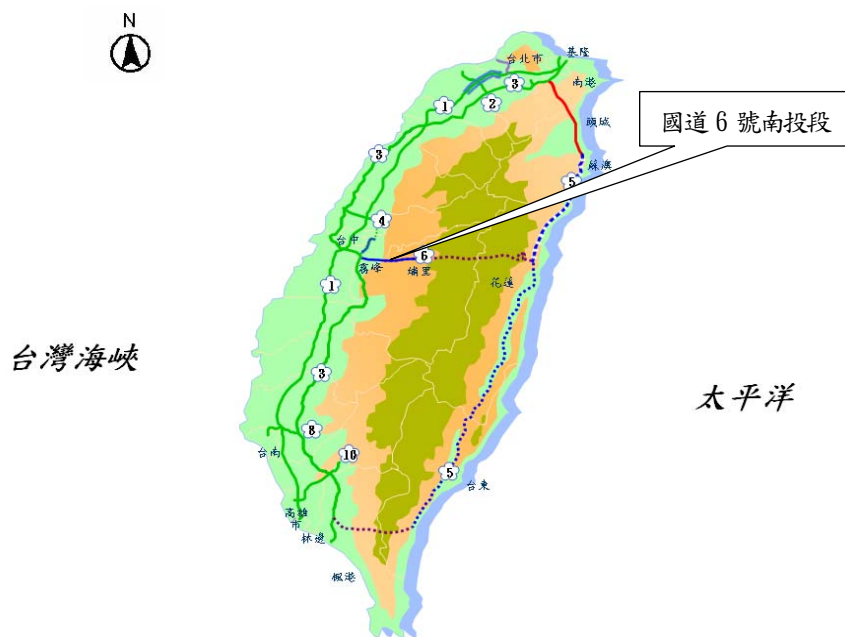


圖 1 國道 6 號南投段計畫位置示意圖

## 二、公路橋梁耐震設計規範演進

本節首先就國內「公路橋梁耐震設計規範」之演進做一介紹。橋梁設計針對有關地震力之考慮可追溯自 49 年 11 月交通部頒佈之「公路橋梁工程設計規範」，而後歷經民國 76 年、84 年、89 年及現行 97 年等版本規範，各年期橋梁耐震能力之考量說明如下：

### (一). 民國 76 年以前

49 年交通部頒佈之「公路橋梁設計規範」係參考 AASHTO 1957 年版本，未於規範中明文規定設計地震力，唯當時辦理國道 1 號中山高速公路新建時，已考量橋址地區、地質條件因素，擬定 0.1、0.15、0.2 等震力係數，其他公路則參考中國工程師學會依地區之不同將水平地震力係數定為 0.1 及 0.15。

### (二). 民國 76 年至 84 年

耐震設計納入公路橋梁設計規範中，主要參照 1980 年日本道路協會出版之「道路橋示方書同解說 V 耐震設計編」之規定，以震度係數法作為設計依據，且將地質因素及動力反應均納入考量，其設計水平震力係數至少應大於自重的百分之十。

### (三). 民國 84 年至 89 年

將橋梁耐震設計規範自「公路橋梁設計規範」中分離，亦參考美國 AASHTO 1992 年版本規範，開始注重韌性設計之觀念，且按各種不同結構系統之韌性行為作為地震力折減之依據，以決定其設計地震力，及符合在工址回歸期 475 年之大地震作用與橋梁不得崩坍的原則下，尚需考量在中度地震作用時，結構不得過早降伏。並將臺灣地區之地震水平加速度分為 0.18g、0.23g、0.28g、0.33g 四個分區。

### (四). 民國 89 年至 97 年

此段期間為因應 921 大地震，國內相關單位即積極著手規範之研擬修訂，如水平加速度分別由 0.18g、0.23g、0.28g、0.33g 四個分區修正為 0.23g、0.33g 兩區，修正台灣地區之地震劃分並製作台北盆地之加速度反應譜，增列「水平雙向地震效應與垂直地震效應之組合」及考量近斷層效應並評估其近域調整因子  $N_A$  與  $N_V$  之計算方式。

### (五). 民國 97 年至今

本次頒佈之規範係由國內相關研究單位之研究成果並再參酌美、日等國家最新耐震性能設計之觀點編訂而成，新增最大考量地震及近斷層效應。其設計理念為橋梁在中度地震(約設計地震之 1/3.25)時能維持原有功能；設計地震(地震回歸期 475 年)時容許產生損傷，但可

修復；最大考量地震(地震回歸期 2500 年)時避免產生落橋或崩塌。修訂之項目簡要摘述如下：

1. 如屬近斷層區域之工址，增列近斷層調整因子  $N_A$  與  $N_V$ 。第一類斷層(過去 1 萬年內曾經發生錯移之斷層)近域之調整因子係由鄉鎮市區所鄰近之斷層進行查表獲得，前期(民國 89 年至 97 年間)建議由工址與鄰近斷層間之距離計算方式不再採用。
2. 除考慮八十四年版規定之設計地震(回歸期 475 年)作用下，允許結構物產生塑性變形至容許韌性容量  $R_a$  外，並新增在最大考量地震(回歸期 2500 年)作用下，允許結構物產生極限塑性變形至結構韌性容量  $R$ 。
3. 有關鋼筋混凝土橋柱斷面設計結果應滿足塑鉸區所需之計算剪力強度，以確保鋼筋混凝土橋柱之韌性行為及發揮塑鉸機制的可能性。
4. 並增加『隔震與消能設計』章節，詳細規定相關設計、分析流程，以及隔震元件之試驗標準。

### 三、921 大地震之影響

臺灣因位於環太平洋地帶西側及地處菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊交界，故島上斷層眾多，地震活動頻繁，隨時有遭受大地震襲擊之可能。民國 88 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分，台灣中部地區發生芮氏規模 7.3 的強烈地震，造成 2,400 餘人死亡，11,300 餘人受傷，房屋全倒 53,500 餘戶、房屋半倒 53,600 餘戶，災情慘重令人怵目驚心，堪稱為台灣百年來災情最為慘重的地震災害。本次地震震出了國內對結構物防震耐震的重視，單就橋梁結構而言，損害原因可大致統整歸納如下：

#### (一). 地表破裂嚴重且範圍廣大

本次地震引發車籠埔逆衝斷層產生巨大的地表錯動，地表錯動達數公尺，破壞力相當驚人，且地表破裂沿主斷層長度約有 83 公里，另自豐原向東北延伸約 22 公里，全長約 105 公里，為目前世界上最長之逆衝斷層。此次地表破裂嚴重且範圍廣大，令人咋舌，此種由於地表錯動引致橋梁崩毀的破壞型式，目前尚難以工程技術克服。

#### (二). 地表加速度強大且地震延時長

根據中央氣象局強地動觀測網日月潭測站所測得之三向最大地表加速度分別 989gal(東西向)、423gal(南北向)及 312gal(垂直向)，尤其東西向 P.G.A 為日本阪神大地震中神戶海洋氣象台測站所測得水平向 P.G.A(817.8gal)之 1.2 倍，且主要強震延時長達 25 秒，其頻率內函分佈甚廣，對結構物之破壞力相當強，也是造成橋梁損壞的主要因素。

### (三). 設計地震力相對偏低

本次地震造成南投縣及台中縣等地區之橋梁遭受嚴重損壞，這些災區以往是被認為非強震地區，尤其南投縣為地震危害度較低之區域，歷次橋梁耐震設計規範對本址區之設計地震力列為中等，相對於本次百年罕見的強大地震顯得相當低，因此，導致橋梁遭受嚴重的損害。

### (四). 梁端防落長度不足及欠缺防止落橋措施

橋梁在地震時，若上、下部結構產生超出支承所能承受之相對位移時，將使支承遭致損壞，此時若梁端防落長度不足或欠缺適宜的防止落橋裝置，則將產生落橋。此次地震，部份橋梁即因欠缺防止落橋裝置而遭致落橋損壞。

### (五). 耐震構造細節未盡理想

RC 橋墩箍筋除了提供橋墩剪力強度之外，對於主筋與柱心混凝土更提供圍束之功能，可增大橋墩之承載能力，提昇橋墩韌性。較早期橋梁耐震設計規範並未強調韌性設計，以致於箍筋之重要性顯被忽略，若能予以改善，將可提昇橋梁耐震能力。

### (六). 結構系統贅餘度低、耐震性能不佳

本次地震中大多數遭受嚴重損害的橋梁均屬於簡支梁構造，且下部結構大多為單柱式懸臂橋墩，由於其結構贅餘度低，在地震作用時，易因局部構材受損而導致全橋產生不穩定的崩塌機構，此外，上部結構採靜定的簡支梁構造也容易發生落橋。

### (七). 近斷層效應顯著

本次地震引發車龍埔斷層產生長達 105 公里的地表錯動，臨近斷層線之受損橋梁不少，依據國家地震工程研究中心研究報告指出，在近斷層區域不論是短周期或中周期之橋梁結構，受到近斷層高 P. G. A 與大速度脈衝之雙重侵襲，其破壞狀況遠較其它地區嚴重，可見近斷層之地表運動特性與遠斷層者有顯著不同，如何針對此一現象研訂適宜的設計規範，有待更進一步的研究。

## 四、國道 6 號南投段橋梁工程耐震考量

國道 6 號南投段為 921 大地震發生後之國道興設計畫，路線西起國道 3 號之霧峰系統交流道，往東沿烏溪、南港溪、眉溪河谷及山區而行，沿途經南投縣草屯鎮、國姓鄉後在埔里鎮與臺 14 線相交，全長約 37.6 km。本路線於民國 87 年 11 月開始進行設計，設計採用對原地生態干擾較小的高架橋為主，其中路堤、路塹段長 6.9 km，佔 19%，橋梁段長 26.4 km，

佔 70%；隧道段長 4.3 km，佔 11%(圖 2)。路線共分成 9 個土木標(第 C601 標~第 C609 標)，於 93 年陸續開工興建，主線在 98 年 3 月完工開放通車。



圖 2 國道 6 號南投段路線圖

本路線橋梁共計 40 座，橋梁設計參照交通部頒布之 84 年「公路橋梁耐震設計規範」及 89 年「公路橋梁耐震設計規範部份章節之規範與解說」等規範，除有全跨吊裝之鋼橋外，因位處強震區，且經過多條活動斷層，故橋梁結構經多方考量後，亦配置大跨徑、全剛構架、鉛心橡膠支承墊隔震等耐震設計結構，耐震設計考量詳述如下：

#### (一). 路線通過斷層對策

本計畫在依據各類活動性斷層定義及參考國內既有文獻資料後，確認路線行經之活動性斷層計有車籠埔斷層、隘寮斷層、雙冬斷層及水長流斷層等 4 條(圖 3)，即路線設計因應之構造物配置及對策，僅將活動性斷層納入設計考量，餘如馬鞍寮、水流東、國姓、三角坪及眉原斷層均屬非活動性斷層，則不予考慮。

此外，路線通過斷層之橋梁均採用場鑄箱形梁結構或鋼箱形梁且為連續梁橋型式。連續梁橋具有結構穩定性較佳(靜不定度較高)的優點，可相對降低震時落橋之機率，較能保障用路人的安全；惟若該區域位址評估後不宜以橋梁型式跨越者，則改以路堤(塹)型式通過，因其柔性大，除可降低斷層錯動造成之損害外，事後所需之修復工程亦較單純，工期亦可較短。

本路線通過各斷層之對策彙整說明詳如表 1，並分述如下：

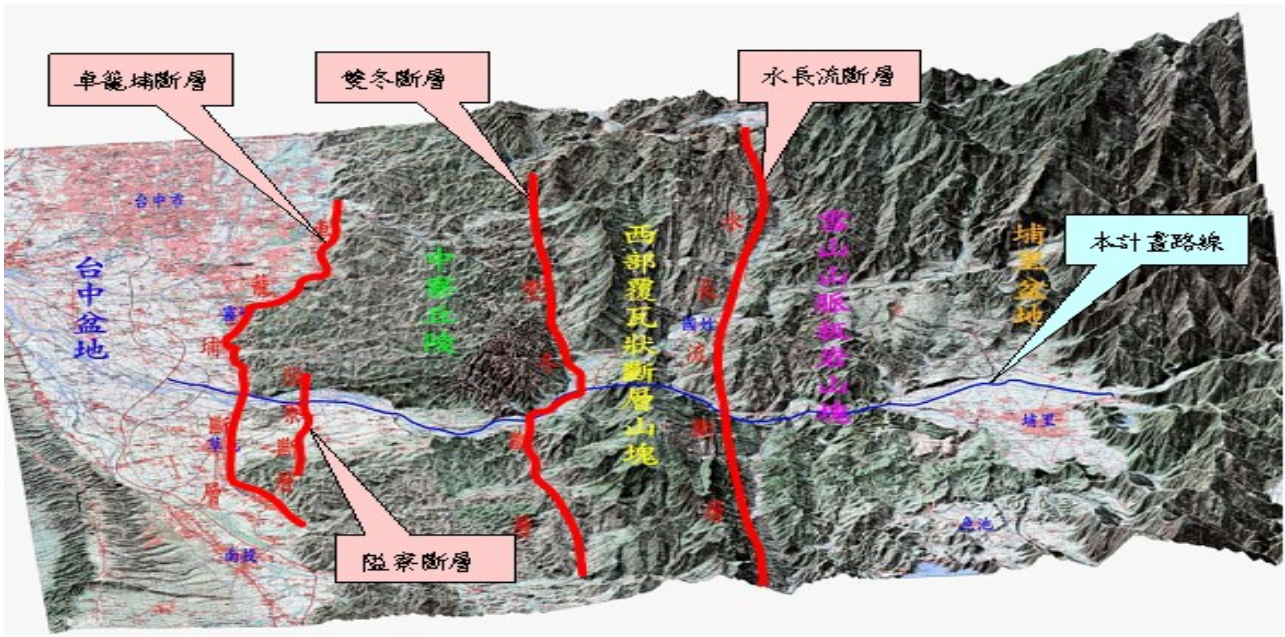


圖 3 南投地區活動斷層分布圖

表 1 國道 6 號南投段路線行經斷層之構造物配置及對策說明

	斷層名稱	位置里程	斷層型態	構造物配置	對策說明
1	車籠埔	2K+930±	活動	路堤	斷層錯動容忍度高，修復容易
2	隘寮	5K+500±	活動	路堤	斷層錯動容忍度高，修復容易
3	雙冬	14K+160±	活動	路塹	可降低因斷層錯動造成震後修復困難之情況
		15K+330±		路堤	斷層錯動容忍度高，修復容易
		16K+800±		鋼橋	設置大跨徑鋼箱形連續梁橋，藉其優越之韌性，降低大地震下落橋之風險。
4	馬鞍寮	17K+750±	非活動	隧道	—
5	水流東	19K+750±	非活動	隧道	—
6	國姓	20K+450±	非活動	PC 橋梁	設計未考慮其斷層影響
7	水長流	22K+700±	活動	PC 橋梁	設置連續剛構架，考量 PC 箱梁縱向鋼筋量以提供較佳韌性，並增加上構斷面極限彎矩強度；全單元施拉縱向連續預力增加橋梁整體連續性。
8	三角坪	25K+700±	非活動	路塹	—
9	眉原	29K+500±	非活動	PC 橋梁	設計未考慮其斷層影響

## 1. 採路堤(塹)構造通過

### (1). 位置里程 2K+930± 一經車籠埔斷層

本位址與車籠埔斷層線約略正交，921 地震後，其兩側地表相對垂直錯動抬升達約 5m 之鉅，評估檢討後並不以橋梁構造通過，改以配置約 300m 之路堤因應。(圖 4)

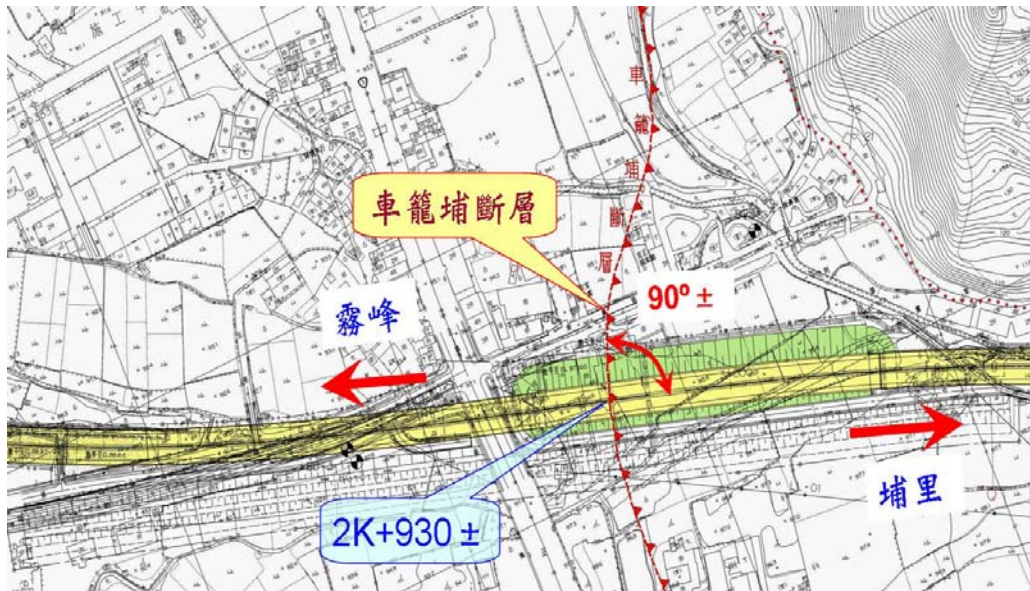


圖 4 路線 2K+930± 活動斷層通過示意圖

### (2). 位置里程 5K+500± 一經隘寮斷層

本位址與隘寮斷層線約略夾 70°，其縱面原即較為貼近地面，故設計以路堤為主要配置構造兼以通過隘寮斷層。(圖 5)

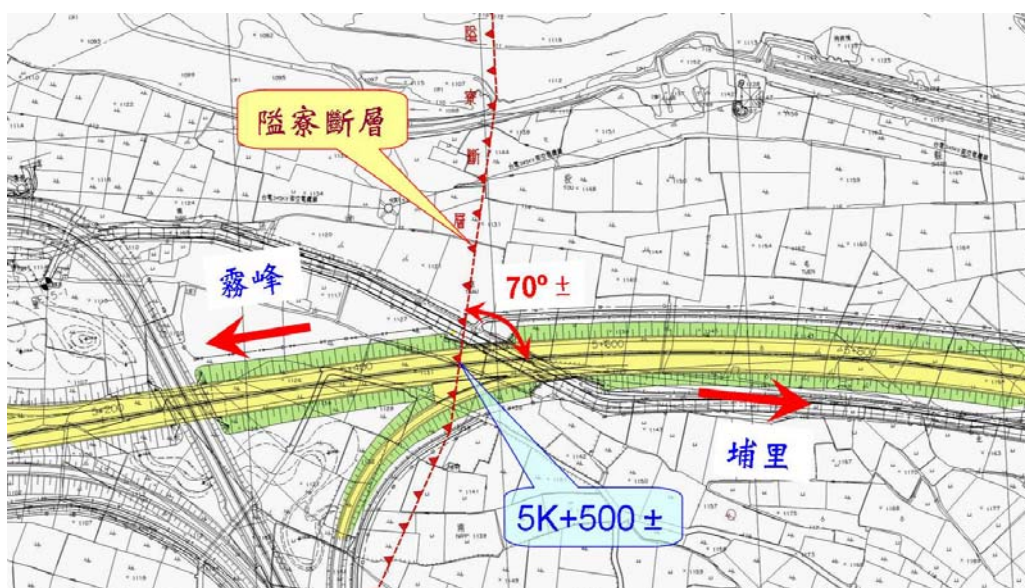


圖 5 路線 5K+500± 活動斷層通過示意圖

(3). 位置里程 14K+160± — 經雙冬斷層

計畫路線自西向東第一次與雙冬段層線交會，約略夾 35°，因現地面較設計縱斷面為高，故設計係配置路塹構造，亦可降低地震時斷層錯動導致震後修復困難之情況，進而提高搶修之可行性。

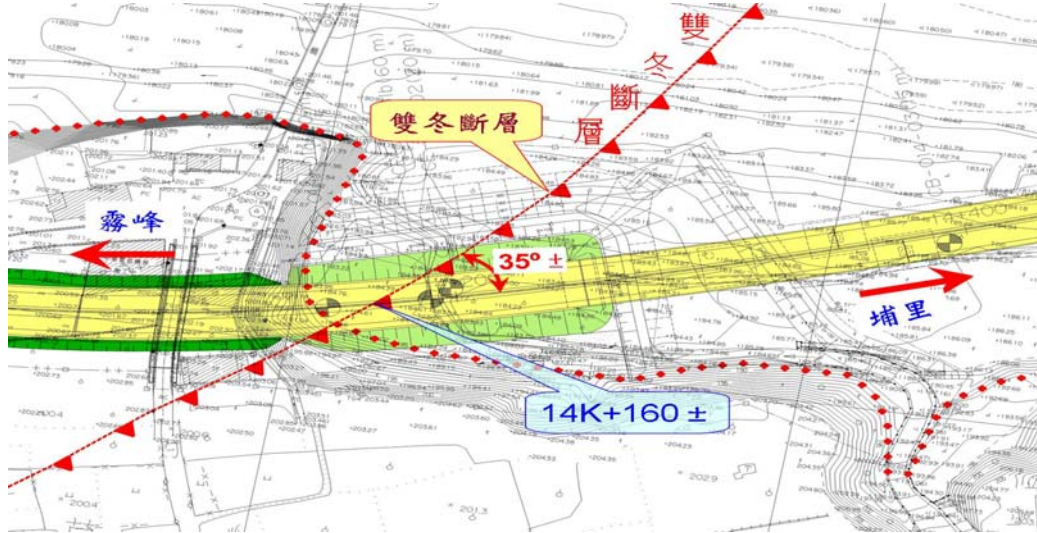


圖 6 路線 14K+160± 活動斷層通過示意圖

(4). 位置里程 15K+330± — 經雙冬斷層

計畫路線自西向東第二次與雙冬斷層線交會，約略夾 50°，本位址經檢討後仍以柔性路堤構造配置因應之。(圖 7)

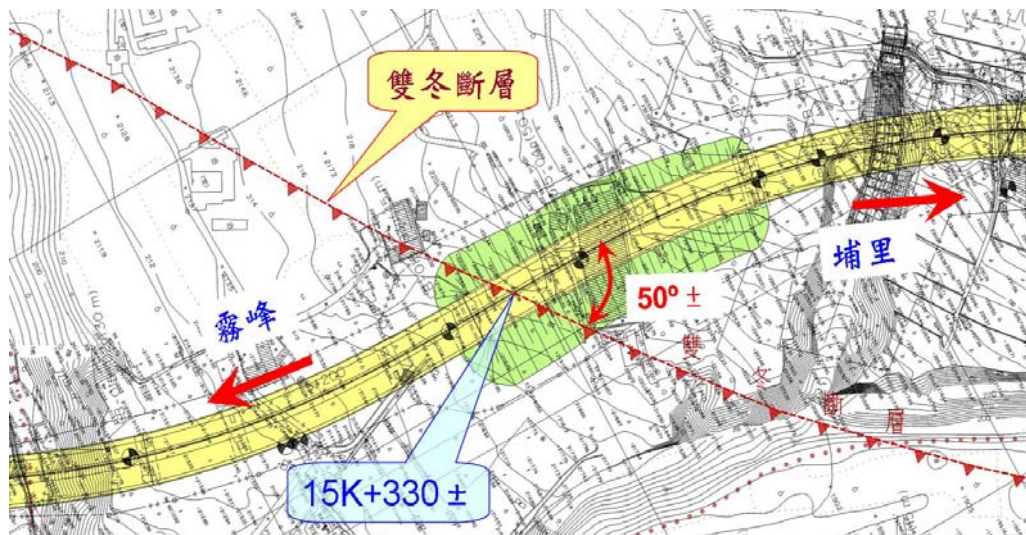


圖 7 路線 15K+300± 活動斷層通過示意圖



## 2. 採用鋼箱形連續梁橋

計畫路線自西向東於位置里程 16K+800± 處與雙冬斷層線第三次交會，約略夾 30°；因本位址縱斷面高達 60m 以上，且斷層線位於烏溪水道治理計畫線內，故僅能採橋梁構造方式通過，經檢討後採大跨徑(跨徑 150m)鋼箱形連續梁橋配置(國姓高架橋)以為因應。因鋼材除本身具有優良之抗壓、抗張，材料强度高、韌性佳等能力、又其與混凝土橋比較具質量輕之特點，特別適用於大跨徑處，故本路段設計構想即藉上述鋼梁優越之長處，降低崩塌落橋之潛能，以提高其於大地震下之存活率。(圖 8 ~圖 10)

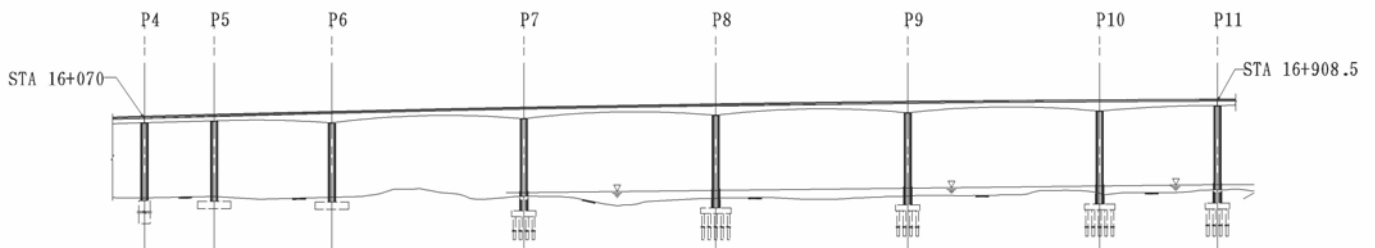


圖 8 國姓高架橋 - 立面圖

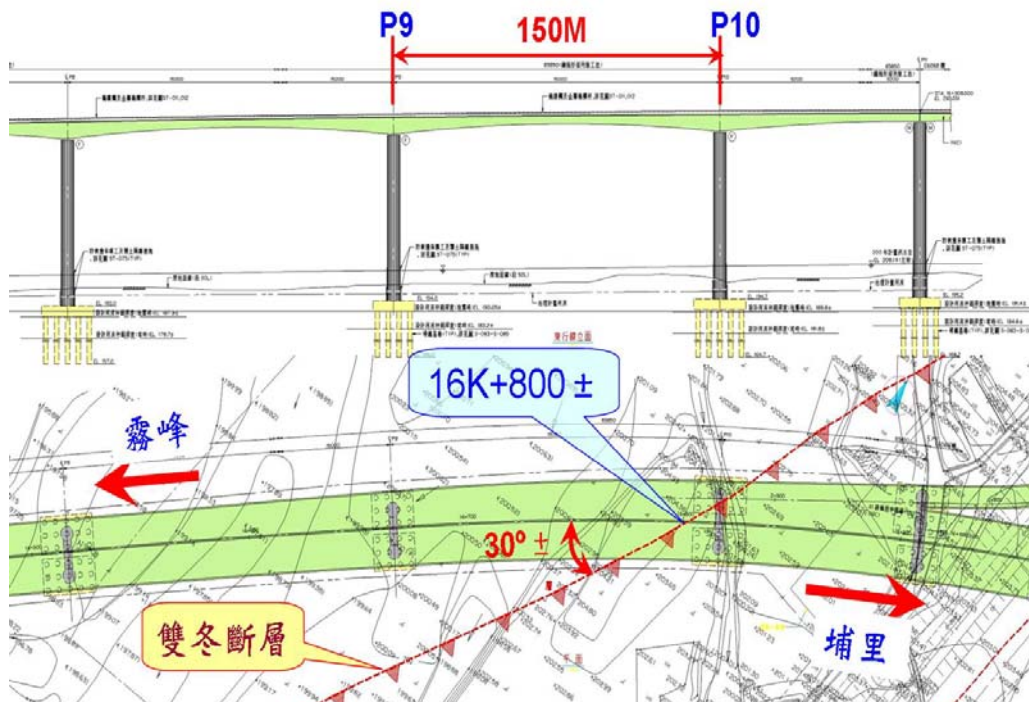


圖 9 國姓高架橋 - 斷層位置通過示意圖



圖 10 國姓高架橋 - 完工後照片

### 3. 加強懸臂工法懸臂梁自立性以避免落橋之機制

計畫路線位置里程 22K+700± 處與水長流斷層線約呈 60° 交會，因此處係為烏溪河谷，其縱斷面高達 30m 以上，並不適合配置高架橋以外之構造，經檢討後設置預力混凝土連續箱形梁橋(斗山 2 號高架橋)，惟與一般場鑄懸臂工法施工之預力混凝土箱形梁橋不同之處，乃藉由合併考量增加預力混凝土箱形梁縱向鋼筋量以提供較佳之韌性，並提高斷面之正、負極限撓曲彎矩強度及施拉全單元之縱向連續預力，以加強懸臂工法懸臂梁自立性；其中 P24 為伸縮縫位置，當斷層錯動時即使 P24 墩柱發生倒塌，P23、P24、P25 間之箱形梁亦將不會崩塌，以期降低地震時橋梁崩塌之風險。就結構需求而言，P24 墩柱原可不設置，惟基於長期之橋面平順考量，故設置 P24 墩柱。(圖 11~圖 13)

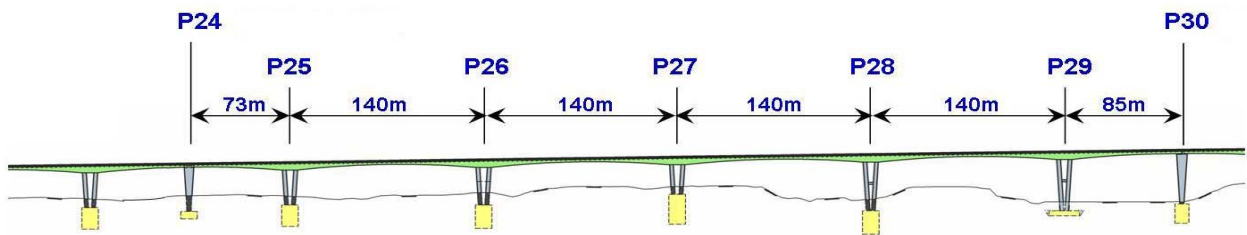


圖 11 斗山 2 號高架橋 - 單元立面圖

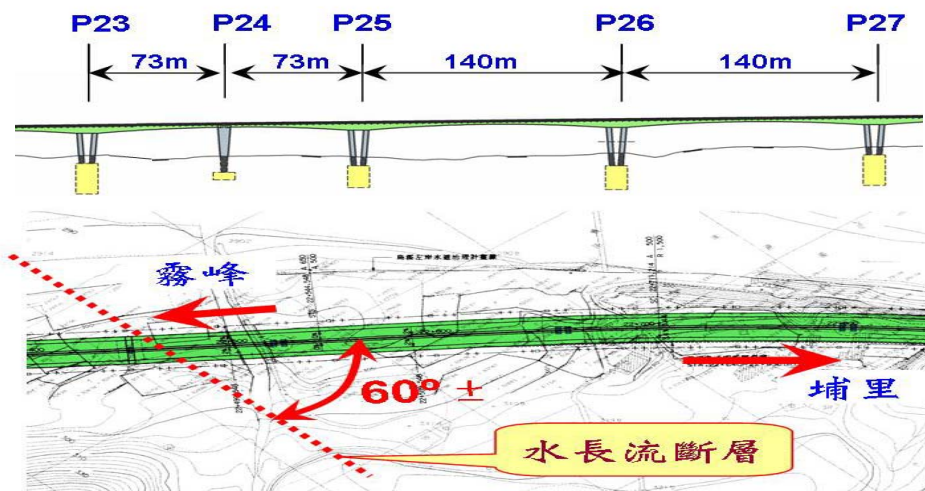


圖 12 斗山 2 號高架橋 - 斷層位置通過示意圖



圖 13 斗山 2 號高架橋 - 透視圖

## (二). 橋梁臨近斷層耐震設計考量

本計畫設計階段並參考國內交通部 92 年 3 月之「公路橋梁耐震設計規範(草案)複審成果報告書」內容，報告書中僅列出 7 群地震斷層才考慮近斷層設計地震力放大因子，即非所有的活動性斷層都考慮，因此在經濟性考量下，評估後依據前述報告書之建議，只針對車籠埔斷層考慮近斷層設計地震力。另為因應車籠埔斷層之近域效應、克服部分路線縱斷面太低(橋墩高 $<10\text{m}$ )對橋墩設計所致不利影響等因素，本計畫部份路線橋梁採用全剛構架橋(縱向：多柱構架式橋墩；橫向：雙柱式橋墩)系統；部分路線橋梁則採用鉛心橡膠支承墊(Lead Rubber Bearings, 簡稱 LRB )隔震橋作為因應。

除上述考量外，本路線橋梁另有設置剪力鋼箱、增加梁端防落長度及防震拉條等耐震設計，以符合安全性的需求。

上述相關細節說明如下：

### 1. 斷層近域調整因子 $N_A$ 與 $N_V$ 之採用

有關橋梁設計地震力部分，依前節所述，僅車籠埔斷層考量臨近斷層之近域效應，其近斷層設計地震力考量，則依據 89 年國家地震工程研究中心針對該斷層附近之近斷層設計地震力(草案)研究成果辦理。

即距離車籠埔斷層地表破裂線 10km 範圍內之區域，設計地震力需考量近斷層效應，其近域調整因子  $N_A$  與  $N_V$  之採用方式如下：

距離 (km)	$r \leq 2$	$r = 4$	$r \geq 6$
$N_A$	1.34	1.16	1.0

距離 (km)	$r \leq 2$	$r = 6$	$r \geq 10$
$N_V$	1.70	1.30	1.0

註：距離  $r$  定義為工址與車籠埔斷層地表破裂線水平最短距離，其他距離之近斷層因子，可以線性內插方式求得。

## 2. 全剛構架橋

此系統乃以橫向構材(中、端隔梁)將原雙向分離之橋梁於橋墩處予以聯結，使下構橋墩因而形成橫向剛構架，提高其靜不定度(贅餘度)，得將橫向地震力進行較大幅度之折減，降低斷層近域效應下墩柱設計之困難度，得縮減墩柱之設計尺寸。上述處置併同橋梁原縱向之剛構架系統，則橋梁雙向均為剛構架，稱之為全剛構架；如本工程第 C601 標南霧峰高架橋(圖 14~圖 19)，部分橋墩間由於設計高(AC)頂距地面較高，橋墩已有較大韌性(變位較大)，隔震支承並不適用，故採用本系統以便於車籠埔斷層近域效應之影響下，得縮減墩柱之設計尺寸。本工程共採用本系統之相關標段橋梁資料統整如表 2 所示：

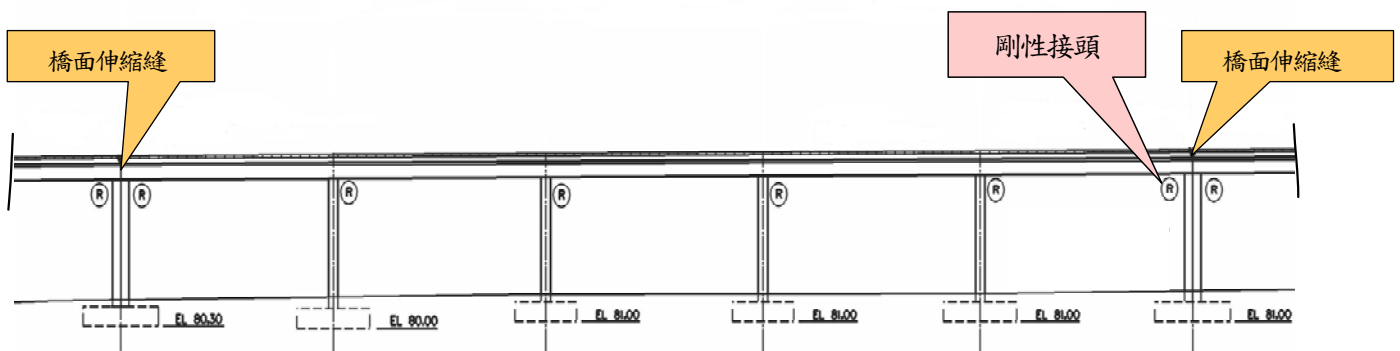


圖 14 全剛構架橋縱向剛構架單元立面示意圖

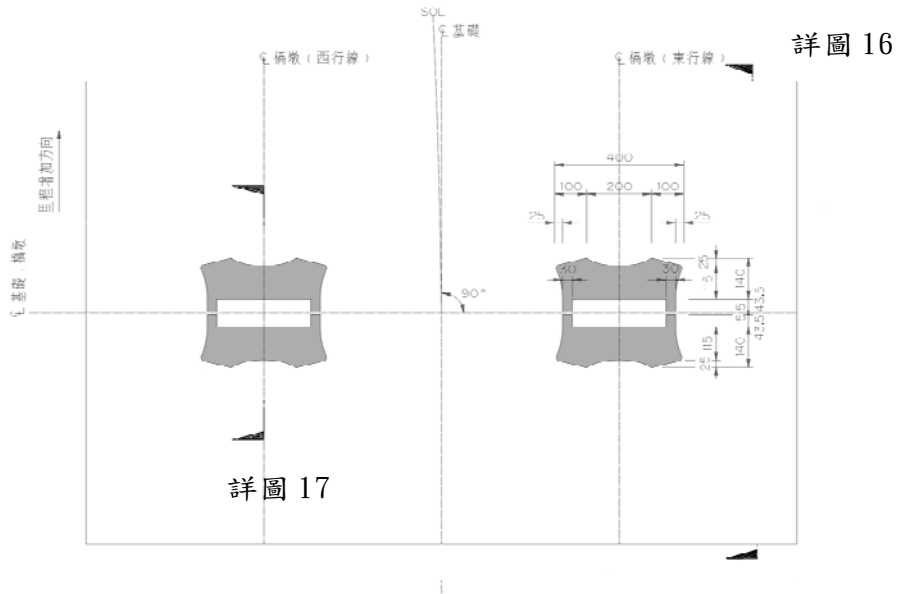


圖 15 縱向剛構架墩柱平面伸縮縫示意圖

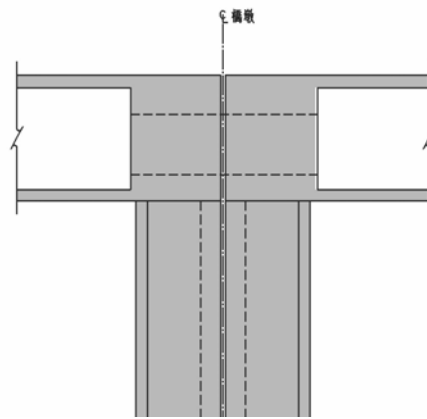


圖 16 縱向剛構架伸縮縫處剛性接頭示意圖(一)

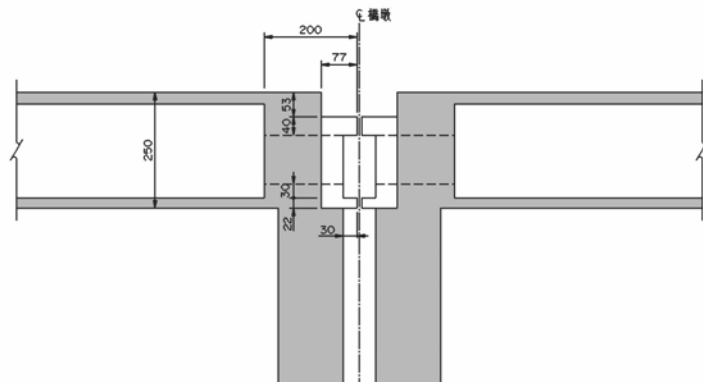


圖 17 縱向剛構架伸縮縫處剛性接頭示意圖(二)



圖 18 全剛構架橋橫向剛構架示意圖 (一)



圖 19 全剛構架橋橫向剛構架示意圖 (二)

表 2 國道 6 號南投段全剛構架橋梁資料

標別	橋名	起迄里程	跨徑配置 (m)	橋長 (m)	橋高 (m)	備註
C601	南霧峰高架橋 (P25~P30) (P33~P53)	1K+080~1K+305	5@45	1,129	15~21	柱高約 17m 梁深 2.5m
		1K+570~2K+474	2(5@45)+2(2@45+2@46+45)			
C602	東草屯交流道聯 絡道高架橋 (A1~A2)	10K+147.716~10K+687.716	3(4@45)	540	4~20	柱高約 12m 梁深 2.5m
C604	平林高架橋 (場鑄逐跨段二) (P28~P90)	9K+361~12K+137	(39+3@45)+6(4@45) +6(5@45)+(37+3@45)	2,776	14~22	柱高約 15m 梁深 2.5m

### 3. 鉛心橡膠支承墊隔震橋

橋梁隔震結構之設計及應用在紐西蘭、美國、義大利及日本等國已累積有相當多之資訊並在屢次地震中，發揮優良之隔震消能效果，有效地降低地震影響，近年來，國內也積極引進與研究隔震技術，且已有多處相關實例，並非首見。「橋梁隔震」一般是在橋梁上部結構（主梁）和下部結構（橋台或橋墩）之間或橋墩底及基礎頂之間，安裝適當隔震機制，以降低地震效應。隔震器在地震時可提供橋梁所需之水平柔性勁度，進而產生柔性結構系統，使得橋梁基本振動週期延長，降低地震輸入能量。隔震橋梁結構考量因素包含橋梁配置、橋梁長度、橋墩高度及基礎型式等，其決定因素除了應提供原有功能需求及配合線形要求外，另一重要因素須配合隔震設計之需求，以期達到安全性提高及造價降低之雙重目的。理論上，只要橋梁基本週期在隔震後能達到延長兩倍以上的效益，並且隔震支承不承受拉力，橋梁結構系統即可滿足隔震需求。再者，參考地震波特性和可知，一般堅實地盤之地震波能量主要落於較短週期處，而隔震系統可將橋梁主要振態移離此部份，能有效地減低地震效應；相反地，軟弱地盤之地震波能量則分佈於週期較長部份，以致於隔震系統無法有效地降低地震影響。

然而，在橋梁隔震設施中，鉛心橡膠支承墊(圖 20) 又為目前較普遍採用之支承裝置。基本構造與積層橡膠支承墊相同，由橡膠（天然或人造）與鋼板交錯疊層組合而成，惟於支承中置入一支或數支高純度鉛棒，除保有積層橡膠之垂直向勁度較高之特性外，於較小之側向荷重，如風力、剎車力或小地震作用時，鉛心能提供足夠之側向剛度，減小變形；於較大之地震作用下，鉛心開始降伏，支承之側向勁度大幅降低，造成結構週期之延長而降低地震反應。當支承受地震作用而發生反覆之位移時，鉛心之塑性變形產生之遲滯阻尼可吸收能量，衰減橋梁在地震中之加速度反應，減低水平變位，一般有效阻尼比約在 15% 至 35% 左右。鉛心橡膠支承墊最大的優點為使用單一設備即具有常時剛度大，地震時側向勁度小並提供足夠之阻尼功能，且其構造簡單，行為明確及製造容易。

故本計畫工程第 C601 標、C607 標及 C608 標部分路段在考量車籠埔斷層近域效應影響及設計縱斷面較低(平均墩柱高 $<10\text{m}\pm$ )等因素下，均採用橋墩頂設置鉛心橡膠支承墊的方式進行隔震設計，藉以延長橋梁基本振動週期，降低下構橋墩之設計地震力，達到降低墩柱構造量體之目的。詳如表 3 及圖 21 所示：

表 3 國道 6 號南投段鉛心橡膠支承墊隔震橋梁資料

標別	橋名	長度(m)	橋墩數	LRB 數量(個)	平均柱高(m)	備註
C601	南霧峰高架橋 P1~P25	1,080	40	80	±9	雙向分離 4 車道
C607	斗山一號高架橋					雙向分離 4 車道
	PE15-AE2	256	10	20	±9	
	PW15-PW21	263				
C608	眉溪橋	252	10	20	±10	雙向合併 4 車道
	A1~A2					

附註：跨徑配置為兩伸縮縫間一單元之跨徑配置。橋高係指完成地面至橋面高度。備註欄位之柱高為基礎頂至上部結構大梁底高度。

鉛心橡膠支承墊之構造機能

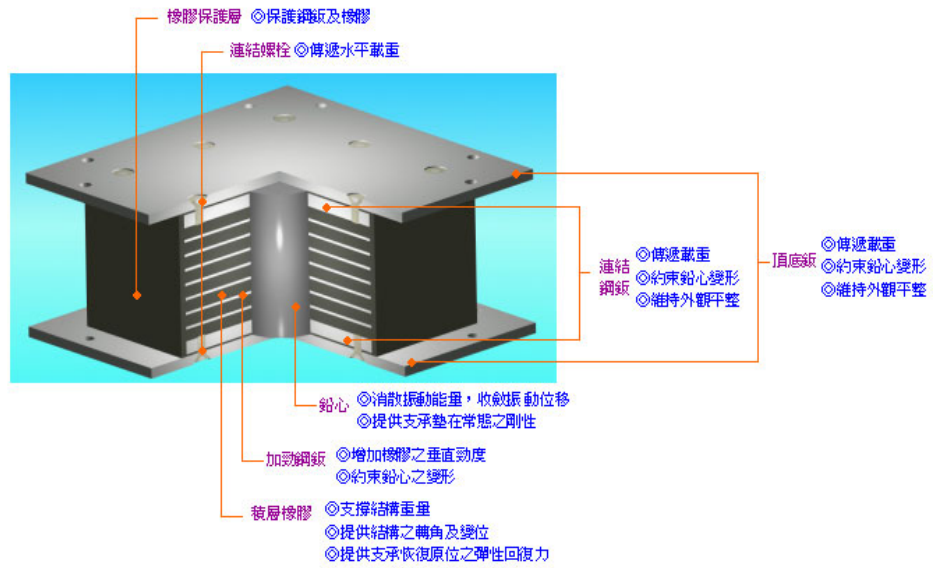


圖 20 鉛心橡膠支承墊示意圖



圖 21 鉛心橡膠支承墊照片

#### 4. 其它考量

本路線橋梁設計，於橋墩頂處設有剪力鋼箱以承受水平地震力，而為防止地震時上部結構自橋墩頂滑落，伸縮縫端之橋墩有預留足夠防落長度。除上述考量外，另設有防震拉條(圖 22)，防止落橋。



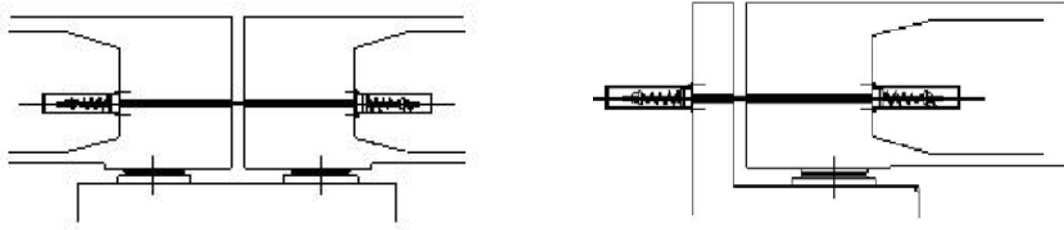


圖 22 防震拉條示意圖

### (三). 橋墩採自充填混凝土

因自充填混凝土(Self-Compacting Concrete, 簡稱 SCC)具有「澆置過程中不需施加任何振動搗實, 完全藉由自身流動性與充填性能填充至鋼筋間隙及模板之各角落」之能力, 故為因應符合耐震設計規範需求所設計出的墩柱鋼筋量較大, 鋼筋排列密集造成澆置混凝土施工不易, 導致澆注品質的問題, 本路段橋墩全面採用自充填混凝土澆築, 以使墩柱品質符合設計構想需求(圖 23、圖 24)。

惟由於 SCC 對於配比材料變化的敏感度遠較傳統混凝土為大, 為使橋墩混凝土澆置品質達到設計構想並充分發揮採用 SCC 之長處, 工程人員需充分了解 SCC 具有高流動性、抗析離性(流動過程混凝土維持均質性)、自充填性(有效通過鋼筋間隙及填補模版空間)及經濟性(免震動, 減少施工人力成本)4 大特性, 並由實體模型測試中尋找出適當之配比、澆置方式及相關需注意事項。



圖 23 自充填混凝土- 流動性佳



圖 24 自充填混凝土橋墩- 完成面佳

## 五、結語

橋梁在人類文明中一直扮演著聯絡兩地的交通要道, 而位處多震區的臺灣, 橋梁耐震建造技術亦隨著時代而進步。自臺灣發生 921 大地震後, 國內工程先進與相關研究單位即積極參酌歐美各先進國家之規範, 陸續研擬編修「公路橋梁耐震設計規範」, 並考慮近斷層效應,

以為國內橋梁設計工程師之設計依據。

總而言之，國內橋梁耐震設計演進是由一開始的彈性設計演進至塑性設計、隔震設計；結構型式亦由簡支梁演變至耐震性較佳之連續梁配合剛接型式，並搭配設置防止落橋措施及裝置(如增加梁端防落長度、設置剪力鋼箱、防震拉條等)的結構系統。另再配合考量區域工址，依路線、工程規模、通過或臨近活動性斷層、地質及經濟性因素等綜合評估，選擇最適當的橋梁型式機制(如鋼箱形梁橋、全剛構架橋、鉛心橡膠支承墊隔震橋與加強懸臂工法懸臂梁自立性以避免落橋之機制等)，或改以路堤方式通過，國道新建工程單位並有新觀念、新技術、新材料的繼續引進，使國內橋梁耐震建造技術得以與世界水平並駕齊驅，更上層樓。

## 六、參考文獻

- 【1】國家地震工程研究中心，921 集集大地震全面勘災精簡報告，中華民國 88 年。
- 【2】交通部，公路橋梁耐震設計規範，中華民國 98 年。
- 【3】方文志、陳國隆、羅財怡，融合環境、生態、景觀及符合交通需求的公路建設-國道 6 號南投路段與臺中生活圈 2、4 號線工程，中國土木水利期刊，中華民國 100 年。
- 【4】陳國隆，臺灣高速公路橋梁之建設與發展，橋梁工程論壇，中華民國 99 年。
- 【5】交通部臺灣區國道新建工程局，國道 6 號興建專輯橋梁工程篇，中華民國 99 年。