

光復橋之設計

楊裕球

一、引言

臺灣省公路局光復橋位於萬華與板橋之間，原來為一座單線吊橋，以年久鏽蝕不堪荷重，而交通量反而日增，是以急須在原橋位重建較寬（四線）公路局標準荷重（HS20）之新橋。並由經委請我國旅美預力專家林同棧顧問工程師設計。

二、橋形之選擇

臺北市區附近多年來所新建之橋樑雖能達成安全與經濟之要求，而美觀一項，未能多多顧及，一般錯覺認為「美」不須加以「修飾」而多化金錢，其實工程建設之美猶如天生我人，要在多部份尺寸比例配合得當，那是自然的美，要做到線條與各部尺寸比例配合得當的美則並不一定多化錢，有時因為順其自然反而可以節省造價，每一橋樑有其本身之天然條件及使用之要求，同一橋址由於交通量之要求，很寬的橋及很狹的橋其橋形之選擇，即大有區別，橋樑的美觀也像其他物體一樣，各人看法不同，所謂「見仁見智」但是大多數人的看法應該比較準確，一座橋樑在造成以後，自然每個人都可欣賞批評，在設計選擇的時候則不可能請大家來投票決定只好由主管長官參照工程師的意見作決定採擇進行，這也是合理的辦法，因為一般來講主管長官每每見識較廣經驗也較豐富，同時美觀盡為因素之一而不是唯一因素。

工程之造價自然也是很重要的因素之一，在估算造價之時，對於新技術與新方法則因無以往之經驗而偏高，事實上每一新技術與新方法之發明或演進其出發點即在省錢，即節省人工或材料，我們中國向來因為人源充沛，工程建設只注意到材料的節省，而人工之節省並未多加注意，目前政府推行之十項建設工程人員即有不敷之虞而在研討如何加強訓練轉業等問題，工程設計上如何能節省人力是我們工程師們的一個新的課題。

對於新技術新方法我們應該有一種基本觀念，作客觀分析：

- (1)新設計在材料數量方面是否確實節省，這是很容易比較出來的。
- (2)新設計所用人工之總「人日」是否節省，這也是可以算得出來的。
- (3)世界的潮流與將來的趨勢如何，工程建設是實際的東西。人家一步步的往前走有他的道理，不是出風頭的事。我們應當一面跟進，一面找出他的道理。不然落後太多，接棒的下一代就更吃力。

光復橋之選擇，除了一般的安全、實用、經濟條件以外，我們考慮到下列的因素：

1.美觀：前面談過「美觀」是主觀的，但是我們總盡可能達成這個目的，使得這一座橋成為臺北市較美的橋樑之一，我們當初還顧慮到施工業問題於提出初步方案時其中斜拉式一案儘用單纜設計至在水中橋墩有四個之多，後來公路局方面建議改為雙纜式，不但減少單纜之單調與重複，以增加美觀並可將水中之橋墩減少成三個，我們對於公路工程師們的這種遠見至為欽佩。

2.基礎問題，由公路局提供之資料中顯示出淡水河上的幾座大橋，基礎沉陷問題非常嚴重，大家都知道基礎發生問題時很難處理的。基礎的沉落可能導致橋樑之倒塌。即使沒有倒塌的危險也會影響縮短橋樑之壽命。很自然的第一個想法是基礎設計減少沉落，尤其是差異沉落，基礎設計中想盡種種方法研究比較與土壤專家們多次商討最後決定用預力混凝土長

橋，長樁有機具問題等等多化點錢，但是比較的結果還是用預力混凝土長橋最為合宜工程，尤其是新的技術新的方法是有問題的，我們工程師的職責就是面對現實，解決問題。減少因差異沉落而起的損失，最有效的辦法是增加跨經長度，因撓度與長度之四次方成正比而應力與長度之二次成正比。所以，跨度增加一倍，由同一差異沉落而起的應力雖降為 $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$ 。事實上因為跨度增加橋之深度也增加，所以結果長度增加一倍，則撓度應力約減為一半。

另外考慮的一個因素是減少阻擋洪水的問題，橋墩愈多則對於洪水的阻擋也愈多，尤其是臺北市區中和一帶地勢較低而人煙稠密，淡水河下游任何阻擋，會影響上游之洪水位。

尚應考慮者為政治因素，我們如果做出一點新穎特出，應用最新的技術的工程則外國的很多工程雜誌上必定競相刊登，則不但提高我們中華民國工程界的地位，並且也可藉此增加我國在國際間的聲望，這是金錢買不來的，也不是可以空口宣傳的。我們工程師在這個大時代裡除了顧到我們本身的工程技術以外，同時也應顧到我們政府在國際間或外交上的問題，而以工程技術本位來出力替國家政府爭取地位，這是我們分內的事，不是光靠政府官員。

光復橋僅就美的觀點來講首先考慮到的普通吊橋。由於下列的幾個因素，普通吊橋之計劃未予深入計劃：

(1) 普通吊橋技術上並無特出之處，數十年前時新的，到現在已不算特殊，不會引起外人的注意。

(2) 鋼鐵材料近來普遍缺乏由定貨到交貨時間長，因此造價方面不見得會便宜。

(3) 鋼鐵容易生銹，尤其臺灣是海島，風中都含有鹽份，加速鋼鐵之生銹。將來造成後之油漆保養費用之多。萬一保養不週則銹蝕會縮短橋之壽

命，則其經濟價值大打折扣。

當然普通吊橋也有他的優點，但是比較的結果還是放棄此一計劃。

普通預鑄樑較短跨徑的簡支結構也是一開頭就想到的，那是由於太通俗，沉落問題，及擋水等問題而放棄。

另外我們還作了幾個深入的初步設計作比較，因為時間的限制不想一一描述。

斜拉式預力橋為選定之式樣可予介紹者：

(1) 跨度與子梁跨徑

光復橋之形式選定以後，其跨度之抉擇有下列條件：

1. 新橋墩以不與舊橋墩衝突為原則，且新舊橋墩間應保留相當距離，以避免施工打樁等等之困難，因舊橋墩附近可能有保護舊橋墩之卵石蛇籠。
2. 每一子梁之跨徑以相同為原則以增加模板重複利用之次數，而減輕費用。
3. 子梁因係在岸邊預鑄，共總量以不超過普通吊車之能量為限，子梁之跨徑尺寸等即依此為據，真正決定因素則為子梁中之邊梁。

(2) 塔高與斜張鋼纜之斜坡

墩塔愈高則斜鋼纜之尺寸可較小，由斜拉鋼纜傳至邊梁之壓力也愈小，但另一方面塔高增加後，塔本身之造價亦提高，是以二者之間應有一最經濟之比例。本橋之設計塔高應可再高數公尺最為合宜，但由於附近有高壓電線，故塔高已至附近高壓電線容許其範圍之邊緣，塔高既定則細纜之斜度亦隨之決定。

三、內 梁

內梁為預鑄預力構造，靜重照簡支梁計算，支承於二端之橫隔梁上，活荷重則按連續梁計算，並考慮下列應力：

1.部份斜拉鋼纜之水平分力藉橋版傳至內梁，其數量則根據內梁與邊梁之剛度比例算出，由於一一力量內梁中之應力大起變化，此項水平分力之影響又可分為靜重與活重二項。

此橋為雙斜拉鋼纜式，內纜與外纜之斜坡之度不同，荷重亦異，巧妙之處在於二個不同的因素湊在一起，其總力則幾乎相同其原因為：

(a)內纜之坡度幾乎為外纜之一倍，因鋼纜之塔頂支點其高度相同，而下端支點至墩塔之距離則外內梁較內內梁幾乎是一倍，所以內纜承受荷重之垂直分力之效率較外纜高出一倍。

(b)內纜所承受之垂直荷重約為內內梁與外內梁總重之各半，外纜所承受之垂直荷重則僅為外內梁總重之半數，因此內纜之垂直荷重約為外纜之一倍，其中又有兩點細節值得在此一提：

內內梁之二端皆連續而外內梁則在接近伸縮縫之一端則幾乎為簡支式是以其反力並不相同。

外內梁於接近伸、縮縫之一端之反力較小，為簡支之故，但即在伸縮縫之處由於施斜拉鋼纜之需要加出相同距離之橋版，此項加出之荷重幾乎可以抵消因外內梁簡支而起的反力之差異。

根據以上二項之巧合，內纜與外纜強度之要求幾乎相等。

2.斜拉鋼纜之水平分力而論，外內梁僅受到外纜之影響，而內內梁則受外纜與內纜之影響，所以內內梁與外內梁之設計外表相似，其實不然。

3.內梁為預鑄而橋版為就地灌鑄，二者皆有乾縮 (Dry Shrinkage) 現象，內梁除有內在預力及有斜拉鋼纜而來之外，在預力方面，內預力有潛變影響，外預力則有彈性收縮 (Elastic Shortening) 與潛變 (Creep) 之二種影響。內在梁之乾縮與潛變皆使梁身縮短，梁身縮短之數量雖甚小，但會影響節點之標高。節點為內梁之支

點，節點標高變動，則內梁變作連續梁支承於彈性支承 (Elastic support) 之上，其內梁應力之變化至巨。

4.鋼纜之鬆弛也有與上述同樣之影響，當於斜拉鋼纜之設計一節中再為詳述。

四、邊 梁

邊梁亦為預鑄力梁，其設計除考慮與內梁相同之問題外，主要問題在如何作細部設計，尤其在節點之處，邊梁與橫隔梁相交，二者皆施預力就平面來講已够複雜的，再加上斜拉鋼纜也在此施預力，而且分期施力。真是非常熱鬧但也費了相當的思考，現有之細部圖已考慮到各種高拉力鋼立體交叉，但由於斜交叉的相互衝突 (Interference)，錨錠器之尺寸是否能符合，油壓千斤頂之空位，以及普通鋼筋的位置等，施工時小小調整，當不可避免。如所用預力方法比設計所設想的相差不遠，則此項調整當極有限。

此處值得一提的為設計梁的內在預力已儘量減少而儘量的利用外預力即斜拉鋼纜之水平分力，外邊梁與內邊梁之設計也因此而不同。

五、橫 隔 梁

橫隔梁為就地灌注後拉法預力設計，其目的在承擔內梁之荷重轉達於斜拉鋼纜，其另一目的為增加全橋之剛度，其設計僅為簡支預力丁字梁，並無特異之處，值得一提的是橫隔梁頂與梁頂施工時預留有空間，以減少內梁之連續性解決內梁與邊梁設計上之困難。

斜拉鋼纜

斜拉鋼纜承受節點之荷重轉達於塔頂包括靜重與活重二項。其設計特點爲：

1. 分期施力：

(1) 以減輕支撐之負擔，如作一次施力，則全部荷重皆須由臨時支撐來負擔，第一期施拉後則部份力量已由斜拉鋼纜承擔轉達於塔頂，支撐上力量立即減輕以後的施工重量及靜重等仍由原有之支撐承擔，不須加強，或另設支撐。

(2) 減少因彈性收縮與潛變的影響，彈性收縮爲立即的，一經施預力，立即產生。潛變則爲與時向有關的早拉則潛變也提早產生，對於內梁及邊梁之設計有此必要。

3. 低應力：

一般預力混凝土，高拉力鋼之應力容許達極限應力之百分之60%，此橋之設計則只用到極限應力之42%，一方面爲增加橋之安全，另外也減少活荷重時之撓度 (Deflection)。

3. 鋼管保護 (Steel Pipe Housing) 吊橋之鋼纜最怕生銹，斜拉鋼纜也一樣的怕生銹，除了用水泥灌漿保護以外，另加鋼管作雙層保險。

4. 潤滑油保護鋼纜，每斜拉鋼纜中有二根鋼繩 (Cable) 係由潤滑油處理以後，等一切完成以後行施預力的。

這也是另一種安全措施，同時因爲這二根鋼繩施預力時鋼管已灌漿。因此這一個最後的拉力使鋼管與灌漿皆受有壓力 (Compression) 一則減

少接頭處的裂縫，二則也可增加斜拉鋼纜之剛度，活動經過時斜拉鋼纜之延長因而大爲減少。

斜拉鋼纜之施力地點在塔頂或在鋼纜之下端亦經多所研究將欲決定在下端施拉，主要的原因是：

1. 塔頂施拉須搭架，因爲塔高16公尺，在16公尺高的空中施工總不如就在橋面處爲方便。
2. 塔頂之錨錠位置有限，且施拉後仍有如何保護錨器等問題。

六、橋 塔

橋塔除傳達由斜拉鋼纜之垂直荷重於橋墩外，另有下列幾種作用：

1. 橋塔與邊梁形成一剛架以承擔偏低活荷重而起之力矩，塔底與邊梁連接之處，其形狀爲遍長方形以增加抵抗上力矩之力臂，同時也可因此而減少侵入人行道寬度。
2. 塔頂有一橫梁與對面之塔頂相接形成一剛架以承擔與橋梁垂直方面之風力與地震力。

塔柱由底部之偏長方形漸至頂部漸變成幾乎正方形，即適應其所承擔之任務而變形。

塔頂形狀與尺寸另一決定因素爲鋼纜之錨錠，大部份鋼纜爲連續穿過性質，但每一鋼纜中有四根鋼繩錨定於塔頂以防止由偏荷而起之滑動可能性，每一塔頂有四根鋼纜，共計16根鋼繩須錨定於塔頂，每一根鋼繩有其自然之斜度。

七、橋 墩

橋墩爲橢圓箱形，橢圓以減少水流之阻力，箱形則增加抗拒地震、

風力，及偏活荷重力矩之力臂。

橋墩中空以減少基樁之數量。

八、基 礎

經研究地質情形，現地面下直至百呎左右，其中有一層土質因受壓而會起壓密，故橋梁之重量必達直接傳達至底下較佳之土質，經一再比較決定以預力混剛土長樁較用鋼長樁或其他長樁為經濟可靠。

九、結 論

此橋之設計工作較為繁複，即電腦程式皆須從頭做起，細部設計，一一皆須自創，為業務而言，實在是很不划算而為不智之決定，但作者認為引進新技術使我國工程界在世界上露出頭角，其意義當比公司賺錢更為重要。

一切新的技術與新的方法其發明或演進大都是經濟的。我們開始用第一次或第二次由於「不熟練」及「畏懼」心理而造價難免偏高，但是任何事總要有「開頭」的，現在不做將來的「頭難」還是存在，願與工程界先進同仁共同努力。

後 記

本工程內容包括主橋 402M，引橋 310M 引道 368M，淨寬 20M，總工程費連同土地收購拆遷補償等在內計貳億陸仟叁佰餘萬元，於六十六年光復節完工。

六十六年度大學評鑑

交大電子工程系獨佔鰲頭

本年大學電子組評鑑已於七月間公佈。然各報所報導，斷章取義，模稜兩可，混人耳目，殊虧評鑑之原意。蓋「評鑑工作有刺激作用，對學校今後之改善應有所幫助。」好壞應有所差別，方可期其有功。因此，本刊特將評鑑結果詳細公布於次：

評鑑項目包括師資、課程、圖書刊物設備、教師研究設備、學生實驗（習）設備、行政、經費及人事、學生畢業後就業及深造等。

下面是依據六十六年二月二十四日「第二十二評鑑小組綜合報告」之綜合結論摘錄：

一、等級：（按成績高低排列）

大 學 部

優：交大電工、交大電物、交大計算機、交大電信、臺大電機、大同電機。

佳：逢甲控制、淡江電算機、交大控制、中原電子、逢甲電算機、成大電機、淡江電子。

可：中原醫工、逢甲電子、中原電機、海洋電子、逢甲電機。

差：文化電機。

研 究 所

優：交大電子研究所。

佳：交大計算機研究所、臺大電機研究所。

可：逢甲自動控制研究所、大同電機研究所、成大電機研究所。