

熱浸鍍鋅在陽明山馬槽橋之應用

曾清銓*·王焯烈** 著

Application of Hot-Dip Galvanized Steels to Mao-Tsao Bridge

C. C. Tseng* & J. L. Wang**

摘 要

陽明山馬槽橋為大跨度之拱橋，主跨徑134公尺長，下弦拱採用鋼骨鋼筋混凝土構造，其他為鋼筋混凝土。由於地形關係，本工程附近經常雨霧瀰漫，雨量豐沛，氣溫變化亦大，在地質上又受工址旁之馬槽地熱崩裂口硫氣影響，為一易腐蝕環境，而本工程之施工是採先吊裝下弦拱內之鋼拱構造，再以鋼拱構造做為支撐，分段灌築混凝土，使得鋼結構須暴露在潮濕大氣中甚久，為克服此高腐蝕環境，利於維修及增長橋梁使用年限，本橋為國內首座鋼料使用熱浸鍍鋅之橋梁。本文主要在說明使用熱浸鍍鋅之考量因素、鍍鋅方式、及在設計上因應熱浸鍍鋅之特殊事項，另外亦檢討本橋使用熱浸鍍鋅之初步情形，以供做為將來鋼橋使用熱浸鍍鋅之借鏡。

ABSTRACT

Mao-Tsao bridge, located in Yang-Ming-Shan National Park, is a long-span arch bridge with main span of 134 m. This bridge is a reinforced concrete structure except the arch rib which is a mixed structure of steel frame and reinforced concrete.

Due to the topographic condition, the bridge is in the rainy and foggy area and daily temperature is changeable. In addition, the location of the bridge belongs to a sulfurous region of Yang-Ming-Shan National Park. All of these factors make the bridge subject to corrosion, especially during the construction stage of arch rib. The arch rib was constructed by concrete lapping method with pre-erected composite arch, in which the steel part would be exposed to the serious corrosion environment for a long time. To avoid the damage of the bridge caused by the corrosive environment and extend the life of the bridge, the steel parts of the bridge were coated by hot-dip-galvanization.

This paper is mainly to present the state-of-art of the hot dip galvanized Mao-Tsao bridge. In addition, the working situation of zinc galvanized steel part of the bridge will be discussed. It will be a valuable reference for the construction of bridges surrounded by corrosive environment.

一、前 言

馬槽橋位在陽明山國家公園，是在連接台北

與金山間的台二甲線陽金公路上，如圖1所示，為該公園內主要交通孔道。本橋全長232公尺，中央主跨部份考量景觀、地質、防蝕等工程

*中華顧問工程司，副總工程師兼第一結構部經理
**中華顧問工程司，第二結構部組長兼專案計畫副理

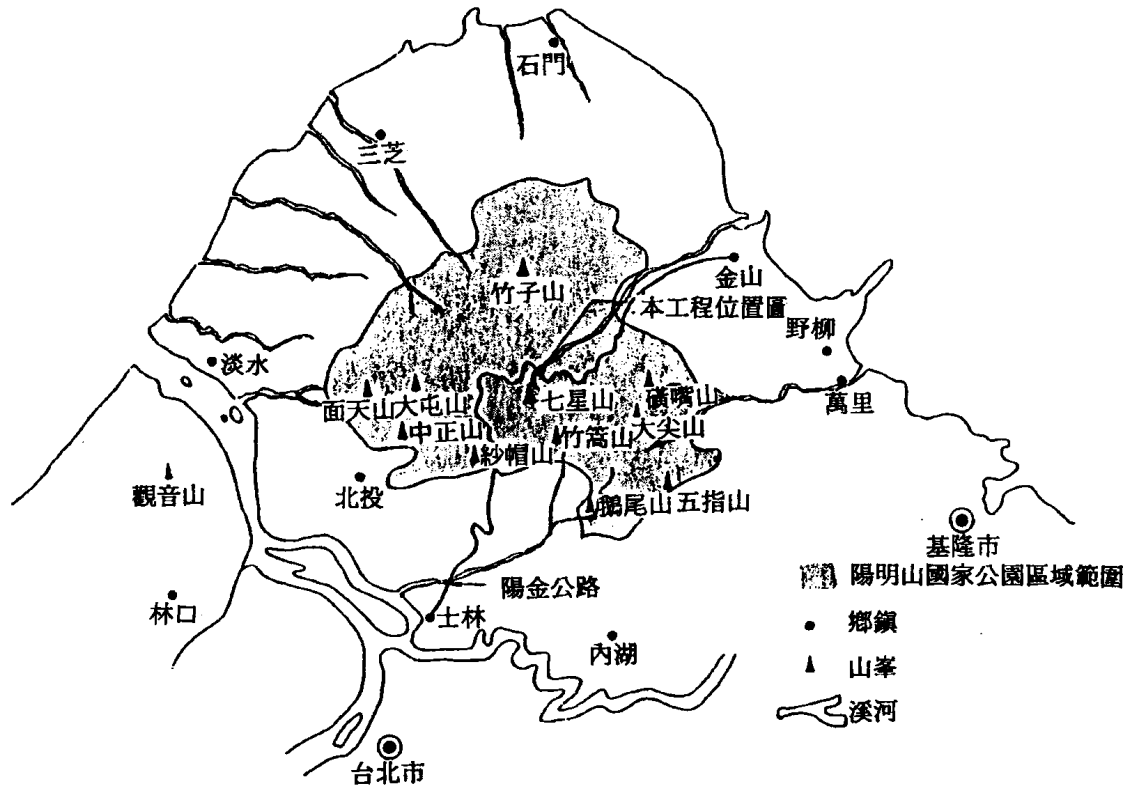


圖 1 工程位置圖
Fig. 1 Plan View of Construction Site

二、主要腐蝕環境

特性與需要，採用單一跨度134公尺長之鋼筋混凝土拱橋，其中下弦拱配合施工方式及結構強度需求之考量，於鋼筋混凝土內部另埋置鋼骨結構。

本橋位於國家公園北側迎風面，因背山面海，面對掠海而來的海洋濕冷東北季風加上地形效應，工址附近濕度高、溫差大，雨量相當豐沛，經常濃霧瀰漫，若置身其中，將覺輕妙半掩、雲霧繚繞，此種氣候景緻亦蔚為當地特殊景觀之一。另外本橋附近之馬槽地熱與崩裂口亦為陽明山國家公園內主要火山地熱景觀區，溫泉與硫氣隨處可見。本橋附近幾乎各種易腐蝕之環境因子均存在，因此本橋型式及構造材料均需注意抗蝕需要，其中鋼料部份，本工程採用熱浸鍍鋅處理。

1. 氣候狀況

陽明山國家公園地區是由數十座圓錐形火山所構成，由本區第一高峯之七星山（標高1120公尺）向北各山體大致排列成一朝向東北方向之凹字形，凹形中間是以金山為出海口之北磺溪河谷。本工程正位在七星山北麓，海拔約600公尺，接近北磺溪源頭，面對東北季風攜帶越海而來之海洋濕冷空氣，順著溪谷溯源而上，因地形抬升而凝結成霧致雨，加以本區凹狀地形越來越窄之口袋作用，與南側高山稜線阻隔效應，使得工址附近之雨量與雨日特別多，濕度與雲霧量亦高，經常陰雨連綿，雲霧籠罩，工址所在之該段陽金公路即為陽明山國家公園內著名濃霧區。另受地形之降溫效應影響，工址附近不但溫差大且

氣溫亦較低，例如在冬季如遇寒流過境，在工址南側之七星山坡面即可能瑞雪紛飛，使本區為本省高岳山脈以外，海拔低於1000公尺之極少數會降雪地區。

依照中央氣象局資料，工址所在之陽明山地區平均年雨量近5000公厘，是本省年雨量最高地區之一，全年降雨日數在190天以上，年平均濕度約87%至92%。以鞍部測站記錄（標高836）為例，該站全年除七月份外，每月平均相對濕度均在90%以上，年平均濕度高達92%，全年降雨日更高達204天，幾乎一年當中超過一半以上之天數均在下雨，可見工址附近濕度、雨量相當豐沛，因此本工程需特別注意潮濕多雨之腐蝕影響。

2. 火山地熱環境

陽明山國家公園屬火山彙集地區，雖火山活動早已停止，但殘餘之熱力仍自地底和地表持續發出，如溫泉、噴氣孔、硫磺結晶、地熱等活動隨處可見，形成一種特殊的景觀環境，本工程所在附近之馬槽地熱與崩裂口等即為陽明山國家公園內主要之火山地熱景觀區之一。

由於溫泉水與硫磺氣使得工址附近充斥著腐蝕性之硫化氫及二氧化硫等酸性氣體及熱液，依日本「鋼筋混凝土構造物之溫泉腐蝕對策調查研究」，馬槽溫泉之成分屬於「非常嚴重之腐蝕環境」。

酸性地熱環境對混凝土、鋼料均會造成侵蝕，其中對混凝土之破壞，主要是因為當中之石灰為鹼性材料，遇到酸性物質易因化學作用形成針狀結晶體，造成混凝土內孔隙壓力增大並吸收水分而膨脹，使得混凝土變為軟弱多孔性組織，因此混凝土之防腐蝕方式，除主要在避免與酸性溫泉及磺氣接觸，另外亦要注意混凝土因酸化膨脹，造成水分侵入所產生之鋼料銹蝕。

三、本橋型式與施工法概述

本橋位在國家公園內預定開發之遊憩區，為符國家公園推動自然環境之保護和提昇遊憩休閒品質之功能，本橋橋型之規劃需注意環境條件與景觀造形之配合，依據景觀因素分析及顧慮本橋所跨越河道有發生土石流之可能，加上防蝕、地質、耐震、穩定、施工等因素之考慮，本橋於規劃時經比較種可行橋型方案，決定採用鋼筋混凝土拱橋型式，下弦拱內配合施工方式與強度需要並埋設鋼骨結構。

本橋全長232公尺，當中無伸縮縫，橋面寬12公尺，中央主橋部份為單跨134公尺長之拱橋型式，以中空鋼筋混凝土版為上弦梁，下弦拱採用箱型斷面之鋼骨鋼筋混凝土構造，拱頂為上下弦相連方式，垂直桿間距為14公尺，下弦拱之兩端拱肋配合地形，採長度不對稱方式，在台北端之半拱長為64M，拱高22.47M，金山端為半拱長70M，拱高27M。除中央主橋為拱橋外，兩端引橋配合拱橋之垂直桿間距與上弦梁方式，亦採與主橋同間距。因為中空斷面之連續鋼筋混凝土桁梁橋，詳細構造見圖2，下弦拱內之鋼骨結構如圖3、4、5所示。

下弦拱內之鋼骨結構除用以提供強度，以減小下弦拱斷面外，主要功用尚需做為灌築下弦拱混凝土之支撐用。由於拱橋最複雜工作是在施工，因臨時設施較多，拱橋施工費往往高於一般桁梁橋甚多。本橋為節省施工之臨時設施費及避免施工破壞自然環境，且由於橋下河床尚堆積著過去土石流所遺留之堆積物，有滑動之可能，因此本橋是如圖6方式採用預組鋼骨支撐之合成下弦拱灌築法（Concrete Lapping Method with Pre-erected Composite Arch，簡稱CLCA工法），基本上是先吊裝下弦拱內之鋼骨拱結構，再藉鋼骨結構之支撐架設模板、灌築下弦拱之混凝土部份，其後再施築其他部份，其中下弦拱混凝土配合鋼骨結構之強度需分段、分次灌築。

熱浸鍍鋅在陽明山馬槽橋之應用

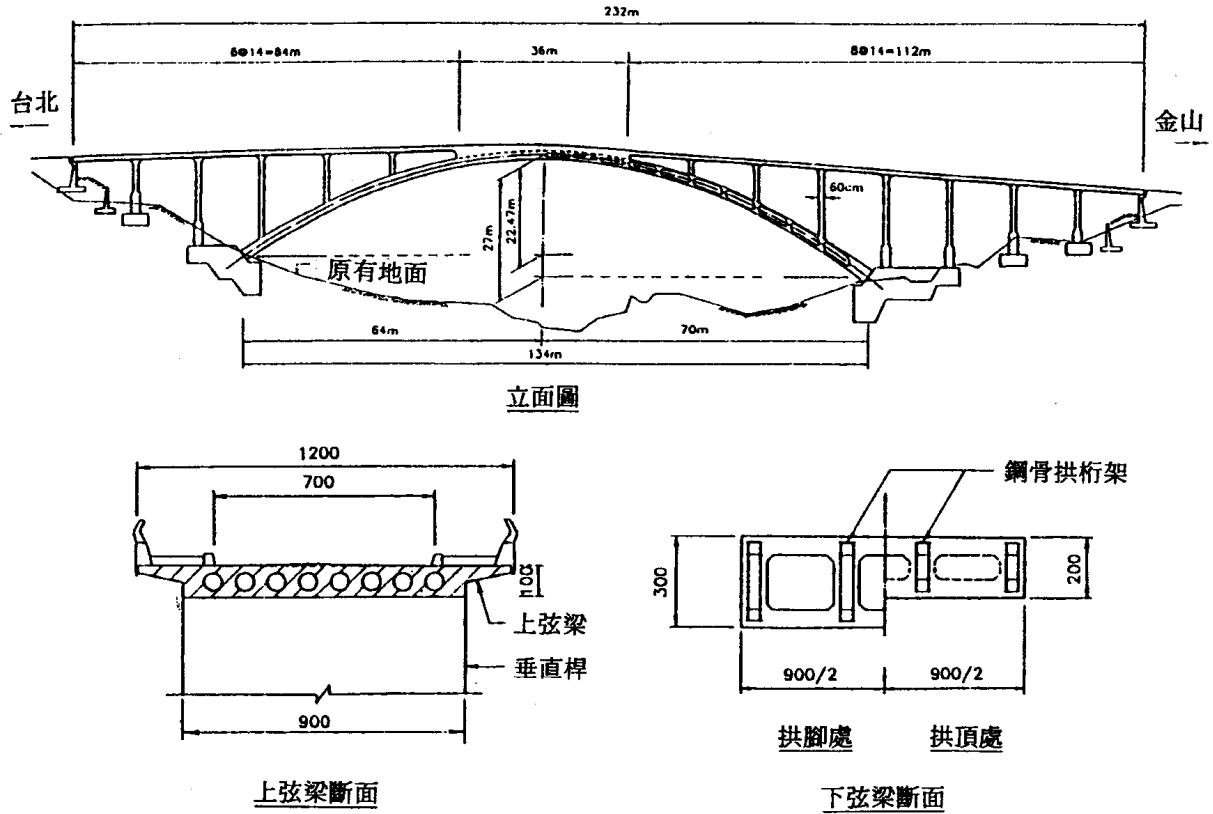


圖 2 本橋構造圖
Fig. 2 Profile of the Bridge

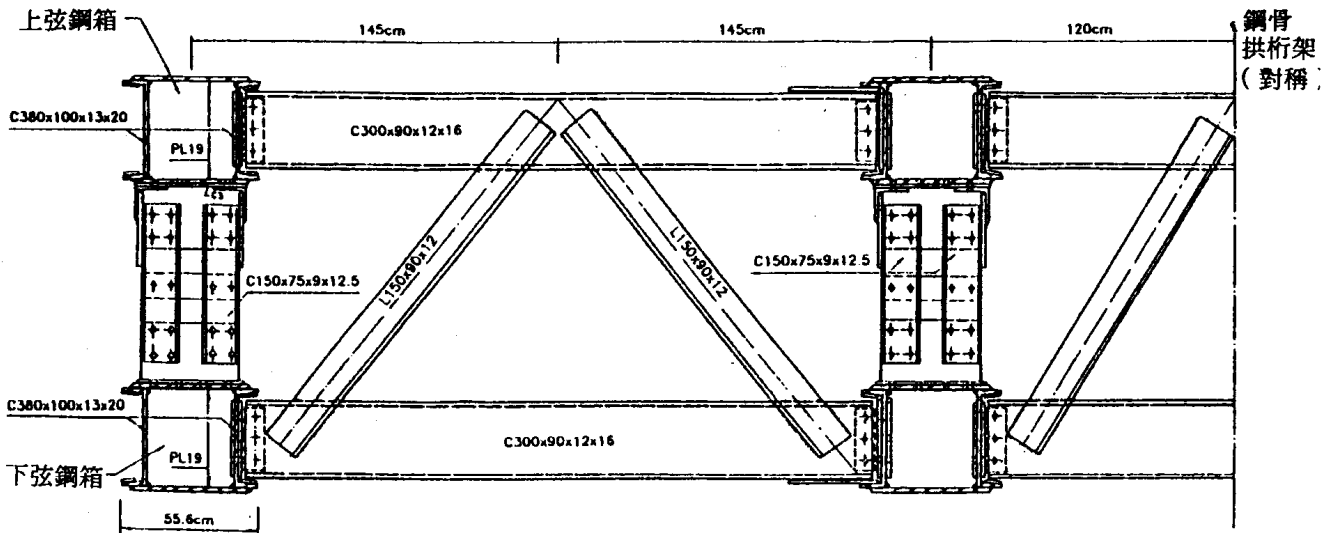


圖 3 下弦拱鋼骨結構橫斷圖
Fig. 3 Cross Section of Steel Frame of Arch Rib

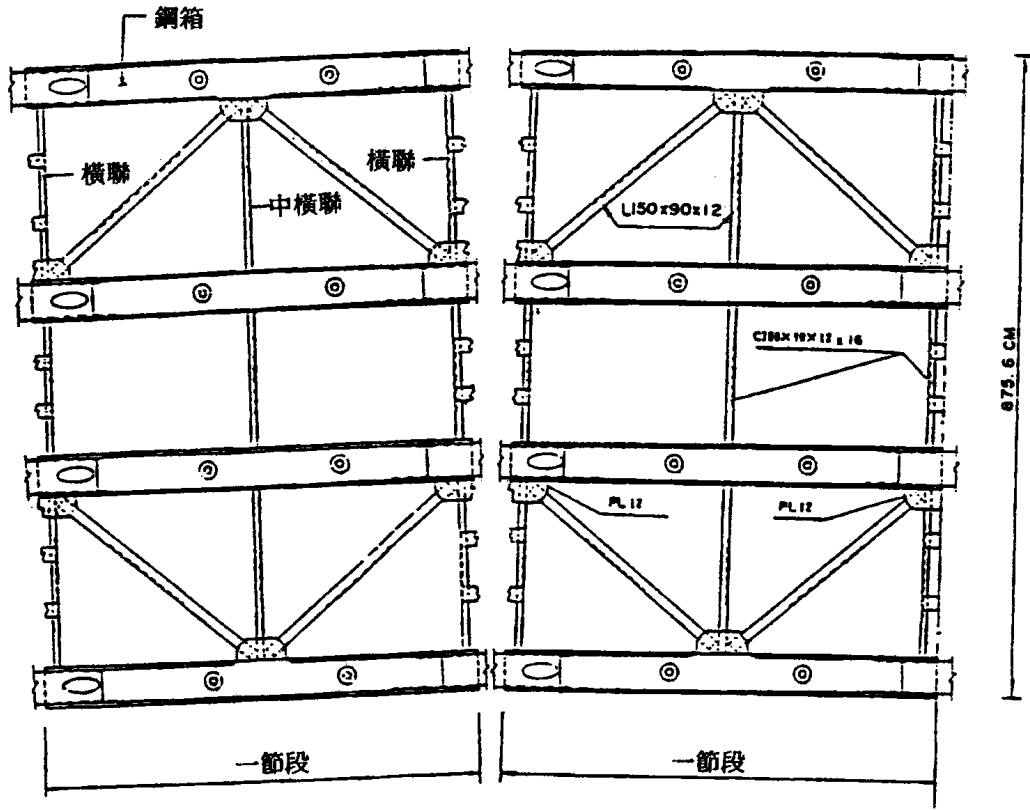


圖 4 部份鋼骨結構平面圖

Fig. 4 Plan View of Steel Frame of Arch Rib

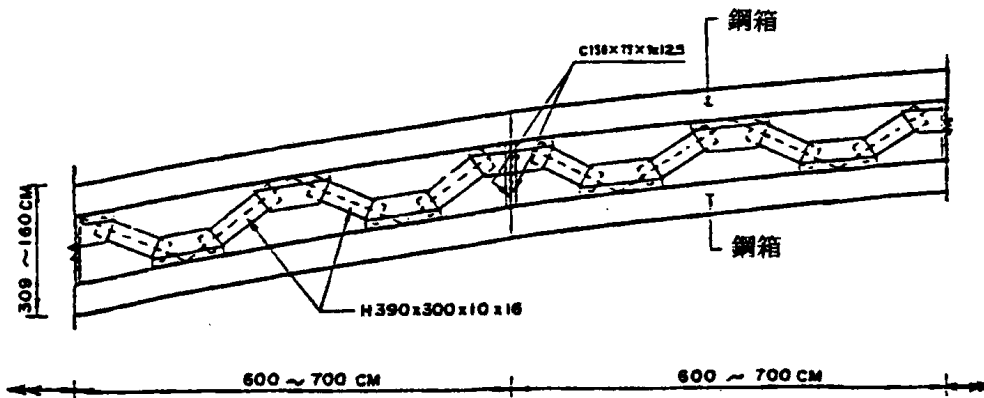


圖 5 部份鋼骨結構立面圖

Fig. 5 Partial Profile of Steel Frame of Arch Rib

四、防蝕方式概述

本工程由於在高腐蝕環境區，因此橋梁型式及構造材料均需注意防蝕。有關腐蝕環境主要來

自兩項一為地形上之潮濕多雨環境，一為地質上之火山地熱環境；另外對溫度差之影響，本工程在設計時另考慮±20°C之溫差應力。

熱浸鍍鋅在陽明山馬槽橋之應用

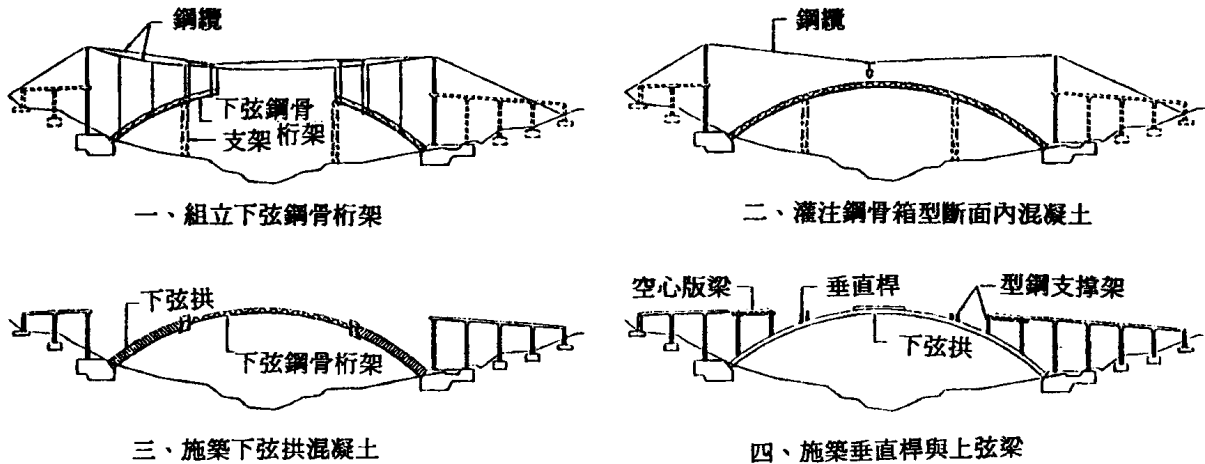


圖 6 全橋施工程序示意圖

Fig. 6 Erection Scheme of the Bridge

1. 對水氣之防蝕方式

對於潮濕多雨環境所產生之水氣腐蝕主要是在鋼料之銹蝕，為防止水氣腐蝕，本工程採用拱橋構造，使構造內以壓力為主，避免造成拉力，防止裂縫產生，使水氣及腐蝕性空氣無法侵入，包括垂直桿間距亦縮小，以降低上弦梁撓曲應力，另外弦梁底亦如下弦拱採用平坦面，使通風較好，不易聚集濕氣。另各鋼料均採用熱浸鍍鋅處理，以做為防銹被覆；在橋外表並兼配合防腐蝕與景觀色彩要求，再塗刷抗腐蝕性之塗料。

2. 對地熱環境之防蝕方式

火山地熱環境所產生之腐蝕因子主要為酸性溫泉水及硫磺氣，其中溫泉水是在地面及地下，而硫磺氣主要是聚集在地面上約 1.5M 高度內之交界部。本工程除橋址選擇盡量避開溫泉區外，其主要防腐蝕方法如下：

- (1) 一般性防腐蝕方式：採用高抗硫水泥，並視各構造位置之腐蝕性，增厚混凝土保護層。
- (2) 對溫泉之特別防腐蝕方式：除以暗渠方法降低基礎附近地下溫泉水之水位外，並於基礎外側鋪設可適用於高溫環境之防水材料，再於防水材料外側填築非結構強度所需之抗硫性混凝土，以阻擋溫泉水接近。

- (3) 對硫磺氣之特別防腐蝕方式：於硫磺氣散佈最廣之土壤面交界部外表粉刷環氧樹脂砂漿，全橋外側另再塗刷抗腐蝕性塗料。

五、採用熱浸鍍鋅之考量因素

本工程各鋼料將被覆在混凝土內，雖較不易銹蝕，但也因而不易檢修是否有銹蝕，可能要到接近危險狀態，始易查覺有腐蝕現象，尤其本橋為大跨徑之橋梁型式，如因鋼料銹蝕影響到結構強度，其後果將極嚴重，而本橋位於極潮濕多雨環境，工址處之溫差又大，對連續且長跨徑之橋型，由於鋼料與混凝土之膨脹與收縮係數不同，易因溫度伸縮變化導致混凝土產生裂紋；如再受地熱之酸性磺氣侵蝕，混凝土將膨脹形成多孔性材料組織，使得水氣更易侵入，造成鋼料銹蝕，因此為減輕維護工作與費用，及增長橋梁之使用年限與效益，各鋼料需有適當抗水氣之防銹處理。另外本工程所採用之施工方式，下弦拱內之鋼骨結構自架設後，需暴露在大氣中約半年以上，在經常陰雨連綿、雲霧瀰漫、相對濕度均在 90% 以上之環境中，也確實先要有抗蝕保護。

對於能不降低鋼料與混凝土間貼著 (bond) 能力之防銹處理方式，本工程在規劃

階段曾考慮採用熱浸鍍鋅或環氧樹脂被覆 (Epoxy coated)，其中環氧樹脂被覆法雖亦可兼做抗腐蝕之處理，但因此法僅能適用於竹節鋼筋，對本工程最主要需防蝕之下弦拱鋼骨結構無法使用，且用於竹節鋼筋之費用亦較高，因此經檢討本工程所有鋼料均採用熱浸鍍鋅被覆。

鋅在水氣中之銹蝕速度非常緩慢，其耐蝕能力約為鐵之10至25倍，且熱浸鍍鋅後在鋼材表面所形成之鍍鋅層膜如發生銹蝕，其銹蝕生成物為一種緻密之組織，對內部鋼材將形成強力保護膜作用，使後續之銹蝕難以繼續，為一種防蝕效果甚佳之防蝕方式。國內雖已有部份鋼鐵製品採用熱浸鍍鋅，但橋梁工程尚無鋼結構採用之先例，相信將來本省鋼橋將會逐漸使用。由於本工程之鋼結構是包覆在混凝土內，不若鋼橋之鋼料是裸露在外，因此本工程之採用熱浸鍍鋅除一方面是基於工程之需要性外，另一方面亦為嘗試性質，欲以本橋使用熱浸鍍鋅之情形，做為將來國內鋼橋採用熱浸鍍鋅之參考，以增進國內防蝕技術之開發。

本工程採用熱浸鍍鋅主要是在抗水氣之腐蝕，鋅如果直接與硫磺氣接觸，其腐蝕性可能反較鋼料為高，在各種可鍍金屬材料中，例如鋅、鋁、錫、鉛等，以鋁之抗硫蝕能力最強，唯鋼料鍍鋁以目前工業技術尚未能經濟性廣泛採用，而本工程所處地熱環境中之硫磺氣主要成份為硫化氫 (H₂S) 與二氧化硫 (SO₂)，此兩成份又均較空氣為重，大都散佈在地面上 1.5M 以內之範圍，本工程下弦拱鋼骨結構大都在此硫氣聚集範圍以上，因此本工程鋼骨結構採用熱浸鍍鋅被覆並非要抗腐蝕，而是主要在防水氣之銹蝕。至於本工程有關防腐蝕方式如第四節所概述，是另以其他方式處理，詳細防腐蝕之考量與方式將另文介紹。

六、熱浸鍍鋅方式

1. 鍍鋅量

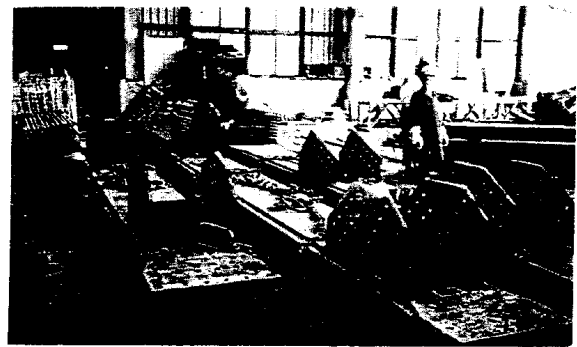
本工程各項鋼料之鍍鋅量分別規定如下：

- (1)鋼骨結構：550 g/cm²
- (2)竹節鋼筋：600 g/cm²
- (3)強力螺栓：550 g/cm²

2. 鍍鋅步驟

基本上鍍鋅作業是依 CNS H3102「熱浸鍍鋅作業方法」處理，如圖所示方式，大抵分為三階段：

- (1)前處理：主要是在去除鋼料表面之氧化層與增進鋅量附着力，本處理之好壞對鍍鋅之良否關係極大，本工程前處理之主要流程可分為下列幾項：
 - (a)脫脂：用以除去附着鋼料之油脂與油漆等異物，必要時以噴砂方式除去油漆（如照片一）。
 - (b)酸洗：浸泡於稀鹽酸液約40分鐘（如照片二），以除去鋼料表面之氧化層（鐵銹）。
 - (c)水洗：使用清水洗滌以除去酸洗所殘留之塩基與酸液（如照片三）。
 - (d)助溶劑處理：在水洗後，乾燥前，在氯化銨等助溶劑 (Flux) 中浸泡，以使鋼材可暫時具有防蝕能力與增進鍍鋅附着力。
- (2)熱浸：將浸泡在鋅浴槽內使鋼料與熔鋅反應生成合金化鍍鋅膜，（如照片四與五）。由於鋅之融點為420°C，而溫度過高將影響鋼料材質及造成不良影響，鋅浴槽溫度採嚴格控制在450°C左右。



照片一 準備鍍鋅之鋼構件

Pic. 1 Pre-Process of Steel Element

CNS 560 A2006 鋼筋，尤其影響鍍鋅過程最大之矽元素，特別規定不得超過0.5%。

(2)鋼骨結構斷面：

下弦拱內之鋼骨構架斷面是依兩因素決定，一為強度因素，由於下弦拱灌築混凝土是以內部鋼骨結構做為支撐，為節省工程費，鋼骨結構斷面是以完成後整體所需之斷面，不為施工需要額外再增大斷面，因此為提高施工時之鋼骨強度，雖箱型斷面之製作、鍍鋅均較不易，但為增加勁度，以相對提高強度，本工程鋼骨結構之上、下緣材仍採用箱型斷面。

另一方面為增加各鋼板間之焊道數，以避免鍍鋅造成不良變形和提高鋼箱內部混凝土受壓能力，同時亦可增加箱型斷面之周長，以提高與混凝土間之貼著力，該上、下緣之箱型斷面是採用兩槽型鋼 (Channel sec.) 和兩塊鋼板組合，並為避免因熱膨脹不均勻造成變形，各鋼材厚度儘可能相近。

另外為使鍍鋅時熔鋅在鋼箱內部能流動順暢，鋼箱桿件之施工手孔、灌漿孔是採對角方式留設。

除上下緣之箱型斷面外，其他較無勁度要求之斷面均採單一槽型、H型或角鋼等開放形之斷面。

(3)單元構材尺寸與接合方式：

本設計考慮國內已有之鍍鋅槽規模，是以鍍鋅槽為 10M×1.5M×1.5M 規劃各浸鍍單元之構材尺寸，本橋鋼骨結構是採用拱桁架型式，上下緣材如(2)所述為箱型，在橋寬方面依混凝土箱型斷面形狀設置四組桁架，桁架之總高度為 2.6M 至 1.6M。配合所考慮之鍍槽尺寸，全橋拱桁架在沿橋長方向劃分成每節 6 至 7m 長之節段，如圖 7，照片七為完成前兩節段之情形。每一節段內之上下緣鋼箱均為直線段，為使每一單元構材均能一次浸鍍完成，除各組桁架間之聯桿各自浸鍍外，每一組桁架在設計時，是規劃分成上、下緣鋼箱、中間各斜桿等單元分別浸鍍後再組合。

由於鍍鋅之高溫會鬆弛已栓緊之螺栓夾緊力，且在已鍍鋅表面焊接，會因所附著鋅之影響降低焊接品質，因此本設計完全避免在鍍鋅前採用螺栓接合及鍍鋅後採用焊接接合，對鍍鋅前需接合者均以焊接方式，且為避免變形儘可能採雙

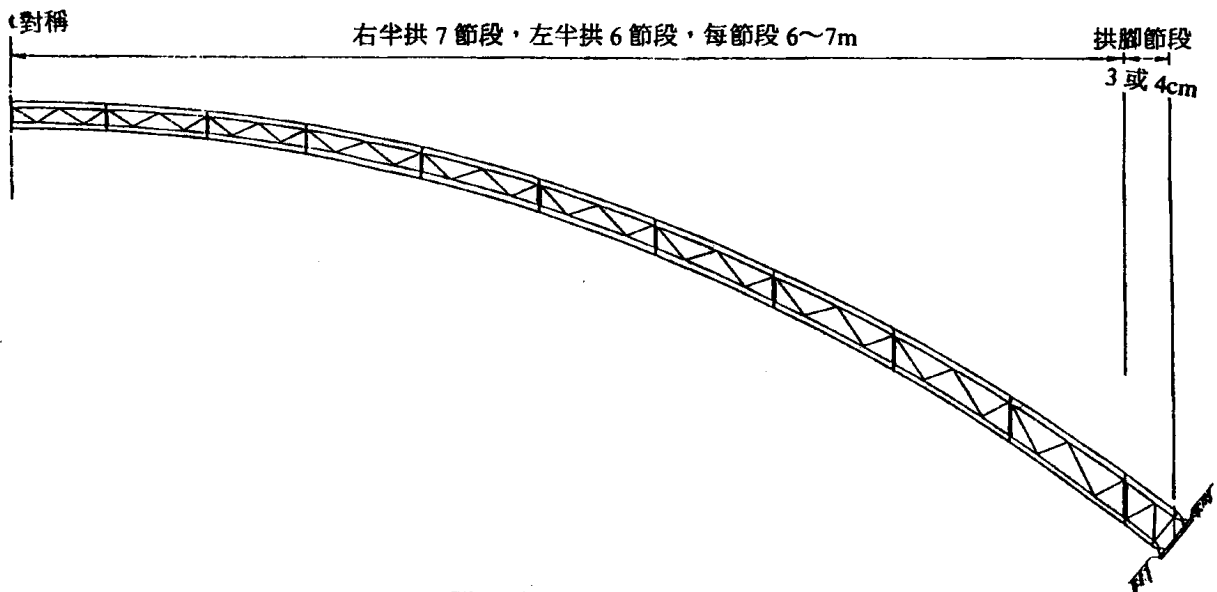


圖 7 鋼骨結構分段立面圖

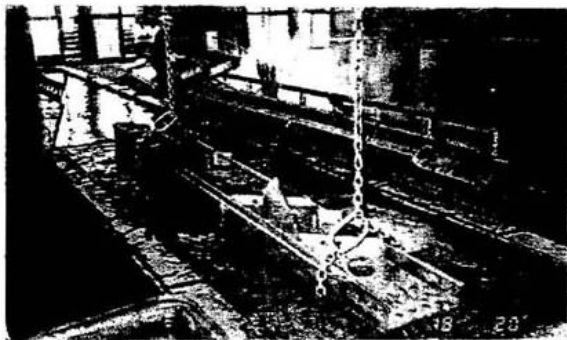
Fig. 7 Partial Profile of Steel Frame of Arch Rib



照片二 酸洗後之鋼構件
Pic. 2 Pickling of Steel Element



照片四 浸入鋅浴槽中
Pic. 4 Immersion in Galvanized Pool



照片三 酸洗後之清水洗淨
Pic. 3 Flushing with Fresh Water after Pickling



照片五 熱浸鍍鋅後吊起情形
Pic. 5 Finish Galvanization of Steel Element

(3)後處理：鍍鋅後之鋼材為避免合金層在空氣中過度成長，造成灰暗色外觀及為增加附著力，需先經水冷却（如照片六），鍍鋅面如有缺陷再以適當方式修補。另因本工程施工環境之雨量、濕度均高，為避免沾到雨露造成白銹現象，對鋼筋另規定鍍鋅後應作鉻酸塩處理。

七、為使用熱浸鍍鋅在設計上之特別考量方式

為配合熱浸鍍鋅處理，本工程鋼骨結構曾採如下之特殊考量：

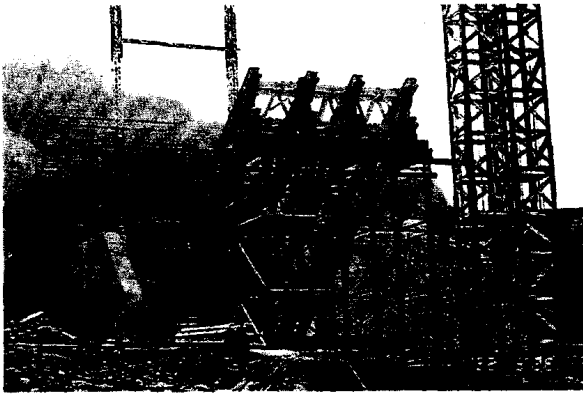
(1)鋼材之選擇：

由於鍍鋅作業為一種高溫處理，為避免高溫影響鋼料材質，本工程所用之鋼材均不選擇熱處



照片六 鍍鋅後之水冷却
Pic. 6 Water Cooling Down of Galvanized Steel Element

理合金鋼類鋼材，例如鋼骨結構採用 A36，強力螺栓採用 A325 TYPE I，竹節鋼筋以符合



照片七 完成第一、二節段之架設

Pic. 7 Fabrication of the First and Second Segments

邊焊接，而在鍍鋅後再組合者均採螺栓接合。

本工程實際施工時，對拱頂處高度較小之幾節段，雖各桁架高度仍大於鍍鋅浴槽深度，但為減化作業，曾先改以焊接將各組桁架之上下緣鋼箱與斜桿組合完成，再採浸鍍二次方式鍍鋅。

(4)高拉力螺栓結合

雖然本工程鋼骨構造在完成後是埋置在混凝土內，應力傳遞主要靠混凝土與鋼骨之貼著力，但在灌築混凝土施工時，鋼骨仍需以接頭結合方式傳遞力量。

由於鍍鋅使得螺栓接合之摩擦係數降低，為確保螺栓之栓緊軸力，本設計是規定結合處須先以洗鋅劑等方式將鍍鋅層移除後，才可按裝高拉力螺栓，而本工程實際施工時並採軸力計之栓緊設備以按裝高拉力螺栓，依工地實驗本工程鍍鋅鋼材之摩擦係數較一般無鍍鋅之0.4為低。

鍍鋅鋼材之螺栓開孔孔徑應較一般略大為適，本設計對孔徑尺寸雖無特別規定，僅要求於施工前如必要應先製作樣品測試開孔尺寸，但為能加大孔徑而可不減少有效面積，規定螺栓開孔均應以鑽孔（Drill）方式開孔，不得使用沖孔（Punch），以避免開孔損壞周圍之鋼材，以彌補因鍍鋅需要所加大之孔徑。在強度計算時是採安全係數較大且規範容許孔徑可較大之摩阻型結

合方式，各節段鋼箱型斷面之續接亦多以單剪方式傳遞剪力。

八、熱浸鍍鋅之使用檢討

本工程自民國80年11月開工，於民國81年10月完成下弦拱鋼骨結構之架設，如照片八，開始利用鋼骨結構之支撐灌築下弦拱之混凝土，如照片九，至今年（82年）5月完成下弦拱全部工作，熱浸鍍鋅在本橋使用之詳細情形將併各項觀測與檢驗結果另行提出研討，本文僅先就施工情形提出下列事項檢討：

(1)外觀情形：

熱浸鍍鋅的目的主要在防蝕，雖然外觀之良



照片八 鋼骨結構架設完成

Pic. 8 Finish Stage of Steel Frame



照片九 以鋼骨結構支撐施築下弦拱混凝土

Pic. 9 Steel Frame Used for Support in Concreting of Arch Rib

否與防蝕功能不盡然有關，甚至對防蝕功能反而有利。但良好之外觀可增加商品價值，一般亦常以外觀做為檢驗品質的要項，尤其鋼橋之考慮採用熱浸鍍鋅以替代油漆塗裝，其中可以用鍍鋅直接做為外飾，不必定期再重漆，亦為主要考量因素之一。本工程因鋼料都包覆在混凝土內，外觀並非重點，因此對於不影響防蝕能力之鍍面缺陷，並不要求修飾，初步由工地觀察，本工程鍍面主要不平滑，均勻之現象大體有下列幾項：

- (a)鍍面有氧化物渣層及粗澀積滯現象，如照片十、十一。
- (b)鍍面雖平滑但有花紋模樣等之光澤變化，如照片十二。



照片十 鍍鋅面積滯現象
Pic. 10 Stagnant Phenomenon of Galvanized Steel Element



照片十一 鍍鋅面有渣層現象
Pic. 11 Deposited Dirt on the Surface of Galvanized Steel Element

(c)鍍面有傷痕情形，如照片十三。

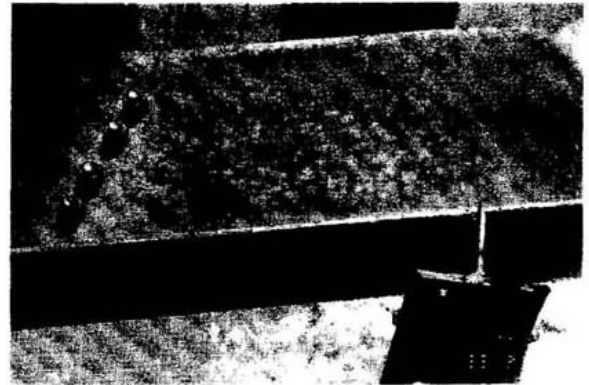
(d)二次鍍鋅在重疊處之鍍面有過厚、渣層情形，如照片十四。

(e)工地架設後部份鍍面有白銹情形，如照片十五。

其中(e)之白銹可能是工地之潮濕、多雨環境所造成，在有要求鉻酸塩處理過之竹節鋼筋則似無此現象，可見為避免產生白銹，除注意鍍鋅成品之儲存環境外，可採用經鉻酸塩處理方式避免。

(2)變形情形

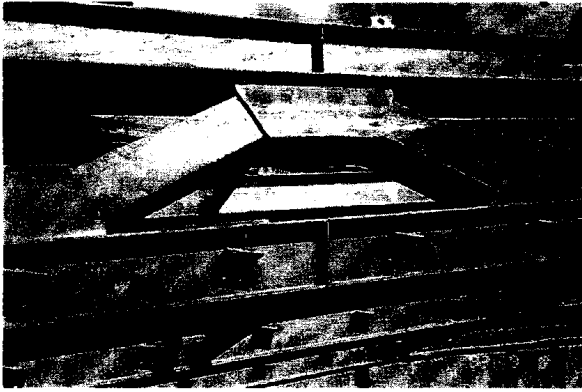
一般鋼材經熱浸鍍鋅後，大都有收縮趨勢，本工程鋼結構在長度方向經鍍鋅後亦有變形，由



照片十二 鍍鋅面之花紋模樣
Pic. 12 Stippled Texture in the Zinc Film



照片十三 鍍鋅面之傷痕
Pic. 13 Scratch of Galvanized Steel Element



照片十四 二次鍍鋅重疊層之痕蹟
Pic. 14 Overlapping of Zinc Film

於本橋拱軸線複雜，拱度控制極為重要，為避免因變形造成工地組裝之困難，本橋在鍍鋅完、運至工地前，採全橋134公尺長分三段先行在工廠假組立，以修正變形造成之影響，結果在工地實際組裝均甚順利，不受變形影響。

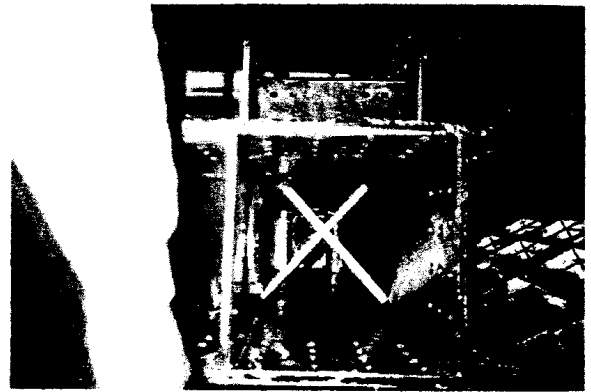
而在桿件橫斷面部份，為避免最易變形之鋼箱型斷面造成變形，於鍍鋅時另在內部加設加勁材，如照片十六，結果依量測資料顯示在橫斷面並無可測之變形量發生。

(3)附着性

在鋼骨結構部份，由鍍鋅面觀察附着性大體良好，並無明顯剝離情形。而在竹節鋼筋方面，部份直徑較小的鋼筋，在彎曲加工後，於彎鈎處之鍍鋅膜有如照片十七、十八之剝離現象。



照片十五 白銹情形
Pic. 15 White Rust Phenomenon



照片十六 鍍鋅時之防變形加勁材
Pic. 16 Stiffener of Steel Element during Galvanization



照片十七 鍍鋅膜剝離
Pic. 17 Mud-Cracking in Zinc Film



照片十八 鍍鋅膜龜裂、剝離
Pic. 18 Mud-Cracking in Zinc Film

由於鍍鋅之高溫易使彎曲加工處之鋼筋產生脆化，大多採先鍍鋅再彎曲，但此步驟卻易使鍍鋅膜因彎曲造成龜裂剝離，對此剝落情形，本工程設計規定採含高濃度鋅粉塗料修補。唯此現象似明顯發生在某特定批數之鋼筋，並非全面都有，顯然與鍍鋅技巧有關。一般鍍鋅膜是由合金層與純鋅層組成，位於膜面最外側之純鋅層延展性最佳，可由本層防止如彎曲加工造成之龜裂剝離，本工程發生剝離現象之鋼筋可能純鋅層太薄，因此對要彎曲加工之鋼筋，應可研究於鍍鋅過程中，以控制溫度、浸鋅時間、冷卻速度等技巧增加純鋅層厚度，以增加附着性，避免造成剝離。

九、結 論

防蝕問題為鋼構造重要課題之一，國內過去鋼橋之防蝕方式大都採用油漆塗裝，此種方式由於需要定期保養與重漆，使得鋼橋之維護費用較高。本橋由於鋼料最後將被覆在混凝土內，無法以油漆方式防蝕，但因位於高銹蝕環境，且施工期間鋼料又需暴露在大氣中之時期過長，經考慮採熱浸鍍鋅做為防蝕處理，使本橋成為國內第一座鋼構造使用熱浸鍍鋅之橋梁。本橋由中華顧問工程司設計、監造，春原營造有限公司承建。

本橋自81年8月完成鍍鋅，81年10月完成鋼骨結構之架設後，至82年5月下弦拱混凝土灌漿完成、全部鋼骨包覆在混凝土內，在這期間鋼骨暴露在大氣中均至少有7個月以上，且正好處在工址濕度最大的冬季。期間自10月至2月每個月之降雨日均在20天以上，該期間平均相對濕度亦

達95%，但在灌築混凝土前各鍍鋅鋼材均尚完好，與工地其他支撐用之非鍍鋅鋼材相比真有天壤之別，可見本橋採熱浸鍍鋅初步已達預期功用。

本橋橋型採用拱橋型式，拱軸線為左右不對稱之複雜懸鏈線型，在施工前曾擔心鍍鋅變形，可能使得鋼骨結構不易組立，尤其拱頂最後一節段距地面40餘公尺高，且橫跨河道兩岸，但此最後節段之架設卻相當順利，顯示各方面如均能注意，鍍鋅變形應尚不致影響工程之施工。

至於鍍鋅表面之外觀，由於本橋鋼骨將包覆在混凝土內，因此只要不影響防蝕功能，本工程不要求整飾，使得本橋有部份鍍鋅面外表似略遜於一般油漆面之外觀，但此等外觀面之瑕疵，如必要應有適當方式可加以整飾。

台灣地處高濕的海洋性氣候環境，鋼橋的銹蝕問題特別嚴重，而熱浸鍍鋅之防蝕技術在性能上與長期效益上有其優點，但國內橋梁鋼結構過去尚未使用過熱浸鍍鋅防蝕方式，由本橋熱浸鍍鋅之初步使用情形，熱浸鍍鋅亦應可應用在鋼橋，以彌補油漆防蝕能力之不足。希望由本橋之首次引用，能開創熱浸鍍鋅在橋梁工程技術之發展與防蝕工程技術之提昇。

參考文獻

- (1)曾清銓、王昭烈，「馬槽橋之設計與規劃」，第一屆結構工程研討會，民國81年11月。
- (2)中華顧問工程司，「馬槽橋重建工程初步規劃報告書」，民國80年2月。
- (3)日本道路公團，「コンクリート構造物の温泉腐食対策調査研究」，昭和59年2月。