

新北環快的熱浸鍍鋅與熔射現況

蔡明達 臺鍍科技股份有限公司

一、前言

鋼橋的防蝕除油漆塗裝外，熱浸鍍鋅、熔射或分別再加塗裝也是一種選擇，特別是不易維護或腐蝕嚴重的環境。熱浸鍍鋅因具有不錯的防蝕效果及經濟效益，也已普遍運用在廠房鋼構、鋼橋、機械設備、輸配電零件、鋼筋、螺栓螺帽等。但鍍鋅廠的鍍鋅槽尺寸或吊重設備往往會影響鋼構的設計或加工而限制鋼結構之尺寸或重量，因而可能將全部或部分構件改用熔射、油漆做為防蝕，或構件先分開熱浸鍍鋅後再銲接組合，銲道區再以富鋅漆或熔射作修補。新北市新北環快一、二標橋梁工程之鋼梁各有採用熱浸鍍鋅與熔射工法做防蝕，如圖一所示。本文針對該工程經 12、3 年後之現況做說明。



圖一 新北環快中興橋處(二標)，箱梁採熔射防蝕，I 型板梁採熱浸鍍鋅防蝕

二、新北環快工程概述

新北環河快速道路，於規劃、設計及興建時原稱台北縣側環河快速道路，隨台北縣升格為新北市後改稱新北環河快速道路(簡稱新北環快)，起點從三重環河北路龍門路口開始沿著環河北路緊靠淡水河與新店溪西側通過板橋、中和及永和至新店安和路的快速道路約 17.1 公里，如圖二所示，與對岸之台北市環河快速道路、水源快速道路相呼應，於 2013 年 1 月 28 日全線通車。新北環快各標路段

之工程範圍及施工、設計單位，如表一所示。工程中 1~5 標為高架路段，其他標工程除 6、7 標局部高架外，餘為平面車道。高架路段除新北大橋及 6 標部分高架為混凝土橋外，餘為鋼橋。



圖二 新北環快路線圖

表一 新北環快各標工程範圍及施工、設計單位

標名	工程範圍	完工日	開工日	營造單位	設計單位
第 01 標	三重區龍門路至福德南路	2003. 08. 22	1999. 03. 01	春源營造	漢華工程
第 02 標	三重區福德南路至中興橋	2004. 07. 12	1999. 09. 19	三普營造	漢華工程
第 03 標	三重區中興橋至二重疏洪道	2010. 04. 25	2006. 02. 24	春源營造	昭凌工程
第 04 標	二重疏洪道跨大漢溪至華江橋	2009. 12. 29	2005. 09. 24	皇昌營造	昭凌工程
第 05 標	華江橋至板橋、中和區界	2008. 06. 11	2003. 07. 06	遠揚營造	昭凌工程
第 06 標	板橋、中和區界至中永和區界	2009. 05. 31	2008. 02. 13	惠祥營造	大豐工程
第 07 標	永和段工程	2012. 12. 08	2009. 03. 06	中華工程	林同棧工程
第 08 標	永和段工程	2013. 01. 21	2009. 03. 06	中華工程	林同棧工程
第 09 標	永和段工程	2012. 08. 18	2009. 09. 21	榮金營造	林同棧工程
第 09-1 標	永和段工程	2011. 09. 09	2009. 12. 02	榮金營造	中升工程
第 10 標	永和、中和區界至中和、新店區界	2011. 09. 09	2009-02-26	靖瑋營造	立源工程

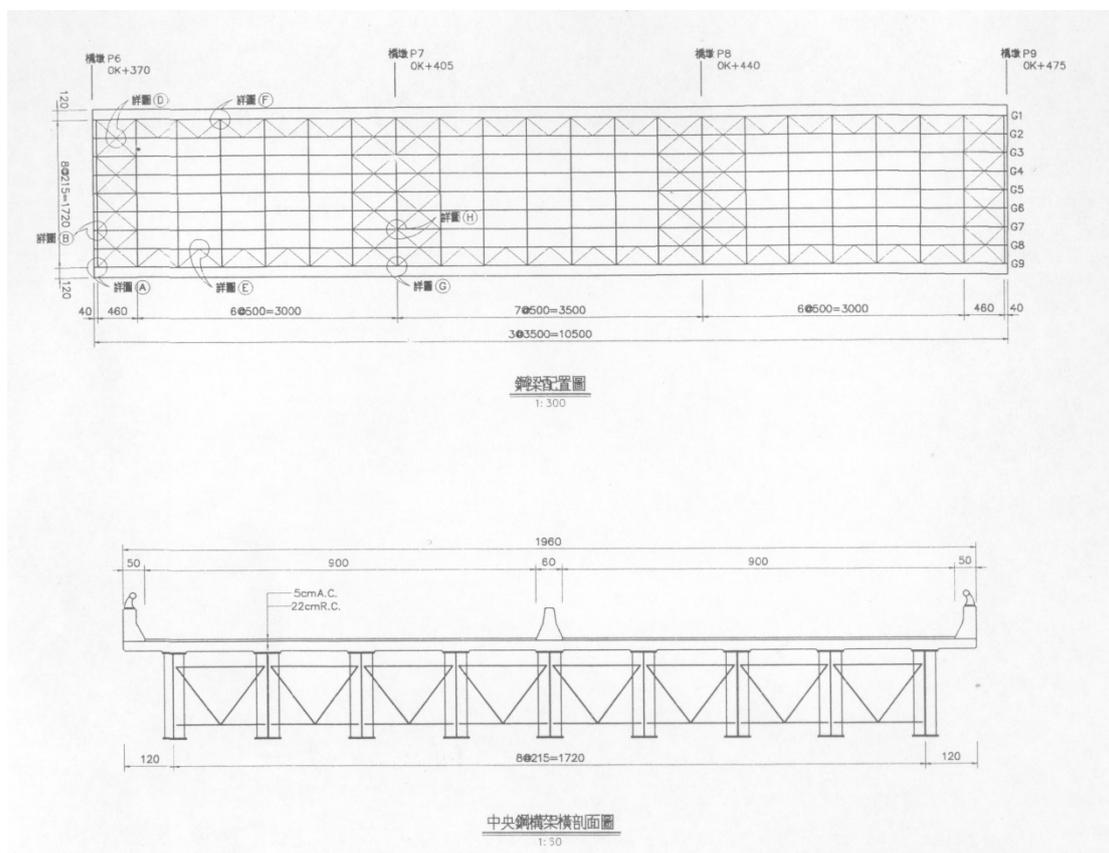
第 11 標	中和、新店區界至新店安和路	2009.05.11	2004-08-14	清隆營造	立源工程
--------	---------------	------------	------------	------	------

資料來源:內政部營建署網頁

新北環快一、二標工程同由漢華國際工程顧問(股)公司設計，因設計及用地取得較快，故最早發包施工、完成；其他標則因用地及高架與否等問題待解決故慢將近 10 年完工。一、二標工程全段為高架道路採雙向各兩快車道設計，主線單側路寬各為 9.8 公尺，如圖三所示。上、下部結構除部分橋墩採 RC 結構外，其餘為 I 型鋼板梁、鋼箱梁及鋼橋墩。主線一般跨距梁為 3~5 跨連續 I 型板梁，每跨跨距為 25~40m。I 型板梁每一梁長為 8.3~10.8m、梁高 2m 採用熱浸鍍鋅處理，設計膜厚為 85 μ m；長跨距梁及橋墩為鋼箱梁，鋼箱梁尺寸約為 2m \times 2.5m，因大於台灣所有的鍍鋅槽尺寸，如表一所示，因而將鋼箱梁及鋼橋墩全數採用鋅鋁熔射處理(箱梁內側採用柏油漆防蝕)，設計膜厚為 100 μ m。一、二標鋼橋防蝕方法與重量，如表三所示。板梁、鋼箱梁及鋼橋墩鋼板材質為 A709 Gr.50。

表二 台灣鍍鋅槽最大尺寸

	鍍鋅槽尺寸	備註
最長	17m \times 1.8m \times 3.2m	
最深	16.5m x 1.8m x 3.3m	
最寬	13.0m x 2.0m x 3.2m	須預留空間



圖三 主線鋼梁配置及剖面

表三 新北環快鋼梁重量與防蝕方法

	鋼構製作廠商	熱浸鍍鋅(板梁)	熔射(箱梁)
一標	春源鋼鐵工業股份有限公司	4,893 噸	4,079 噸
二標	東鋼鋼結構股份有限公司	9,045 噸	10,467 噸

三、熔射與熱浸鍍鋅

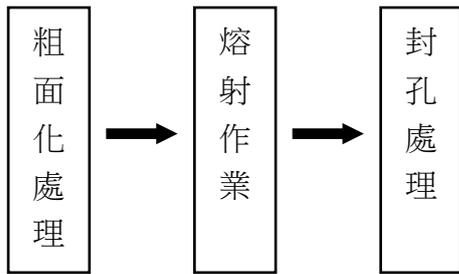
鋅，本身具有較低的腐蝕速率與優越的犧牲性，所以工業上利用各種工法將它披覆於鋼鐵表面以保護鋼鐵。這些方法有電鍍鋅、機械鍍鋅、滲鋅(熱擴散鋅)、油漆(無機鋅粉底漆、高鋅漆)、熔射及熱浸鍍鋅等，其中前三者僅用於小扣件上，後三者亦可用於大型鋼構。但用於油漆時大多為底漆，須另再加中塗漆及面漆搭配使用。

熔射(thermal spray、arc spray、Metallizing)，又稱為噴鋅、熱噴塗、溶射。熔射工法也有很久歷史，在台灣，早期僅利用火焰槍熔射於船舶配件、工具機滾輪、大型廣告架等。直到 1998 年，自日本引進電弧式熔射(俗稱常溫熔射)應用於台灣中油股份有限公司位於國道 1 號高速公路中沙大橋西側的濁水溪油管橋工程，以克服鍍鋅槽無法一次浸鍍單跨 70m 寬 3m 高 4m 的鋼管桁架橋。該橋是先將鋼管裁切、預拱、加工經熱浸鍍鋅後於工地組合銲接，熔射則應用於該工程之銲道區。隨後，熔射工法`逐漸被推廣說明而運用於新北環快一、二標鋼箱梁。

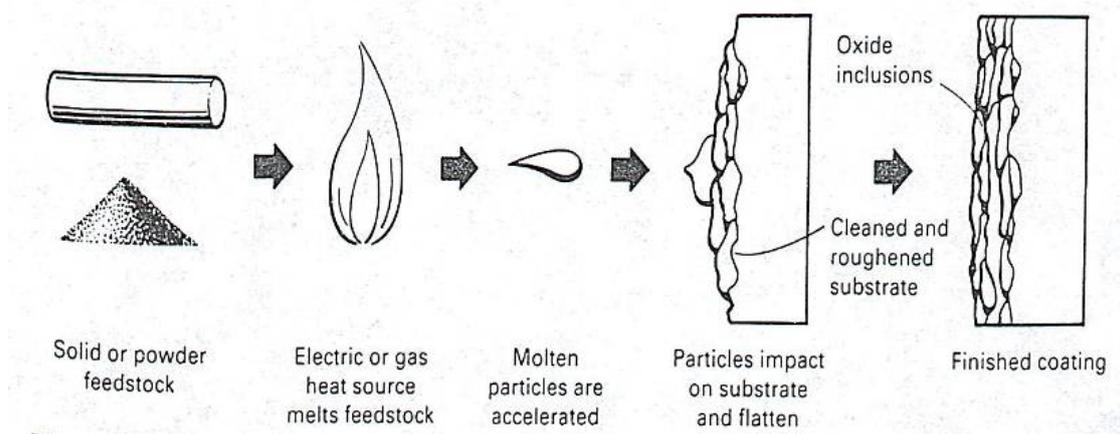
熔射，與熱浸鍍鋅施工前須經前處理一樣，應將表面黑皮、銹層先行去除，否則會有附著性不佳、剝落、防蝕性不佳等現象。熔射作業流程，如圖四所示，須噴砂、熔射及封孔處理。熔射是利用電弧、電熱、高溫火焰將鋅線或鋅粉加溫融化後利用壓縮空氣直接噴覆於箱梁表面，故亦稱為「噴鋅」，如圖五所示。新北環快箱梁是採用鋅線及鋁線(或兩條鋅鋁合金線)以電弧方式熔射，如圖六、七所示。由於熔射是利用熔融的鋅顆粒高速撞擊表面而相互堆積形成保護膜，所以顆粒堆積間一定會有孔隙產生，也是日後腐蝕破壞的途徑，所以熔射後一定須經封孔處理或油漆，以阻絕腐蝕途徑。

熱浸鍍鋅作業過程為脫脂、水洗、酸洗、水洗、助熔劑處理、熱浸鍍鋅及冷卻，如圖八所示，是將鋅加熱至熔點以上形成液體狀再將前處理過的板梁浸入熔融鋅液中，板梁接觸鋅後鋅與鐵相互擴散於表面形成合金層，並於板梁提出鋅液時附著鋅形成合金與鋅的鍍鋅層，如圖九所示。鍍鋅層為液態金屬凝固而成，所以無孔隙存在以致影響日後的防蝕。圖十為板梁自熱浸鍍鋅槽提出時之情形。

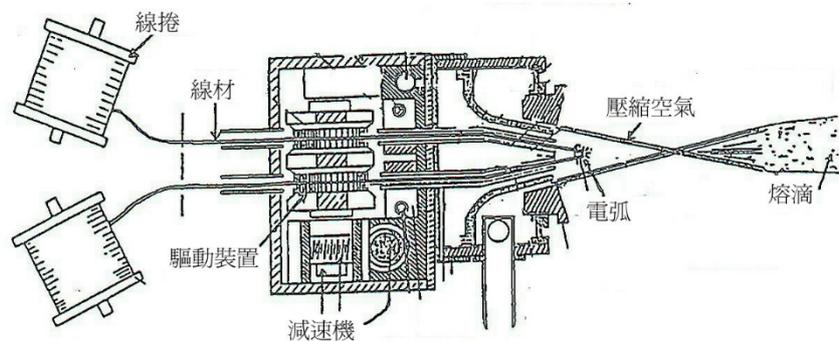
熱浸鍍鋅與熔射使用上之相互比較，如表四所示。



圖四 熔射作業流程



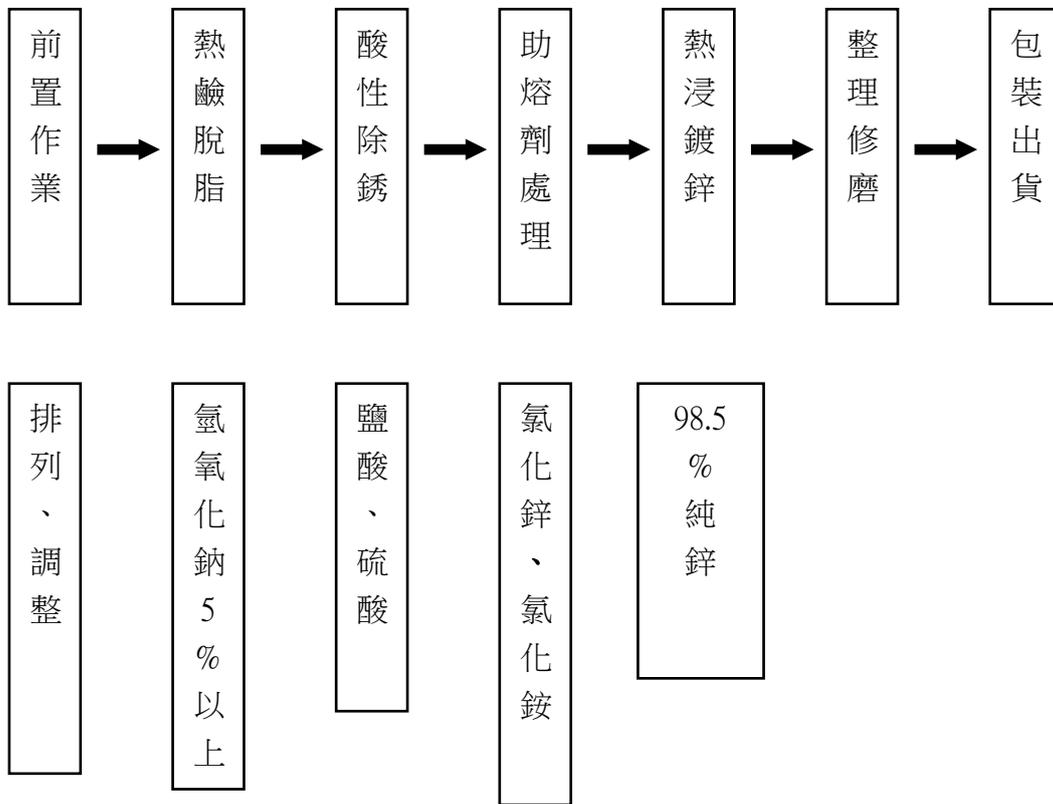
圖五 熔射防護膜形成示意圖



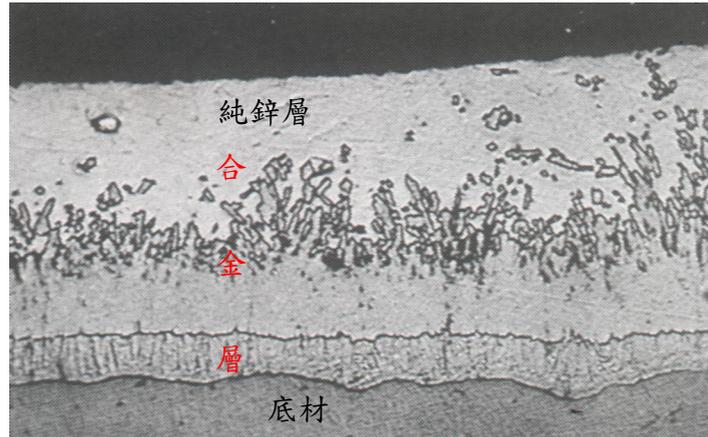
圖六 鋅線電弧熔射示意圖



圖七 箱梁現場熔射情形



圖八 熱浸鍍鋅作業流程



圖九 熱浸鍍鋅層，鋅與鐵相互擴散形成合金層



圖十 板梁熱浸鍍鋅情形

表四 熱浸鍍鋅與熔射比較

	熱浸鍍鋅	熔射
耐蝕性	1. 耐蝕性佳；視環境而定，一般大氣環境達 60 年以上。 2. 不因施工作業而影響耐蝕性。 3. 具犧牲保護性。	1. 耐蝕壽命約與熱浸鍍鋅相當，但若採用鋅鋁材則較優。熔射層依熔射方法而具不同程度之孔隙，易影響其耐蝕性。 2. 具犧牲保護性。

經濟性	初期成本高，但長期經濟效益高。	初期成本高，但長期經濟效益高。
附著性	1. 鍍鋅層與鋼材表面，成合金化反應，鍵結力高可達數百 kg/cm ² 。 2. 不怕搬運，安裝碰撞。	1. 鋅鋁小顆粒堆集於鋼鐵表面，附著力約在 50 kg/cm ² 以下。 2. 怕搬運，安裝碰撞。
施工性	1. 不受氣溫、溫度影響。 2. 不受雨天影響進度。 3. 廠內作業安全性佳。 4. 箱梁內側施工容易。 5. 受鍍鋅槽尺寸限制	1. 受氣溫、濕度影響。噴砂處理若處理不佳則易造成熔射層剝離。 2. 可於廠內或現場施工。 3. 箱梁內不易施工，尤其小箱梁及鋼管無法施工。小構件容易產生熔射死角。
環保	空氣、污染防治，易處理。	需噴砂至 Sa 2 1/2 級，對環境衝擊，易影響勞工安全。
品質控制	1. 可輕易檢查鍍件良否。 2. 廠內作業易使作業條件控制一致。	稍難，須掌握噴砂與熔射之間隔時間。梅雨季、午後雷陣雨於天氣及濕度難掌握。

四、熔射與熱浸鍍鋅現況及原因探討

檢視新北環快兩標工程現況，發現兩標之 I 型板梁熱浸鍍鋅之外觀良好未有生銹情形，如圖十一、十二所示；但箱梁熔射部分則有銹蝕狀況，如圖十三~十七所示。銹蝕現象，除了位於三重區福德南路口 P35 墩柱疑似熔射時起弧不佳或線材氧化所造成外，其餘大多出現在枕木位置、螺栓孔、螺栓及板厚邊緣位置。

另外，現場也利用磁性式膜厚計分別量測兩標熱浸鍍鋅與熔射之膜厚。量測後熱浸鍍鋅板梁膜厚約為 180~290μm，而箱梁熔射膜厚約為 76~200μm，如圖十八所示。

理論上，鋅用各種工法披覆於鋼鐵表面上之防蝕壽命應該是一樣，假若鋅裡再添加鋁則防蝕壽命應該更好，且隨著鋁含量增加而壽命更佳。新北環快一、二標箱梁熔射採鋅鋁合金防蝕有兩種工法，一標工程使用兩條 85%鋅-15%鋁合金線材料透過電弧熔射機熔射，二標工程同樣利用電弧熔射機但採用一條純鋅線及一條純鋁線兩種混合熔射，如表五所示。但 13 年後，兩種工法在該工程中皆出現有銹蝕之情形，所以並非工法或材料而產生生銹。經研判這些銹蝕應該都是熔射施工與搬運所造成，並非材料因素所導致。

表五 新北環快箱梁熔射工法

		一標	二標
粗面化處理	噴砂	sa 2 1/2	sa 2
	粗面形成劑	無	有
熔射		同時使用兩條 85%鋅-15%鋁合金線，形成 85%鋅:15%鋁合金熔射層	分別使用一條純鋅線與一條純鋁線，熔射時形成 72%鋅:28%鋁合金熔射層
封孔處理			

備註		忠孝橋與福德南路間一部份 使用一標工法
----	--	------------------------

這些銹蝕的主因，完全在於施工條件的控制較困難。從表四中可看出，熔射在施性比熱浸鍍鋅差，說明如下：

1.相對濕度

熔射時，前處理的噴砂及熔射必須在相對濕度 80~85%以下施工，否則水氣會在常溫下的噴砂面或熔射面結露，噴砂面會很快產生紅銹。熱浸鍍鋅，則在 450°C 溫度操作，不受濕度影響。

2. 梅雨季、午後雷陣雨

前處理的噴砂及熔射必須在適當間隔時間內施工，否則容易產生紅銹。雨季時很難掌控準確的間隔，特別是室外施工遇偶陣雨時。熱浸鍍鋅，在廠內操作則不受雨季影響。

3.施工角度、距離

不管是噴砂、熔射或封孔，角落、孔徑內或板厚端是特別難施工，噴射角度須小心翼翼否則容易產生缺陷且距離應適當，鋼梁面和熔射槍之距離應於 20~30cm 間範圍施工，噴射角度最好在 90 度，如圖十九所示。熱浸鍍鋅則只需注意角落是否留有適當的孔即可。

4.表面潔淨度及粗糙度

熔射前，表面前處理須利用噴砂將表面處理至 Sa 2 1/2 級及足夠粗糙度才足以讓熔射材料有良好的附著性，且施工時往往噴砂至一定數量或表面積才進行下一步驟，但施工下一箱梁前是否保護表面或先清潔表面再熔射，將會影響熔射材料的附著性，如圖二十所示。熱浸鍍鋅則是無粗糙度之影響。

5.施工材料表面

熔射時，鋅鋁合金線或鋅、鋁線表面狀況將影響熔射品質。熔射用之線材保存良否，會影響線材表面氧化程度。線材表面有氧化層時，熔射時起弧困難也影響熔射品質及防蝕性。熱浸鍍鋅，則鋅錠於熔解時氧化物會浮於鋅液上容易被撈起而不影響防蝕性。

6.施工機具條件控制

熔射時，須設定控制熔射電流、電壓及空壓機壓力，否則線材熔解狀況不佳表面會變得粗糙或熔融不良無法得到緻密的熔射層，影響熔射層堆積狀況及防蝕性，如圖二十一所示。熱浸鍍鋅，則鋅熔解後設定鍍鋅溫度讓自動控制系統控制鋅溫，可獲得良好的鍍鋅層。

五、結語

新北環快一、二標工程鋼梁分別各有採用熱浸鍍鋅及熔射兩種防蝕方法，經過 13 年後發現有如下情形：

1.熔射的箱梁已有局部出現銹蝕現象，熱浸鍍鋅的板梁則尚未發現局部銹蝕。

箱梁的局部銹蝕現象。

2.板厚邊緣位置，熔射鋼箱梁有局部剝離現象；熱浸鍍鋅I梁則未有此現象。

3.箱梁用枕木架高熔射時，局部位置未熔射而生銹。

4.鋅鋁材料比鋅的防蝕性佳，但熔射採用較佳房蝕材料卻反而有銹蝕現象。

基於上述四點，作者認為熱浸鍍鋅的施工性比熔射佳，熱浸鍍鋅在鍍鋅操作時較不易出現疏忽而影響日後之防蝕性。

參考文獻

1.內政部營建署網頁

2.ASM International, Metals Handbook 9th Edition, Vol.13 Corrosion, p459

3.CNS 8503 熱浸鍍鋅作業

4.鋼構造物常溫溶射研究会，鋼橋の常溫金屬溶射設計・施工・補修マニュアル（案），2014.04



圖十一 台北橋北側上方熱浸鍍鋅板梁(一標)外觀



圖十二 三重市重安街匝道熱浸鍍鋅板梁(中興橋，二標)外觀



圖十三 台北橋三重端上方熔射箱梁(一標)生銹外觀(一)



圖十四 台北橋三重端上方熔射箱梁(一標)生銹外觀(二)



圖十五 忠孝橋三重端上方熔射箱梁(二標)生銹外觀



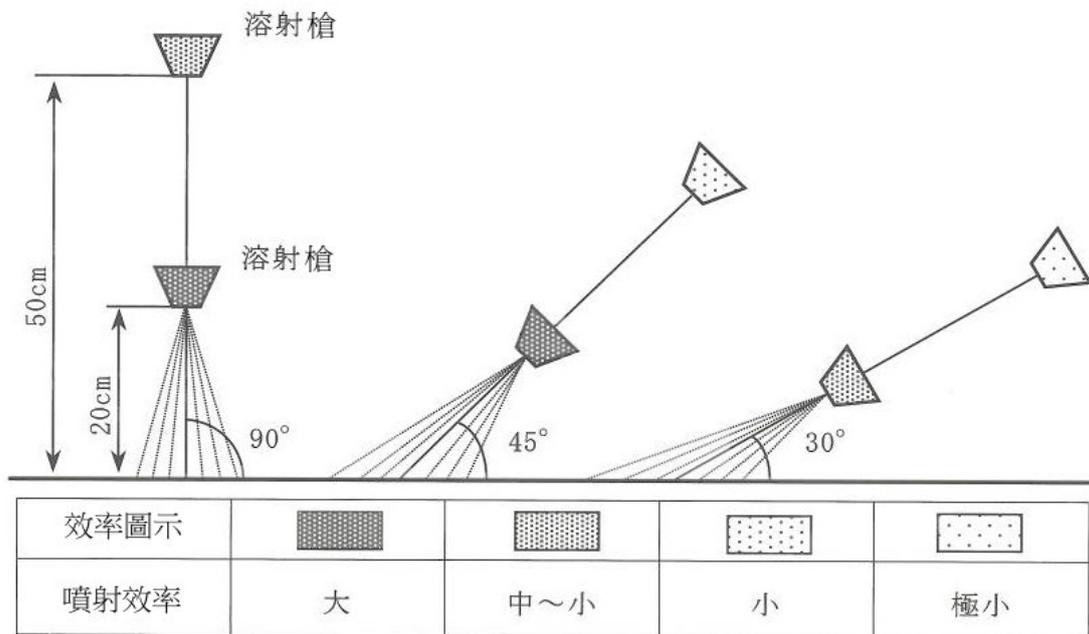
圖十六 連接板板厚端熔射層剝離



圖十七 P35 橋墩生銹外觀(熔射)



圖十八 熱浸鍍鋅板梁膜厚度測(181 μ m)



圖十九 熔射距離與效率



圖二十 噴砂作業，會影響周遭箱梁清潔度



圖二十一 線材溶解狀況不佳影響熔射防蝕性