

# 熱浸鍍鋅

趙焜堦題

2020/04

NO.69

<http://www.galtw.org.tw>



中華民國熱浸鍍鋅防蝕技術研究基金會  
Galvanizers Foundation of R.O.C.

中華民國熱浸鍍鋅協會  
Galvanizing Association of Taiwan

■ 鋼橋、廠房等鋼鐵結構物的最佳防蝕方法

創造熱浸鍍鋅文化 · 維護台灣有限資源





大將作箱型樑鍍鋅

# 熱浸鍍鋅—HOT DIP GALVANIZING

## 鋼鐵製品之最佳防蝕處理！

→ 小自螺絲、螺帽及其他零組件.....

..... 大至鋼鐵橋梁、廠房鋼結構 ←

我們的理念是 — 只要有鐵的地方就能夠，也應該做『熱浸鍍鋅表面防蝕處理』



屏東科技大學游泳池



高雄應用科技大學燕巢校區

## 服務項目

**結構爐 (16500×1800×3300mm<sup>3</sup>)**

最大載重能力：30噸

- 路燈、標誌桿、護欄板、鋼管、格子板、水溝蓋、熱交換器、桁架、鐵塔、電力電信構件、橋梁廠房等各類鋼構物。

**配件爐 (3000×1000×1200mm<sup>3</sup>)**

- 螺栓、螺帽、鉚釘、墊圈等小型鋼鐵製品及扣件。

我們不誇耀設備的新穎與宏大，我們只強調服務與品質

## INDEX

- 1 **第一單元** ▶ 活動公告
  - ◎ 第8屆第1次會員大會延期公告
- 2 **第二單元** ▶ 生產技術及防蝕技術專題：
  - ◎ 熱浸鍍鋅鋼絞線的腐蝕探討
  - ◎ 卜作嵐混凝土使用熱浸鍍鋅鋼筋工程性質之探討
- 37 **第三單元** ▶ 工程實績介紹：
  - ◎ 高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫  
CL121標潮州機廠主體工程
- 42 **第四單元** ▶ 2019年生產統計表
- 43 **第五單元** ▶ 本會認證熱浸鍍鋅廠合格廠商  
熱浸鍍鋅加工建議價格表
- 44 **第六單元** ▶ 熱浸鍍鋅結構物設計要點

2020/04  
NO.69



高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫  
CL121標潮州機廠主體工程

業主單位：台灣鐵路管理局專案工程處  
設計監造：台灣世曦工程顧問股份有限公司  
營造公司：德昌營造股份有限公司  
鋼構製造：長榮鋼鐵股份有限公司  
鍍鋅單位：易宏熱浸鍍鋅工業股份有限公司  
慧鋼企業股份有限公司  
盟雅工業股份有限公司  
鍍鋅數量：18,100公噸

## 廣告索引

- 封底 ▶ 力鋼
- 封面裡 ▶ 慧鋼
- 封底裡 ▶ 盟雅
- 46頁 ▶ 亨欣
- 47頁 ▶ 易宏
- 48頁 ▶ 臺鍍

發行者 ■ 財團法人中華民國熱浸鍍鋅防蝕技術研究基金會  
協辦單位 ■ 中華民國熱浸鍍鋅協會  
發行人 ■ 魏豐義  
社長 ■ 蕭勝彥  
主編 ■ 黃勝俊  
副主編 ■ 王和源  
編輯委員 ■ 張六文、鄭錦榮、羅俊雄、陳鴻興、黃慶輝  
何芳元、鄭明智、蔡明達  
助理 ■ 賴淑娟  
會址 ■ 806026高雄市前鎮區一心二路33號11樓B2室  
電話 ■ (07)3320958~9  
傳真 ■ (07)3320960  
網址 ■ <http://www.galtw.org.tw>  
電子信箱 ■ [galvanat@ms63.hinet.net](mailto:galvanat@ms63.hinet.net)  
印刷設計 ■ 達利金廣告設計有限公司 0939784123

鍍鋅雜誌滿意調查表



您的寶貴意見是我們將內容更完善的原動力！  
(請掃描進入填寫，感謝您的支持！)



## 【延期召開通知】

會訊

## 第 8 屆第 1 次會員大會延期

秘書室

- 一、依據本會 109 年 2 月 26 日第 7 屆第 12 次理、監事會聯席會議決議辦理。
- 二、本會第 8 屆第 1 次會員大會及第 8 屆理、監事會第 1 次聯席會議，原訂於 109 年 4 月 17 日(五)、18 日(六)假今埔里渡假大酒店舉行，因新型冠狀病毒疫情因素，暫訂延至 109 年 6 月 12 日(五)、13 日(六)，並視疫情狀況調整。
- 三、另本會 109 年元月份發行之第 68 期雜誌所刊載原訂於 109 年 4 月 17 日(五)、18 日(六)召開第 8 屆第 1 次會員大會及第 8 屆理、監事會第 1 次聯席會議相關資料，亦更正如前項。

## 熱浸鍍鋅鋼絞線的腐蝕探討

羅俊雄<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 工業技術研究院 材料與化工研究所

\* 通訊作者：rolly@itri.org.tw

### 摘要

熱浸鍍鋅鋼絞線在公共工程上的應用廣泛，如橋梁工程、軌道工程、土木工程等。台灣為一海島，地處熱帶/亞熱帶，高溫、高濕與高鹽份的存在，造成金屬在大氣中容易發生腐蝕劣化。過去台灣大氣腐蝕的研究僅針對碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬的螺旋狀試片或平板試片進行調查，鮮少針對鋼絞線進行研究。本文將針對熱浸鍍鋅鋼絞線在距海岸線 5 公里左右之隧道內與隧道外開放空間，對使用七年後的大氣腐蝕行為進行評估與比較。結果顯示，直接暴露於大氣中的外部鋼絞線，其鍍鋅層的減薄率大於包埋在絞合線中內部的鋼絞線；且隧道內鍍鋅鋼絞線上鍍鋅層的腐蝕速率大於隧道外開放空間的腐蝕速率。

關鍵詞：熱浸鍍鋅、大氣腐蝕、鍍鋅鋼絞線

### 一、前言

台灣為一海島，地處熱帶/亞熱帶，高溫、高濕與高鹽份的存在，造成金屬在大氣中容易發生腐蝕劣化。由於金屬材料的大氣腐蝕機制主要是受大氣中所含水分、氧氣、和腐蝕性物質(如雨水中的雜質、灰塵、金屬表面沉積物等)聯合作用而產生的破壞；因此，瞭解台灣地區大氣腐蝕的狀況，大氣腐蝕劣化因子與金屬腐蝕速率的調查與研究，尤其重要。自民國 96 年迄今，工業技術研究院、交通部運輸研究所港灣技術研究中心與中華民國防蝕工程學會依據 ISO 9226<sup>[1]</sup> 現地暴露試驗試片製作的方法，採

用螺旋狀或平板試片進行碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬在台灣的大氣腐蝕的調查，並依 ISO 9223<sup>[2]</sup> 完成大氣腐蝕環境分類；顯示台灣大部分地區鍍鋅鋼材的腐蝕等級在 C3 至 C5 之間，而某些沿海地區則被分類為 CX<sup>[3]</sup>。由於該些調查僅針對螺旋狀或平板試片，並未探討幾何形狀不同鋼絞線的腐蝕行為，因此本文將針對熱浸鍍鋅鋼絞線，在距海岸線 5 公里左右之隧道內與隧道外開放空間對使用七年後的大氣腐蝕行為進行評估與比較。

## 二、執行步驟

### (一) 試品準備

為了瞭解鍍鋅鋼絞線的腐蝕行為，於距海岸線 5 公里左右之隧道內與隧道外截取已使用 7 年約 31m 的熱浸鍍鋅鋼絞線 (露天區域 10m、隧道區域 21m)，如圖 1 所示；圖中，符號“N1-N4”代表鍍鋅鋼絞線截斷取樣的位置。鋼絞線 (以下簡稱 ST180) 是由 19 支鍍鋅鋼線相絞而成，每支鍍鋅鋼線鍍鋅量的要求為 350 g/m<sup>2</sup> (49 μm)，現場承受的拉力為 2,500 kgf，規格如表 1 所示。

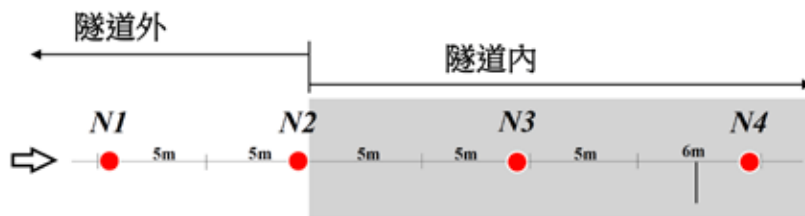


圖 1、鍍鋅鋼絞線之取樣

表 1、熱浸鍍鋅鋼底材的化學組成

鍍鋅鋼絞線	標稱 截面積 (mm <sup>2</sup> )	組成線材支 數 / 單支線材 直徑 (mm)	鍍鋅鋼絞線 截面積 (mm <sup>2</sup> )	最小拉力 強度 (kN)	最小鍍鋅量 (g/m <sup>2</sup> )
高負載 ST180	180	19/3.5	183	145	350

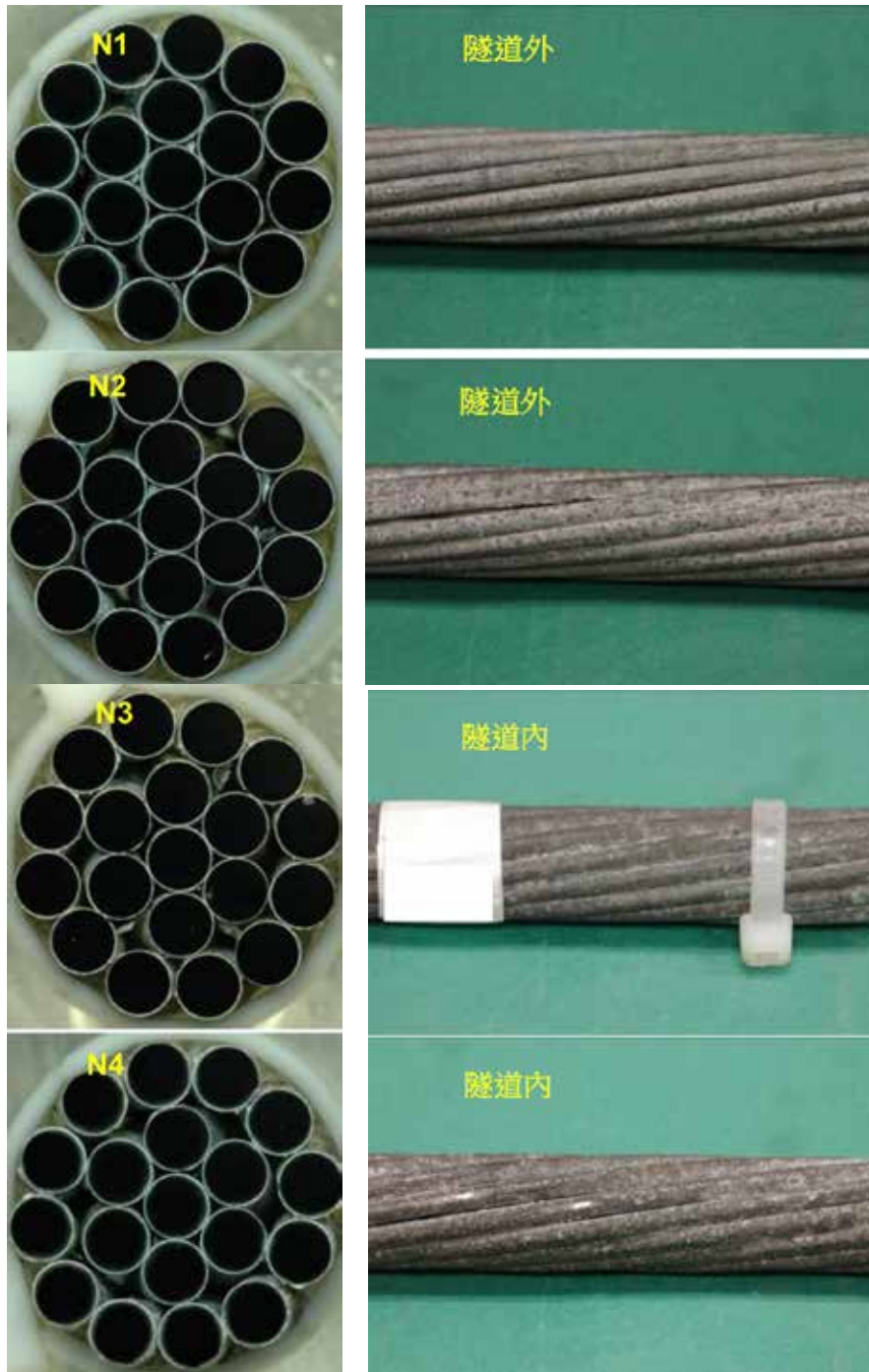


圖 2、ST180 鍍鋅鋼絞線之外觀

## (二) 試驗方法

試品取樣後進行目視檢查，腐蝕產物以掃描電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy, SEM) 與能量色散 X 射線譜 (Energy dispersive X-ray spectroscopy, EDS) 進行分析。掃描電子顯微鏡 (SEM) 係通過用聚焦電子束掃描樣品的表面，電子與構成樣品的原子相互作用，產生樣品表面的圖像。能量色散 X 射線譜 (EDS) 是一種分析技術，用於分析樣品的元素，由於每個元素都具有唯一的原子結構，從而可以利用 X 射線和樣品的交互作用以識別樣品所含的代表元素。至於鍍鋅層的厚度則是以 SEM 觀察量測鍍鋅鋼絞線截面剩餘鍍鋅層的厚度。

## 三、結果與討論

### (一) 目視觀察

圖 2 為 ST180 鍍鋅鋼絞線截斷取樣後的外觀，N1 與 N2 為隧道外開放空間的樣品，N3 與 N4 為隧道內的樣品。可以看出，在 N1-N4 的鋼絞線上都附有白色的腐蝕產物，但在隧道外的鋼絞線相對清潔，隧道內的鋼絞線其表面較暗，且越靠近隧道中心，鋼絞線表面顏色越暗。

### (二) 腐蝕產物分析 - SEM/ EDS 分析

由於鍍鋅鋼絞線相互絞合，難以從構成的單支線材表面收集腐蝕產物；因此將絞線切開，直接以 SEM/ EDS 進行單支線材的腐蝕產物觀察與分析。圖 3 為從 N4 位置截取之鍍鋅鋼絞線單支線材的外觀；圖中，(a) 表示暴露在空氣中的線材，(b) 是 (a) 的背面，(c) 表示與 (b)、(d) 接觸的中間線材，(d) 是 (c) 的背面，(e) 表示中心線材。

圖 4 為 N4 位置之鍍鋅鋼絞線在其外部 (圖 3 之 (a) 線材)、中間 (圖 3 之 (c) 線材) 與內部 (圖 3 之 (e) 線材) EDS 的分析結果。顯然的，在上述的 3 個部位，線材的表面均檢測出有較高的鋅 (Zn) 與氧 (O)，顯示鍍鋅鋼絞線所有構成的線材均已發生腐蝕。至於大氣腐蝕因子的影響，直接暴露於大氣的線材其外表面同時發現有氯 (Cl) 和硫 (S)，中間的線材則觀察



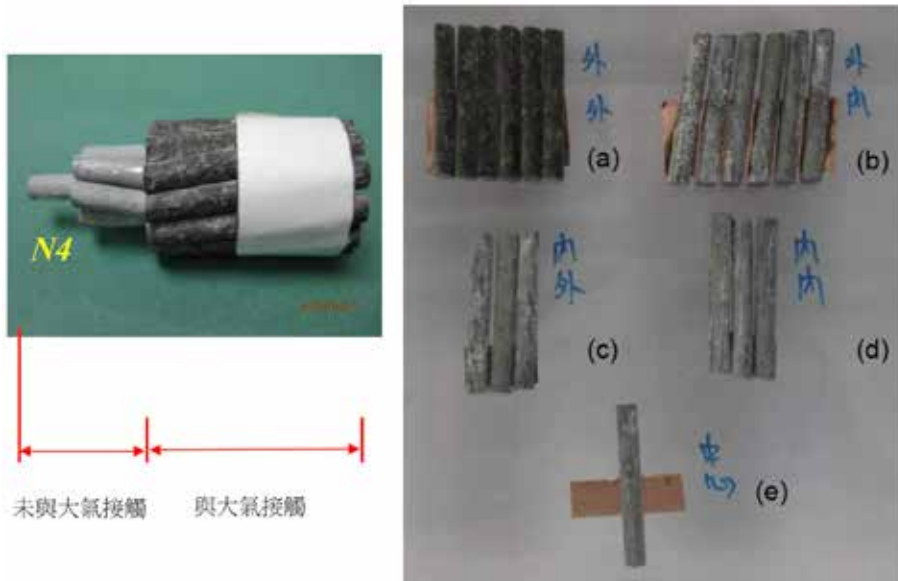


圖 3、N4 位置截取之鍍鋅鋼絞線組成之單支線材外觀

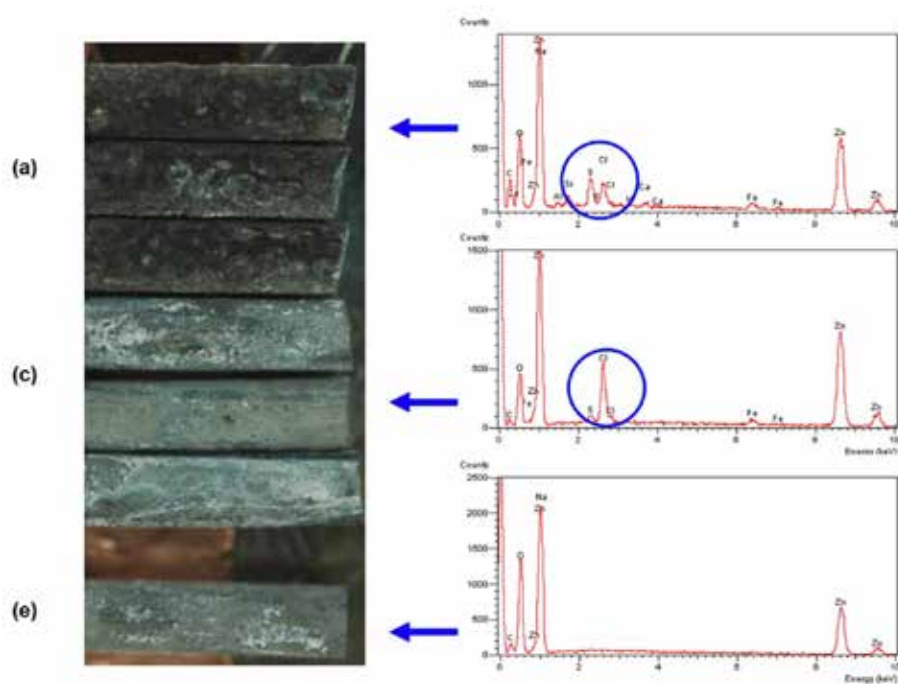


圖 4、N4 位置之鍍鋅鋼絞線在其外部 (圖 3-(a))、中間 ((圖 3-(c))、內部 (圖 3-(e)) 之 EDS 分析結果

到有較高的氯 (Cl) 和可追蹤的硫 (S)，但在中心的線材未發現有氯 (Cl) 和硫 (S) 存在。顯然的，空氣中的氯鹽和硫化物可以從大氣中入侵到鍍鋅鋼絞線的內部，且鍍鋅鋼絞線的腐蝕行為不僅包括大氣腐蝕，還可能有間隙腐蝕的發生。

### (三) 鍍鋅鋼絞線的腐蝕行為 - SEM 觀察與分析

為瞭解鍍鋅鋼絞線的腐蝕型態，利用 SEM 的觀察對 ST180 的橫截面進行微觀分析。圖 5 為新的鍍鋅鋼絞線和從現場 N4 位置取樣的鍍鋅鋼絞線 (已暴露 7 年) 之截面外觀比較。圖中，每支線材白色的邊界為各支線材上所覆蓋的鋅層。此外，為了各支線材的區別，依序編列線材代號，如圖 6 所示。圖中，數字 1-12 代表直接暴露在空氣中的外部金屬線材，數字 13-18 表示中間的金屬線材，數字 19 是絞線的中心金屬線材；而紅色箭頭則表示中間線材發生腐蝕的位置。圖 7 與圖 8 為 N1(隧道外) 與 N4(隧道內) 位置鍍鋅鋼絞線的外部線材與內部線材之 SEM 顯微影像以及反向散射電子圖像 BEI (Back Scatter Electronic Image)。在 BEI 圖像中，外表面出現暗灰不規則的區域為鋅的腐蝕產物，即氧化鋅；而在氧化鋅和鋼基材間的明亮帶狀區域則為富鋅層。顯然的，不論是在隧道外或是隧道內，鍍鋅鋼絞線的構成線材，不管其分布的位置是在鋼絞線的外部或是內部，於現場使用七年後各線材鍍鋅層的腐蝕是明顯的；換句話說，不僅鋼絞線的外部 (圖 7) 會發生腐蝕，鋼絞線的內部 (圖 8) 也會有腐蝕發生。

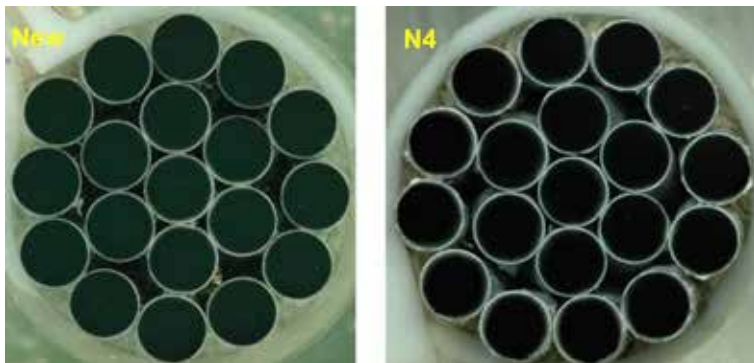


圖 5、鍍鋅鋼絞線截面外觀

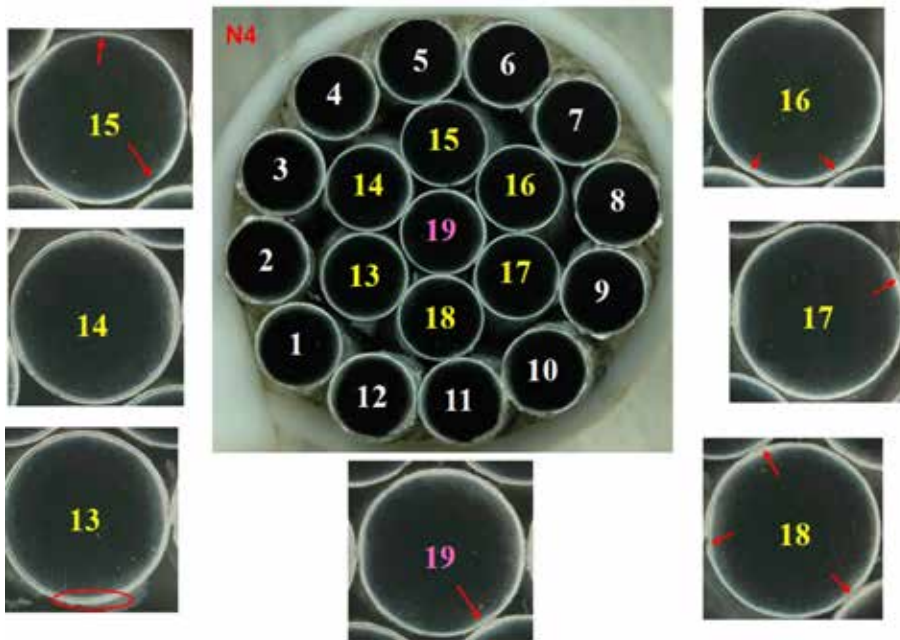


圖 6、鍍鋅鋼絞線構成線材之代號與內部線材發生腐蝕的位置 (紅色箭頭所示)

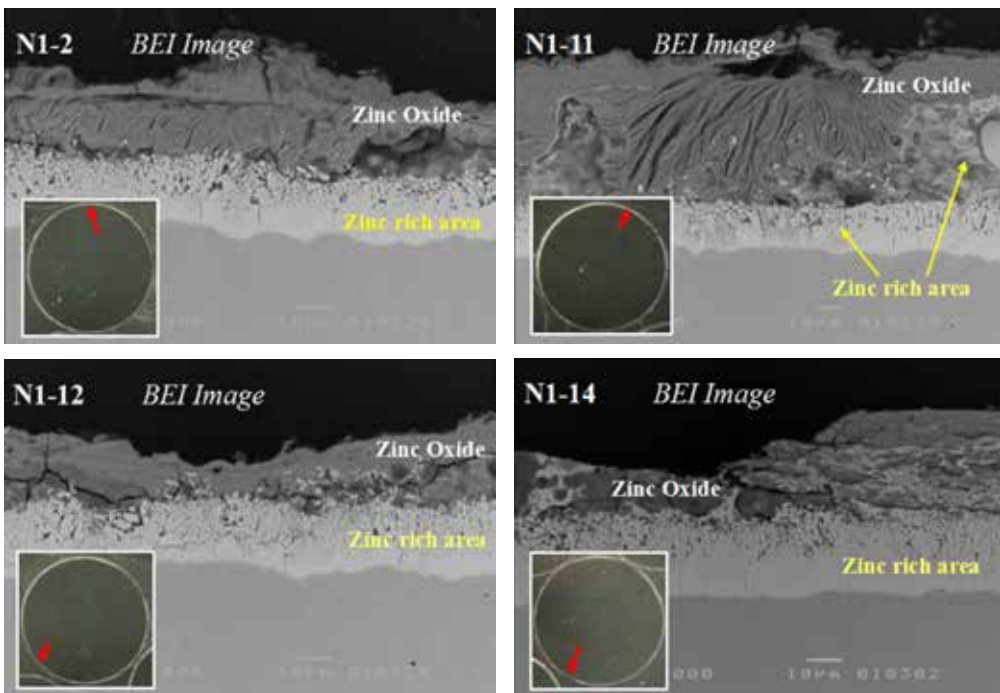


圖 7、N1 位置鍍鋅鋼絞線構成線材的 SEM 顯微影像和 BEI 圖像

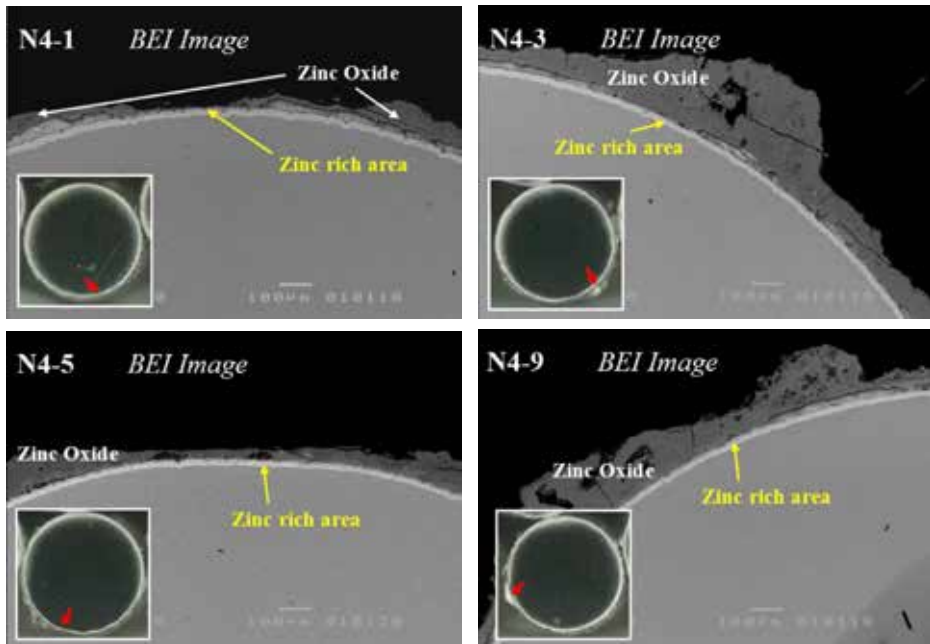


圖 8(a)、N4 位置鍍鋅鋼絞線外部線材的 SEM 顯微影像和 BEI 圖像

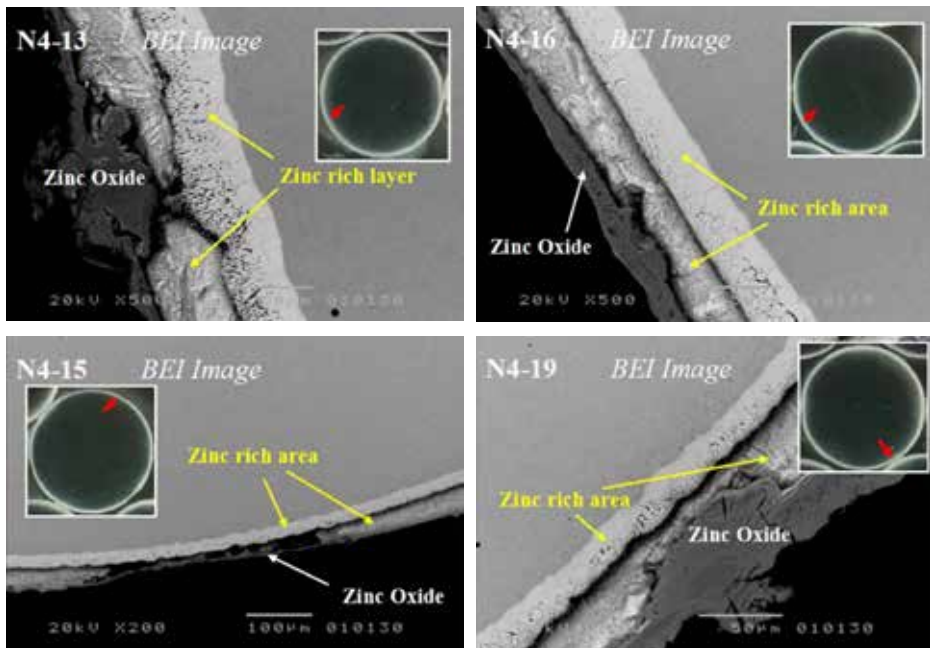


圖 8(b)、N4 位置鍍鋅鋼絞線內部線材的 SEM 顯微影像和 BEI 圖像

再者，為了找出 N1-N4 鍍鋅鋼絞線單支線材腐蝕最嚴重的位置，以 SEM 檢視各鋼絞線的組成線材。如圖 9 所示，圖中的紅點為 N1-N4 鍍鋅鋼絞線各線材殘留鍍鋅層最薄的地方；以外圍的線材而言，鍍鋅層最薄的位置普遍位於與大氣接觸的外表面，另外則是與內部線材相互接觸的地方；而內部線材殘留鍍鋅層最薄的位置，亦是以線材相互接觸的地方為主。此現象再次證明了上述的推論，即大氣腐蝕和間隙腐蝕均為鍍鋅鋼絞線腐蝕的主要類型。

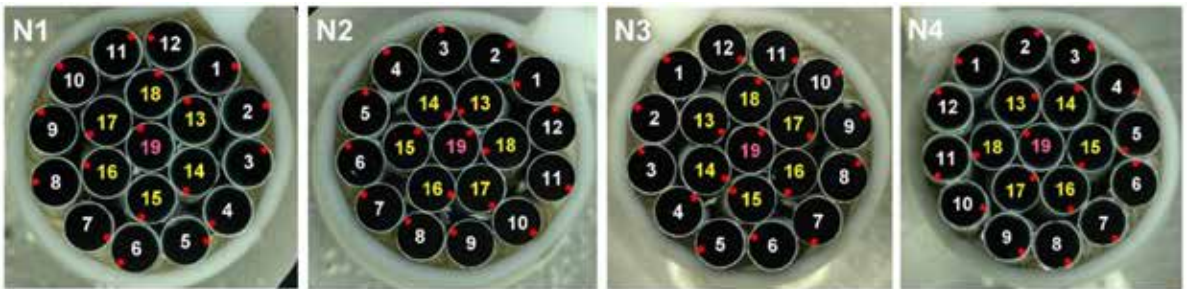


圖 9、N1-N4 位置鍍鋅鋼絞線單支線材腐蝕最嚴重的位置

#### (四) 鍍鋅層的減薄率 - 鍍鋅層的剩餘厚度量測

由於現場使用的鍍鋅鋼絞線其原始鍍鋅層厚度未知，因此使用 SEM 影像分析技術，觀察量測儲存於倉庫內備用鍍鋅鋼絞線單支線材的鍍鋅層厚度。圖 10 為倉庫內儲存之鍍鋅鋼絞線其單支線材截面的 SEM 影像圖。與典型熱浸鍍鋅層的組織分布 (圖 11) 相比較，倉庫內備用的鍍鋅鋼絞線其單支線材的鍍鋅層厚度 (包括純鋅層和鋅合金層) 約為  $71 \mu\text{m}$ ，符合表 1 規範之鍍鋅量所需的最低要求 ( $49 \mu\text{m} = 350 \text{g/m}^2$ )。

相同的，SEM 的測厚技術也應用到取樣位置鍍鋅鋼絞線之單支線材的剩餘鍍鋅層厚度量測。為計算單支線材鍍鋅層的減薄率，剩餘鍍鋅層厚度的決定將量測每支線材 3 個腐蝕相對較嚴重的位置 (位置 A、位置 B 與位置 C)，並加以平均；而原始鍍鋅層的厚度則採用表 1 規範的  $49 \mu\text{m}$  (非倉庫內備用單支線材的鍍鋅層厚度  $71 \mu\text{m}$ ) 以獲得較保守的估算。表 2 與表 3 分別為 N1 (隧道外) 與 N4 (隧道內) 鍍鋅鋼絞線各組成

線材 3 個腐蝕相對較嚴重位置的剩餘鍍鋅層厚度、平均值、鍍鋅層損失量與減薄率。表中，厚度損失和減薄率的負值均表示目前線材的剩餘鍍鋅層厚度仍大於  $49\ \mu\text{m}$ 。

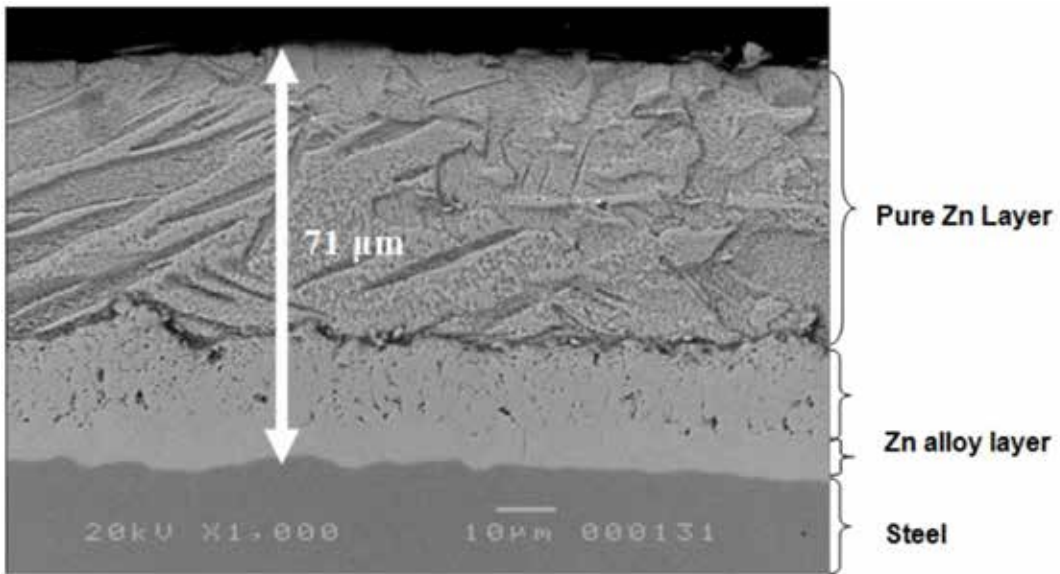


圖 10、新鍍鋅鋼絞線單支線材的截面 SEM 影像圖

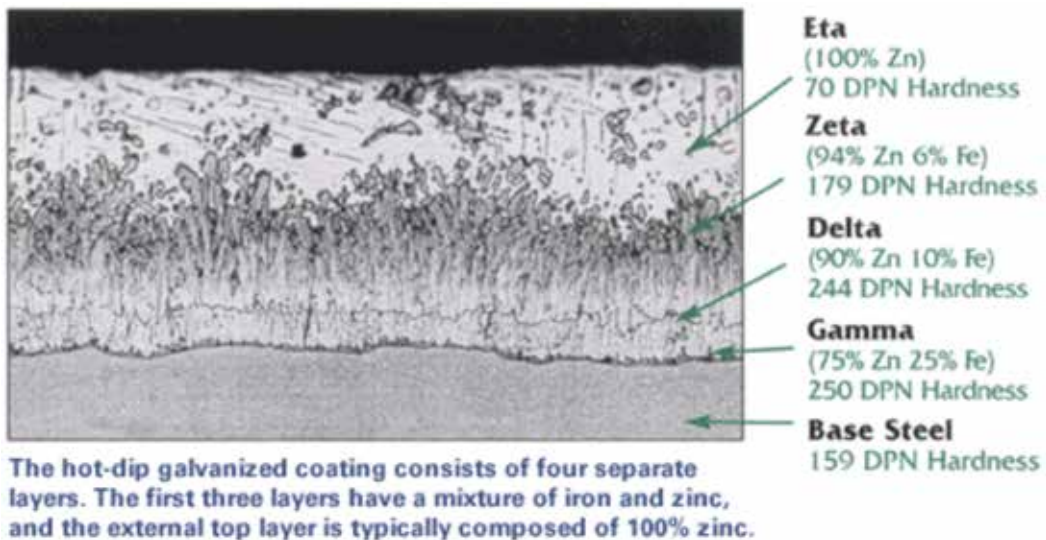


圖 11、典型熱浸鍍鋅層的組織分布

表 2、N1(隧道外) 鍍鋅鋼絞線各組成線材鍍鋅層減薄率

組成線材	鍍鋅層剩餘厚度 ( $\mu\text{m}$ )				鍍鋅層 厚度損失 ( $\mu\text{m}$ )	鍍鋅層 減薄率 (%)
	位置 A	位置 B	位置 C	平均		
1	35.4	35.7	41.9	37.7	11.3	23.1
2	28.2	20.6	20.8	23.2	25.8	52.7
3	34.9	23.5	29.2	29.2	19.8	40.4
4	31.0	42.6	46.1	39.9	9.1	18.6
5	47.3	42.2	38.3	42.6	6.4	13.1
6	52.6	30.0	43.2	41.9	7.1	14.4
7	35.2	37.2	37.8	36.7	12.3	25.0
8	24.4	38.3	29.1	30.6	18.4	37.6
9	27.4	28.5	40.1	32.0	17.0	34.7
10	35.8	29.6	45.3	36.9	12.1	24.7
11	14.9	21.2	50.7	28.9	20.1	41.0
12	21.6	16.5	13.5	17.2	31.8	64.9
13	49.1	42.2	26.1	39.1	9.9	20.1
14	37.3	31.5	45.8	38.2	10.8	22.0
15	61.0	50.4	56.3	55.9	-6.9	-14.1
16	50.4	58.0	35.5	48.0	1.0	2.1
17	52.4	48.8	66.1	55.8	-6.8	-13.8
18	45.4	61.7	70.1	59.1	-10.1	-20.5
19	47.4	44.2	37.9	43.2	5.8	11.9

組成線材	鍍鋅層平均剩餘厚度 ( $\mu\text{m}$ )	鍍鋅層平均厚度損失 ( $\mu\text{m}$ )	鍍鋅層平均減薄率 (%)
外部 (1-12)	33.1	15.9	32.5
內部 (13-19)	48.5	0.5	1.1

顯然的，在 N1 與 N4 位置，外部線材鍍鋅層的平均減薄率分別為 32.5% 和 55.1%，而內部線材分別為 1.1% 和 20.9%，這說明直接暴露於空氣中的外部線材，其鍍鋅層的平均減薄率（腐蝕程度）要大於包埋在絞線中內部線材的平均減薄率。但值得注意的是，隧道外 (N1) 鍍鋅鋼絞線鍍鋅層的平均減薄率要小於隧道內 (N4) 鍍鋅鋼絞線鍍鋅層的平均減薄率，其原因應是在開放空間因雨水沖洗掉部分附著在鍍鋅鋼絞線表面的氯鹽與硫化物，以致減少了鍍鋅鋼絞線的腐蝕。



表 3、N4(隧道內)鍍鋅鋼絞線各組成線材鍍鋅層減薄率

組成線材	鍍鋅層剩餘厚度 ( $\mu\text{m}$ )				鍍鋅層 厚度損失 ( $\mu\text{m}$ )	鍍鋅層 減薄率 (%)
	位置 A	位置 B	位置 C	平均		
1	37.3	36.0	32.0	35.1	13.9	28.4
2	26.8	11.2	23.6	20.5	28.5	58.1
3	17.3	17.9	18.1	17.8	31.2	63.7
4	21.2	18.6	40.1	26.6	22.4	45.6
5	16.3	16.9	34.3	22.5	26.5	54.1
6	14.8	28.1	19.0	20.6	28.4	57.9
7	30.2	33.1	16.1	26.5	22.5	46.0
8	15.3	30.0	16.4	20.6	28.4	58.0
9	37.2	18.4	18.6	24.7	24.3	49.5
10	18.1	16.0	12.8	15.6	33.4	68.1
11	15.7	16.9	18.6	17.1	31.9	65.2
12	18.8	15.5	14.8	16.4	32.6	66.6
13	21.3	39.1	48.2	36.2	12.8	26.1
14	44.2	56.5	56.8	52.5	-3.5	-7.1
15	33.0	37.1	18.6	29.6	19.4	39.7
16	53.8	46.4	70.4	56.9	-7.9	-16.1
17	37.8	18.2	17.6	24.5	24.5	49.9
18	39.5	19.3	47.8	35.5	13.5	27.5
19	31.8	41.5	35.4	36.2	12.8	26.1

組成線材	鍍鋅層平均剩餘厚度 ( $\mu\text{m}$ )	鍍鋅層平均厚度損失 ( $\mu\text{m}$ )	鍍鋅層平均減薄率 (%)
外部 (1-12)	22.0	27.0	55.1
內部 (13-19)	38.8	10.2	20.9

### (五) 腐蝕速率與剩餘壽命估算

為估算鍍鋅層已使用 7 年鍍鋅鋼絞線的平均腐蝕速率，忽略表 2 與表 3 中負值的厚度損失值，平均結果如表 4 所示；即隧道外開放空間鍍鋅鋼絞線的腐蝕速率為  $2.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，小於隧道內鍍鋅鋼絞線的腐蝕速率  $3.4 \mu\text{m}/\text{yr}$ ；其原因如上所述，應是鍍鋅鋼絞線在開放空間因雨水沖洗附著的氯鹽與硫化物，降低了鍍鋅鋼絞線的腐蝕速率。

根據 JIS H8641<sup>[4]</sup>，鍍鋅構件的服務壽命是以鍍鋅層厚度消耗至 90% 來計算，如式 1 所示。

$$\text{使用壽命} = \frac{\text{鍍鋅量} (\mu\text{m})}{\text{腐蝕速率} (\mu\text{m}/\text{yr})} \times 0.9$$

式 1

因此，N1 與 N4 鍍鋅鋼絞線的平均剩餘壽命如表 4 所示，分別為 15.9 年與 6.6 年。但是如果將鍍鋅鋼絞線的最低可使用年限定義為單支線材達到服務年限的使用壽命，則 N1 與 N4 的最低可使用年限應分別為 7.7 年與 4.1 年。

表 4、N1 與 N4 鍍鋅鋼絞線的腐蝕速率與剩餘壽命估算

組成線材	N1		N4	
	腐蝕速率 ( $\mu$ m/yr)	剩餘壽命 (yr)	腐蝕速率 ( $\mu$ m/yr)	剩餘壽命 (yr)
1	1.6	17.0	2.0	9.3
2	3.7	10.4	4.1	5.4
3	2.8	13.1	4.5	4.7
4	1.3	18.0	3.2	7.1
5	0.9	19.2	3.8	6.0
6	1.0	18.9	4.1	5.5
7	1.8	16.5	3.2	7.0
8	2.6	13.8	4.1	5.4
9	2.4	14.4	3.5	6.5
10	1.7	16.6	4.8	4.1
11	2.9	13.0	4.6	4.5
12	4.5	7.7	4.7	4.3
13	1.4	17.6	1.8	9.6
14	1.5	17.2	-	-
15	-	-	2.8	7.8
16	0.1	21.6	-	-
17	-	-	3.5	6.5
18	-	-	1.9	9.4
19	0.8	19.4	1.8	9.6
AVG.	2.0	15.9	3.4	6.6
MIN.	-	7.7	-	4.1

### 四、結論

1. 大氣腐蝕和間隙腐蝕為鍍鋅鋼絞線腐蝕的主要類型。空氣中的氯鹽和硫化物可以從大氣中入侵到鍍鋅鋼絞線的內部，不僅鋼絞線的外部會發生腐蝕，鋼絞線的內部也會有腐蝕發生。
2. 直接暴露在大氣中的外部線材，其鍍鋅層的平均減薄率（腐蝕程度）大於包埋在絞線中內部線材的平均減薄率。
3. 隧道外開放空間鍍鋅鋼絞線的腐蝕速率為  $2.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ ，小於隧道內鍍鋅鋼絞線的腐蝕速率  $3.4 \mu\text{m}/\text{yr}$ ；其原因應是在開放空間因雨水沖洗附著在鍍鋅鋼絞線表面的氯鹽與硫化物，降低了鍍鋅鋼絞線的腐蝕速率。

### 五、參考文獻

1. ISO 9226:1992, Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres- Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity, 1992.
2. ISO 9223:1992, Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres- Classification
3. J.S. Luo and J.C. Oung, “Atmospheric Corrosion of Galvanized Steel in Taiwan”, Paper No. 05-B-02, 16th International Corrosion Congress, Beijing, China, Sept. 2005.
4. JIS H8641, Hot dip galvanized coatings, Japanese Industrial Standards, 2007.

## 卜作嵐混凝土使用熱浸鍍鋅鋼筋工程性質之探討

王和源<sup>1\*</sup> 陳昱文<sup>2</sup> 蔡秉誠<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> 國立高雄科技大學 土木工程系 特聘教授

<sup>2</sup> 國立高雄科技大學 土木工程系 研究生

### 摘要

台灣使用鋼鐵結構建築物越來越多，而台灣位處於海島型氣候區，高溫、高濕及高鹽附著易造成鋼筋腐蝕，為防範鋼筋的腐蝕，考慮經濟及適當的防蝕方法，鋼筋表面鍍鋅為有效的防蝕方法之一。在混凝土中添加卜作嵐材料可增加耐久性、改善工作度及提高強度，卜作嵐材料已是混凝土中必要添加的摻料，且大量應用於混凝土結構工程上。本研究探討使用熱浸鍍鋅鋼筋於卜作嵐混凝土之工程性質探討。本研究以設計強度  $280\text{kgf/cm}^2$ ，固定水膠比 (W/B) 0.5，卜作嵐材料 (爐石及飛灰) 分別取代 0%、10%、20% 及 30%，製作  $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$  之混凝土圓柱試體，混凝土拌合後即進行新拌性質試驗及試體製作，並在製作試體時一併埋設鍍鋅鋼筋及一般鋼筋於混凝土試體內，比較鍍鋅鋼筋及一般鋼筋握裹力，於不同養護齡期進行工程性質試驗，探討鍍鋅鋼筋對卜作嵐混凝土之影響。

研究結果顯示，隨爐石、飛灰取代量增加，坍度最高皆可達到 225 mm 以上具有良好之工作性。且單位體積重逐漸降低約 1.03 倍，凝結時間也會因取代量的增加而提高至 1.2 倍。抗壓強度因爐石、飛灰的不同取代量隨著齡期的增加而增加。28 天齡期，未取代卜作嵐材料 (控制組) 與爐石及飛灰取代量 20% 之抗壓強度兩者強度相差 1.1 倍；120 天齡期時，爐石及飛灰取代量提高至 30% 之抗壓強度為  $475\text{kgf/m}^2$ ，較控制

組高 1.12 倍。超音波波速提高約 1.07~1.1 倍。混凝土添加飛灰、爐石粉因卜作嵐反應有助於提高握裹強度，鍍鋅鋼筋最大握裹強度亦較普通鋼筋高。未來將建立相關資料庫利於日後相關研究，提高廢棄物再生利用的價值，達到對於環境保護之最大效益。

關鍵字：卜作嵐混凝土、鍍鋅鋼筋、工程性質、握裹強度。

### Abstract

Taiwan uses more and more steel structure buildings, and Taiwan is located in an island-type climate zone. High temperature, high humidity, and high salt adhesion are liable to cause corrosion of steel bars. To prevent corrosion of steel bars, consider economic and reasonable anti-corrosion methods. It is one of the effective anti-corrosion methods. The addition of pozzolanic material in concrete can increase durability, improve workability and increase strength. pozzolanic material has been a necessary admixture in concrete, and is widely used in concrete structural engineering. This study discusses the engineering properties of using hot-dip galvanized steel bars in pozzolanic concrete. In this study, the design strength of 280kgf / cm<sup>2</sup>, water-binder ratio (W / B) of 0.5, slag powder and fly ash were used to replace 0%, 10%, 20% and 30%, respectively. After mixing, fresh mix property test and test body production are carried out, and galvanized steel bars and general steel bars are embedded in the concrete test body when the test bodies are manufactured, and the grip strength of the galvanized steel bars and general steel bars is compared. An engineering property test was conducted to explore the effect of galvanized steel bars on pozzolanic

concrete.

When more pozzolanic materials were added, concrete setting time, compressive strength, the velocity of ultrasonic wave, and electric resistance increased and the unit weight decreased. In addition, the force-displacement diagram of the pullout test in the galvanized rebar showed a rather higher slope in comparison with that of regular rebar in both concrete mixes containing pozzolanic materials, which may indicate a better pullout resistance in the use of galvanized rebar. The conclusions of this study provide a good reference of galvanized rebar resistance embedded in concrete containing blast furnace slag and fly ash.

Keywords: pozzolanic concrete, galvanized rebar, engineering properties, bond strength

## 1. 前言

台灣為一海島，地處熱帶 / 亞熱帶，高溫、高濕與高鹽分的存在，造成金屬在大氣中容易腐蝕裂化。由於金屬材料的大氣腐蝕機制主要是受大氣中所含水分、氧氣和腐蝕物質（如雨中的雜質、灰塵、金屬表面沉積物等）聯合作用而產生的破壞 [1]。我國每年因腐蝕造成的損失達新台幣數千億元，可知預防腐蝕之重要性，因為冬季東北季風帶來海上鹽分及中國工業污染因子，環境比海島型氣候還嚴苛，所以容易造成鋼鐵材料腐蝕及混凝土結構的侵蝕，然而因其本身特性使然，使得“銹蝕”無日不時伴隨著我們，並無時無刻地損耗著我們的資源—鋼鐵，又因台灣受海洋性季風的惡劣環境下，“銹蝕”問題較其他國家來的更為嚴重 [2]。鋼鐵材料在空氣和水等自然環境中，容易和介面發生作用，此是鋼鐵材料易於發生腐蝕的主要原因 [3]，雖然這些材料長期受混凝土或油

漆的保護，但常因其施工性因素而致使防蝕能力略顯不足，因此更需要施工簡單且防蝕性佳的方法，熱浸鍍鋅防蝕技術是目前各先進國家使用廣泛的防蝕方法，可有效保護及延長鋼鐵材料之使用壽命鋼鐵材料，為今日人類生活中不可或缺的重要資源 [4]。由於土木建築業的迅速發展，使水泥用量也日益增加，而水泥在製造過程中，會排放大量的二氧化碳，使溫室效應更加嚴重，所以須找出可與水泥性質相近的膠結材料，以減少對環境的衝擊並且達到再生利用之目的，而鋼材腐蝕的防護及減緩是鋼材使用上必須考量的品質，適切的鋼材選擇可以節省日後修繕的花費，而鍍鋅鋼材在防蝕機制上提供的正面效益良多 [5]。鋅金屬始於 1740 年代由歐洲首先進行熔煉獲致；1742 年法國化學家 Moulin 發現使用鋅金屬塗層可保護鋼材免於腐蝕，依據我國熱浸鍍鋅協會統計歷年來國內諸多 RC 結構物使用熱浸鍍鋅鋼筋，如澎湖港埠大橋、馬槽橋、十八王公橋、林口高架橋、台中港、台北國際花卉博覽會夢想館、生活館及未來館等，以降低腐蝕速率延長防蝕年限 [6-8]。

熱浸鍍鋅鋼筋其使用上的主要優點為抗腐蝕性佳，熱浸鍍鋅防蝕方法應用在鋼筋混凝土結構中能有效克制腐蝕行為，經濟實用且耐久性佳，施工不需特別的設備或技術，鍍鋅效果可完全克服氣候，如海岸環境、都市景觀、施工條件及品質管理的問題，生命週期長，廣泛被使用在高腐蝕的鋼筋混凝土結構物中，預鑄構造或暴露於侵蝕環境的結構物以及易遭受侵蝕的內部結構 [9]。台灣每年可生產約 2,000 萬噸的粗鋼，且運用在建築結構將近 100 萬公噸 [4]。熱浸鍍鋅是將金屬構件浸入熱熔金屬中獲得金屬鍍鋅的一種方法，與電鍍、化學鍍相比，熱浸鍍鋅可獲得較厚的鍍鋅層，作為防護鍍鋅層，其耐腐蝕性能大大提升 [3]。據統計資料，2018 年台灣熱浸鍍鋅產量為 298,939 噸 [16]。公共工程委員會推動飛灰、爐石粉等營建資源再生利用於公路工程中，其資源化相當豐碩如火力發建廠所產出飛灰約 170 萬公噸、煉鋼廠所產出之爐石約 400 萬



公噸，產出量回收再生利用，藉此可節省工程成本外，亦可解決砂石料源短缺之問題，且研究顯示添加適當水淬爐石粉或飛灰等工業廢棄物取代水泥或砂，在工程品質或經濟效益都較單在優良 [10-15]。因此本研究針對飛灰及爐石粉使用在混凝土後對鍍鋅鋼筋之影響進一步探討，並對其相關工程性質之影響進行研究。

## 2. 試驗計畫

### 2-1 試驗材料

本研究採用卜特蘭第 I 型水泥，品質符合 CNS 61 規範要求；採用台電興達火力發電廠所產製之 F 級飛灰，其性質符合 CNS 36 之要求規範；採用中聯爐石資源處理公司生產之水淬爐石粉，符合 CNS 12549 規範要求，其物理及化學性質如表 1、圖 1 所示。

骨材採用天然砂石，進行篩分析試驗後得之粒徑分佈曲線符合 ASTM C33 規範，其後分別進行比重、吸水率之基本性質試驗，如表 2 所示。本研究使用一般鋼筋及鍍鋅鋼筋，皆為 SD420W #6 鋼筋進行試驗，鋼筋性質如表 3 及圖 2 所示。

### 2-2 試驗配比與變數

本研究以 ACI 混凝土配比設計法計算設計強度  $280\text{kgf/cm}^2$ ，固定水膠比 (W/B) 0.5，以爐石粉及飛灰等卜作嵐材料分別取代 0%、10%、20% 及 30% 製作混凝土試體，以取代量 0% 之配比為控制組 (F0S0) 與不同取代量之配比進行探討，配比表如表 4 所示。混凝土拌合後即進行新拌性質試驗及試體製作；於齡期 7 天、14 天、28 天、56 天、91 天及 120 天進行硬固試驗及耐久性試驗；於齡期探討 28 天及 91 天鋼筋混凝土握裹力之影響。

### 2-3 試驗項目及方法

#### 1. 新拌性質：

- (1) 坍度：依據 ASTM C143 規範，目的以坍度法測定新拌水泥砂漿之稠度，判斷砂漿之工作度。
- (2) 單位重：依據 ASTM C567 之規定進行，單位重試驗為一般混凝土檢核方式，可檢驗配比設計正確與否。
- (3) 凝結時間：依據 ASTM C4035 規範，測定水泥的標準用水量初凝時間和終凝時間以作為了解水泥性質及混凝土施工時之參考。
- (4) 氯離子檢測：依照 CNS 3090 規範，檢測新拌混凝土之氯離子含量，氯離子含量要小於  $0.3\text{kg/m}^3$ 。

#### 2. 硬固性質：

- (1) 抗壓強度：本試驗使用之抗壓機為 200 噸混凝土抗壓機，依據 ASTM C39 製作  $\text{Ø}10\text{cm} \times 20\text{cm}$  之圓柱試體，以室溫下進行養護至齡期時取出試體，以石膏蓋平，隨後將試體放置於抗壓機上，測得試體強度。
- (2) 握裹強度：依據 CNS 11152 規範，採用 25 噸級萬能材料試驗機 (810-MTS)，最大極限出力能量約可達 35 噸，本系統以加壓油壓補償系統，拉壓速率易於控制，可進而廣泛應用於各種工程材料試驗，如抗壓、抗拉、彎曲試驗、疲勞破壞、破壞力學試驗等。且當溫度提升時會增加軸壓力，此時電腦亦會接收到命令並加以調整至最初所給之軸壓力。試驗時可藉由電腦的控制模組或是由控制面板施行加載動作，其試驗後之數據由電腦加以記錄。
- (3) 超音波波速：依據 ASTM C597 規範，用以量測超音波通過試體內部之時間，依據超音波在不同物質中傳遞速度之特性，了解試體內部狀況。

#### 3. 耐久性質：

- (1) 表面電阻：依據 ASTM C876 規範，藉由量測出的電阻值，可視為混凝土內部孔隙多寡與聯通性的間接指標。當電阻值越大經過試體的電流越少，代表其試體越緻密，耐久性較佳。
- (2) 耐硫酸鹽侵蝕：依據 ASTM C1012 規範，硫酸鹽侵蝕主要成份為脫水硫酸鈉泡成水溶液將試體浸泡在裡面，來觀察其重量損失，混凝土試體製作完成後，待 28 天齡期時放入烘箱以  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  烘乾 24 小時，再把試體浸泡在飽和硫酸鹽中，進行 5 個循環，以量測其重量損失率。

### 3. 結果與討論

#### 3-1 坍度

如圖 3 所示，新拌混凝土之坍度由爐石粉、飛灰同時取代水泥及細骨材時，當爐石粉與飛灰取代量由 10% 提升 30% 時，坍度由 160mm 增加至 225mm，為控制組 (F0S0) 的 1.61 倍，其因爐石表面較水泥不吸附水分，使游離水增加，若在相同拌和下水，坍度略為增加，而飛灰表面為光滑之球形，會在混凝土材料間有滾球潤滑作用，所以使用飛灰可改善混凝土的黏聚性與可塑性而提升工作性。

#### 3-2 單位重

如圖 3 所示，控制組 (F0S0) 單位重為  $2,403\text{kg}/\text{m}^3$ ，當飛灰取代量提高為 30% 時，單位重下降至  $2,367\text{kg}/\text{m}^3$ ，當爐石粉取代量達 30% 時，單位重隨飛灰取代量的提高而逐漸下降至  $2,328\text{kg}/\text{m}^3$ ，為控制組的 0.97 倍，由此可知，單位重隨著爐石粉及飛灰的取代量增加而降低；原因為飛灰之比重較細骨材來的小，因此取代量提升時，混凝土的單位重會逐漸降低。

#### 3-3 凝結時間

如圖 4 所示，凝結時間由爐石粉、飛灰同時取代水泥及粗細骨材

時，爐石粉取代量與飛灰取代量為 0%、10%、20%、30% 時，初凝時間分別為 201min、185min、229min、227min，終凝結時間分別為 314min、356 min、353min、378min，F30S30 配比之初凝及終凝時間較控制組 (F0S0) 分別增加 0.89 倍及 0.83 倍，隨著爐石及飛灰的取代量增加至 30% 時，初凝及終凝結時間分別增加至 227min、378min，時間分別較控制組增加 1.13 倍及 1.2 倍，結果顯示隨著爐石粉、飛灰取代量的增加，初凝及終凝結時間會略為增加，其原因為飛灰的水化是在水泥水化後才發生且具有緩凝效果，導致添加飛灰會延長混凝土的凝結時間減緩強度成長速率。

### 3-4 氯離子含量檢測

如表 5 所示，依據規範 CNS 13465 規定新拌混凝土之氯離子含量檢測皆要小於  $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ ，當爐石粉與飛灰取代水泥與細骨材時，氯離子含量範圍在  $0.035\sim 0.054\text{ kg}/\text{m}^3$  間，氯離子含量皆符合規範  $0.3\text{kg}/\text{m}^3$  以下。

### 3-5 抗壓強度

如圖 5 所示，混凝土設計強度  $280\text{kgf}/\text{cm}^2$  時，其抗壓強度隨著齡期增加而有提高的趨勢，7 天齡期之抗壓強度在  $205\sim 337\text{ kgf}/\text{cm}^2$  間，爐石粉及飛灰取代量為 30% 較控制組高 1.2 倍，由此顯示抗壓強度會隨著取代量的增加而提高；而 28 天齡期時，抗壓強度分別為  $370\sim 442\text{kgf}/\text{cm}^2$  間，爐石粉及飛灰最大取代量為 30% 時，較控制組高 1.1 倍；56 天齡期抗壓強度在  $380\sim 477\text{ kgf}/\text{cm}^2$  間，強度高於控制組 (F0S0) 1.2 倍；91 天齡期時抗壓強度在  $421\sim 499\text{ kgf}/\text{cm}^2$  間，最大取代量強度高於控制組 1.1 倍；而達 120 天晚齡期時，抗壓強度介於  $425\sim 532\text{ kgf}/\text{cm}^2$  間，爐石粉及飛灰最大取代量為控制組 1 倍，晚齡期之抗壓強度成長趨勢趨於平緩。

### 3-6 握裹強度

如圖 6 至圖 7 所示，鋼筋混凝土界面在受到作用力之後產生滑移破

壞，先是微裂縫產生，在作用力逐漸大於界面黏結握裹應力則有小量的滑移，最後形成大裂縫進而滑脫破壞。試驗每組置入鋼筋分為未處理的普通鋼筋及熱浸鍍鋅鋼筋，在混凝土養護 28 天齡期後進行握裹強度試驗，爐石粉、飛灰取代水泥及細骨材之卜作嵐混凝土，在相同位移量下鍍鋅鋼筋最大握裹強度斜率相較於普通鋼筋高，可以由此數據判斷鍍鋅鋼筋握裹強度較佳；控制組之普通鋼筋混凝土及鍍鋅鋼筋混凝土於位移量 3mm 時，握裹強度分別為 3,250psi 及 4,010psi，鍍鋅鋼筋混凝土握裹強度較普通鋼筋高 1.23 倍，而當爐石粉及飛灰取代量增加至 30% 時，普通鋼筋混凝土及鍍鋅鋼筋混凝土於位移量 3mm 時，握裹強度分別為 3,426psi 及 4,398psi，鍍鋅鋼筋混凝土握裹強度較普通鋼筋高 1.28 倍。

### 3-7 超音波波速

如圖 8 所示，一般養護下控制組於 7 天齡期時超音波波速介於 4,231~4,565 m/s 之間；在 14 天齡期時，其超音波波速介於 4,438~4,679m/s 間；在 28 天齡期時，其超音波波速介於 4,582~4,796 m/s 間；當 56 天齡期時超音波波速在 4,627~4,822 m/s 間；而達 91 天晚期齡期時，超音波波速介在 4,680~4,856 m/s 間；在 120 天齡期時，其超音波波速介於 4,713~4,870 m/s 間，顯示爐石粉與飛灰取代部分水及細骨材，使混凝土試體產生卜作嵐反應，提升混凝土的緻密程度，進而達到提升混凝土的耐久性質。

### 3-8 表面電阻

如圖 9 所示，卜作嵐混凝土不同齡期表面電阻值之關係，隨著爐石粉及飛灰取代量的增加，表面電阻值逐漸增加，7 天早期齡期時表面電阻值介於 8.3~10.5k $\Omega$ -cm 之間，最大取代量較控制組高 1.1 倍；而 14 天齡期之表面電阻值在 8.6~19k $\Omega$ -cm 間，最大取代量較控制組高 2.2 倍，差距逐漸增加；在 28 天齡期時，其表面電阻值介於 9.3~36 k $\Omega$ -cm 間，最大取代量時較控制組高 3.2 倍；當 56 天齡期時表面電阻

值在 8.8~68.1 kΩ-cm 間，最大取代量較控制組高 7.7 倍；91 天期齡期時，表面電阻值介在 11.9~89.8 kΩ-cm 間，最大取代量較控制組高 7.5 倍；達 120 天晚期齡期時，表面電阻值介在 12.8~97.9 kΩ-cm 間，最大取代量較控制組高 7.6 倍，爐石粉及飛灰取代部分水泥及細骨材，在表面電阻方面有良好的表現，提升混凝土抗蝕能力。

### 3-9 耐硫酸鹽侵蝕

試驗結果如圖 10 所示，養護 28 天齡期時進行硫酸鹽浸泡記錄其損失重量，控制組為 4.84%、爐石粉及飛灰取代量 10% 時為 2.81%、爐石粉及飛灰取代量 20% 時為 2.11%、爐石粉及飛灰取代量 30% 時為 2.89%；後續侵入量較低，在試驗 5 循環後爐石粉及飛灰組雖損失重量相差不多但表面完好，後續硫酸鹽容易入侵量較低，在試驗中的反應階段因有添加較多的爐石及飛灰，故在硫酸鹽侵蝕方面停留在膨脹階段沒有崩解之現象，顯示耐久性能力的上升。

## 4. 結論

- (1) 新拌性質混凝土坍度各配比皆有達到設計規範之坍度值，且飛灰、爐石粉卜作嵐材料最大取代量坍度提高至 225mm，較控制組提高了 85mm，其因爐石表面較水泥不吸附水分，使游離水增加，若在相同拌和下水，坍度略為增加，而飛灰表面為光滑之球形，會在混凝土材料間有滾球潤滑作用，所以使用飛灰可改善混凝土的黏聚性與可塑性而提升工作性。
- (2) 單位重方面隨著爐石粉及飛灰取代量的增加，單位重有明顯之下降趨勢，爐石粉及飛灰最大取代量 30% 時，較控制組少了 75kg/m<sup>3</sup>，原因為飛灰之比重較細骨材來的小，因此取代量提升時，混凝土的單位重會逐漸降低。
- (3) 凝結時間因爐石粉及飛灰取代下大幅延長，爐石粉取代 30% 及飛灰

取代 20% 為最長之凝結時間，其凝結時間高達 384min，相較控制組增加了約 1.2 倍之時間；而因飛灰的水化是在水泥水化後才發生，所以添加飛灰會延長混凝土的凝結時間減緩強度成長速率。

- (4) 各配比於硬固性質中，抗壓強度皆隨齡期增加而增加，各配比皆符合設計強度要求，添加飛灰及爐石粉之一般混凝土配比，於晚齡期抗壓強度皆優於傳統混凝土。
- (5) 混凝土添加飛灰、爐石粉因卜作嵐反應有助於提高握裹強度，28 天齡期鍍鋅鋼筋混凝土握裹強度比無鍍鋅鋼筋高，又以 F10S10 配比握裹強度結果較良好。
- (6) 超音波速與表面電阻皆隨著齡期的增加而提高，於添加飛灰及爐石粉混凝土相較於傳統混凝土有較高超音波波速成長趨勢，顯示爐石粉與飛灰取代部分水及細骨材，使混凝土試體產生卜作嵐反應，提升混凝土的緻密程度，進而達到提升混凝土的耐久性質。

## 參考文獻

- [1] 邱永芳、謝明志、陳桂清、羅建明、柯正龍，「台灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報簡介」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，102 年度防蝕工程年會暨論文摘要手冊，第 66 頁，2013。
- [2] 第 8 屆亞太熱浸鍍鋅國際會議熱浸鍍鋅工程影像競賽，熱浸鍍鋅雜誌，04 頁，2010。
- [3] 胡文虎，熱浸鍍鋅技術手冊，中華民國熱浸鍍鋅協會，2016。
- [4] 蔡明達、李祐承，熱浸鍍鋅在土木建築之應用概況，社團法人中國土木水利工程學會會刊，第四十三卷，第四期，第 31~38 頁，2016。
- [5] E Pimentel, The Performance of Galvanized Steel in Coastal

- Environments，熱浸鍍鋅雜誌，第 21~32 頁，2010。
- [6] 中華民國熱浸鍍鋅學會，<http://www.galtw.org.tw/info.htm>，2004。
- [7] 林清俊，「鋼筋表層防蝕處理對鋼筋混凝土握裹行為影響之研究」，碩士論文，國立海洋大學河海工程研究所，2001。
- [8] 蔡明達，「熱浸鍍鋅鋼結構在花卉博覽會之應用」，帷幕牆會刊，第 41 期，第 45~53 頁，2011。
- [9] The use of galvanized reinforcement in building and Construction ZALAS(Zinc and Lead Asian Service)，熱浸鍍鋅雜誌，第三期，第 24~33 頁，1988。
- [10] 黃兆龍，賴正義，謝素蘭，「高飛灰量混凝土之製作與性質」，台電工程月刊，第 737 期，2000。
- [11] R.Tarun,Nailk,S.Shiw,Singh,and M.Mohammad,Hossain,Abrasion Resistance of High-Strength Concrete Made by with Class C Fly Ash,ACI Materials Journal,1995.
- [12] 黃兆龍，「卜作嵐混凝土使用手冊」，財團法人中興工程顧問社，2007。
- [13] 林志忠，王和源，「熱浸鍍鋅鋼材在公路工程之應用」，熱浸鍍鋅，第 60 期，第 12~24 頁，2018。
- [14] 江漢源，「溫泉環境混凝土工程性質之研究以四重溪為例」，碩士論文，國立高雄應用科技大學，2014。
- [15] 林冠婷，「卜作嵐混凝土採用熱浸鍍鋅鋼筋工程性質之研究」，碩士論文，國立高雄應用科技大學，2015。
- [16] 「台灣批件式熱浸鍍鋅產業 2018 回顧」，熱浸鍍鋅雜誌，中華民國熱浸鍍鋅學會，第 66 期，第 1~3 頁，2019。



表 1、材料物化性質

材料	水泥	爐石粉	飛灰
物理性質 比重	3.15	2.91	2.26
化學性質 (%)			
SiO <sub>2</sub>	20.22	33.47	48.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.96	14.79	38.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.83	0.40	4.58
CaO	64.51	41.61	2.84
MgO	2.33	6.11	—
SO <sub>3</sub>	2.46	0.65	—
K <sub>2</sub> O	—	—	1.16
Na <sub>2</sub> O	—	—	0.20
TiO <sub>2</sub>	—	—	1.42
LOI (燒失量)	2.4	—	5.38

表 2、粗細材料物理性質

骨材性質	粗骨材	細骨材
密度	2.67	2.63
吸水率 (%)	1.27	1.02
細度模數 (FM)	6.52	3.00

表 3、鋼筋性質

竹節鋼筋	標示代號	單位質量 (W)	標稱直徑 (d)	標稱剖面積 (S)	標稱周長 (L)	節之尺度			鍍鋅層厚度 (mm)	
						節距平均值 (P) 最大值	結之高度 (a)			單一間隙寬度最大值 (b)
							最小值 (mm)	最大值 (mm)		
D19	6	2.25	19.1	2.865	6.0	13.3	1.0	2.0	7.5	0.48

表 4、配比單位重

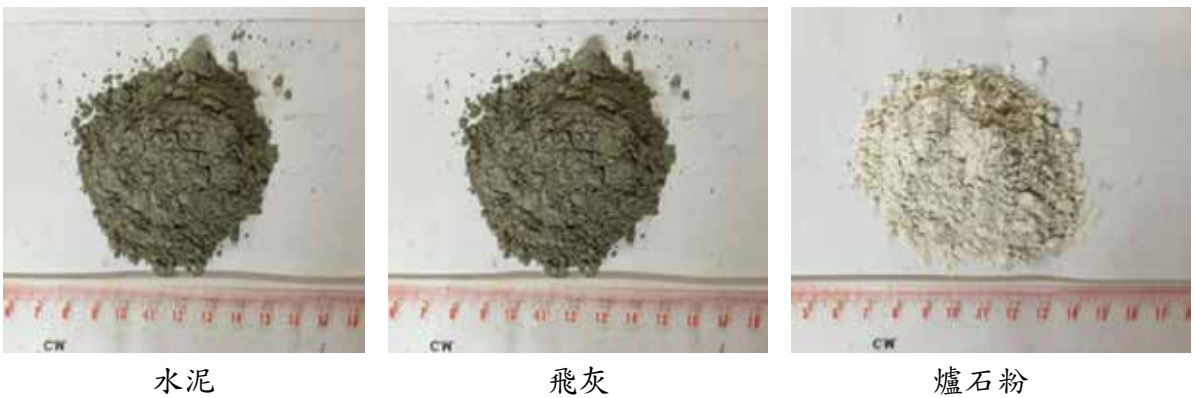
Unit : kg/m<sup>3</sup>

N.O.	水膠比	水泥	拌合水	飛灰	爐石粉	細骨材	粗骨材
F0S0	0.5	400	215	—	—	733	960
F10S10		360	215	73	40	660	960
F20S20		320	215	147	80	586	960
F30S30		280	215	220	120	513	960

註 :F0S0 為控制組

表 5、氯離子含量檢測試驗

配 比	氯離子含量 (kg/m <sup>3</sup> )
F0S0	0.049
F10S10	0.043
F20S20	0.053
F30S30	0.037



水泥

飛灰

爐石粉

圖 1、試驗材料



圖 2、普通鋼筋及鍍鋅鋼筋外觀

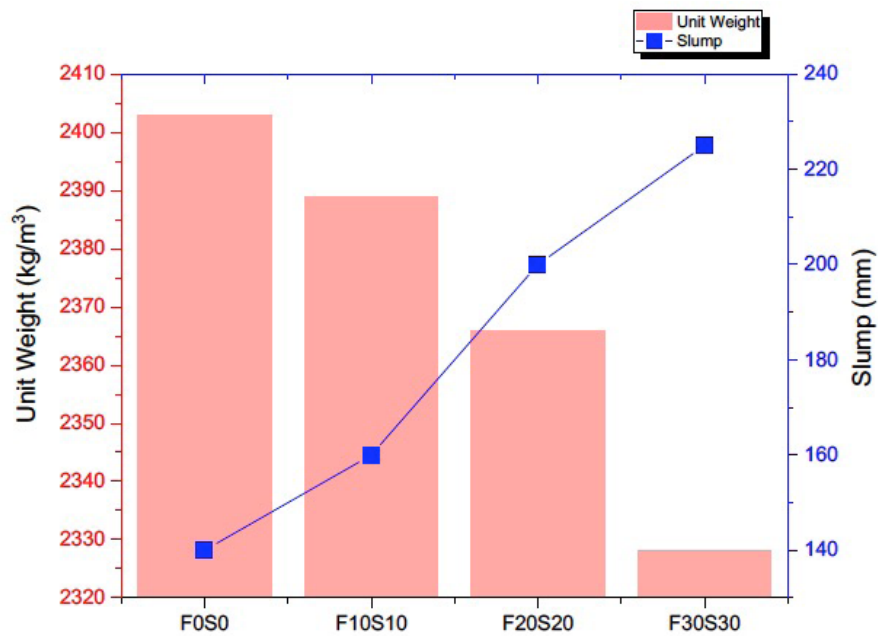


圖 3、卜作嵐混凝土之坍度 (Slump) 與單位重變化

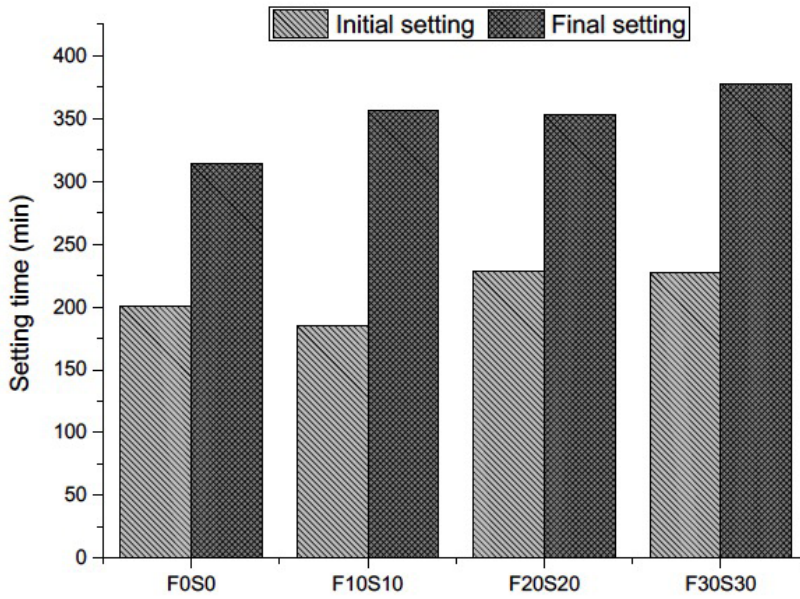


圖 4、卜作嵐混凝土之凝結時間 (Setting time)

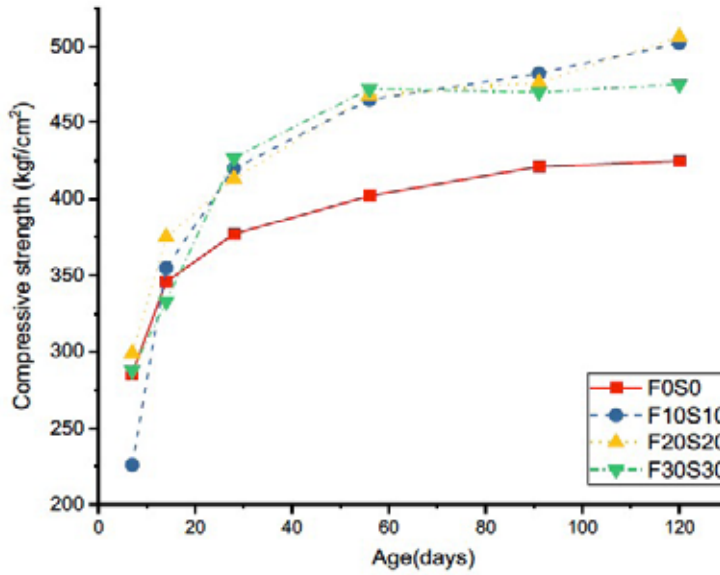


圖 5、卜作嵐混凝土於不同齡期 (Age) 之抗壓強度

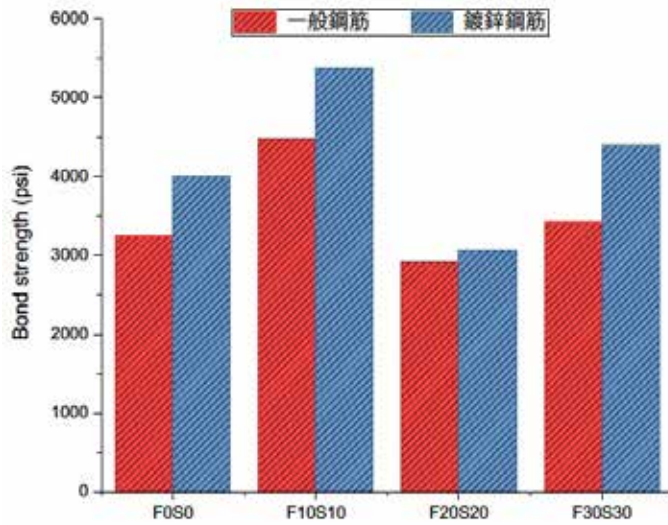


圖 6、養護齡期 28 天之卜作嵐鋼筋混凝土握裹強度

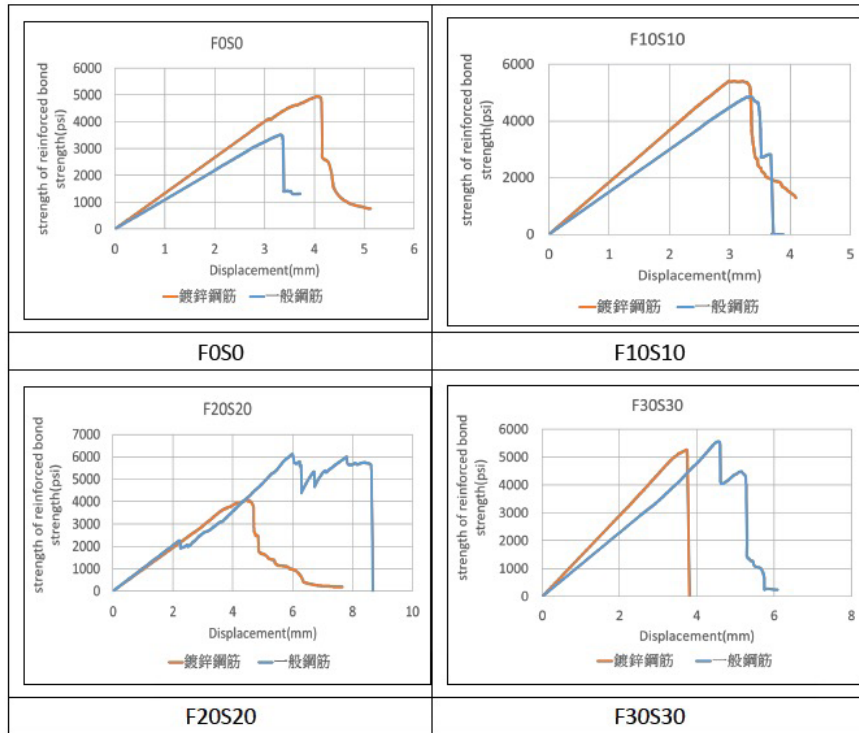


圖 7、齡期 28 天之卜作嵐混凝土之握裹—滑移量關係圖

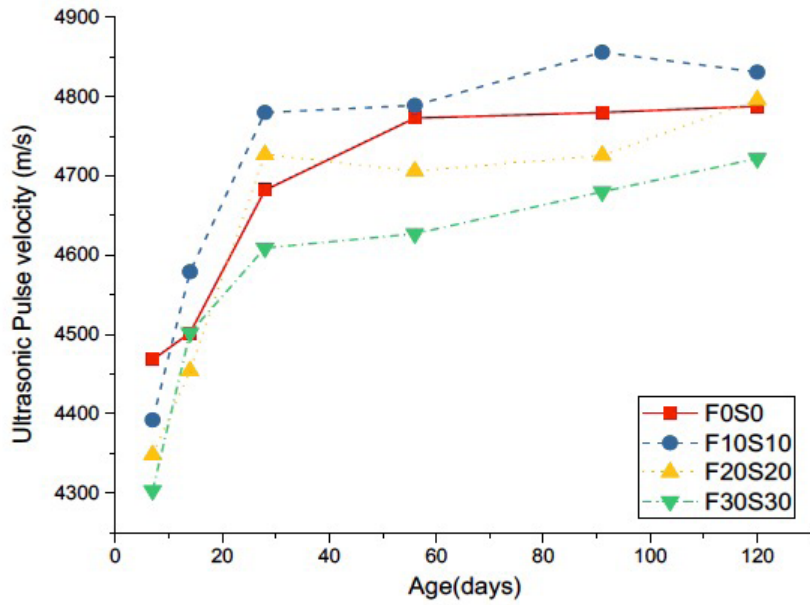


圖 8、卜作嵐混凝土之超音波波速

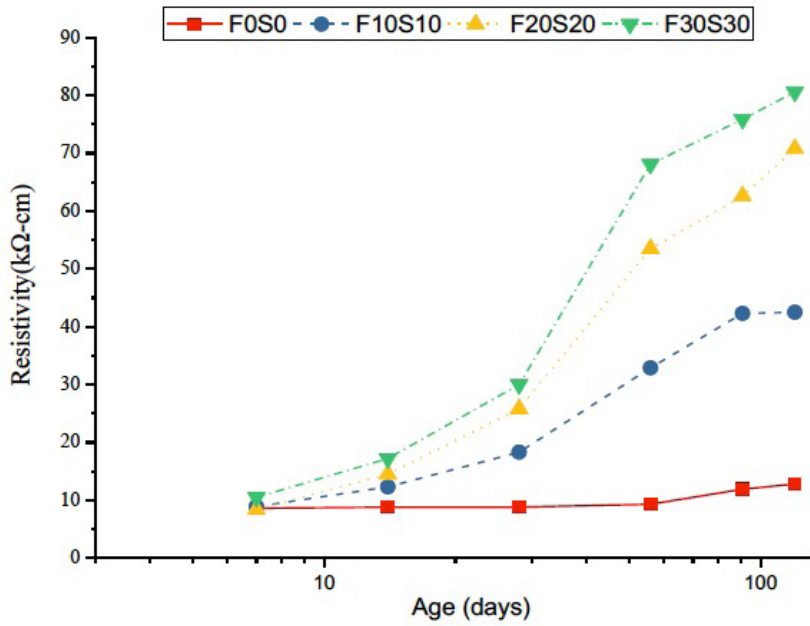


圖 9、卜作嵐混凝土之電阻

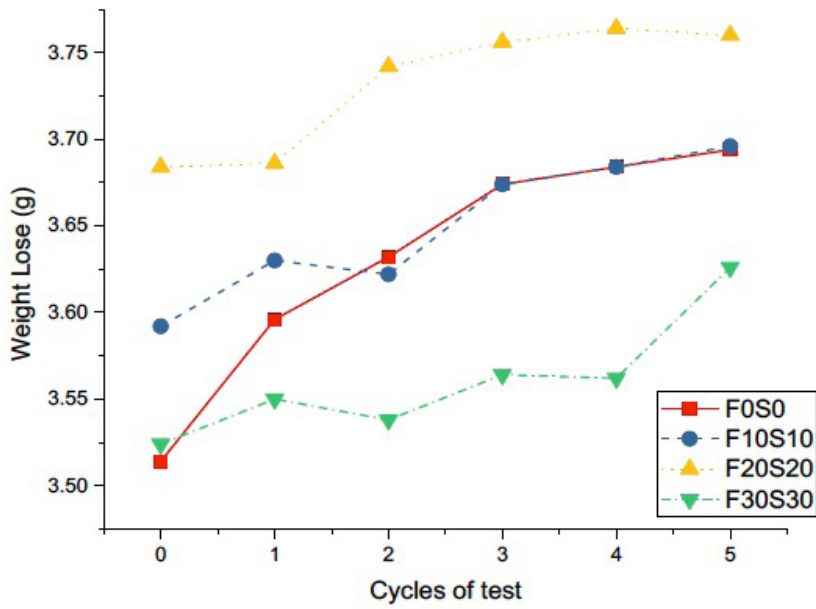


圖 10、卜作嵐混凝土耐硫酸鹽侵蝕浸泡試驗重量損失重

## 高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫 CL121 標潮州機廠主體工程

何芳元<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 易宏熱鍍鋅工業股份有限公司 協理



業主單位：台灣鐵路管理局專案工程處  
 設計監造：台灣世曦工程顧問股份有限公司  
 營造公司：德昌營造股份有限公司  
 鋼構製造：長榮鋼鐵股份有限公司  
 鍍鋅單位：易宏熱鍍鋅工業股份有限公司  
           慧鋼企業股份有限公司  
           盟雅工業股份有限公司  
 鍍鋅數量：18,100 公噸



## 一、前言

高雄機廠，為台灣鐵路管理局位於高雄市鳳山區之維修機廠，主要業務是維修台鐵各式無動力客車及貨車車廂，為南台灣最大的車廂維護廠房，也是台鐵三大機廠之一以及維修配件材料修製供應之重要基地。因應高雄市區鐵路地下化、高雄捷運環狀線及高雄臨港線停駛後的車輛維修需求，高雄機廠、南區供應廠(材料廠)、高雄機務段、高雄檢車段與高雄港檢車分段等規劃遷建至屏東縣潮州鎮的潮州車輛基地，新址面積約 52 公頃；計畫名稱為「高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫」。

## 二、潮州車輛基地鍍鋅產品應用

潮州車輛基地規劃包括鐵道文物展示區、生態保育區、主體修車廠、南區供應廠、辦公大樓及活動中心。

整個規劃案採用熱浸鍍鋅產品部分，採用熱浸鍍鋅部分涵蓋主體修車廠、南區供應廠等廠房(如圖 1、2)及外露之鋼鐵結構件。



圖 1、主體修車廠、南區供應廠吊裝



圖 2、主體修車廠、南區供應廠吊裝

由於廠房荷重及跨距大，很多構件超出鍍鋅爐尺寸，所以部分鋼構件採取二次鍍鋅方式處理（如圖 3、4 先鍍一半再鍍另一半）、大於鍍鋅爐尺寸部分鋼構件則採取先鍍後銲（如圖 5、6 需銲接部位於鍍鋅前先做不鍍鋅處理），再到工地與鍍鋅完成柱體（如圖 7）銲接組立，組立後針對銲接表面再依 CNS 15257 H 3173 熱浸鍍鋅層損傷及裸點修補規定方式進行修補。



圖 3、先鍍一半再鍍另一半



圖 4、先鍍一半再鍍另一半



圖 5、銲接部位鍍鋅前先做不鍍鋅處理

圖 6、銲接部位鍍鋅前先做不鍍鋅處理



圖 7、鍍鋅完成柱體

一般結構件在設計熱浸鍍鋅防蝕時，常碰到結構件尺寸大於國內鍍鋅爐最大尺寸，從這些案例中，只要能於設計時先與鍍鋅業者討論，或洽詢熱浸鍍鋅協會，應都可以得到好的解決方案。

#### 三、結論與建議

- (一) 現在很多鋼鐵建築結構造型多變，且尺寸也大型化，當選用熱浸鍍鋅防蝕時，受限於鍍鋅爐尺寸問題，可於設計時先洽詢鍍鋅協會，相信都可以獲得適切的解決方案之建議。
- (二) 由於對大型公共工程建設的使用壽命要求提升與後續維護保養日益受到重視，且熱浸鍍鋅對鋼鐵材料的防蝕保護能力，讓越來越多人認識、肯定並廣泛運用於各種鋼鐵建材上，這對其使用壽命的延長、減低維護成本及工程品質的提升是正面的。
- (三) 相關熱浸鍍鋅的規範已日趨完備，可提供設計人員及業主參考及運用，以解決工程設計遭遇之問題及作為施工驗收時的依據，滿足業主的的要求。
- (四) CL121 標 - 潮州機場主體工程案例因廠房跨距大、載重大，透過事前充分針對施工方式的討論與溝通，採用很多構件先進行鍍鋅作業後再對接或現場組銲，使得專案中相關作業的瓶頸均能順利克服完成。

## 2019 年度熱浸鍍鋅產量統計表（產業別）

類別 年月	生產類別（單位：噸）												
	公路	鐵路	電力能源	通訊	石化業	營建	農業	環保	科技	造船	下水道工程	其他	合計
2019年1月	2,429	2,667	3,534	726	3,689	6,614	589	653	1,670	349	699	3,126	26,745
2019年2月	1,252	1,771	2,107	411	2,945	3,352	451	543	470	197	411	1,880	15,790
2019年3月	2,216	2,198	3,332	640	4,250	5,453	597	574	1,555	369	552	2,501	24,237
2019年4月	2,053	1,453	3,707	614	5,371	5,485	688	540	1,638	340	616	2,584	25,089
2019年5月	2,200	1,412	3,658	585	4,327	5,952	664	570	1,575	319	584	3,063	24,909
2019年6月	2,197	1,585	3,334	407	3,891	4,714	669	574	1,340	474	608	3,369	23,162
2019年7月	2,415	1,411	3,797	447	3,902	6,355	715	705	1,810	420	758	3,740	26,475
2019年8月	2,931	1,650	3,425	419	3,859	6,265	646	717	1,538	477	676	3,110	25,713
2019年9月	2,751	1,823	2,966	371	3,450	6,225	662	735	1,425	477	726	2,804	24,415
2019年10月	2,285	1,395	3,492	419	4,153	6,044	608	733	1,373	500	620	3,537	25,159
2019年11月	2,530	1,425	3,405	579	4,077	7,135	630	669	1,531	495	485	2,491	25,452
2019年12月	2,851	1,518	3,612	595	4,018	7,748	596	624	1,464	582	634	2,673	26,915
合計	28,110	20,308	40,369	6,213	47,932	71,342	7,515	7,637	17,389	4,999	7,369	34,878	294,061
月平均	2,343	1,692	3,364	518	3,994	5,945	626	636	1,449	417	614	2,907	24,505

## 2019 年度熱浸鍍鋅產量統計表（產品別）

類別 年月	生產類別（單位：噸）																										
	H型鋼	鋼管	鋼橋	花板	角鋼	護欄板	槽鋼	線槽	鋼網	C型鋼	鐵板	欄杆	彎頭及配件	燈管	輕鋼橫樑	格柵板	鋼筋	電力配件	電信配件	鍛造花窗	螺帽	螺絲	華司	鏈條	鐵配件	其他	合計
1月	9,054	3,659	188	813	2,008	30	1,172	252	278	1,100	591	671	463	447	82	1,648	330	309	234	449	240	492	92	35	558	1,550	26,745
2月	5,335	2,089	227	402	1,035	23	615	190	168	913	330	411	260	332	64	849	269	207	128	288	82	324	56	3	350	840	15,790
3月	8,022	3,594	181	594	1,643	26	1,015	230	327	1,273	678	520	418	476	69	1,492	348	252	189	351	110	485	83	28	560	1,273	24,237
4月	8,396	3,610	335	604	1,755	29	1,004	240	380	1,049	657	646	394	465	117	1,573	395	343	215	377	165	409	51	16	504	1,360	25,089
5月	9,053	3,373	149	538	1,561	31	936	265	348	1,074	621	587	431	486	145	1,540	328	389	215	401	149	468	48	26	582	1,165	24,909
6月	8,121	3,041	170	602	1,374	33	943	278	358	987	675	651	396	518	94	1,494	609	319	255	411	127	426	56	20	321	883	23,162
7月	9,543	4,061	150	618	1,432	39	955	305	394	1,044	624	697	438	485	160	1,674	613	292	281	466	154	498	62	21	282	1,187	26,475
8月	8,508	3,801	152	565	1,436	36	923	298	325	1,294	776	692	412	644	132	1,522	756	359	217	545	169	467	56	21	380	1,227	25,713
9月	8,434	3,224	246	520	1,398	34	996	276	351	869	966	579	380	529	131	1,468	1,053	326	223	448	177	449	160	6	304	868	24,415
10月	9,153	3,335	215	543	1,283	31	817	282	284	935	905	564	336	543	219	1,648	529	345	221	430	172	488	54	33	503	1,291	25,159
11月	9,367	3,876	212	540	1,430	21	766	190	405	1,122	806	626	309	413	170	1,358	411	301	213	436	209	488	101	23	351	1,308	25,452
12月	10,058	4,317	301	614	1,164	29	838	242	327	921	781	658	371	490	157	1,566	627	297	240	440	153	538	82	28	332	1,344	26,915
合計	103,044	41,980	2,526	6,953	17,519	362	10,980	3,048	3,945	12,581	8,410	7,302	4,608	5,828	1,540	17,832	6,268	3,739	2,631	5,042	1,907	5,532	901	260	5,027	14,296	294,061
月平均	8,587	3,498	211	579	1,460	30	915	254	329	1,048	701	609	384	486	128	1,486	522	312	219	420	159	461	75	22	419	1,191	24,505

調查單位：中華民國熱浸鍍鋅協會

提供單位：臺鍍觀音廠、力鋼、邦凱、台塔、尚燁、昕一、盟雅、由仁、臺鍍台南廠、臺鍍高雄廠、慧鋼、易宏、亨欣、慈陽等共計 14 家工廠。

## 中華民國熱浸鍍鋅協會合格熱浸鍍鋅廠商名冊

編號	公司名稱	鍍鋅爐尺寸	通訊住址	連絡電話	有效期限
1	台灣鐵塔股份有限公司	14.0×1.8×2.2	325桃園市龍潭區八德里湧光路一段136號	03-4792201	109.09.30
2	臺鍍科技股份有限公司觀音廠	16.0×1.8×3.0	328桃園市觀音區成功路2段919號	03-4837966	109.09.30
3	臺鍍科技股份有限公司高雄廠	12.5×1.5×2.3	821高雄市路竹區中山路259號	07-6973181	109.09.15
4	慧鋼企業股份有限公司	16.5×1.8×3.3	820高雄市岡山區嘉新東路2號	07-6226978	109.09.15
5	力鋼工業股份有限公司	12.5×1.8×2.5	324桃園市平鎮區東勢里19鄰快速路一段246巷158號	03-4503511	109.09.30
6	易宏熱鍍鋅工業股份有限公司	17.0×1.8×3.2	831高雄市大發工業區大有三街15號	07-7873377	110.01.15
7	亨欣工業股份有限公司	13.0×1.8×3.3	812高雄市小港區永光街2-2號	07-8068007	110.01.15
8	盟雅工業股份有限公司	14.0×1.9×3.2	521彰化縣北斗鎮四海路二段1號	04-8880775	110.01.15
9	尚燁工業股份有限公司	13.0×2.0×3.2	338桃園市蘆竹區蘆竹里蘆竹街147號	03-3221411	110.05.15
10	由仁工業股份有限公司	13.0×1.85×2.7	507彰化縣線西鄉寓埔村彰濱東8路7號	04-7900255	110.05.25
11	邦凱工業股份有限公司	13.2×1.6×2.5	328桃園市觀音工業區工業二路26號	03-4837373	110.06.15

※說明：

- 1、本表熱浸鍍鋅合格廠係由本會熱浸鍍鋅合格認證委員會委員，依據熱浸鍍鋅合格認證制度規程及合格認證基準審查通過，認定為本會熱浸鍍鋅合格廠，每次認證期限為2年，2年後得更新提請認證。
- 2、本表將於本會網站及每期熱浸鍍鋅雜誌刊登。
- 3、本會熱浸鍍鋅合格認證委員會成員如下：

### 本會熱浸鍍鋅合格認證委員會成員

主任委員	胡文虎	前內政部營建署材料試驗室主任
委員	陳嘉昌	財團法人金屬工業研究發展中心組長
委員	羅俊雄	工業技術研究院資深工程師

### 熱浸鍍鋅加工建議價格表

項目 單價	橋梁		鋼筋		廠房結構		格柵板	鋼材 (標準尺寸)	護欄板	標誌架
	箱型	I型梁	直筋	箍筋	H	箱梁				
單價 (元/公斤)	9~12	9~12	12~13	14~16	9~11	10~12	13~15	12~14	15~17	14~16

備註：

- 1.本建議價格將在本會網站及每期鍍鋅雜誌刊登，係以當時鋅原料價格(2018年03月)加上合理利潤算出。
- 2.本建議價格包含熱浸鍍鋅前處理部份，並以一次鍍作完成為準，不包含額外包裝及運輸費用。

## 熱浸鍍鋅結構物設計要點

### 密閉結構物無法進行熱浸鍍鋅作業

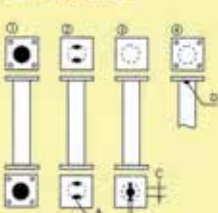
中空之製品，有密閉和未密閉空氣流通孔之構造物，鍍液在(440℃)之密度約4.7g/cm<sup>3</sup>，鍍液在此時浮力最大，所以結構物無法作業。

### 密閉結構物會產生爆炸之危險

焊接有缺陷之地方，水份會滲入內部後，在熱浸鍍鋅時其體積會膨脹到3000倍以上，內部壓力會一瞬間上升到10個氣壓以上，也就是說會產生「水蒸氣爆炸」鍍件會發生破裂，若鍍液會飛濺到人身上，而造成工作人員之危險。

### 管件加工品

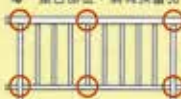
#### 素材加工品



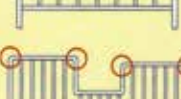
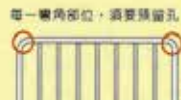
- ①: 應存精細拋光品。
  - ②: 切邊大小應讓30%以上開放，直徑如果未達到76mm以下，則必須讓45%以上。
  - ③: ②及③狀況時，則在本圖180°之位置切角
- 切角之方法：  
 例：直徑152cm  
 A=半徑44mm    B=寬度19mm  
 C=直徑76mm    D=半徑41mm

#### 平面的加工品

每一接合部位，須有預留孔。



每一接合處之開孔，內部需要貫通。



通氣孔應可能的在直角內側，依直徑之大小預留孔8~30#，孔徑之大小=直徑×0.25，最低以8#以上。

#### 立體的加工品

立體與平面加工部份，和直角均應預留孔。



通氣孔應可能的在直角內側，依直徑之大小預留孔8~30#，孔徑之大小=直徑×0.25，最低以8#以上。

### 型鋼加工品

#### H型鋼加工品



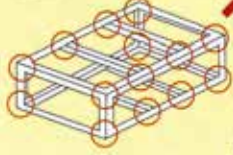
鋼材加勁板切角之大小為15R~35R左右(備用於H-100~H-300之型鋼)

#### 平面的加工品



上圖之例，在每一轉角處，因會積留空氣含鍍液，故在a-a'和b-b'之處開通氣孔。

#### 立體的加工品

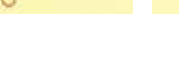
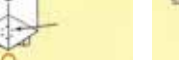
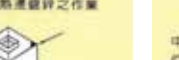
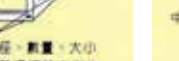
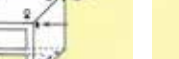
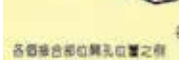
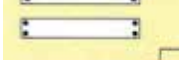


### 角管加工品

#### 平面的加工品



通氣孔必須儘可能接近轉角處



#### 立體的加工品



### 重疊接合的製品

點焊時，焊接部位的開縫，鍍液，會因水份滲入，而在熱浸鍍鋅時產生生鏽不上，鍍水會滲出表面的現象，且更會因所含之水份而生成腐蝕之現象，致使焊接部位因而產生裂縫。

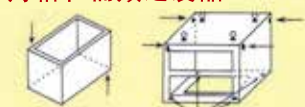
所以平面的接合部位，必須清除全部的水氣，而以全周銲接合，另外重疊二片鋼板之接合時，如因不同厚度之關係，鍍液後可能會發生變形、龜裂之現象。

全周銲接(4點) 直徑在20~200mm以下全周銲  
直徑在201~200mm以上，應選擇全周銲

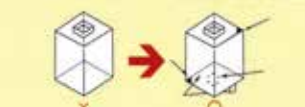


重疊部位 必須防止技巧

### 角箱和桶類之製品



視箱之大小，來決定通氣孔孔徑、數量、大小之不同；另須銲接箱蓋，以利用熱浸鍍鋅之作業



### 管徑內有補強板之製品



中央部位開孔和角落部位開孔之大小如右表：

管之尺寸 (H×W)mm	中央孔和角落 孔之直徑φ
80以上	33以上
400~410不銹	30以上
200~400不銹	40以上

# 亨欣工業股份有限公司

HENCEFORTH SHINE INDUSTRY CORP

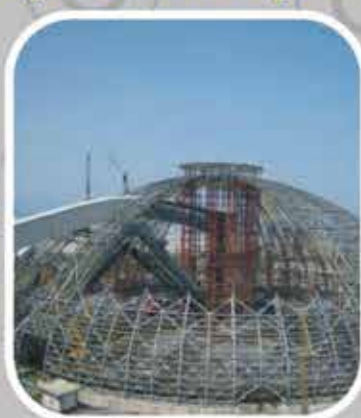


- 鍍鋅槽：W1.8M H3.3M L13M
- 每月產能5000噸 ● 單一構件最大負重14噸
- 自結構物到鋼管，各種形狀的鍍鋅構件都可以鍍作

**ISO 9001(2000年版)國際品質保證**



天恩寺



花蓮和平電廠



公共管架



台塑德州案鍋爐鋼構工程

高雄市小港區永光街 2 - 2 號

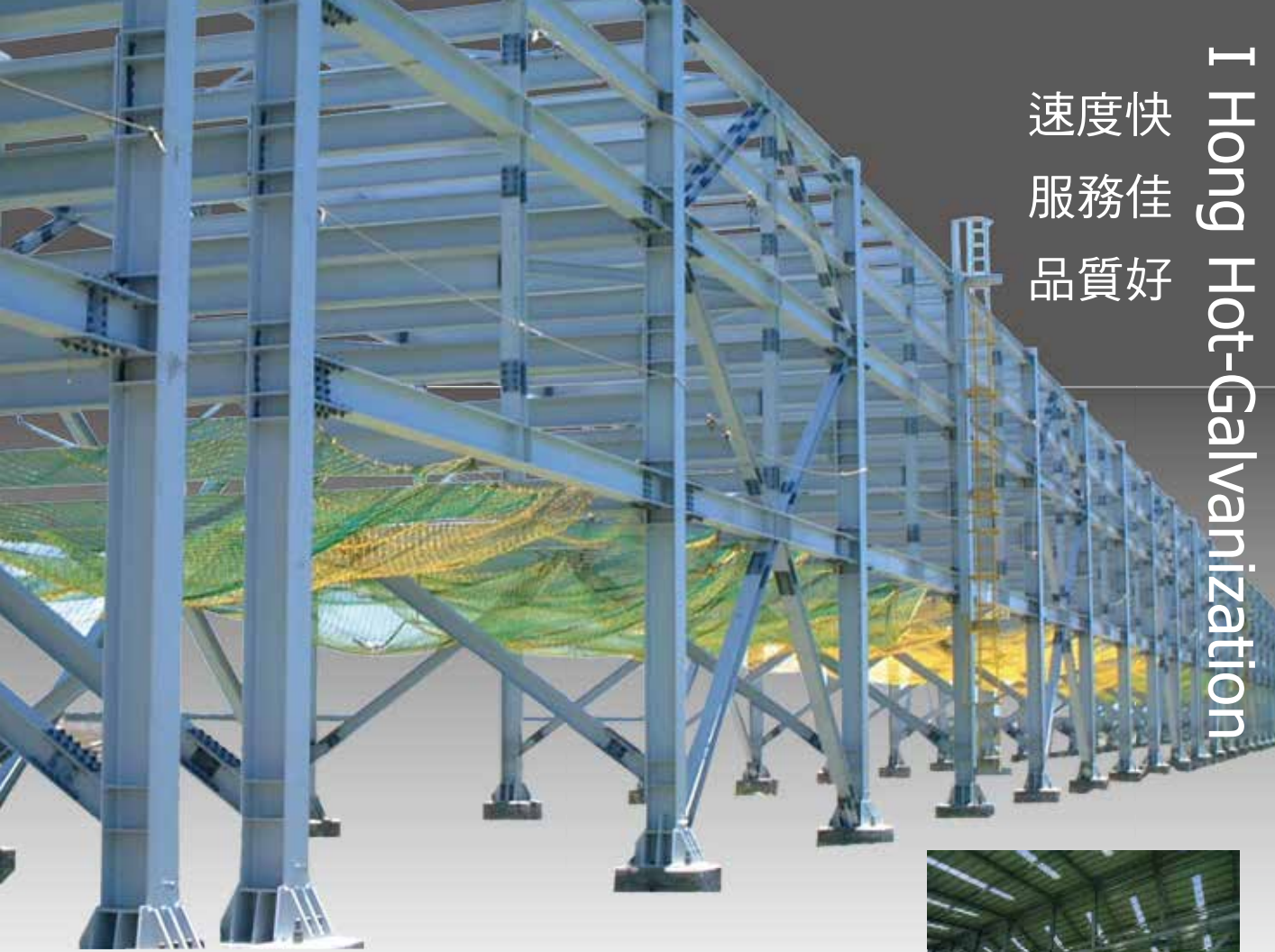
TEL:886-7-8068007 FAX:886-7-8062466

ADD:NO. 2-2 Yung-Kwang st. Kaohsiung Taiwan R.O.C.

E-mail:hen.shin@msa.hinet.net



速度快  
服務佳  
品質好



- 鍍鋅爐：長17M×寬1.8M×高3.2M
- 最大鍍鋅構件：30噸
- 最大產能：每月8000噸以上
- 廠區面積：8000坪
- LRQA ISO 9000 · ISO 14001 · OHSAS 18001 認證通過
- 台電 · 中船 · 中鋼 · 中油 · 鐵路局
- 台塑審定合格



## 服務項目

鑄造鍛造 · 型鋼鐵材 · 鋼管鋼材  
 養殖農畜 · 鋼架結構 · 公路護欄  
 電力電訊



易宏熱鍍鋅工業股份有限公司  
 I Hong Hot-Galvanization Industrial Co., Ltd.

高雄市大寮區大發工業區大有三街15號  
 No. 15, Dayou 3rd St., Da-Fa Industrial Park, Kaohsiung County  
 TEL : 886-7-7873377  
 FAX : 886-7-7873380  
 E-mail : ihong@ms19.hinet.net



# 臺鍍科技股份有限公司

## tg co., ltd.

防蝕專家 三重保證—品質、服務、創新



鹿港福興橋



桃園展演中心



台灣歷史博物館  
光電雲牆



真理大學  
體育館

### 鍍鋅爐尺寸

桃園廠：16m×1.8m×3.0m / 3.0m×0.7m×1.0m

高雄廠：12.5m×1.5m×2.3m

台南廠：4.5m×1.2m×1.8m / 3.7m×0.8m×1.2m

單件最大荷重能力→桃園廠：40噸 / 高雄廠：10噸

本公司榮獲 ISO 9001 品質認證專業熱浸鍍鋅廠商

#### 熱浸鍍鋅特點：

- 耐腐蝕性強
- 經濟效益高
- 耐用年限長
- 省時又省力

#### 適用範圍：

鋼構橋梁、鋼構廠房、道路護欄板、  
格柵板、路燈、標誌桿、螺栓、螺帽  
、華司及其他鋼鐵配件。



總公司：台北市松山區南京東路三段287號5樓  
Tel：02-25617665 Fax：02-27123686  
網址：<http://www.tgnet.com.tw>  
E-mail：tgpark@ms32.hinet.net

桃園廠：桃園市觀音區成功路二段919號  
Tel：03-4837966 Fax：03-4837735  
E-mail：tg.ky@msa.hinet.net

高雄廠：高雄市路竹區中山路259號  
Tel：07-6973181 Fax：07-6966311  
E-mail：tg01@ms24.hinet.net

台南廠：台南市山上區明和里北勢洲76號  
Tel：06-5783702 Fax：06-5783550  
E-mail：hyg@tgnet.com.tw

# 盟雅工業股份有限公司

MENG YEA INDUSTRY CO., LTD

## 熱浸鍍鋅專業處理



日月潭纜車鋼結構



台北捷運內湖車站



台中大肚溪水管橋



台塑六輕輸油管架

### 公司簡介

- 鍍鋅爐：長14米、寬1.9米、深3.2米
- 最大產能：每月5000公噸
- ISO 9001：國際品質認證

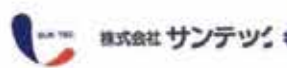
### 服務項目

- 鋼構廠房、鋼構橋樑
- 型鋼鐵材、農業溫室
- 公共工程、電信電力

地址：彰化縣北斗鎮四海路二段一號(北斗工業區) 服務電話：04-8880775~7 傳真：04-8872307

安全第一 品質至上 技術為先

# 信譽的標誌 鐵塔 · 橋樑名廠



住電朝日精工株式会社  
SUMIDEN ASAHI INDUSTRIES, LTD.



株式会社 巴コーポレーション  
TOMOE CORPORATION



佐賀工業株式会社



高鐵車站天花板



輸電鐵塔



太魯閣砂卡礑溪鐵橋



防止墜落裝置



高鐵輸配電鋼架



大型鋁合金太陽光電板架



高鐵隧道內外鋼模台車



板橋國中太陽光電結構

## 營業項目：

1. 輸電鐵塔、微波鐵塔、鋼管樁、鋼骨結構、各類鐵塔
2. 輸送機械、停車塔、標準廠房、空間桁架、拱橋
3. 隧道棧橋、防水布台車、鋼筋台車、鋼模作台車、棧橋
4. 鐵路及高鐵輸配電鋼構、防音構造、其他鐵件製品
5. 防墜裝置、電器承裝、太陽光電板架及熱浸鍍鋅加工等。



力鋼工業股份有限公司  
LIH KANG INDUSTRIAL CO., LTD



1996通過  
國際品質標準  
ISO9001認證

總公司：台北市士林區社中街76號

工廠：桃園市平鎮區東勢里19鄰快速路一段246巷158號

Http://www.lihkang.com.tw

TEL：(02)28118101(5線) FAX：(02)28123974

TEL：(03)4503511(7線) FAX：(03)4503518

E-mail：lihkang@ms34.hinet.net