

防 蝕 技 術 的 動 向

日本鋼管(株)中央研究所
松島巖 博士
陳文源 譯

一、一般的動向

(一) 橋 樑

橋樑的防蝕塗裝，多年來一直採用紅丹防銹底漆與醇酸樹脂塗料的塗裝系統，所以每隔幾年就需重塗，其費用相當龐大。譬如，使用50年期間的橋樑，每隔5年即需重塗一次，亦即50年中重塗10次的話，其所花費的塗裝工程費用就等於橋樑本身的建費費用，甚至還高。

因此對這花費我們可提出二個對策：

1. 採用重防蝕塗裝系統來防蝕

重防蝕塗裝通常的膜厚為200 um以上，以富鋅底漆或金屬熔射為底，再選擇合成樹脂塗料為中塗與面塗，目前在日本的本州、四國連絡橋，均採用此系統。

2. 另一對策為使用耐候性鋼

耐候性鋼係低合金鋼中配合了少量的銅、鉻等合金元素，使構造物雖不塗裝其本身亦可自然的生成耐蝕性良好的銹來防蝕，在美國已有長期間實績，日本自能源危機以來，為減少維護費用已逐漸增加使用量。另外我們知道中鋼公司大禮堂的鋼結構，亦是使用ASTM A 588耐候鋼板所製成。這些問題容後再詳談。

(二) 埋 設 管

埋設管的基本防蝕方法有賴下列三次方法之合併使用：

1. 與其他構造物間的電氣絕緣。
2. 絕緣性包覆塗裝。
3. 電氣防蝕。

在日本，如瓦斯幹管或重要埋設管，通常都採用上述三方法的併用。

其中包覆塗裝，一直到前些年都採用煤焦來塗料或柏油強化玻璃纖維包覆，最近則以聚乙烯被覆為主。

鐵路電氣化的迷失電流對策，與電氣防蝕的干涉對策，為防蝕設計上的具體問題，針對前者應慎重設計含有自動電位控制裝置的設置才可，對後者即盡量採用犧牲陽極方法來代替外加電流方法為主要。防蝕系統的檢測器於美國雖沒法規，但都使用自主的測定。

(三) 建築物配管

1. 土壤埋設管

供給瓦斯、自來水等入建築物的土壤埋設管，常因受土壤方面激烈的腐蝕作用，不到幾年就因銹蝕而鑽孔，聽說中鋼公司用戶中的製管業者，也曾經一再遭到此類的困擾。詳細容後再談，這些問題，乃是配管貫通鋼筋混凝土建築物時，接觸了鋼筋而形成局部電池效應而腐蝕，此問題與埋設管與其他構造物電氣的接觸而腐蝕情形一樣，只是埋設管線的對策較進步，而建築物配管的防蝕對策較慢而已。

最近已強化了土壤埋設管的防蝕對策，原則上，建立了建築物鋼筋與配管的絕緣之各種基準。

2. 水管內面

空調用的冷却水管使用鋼管，而熱水管的一部份也採用鍍鋅鋼管，若這些冷却水管或熱水管使用電焊縫鋼管，即沿着電焊縫熔接卻會發生溝狀腐蝕。針對此問題已開發了經改進化學成份與熱處理的耐溝狀腐蝕鋼，結果相當良好。自來水管最近採用管內被覆鋼管，因鍍鋅鋼管易生成瘤銹而塞住管內，這問題的對策最近也開發了配管內面經噴砂再塗裝的新工法，可說相當實用。

(四) 鋼筋

混凝土因鹼性關係，通常使鋼筋在混凝土內不會腐蝕，不過經久

隨混凝土的中性化而腐蝕鋼筋，又因近年來河砂難採，使用海砂的結果，因海砂中含有氯離子而促進了鋼筋的早期腐蝕，目前的動向在日本是洗淨海砂使氯離子降至 0.1 % 以下。另外，鋼筋混凝土中之鋼筋防蝕已開發了 鍍鋅鋼筋，鋼筋的環氧樹脂塗裝，與添加防蝕劑，其中環氧樹脂的鋼筋塗裝，已進入實用化階段。

(五) 油槽

裝設在地面上的油槽，其底板外面接觸到土壤，因此底板會發生孔蝕的可能性大，通常在土壤表面敷佈如柏油等高電阻物質來防蝕，但因外邊周圍入侵來的雨水，使外周部附近發生腐蝕，應於外周部份與油槽基礎間，充分填縫封閉為其對策。

至於電氣防蝕，一般不甚普遍被採用，但十年來在油槽防蝕上，則逐漸增加採用中。

(六) 基樁

與土壤埋設管不同，基樁比較少腐蝕，因基樁打入土中，與土壤之接觸甚均一，很難產生局部腐蝕，但有時仍有激烈腐蝕之情形發生，應在施工前調查土壤之腐蝕性大小，最好能併用電氣防蝕。

推測有否腐蝕較困難，一般填土的土壤腐蝕較大。

(七) 海洋構造物

海洋構造物與港灣設施的基本防蝕方法為塗裝，電氣防蝕與耐蝕鋼的使用。

集合這三種方法在耐久性、施工性、維護性、經濟性的總合觀點做好防蝕設計尤其重要，目前在人工島的防蝕設計上正檢討中，以個別位置防蝕方法中，對飛沫帶的防蝕列為最重要，並已開發了各種防蝕方法，其中最引人關心者為厚膜內襯防蝕，有 F R P 套中灌入水泥防蝕法，環氧樹脂的高膜厚內襯防蝕法，與石油膏膠帶包覆防蝕法等。

(八) 高耐蝕金屬材料

使用在化學工場淡水冷却熱交換器管的沃斯田鐵系不銹鋼，在淡水部份，受氯離子作用，多發生應力腐蝕裂痕，材料上一部份可使用耐應力腐蝕性強的二相系不銹鋼或高純度肥粒鐵系不銹鋼之例子，但不普遍。通常其對策為改進設計使氯離子不濃縮為主要。

目前鋼廠正流行開發耐海水不銹鋼二相系，或沃斯田系鋼料多種，行銷於市場，後者配合鎳、鉻、鉬等成份越高即價格越貴，但其實用價值很重要，却未一般性地普遍。沸騰水型原子爐的高溫水配管，其所用的 304 不銹鋼的焊接部份會發生粒界型應力腐蝕問題，可藉施工與操作方面得到改善。

又 316 不銹鋼為骨幹的低氮化（提高耐蝕性）與添加氮（提高強度）的對策，目前已確定了其使用價格。能源危機以來，美國開發了各種高鎳系不銹鋼合金用於腐蝕性強，可適合硫化氫、一氧化碳、氯離子的油井開採用途，同時這些合金於地熱井上也有效，因而其適用性能進行了各種試驗。

二、橋樑使用耐候性鋼

(一) 使用歷史

耐候性鋼於 1930 年代美國首先開發，至 1960 年代，歐洲或日本才開始製造，美國即在 1960 年以來使用此裸鋼（因不再被覆）相當量於建築物外板或橋樑上，歐洲、日本最近也逐漸被採用，但因外觀不大好看，並且也會沾污其周圍，以致不大受廣泛使用。

不過 10 多年前的能源危機後，在日本因橋樑使用裸耐候性鋼能節省塗裝費用，而受重視，同時其利用技術亦有一大進步，直到現在已有多數小型橋樑，甚至於大橋樑耐候鋼料的使用量，亦大幅增加，但近海岸塩份付着力多的區域，耐候性鋼的耐蝕性不良，現在正努力解決在各種氣象條件下使用情形，以定量方法求證其可行性。

(二) 特性與問題點

表 1 為日本的耐候性鋼，耐候性鋼的特性為裸鋼使用，幾年內其銹層會安定化而後，使其腐蝕性減低，若耐候性鋼給予塗裝表面，還會促使塗膜壽命增長。

裸鋼使用時若銹層無法得到安定化，即其耐蝕性不良，因此其安定化是最重要的，為了這問題，另外規定了高化學成份的 W 級者，以供選用。

目前耐候鋼的問題如下：

1. 逐漸安定化過程中，最初幾年間外觀不一定良好。
2. 因雨水的流過將會污染了周圍的混凝土。
3. 在海岸地區很難達成其安定化。同時亦很難判斷安定化與未安定化的境界。
4. 未確立在某一定期點可客觀的表示安定化程度的評價方法。

(三) 耐候鋼在橋樑的利用

在日本，1984 年 4 月止，路橋（橋長 15 公尺以上）數為 99650 條，總延長長度為 5270 KM，其中鋼橋佔 41.7%，延長度為 50.8%（混凝土橋分別為 51.1% 及 42.6%）。

鋼橋中，裸鋼或經安定處理者（後述）的耐候性鋼橋樑如表 2 合計 464 條（裸鋼 193 條，安定化處理者 271 條）。

1984 年度的實績為 114 條橋樑，使用鋼材為 13281 噸，耐候性鋼在橋樑方面的使用量約 $\frac{1}{2}$ （另外 $\frac{1}{2}$ 為塗裝在耐候性鋼者），在橋樑方面的鋼材使用量為 60 萬噸，所以耐候性鋼用量，雖說增加但比率仍低。耐候性鋼若能很會應用的話，其性能會顯得更好，為此必須作成正確的設計與施工要領。

最好考慮到避免使用於近海岸地區，並且為有利於安定化，避免積水及積住灰塵，而通風好。在接合地方不可造成雨水流成一條縫，以加強防蝕。

(四) 銹安定化處理

目前已開發了一種初期外觀良好，消除了周圍污染為目的之安定化處理法，係塗裝的一種，與一般塗料不同，使腐蝕緩慢，進行生成的銹會容易停留在鋼表面之安定化處理。

三、電焊縫鋼管 (E. R. W. PIPE) 的溝狀腐蝕對策

(一) 事例

圖 1 為電焊縫鋼管的溝狀腐蝕的侵蝕度調查結果，其腐蝕形態，有溝狀腐蝕生成一直線者；與只生銹在鑄狀銹下面之結果變成間斷地被侵蝕者。

表 3 係列舉生成溝狀腐蝕環境與在其環境下各事例之侵蝕度平均值，可知環境的比電阻越低，侵蝕度平均值越大。

(二) 原因

發生溝狀腐蝕原因為製造電焊縫鋼管時以電阻加熱局部，當焊接部急冷下，與其他部份產生不同狀況為主因。因急冷而使硫化錳變成特殊形態，使電焊部份的腐蝕性傾向增大。

電焊縫鋼管在腐蝕環境下使用時，電焊部份為負極，母材部份為正極，而形成局部電池，以致電焊縫部份腐蝕。

(三) 對策

鍛接鋼管或無縫鋼管不發生溝狀腐蝕，故最好採用它，我們無法事前知道腐蝕環境（例如水質）或預測溝狀腐蝕發生與否，甚至先知道其侵蝕度。

最近才開發了耐溝狀腐蝕的電焊縫鋼管，並且已市售，依製造公司不同而內容亦不一樣，可大致有下列二種。

1. 降低硫含量，並加銅，製造後熱處理之。
2. 降低硫含量並加銅及其他元素（例如鈣）其製品之一例與試驗成績如表 4。

(四) 土壤埋設管與腐蝕對策

1. 事例

圖 3 為調查了建築物周邊土壤埋設鋼管（多為鍍鋅鋼管）之侵蝕後結果。大部份幾乎生成貫通的孔蝕。

2. 原因

單說埋設土壤的鋼管，縱令發生孔蝕最大亦為 0.3 mm/年，但圖 3 的事例之侵蝕度却相當大，這是配管與鋼筋混凝土中之鋼筋接觸，以致形成配管為負極，鋼筋為正極的局部電池（如圖 3）。

3. 對策

其對策有三：

- (1) 塗裝或包覆裝的強化。
- (2) 配管與鋼筋間的絕緣。
- (3) 電氣防蝕。

其中配管與鋼筋間的絕緣是最基本的對策，各種複合防蝕效果如表 5，這樣的防蝕對策，多年來一直沒有被採用，最近已制定了瓦斯及 L P G 配管的規定，自來水管雖仍未制定，但大部份的建設公司，都自行制定一套規定來防蝕，與鋼筋的基本絕緣方法為地下埋設配管的每一配管周圍設定絕緣物來防蝕。通過地下至地上部份，即在地上配管與建築物鋼筋間，插入絕緣瑛瑯來防蝕如圖 5。

表 1 耐 候 性 鋼 的 化 學 成 份

JIS G 3114
(1983)

溶接構造用耐侯性熱間圧延鋼材

Hot-rolled Atmospheric Corrosion Resisting
Steels for Welded Structure

種 類	記 號	記 號	化 學 成 分 %							其 他	
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr		Ni
1 種	SMA 41 A·B·C	W	0.18 以下	0.15 0.65	1.25 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30 0.50	0.45 0.75	0.05 0.30	各種類都可 添加對耐侯 性有效的元 素如Mo,Nb ,Ti,V,Zr 等,但這些 元素的總計 不可超過 0.15%
		P	0.18 以下	0.55 以下	1.25 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.20 0.35	0.30 0.55	—	
2 種	SMA 50 A·B·C	W	0.18 以下	0.15 0.65	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30 0.50	0.45 0.75	0.05 0.30	
		P	0.18 以下	0.55 以下	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.20 0.35	0.30 0.55	—	
3 種	SMA 58	W	0.18 以下	0.15 0.65	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30 0.50	0.45 0.75	0.05 0.30	
		P	0.18 以下	0.55 以下	1.40 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.20 0.35	0.30 0.55	—	

高耐侯性壓延鋼材

JIS G 3125
(1977)

Superior Atmospheric Corrosion Resisting Rolled Steels

種 類	記 號	化 學 成 分 %							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
1 種	SPA-H	0.12 以下	0.25~0.75	0.20~0.50	0.070	0.040 以下	0.25~0.60	0.30~1.25	0.65 以下
2 種	SPA-C				0.150				

表 2 無塗裝耐侯鋼的橋樑實績

年 度	裸 鋼		化 成 處 理 者		合 計 (噸)
	件 數	重 量 (噸)	件 數	重 量	
47			1	370	370
48			2	439	439
49			1	108	108
50			5	2,655	2,655
51			7	2,619	2,619
52	1	105	13	3,917	4,022
53	5	442	22	4,383	4,825
54	4	639	16	1,609	2,248
55	24	2,880	19	1,964	4,844
56	18	1,282	22	1,871	3,153
57	50	5,638	49	5,132	10,770
58	39	3,508	52	5,645	9,153
59	52	6,928	62	6,353	13,281

日本橋樑建設協會提供

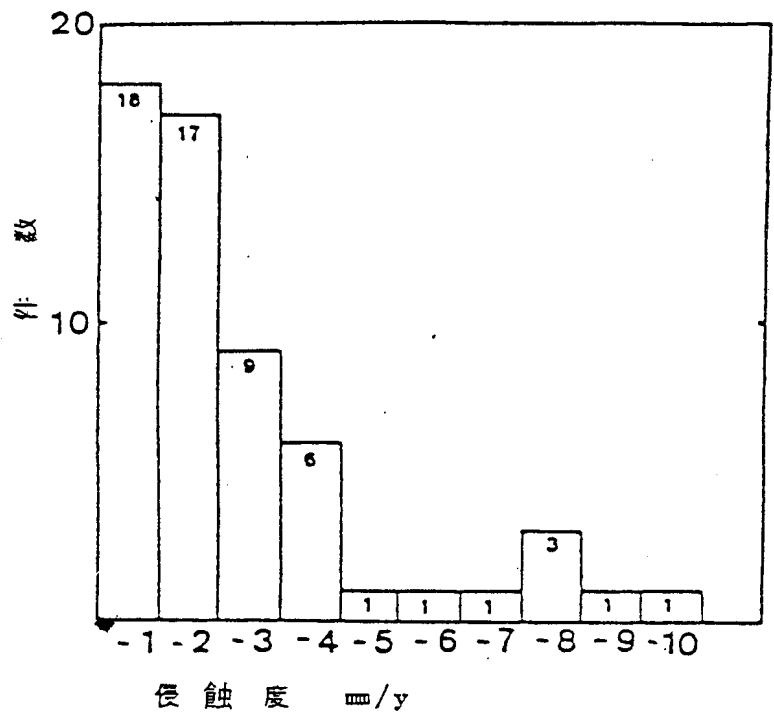


圖 1 於各件例中可看到的溝狀腐蝕侵蝕度分佈情形

表 3 溝狀腐蝕的環境別發生件數與侵蝕度

環 境	件 數	侵蝕度平均mm/y
開放系冷却水	14	3.2
工業用水	9	2.1
自來水	9	0.8
密閉系冷却水	3	0.7
冷凍系統鹽水	3	5.9
外捲保護材表面	2	1.1
土 壤	5	1.9
海 水	2	3.9
其他與不清楚者	21	—
計	68	2.8

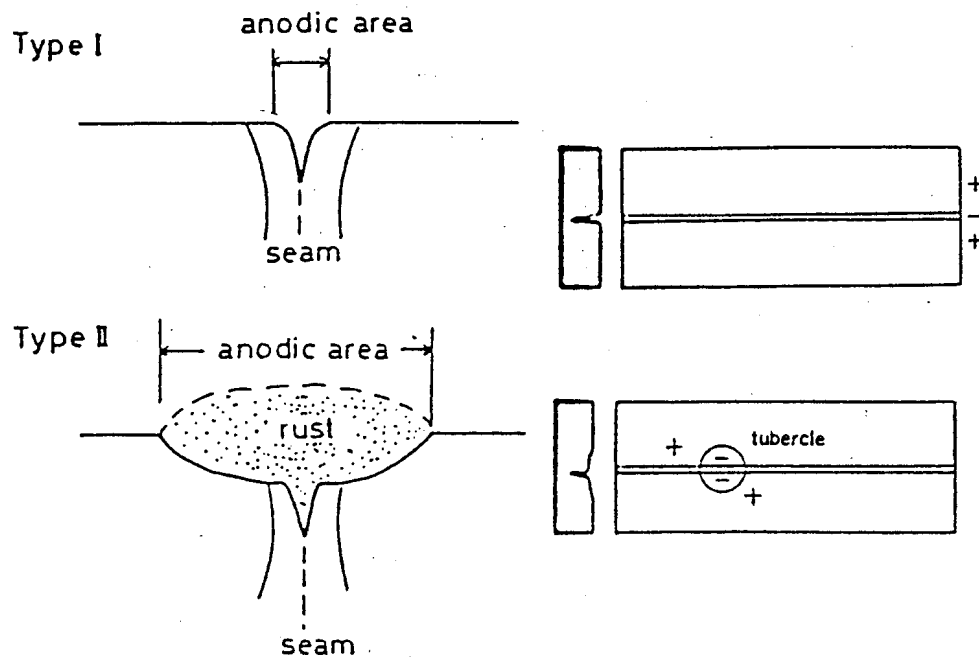


圖 2 溝狀腐蝕的腐蝕電池

表 4 成份系與試驗結果 (13個月空調用配管)

記 号	成 分 (%)								溝狀腐蝕 之發生	外 觀 狀 況
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Ca		
A ¹⁾	0.05	0.02	0.29	0.014	0.002	0.09	0.02	27	無	鋼管內面雖均一腐蝕但無法認出來溝狀腐蝕之發生。
B ¹⁾	0.04	"	0.28	0.013	"	0.28	0.13	10	無	
C ²⁾	"	"	0.32	0.015	0.020	-	-	-	有	全長有 0.5 mm ~ 1.0 mm 的深度之溝狀腐蝕發生

(1)耐溝狀腐蝕鋼管

(2)一般的電焊縫鋼管

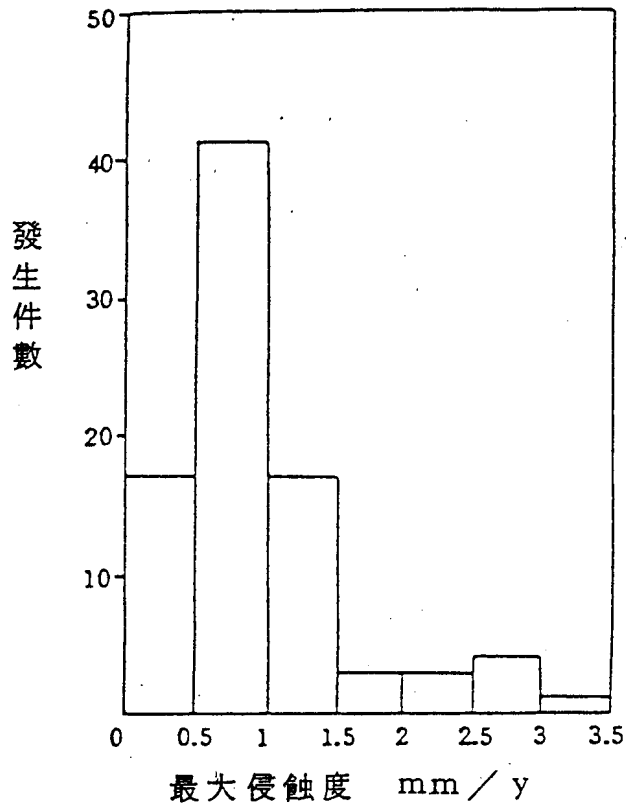


圖 3 土壤中發生孔蝕 86 件之侵蝕度分佈

$$\text{侵蝕度} = \frac{\text{原來厚度}}{\text{至貫通的年數}}$$

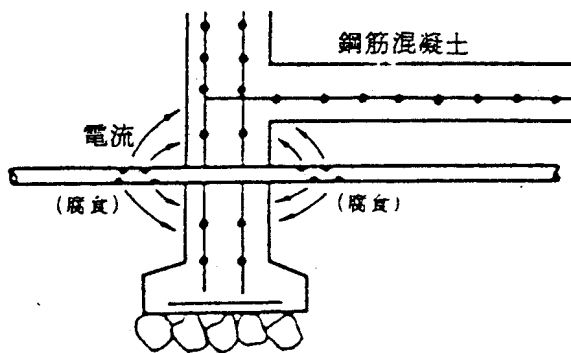
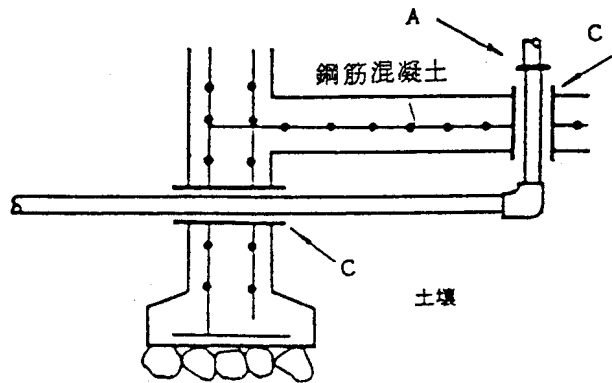


圖 4 鋼筋與配管接觸下的埋設管腐蝕

表 5 防蝕方法的總合效果

適用防蝕法 (配合)			效 果
與鋼筋之絕緣	塗裝包覆	電氣防蝕	
○	○	○	完 全
○	○		良 好
○		○	原理上很完全，但施工上會帶來些困難
○			不能完全的腐蝕，實用上有相當多效果
	○		若確實施工即有效，但若發生小部份傷口，腐蝕易集中
	○	○	電氣防蝕在技術上有些困難
		○	電氣防蝕在技術上有困難



A：軸方向絕緣 B：周圍方向之絕緣

圖 6 有效絕緣例子