

碳鋼和耐候鋼之加速腐蝕與實際曝露腐蝕的關連性[†]

魏豐義* 論述

摘 要

鋼材之大氣加速腐蝕試驗有許多方法，本文主要敘述日本鋼構造協會、比利時 Pourbaix 教授採用之方法和結果，以及一般常用之鹽水噴霧法。並將此些結果與實際曝露結果和已被認知之生銹機構來作一討論，以說明此些方法的適宜性，進而顯示真正乾濕循環之重要性。

一、前 言

實際曝露腐蝕所獲得的數據，往往被認為是最可被信賴的數據，可為設計時所採用。雖然環境會因時間而改變，而使此數據亦做些變動，但一般而言，此種變動大都能加以估計。然而此一試驗所需時間很長，不易連續被執行，同時往往無法應付急需，因此許多各種不同的加速腐蝕試驗的方法乃因應而生，但何者方能預測實際的結果，則需配合環境來做進一步研究。而本報告即針對裸露碳鋼和耐候鋼之幾種加速腐蝕試驗結果和實際曝露者間之關連性做一探討。

二、試驗結果

(一)日本進行之狀況和結果

日本許多廠家均曾進行加速腐蝕試驗，其設想之模擬條件如下：

1. 海岸工業地區：

- (1)發露型試驗機 $H_2O + SO_2 + NaCl +$ 紫外線
- (2)Weathermeter + SO_2 試驗機 + 塩水噴霧試驗機

廠家：日本鋼管，日べ，山崎精機，住友金屬，三菱重工，石播重工，日立造船（不含紫外線照射）

2. 海岸地區：

Weathermeter + NaCl + 紫外線

廠家：新日鐵、金材技研、東洋理化（スガ試驗機）

3. 工業地區：

發露型試驗機 $SO_2 +$ 紫外線

廠家：大日本塗料

以上之試驗條件為：(1)發露型：400ppm SO_2 ，0.5% NaCl 之空氣噴霧，濕/乾=1:3 或 1:1，(2)組合方式：100ppm SO_2 ，5% NaCl 噴霧，濕/乾=1:4。兩者均各 6 個循環周期。

裸鋼之加速腐蝕應注意的是(1)加速的程度，(2)鋼種間腐蝕損失量的順序必須與大氣曝露者相同，(3)銹的組成也要一致，(4)要有良好的再現性。一般而言，依目前的試驗機和試驗條件，要完全滿足上述四點是非常困難的；能滿足(1)，(2)，(4)點，而(3)者近似的，即已可被考慮採用了。但無法獲得的資料，仍需要被考證。

有關設定試驗條件方面，應注意的是：(1)影響腐蝕的因子有很多，如何正確的控制和選擇常是要得良好再現性的問題點。特別是在試驗之內要包含 SO_2 氣體時，試驗槽內的溫度、濕度和濃度要特別注意。(2)腐蝕因子對腐蝕的影響有時會有相乘的效果，因此由每個試驗機來進行組合的方式比同時將所有因子附在一試驗裝置上更被期望會來得佳。(3)濕的狀態、乾燥的方法以及濕乾循環的條件對腐蝕量與鋼種間腐蝕量之順序的影響，均應加以考慮。(4)耐候鋼於大氣中生成的銹

[†] 本文已發表於民國 80 年材料大氣腐蝕研討會

* 中國鋼鐵公司鋼鋁研究發展處

層之過程已被許多人所研究，以加速腐蝕試驗機要得到相同之銹層是相當困難的，將來必須克服此一再現性的問題。

基於以上的考慮，日本鋼構造協會 (JSSC) 於是提出以下之加速腐蝕試驗法，用以評估各種鋼材有無塗裝之耐蝕性。表1 為使用之試驗條件，主要分為使用發露型試驗裝置之 JSSC—(A)法

和將以往規格化之試驗裝置組合而成之 JSSC—(B)法。

裸鋼加速腐蝕試驗與大氣者對照，期望得到之領域為圖1 之 D 區域，但實際所得如圖2 所示。

圖 2 顯示以腐蝕比來看還相當一致，但表3 卻顯示對兩種鋼材促進的倍數仍存有很大的差異

表 1 JSSC 模擬不同地區之試驗條件

模擬試驗地區	JSSC—(A)法	JSSC—(B)法
海岸地區	0.5%NaCl 空氣噴霧，發露型試驗 6 星期	5%鹽水噴霧 24 小時，再於 Weathermeter 內 88 小時 } 6 個循環
海岸工業地區	0.5%NaCl 空氣噴霧和 40ppm SO ₂ ，發露型試驗 6 星期	5%鹽水噴霧 24 小時，100ppm SO ₂ 中 24 小時，Weathermeter 內 66 小時 } 6 個循環
都市及都市工業地區	40ppm SO ₂ ，發露型試驗 6 星期	100ppm SO ₂ 中 24 小時，Weathermeter 內 88 小時 } 6 個循環

表 2 JSSC 耐候加速腐蝕試驗法

試驗條件		模擬地區			
		海岸地區	海岸工業地區	都市和都市工業地區	
(A)發露型腐蝕試驗機之試驗條件	試驗時間	6 星期			
	發露條件，濕/乾比	50°C和30°C分別為加熱和冷卻的基準，濕乾時間的比值約為 1:4			
	紫外線照射條件	紫外線燈、水銀燈、氬燈等，而於試驗期間採連續照射			
	鹽水噴霧	0.5% NaCl 溶液，以空氣噴霧方式進行。			
	SO ₂ 氣體		以 40ppm SO ₂ 連續供給試驗槽		
(B)組合式的試驗條件	試驗時間	1 星期為 1 周期，共 6 周期			
	Weathermeter JIS K5400 來處理之	試驗之標準周期如附註 2 所述			
	鹽水噴霧 (JIS Z371 之 5%NaCl，溫度為 35±2°C RH: 100%) (附註 1)	鹽水噴霧 24 小時→ Weathermeter 88 小時，每周期為 112 小時 (附註 2)	鹽水噴霧 24 小時→ SO ₂ 氣體 24 小時→ Weathermeter 66 小時，每周期為 114 小時	SO ₂ 氣體 24 小時→ Weathermeter 88 小時，每周期為 112 小時	
	SO ₂ 之濃度為 100ppm，濕乾比為 1:4				

附註：1. 通 SO₂氣體時之濕/乾時間比為 1:4 (5 小時濕/19 小時乾) 濕之狀態為 100% RH，乾的狀態為 75% RH 以下。

1. Weathermeter 是以碳棒弧光之電極，每 22 小時必須更換，更換 4 次，即 88 小時。(但模擬海岸工業地區採 66 小時) 氬弧燈可連續使用 96 小時。

碳鋼和耐候鋼之加速腐蝕與實際曝露腐蝕的關連性

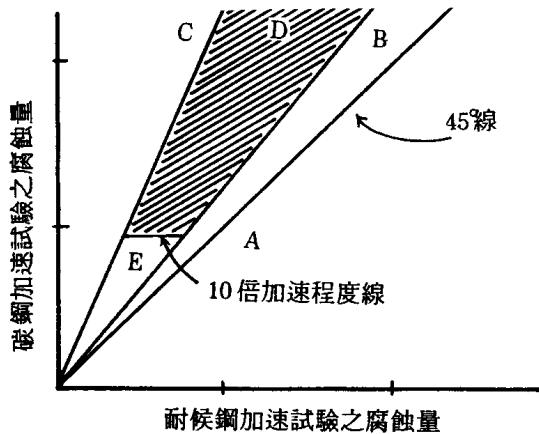


圖1 碳鋼和耐候鋼腐蝕量在加速試驗法之評價

，特別是在海岸地區。

A 區域：耐候鋼之腐蝕量比碳鋼多，與大氣試驗無相關性。

B 區域：耐候鋼的腐蝕量比碳鋼稍少，與大氣曝露試驗者少有相關性。

C 區域：相關性與 B 者同。

D 區域：與大氣曝露試驗者具相關性，加速比率在 10 倍以上。

E 區域：加速比率在 10 倍以下，加速腐蝕的意味少。

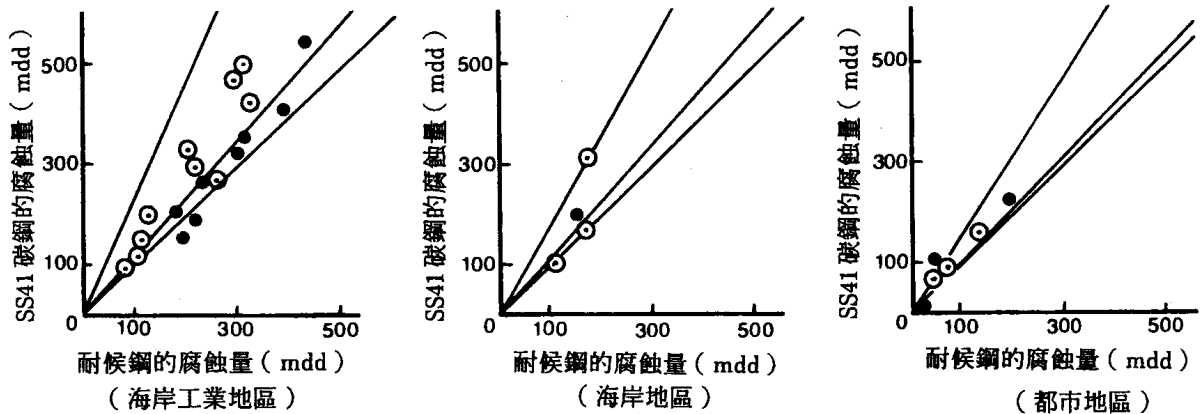


圖2 碳鋼和耐候鋼模擬不同地區進行大氣曝露加速腐蝕試驗之關係（● = A 法，○ = B 法，如表 1、2 所示）

表 3 裸鋼在大氣曝露的腐蝕量與加速試驗者的對應關係

試驗條件		大氣曝露試驗 (2年)				加速試驗法				
		海岸地區 (千葉)	都市地區 (東京目黑)	海岸工業地區 (東京江東區)	鄉村地區 (京都嵯峨)	海岸地區	都市地區		海岸工業地區	
						(A) 法 0.5%NaCl 噴霧，發露 型腐蝕，6 星期	(A) 法 40ppm SO ₂ 發露型腐蝕 6 星期	(B) 法 400ppm SO ₂ + Weather- meter 88小 時，6 周期	(A) 法 40ppm SO ₂ 0.5%NaCl 噴霧，發露 型腐蝕，6 周期	(B) 法 5%鹽水噴 霧24小時+ 400ppm SO ₂ 24小時+ Weather- meter 88 小時，6 周期
環境條件 平均腐蝕 速率 (mdd)	NaCl (mdd)	0.3	0.12	0.16	0.05					
	SO ₂ (mdd)	0.3	1.4	1.8	0.6					
	碳鋼	16.8	8.0	14.1	10.3	201 (11.9)	219 (26.1)	94 (11.2)	276 (19.6)	332 (23.6)
	耐候鋼	9.2	6.2	9.5	5.9	157 (17.1)	200 (32.0)	76 (12.2)	234 (24.7)	206 (21.7)

備註：加速試驗之數據中，() 所示為與 2 年大氣曝露試驗之腐蝕量的加速倍率。

試驗法的詳細說明

1. Weathermeter 之降雨周期

依 JIS K5400 (塗料一般試驗方法) 所述為每一 120 分鐘中降雨 18 分, JIS Z0230 之規定, 60 分中降雨 12 分。而如後所述濕/乾時間比為 4:1, 因此 JSSC 採用後者。

2. 紫外線照射的強度

在 Weathermeter 使用之場合, 照射條件為保持一定的強度, 照射能量被希望能採用一些方法來量測。在破弧光的場合, 採用 Light sensitive paper 來測定照射的強度, 另外亦能使用積算照度計。

3. 照射強度的目標

1961~1965 年在東京地區的全日射積算量 277.8 langley/day, 紫外線 (300~400 μm) 與全日射積算量波長之積算能量 (300~1200 μm) 的比為 0.0626, 因此紫外線積算量為 17.39 langley/day。而一般市面上之 Weathermeter 的照射能量為 27~30 langley/hr, 因此加速之比率約為 40 倍。

4. 鹽水濃度和噴霧條件

一般各國之鹽水噴霧試驗規格採用 5%NaCl, 如 JSSC(B)法之規定, 但在(A)法則採用 0.5%

NaCl。因在一般的中性鹽類水溶液中的腐蝕作用, 在近於 1/10 的規定濃度的腐蝕性大, 而(A)法中又採間次的噴霧, 因此採 0.5%NaCl。

食鹽在 JIS K8150 中是採用一級品, 其它之試驗條件則依 JIS K5400 之規定。

5. 濕/乾比

濕的時間二降雨時間+結露時間, 其和乾燥時間的比, 如表4 所示, 濕/乾比之平均值約為 1:4。此值與腐蝕量成負相關, 因此相關係數為負, 且此值愈大, 該係數亦負的愈大。

6. SO₂ 試驗法

表5 所示為各國所示 SO₂試驗法的規格。依照 Barton 以 DIN 規格所得的研究結果顯示對化學、冶金工場和都市的大氣分別有 9、13 和 22 倍的加速腐蝕係數, 同樣的在紐約則有 26 倍之多。

SO₂試驗裝置大致上可區分為三大類型, 如圖3 所示。

SO₂濃度之設定, 於 JSSC 和 Preston 均得於 500ppm 附近可達一飽和之腐蝕減量或速度, 如圖4 所示。

在進行 SO₂加速試驗時, 應具備之條件:

1. 對試驗裝置, 不可將高濃度 SO₂直接供給至槽

表 4 在日本各環境之濕/乾時間比

地 區	海岸工業 (東京灣近旁)	都市區 (東京都下)	鄉村區 (京都嵯峨野)	海岸工業區 (堺臨港地帶)
年 平 均 wet/dry 比	1:5.4	1:4.9	1:2.1	1:4.1
所有平均值	1:4.2			

調查期間: 1971年3月~1973年2月

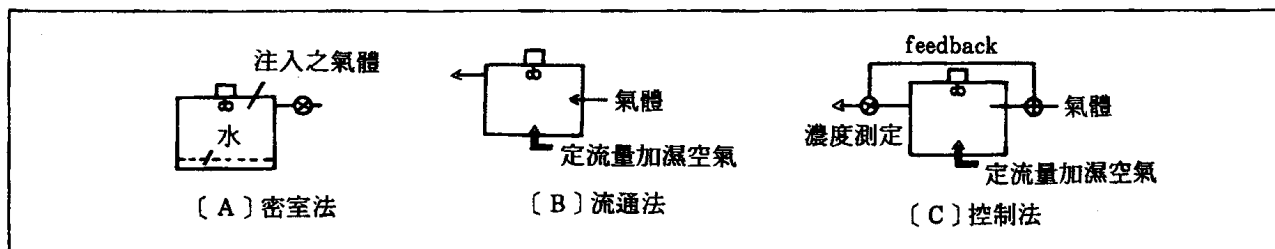


圖 3 SO₂試驗槽之構造形式

碳鋼和耐候鋼之加速腐蝕與實際曝露腐蝕的關連性

表 5 SO₂腐蝕試驗法

規格 裝置條件	BS 規格 1224 (1959)	新 BS 規格 2011 (1970)	DIN 規格 50018 (1963)	JIS-D0201 (1964)	JAS07320
裝置 形式	Quarter Cutaway	W. Canning 公司 No. 7816-0001	Kesternich Carbinet	—	—
試驗槽 容量	750×600×600 mm ³	—	長500×寬500 ×高800mm ³	長600×寬600 ×高750mm ³	—
熱容量	200瓦	—	1000瓦	—	—
槽內底部 水量	20公升	—	2±0.2公升	—	—
SO ₂ 發生 方式	自腐蝕液中冒出	SO ₂ 和 CO ₂ 混合 槽內直接供給	SO ₂ 槽內直接 供給	同左	同左
溫度 濕度	25±2°C		100%RH8小時 (40±3°C) ↔ 75%RH16小時 (冷卻)	40±2°C >95%RH	40±1°C 95±5%RH
SO ₂ 濃度	0.5~2% (Vol)	SO ₂ : 25±5ppm CO ₂ : 3000±500 ppm	空氣 300公升中 ，SO ₂ 於每一Cycle 的量為0.2或2公升	0.5~2% (Vol.)	1000ppm (200~2000 ppm)

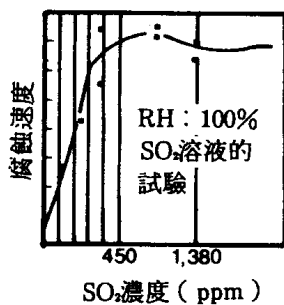
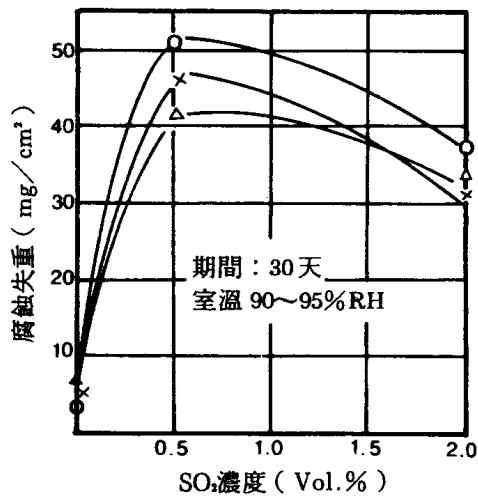


圖 4 SO₂濃度和鋼板腐蝕的關係

內，必須先於混合槽稀釋。

- 試驗槽內 SO₂的濃度必須保持一定（一般均在 500ppm 以下），此濃度的變動應盡可能小，由於設定不易，故均必須以下限濃度加上幾拾 ppm 來做控制。
- 試驗氣氛中的相對濕度和試驗片之乾濕循環有直接的關係，此條件和大氣所測之乾／濕為 4：1 相當一致。因此此一周期變化的頻率增加是被期望來進行的。

(二)比利時 Pourbaix 研究結果

比利時知名學者 Pourbaix 以加速電化學試驗，即以循環浸泡並於浸泡時量測腐蝕電位，藉以瞭解金屬材料在不同氣候之腐蝕行為，大氣腐蝕和鈍化機構。

圖5 為此旋轉式電化學試驗裝置，每一周期為 53 分鐘，其中約 13 分鐘是浸在溶液中，此時經由 No.17 的參考電極即可量到電位。No.18 是溶液經由空氣泡充氧進入裝置內，No.19 是溢流處。溶液以純蒸餾水代表未受污染的鄉村環境，10⁻⁴M Na₂SO₄代表工業環境，海水稀釋 100，

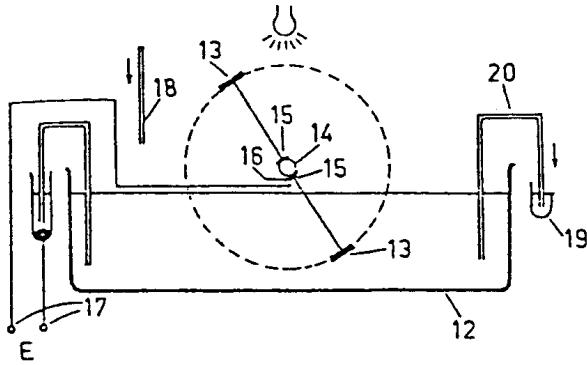


圖 5 研究金屬大氣腐蝕之電化學裝置

1000 或 10000 倍代表海洋環境。試片乾燥之溫度可於試片表面量到，並以紅外光燈泡設定在 20 至 60°C 代表陰天和晴天。因此可控制不同的相對濕度和乾/濕狀態。

圖 6 和圖 7 為試驗所得結果，顯示可區分出耐候鋼和非耐候鋼之明顯差異，且在圖 7 中，亦得以瞭解試片之前處理對耐候鋼生成良好銹層會有影響。

經由圖 5 之試驗後測其腐蝕失重，可得腐蝕速率 (μ) 和電位之關係如下：

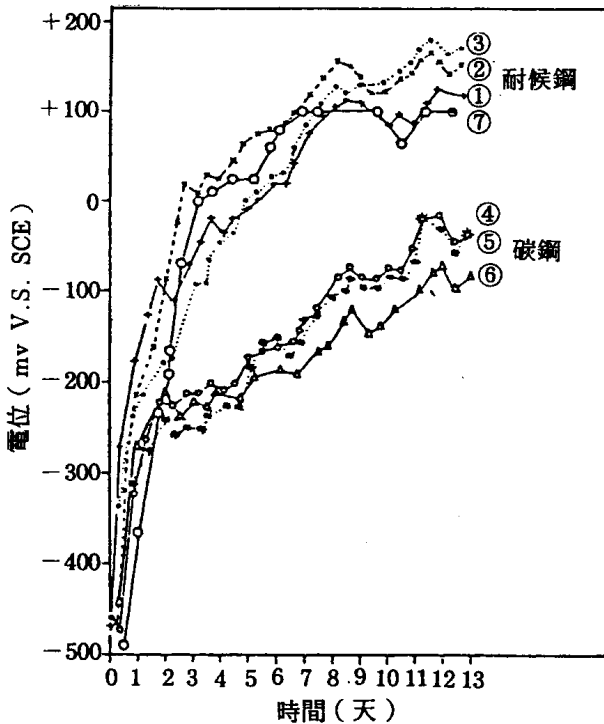


圖 6 破鋼與耐候鋼之電位差異和試驗時間的關係

$$\log \nu_{\mu\text{m}/\text{day}^{-1}} = -1.379 - 0.004416 E_m V_{\text{SCE}}$$

$$\log \nu_{\mu\text{m}/\text{year}^{-1}} = +1.183 - 0.004416 E_m V_{\text{SCE}}$$

試驗後可發現鋼材上無鬆銹生成，而且腐蝕速率從最初約 1000 $\mu\text{m}/\text{year}$ (此時電位約在 -400 m V_{SCE}) 逐漸遞減至 120 $\mu\text{m}/\text{year}$ 在 -200 m V_{SCE} ，15 $\mu\text{m}/\text{year}$ 在 0 m V_{SCE} ，和 2 $\mu\text{m}/\text{year}$ 在 +200 m V_{SCE} 。圖 8 即為腐蝕速率和電位之關係。

經由本研究可發現：

(1) 對所有模擬之環境，鋼材腐蝕速率之順序均一致，尤其是乾燥溫度上升 (至 60°C) 時，此行為更是明顯。

(2) 在模擬之鄉村氣候，假使乾燥溫度為 60°C，所有試片之腐蝕行為均合乎預期的；在 20 和 40°C 下，只有耐候鋼適用。

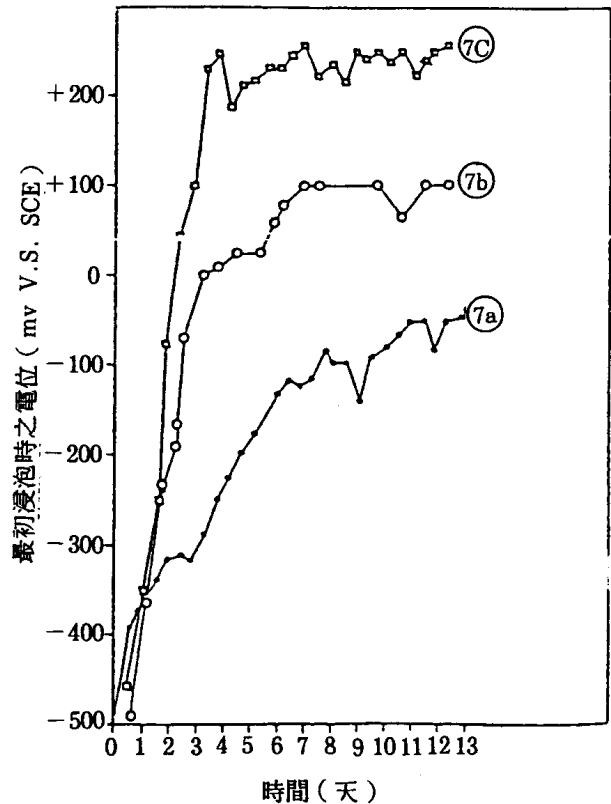


圖 7 耐候鋼經不同表面處理後，電位之差異和試驗時間的關係

碳鋼和耐候鋼之加速腐蝕與實際曝露腐蝕的關連性

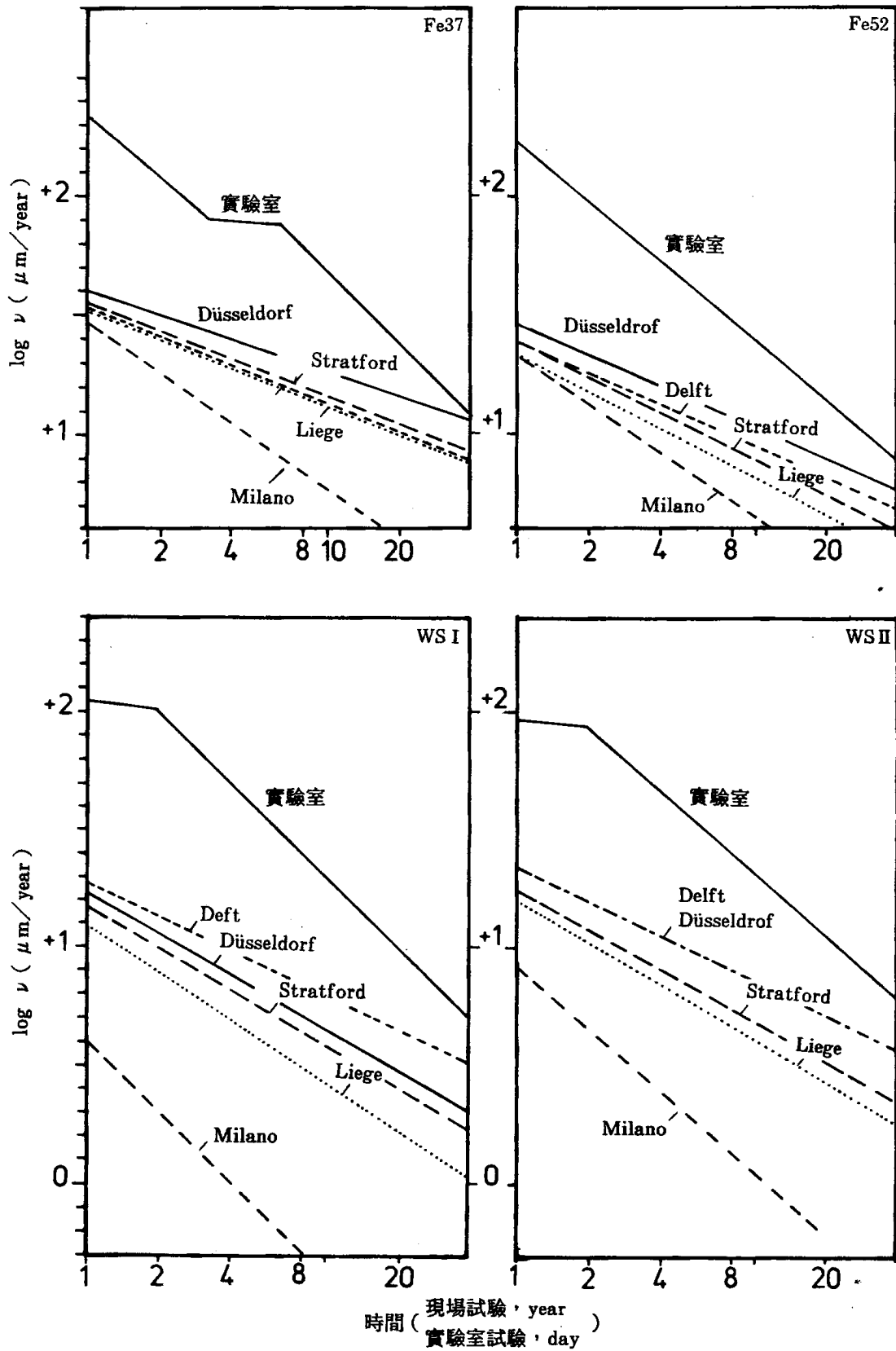


圖8 腐蝕速率與都市工業區現場試驗和實驗室試驗 (10^{-4}M NaHSO_3 , 乾燥溫度為 60°C) 之時間的關係。

(3)在模擬海洋環境中，僅含 2 ppm 氯即足以使腐蝕速率增加 4 倍，且各種鋼材均未有良好抗蝕能力。

(4)在模擬之都市工業環境，當污染液使用後，接著為無污染液，在 60°C 之乾燥溫度下，於耐候鋼上會生成保護性的銹層。

本加速腐蝕試驗所得結果與實際者有些不同，如圖 9 所示，主要是實際環境之雨水成份 (PH 值, SO₂ 和 Cl⁻ 含量) 以及鋼材之乾燥溫度的變化未能確切得到，用以改變模擬試驗條件。然而此結果和 Milano 地區所得結果卻相當一致，實驗室的為 $\log \nu_{\mu\text{m}/\text{year}} = 2.2 \text{ 至 } 0.84 \log t$ (days)，Milano 者為 $\log \nu_{\mu\text{m}/\text{year}} = 0.9 \text{ 至 } 0.84 \log t$ (years)，因此以 WSII 耐候鋼而言，實驗室試驗 10 天，腐蝕速率為 20 $\mu\text{m}/\text{year}$ ，而 Milano 10 年才為 1 $\mu\text{m}/\text{y}$ 。

三) 鹽水噴霧試驗

鹽水噴霧試驗是常被採用之加速腐蝕試驗方法，一般均依 ASTM B117-73 的規定，於 5% NaCl 鹽水，35°C，1 kg/cm² 之空氣壓力噴霧下進行。

圖 10 為破鋼和高耐候鋼在鹽水噴霧中之腐蝕失重和試驗時間之關係，而圖 11 則為於臨海區實際試驗所得結果，可見兩者之間存有極大的差距，即使斜率即已不同。相對於工業區或鄉村區的試驗，則存有更大的差異，尤其是耐候鋼。

三、討 論

前面已提及加速試驗應有的四項性能，然而前述之各種加速試驗許多均無法滿足此四項要求，因此無法有效的預測實際之腐蝕速率，其原因主要有下列幾項：

1. 環境因子：

影響腐蝕的環境因子有很多，因此地區不同，環境即有所改變；而且即使是同一地區，因時間的不同，污染因子、濃度可能都不相同，故若以簡單的海岸地區、海岸工業區、都市工業區和鄉村區來區分環境是不詳實的。單就鄉村區，即有乾燥、多雨、季風等的不同；工業區更有不同濃度之不同污染因子的差異。所以模擬加速腐蝕

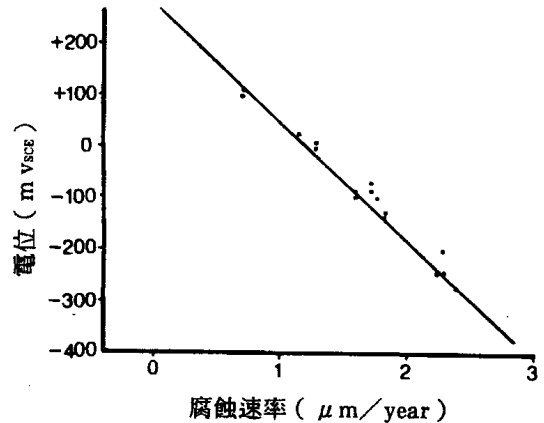


圖 9 利用加速電化學腐蝕試驗所得腐蝕速率和電位之關係。

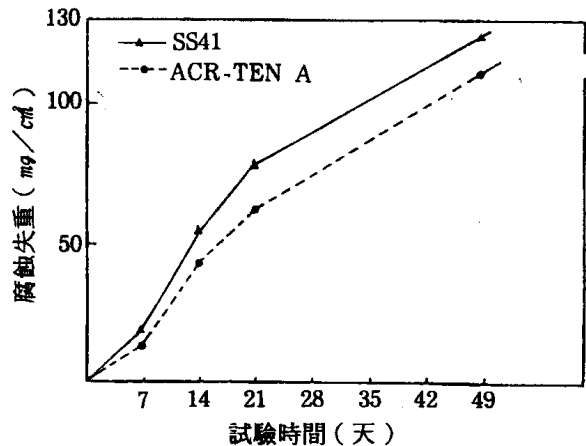


圖 10 破鋼 SS41 和高耐候鋼 ACR-TEN A 在 5% NaCl 之鹽水噴霧中之腐蝕失重和試驗時間的關係。

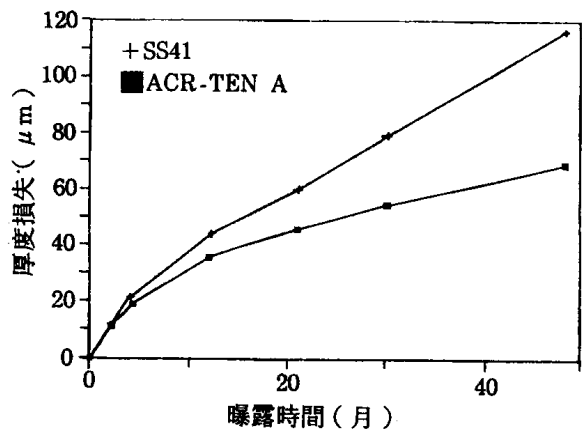


圖 11 破鋼 SS41 和高耐候鋼 ACR-TEN A 在臨海區 (中山大學) 的曝露試驗結果

破鋼和耐候鋼之加速腐蝕與實際曝露腐蝕的關連性

試驗在無法全面顧及的情況下，即有無法精確預測的問題。

2. 模擬條件的適當性

圖12 為鐵在含 0.01%SO₂氣氛下，腐蝕速率和相對濕度的關係，此即顯示相對濕度在 60% 為此一環境的轉折點，而 JSSC 卻把 75%RH 以下即定義為乾的狀態，因此所得結果在一些情況下自然會有大的差異。而此一類似的情形，可能也會發生在其它因子上，如圖13 亦顯示有相同的效應。

3. 生銹的機構

鐵銹有許多種，如表 6 所示，其生成之過程可簡單的被描述如圖14，由此過程得知要沈澱析出，就必須是乾燥方能產生。對耐候鋼而言，主要

是生成內層非晶質銹來保護，因此乾燥就變得非常重要；另外於雨水中若溶有大氣的 SO₂，SO₃ 等，會使 PH 值降低， γ -FeOOH 即易被溶解，再乾燥析出非晶質三價鐵氧氫氧化物，同時鋼材中之 Cu，P，Cr 等亦會被溶解，在於析出時促進緻密銹層的生成。

此一機構顯示一直以鹽水噴霧進行加速腐蝕試驗是不合理的；JSSC 所採用之方法亦不符實際銹生成的機構；而 Prof. Pourbaix 所採用之方法，使試片溫度提高，水氣蒸發，得到乾燥的狀態，加上使用之溶液較溫和，所以得到之腐蝕失重和時間的關係與實際曝露者較具相關性。

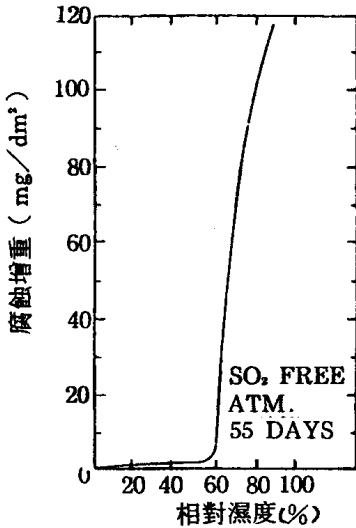


圖12 鐵在含 0.01% 二氧化硫氣氛下，經 55 天曝露後的腐蝕速率和相對濕度的關係。

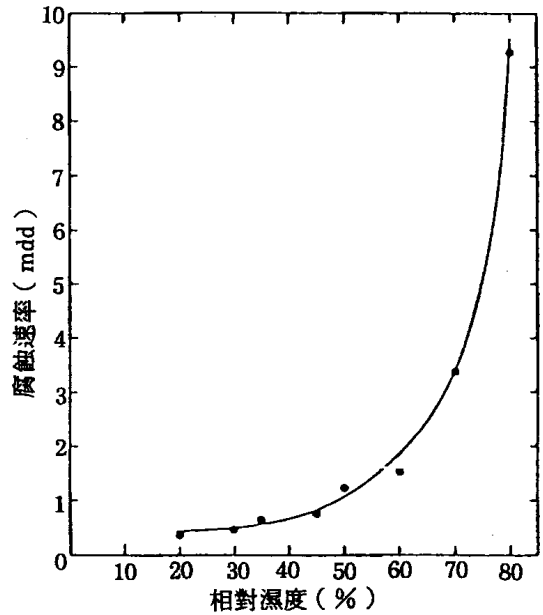


圖13 與海鹽粒子 (~7g/cm³) 接觸之鋼材經 13 天曝露後之腐蝕速率和氣氛中相對濕度的關係。

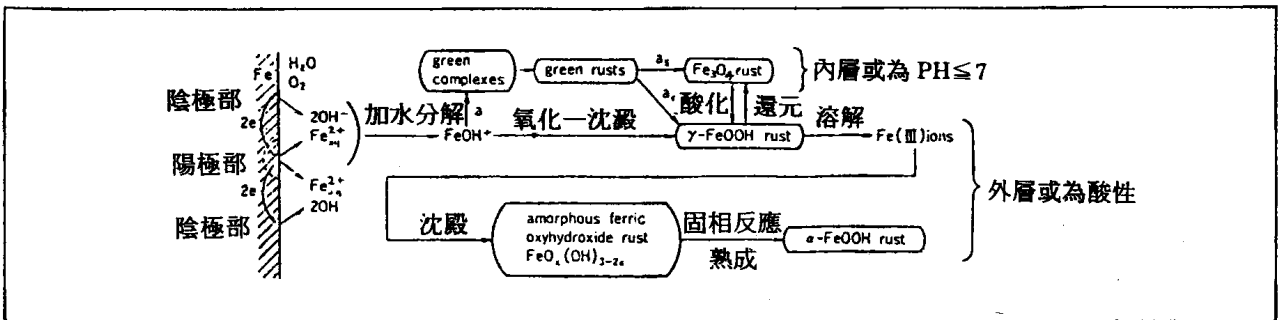


圖14 在中性和酸性之大氣腐蝕環境 (都市、工業地區)，生成鐵銹之變化模式圖 (Misawa, 1978年)

表6 鐵腐蝕可能生成之氧化物、氫氧化物和非晶質複合物之一些特性

化合物 (礦物名)	$\frac{Fe^{2+}}{Fe^{2+} + Fe^{3+}}$	色	結晶形	磁性	電氣傳導	密度	加熱產生構造轉移
Fe(OH) ₂	0	白	CdI ₂ 六方晶系	常磁性	絕緣體	3.40	約100°C分解成Fe ₂ O ₃ 和H ₂ (Schikorr反應)
FeO (Wustite)	0	黑	NaCl 立方晶系	常磁性	半導體	5.4 ~5.73	570°C分解成Fe和Fe ₂ O ₃
Fe ₃ O ₄ (magnetite)	0.67	黑	Spinel 立方晶系	強磁性	導體	5.2	
α-FeOOH (goethite)	1.0	黃	α-FeOOH 斜方晶系	常磁性	絕緣體	4.3	約200°C脫水成 α-Fe ₂ O ₃
β-FeOOH (akaganeite)	1.0	淡褐色 ~白	α-MnO ₂ 正方晶系	(常磁性)	(絕緣體)		約300°C脫水成 α-Fe ₂ O ₃ (或γ-Fe ₂ O ₃)
γ-FeOOH (lepidocrocite)	1.0	橙色	γ-FeOOH 斜方晶系	常磁性	絕緣體	4.1	約200°C脫水成 γ-Fe ₂ O ₃
δ-FeOOH	1.0	褐色	不規則的CdI ₂ 六方晶系	強磁性		3.95 (4.32)	約200°C發生α-FeOOH に變態 約300°C脫水成α-Fe ₂ O ₃
α-Fe ₂ O ₃ (hematite)	1.0	赤~黑	Al ₂ O ₃ 三方晶系	常磁性	絕緣體	5.2	
γ-Fe ₂ O ₃ (maghemite)	1.0	褐色	Spinel 立方晶系	強磁性	半導體 ~絕緣體	4.88	約400°C的α-Fe ₂ O ₃
綠銹 I 綠銹 II (green rusts)	(0.33) (0.5)	綠 綠	六方晶系 六方晶系	green rust I 的生成, Cl ⁻ 是必要的 green rust II 的生成, SO ²⁻ 是必要的			
無定形銹 (非晶質的物質)	(1.0)	(褐色)	無定形 (amorphous)	存於大氣腐蝕的銹層中, 經X-ray繞射為擴散 繞射圖, 推測為非晶質水氧化鐵。			

四、結 論

加速腐蝕試驗主要是要大幅縮短實際試驗的時間, 而得到相同的結果, 因此條件就要嚴苛許多, 腐蝕因子的濃度自然要大幅提高。然而許多加速試驗會與實際者不符, 主要是沒有考慮鋼材生銹的機構, 因此在設定條件時未能詳加注意, 例如: JSSC 的方法, 若能使乾燥時之相對濕度保持在 60% 以下, 可預期會有不一樣之結果。

鹽水噴霧試驗不適宜作為裸鋼之加速腐蝕試驗的方法, 尤其是對耐候鋼。

參考資料

(1)日本鋼構造協會: "JSSCC 耐候促進試驗法について"

て"。JSSC., Vol.10, No.107, Nov. (1974) 15~37。

(2)日本鋼構造協會: "耐候性鋼に關する調查研究", JSSC Vol.17, No. 178, Jan. (1981) 5~62。

(3)M. Pourbaix and A Pourbaix; "Recent Progress in Atmospheric Corrosion Testing", Corrosion, Vol. 45, No. 1, (1989) 71~83。

(4)W.H.J. Vernon; Trans. Faraday Soc., Vol. 27, (1931) 255, Vol.31, (1935) 1668。

(5)S.J. Duly; J. Soc. Chem. Ind., Vol. 69, (1950) 304。

(6)三沢俊平, "鐵さび生成の現狀と未解明點", 防食技術, Vol.32 (1983) 657~667。

附表: 碳鋼 (SS41) 和高耐候鋼 (Acr-Ten A) 之典型化學成份。

合金元素 (wt.%) 鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Al
SS41	0.13	0.19	0.81	0.015	0.008	0.063	0.021	0.049	—	0.024
Acr-Ten A	0.10	0.44	0.47	0.10	0.008	0.31	0.55	0.30	—	0.02

厚度: 4mm/m