

金屬及混凝土
耐久耐候性評估之應用與探討
——戶外曝曬試驗

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 98 年 12 月

098301070000G2011

金屬及混凝土
耐久耐候性評估之應用與探討
——戶外曝曬試驗

研究人員：厲妮妮、曹源暉

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 98 年 12 月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE

MINISTRY OF THE INTERIOR

Application and Discussion of Durability and
Weather Resistance of Metal and Concrete
—— Outdoor Exposure Test

BY

WEI-WEI LEE

YUAN-HUEI, TSAO

December 31, 2009

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法	2
第二章 金屬	5
第一節 金屬之腐蝕機制	5
第二節 文獻回顧	9
第三章 混凝土	29
第一節 混凝土品質之影響因素	29
第二節 文獻回顧	33
第四章 試驗規劃	39
第一節 金屬大氣曝曬試驗規劃	39
第二節 混凝土大氣曝曬試驗規劃	48
第五章 結論與建議	53
第一節 結論	53
第二節 建議	54
附錄一 歷次審查之會議紀錄	57
附錄二 國家標準	65
參考書目	87

表 次

表 2-1	鋼鐵在各種土壤中之腐蝕率	9
表 2-2	試驗用金屬之底材成分、鍍鋅量與鍍層厚度	14
表 2-3	大氣腐蝕之機械強度變化	16
表 2-4	大氣腐蝕線材腐蝕等級分類表	16
表 2-5	大氣腐蝕後金屬在 3%NaCl 溶液中之腐蝕特性值	17
表 2-6	大氣腐蝕曝露試驗後金屬表面主成分元素分析	18
表 2-7	大氣腐蝕曝露試驗後金屬表面腐蝕生成物分析	18
表 2-8	選用之鋼材成分表	19
表 2-9	季腐蝕速率與氯鹽沈降通量關係表	20
表 2-10	A588 耐候鋼、SPHC 軟鋼與 SS400 碳鋼之腐蝕速率	22
表 2-11	試驗鋼材之化學成分(wt%).....	23
表 2-12	工業區鋼材腐蝕失重方程式之 A、B、t*值	24
表 2-13	濱海區鋼材腐蝕失重方程式之 A、B、t*值	25
表 2-14	鄉村區鋼材腐蝕失重方程式之 A、B、t*值	26
表 3-1	卜特蘭水泥之類型	29
表 3-2	卜特蘭水泥各類型之主要成分	30
表 3-3	水泥中化合物水化作用之特性	30
表 4-1	鋼鐵建材自然曝曬劣化試驗記錄表	40
表 4-2	大氣曝曬環境因子記錄規定	42
表 4-3	溼潤時間分類	43
表 4-4	氯化物沈積率分類	43
表 4-5	二氧化硫(SO ₂)沈積率分類	43
表 4-6	大氣腐蝕環境分類（以環境因子分類）	44
表 4-7	大氣腐蝕環境分類（以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分）	48

圖 次

圖 1-1	本研究之流程	3
圖 2-1	自由腐蝕試片平均腐蝕速率與置放水深的關係	11
圖 2-2	陰極防蝕試片平均腐蝕速率與置放水深的關係	11
圖 2-3	自由腐蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係	12
圖 2-4	陰極防蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係	13
圖 2-5	季腐蝕速率與氯鹽沉降通量關係圖	21
圖 2-6	不同材質鋼種於六輕廠區的腐蝕量變化圖	22
圖 2-7	工業區裸露鋼材腐蝕失重對數與曝露時間對數之關係	25
圖 2-8	濱海區裸露鋼材腐蝕失重對數與曝露時間對數之關係	26
圖 2-9	鄉村區裸露鋼材腐蝕失重對數與曝露時間對數之關係	27
圖 3-1	抗壓強度與材齡之關係	35
圖 3-2	劈裂強度與材齡之關係	36
圖 3-3	中性化深度與材齡之關係	37
圖 3-4	氯離子濃度與材齡之關係（距表面之深度 0~2.5cm）	38
圖 4-1	氯離子含量試驗之混凝土取樣	49

摘 要

關鍵詞：耐久性、耐候性、戶外曝曬

一、研究緣起

本所致力推廣的綠建築標章中，「二氧化碳減量」及「廢棄物減量」是其中二項重要指標。「二氧化碳減量指標」的訴求是指所有建築物軀體構造的建材（暫不包括水電、機電設備、室內裝潢以及室外工程的資材），在生產過程中要求減低所排放之二氧化碳量，以減少溫室氣體效應，為地球的健康貢獻心力。我們都知道，結構物的建材大多為金屬及混凝土，在金屬冶煉、混凝土燒製等生產過程中，需耗費相當多的能源，亦會排放出大量二氧化碳。若能延長結構體之使用年限，相對來說，也可算是二氧化碳的減量作法。另外，台灣遍地林立的鋼筋混凝土建築，在施工及拆除階段產生大量粉塵與廢棄物，如能採用耐久性較佳的建材，相對來說，在一定期間內減少施工與拆除的次數，對於廢棄物減量有一定的幫助，如此便能減緩建築開發對環境的衝擊，降低民眾對建築開發的阻力，進而增進生活環境品質。

為了延長公共設施的服務年限，政府部門已擬定計畫，並採取相關措施。行政院「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」[1]提出：「而當設施壽命將屆，或是面臨服務效能降低的情況時，究應投資經費延長服務年限並提高效能，亦或拆除重建，實需要完整且詳實的評估機制，並就設施的重要性及必要性排定優先順序，研擬延壽執行方案，並據以推動，方能將政府的投資作最有利的分配與利用。」，一語道出建材耐久性研究之重要性。若無建立相關大氣曝曬實驗結果之資料庫，執行上述的評估機制將困難重重。

二、研究方法及過程

有關於國內對於大氣曝曬實驗，其結果資料較為缺乏，且或受限於支援經費，實驗期間以一、二年為多，實不足以呈現建築材料之耐久性表現。本所材料實驗中心為一國家級的實驗中心，其中耐久耐候實驗室建置設備有鹽霧複合耐候試驗機、壓汞孔隙儀、離子層析儀、日光模擬加速劣化設備及其他分析設備等，可進行建築材料的加速劣化等相關研究。對於大氣曝曬之實驗，本所有相當合適之場地，如材料實驗中心及台南實驗中心，可進行長時間曝曬實驗，並可分別代表都市區、鄉村區、台灣北部、台灣南部等地區特性。又台灣四周環海，氯離子影響是濱海區結構物耐久性之一大考驗，所以本案亦將臨海地點納入規劃，故曝曬場之建置、試體之規劃製作等細節，皆須完整考量。本研究於今年度以蒐集彙整國內外之鋼材與混凝土大氣曝曬相關實驗結果為主，並從中吸取經驗，以作為後續之實驗規劃依據。

三、重要發現

- (一) 由文獻實驗結果顯示，不同環境的腐蝕量以濱海區最高、工業區次之，再為多風都市區及鄉村區。至腐蝕因子為鹽份影響大於二氧化硫影響。然而依國內實驗文獻指出，依據腐蝕生成物分析，幾乎都含有硫的成分，不分其實驗環境為何。據此推論，國內工業區多位於西部沿海，其二氧化硫、氯離子成分皆高，對於該處之鋼筋混凝土建築物的劣化現象，可說是雙重影響。
- (二) 本研究於今年度以蒐集彙整鋼材與混凝土大氣曝曬相關實驗結果為主，以進行曝曬場建置規劃工作。
- (三) 據文獻實驗結果顯示，乾溼循環會加速鹽害及二氧化碳所

造成的混凝土劣化現象。由此可知，潮間帶之港灣構造物受到海浪及每日的漲潮、退潮的影響，其劣化情形較一般臨海構造物需更加注意。

四、主要建議事項

立即可行之建議—先進行小型前導試驗，以增強操作經驗。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

因曝曬試驗需進行五年以上長期研究才有意義，而試驗初期之試片尺寸設計、編號方法，以及曝曬架位置安排，對後續研究成果深具影響。宜先進行小型前導試驗，除增強操作經驗外，並可採其試驗經驗及結果修正相關作業程序。

中長期性建議—建立氯離子入侵混凝土時間與深度之關係。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

建立氯離子入侵混凝土時間與深度之關係，對於未來評估氯離子滲入混凝土抵達鋼筋表面之時間計算有所幫助。

中長期性建議—增加銲接、螺栓等接合部位為試驗對象。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

對於實際環境中，銲接、螺栓等接合部位最易產生腐蝕情況，但一般文獻多未進行相關之試驗。建議於納入後續研究中探討瞭解，並與一般常用之平板試體試驗結果作一比較。

中長期性建議—將大氣曝曬之研究與試驗結果，與加速劣化實驗作一比較。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

長期進行大氣曝曬之研究與試驗結果，其所蒐集資料可與加速劣化實驗作一比較，以探究大氣曝曬劣化與加速劣化間之關係，便於日後對大氣曝曬劣化之預測。

Abstract

Keyword: durability, weather resistance, outdoor exposure

1. Background

The materials of structural buildings are mostly metal and concrete. The processes of metal smelting and concrete sintering consume a lot of energy and produce massive carbon dioxide emission. If the service life of structural buildings can be extended, the carbon dioxide emission will be relatively reduced. By the way, if materials with longer durability are used, the construction and dismantling frequency will be curtailed in a certain period, thus help waste reduction. Therefore, the environmental impact of constructional development can be lessened, the public resistance to constructional development will mitigate, and the quality of living environment will be enhanced.

For extending the service life of public facilities, Executive Yuan proposes that “when a facility is reaching its service life or its service efficiency abates, a complete and accurate evaluation mechanism is required to decide whether it shall be dismantled and rebuilt or it shall be invested to extend its service life and enhance its efficiency. The priority of facilities shall be determined according to their importance and necessity. Life extension proposal shall be planed and executed. Therefore, the Government’s investment can be optimally allotted and applied.” They point out the importance of construction material durability research. However, it will be difficult to execute the evaluation mechanism above, if the relative atmosphere exposure test result database is not built.

2. Research Method and Procedure

In Taiwan, the atmosphere exposure test result data is relatively less, and also, the test periods are mostly only one or two years due to funding shortage; they are not enough to show the durability performance of construction materials. For atmosphere exposure test, Material Test Center and Tainan Test Center can do long term exposure tests and represent the local characteristics of urban area, rural area, Northern Taiwan and Southern Taiwan. Besides, Taiwan is ocean-surrounded, chlorine ion can generate large damage to structural buildings in coastal region. Thus, coastal region is also included in this study.

3. Important Discovery

- (1) The test result shows that, in different environment, coastal area generates the highest corrosion velocity, industrial area is the second, and windy urban area and rural area are the last. Although, salt is the greater corrosion factor than sulfur dioxide, Taiwanese test literatures indicate that almost all the corrosion products contain sulfur, no matter where the test environment is. It is inferred that the industrial areas are mostly locate in West coast in Taiwan, where sulfur dioxide and chlorine ion concentrations are both high, producing double degradation effect to reinforced concrete buildings.
- (2) The test result shows that wet/dry cycling would accelerate concrete degradation caused by carbon dioxide. Therefore, due to wave and rising and ebbing tide, the degradation of harbor structure buildings in tidal flat shall be more cautious than normal coastal structures.

4. Major Recommendations

- (1) The relationship between time and depth of chlorine ion invading concrete shall be stated, in order to help calculating and evaluating

when chlorine ion penetrates concrete and reaches steel bar surface.

- (2) In practical situation, corrosion happens most often at joint area, such as welding and bolts. However, most literature did not perform relating tests. It is recommended to include the relating tests in subsequent studies and to compare with the test results on normal ordinary plate specimen.
- (3) The data collected in long-term atmosphere exposure test can be compared with accelerated degradation tests, to find out the relation between atmosphere exposure degradation and accelerated degradation.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

以往業主或建築師對於建築材料的選擇，多著重於強度、成本，其次考量美觀等附加價值。而現今在永續建築設計概念之推廣下，耐久性亦列入設計考慮之一環。耐久性除了表現在結構體之安全性之外，延長服務年限以節省成本也是當今環保意識高漲、經濟景氣不佳的情況下，多數人選擇的出發點。

本所致力推廣的綠建築標章中，「二氧化碳減量」及「廢棄物減量」是其中二項重要指標。「二氧化碳減量指標」的訴求是指所有建築物軀體構造的建材（暫不包括水電、機電設備、室內裝潢以及室外工程的資材），在生產過程中要求減低所排放之二氧化碳量，以減少溫室氣體效應，為地球的健康貢獻心力。我們都知道，結構物的建材大多為金屬及混凝土，在金屬冶煉、混凝土燒製等生產過程中，需耗費相當多的能源，亦會排放出大量二氧化碳。若能延長結構體之使用年限，相對來說，也可算是二氧化碳的減量作法。另外，台灣遍地林立的鋼筋混凝土建築，在施工及拆除階段產生大量粉塵與廢棄物，如能採用耐久性較佳的建材，相對來說，在一定期間內減少施工與拆除的次數，對於廢棄物減量有一定的幫助，如此便能減緩建築開發對環境的衝擊，降低民眾對建築開發的阻力，進而增進生活環境品質。

為了延長公共設施的服務年限，政府部門已擬定計畫，並採取相關措施。行政院「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」[1]提出：「而當設施壽命將屆，或是面臨服務效能降低的情況時，究應投資經費延長服務年限並提高效能，亦或拆除重建，實需要完整且詳實的評估機制，並就設施的重要性及必要性排定優先順序，研擬延壽執行方案，並據以推動，方能將政府的投資作最有利的分配與利用。」，一語道出

建材耐久性研究之重要性。若無建立相關大氣曝曬實驗結果之資料庫，執行上述的評估機制將困難重重。

第二節 研究方法

有關於國內對於大氣曝曬實驗，其結果資料較為缺乏，且或受限於支援經費，實驗期間以一、二年為多，實不足以呈現建築材料之耐久性表現。本所材料實驗中心為一國家級的實驗中心，其中耐久耐候實驗室建置設備有鹽霧複合耐候試驗機、壓汞孔隙儀、離子層析儀、日光模擬加速劣化設備及其他分析設備等，可進行建築材料的加速劣化等相關研究。對於大氣曝曬之實驗，本所有相當合適之場地，如材料實驗中心及台南實驗中心，可進行長時間曝曬實驗，並可分別代表都市區、鄉村區、台灣北部、台灣南部等地區特性。又台灣四周環海，氯離子影響是濱海區結構物耐久性之一大考驗，所以本案亦將臨海地點納入規劃，故曝曬場之建置、試體之規劃製作等細節，皆須完整考量。本研究於今年度以蒐集彙整國內外之鋼材與混凝土大氣曝曬相關實驗結果為主，並從中吸取經驗，以作為後續之實驗規劃依據。

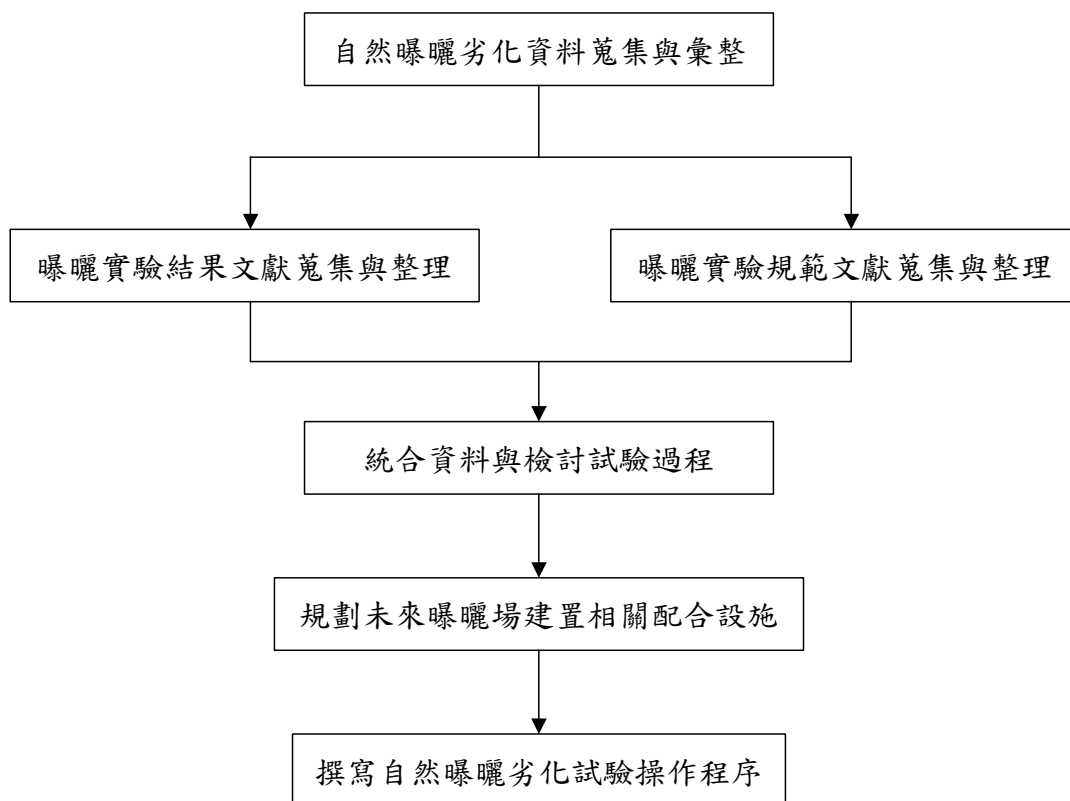


圖 1-1 本研究之流程

(資料來源：本研究繪製)

第二章 金屬

第一節 金屬之腐蝕機制

鐵在大自然中，多以氧化物、硫化物的狀態存在，此時的鐵相當穩定；一旦以人工方式冶煉還原後，則成為不穩定狀態，易與大氣中之氧結合，即為鐵的腐蝕（生鏽）。

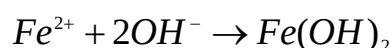
2.1.1 金屬的腐蝕

金屬腐蝕的定義是金屬發生氧化反應，使其表面失去電子之過程。大氣環境中的水氣、雨、露、雪等水分在金屬表面形成水膜時，便扮演著電解液的角色。此時的金屬成為電化學反應中的陽極，失去電子，而水膜中的離子則成為陰極，得到電子。如此氧化與還原的過程，以鐵為例，其化學反應式如下[2]：

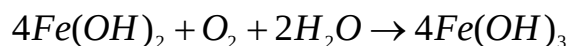
陽極氧化反應： $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$

陰極還原反應： $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$

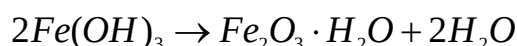
而二價鐵離子則進一步與氫氧根離子作用：



二價鐵離子亦會與氧和水形成三價鐵：



三價鐵離子會進一步與氫氧根離子作用：



由此可瞭解金屬（鐵）的腐蝕過程。 $Fe(OH)_2$ 是鐵鏽的最內層組織； $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ 是鐵鏽最外層的成分，常從鐵之表層脫落為碎片狀態，於是鐵之腐蝕逐步由外而內至全部瓦解。

2.2.2 鋼鐵結構物之腐蝕形態類別

鋼鐵結構物之腐蝕形態類別有[3]：

1. 鋼鐵焊接或螺栓、鉚釘連接處之應力或異金屬及間隙腐蝕。
2. 支承部位或彎角，受張應力部位之應力腐蝕。
3. 時常乾溼、排水不良或漏水與積存水分、污物及水氣不易散發部位之電位差腐蝕。
4. 鋼鐵受到火燒部位之熱應力腐蝕。
5. 鋼材切斷、碰撞部位之應力腐蝕。
6. 鋼材尖末端之濃淡氧電池腐蝕。
7. 靠海邊側面之鋼梁、橋架易受海風吹襲部位之電位差腐蝕。
8. 下部結構鋼材與水面接觸及受濺潑部位之電位差腐蝕。
9. 土水中之鋼構材因電解質、溶氣量、溫度及 pH 值之差異而發生之電位差腐蝕。
10. 鋼鐵表面塗裝不當或有針孔，劣化引起之電位差腐蝕。
11. 鋼鐵表面以防蝕帶包覆或以異金屬被覆不當，有空隙或劣化而發生之電位差或異金屬腐蝕。
12. 鋼鐵因土水中生存嫌氣性細菌或呼氣性細菌而發生細菌腐蝕。
13. 土水中之鋼鐵因漏失電流(stray current)而發生漏失電流腐蝕。

以下針對幾種腐蝕形態作詳細介紹：

一、土水金屬腐蝕形態[3]

(一) 異種金屬接觸腐蝕

不同的金屬，其電位高低不同，如遇土壤或水中含有電解質，則形成電池，電子由電位高者流向電位低者，而產生陽極與陰極的狀態，發生腐蝕作用。

(二) 稀濃電池(Differential Concentration cell)作用之腐蝕

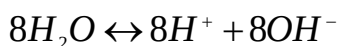
當橋梁工程下部結構埋入土中，其為金屬者多為鋼管樁或含有鋼筋之鋼筋混凝土樁、沈箱等，其為管線者

則為鋼管與其經過不同土壤時其鄰界附近常產生腐蝕。蓋土壤性質及其組成一有差異，則其含鹽濃度、水分或溶存瓦斯等即有所變化。因溶氣量之差異於金屬表面將成稀濃電池，而濃度稀者成為陽極開始腐蝕。例如地表下之土壤由黏土層進入砂礫層或砂層時，在其變換相鄰處即因電位有差異而產生電氣化學反應，低電位處即產生腐蝕。

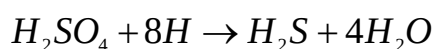
(三) 細菌腐蝕(Bacterium)

原則上在與氧氣隔絕之情況下，因無法氧化故不至於產生腐蝕情形，惟有時在深水土中仍有嚴重腐蝕發生，經研究結果發現由於生存在土壤中之某種細菌具有復極劑所引起，此種細菌如硫酸鹽還原菌、硝酸還原菌等嫌氣細菌(Anacrobic bacterium)及部分呼氣性細菌如鐵細菌、硫氯化菌等。其中以硫酸鹽還原菌對土壤中鋼鐵最具腐蝕作用，據調查此種細菌生存範圍最為廣泛，如河、海、湖底等土壤均可存在，尤其在漁港、大都市之河口附近為甚，惟與河床之土質有關，如為岩層、砂礫等則甚少發現。如為黏土質且 pH 值在 5~8.6 之範圍內尤以 pH 值為 6.5~7.2、溫度在 30°C~35°C、氯化鈉濃度 3%附近之情況，最為活躍，硫酸鹽還原菌對銅鐵之腐蝕，多為孔蝕，如以化學反應式表示之則如下：

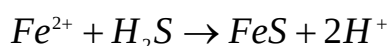
鋼之陽極溶解

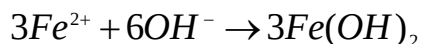


復極



腐蝕生成物





(四) 漏失電流腐蝕(Stray Current Corrosion)

電車或電氣化鐵路以電為動力者，其電流有迴路電流，其間可能有部分漏失於土壤中，此種電流稱為漏失電流。當埋設於土壤中之管線，遇此電流，易受腐蝕，因此對於鋼管樁、地下纜線、鋼管等之防蝕處理應加以注意防範。

二、鋼鐵在土中之腐蝕程度

鋼鐵腐蝕程度受到周遭環境之影響甚鉅，如溫度、pH 值等，而在不同的土壤中，其比電阻、通氣性等亦是影響地下鋼鐵腐蝕之條件。以美國國家標準局(National Bureau of Standards)之 12 年試驗紀錄可以看出（如表 2-1），於地面下之鋼鐵在不同之土壤中，其腐蝕程度有不同的表現。一般而言，通氣性良好、比電阻高、且 pH 值在 4.5~6.2 者，其腐蝕程度較低。

表 2-1 鋼鐵在各種土壤中之腐蝕率

土壤種類	比電阻 (Ω -cm)	通氣性	pH 值	全面腐蝕率 mm/年(V_1)	最大腐蝕率 mm/年(V_2)	V_2/V_1
Cecil clay loam	17,800	良	4.8	0.016	0.62	39.0
Hagerstown loam	5,210	良	5.8	0.019	0.26	13.7
Susquehonna clay	6,920	可	4.5	0.028	0.16	5.7
Chins silt loam	148	良	8.0	0.029	0.20	6.9
Mohave fine gravelly loam	232	可	8.0	0.083	1.75	21.0
Acadia clay	190	不良	6.2	0.031	0.13	4.2
Docus clay	62	可	7.5	0.070	0.24	3.4
Lake Charles clay	406	極差	7.1	0.114	0.75	6.6
Mercel silt loam	278	可	9.4	0.163	0.66	4.1
Carlisle muck	1,666	極差	5.6	0.045	0.18	4.0
Rifle Peat	218	不良	2.6	0.072	0.25	3.5
Tidal marsh	84	極差	6.9	0.086	0.23	2.7
Muck	712	不良	4.8	0.057	0.25	4.4
Sharkey clay	943	不良	6.8	0.100	0.36	3.6
平均				0.065	0.43	6.7
Cinder	455	極差	7.6	1.000	1.75	1.8

(資料來源：「鋼橋等結構物之腐蝕原因及類別與熱浸鍍鋅防蝕鋼橋之設計製造及施工」，莊秋明，土木工程技術第六卷第三期，第 84 頁，91 年 9 月)

第二節 文獻回顧

2.2.1 「高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究」[4]

實驗試體：SS41 碳鋼、SS41/CP (鋼材／陰極防蝕)

海水曝露地點：高雄港北港區 10 號碼頭(#10)、14 號碼頭(#14)、33 號碼頭(#33)與 51 號碼頭(#51)，各碼頭位置之海面下 0m、3m 及 6m 共三層

期程：85.3.~89.10.（約四年半）

一、選用鋼材之成分

碳鋼材料 SS41 之化學組成(Wt%)為 C 0.26max、P 0.04max、S 0.05max，尺寸為 20cm×20cm×1cm。除用原材料 SS41(ASTM A36)以外，另以陰極防蝕工法（加裝鋁塊為犧牲陽極）之 SS41/CP 碳鋼作對照。

二、實驗步驟

本研究於民國 85 年 1 月 10 日擺放試片，其後分別於民國 85 年 3 月、5 月、8 月、11 月、民國 86 年 2 月、5 月、11 月、民國 87 年 5 月、11 月、民國 88 年 4 月、民國 89 年 3 月、民國 89 年 10 月各取出一批試片，浸泡時間分別為 2 個月、4 個月、7 個月、10 個月、13 個月、16 個月、22 個月、28 個月、34 個月、40 個月、51 個月和 58 個月。

三、實驗結果

（一）腐蝕速率與放置水深之關係

圖 2-1 與圖 2-2 分別為自由腐蝕試片與陰極防蝕試片平均腐蝕速率與放置水深之關係，其中各點分別為試片在各碼頭相同深度十二次採樣的平均腐蝕速率，實線是相同水深不同碼頭的平均值。結果發現，在浸漬 58 個月後，腐蝕速率與所處之水深位置無明顯關係。以實線部分看出：自由腐蝕試片的腐蝕速率有隨浸漬水深的增加而約略遞增的趨勢，而陰極防蝕試片的腐蝕速率有隨浸漬水深的增加而稍減緩的趨勢。但不論增或減，其變化均在 0.02mm/y 之內，差異極小。

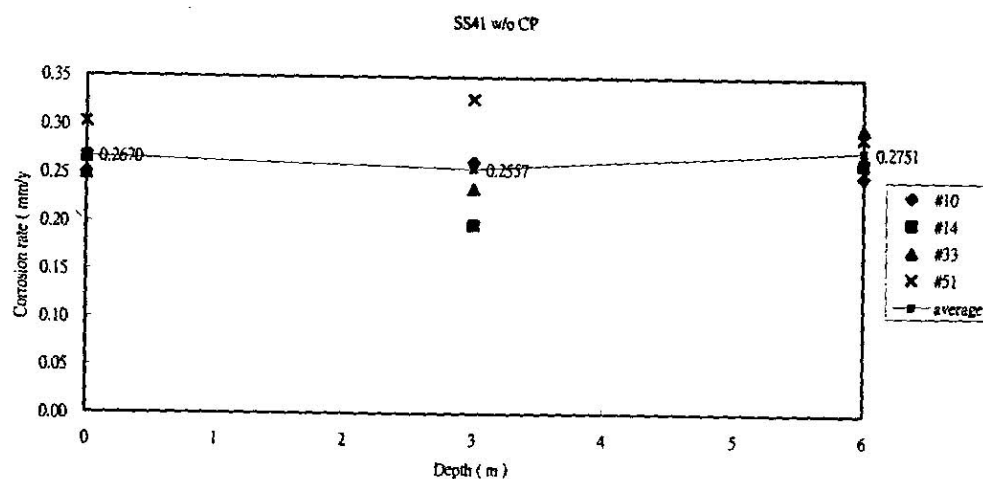


圖 2-1 自由腐蝕試片平均腐蝕速率與置放水深的關係

(資料來源：「高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，第 134 頁，89 年 12 月)

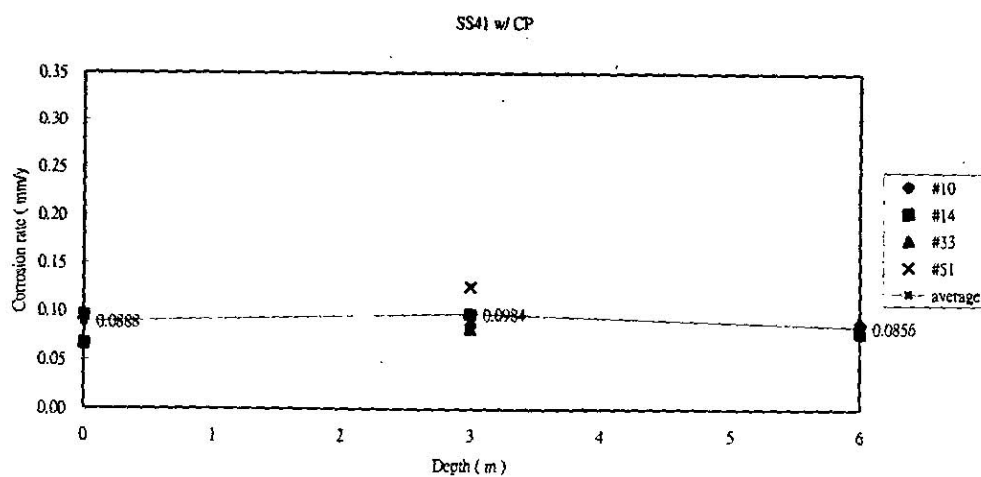


圖 2-2 陰極防蝕試片平均腐蝕速率與置放水深的關係

(資料來源：「高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，第 134 頁，89 年 12 月)

(二) 腐蝕速率與浸漬時間之關係

圖 2-3 與圖 2-4 分別為自由腐蝕試片與陰極防蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係，其中各點分別為試片在十二次採樣時相同深度於四座碼頭的個別腐蝕速率，實線是相同浸漬時間內不同碼頭的平均值。顯然地，不論是自由腐蝕試片或陰極防蝕試片（實線部分），試片腐蝕速率在浸漬初期隨著曝露時間增加而遞增，於第 7 個月時到達最大（自由腐蝕試片=0.440mm/y，陰極防蝕試片=0.189mm/y），隨後隨著曝露時間增加而遞減。浸漬 58 個月後，自由腐蝕試片之腐蝕速率為 0.203mm/y，陰極防蝕試片為 0.057mm/y。

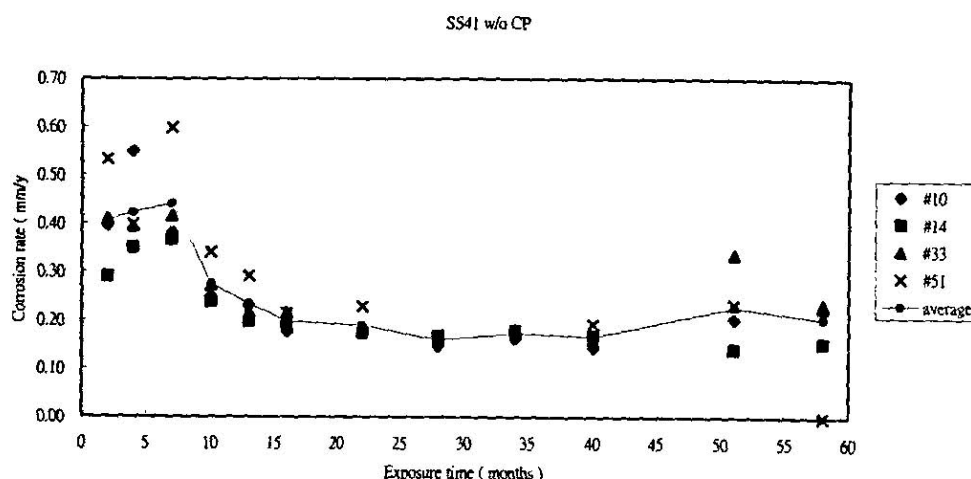


圖 2-3 自由腐蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係

（資料來源：「高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，第 135 頁，89 年 12 月）

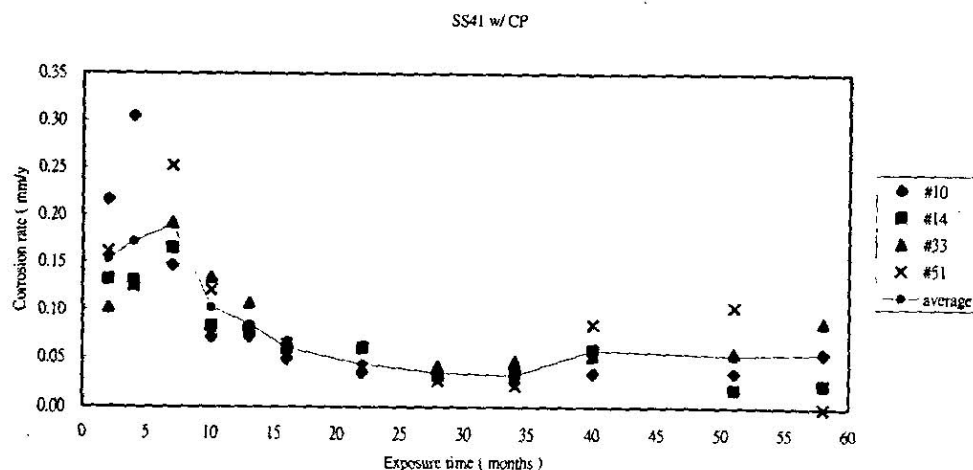


圖 2-4 陰極防蝕試片平均腐蝕速率與浸漬時間的關係

(資料來源：「高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，第 135 頁，89 年 12 月)

分析其原因，可能是因浸漬初期，腐蝕速率受到海水溶氧所控制，且海生物附生緻密度較小，致使金屬表面產生許多微小的氧差和濃度差異電池，造成腐蝕速率隨海生物覆蓋面積增加而增加。而在浸漬 7 個月後，金屬表面海生物附著緻密，加上腐蝕產物混合曝露環境中的泥垢，阻止海中溶氧與氯離子等腐蝕因子進入金屬表面，使得腐蝕減緩。

四、結論

- (一) 根據各碼頭 12 次採樣平均結果，SS41 碳鋼的腐蝕速率在 #51 最大(0.307mm/y)，#14 最小(0.218mm/y)，而 #10 與 #33 腐蝕速率相似。
- (二) 浸漬 58 個月後，試片的腐蝕速率與水深變化無明顯特定關係。
- (三) 不論是自由腐蝕試片或陰極防蝕試片，試片的腐蝕速率在浸漬初期隨著曝露時間的增加而遞增，於第 7 個月時到達最大，隨後隨著曝露時間的增加而遞減再趨於穩

定。

2.2.2 「鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅鋼材及 304 不鏽鋼之海洋大氣腐蝕研究」[5]

實驗試體：A、B、C 級鍍鋅鋼、5%鍍鋁鋅鋼、304 不鏽鋼

曝曬地點：大甲及北港沿海

期程：七年

一、選用鋼材之成分

試驗用材料包括 A、B、C 級鍍鋅鋼絞線與鋼片、5%鍍鋁鋅鋼絞線與鋼片、304 不鏽鋼線與鋼片，其相關成分如下表。

表 2-2 試驗用金屬之底材成分、鍍鋅量與鍍層厚度

金屬底材	化學成分					鍍鋅量 (g/m ²) 或鍍層厚度 (mm)
	C	Si	Mn	P	S	
A/Zn	0.61	0.22	0.47	0.019	0.012	230
B/Zn	0.63	0.22	0.73	0.023	0.012	488
C/Zn	0.63	0.22	0.72	0.023	0.004	732
5%AZ	0.61	0.22	0.47	0.019	0.012	0.10
304SS	0.06	0.59	1.18	0.035	0.017	Cr(18.23) Ni(8.62)

(資料來源：「鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅鋼材及 304 不鏽鋼之海洋大氣腐蝕研究」，洪耀宗等，防蝕工程，第十五卷第三期第 112 頁，90 年 9 月)

二、實驗步驟

(一) 機械強度變化

金屬線材經 7 年之曝露試驗後，其表面鏽蝕程度不一，依抗拉試驗取適當長度至少 250mm 上，中央標距 200mm，以每分鐘約 100mm 之拉速試驗至拉斷，測其最大張力（即拉斷力）。

(二) 電化學測試

試體經 7 年曝露後取回進行電化學測試。極化曲線 (polarization curve) 測試可得知試片之腐蝕速率及鈍態 (passive) 現象。電化學測試皆在 3%NaCl 溶液中進行，使用之儀器為電位儀與頻率分析儀，參考電極為飽和甘汞電極。極化曲線測量之電位掃描速率為 1mV/sec；交流阻抗測試之電位為自然腐蝕電位，測試頻率為 100kHz~0.01Hz，電位振幅為 5mV。

(三) SEM 及 EDS 分析

利用掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy, SEM) 及能量分散能譜儀 (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS)，進行大氣腐蝕後金屬樣品表面結構觀察，並分析表面化學組成。

(四) 腐蝕生成物分析

利用化學分析電子儀 (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis, ESCA) 進行 7 年大氣腐蝕試驗後之鋼線樣品測試，長度取 1.0 公分。

三、實驗結果

(一) 機械強度變化

經 7 年大氣腐蝕試驗之鋼線，其機械強度變化如下表。

表 2-3 大氣腐蝕之機械強度變化

樣品種類	平均值(kg) (試驗後)	平均值(kg) (試驗前)	拉斷力降低(%)
A 級鍍鋅鋼線	684	986	30.63
B 級鍍鋅鋼線	797	957	16.72
C 級鍍鋅鋼線	879	929	5.38
5%鍍鋁鋅鋼線	908	1044	13.03
304 不鏽鋼線	541	544	0.89

(資料來源：「鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅鋼材及 304 不鏽鋼之海洋大氣腐蝕研究」，洪耀宗等，防蝕工程，第十五卷第三期第 112 頁，90 年 9 月)

由上表顯示，A 級鍍鋅鋼線之機械強度降低幅度最大，其次為 B 級鍍鋅鋼線，而 5%鍍鋁鋅鋼線之機械強度降低幅度介於 B、C 級鍍鋅鋼線之間。304 不鏽鋼線之機械強度變化相當小。

另外，觀察表面腐蝕情形：B 級鍍鋅鋼材、C 級鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅合金鋼材之腐蝕程度均為 4 級；304 不鏽鋼材之腐蝕程度則介於 4~5 級之間；A 級鍍鋅鋼線之腐蝕程度已達 5 級，機械強度亦已小於規格安全值。因此由現場鋼材之腐蝕程度可判斷此鋼線材料更換之時間，以避免因機械強度遽降導致安全性方面的顧慮。

表 2-4 大氣腐蝕線材腐蝕等級分類表

腐蝕等級	1 級	2 級	3 級	4 級	5 級
腐蝕變化	表面具有金屬光澤	表面微白部分光澤	表面灰白沒有光澤	開始產生鏽蝕點	完全鏽蝕

(資料來源：「鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅鋼材及 304 不鏽鋼之海洋大氣腐蝕研究」，洪耀宗等，防蝕工程，第十五卷第三期第 112 頁，90 年 9 月)

(二) 電化學測試

取回曝露後之不同金屬鍍層在 3%NaCl 中之腐蝕電流，測得之腐蝕電位如表 2-5 所示。5%鍍鋁鋅之腐蝕電流最高，C 級鍍鋅由於鍍層較厚，故產生較鋅白而有保護底材之效果，腐蝕電流較低，腐蝕速率較低。不鏽鋼表面由於形成鈍態膜，故其腐蝕電流最小，腐蝕速率最低。

表 2-5 大氣腐蝕後金屬在 3%NaCl 溶液中之腐蝕特性值

金屬鍍層	腐蝕速率 (mpy)	腐蝕電流密度 ($\mu\text{ A/cm}^2$)	腐蝕電位 E_{corr} (mV) vs. SCE
5%AZ	3.096	251.7	-614
C/Zn	1.81×10^{-4}	2.32×10^{-2}	-830
304SS	0.36×10^{-4}	0.58×10^{-2}	-365

(資料來源：「鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅鋼材及 304 不鏽鋼之海洋大氣腐蝕研究」，洪耀宗等，防蝕工程，第十五卷第三期第 112 頁，90 年 9 月)

(三) SEM 及 EDS 分析

經 7 年之大氣腐蝕試驗後，各試體腐蝕生成物主成分如表 2-6，可推測由於鍍鋅層厚度之增加，所產生的表面腐蝕生成物作為抗腐蝕層，使得含高鍍鋅量之 B 級與 C 級鍍鋅鋼材其耐蝕性增加，其機械強度仍在可使用之範圍。

表 2-6 大氣腐蝕曝露試驗後金屬表面主成分元素分析

金屬底材	化學成分					
	Zn	Fe	Cl	Al	Na	S
A/Zn	--	54.43	0.27	1.75	41.25	0.51
B/Zn	57.76	9.95	1.80	9.31	0.15	3.01
C/Zn	67.32	2.15	5.02	7.72	2.90	5.54
5%AZ	50.69	4.57	5.59	10.28	0.05	7.58

（資料來源：「鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅鋼材及 304 不鏽鋼之海洋大氣腐蝕研究」，洪耀宗等，防蝕工程，第十五卷第三期第 112 頁，90 年 9 月）

每種金屬試片表面幾乎都含有硫的成分，可見即便是在台灣的濱海大氣環境中，硫氮仍是大氣腐蝕的明顯因子。若在遭受污染如氧化硫之濱海大氣環境中，熱浸鍍鋅氧化層易含有大量之硫氧化物，因此影響其氧化層之強度與保護鋼底材之耐蝕性。

（四）腐蝕生成物分析

各試體腐蝕生成物結果如表 2-7。A 級鍍鋅鋼材表面已不含純鋅層，B 級與 C 級鍍鋅鋼材表面多為氧化鋅層，5%鍍鋁鋅鋼材則為氧化鋅層與氫氧化鋁。

表 2-7 大氣腐蝕曝露試驗後金屬表面腐蝕生成物分析

A 級熱浸鍍鋅	B 級熱浸鍍鋅	C 級熱浸鍍鋅	5%級熱浸鍍鋁鋅
Zn ZnO ZnCl ₂ Fe ₂ O ₃ FeOOH Sulfate	Zn ZnO ZnCl ₂ Sulfate	Zn ZnO ZnCl ₂ Sulfate	Zn Al ZnO Al(OH) ₃ Sulfate

（資料來源：「鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅鋼材及 304 不鏽鋼之海洋大氣腐蝕研究」，洪耀宗等，防蝕工程，第十五卷第三期第 112 頁，90 年 9 月）

2.2.3 「室內加速腐蝕試驗與室外大氣腐蝕關聯性研究」[6]

實驗試體：A588 耐候鋼、SPHC 軟鋼、SS400 碳鋼

曝曬地點：六輕工業區 A 棟宿舍四樓頂，距海約 2500~3000 公尺

期程：2001.8.24.~2005.8.14.（約一年）

一、選用鋼材之成分

於本實驗中所使用之鋼材，A588 為針對抗大氣腐蝕所開發的耐候性低合金鋼，其 Cu 與 Cr 元素含量較一般碳鋼為高；SPHC 和 SS400 皆為低碳鋼，其中 SS400 為一般結構性用鋼，SPHC 的碳含量低，機械強度較差但延展性佳，一般稱為軟鋼。

表 2-8 選用之鋼材成分表

	碳 C	矽 Si	錳 Mn	磷 P	硫 S	銅 Cu	鉻 Cr	鎳 Ni	釩 V	鋁 Al
A588	0.15	0.25	1.50	0.022	0.015	0.28	0.44	0.18	0.035	-
SPHC	0.03	0.02	0.28	0.014	0.009	0.01	0.02	0.01	-	0.042
SS400	0.13	0.02	0.77	0.021	0.007	0.01	0.02	0.01	0.002	0.032

（資料來源：「室內加速腐蝕試驗與室外大氣腐蝕關聯性研究」，王麒翔，國立雲林科技大學工業化學與災害防治研究所碩士論文，第 15 頁，91 年 6 月）

二、實驗步驟

- （一）以一年為試驗期，每種鋼材各準備 7 片試片。
- （二）將經前處理完之鋼材試片，置於受測地點的測試架上。
- （三）與大氣腐蝕試驗同步進行氯鹽沈降通量之量測。
- （四）每間隔一段時間各取回一片試片。
- （五）以洗滌液清洗鋼材上的腐蝕生成物。
- （六）以純水清洗乾淨。
- （七）烘乾後稱重至小數點以下第四位，計算腐蝕重量損失。
- （八）另準備數片乾淨試片，於每次取回試片，同時更換之，

以作為季腐蝕速率的量測。

三、實驗結果

腐蝕速率之計算方式如下：

$$R_{corr.} = \frac{\Delta m}{A \cdot t}$$

其中，

Δm ：試片重量損失(g)

A：試片表面積(cm²)

t：曝曬時間(year)

(一) 初期腐蝕

以二至三個月為一季，量測腐蝕速率對照當季氯鹽
沉降通量的關係如下表：

表 2-9 季腐蝕速率與氯鹽沉降通量關係表

期間	氯離子沉降通量 (mgCl ⁻ /day · m ²)	A588 腐蝕速率 (g/year · cm ²)	SPHC 腐蝕速率 (g/year · cm ²)	SS400 腐蝕速率 (g/year · cm ²)
2001/8/24 ~2001/10/26	67.6175	0.1749	0.2590	0.1940
2001/10/26 ~2002/1/7	85.2817	0.1922	0.2699	0.2311
2001/12/3 ~2002/2/28	64.241	0.1112	0.1120	0.1113
2002/2/28 ~2002/6/5	33.4307	0.0984	0.1302	0.1327
2002/6/5 ~2002/8/14	40.2334	0.1645	0.2389	0.1811

(資料來源：「室內加速腐蝕試驗與室外大氣腐蝕關聯性研究」，王麒翔，國立雲林科技大學工業化學與災害防治研究所碩士論文，第 29 頁，91 年 6 月)

上表結果以圖示之：

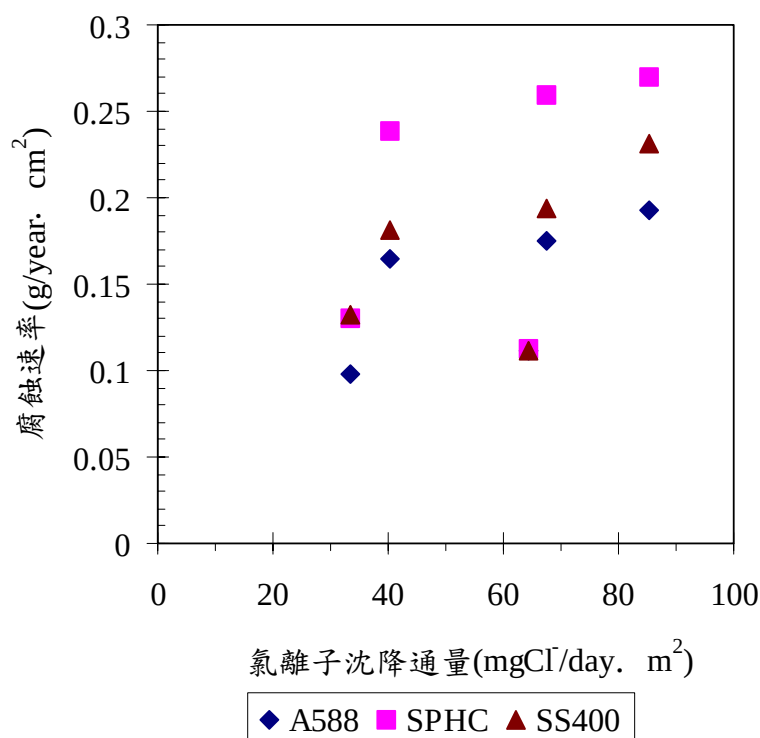


圖 2-5 季腐蝕速率與氯鹽沈降通量關係圖

(資料來源：本研究繪製)

由上圖可看出，氯鹽沈降量對腐蝕速率的確造成一定程度之影響，但其明確之對應關係應需有更多因子配合，也就是說，室外的腐蝕因子較為複雜，非僅氯離子之影響而已。

(二) 長時間腐蝕

SPHC 軟鋼之腐蝕速率一直偏高，為三種材質中腐蝕最快的。而 A588 耐候鋼與 SS400 碳鋼在初期五個月內，其腐蝕表現幾乎呈現相似的曲線。然而在 150 天後 A588 耐候鋼腐蝕速率明顯下降，或可歸因於耐候鋼在此時已生成緻密鏽層，發生保護的作用；反觀 SS400 碳鋼及 SPHC 軟鋼則在約 200 天後腐蝕速率才有較明顯的下降趨勢。

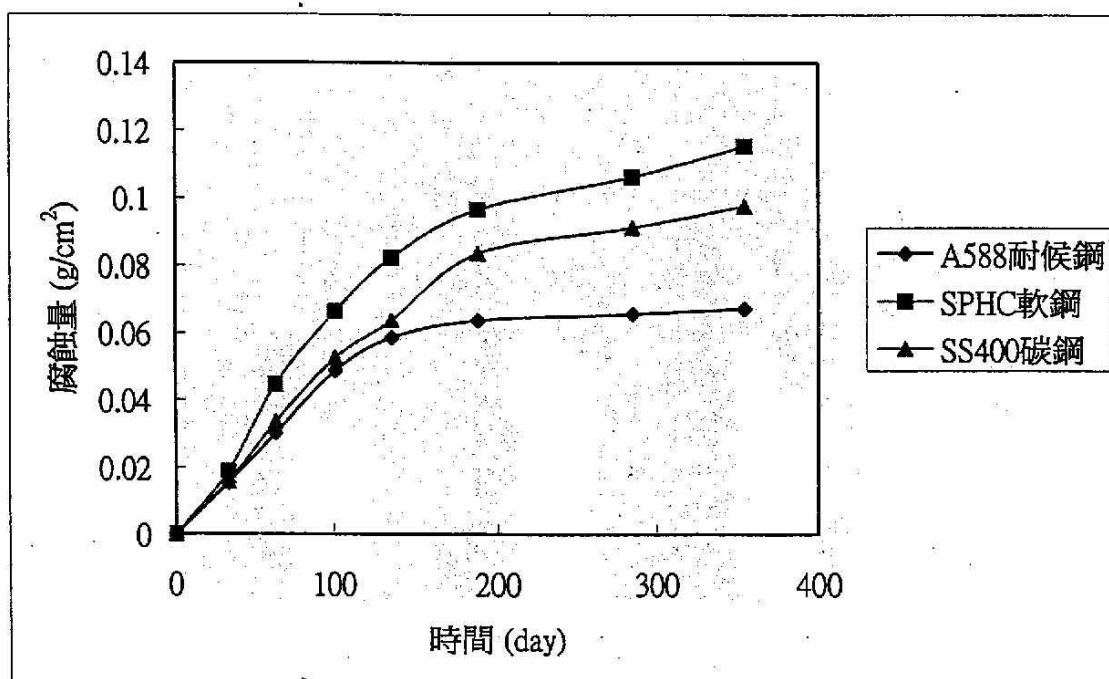


圖 2-6 不同材質鋼種於六輕廠區的腐蝕量變化圖

(資料來源：「室內加速腐蝕試驗與室外大氣腐蝕關聯性研究」，王麒翔，國立雲林科技大學工業化學與災害防治研究所碩士論文，第 30 頁，91 年 6 月)

表 2-10 A588 耐候鋼、SPHC 軟鋼與 SS400 碳鋼之腐蝕速率

曝曬時間	A588 腐蝕速率 (g/year · cm ²)	SPHC 腐蝕速率 (g/year · cm ²)	SS400 腐蝕速率 (g/year · cm ²)
6 個月	0.1239	0.1876	0.1624
9.5 個月	0.0842	0.1362	0.1168
12 個月	0.0673	0.1154	0.9752

(資料來源：「室內加速腐蝕試驗與室外大氣腐蝕關聯性研究」，王麒翔，國立雲林科技大學工業化學與災害防治研究所碩士論文，第 28 頁，91 年 6 月)

2.2.4 「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」[7]

實驗試體：SS400（碳鋼）、耐候鋼 AS1、AS2 及 SS400+Zn（弘儀熱浸鍍鋅 SS400 鋼板）共四種

曝曬地點：工業區（中鋼公司）、濱海區（中山大學）、鄉村區（樹林電力研究中心）

期程：約十年

一、選用鋼材之成分

本研究採用 SS400（碳鋼）、耐候鋼 AS1、AS2 及 SS400+Zn（熱浸鍍鋅 SS400 鋼板）等四種鋼材，其中底材之成分如下：

表 2-11 試驗鋼材之化學成分(wt%)

鋼材	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Ti	Al	Balance
SS400	0.130	0.19	0.81	0.015	0.008	0.06	0.02	0.05	-	0.024	Fe
AS1	0.005	0.30	1.23	0.069	0.011	0.28	-	0.16	0.02	0.026	Fe
AS2	0.012	0.30	1.24	0.110	0.010	0.29	-	0.16	0.02	0.018	Fe

（資料來源：「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」，張耀南等，防蝕工程，第十九卷第一期第 26 頁，2005 年 3 月）

二、實驗步驟

將鋼材加工成 150mm×100mm×厚度之大小，經研磨、去脂、清洗、（或加鍍鋅）、稱重並量尺寸後，依 ASTM G50 規定之方式，分別放置於工業區（中鋼公司）、濱海區（中山大學）及鄉村區（樹林電力研究中心）進行大氣曝露試驗。試片與地面成 30°角，且面向南方。完成試驗後，將腐蝕生成物洗淨後烘乾稱重，以計算腐蝕失重。

三、實驗結果

（一）工業區

1. 腐蝕失重 $SS400 > AS1 > AS2 > SS400 + Zn$ 。因耐候鋼含 P、Cu、Ni 等合金，保護性更佳，故 AS1 之耐蝕性較 SS400 佳；而 AS2 耐蝕性比 AS1 好，應是 P 含量較 AS1 高之緣故。

2. 依據 Townsend 和 Zoccola 之關係式：

$$C = At^B \quad \log C = \log A + B \log t$$

其中 C 為裸露鋼材腐蝕損失量、t 為曝露時間、A 與 B 為常數。

經實驗得出以下結果：

表 2-12 工業區鋼材腐蝕失重方程式之 A、B、t* 值

鋼材	SS400	AS1	AS2
A 值($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{year}^B$)	45.6	32.0	30.6
B 值 (無單位)	0.53	0.49	0.47
t* 值(year)	15.8	40.7	52.4
對 SS400 之 t* 比值	1	2.6	3.3

t* 值代表 $250 \mu\text{m}$ 之腐蝕深度所需之曝露時間

(資料來源：「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」，張耀南等，防蝕工程，第十九卷第一期第 26 頁，2005 年 3 月)

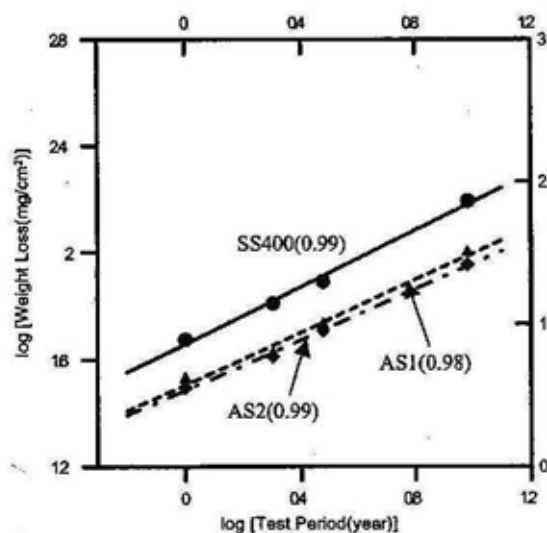


圖 2-7 工業區裸露鋼材腐蝕失重對數與曝露時間對數之關係

（資料來源：「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」，張耀南等，防蝕工程，第十九卷第一期第 29 頁，2005 年 3 月）

（二）濱海區

1. 腐蝕失重 $SS400 > AS1 > AS2 > SS400 + Zn$ 。
2. 經實驗得出鋼材腐蝕失重方程式之 A、B、 t^* 值為

表 2-13 濱海區鋼材腐蝕失重方程式之 A、B、 t^* 值

鋼材	SS400	AS1	AS2
A 值($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{year}^B$)	38.6	32.8	30.4
B 值（無單位）	0.66	0.51	0.40
t^* 值(year)	11.8	33.5	24160
對 SS400 之 t^* 比值	1	2.8	&

&：因 AS2 之 t^* 值太高，不合常理，故其對 SS400 之比值未算出

（資料來源：「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」，張耀南等，防蝕工程，第十九卷第一期第 27 頁，2005 年 3 月）

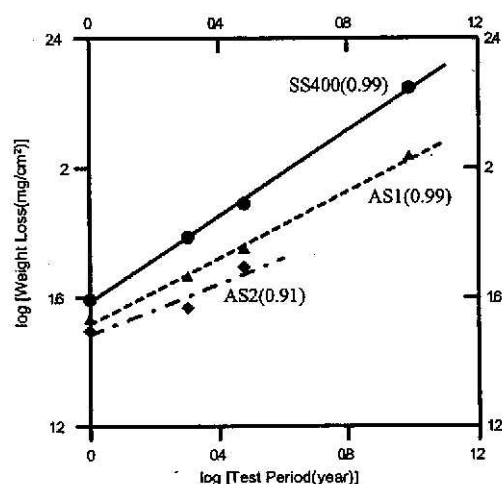


圖 2-8 濱海區裸露鋼材腐蝕失重對數與曝露時間對數之關係

(資料來源：「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」，張耀南等，防蝕工程，第十九卷第一期第 34 頁，2005 年 3 月)

(三) 鄉村區

1. 腐蝕失重 $SS400 > AS1 > AS2 > SS400 + Zn$ 。
2. 經實驗得出鋼材腐蝕失重方程式之 A、B、 t^* 值為

表 2-14 鄉村區鋼材腐蝕失重方程式之 A、B、 t^* 值

鋼材	SS400	AS1	AS2
A 值($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{year}^B$)	33.5	33.1	29.3
B 值 (無單位)	0.53	0.43	0.40
t^* 值(year)	28.2	63.1	116.8
對 SS400 之 t^* 比值	1	2.2	4.1

(資料來源：「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」，張耀南等，防蝕工程，第十九卷第一期第 28 頁，2005 年 3 月)

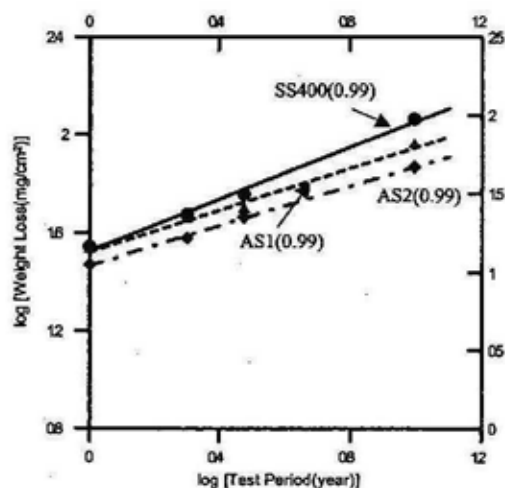


圖 2-9 鄉村區裸露鋼材腐蝕失重對數與曝露時間對數之關係

(資料來源：「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」，張耀南等，防蝕工程，第十九卷第一期第 37 頁，2005 年 3 月)

(四) 不同環境比較及綜合結論

1. 由實驗研究結果顯示，裸露鋼材的腐蝕量為濱海區 > 工業區 > 鄉村區。而鍍鋅鋼因腐蝕量較低，量測誤差較大，則無此現象。
2. S 是一般大氣腐蝕鏽層常見之成分，碳鋼如此，耐候鋼也很難避免；工業區與濱海區如此，多風都市區與鄉村區也很難避免。
3. 不論在工業區、濱海區或鄉村區，裸露鋼材的大氣腐蝕速率滿足 $C=At^B$ 之定律，且耐候鋼不僅在未生成鏽層以前反應性比 SS400 低，而且在生成鏽層後，其保護性也較佳。
4. AS1 的外層鏽皮在工業區有受到 Ca 的污染；在濱海區有受到 Cl 的污染；在鄉村區則沒有 Ca 或 Cl 污染。

第三章 混凝土

第一節 混凝土品質之影響因素

混凝土一般是由水、水泥、砂（細骨材）、石（粗骨材）所組成，另有為符合部分情況要求而額外添加摻料。然而，混凝土品質除與組成的配比、摻料有密切關係外，其生產、運送、澆置、養護及環境亦有相當大的關係。

3-1-1 水泥

依國家標準 CNS 規定，卜特蘭水泥分為八型，其適用範圍如下：

表 3-1 卜特蘭水泥之類型

水泥類型	適用範圍
第 I 型	適用於一般用途，而不需具備其他任一型水泥所具有之特別性質者
輸氣第 IA 型	其用途同卜特蘭水泥第 I 型，且需要輸氣者
第 II 型	特別用於需要抵抗中度硫酸鹽侵蝕或中度水合熱者
輸氣第 IIA 型	其用途同卜特蘭水泥第 II 型，且需要輸氣者
第 III 型	特別用於需要高度早期強度者
輸氣第 IIIA 型	其用途同卜特蘭水泥第 III 型，且需要輸氣者
第 IV 型	特別用於需要低度水合熱者
第 V 型	特別用於需要抵抗高度硫酸鹽侵蝕者

（資料來源：國家標準 CNS 61）

而卜特蘭水泥各類型之主要成分，以下表簡略示之：

表 3-2 卜特蘭水泥各類型之主要成分[9]

水泥類型 \ 水泥成分(%)	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	C $\bar{S}$ H ₂
I	50	25	12	8	5
II	45	30	7	12	5
III	60	15	10	8	5
IV	25	50	5	12	4
V	40	40	4	10	4

註：表內化學簡式符號所代表之化合物如下：

C=CaO, S=SiO₂, A=Al₂O₃, F=Fe₂O₃, C $\bar{S}$ =CaSO₄, H=H₂O

例如 C₃A=3CaO · Al₂O₃

(資料來源：「鹽害對港灣構造物耐久性之評估」，黃仕慶，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，第 6 頁，87 年 6 月)

上述水泥中各種化合物水化作用之特性，以下表表示之：

表 3-3 水泥中化合物水化作用之特性

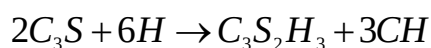
化合物	水化反應速率	水化熱	對強度之貢獻	所佔比率(%)
C ₃ S	中等	中等	高	50
C ₂ S	慢	低	初低後高	25
C ₃ A+C $\bar{S}$ H ₂	快	非常高	非常高	15
C ₄ AF+C $\bar{S}$ H ₂	中等	中等	中等	10

(資料來源：「鹽害對港灣構造物耐久性之評估」，黃仕慶，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，第 12 頁，87 年 6 月)

由於各類型水泥中之 C $\bar{S}$ H₂ 含量很少，故以下僅就 C₃S、C₂S、C₃A、C₄AF 等成分之化學反應作介紹[9]：

一、矽酸三鈣 C₃S (3CaO · SiO₂) 之化學反應

水泥中 C₃S 佔最大部分，其遇水之化學反應為：

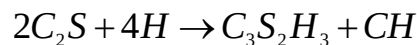


反應所生成之 $C_3S_2H_3$ 是一非常小的膠體物質，以簡式 C-S-H 表示之；氫氧化鈣($CaO \cdot H_2O$)為一結晶物質，以 CH 表示之。

在此反應最初幾分鐘內，鈣離子及氫氧根離子快速產生，pH 值達 12 以上，顯示具有高鹼性。隨即水化作用之速率很快減緩，當鈣離子及氫氧根離子達到臨界值，水化再度開始，CH 及 C-H-S 開始從溶液中結晶且 C_3S 再度快速反應。 $C-H-S$ 在 C_3S 表面形成包覆並成粒狀，CH 晶體從溶液中形成其水化層，增厚後形成一道阻礙，阻止水分、離子進入未水化之 C_3S ，最後水分、離子只能以擴散方式穿透 C-H-S 層，此時水化反應以水之擴散控制為主，所以反應速率降低。

二、矽酸二鈣 C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$) 之化學反應

水泥中矽酸二鈣之水化反應如下：



其生成物與 C_3S 之反應生成物相似。

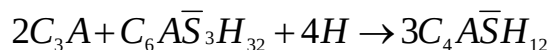
三、鋁酸三鈣 C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) 之化學反應

C_3A 之化學反應與硫酸根離子含量(由石膏 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 提供，以簡式 $C\bar{S}H_2$ 示之) 高低有相當密切的關係。

(一) 石膏供給充足之情況：



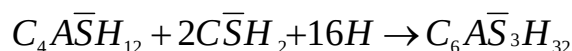
(二) 石膏供應不足之情況：



其中 $C_6A\bar{S}_3H_{32}$ 為鈣釩石， $C_4A\bar{S}H_{12}$ 為單硫型鋁酸鈣水化物。

水泥中若添加過量石膏會導致急凝及因膨脹而產生的龜裂，而石膏不足時，鋁酸三鈣 C_3A 則會生成單硫型鋁酸鈣水

化物，如遇有外來入侵之硫酸鹽時，單硫型鋁酸鈣水化物會轉變成鈣釩石而發生體積膨脹導致龜裂。

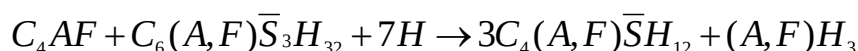
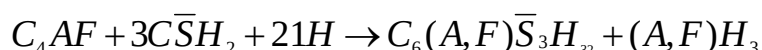


石膏能控制 C_3A 之反應速率。石膏含量太少，會縮短凝結時間、降低工作性；含量太多，會造成大量鈣釩石產生，使體積膨脹，導致龜裂。

若在 C_3A 含量過多之狀況，同時使用海砂等含 SO_4^{2-} 之骨材，亦會造成大量鈣釩石產生，使混凝土體積膨脹，導致裂縫產生，進而影響混凝土品質。

四、鋁鐵酸四鈣 C_4AF ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) 之化學反應

C_4AF 之水化反應式如下：



五、水泥水化產物之性質

氫氧化鈣 CH 可填充孔隙，但可溶性比 $C-S-H$ 大，在混凝土中為高鹼物質，可保護鋼筋免於生鏽、腐蝕，但應注意鹼·骨材反應及酸之侵入。鈣釩石及單硫型鋁酸鈣水化物提供強度，但會影響潛變及收縮，而水會使飽和混凝土試體比乾燥試體少約 10% 之抗壓強度，其原因如下：

- (一) 從 $C-S-H$ 中移走水，會使 $C-S-H$ 相互之間更接近，使得粒子與粒子間之結合力更強。
- (二) 在受應力的狀態下，水會破壞二氧化矽鍵。
- (三) 水會增加潤滑性，減少內部之機械互鎖力。

第二節 文獻回顧

3.2.1 「海水對混凝土影響之研究」[10]

實驗試體：140kg/cm²、210kg/cm²、280kg/cm² 三種強度之混凝土
(第 I 型及第 II 型水泥)

置放地點：高雄港 81 號碼頭三個位置、試驗室養護池

期程：1996.8.12.~1997.4.1. (約 8 個月)

一、選用之混凝土試體

採用三種配比，其強度分別為 140kg/cm²、210kg/cm²、280kg/cm²，水灰比分別為 0.807、0.651、0.551，又各有使用第一型水泥及第二型水泥，故共計六組。

二、實驗步驟

將試體分組，置於海面下、潮位帶、海面上，以及試驗室中養護，而養護時間分別為 7 天、14 天、28 天、60 天、90 天及 180 天，試體數量合計 576 個，其實驗項目包括：

- (一) 抗壓試驗
- (二) 混凝土 pH 值
- (三) 體積變化
- (四) 含氣量測量

三、實驗結果

(一) 置於海面下、潮位帶之試體中，水灰比較高者其早期強度在 28 天前有提高的趨向，但無助於最終強度之提升；而水灰比 0551 之試體其第 180 天之抗壓強度平均為室內養護試體之 0.9 倍，顯示海水有抑制弱化低水灰比時抗壓強度的傾向。

(二) 經本研究測知，混凝土於凝固後之 pH 值約在 13 以上。

然而隨著置於海水中之時間增加，混凝土 pH 值有降低之趨勢。在 180 天內所測之結果，0~2.5 公分處平均降為 13 以下，2.5~5 公分內仍有 13 以上。

(三) 氯離子滲透量隨時間增長而增加，隨水灰比增大而增加。在海面下試體之氯含量，經比較結果，使用第二型水泥之試體較使用第一型水泥者為大之傾向，而在潮位帶則有使用第一型水泥者較第二型水泥者氯含量稍高的傾向。

(四) 孔隙比較大之試體，有較高之氯含量。

3.2.2 「鹽害對港灣構造物耐久性之評估」[9]

實驗試體：混凝土圓柱試體

養護：分為海水養護、二氧化碳養護

期程：28 天、60 天、90 天、120 天、150 天及 180 天

一、選用之混凝土試體

製作直徑 15cm 高 30cm 的圓柱形混凝土試體計 80 個，分成對照組（第一組）、海水養護組（第二組）、海水養護加乾溼循環組（第三組）、二氧化碳養護組（第四組），及二氧化碳加乾溼循環組（第五組）等五組，其齡期為 28 天、60 天、90 天、120 天、150 天及 180 天。

二、實驗方法

(一) 混凝土抗壓實驗

(二) 混凝土圓柱試體分裂抗張強度試驗

(三) 中性化深度量測

(四) 氯離子濃度測定

三、實驗結果

(一) 混凝土抗壓實驗

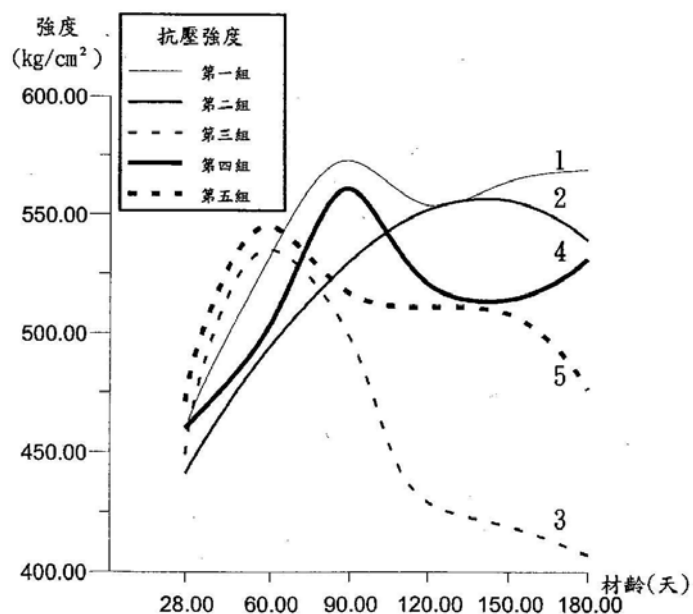


圖 3-1 抗壓強度與材齡之關係

(資料來源：「鹽害對港灣構造物耐久性之評估」，黃仕慶，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，第 48 頁，87 年 6 月)

二、三、四、五組的抗壓強度在 90 天以後大多小於第一組，顯然促進法對混凝土的劣化有加速作用。

三、五組於材齡 60 天以前之抗壓強度上升較快，過了 60 天以後，抗壓強度則迅速下降，甚至比二、四組更低，尤其是第三組。顯示潮間帶的混凝土由於遭受乾溼循環作用，有加速鹽害及中性化反應的現象，所以品質劣化較快。

(二) 混凝土圓柱試體分裂抗張強度試驗

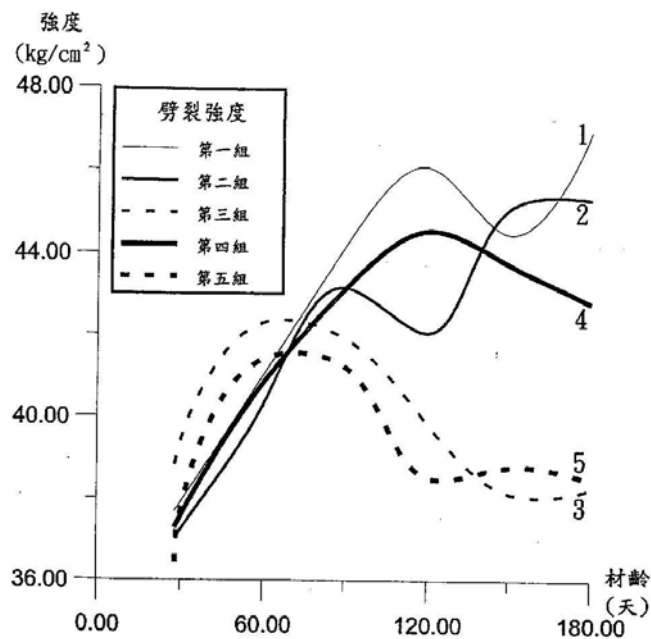


圖 3-2 劈裂強度與材齡之關係

(資料來源：「鹽害對港灣構造物耐久性之評估」，黃仕慶，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，第 51 頁，87 年 6 月)

分裂抗張強度變化趨勢大致與抗壓強度相似。三、五組受乾溼循環作用，致使品質劣化較為快速，但 60 天前之強度仍上升較快。

(三) 中性化深度量測

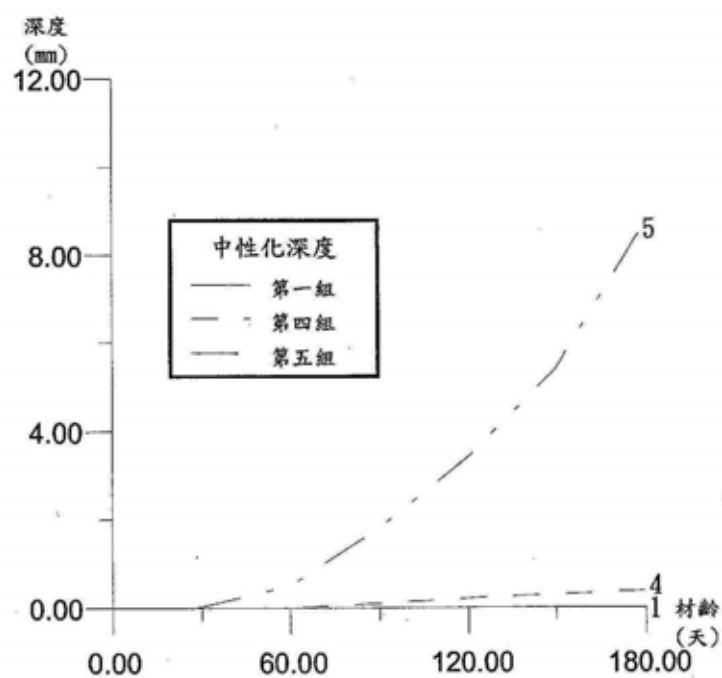


圖 3-3 中性化深度與材齡之關係

(資料來源：「鹽害對港灣構造物耐久性之評估」，黃仕慶，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，第 54 頁，87 年 6 月)

由上圖可看出，乾溼循環有促進中性化發展之趨勢。

(四) 氯離子濃度測定

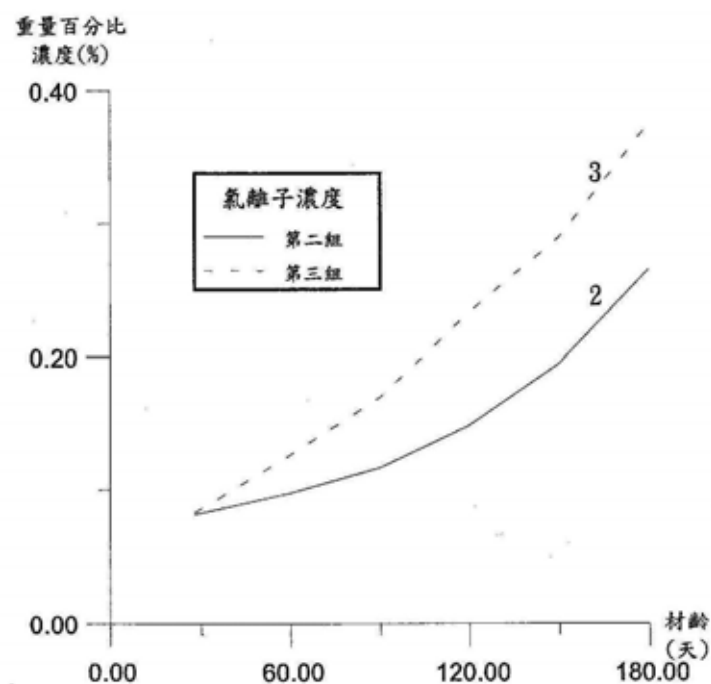


圖 3-4 氯離子濃度與材齡之關係（距表面之深度 0~2.5cm）

（資料來源：「鹽害對港灣構造物耐久性之評估」，黃仕慶，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，第 56 頁，87 年 6 月）

由第二、三組之表現得知，乾溼循環確有促進鹽害之作用。

第四章 試驗規劃

第一節 金屬大氣曝曬試驗規劃

4.1.1 試驗流程

金屬大氣曝曬試驗包括三階段，分別為試片製作、劣化、分析。

- 一、試片製作之工序：試片表面的清潔除鏽、試片標示編號、試片基材秤重，完成後即可將試片置上曝曬架。如表面需經披覆處理，則於秤重後予以披覆表面塗料，再將試片置上曝曬架。
- 二、劣化過程之工序：將試片置上曝曬架，並擺放於指定之曝曬場所，經自然曝曬後定時取樣。
- 三、分析工作之工序：到達預定取樣日期，即將試片下架，先以目視觀察其腐蝕情況，並予以記錄，再將披覆材料去除（如無披覆材料則可免除此步驟），之後利用化學藥品將腐蝕生成物去除（化學酸洗），並以吹風機吹乾水痕，將試片秤重。重覆化學酸洗、吹乾、秤重等步驟，直至試片為恆重後，始可停止。記錄恆重結果，計算腐蝕速率。

4.1.2 試驗記錄

有關試驗之進行，我們可利用「鋼鐵建材自然曝曬劣化試驗記錄表」來協助完成試驗期間之各步驟。

表 4-1 鋼鐵建材自然曝曬劣化試驗記錄表

試片名稱		曝曬地點(見 4.1.8)	
試片編號		曝曬角度	
基材材質		上架日期	
基材尺寸(見 4.1.3)		預計下架日期	
前處理方式 (見 4.1.4)		實際下架日期	
基材重量(g) (見 4.1.5)			
披覆材料		披覆厚度	
披覆材料施作方式 (見 4.1.6)			
上架位置(見 4.1.7)			
劣化期間 狀況記錄			
劣化後 試片表面觀察			
腐蝕生成物 去除過程記錄			
劣化後基材重量 (g)		重量損失(g)	
劣化期程(年)		腐蝕速率(g/m ² /y)	
其他附加記錄			

(資料來源：參考「建材耐候耐久性曝曬試驗之建置研究」，內政部建築研究所委託研究報告，第 121 頁，96 年 12 月。)

4.1.3 試片尺寸

試片多為平版型，其尺寸與曝曬架之規格相關。考量本研究使用之現有曝曬架，與一般常用之試片尺寸，本研究規劃採用 100mm×150mm×5mm 之試片。且每組變數條件為 3 個試片。

4.1.4 前處理方式

經儲放、運搬等過程，試片表面多已沾有不潔物或鏽蝕生成物，此時需將該等不潔物或鏽蝕予以去除，通常是以噴砂方式或化學方式處理，而一般多採用噴砂方式，較為簡單有效。處理後之試片應立即進行編號標示。

為使編號標示能耐長期曝曬，亦即經過長時間腐蝕劣化後仍能辨識，一般多以數字衝頭鋼印在試片上打印編號，或使用中心衝錐刻記。

4.1.5 基材秤重

試片在編號處理完成後，應即刻予以秤重。所秤重量須精確至 0.01g。秤重完畢需將試片置放於相對溼度 65% 以下之環境中，以避免鏽蝕作用再次進行。

4.1.6 披覆材料施作方式

試片表面若需塗佈披覆材料，要注意的是，第 4.1.4 節中之表面清潔除鏽則須依照該披覆材料的施工規範來進行。

4.1.7 上架位置

試片之上架位置，可以文字記載，或以簡圖、照片等表示。以能敘明試片所在位置即可。必要時於試片吊掛標示牌。應以絕緣材料如 PP 材質或 Nylon 材質之螺栓將試片固定於曝曬架，以避免因強風而有吹落甚至吹散等情況發生。另試片與曝曬架間需加置絕緣墊片或夾板，以避免接觸處產生伽凡尼腐蝕，而影響試驗結果。且置放方式應考慮避免試片因雨水相互污染情形。

4.1.8 曝曬地點

對於大氣曝曬之實驗，本案預定利用本所現有之場地，即位

處台北市景美地區的材料實驗中心及台南歸仁的實驗中心，可進行長時間曝曬實驗，並可分別代表都市區、鄉村區、台灣北部、台灣南部等地區特性。至台灣四周環海，氯離子影響是濱海區結構物耐久性之一大考驗，所以本案亦將臨海地點納入規劃（目前暫定於國立台灣海洋大學），期藉與台灣海洋大學合作關係，觀察金屬與混凝土之大氣曝曬耐久耐候情況。

另為建立實驗當地之大氣資訊，有關大氣曝曬環境因子之蒐集如下表。

表 4-2 大氣曝曬環境因子記錄規定

環境因子	單位	測量方式與次數	報告項目
氣溫	°C	連續測試，或一天至少 3 次	月平均溫度 年平均溫度
相對溼度	%	連續測試，或一天至少 3 次	月平均溼度 年平均溼度
氣溫高於 0°C，且相對溼度大於 80% 之潤溼時間	hour	—	月平均時數 年平均時數
降雨量	mm/d	每月一次	月總降雨量 年總降雨量
大氣中 SO ₂ 濃度	mg/m ³	連續性--每月一次	月平均濃度 年平均濃度
大氣中 SO ₂ 沈積率	mg/m ² /day	連續性--每月一次	月平均沈積率 年平均沈積率
氯化物沈積率	mg/m ² /day	連續性--每月一次	月平均沈積率 年平均沈積率

（資料來源：國家標準 CNS 14123）

依據上述記載之大氣曝曬環境因子，我們可以依據國家標準 CNS 13401 所述，經過連續一年以上之量測，取得溼潤時間、氯化物沈積率與二氧化硫沈積率等數值，即可將大氣腐蝕環境分為五等級：C1 表示腐蝕性非常低，C2 表示腐蝕性低，C3 表示腐蝕

性中等，C4 表示腐蝕性高，C5 表示腐蝕非常高。

表 4-3 溼潤時間分類

溼潤時間		類別
hour/year	%	
$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0.1$	τ_1
$10 < \tau \leq 250$	$0.1 < \tau \leq 3$	τ_2
$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$	τ_3
$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$	τ_4
$5500 < \tau$	$60 < \tau$	τ_5

(資料來源：國家標準 CNS 13401)

表 4-4 氯化物沈積率分類

氯化物沈積率 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$	類別
$S \leq 3$	S_0
$3 < S \leq 60$	S_1
$60 < S \leq 300$	S_2
$300 < S \leq 1500$	S_3

(資料來源：國家標準 CNS 13401)

表 4-5 二氧化硫(SO_2)沈積率分類

二氧化硫沈積率 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$	二氧化硫濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	類別
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	P_0
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	P_1
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	P_2
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P_3

(資料來源：國家標準 CNS 13401)

表 4-6 大氣腐蝕環境分類（以環境因子分類）

	τ_1			τ_2			τ_3			τ_4			τ_5		
碳 鋼															
	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃
P ₀ -P ₁	1	1	1 or 2	1	2	3 or 4	2 or 3	3 or 4	4	3	4	5	3 or 4	5	5
P ₂	1	1	1 or 2	1 or 2	2 or 3	3 or 4	3 or 4	3 or 4	4 or 5	4	4	5	4 or 5	5	5
P ₃	1 or 2	1 or 2	2	2	3	4	4	4 or 5	5	5	5	5	5	5	5
鋅 與 銅															
	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃
P ₀ -P ₁	1	1	1	1	1 or 2	3	3	3	3 or 4	3	4	5	3 or 4	5	5
P ₂	1	1	1 or 2	1 or 2	2	3	3	3 or 4	4	3 or 4	4	5	4 or 5	5	5
P ₃	1	1 or 2	2	2	3	3 or 4	3	3 or 4	4	4 or 5	5	5	5	5	5
鋁															
	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃
P ₀ -P ₁	1	2	2	1	2 or 3	4	3	3 or 4	4	3	3 or 4	5	4	5	5
P ₂	1	2	2 or 3	1 or 2	3 or 4	4	3	4	4 or 5	3 or 4	4	5	4 or 5	5	5
P ₃	1	2 or 3	3	3 or 4	4	4	3 or 4	4 or 5	5	4 or 5	5	5	5	5	5
Note—Corrosivity is expressed as the numerical part of the corrosivity category code (for example: 1 instead of C1)。															

（資料來源：國家標準 CNS 13401）

4.1.9 劣化期間狀況

定期檢視試片情況，如有異常事項，可記載於上。

4.1.10 劣化後試片表面觀察

試片下架後，其表面外觀如有任何改變，皆需有所描述。如鏽蝕分布、深度等。可附照片加以輔助。

4.1.11 去除腐蝕生成物

一、表面無披覆鋼板試片

去除表面無披覆鋼板試片之腐蝕生成物，可採用國家標準 CNS 附錄 A 之 C3.5 化學清洗法進行。因為此方法利用鹽酸等強腐蝕性藥劑，建議選擇戶外空曠處或有良好抽氣設備之地進行。人員應穿著具防護效果之衣著與面罩。

(一) 設備

1. 酸洗藥劑：將500mL鹽酸(HCl, $\rho=1.19\text{g/mL}$)與3.5g環六甲基四銨(hexamethylenetetramine)加蒸餾水至1000mL後製成。
2. 磅秤：可精確量至0.001g。
3. 定量瓶：容量1000mL(或以上)，泡製酸洗藥劑之用。
4. 玻璃燒杯：容量2000mL(或以上)，放置酸洗藥劑並浸泡鋼板之用。
5. 紙巾、吹風機：擦乾試片上之酸洗藥劑。

(二) 步驟

1. 將500mL鹽酸入定量瓶中。
2. 秤取3.5g環六甲基四銨，並小心倒入定量瓶。
3. 將蒸餾水倒入定量瓶，直至到達1000mL刻度線(需緩慢逐次加入，以免發生噴濺)。

- 4.混合成為酸洗藥劑，置入玻璃燒杯中（需沿著燒杯壁小心倒入，以免發生噴濺）。
- 5.將試片浸入酸洗藥劑中5分鐘。
- 6.5分鐘後取出，觀察腐蝕生成物去除狀況。若還留有大量腐蝕生成物，可再浸入酸洗藥劑中5分鐘。試片取出隨即以清水將酸洗藥劑沖洗乾淨。
- 7.將試片以紙中擦乾，並以吹風機將水漬吹乾。
- 8.進行秤重。再重覆步驟5~7，直至試片恆重，表示腐蝕生成物已完全除去。

二、塗裝鋼板試片

此類試片需有二程序：首先將基材外之披覆料去除，再以一、（二）之各步驟之化學清洗法進行腐蝕生成物去除。

（一）設備

- 1.強力去漆劑：注意是否對基材為無腐蝕性。
- 2.刮刀：刮除試片表面塗料之用。
- 3.酸洗藥劑：同前述一、（一）1。
- 4.磅秤：同前述一、（一）2。
- 5.定量瓶：同前述一、（一）3。
- 6.玻璃燒杯：同前述一、（一）4。
- 7.紙巾、吹風機：同前述一、（一）5。

（二）步驟

- 1.將試片浸於強力去漆劑30分鐘後，以刮刀刮除試片表面塗料。
- 2.以清水將殘留去漆劑沖去。
- 3.將刮除塗料後之試片以一、（二）之各步驟之化學清洗法進行腐蝕生成物去除。並記錄其基材之最終恆重。

三、鍍鋅銅板試片

此類試片亦有二程序：首先採國家標準 CNS 14122 之 C9.5 化學法，將基材外之鍍鋅層去除，再以一、(二)之各步驟之化學清洗法進行腐蝕生成物去除。

(一) 設備

1. 去鋅藥劑：100g過硫酸銨 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ 加蒸餾水至1000mL所製成。
2. 酸洗藥劑：同前述一、(一) 1。
3. 磅秤：同前述一、(一) 2。
4. 定量瓶：同前述一、(一) 3。
5. 玻璃燒杯：同前述一、(一) 4。
6. 紙巾、吹風機：同前述一、(一) 5。

(二) 步驟

1. 秤取100g過硫酸銨放入定量瓶，再加入蒸餾水至1000mL刻度線，製成去鋅藥劑。需將過硫酸銨充分溶解。
2. 將試片浸入去鋅藥劑中5分鐘。
3. 5分鐘後取出，觀察鍍鋅層去除狀況。若還留有大量鍍鋅層，可再浸入去鋅藥劑中5分鐘。試片取出隨即以清水將去鋅藥劑沖洗乾淨。
4. 將除去鍍鋅層後之試片以一、(二)之各步驟之化學清洗法進行腐蝕生成物去除。並記錄其基材之最終恆重。

4.1.12 結果計算

根據第 4.1.5 節之基材重量與第 4.1.11 節去除腐蝕生成物後之基材重，計算二者之重量差，即為試片經大氣曝曬產生的腐蝕生成物重量。計算腐蝕速率如下二公式：

$$r_{corr} = \Delta m / (A \cdot t) \quad (\text{單位：g/m}^2/\text{y})$$

$$r_{corr} = \Delta m / (A \cdot \rho \cdot t) \quad (\text{單位：}\mu\text{m/y})$$

其中

Δm ＝劣化前後重量損失（單位：g）

A ＝劣化接觸總表面積（單位： m^2 ）

t ＝曝露時間（單位：年，y）

ρ ＝密度（單位： g/cm^3 ）

而密度：

鋼＝ 7.86g/cm^3 ，鋅＝ 7.14g/cm^3 ，銅＝ 8.96g/cm^3 ，鋁＝ 2.70g/cm^3 ，

依據國家標準 CNS 13401，可用試驗而算得之金屬最初第一年之腐蝕速率，將大氣腐蝕環境分類。

表 4-7 大氣腐蝕環境分類（以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分）

腐蝕性 分類	腐蝕速率(r_{corr})				
	單位	碳鋼	鋅	銅	鋁
C1	$\text{g/m}^2/\text{y}$ $\mu\text{m/y}$	$r_{corr} \leq 10$ $r_{corr} \leq 1.3$	$r_{corr} \leq 0.7$ $r_{corr} \leq 0.1$	$r_{corr} \leq 0.9$ $r_{corr} \leq 0.1$	省略 —
C2	$\text{g/m}^2/\text{y}$ $\mu\text{m/y}$	$10 < r_{corr} \leq 200$ $1.3 < r_{corr} \leq 25$	$0.7 < r_{corr} \leq 5$ $0.1 < r_{corr} \leq 0.7$	$0.9 < r_{corr} \leq 5$ $0.1 < r_{corr} \leq 0.6$	$r_{corr} \leq 0.6$ —
C3	$\text{g/m}^2/\text{y}$ $\mu\text{m/y}$	$200 < r_{corr} \leq 400$ $25 < r_{corr} \leq 50$	$5 < r_{corr} \leq 15$ $0.7 < r_{corr} \leq 2.1$	$5 < r_{corr} \leq 12$ $0.6 < r_{corr} \leq 1.3$	$0.6 < r_{corr} \leq 2$ —
C4	$\text{g/m}^2/\text{y}$ $\mu\text{m/y}$	$400 < r_{corr} \leq 650$ $50 < r_{corr} \leq 80$	$15 < r_{corr} \leq 30$ $2.1 < r_{corr} \leq 4.2$	$12 < r_{corr} \leq 25$ $1.3 < r_{corr} \leq 2.8$	$2 < r_{corr} \leq 5$ —
C5	$\text{g/m}^2/\text{y}$ $\mu\text{m/y}$	$650 < r_{corr} \leq 1500$ $80 < r_{corr} \leq 200$	$30 < r_{corr} \leq 60$ $4.2 < r_{corr} \leq 8.4$	$25 < r_{corr} \leq 50$ $2.8 < r_{corr} \leq 5.6$	$5 < r_{corr} \leq 10$ —

（資料來源：國家標準 CNS 13401）

可將表 4-6 與表 4-7 所得之大氣腐蝕環境分類作一比對。

第二節 混凝土大氣曝曬試驗規劃

製作直徑 10cm 高 10cm 之圓柱試體，置於曝曬地點。需注意的是，除曝曬面外，其餘需以不具滲透性之環氧樹脂封住，避免干擾實驗結

果。每隔 6 個月鑽心取樣，並利用本所材料實驗中心之離子層析儀或電位滴定法，測得混凝土內部不同深度之氯離子入侵含量。

4.2.1 取樣

於混凝土試體中心位置之垂直面鑽出約 2cm 直徑之圓柱，並平行浸漬面或曝露面每間隔 0.5cm 切取試片，如圖 4-1。之後將試片研磨粉碎，並將粉末通過 50 號篩後烘乾。取出粉末 3g 進行氯離子溶液萃取。

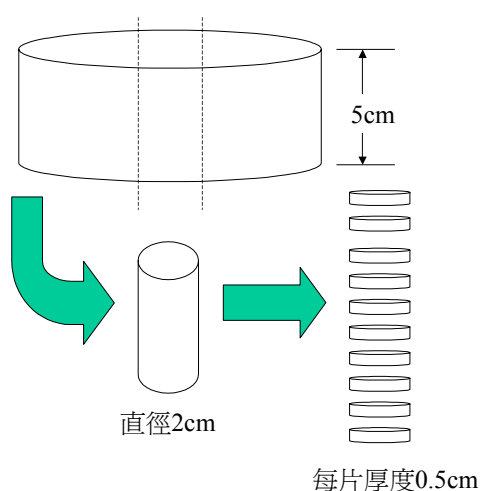


圖 4-1 氯離子含量試驗之混凝土取樣

（資料來源：本研究繪製）

4.2.2 萃取

將 3g 粉末放入燒杯，加入 10mL 去離子水，並以加熱攪拌台進行加熱攪拌，使粉末均勻分散。再加入 3mL 濃硝酸持續攪拌，接著加入 50mL 沸騰水稀釋攪拌。

如試樣含爐石或硫化物材料，必須加 3mL 的 3%過氧化氫溶液，與 5 滴甲基澄指示劑，若溶液酸性不足時再加少量濃硝酸持續攪拌至指示劑呈粉紅或紅色為止。燒杯蓋上，加熱 250~400°C 至沸騰 1 分鐘後即可移開加熱台。

利用 Whatman 濾紙（#41 在上，#40 在下）進行雜質過濾。濾後利用沸騰去離子水沖洗濾紙，將殘留在濾紙上的氯離子洗入燒杯中。最萃取溶液保持約 125~150mL，蓋上錶玻璃置於室溫直至冷卻。

4.2.3 氯離子濃度量測（電位滴定）

樣本滴定前須經酸化處理，將次氯酸根還原成氯離子以供量測。參考 CNS 5858，主要利用 0.01N 標準硝酸銀溶液滴定含有氯離子的溶液使其產生白色氯化銀沈澱。

藉由滴定終點所得之硝酸銀溶液滴定量與已知濃度，可計算滴定溶液中氯離子含量。

$$N_{Cl} = \frac{N_{AgNO_3} V_{AgNO_3}}{V_{Cl}}$$

其中

N_{Cl} 是氯離子濃度(mole/L)

N_{AgNO_3} 為 0.01N 標準硝酸銀溶液

V_{AgNO_3} 滴定終點硝酸銀溶液滴定量(mL)

V_{Cl} 為氯離子溶液滴定樣本數(mL)

4.2.4 氯離子濃度量測（離子層析法，適用於氯離子濃度極低之情況）

依據國家標準 CNS 14918，其原理是使待測溶液通過充填樹脂之分離管，離子與樹脂產生交換作用而吸附於樹脂交換基上，此時再加入流洗液沖提，使其脫離交換基，再度變成自由離子，再不斷重複此一吸附與沖提之循環。由於溶液中離子電荷數，離子半徑及質量等因素，對樹脂之親和力會產生差異，親和力越大越容易吸附，且越難沖提，因此造成通過分離管所需時間不同，且各自形成離子群，此時再測量其溶液總導電率，並藉由軟體繪製時間與溶液總導電率之關係曲線，在藉由比對不同濃度標準溶液

導電值所製成之檢量線，即可作材料加速劣化後化學成分的定性定量分析。

第五章 結論與建議

第一節 結論

- 一、有關於國內對於戶外曝曬實驗，其結果資料較為缺乏，且或受限於支援經費，實驗期間以一、二年為多，大多無法呈現建築材料之耐久性表現。
- 二、附著於試體表面之海生物對於金屬的腐蝕速度具有某種程度的影響。除了海生物本身的分泌物會促進腐蝕外，海生物的覆蓋面積大、覆蓋密度高會阻礙氧和氯離子與金屬表面之接觸，而減緩腐蝕。故海生物附著造成的影響是正面或是負面，不可一蓋而論。在特殊環境下，亦需考量生物與金屬腐蝕之關係。
- 三、由文獻實驗結果顯示，不同環境的腐蝕量以濱海區最高、工業區次之，再為多風都市區及鄉村區。至腐蝕因子為鹽份影響大於二氧化硫影響。然而依國內實驗文獻指出，依據腐蝕生成物分析，幾乎都含有硫的成分，不分其實驗環境為何。據此推論，國內工業區多位於西部沿海，其二氧化硫、氯離子成分皆高，對於該處之鋼筋混凝土建築物的劣化現象，可說是雙重影響。
- 四、據文獻實驗結果顯示，乾溼循環會加速鹽害及二氧化碳所造成的混凝土劣化現象。由此可知，潮間帶之港灣構造物受到海浪及每日的漲潮、退潮的影響，其劣化情形較一般臨海構造物需更加注意。
- 五、本研究於今年度以蒐集彙整鋼材與混凝土大氣曝曬相關實驗結果為主，以進行曝曬場建置規劃工作。
- 六、對於大氣曝曬之實驗，預定利用本所現有之場地，即位處台北市景美地區的材料實驗中心及台南歸仁的實驗中心，可進行長時間曝曬實驗，並可分別代表都市區、鄉村區、台灣北部、台灣南部

等地區特性。又因為自有場地，其大氣資料蒐集、劣化情況觀察等可較為密集進行，且進行大氣曝曬實驗時最擔心試片因吹落或吹散而有損毀遺失之情況發生，如能頻繁看護，將有利於試片之完善保有。至台灣四周環海，氯離子影響是濱海區結構物耐久性之一大考驗，所以本案亦將臨海地點納入規劃（目前暫定於國立台灣海洋大學），期藉與台灣海洋大學合作關係，觀察金屬與混凝土之大氣曝曬耐久耐候情況。

七、本大氣曝曬實驗計畫預定以十年為目標：

（一）金屬曝曬實驗：

查文獻所言，金屬的腐蝕速率在初期曝露時最大，隨後會逐漸下降而最終到達一穩定值[17]。但對於何時到達所謂「穩定值」，文獻中並未說明，其原因或為各曝曬場地之大氣條件不同而有所差異。爰本研究擬循國內大部分一年期之大氣曝曬實驗之作法，最初階段（預定為最初三年）每隔三個月取樣一次，求得各期腐蝕速率，以瞭解腐蝕速率穩定情況；而後七年則預定每六個月取樣一次。如此完成十年期之觀察。

（二）混凝土曝曬實驗：

有關混凝土長期曝曬劣化試驗方法，在國內與國外之規範中幾無著墨。本研究擬將試體設計為直徑 10cm 高 10cm 之混凝土圓柱試體，屆時鑽心取得具各時間代表性之量測樣本，用以瞭解氯離子入侵速度與深度。

第二節 建議

建議一

先進行小型前導試驗，以增強操作經驗：**立即可行建議**

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

因曝曬試驗需進行五年以上長期研究才有意義，而試驗初期之試片尺寸設計、編號方法，以及曝曬架位置安排，對後續研究成果深具影響。宜先進行小型前導試驗，除增強操作經驗外，並可採其試驗經驗及結果修正相關作業程序。

建議二

建立氯離子入侵混凝土時間與深度之關係：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

建立氯離子入侵混凝土時間與深度之關係，對於未來評估氯離子滲入混凝土抵達鋼筋表面之時間計算有所幫助。

建議三

增加銲接、螺栓等接合部位為試驗對象：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

對於實際環境中，銲接、螺栓等接合部位最易產生腐蝕情況，但一般文獻多未進行相關之試驗。建議於納入後續研究中探討瞭解，並與一般常用之平板試體試驗結果作一比較。

建議四

將大氣曝曬之研究與試驗結果，與加速劣化實驗作一比較：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

長期進行大氣曝曬之研究與試驗結果，其所蒐集資料可與加速劣

化實驗作一比較，以探究大氣曝曬劣化與加速劣化間之關係，便於日後對大氣曝曬劣化之預測。

附錄一 歷次審查之會議紀錄

內政部建築研究所 98 年度第 7 次研究業務協調會議紀錄

一、時 間：98 年 5 月 11 日（星期一）上午 9 時正

二、地 點：本所簡報室

三、主持人：何所長明錦

四、宣讀上次會議紀錄：略。

決議：上次會議紀錄確定。

五、自辦研究計畫課題報告：略。

六、綜合討論及建議事項：

（一）本計畫研究對象為金屬與混凝土，依其規劃內容似稍顯龐大。建議視其能力及容量再行檢討並酌予收斂。

（二）戶外曝曬試驗成果相當珍貴難得，應廣為蒐集國內外相關文獻資料，以作為日後重要參考回顧。

（三）氣溫、日照輻射、雨水 pH 值等等之大氣狀況為戶外曝曬試驗之重要影響因子，爰對於試驗地區之氣候特性宜予明確分類。

（四）建議探討並嘗試建立加速劣化試驗結果與自然環境劣化之關聯性。

（五）鑒於戶外曝曬試驗為一長期性之研究，應利用第一年蒐集完整資料並妥予規劃、確定目標、建置相關設備，以利後續年度之實驗進行。

七、散 會：上午 11 時 45 分。

內政部建築研究所 98 年度自行研究計畫「金屬及混凝土耐久耐候性評估之應用與探討—加速劣化試驗」、「金屬及混凝土耐久耐候性評估之應用與探討—戶外曝曬試驗」及「超高強度鋼筋混凝土構件性能比較研究」等三案期中審查會議紀錄

一、時 間：98 年 7 月 31 日（星期五）上午 9 時 30 分

二、地 點：15 樓第三會議室

三、主持人：林組長建宏 記錄：曹源暉、厲妮妮、鄒本駒

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（二）「金屬及混凝土耐久耐候性評估之應用與探討—戶外曝曬試驗」案：

邱顧問昌平：

- 1.由於一般建築物多有粉刷、洗石等外飾材料，與土木構造物採建材直接裸露之方式不同，請留意建築類之建材與土木類之建材進行戶外曝曬試驗與現實之差異性。
- 2.建議本研究以充實檢測能力做為優先考量。

中華民國結構工程技師公會全國聯合會：

- 1.查閱建築材料戶外曝曬之文獻，多以母材為試驗對象。但實際環境中，銲接、螺栓等接合部位最易產生腐蝕情況。建議本案納入試驗規劃。
- 2.材料發生劣化後，應如何積極強化或補強？建議蒐集相關資料以作探討。

陳助理教授君弢：

- 1.基於本試驗之影響因子甚為複雜，試驗環境不同，所得

結果亦不同。如經費允許，建議於後續之試驗階段增加測站密度，或可考慮配合氣象局測站設置。

- 2.選定欲觀測之指標，及決定各指標的量測頻率，於本案試驗規劃時需慎重考慮。
- 3.建議將孔蝕深度量測納為試驗項目。

卓助理教世偉：

- 1.本計畫對建立國內氣候條件下建材自然曝曬劣化資料庫以及「標準件」的比對有一定的助益。
- 2.建議未來建置曝曬設備時，考量於臨海與工業區設置，並增加落鹽量與二氧化硫收集設施之規劃。
- 3.因曝曬試驗需進行五年以上長期研究才有意義，而試驗初期之試片尺寸設計、編號方法，以及曝曬架位置安排，對後續研究成果深具影響。建議先進行小型前導試驗，以建立相關作業程序。
- 4.建議蒐集塗裝材料部分損壞對基材耐候行為影響之相關文獻。

台灣省建築材料商業同業公會聯合會（書面意見）：

- 1.國內建築工程環境、氣候，及鋼材與混凝土施工的使用、曝曬，目前並無建立實測及實務經驗戶外曝曬試驗，此研究應與國內鋼材、水泥製品、混凝土具實務經驗者交流，以從中獲得建議。
- 2.戶外曝曬試驗之研究，宜蒐集國內、中國大陸與香港、新加坡等華人營建工程之環境與劣化關係與比較。

林組長建宏：

宜多參考蒐集國外曝曬場之設置規劃情形，並瞭解其環境情況，與其試驗結果，俾作為本研究之借鏡。

七、會議結論：

- (一) 本次三項自行研究計畫期中簡報之內容，經出席委員審查後，一致同意原則通過。
- (二) 研究報告中應清楚標註資料來源，且製作格式須符合規定。
- (三) 請相關研究同仁利用後續之研究時程，確實訂定各研究計畫執行項目之進度表，做好各項研究進度之管控，並應積極充實研究計畫之內容，務必於規定時限內，達成各項預定研究目標與經費執行進度。
- (四) 有關與會人員之建議事項，請研究團隊詳實記錄於後續研究中參酌辦理，並於期末報告中列表妥予回應。

八、散會：上午 11 時。

內政部建築研究所 98 年度自行研究計畫「金屬及混凝土耐久耐候性評估之應用與探討—加速劣化試驗」、「金屬及混凝土耐久耐候性評估之應用與探討—戶外曝曬試驗」及「超高強度鋼筋混凝土構件性能比較研究」等三案期中審查會議紀錄

一、時 間：98 年 12 月 15 日（星期五）下午 2 時 30 分

二、地 點：15 樓第四會議室

三、主持人：林組長建宏

記錄：曹源暉、厲妮妮、鄒本駒

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（一）「金屬及混凝土耐久耐候性評估之應用與探討—戶外曝曬試驗」案：

張教授大鵬：

- 1.本報告對於參考文獻之引用，呈現兩種表達方式：一為中括號之表示法（如[5]），另一為直接列於本文內（如圖 2-1），建請統一。
- 2.本研究所採用之戶外曝曬試驗具有實務應用之可行性，惟在試驗過中宜事先妥善規劃如何蒐集曝曬場之溫度、溼度、風速、鹽分、降雨量天候條件之變化情形，以便日後可與試驗結果比對印證。
- 3.金屬與混凝土在劣化試驗前宜妥善規劃未來的評估指標，以及必須量測之試驗數據，以作為日後評估之依據。

邱顧問昌平：

- 1.本計畫之重點在探討金屬試片、混凝土耐久耐候評估之戶外曝曬試驗。本研究已對金屬試片及混凝土試體各研

擬一套大氣曝曬試驗之規畫，主要參考數個大學研究論文之操作方式，作為未來預定進行之試驗建置一套可行方法。

- 2.對於未來進行的戶外試驗，宜有適當的協辦單位（如關建材之生產者等）及長期置放試體之場所。
- 3.宜就參考文獻數據成果之正確性有所判斷，有明顯不合理處宜多加求證、避免引用。
- 4.有關戶外曝曬試驗之試體（尤以混凝土中性化、氯離子等方面之研究），可與合作意願高之工地協商以做長期觀察。

王技師亭復：

戶外曝曬試驗時程長，對場地及試體之保護及維護甚為困難。即便選擇易於維護之場地，亦無法代表所有工址之環境。除本案選擇之曝曬場外，若欲建立全省各地區之鋼材及混凝土耐久耐候性資訊，可蒐集各該地區鋼橋及混凝土橋等之鋼件鏽蝕及混凝土碳化等檢測資料（依規定一般橋梁建造完成五年後，每三至五年至少檢測一次），再與加速劣化試驗作地域之關聯性比較。甚至可與橋梁管理單位協商直接取樣分析不同齡期之材料，以分析其劣化程度。

黃教授然：

- 1.有關戶外曝曬試驗部分，據瞭解標準檢驗局有相關報告，可納為參考。
- 2.有關建材之耐候、耐久性影響因子，建議先予釐清，再進行長期戶外曝曬試驗之規畫。
- 3.本研究初期成果尚稱具體正確。本研究之試驗規畫可依劣化因子的影響性而加以調整。

楊教授仲家：

- 1.本研究報告蒐集環境對金屬腐蝕影響之相關資料，尚屬完整。
- 2.有關本研究所提後續長時間曝曬實驗，海洋大學材料所願與之合作，提供地點、人力及分析等支援。
- 3.有關戶外曝曬實驗之混凝土試體，建採大型混凝土，再行鑽心取樣。
- 4.雖氣象局等單位可提供相關大氣資料以為輔助，但仍建議本案宜蒐集曝曬點之環境資料。

卓教授世偉：

- 1.由於本研究規劃以長期（暫訂十年）為進行目標，建議未來曝曬架材質需考量採用耐候鋼材料，以降低維護負荷。
- 2.建議氣候條件與環境背景採集紀錄設備需納入規劃。
- 3.有關混凝土之耐久耐候性試驗，除氯離子濃度量測外，建議規劃中性化試驗。

高名譽教授健章：

混凝土澆置過程必有浮水現象發生。浮水上浮路徑與硬化後氯離子等外來雜質入侵路徑息息相關。因此試驗所代表之構件部位，例如梁頂與梁側，其製造過必須模擬實際，不可一律以標準試體的做法，用垂直試體模由上向下澆置。

台灣省建築材料商業同業公會聯合會（書面意見）：

- 1.本研究案對於戶外曝曬實驗，其實驗資料應累積更多實際實務之實驗，方能對耐久性之表現具有參考價值與目的。
- 2.本研究案實務之操作累積並非短時間內即能實際應用，建議繼續後續研究。

七、計畫主持人回應：

- (一) 由於本項試驗是第一次嘗試，雖多方蒐集閱讀相關文獻，但仍有許多考量不周、細節不甚清楚之處。感謝各位委員之寶貴意見及建議。
- (二) 本研究確實相當需要進行小型前導實驗，以作為操作實力之訓練、調整後續試驗規劃之參考基礎。
- (三) 本案研究範圍相當大，將再仔細考量自身之人力支援、實驗能量後適度調整。

八、會議結論：

- (一) 本次三項自行研究計畫期末審查原則通過。報告書有待補充與修正部份，請各計畫主持人參考審查委員意見予以修正。
- (二) 各計畫請確依自辦研究計畫規定，掌握時效如期繳交成果報告。

九、散會：下午 4 時 40 分。

附錄二 國家標準

ICS 77.060

- 1 -

中華民國國家標準	金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕性 (測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)	總號	1 3 7 5 3
CNS		類號	Z 7 2 6 9
Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity			
1. 適用範圍：本標準規定標準試片腐蝕速率之量測方法。所測得之數據（曝露第一年之腐蝕速率），依 CNS 13401〔金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕性之分類〕之規定，作為評估大氣腐蝕性之分類基準。 2. 原理：曝露地點或工業設施位置之腐蝕性，可由腐蝕速率推論而得，計算方法為標準試片經過一年之曝露期，經去除腐蝕生成物後，試片每單位面積質量之損失。對鐵合金、鋅合金及銅合金，質量損失為一項腐蝕損傷之量測依據。對鋁合金，質量損失為一項腐蝕性之有效量測，此亦為本標準之目的，但並不量測腐蝕之侵蝕深度。 3. 標準試片：有螺旋狀及平板狀兩種形態之標準試片可供使用。螺旋狀試片所得到之測試結果，與平板狀試片之測試結果截然不同，因此測試結果之比較應以相同形態之試片為準。 標準試片之材料，應為最近製造之材料，種類如下。 鋼：非合金碳鋼(Cu=0.03~0.10%, P<0.07%)。 鋅：98.5%以上之純度。 銅：99.5%以上之純度。 鋁：99.5%以上之純度。 所有試片在曝露前應先用溶劑脫脂。若有看得見銹斑或表面帶有腐蝕生成物之鋼試片，須在脫脂前先用 120 號之砂紙磨光，以去除該腐蝕生成物。銅、鋅及鋁試片，若於做曝露試驗前就有看得見之腐蝕生成物者，不得作為試片。 3.1 螺旋狀試片：試片之材料，為熔射之線材，線材之直徑為 2~3 mm，將線材剪取約 1000 mm 之長度，繞在直徑為 24 mm 之圓棒，藉以製成螺旋狀試片。 3.2 平板狀試片：試片尺度為 100x150 mm 之長方形平板狀，若無法取得時得使用 50x100 mm 以上之尺度，其厚度以接近 1 mm 為宜。 4. 標準試片之曝露流程：標準試片經稱重及作記號後，依 CNS 14123〔金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕測試（現場測試之一般要求）〕之規定進行曝露試驗。每一種金屬取三個試片，從一年度中最惡劣腐蝕時期之開端作為測試之開始時間進行曝露試驗一年。螺旋狀試片以直立方式作曝露試驗，如圖 1 所示。曝露後試片所形成之腐蝕生成物須依 CNS 14122〔金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕－試片腐蝕生成物清除法〕之規定去除，且稱重準確至 0.1 mg。其合適之化學方法清除步驟，如附錄 1 所述，清除過程須在相同之清潔步驟中重覆數次。			
(共 4 頁)			
公 布 日 期 85 年 7 月 25 日	經濟部標準檢驗局印行		修訂公布日期 94 年 4 月 19 日

印行年月 94 年 10 月

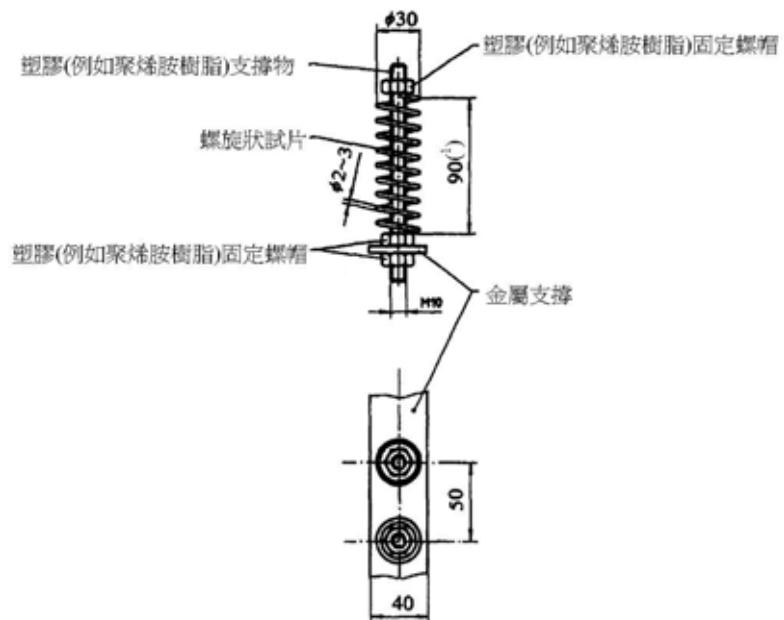
本標準非經本局同意不得翻印

CNS 13753, Z 7269

— 2 —

圖 1 螺旋狀試片裝置

單位：mm



註⁽¹⁾ 線材兩端插入支撐物間之距離。

附錄 1 (參考用)
腐蝕生成物之化學清除步驟

材料	化學藥品	時間 (min)	溫度 (°C)	備考
銅	以 500 mL HCl($\rho = 1.19\text{g/mL}$)與 3.5g 六亞甲四胺(Hexamethylene tetramine)加入蒸餾水配成 1000mL。	10	20~50	—
鋅	以 200 g三氧化鉻(CrO_3)加入蒸餾水配成 1000 mL。	1	80	應避免腐蝕生成物所含氯化污染物污染，以防止侵蝕鋅基底金屬。
銅	以 54 mL 硫酸(H_2SO_4 ， $\rho = 1.84\text{g/mL}$)加入蒸餾水配成 1000 mL。	30~60	40~50	1.用氮氣去除溶液中之氧。 2.將測試試片之腐蝕生成物剔除後，再浸入溶液中 3~4 秒。
鋁	以 50 mL 磷酸(H_3PO_4 ， $\rho = 1.69\text{g/mL}$)與 20g 之三氧化鉻(CrO_3)加入蒸餾水配成 1000 mL。	5~10	90~95	若腐蝕生成物薄膜仍存在，則繼續遵循下述硝酸之處理步驟。
	硝酸(HNO_3 ， $\rho = 1.42\text{g/mL}$)。	1~5	20~25	去除額外之沉積物及塊狀之腐蝕生成物，以免造成基底金屬過度流失。

5. 結果之計算

5.1 螺旋狀試片之腐蝕速率， $R_{corr}(\mu\text{m/y})$ 依下式計算之。

$$R_{corr} = 0.25(\Delta m \cdot d / m \cdot t) \dots (1)$$

式內， Δm =質量損失(mg)

d =線材直徑(mm)

m =試片原始質量(g)

t =曝露時間，年(y)

5.2 平板狀試片之腐蝕速率， $R_{corr}(\text{g/m}^2 \cdot \text{y})$ ，依下式計算之。

$$R_{corr} = \Delta m / A \cdot t \dots (2)$$

式內， Δm =質量損失(g)

A =試片表面積(m^2)

t =曝露時間，年(y)。

腐蝕速率， R_{corr} ，亦得以($\mu\text{m/y}$)表示，依下式計算之。

$$R_{corr} = \Delta m / A \cdot \rho \cdot t \dots (3)$$

式內， Δm =質量損失(g)

A =試片表面積(m^2)

t =曝露時間，年(y)

CNS 13753, Z 7269

— 4 —

ρ =密度(g/cm³)，各種金屬之密度值如下。

鋼=7.86g/cm³

鋅=7.14g/cm³

銅=8.96g/cm³

鋁=2.70g/cm³

所有計算數值及其平均值均應明列在報告內。

引用標準：CNS 13401	金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕性之分類
CNS 14122	金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕－試片腐蝕生成物清除法
CNS 14123	金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕測試（現場測試之一般要求）

ICS:77.060

- 1 -

中華民國國家標準	金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法	總號	14122
CNS		類號	Z7284

Corrosion of metals and alloys — Removal of corrosion products from corrosion test specimens

前言

國際標準化組織（ISO）是由各國國家標準團體（ISO 會員團體）所組成的世界性聯盟。各種國際標準的擬定由 ISO 之各技術委員會執行。每一會員團體對於所設立的技術委員會之主題有興趣時，皆有權派代表參加委員會。各官方與非官方之國際組織而為 ISO 之連繫團體者，亦得參與其工作。ISO 與國際電工委員會（IEC）密切地合作研究所有電工技術標準化事務。

依照 ISO 程序規定，凡為技術委員會接受的國際標準草案，將分發至各會員團體表決，須經至少 75% 參與表決之會員團體贊成始得公佈為國際標準。

國際標準 ISO 8407 由金屬及合金的腐蝕技術委員會 ISO/TC156 制定。

附錄 A 僅供參考。

1. 適用範圍

1.1 本標準規定金屬與合金試片曝露在腐蝕性環境下所形成的腐蝕生成物清除的方法。為配合本標準，以下用語“金屬”意指金屬與合金。

1.2 此方法在於設計去除所有腐蝕生成物，且不影響底材金屬的特性。此法可正確決定，當金屬曝露在腐蝕環境下所造成的質量損失。

1.3 在某些情況下，此方法也可應用於金屬被覆，但需考量到底材本身可能形成的效應。

2. 方法

2.1 一般方法

2.1.1 在持續流動的水中以軟毛刷刷洗金屬表面，是一種簡易的機械處理，可去除附著性低或塊狀腐蝕生成物。有時由此種處理法即可移去所有的腐蝕生成物，無須進一步處理。

2.1.2 若 2.1.1 中所描述之處理方法仍無法移除全部的腐蝕生成物，則必須使用其他的方法，有三種處理的方式：

(a) 化學方法

(b) 電解方法

(c) 更強力的機械處理方法

無論使用何種方法，有必要重複清洗處理，以確保清除所有腐蝕生成物。以觀察法判斷移除的完成度，若表面有洞，要使用低倍數的顯微鏡（即×7 到×30）觀察之，可以有效的發現沈積在洞裡的腐蝕生成物。

（共 8 頁）

公 布 日 期 87 年 3 月 23 日	經 濟 部 標 準 檢 驗 局 印 行	修訂公布日期 年 月 日
--------------------------	---------------------	-----------------

印行日期94年10月

本標準非經本局同意不得翻印

CNS 14122, Z 7284

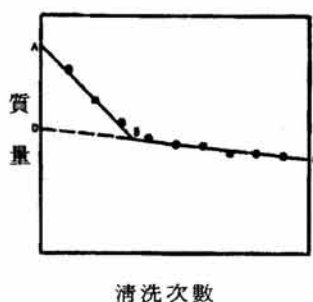
- 2 -

2.1.3 一個理想的方法應只有移除腐蝕生成物，而不損壞到底材金屬。有兩個方法可以確認此觀點：一個方法是使用對比試片（2.1.3.1），另一方法則使用腐蝕試片，並經重複清洗（2.1.3.2）。

2.1.3.1 未腐蝕的對比試片須和測試試片有相似的化學性質、冶金性質、幾何性質，並且通過和測試試片相同的清洗過程。在清洗前後各稱重一次（取五位數字、例如 70 克重的試片，須三位有效小數），可以得知在清洗過程中所損失的金屬質量。對比試片的質量損失反映到測試試片上，便可判斷出只因清洗方法而損失的質量大小。

2.1.3.2 在完全移除測試試片上的腐蝕生成物後，重複數次清洗的過程，依照每次清洗所稱得的質量，做成一關係圖（參考圖 1）。根據清洗的次數（每次清除腐蝕生成物後）和每次所稱得之質量作圖，通常可得一線性關係圖，如圖中 AB、BC 兩條線。AB 線表示移除腐蝕生成物時對清洗次數的關係，此線性關係有可能不明顯；BC 線表示只剩下底材金屬時，質量與清洗次數的關係。若把 BC 線延長交於垂直軸，可以得到一點 D，此即為底材金屬未受清洗時的原始質量。有時其關係並不呈線性，仍可以最近似該曲線的直線延長作圖得到 D 點。

圖 1 重複清洗之腐蝕試片質量



2.1.3.3 移除腐蝕生成物後的實際試片質量在 B 點到 D 點之間，依照清洗過程中腐蝕生成物給予試片保護的程度決定之。

2.1.4 優良的清洗方法須具備幾項優點：

- (a) 可有效清除腐蝕生成物。
- (b) 對全新未受腐蝕之試片清洗時，可得低或無質量損失之試片（參考 2.1.3.1）。
- (c) 提供質量為清洗次數函數之關係曲線；當清洗次數為橫座標時，曲線十分接近水平（參考 2.1.3.2）。

2.1.5 使用化學方法或電解方法時，所製備的溶液需保持新鮮度，最好使用蒸餾水或去離子水與試藥級的藥品調配之。

2.1.6 試片去除腐蝕生成物後，先用一般清水再用蒸餾水清洗。此時可將試片送入烘乾機中烘乾，再放入乾燥箱中待其冷卻至室溫，最後才稱重。另外一種乾燥法是把金屬試片浸入乙醇溶液中，再用吹風機送風吹乾。

2.2 化學方法

化學方法是把腐蝕試片浸於特製的化學溶液中，移除腐蝕生成物，並把對底材金屬的溶解減到最低。附錄 A 中列出幾種方法（參照表 A.1）。

2.2.1 在做化學清洗之前，先用軟毛刷輕輕刷試片表面，移除輕微附著其上的塊狀腐蝕生成物。

2.2.2 以浸入溶液及取出輕刷交替去除試片腐蝕生成物時，可以促使緊附其上的腐蝕生成物脫落。

2.2.3 化學清洗方法通常是在以刷子清除表面的部份腐蝕生成物之後進行。

2.3 電解方法

電解方法也可用於移除腐蝕生成物，幾種常用於清除腐蝕生成物的電解方法均整理在附錄 A（參照表 A.2）。

做電解清洗之前，要先用軟毛刷將試片表面輕微附著塊狀腐蝕生成物移除之後方能進行；在電解清除過程後，以刷子清除殘餘表面的黏著物與沈積物。此種作法可以防止可還原性的腐蝕生成物再度沈積到金屬表面上，而減少了質量的損失。

2.4 機械方法

機械方法包括刮削、擦洗、刷洗、超音波、機械撞擊及衝擊砂磨（噴砂、水壓沖刷等），此等方法多用於移除附著力強的腐蝕生成物；而硬質刷和研磨粉/純水混合泥也可用來去除腐蝕生成物，不同的機械方法會導致底材金屬的質量損失，因此採用此法應特別注意，當其他的方法無法適當的去除腐蝕生成物時，才可使用。建議由此法所造成的質量損失，必要時應予校正，就可得到校正後的質量損失。在使用機械方法清洗時，注意力量大小要儘量維持一定值。

3. 試驗報告

試驗報告內容須包含下列各項：

- (a) 本標準所參考的資料。
- (b) 清除腐蝕生成物的方法。
- (c) 化學方法中，所使用化學藥品的組成與濃度，溶液的溫度與清洗試片所使用的時間。
- (d) 電解方法中，所使用化學藥品的組成與濃度，溶液的溫度、極板所使用的材質、電流密度與清洗試片所使用的時間。
- (e) 機械方法中，所使用的清洗方法（用硬質刷、木質括除工具等），所有使試片產生磨損的材質，及清洗試片所需的時間。
- (f) 如果採用混合多種方法進行，則必須寫出每個方法的所有大小步驟，和所有方法的使用順序。
- (g) 經由比對清洗方法（依 2.1.3.1）或重複清洗方法（依 2.1.3.2）的結果，來評估底材金屬經過清洗過程後之質量損失。
- (h) 腐蝕造成的質量損失（依 2.1.3.3）。

CNS 14122, Z 7284

— 4 —

相對應國際標準：ISO 8407 Corrosion of metals and alloys — Removal of corrosion products from corrosion test specimens

參 考

1. 關鍵字：金屬，合金，測試，腐蝕測試，測試試片，清洗

2. 中英名詞對照表

金屬	metals
測試	tests
清洗	cleaning
合金	alloys
腐蝕測試	corrosion tests
測試試片	test specimens

附錄 A (實用版)

移除腐蝕生成物的化學與電解清洗方法

A1. 一般

為建立本標準，將依使用化學方法與機械方法的不同為其編號。此附錄總括本調查提到的所有方法。

A2. 方法

表 A.1 和表 A.2 總括許多移除腐蝕生成物的化學和電解方法。對一已知材料決定其適用的清洗方法時，需考慮許多因素，包括以前試驗的結果。本標準便是做為表 A.1 和表 A.2 所有專為清洗方法的參考標準。

本標準所提及的清洗方法，都必須在試片表面是垂直的情況下進行的，如此可以使清洗過程中，反應氣體在試片表面的滯留量減到最少，進而使清洗的均一性改善。

警告—當作業涉及危險性物質（如氰化物、三氧化鉻、鋅粉）時，必須採取安全預防措施。

表 A.1 移除腐蝕生成物的化學清洗方法

編號	材質	化學藥品	時間	溫度	附註
C.1.1	鋁及鋁合金	50mL 磷酸 (H_3PO_4 , $\rho = 1.69\text{g/mL}$) 20g 三氧化鉻 (CrO_3) 加蒸餾水至 1000mL	5分鐘至 10分鐘	80℃ 至沸騰	若腐蝕生成物仍殘留其上，則使用下述硝酸處理。
C.1.2		硝酸 (HNO_3 , $\rho = 1.42\text{g/mL}$)	1分鐘至 5分鐘	20℃ 至 25℃	為避免與底材金屬產生反應，須移除因清洗產生的沈積及塊狀腐蝕生成物。
C.2.1	銅及銅合金	500mL 鹽酸 (HCl , $\rho = 1.19\text{g/mL}$) 加蒸餾水至 1000mL	1分鐘至 3分鐘	20℃ 至 25℃	在溶液中通入純氮氣體，可以使溶液對底材金屬的侵蝕減到最低。
C.2.2		4.9g 氰化鈉 (NaCN) 加蒸餾水至 1000mL	1分鐘至 3分鐘	20℃ 至 25℃	硫化銅類的腐蝕生成物，無法使用上述方法，通常使用此法。
C.2.3		100mL 硫酸 (H_2SO_4 , $\rho = 1.84\text{g/mL}$) 加蒸餾水至 1000mL	1分鐘至 3分鐘	20℃ 至 25℃	在處理之前，先移除表面的塊狀腐蝕生成物，可使銅的二次沈積產物量減到最少。
C.2.4		120mL 硫酸 (H_2SO_4 , $\rho = 1.84\text{g/mL}$) 30g 重鉻酸鈉 ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 加蒸餾水至 1000mL	5秒至 10秒	20℃ 至 25℃	可以移除因硫酸處理而產生的二次沈積物。
C.2.5		54mL 硫酸 (H_2SO_4 , $\rho = 1.84\text{g/mL}$) 加蒸餾水至 1000mL	30分鐘至 60分鐘	40℃ 至 50℃	在溶液中通入氮氣，每次將試片浸於溶液中 3 到 4 秒，並以刷子刷去試片表面的腐蝕生成物，重複數次。

CNS 14122, Z 7284

- 6 -

編號	材質	化 學 藥 品	時 間	溫 度	附 註
C.3.1	鐵及鋼	1000 mL 鹽酸 (HCl , $\rho = 1.19\text{g/mL}$) 20g 氧化亞錫 (Sb_2O_3) 50g 氯化亞錫 (SnCl_2)	1分鐘至 25分鐘	20℃至 25℃	溶液必須充分攪拌，試片須以刷子清潔表面，在某些情況須加長處理時間。
C.3.2		50g 氫氧化鈉 (NaOH) 200g 鋅粒或鋅片 加蒸餾水至1000 mL	30分鐘至 40分鐘	80℃至 90℃	操作中注意鋅粉若曝露在空氣中，會有自然的反應發生。
C.3.3		200g 氫氧化鈉 (NaOH) 20g 鋅粒或鋅片 加蒸餾水至1000 mL	30分鐘至 40分鐘	80℃至 90℃	注意鋅粉若曝露在空氣中，會有自然的反應發生。
C.3.4		200g 檸檬酸銨 [(NH_4) $_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$] 加蒸餾水至1000mL	20分鐘	75℃至 90℃	
C.3.5		500mL 鹽酸 (HCl , $\rho = 1.19\text{g/mL}$) 3.5g 環 六 甲 基 四 銨 (hexamethylenetetramine) 加蒸餾水至1000mL	10分鐘	20℃至 25℃	在某些情況下須加長處理時間。
C.4.1	鉛及鉛合金	10 mL 醋酸 (CH_3COOH) 加蒸餾水至1000 mL	5分鐘	沸騰	
C.4.2		50g 醋酸銨 ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 加蒸餾水至1000mL	10分鐘	60℃至 70℃	
C.4.3		250g 醋酸銨 ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 加蒸餾水至1000mL	5分鐘	60℃至 70℃	
C.5.1	鎂及鎂合金	100g 三氧化鉻 (CrO_3) 10g 鉻酸銀 (Ag_2CrO_4) 加蒸餾水至1000 mL	1分鐘	沸騰	銀鹽的存在可使氯化物沈澱。
C.5.2		200 g 三氧化鉻 (CrO_3) 10 g 硝酸銀 (AgNO_3) 20 g 硝酸鋇 [($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)] 加蒸餾水至1000 mL	1分鐘	20℃至 25℃	銀鹽的存在可使硫酸鹽沈澱。
C.6.1	鎳及鎳合金	150 mL 鹽酸 (HCl , $\rho = 1.19\text{g/mL}$) 加蒸餾水至1000mL 100 mL 硫酸 (H_2SO_4 , $\rho = 1.84\text{g/mL}$) 加蒸餾水至1000ml	1分鐘至 3分鐘 1分鐘至 3分鐘	20℃至 25℃ 20℃至 25℃	
C.7.1	不銹鋼	100 mL 硝酸 (HNO_3 , $\rho = 1.42\text{g/mL}$) 加蒸餾水至1000 mL	20分鐘	60℃	
C.7.2		150g 檸檬酸銨 [(NH_4) $_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$] 加蒸餾水至1000mL	10分鐘至 60分鐘	70℃	

編號	材質	化 學 藥 品	時 間	溫 度	附 註
C.7.3	不銹鋼	100mL檸檬酸 ($C_6H_8O_7$) 50mL硫酸 (H_2SO_4 , $\rho = 1.84g/mL$) 2g抑制劑 (diorthotolyl thiourea 或 碘乙烷 quinoline ethyliodide 或 β -naphtholquinoline) 加蒸餾水至1000mL	5分鐘	60℃	
C.7.4		200g氫氧化鈉 (NaOH) 30g過錳酸鉀 ($KMnO_4$) 100g檸檬酸銨 [$(NH_4)_2HC_6H_5O_7$] 加蒸餾水至1000mL	5分鐘	沸騰	
C.7.5		100mL硝酸 (HNO_3 , $\rho = 1.42g/mL$) 20mL氫氟酸 [HF , $\rho = 1.155g/mL$ (47%到53%的HF)] 加蒸餾水至1000mL	5分鐘至20分鐘	20℃至25℃	
C.7.6		200g氫氧化鈉 (NaOH) 50g鋅粉 加蒸餾水至1000mL	20分鐘	沸騰	注意鋅粉若曝露在空氣中，會有自然的反應發生。
C.8.1	錫及錫合金	150g三鈉磷酸鹽 ($Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$) 加蒸餾水至1000mL	10分鐘	沸騰	
C.8.2		50mL鹽酸 (HCl , $\rho = 1.19g/mL$) 加蒸餾水至1000mL	10分鐘	20℃	
C.9.1	鋅及鋅合金	150mL氫氧化銨 (NH_4OH , $\rho = 0.90g/mL$) 加蒸餾水至1000mL 然後 50g三氧化鉻 (CrO_3) 10g硝酸銀 ($AgNO_3$) 加蒸餾水至1000mL	5分鐘 15秒至20秒	20℃至25℃ 沸騰	硝酸銀應先溶解於水中，再加入沸騰的鉻酸溶液可以防止鉻酸銀的過飽和結晶。鉻酸不得含有硫酸鹽，以免對鋅造成侵蝕。
C.9.2		100g氯化銨 (NH_4Cl) 加蒸餾水至1000mL	2分鐘至5分鐘	70℃	
C.9.3		200g三氧化鉻 (CrO_3) 加蒸餾水至1000mL	1分鐘	80℃	應避免鉻酸遭到腐蝕生成物中氯鹽的污染，否則會造成對鋅的侵蝕
C.9.4		85mL碘化氫 (HI , $\rho = 1.5g/mL$) 加蒸餾水至1000mL	15秒	20℃至25℃	會有部份鋅被侵蝕掉，故須使用對比試片做為對照 (見 2.1.3)

CNS 14122, Z 7284

- 8 -

編號	材質	化學藥品	時間	溫度	附註
C.9.5	鋅及鋅合金	100g過硫酸銨 $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ 加蒸餾水至1000mL	5分鐘	20℃至25℃	特別適用於鍍鋅的鋼鐵。
C.9.6		100g醋酸銨 $(\text{CH}_3\text{COONH}_4)$ 加蒸餾水至1000mL	2分鐘至5分鐘	70℃	

表 A.2 移除腐蝕生成物的電解清洗方法

編號	材質	化學藥品	操作時間	溫度	附註
E.1.1	鐵，鑄鐵，鋼鐵	75g氫氧化鈉 (NaOH) 25g硫酸鈉 (Na_2SO_4) 75g碳酸鈉 (Na_2CO_3) 加蒸餾水至1000mL	20分鐘至30分鐘	20℃至25℃	以100A / m ² 到200A / m ² 的電流密度做陰極處理，使用碳、白金或不銹鋼為陽極。
E.1.2		28ml硫酸 $(\text{H}_2\text{SO}_4, \rho = 1.84\text{g/mL})$ 0.5g 抑制劑 (diorthotolyl thiourea 或 碘乙烷 quinoline ethyliodide 或 β -naphtholquinoline) 加蒸餾水至1000mL	3分鐘	75℃	以2000A / m ² 的電流密度做陰極處理，使用碳、白金或鉛為陽極。
E.1.3		100g檸檬酸銨 $[(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7]$ 加蒸餾水1000mL	5分鐘	20℃至25℃	以100A / m ² 的電流密度做陰極處理，使用碳、白金為陽極。
E.2.1	鉛及鉛合金	28ml硫酸 $(\text{H}_2\text{SO}_4, \rho = 1.84\text{g/mL})$ 0.5 克 抑制劑 (diorthotolyl thiourea 或 碘乙烷 quinoline ethyliodid 或 β -naphtholquinoline) 加蒸餾水至1000mL	3分鐘	75℃	以2000A / m ² 的電流密度做陰極處理，使用碳、白金或鉛為陽極。
E.3.1	銅及銅合金	7.5g氯化鉀 (KCl) 加蒸餾水至1000mL	1分鐘至3分鐘	20℃至25℃	以100A / m ² 的電流密度做陰極處理，使用碳、白金為陽極。
E.4.1	鋅及鋁	50g磷酸氫二鈉 $(\text{Na}_2\text{HPO}_4)$ 加蒸餾水至1000mL	5分鐘	70℃	以110A / m ² 的電流密度做陰極處理，試片在浸入溶液之前需先接妥電源。使用碳、白金或不銹鋼為陽極。
E.4.2		100g氫氧化鈉 (NaOH) 加蒸餾水至1000mL	1分鐘至2分鐘	20℃至25℃	以100A / m ² 的電流密度做陰極處理，試片在浸入溶液之前需先接妥電源。使用碳、白金或不銹鋼為陽極。

ICS 77.060

- 1 -

中華民國國家標準	金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕測試 (現場測試之一般要求)	總號	1 4 1 2 3
CNS		類號	Z 7 2 8 5
Metals and alloys – Atmospheric corrosion testing – General requirements for field tests			
前言			
國際標準化組織(ISO)是由各國國家標準團體 (ISO 會員團體) 所組成的世界性聯盟。各種國際標準的擬定由 ISO 之各技術委員會執行。每一會員團體對於所設立的技術委員會之主題有興趣時, 皆有權派代表參加委員會。各官方與非官方之國際組織而為 ISO 之連繫團體者, 亦得參與其工作。ISO 與國際電工委員會(IEC)密切地合作研究所有電工技術標準化事務。			
依照 ISO 程序規定, 凡為技術委員會接受的國際標準草案, 將分發至各會員團體表決, 須經至少 75% 參與表決之會員團體贊成始得公布為國際標準。			
國際標準 ISO 8565 由金屬及合金之腐蝕技術委員會 ISO/TC 156 制定。			
此標準取代並取消了 ISO 4542: 1981, 金屬與其他非有機被覆層—一般戶外曝露腐蝕規則。			
附錄 A 為本標準之一部分。			
簡介			
大氣曝露狀態下之腐蝕測試, 其目的在:			
— 獲取金屬、合金 ⁽¹⁾ 及其他含無機金屬被覆層在大氣環境中抗腐蝕之數據。			
— 評估實驗室測試與大氣環境測試所得結果之關係。			
— 評估特定金屬的腐蝕型式。			
測試試片須曝露在曝露試驗場的大氣環境下, 定期檢查試片情況。本標準不包括使用狀態下的腐蝕測試。			
特定金屬的腐蝕速率由大氣腐蝕測試區的大氣情況所決定, 金屬腐蝕速率與大氣的影響變數間的關係十分複雜。因此, 現場測試結果不能夠完全用來預測實際施行時的腐蝕情況, 不過可以提供一概括性的指標。			
註 ⁽¹⁾ 以下簡稱金屬。			
1. 適用範圍			
本標準規定金屬與金屬被覆層在戶外或有遮蔽情況下進行大氣腐蝕測試時的一般準則。			
本標準同時亦適用於室內測試。			
2. 引用標準			
ISO 4221:1980 Air quality – Determination of mass concentration of sulphur dioxide in ambient air – Thorin spectrophotometric method			
(共 10 頁)			
公 布 日 期 87 年 3 月 23 日	經濟部標準檢驗局印行		修 訂 公 布 日 期 95 年 10 月 31 日

ISO 4226:1980 Air quality – General aspects – Units of measurement

ISO 6879:1983 Air quality – Performance characteristics and related concepts for air quality measuring methods

CNS 13126 金屬和無機被覆－儲藏狀態下之腐蝕試驗通則〔ISO 4543：1981〕

CNS 13402 金屬及無機被覆層在金屬底材上之腐蝕試驗法－試片及製品之腐蝕試驗分級評估〔ISO 10289：1999〕

CNS 13753 金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)〔ISO 9226：1992〕

CNS 13754 金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕性(污染之測定)〔ISO 9225：1992〕

CNS 14122 金屬及合金之腐蝕－大氣腐蝕－試片腐蝕生成物清除法〔ISO 8407：1991〕

3. 試片條件

3.1 試片型式

3.1.1 平板試片

矩形是最常用於平板試片之形狀，主要因為易於稱重、測試及因其形狀簡單，方便放置在測試架上。適當的試片大小為 150×100 mm 或更大；試片厚度以足夠測試為原則。同時也應考慮其機械效應與晶粒間腐蝕效應，最適當厚度為 1~3 mm。

表面有金屬被覆層之試片，面積應儘量大，在任何種情況下均不得小於 50 cm²(5×10 cm)。

若被覆層試片面積小於 50 cm²，得將多個相同的試片合計，直到其表面積達到最小要求標準。所得結果不須與本身面積已達標準之試片作比較。

3.1.2 不規則形狀試片

一些形狀不規則，如螺絲、管子、桿狀、有稜角或是各種機械裝配用之零件，如有必要也可加以測試。

若管狀試片之測試範圍只限於外層表面，則管端應予封閉。

一些形狀複雜之試片，如機械零件，可能有罅隙、易積水部分、銲接點及異種金屬，因此在互相組合時對耐蝕性的影響非常重要。進行測試時，這些組件的配置必須注意模擬實際使用情況。

3.1.3 銲接試片

銲接試片的大氣腐蝕測試，主要是為了顯示銲接區域是否因銲道與母材之冶金性質或成分不同，而造成優先腐蝕現象。通常使銲接部位在試片的中央，並平行於試片的長邊；如技術規範上有要求時，可使銲道垂直於試片的長邊。

3.2 試片製備

因為大氣腐蝕測試的時間很長，可能延續數年，必須確保試片能夠清晰辨識，所有取得之數據紀錄，並予以謹慎保管。一般都先把大的試片裁成小試片，並去除毛邊後，再做曝露，不過此種作法會造成試片表面受損，對某些金屬可能導致冶金狀態上明顯改變（如因切割之剪應力引起之加工硬化等），需小心操作以避免之。除非此部分的影響是特別要探討的，否則一般均以機械方式將加

工硬化部分除去。

若以火鋸切割、鋸切或砂輪切割等方式切割試片，也容易造成類似的損傷。如果測試結果必須和實際使用狀況作比較，應該使試片的表面情況與使用時相同或類似。對其他用途而言，必須詳細定義試片表面的製備過程。

若試片表面有銹皮或銹蝕時，可採用有機溶劑或鹼液去脂，機械或化學方法除銹，或上述任一方法之組合。各種金屬表面的適當除銹方法如 CNS 14122 之表 A.1 和 A.2 所示。對於金屬及無機物被覆層，絕對要避免使用可能傷害試片表面的清洗方法。

3.3 試片處理

於曝露之前進行最後的清潔手續後，儘量不要再碰到手，通常在最後的處理操作時，必須戴上乾淨的手套。

3.4 試片標示

在試片上做記號以分辨試片。記號必須容易識別，並且可以維持至曝露期結束。記號不可做在外觀評判部位或具有功能性目的之部位。

試片可以印上專屬的編號；金屬試片則可以在其上刻上記號或鑽孔。其他做記號的方法只要易於識別而且可以持久者，都可以使用。

做記號的方法不盡相同，對於金屬被覆層的試片常用的方法是先在試片上刻劃記號再做保護塗裝。

標示所影響的面積應儘量減少，並且建議建立可靠圖形以記錄試片的相對位置及曝露數據。

3.5 試片數目

每次曝露取樣，對不同型態試片所採集的試片個數不得少於 3 個。

對簡單的測試，3 個試片已經足夠；若測試之項目複雜，則依統計上之需要決定應多取之試片數量。

3.6 對比與參考試片

在測試中需要額外的試片，以滿足各種測試的對比及參考使用。

3.6.1 對比試片

此試片為曝露試驗試片之複製品，應儲藏於不受腐蝕的環境（參照第 3.7 節），在試片完成曝露測試後，作為物理與機械性質變化的對照。

3.6.2 參考試片

當要測試新材質或改良材質的試片時，將原（已知）材質的試片與待測試片一同進行曝露，作對照試驗。

3.7 儲存

在儲存未曝露之試片及對比試片時，應避免造成試片機械性質的損害或與其他試片接觸；儲藏室須控制溫度，並保持相對濕度在 65% 以下；如為敏感性試片，則必須特別儲藏於乾燥箱或密封於有乾燥劑的塑膠袋中（參照 CNS 13126）。

3.8 試片資料記錄

對每一系列試片，為評估上需要，必須記錄影響腐蝕效應的數據（參照第 8 節）。

紀錄須包含下列各項：

(a) 未被覆之金屬試片

- 化學組成
- 質量
- 形狀及大小
- 表面處理特性
- 熱處理
- 基本物理性質（機械、電子或物化特性），以及表面的粗糙度
- 測試前表面狀況（在大氣長期曝露下，金屬可能改變本身結構）
- 測試試片的製作方法
- 金屬表面處理之測試方法
- 評估金屬的有關標準及商標
- 評估個別性質之測試方法
- 測試試片產生的中間物

(b) 金屬被覆層之試片

- 標明金屬底材
- 被覆之前的表面處理方法
- 標明被覆方法及材質
- 被覆層厚度
- 被覆層的基本性質，包含測試其性質的方法(例如孔隙度、硬度、延展性等)

(c) 製品或零件

- 基本性質資料及測試方法（例如厚度、孔隙度、硬度、延展性等）以及在開始測試前之初試值。

試片狀況可用肉眼觀測記錄，必要時也可照相記錄，並且小心保存。

4. 大氣腐蝕測試場地

4.1 區域的種類

做為大氣腐蝕測試場地須提供：

- (a) 開放大氣曝露，也就是直接曝露在大氣及大氣污染情況下，或
- (b) 遮蔽曝露，也就是在可免受雨水侵蝕與陽光照射之處曝露，通常為一屏蔽之下或是在一部分密閉的空間，例如架有百葉窗的小屋，試片可受百葉窗的保護。由於實施遮蔽曝露的方法包羅萬象，主要的是必須把遮蔽的細節以及曝露方式加以清楚記錄。至於其效果因方式不同而有所差異，所以相互之間並不能比較。

4.2 測試場地之要求

所選定之測試場地須提供足夠的測試區域，供全體試片曝露在所有大氣曝露產生的效應之下。場地如果選在大樓預定地上、建築物中、樹林裡或某些特殊地形，如河流、湖泊、山谷、洞穴中，可能導致不必要的遮蔽或曝露於風、污染源或陽光之中。

除非已考慮人為因素及特殊地形的影響，並列為測試計畫之一部份，否則測試

應避開此種場地及其附近做測試，若無法避免，則應加以記錄。測試區域中，曝露架要擺放在排水系統良好的地面、碎石地、水泥地、或已鋪上地基的地面；倘若場地上有低生長性之灌木叢等植物，須控制其生長高度不得超過 0.2 m，以免受該處之溫度與溼度影響。

如果要在測試區周圍使用化學藥品控制植物生長，一定要做好事前的預防工作，務必防止化學藥品污染試片。

在遮蔽情形下進行大氣腐蝕測試時，適當分配各個試片的位置十分重要，應避免曝露試驗進行時對相互鄰近試片造成任何不必要的影響。

4.3 測試場地位置

測試場地應選在可以表現此種材質經常使用之環境。

有兩種選擇測試場地的標準：

- (a) 永久測試場地可區分為工業區、農業區、都市區和海邊地帶，以可做為當地氣候狀況代表性地區之地方為測試場地。
- (b) 暫時性測試場地，只在某一預定時段內進行測試，場地的選擇以會發生特定腐蝕之處為主。

測試場地須可在測試期間供定時觀察、記錄或評估在第 5 節中所規定之環境因素。選擇測試地點最主要的考量在於該地的環境以及是否易於測試，所以測試地點接近或位於氣象站比較有利。選擇測試地點最主要的考量因素便在於該地點是否易於檢測。

4.4 場地安全

大氣腐蝕測試場地應有足夠的安全設備，用來防止偷竊、破壞或其他形式的干擾。在設置護欄或圍籬時，注意不能影響到測試的正常進行，例如造成部分試片受到遮蔽或遭到雪堆掩埋。

4.4.1 曝露架

曝露架的功能在於維持試片可安全的固定在一定位置上，並避免影響試片之腐蝕行為。曝露架可設計為全曝露或半曝露於大氣中。

曝露架材質可使用金屬或木材，因其可提供足夠的強度及耐久性。必要時，可在金屬表面塗裝以做為保護。架子也可由已做適當保護之木材來製作。

下述之設計要求在實際製作時，可依據所處地區地方性資源和材料取得不同而有所差異。

曝露架的空間須足以讓試片的上下兩面均曝露在大氣情況下，這是為了使試片的向光面與背光面都可測得數據以作比較。另外要注意到所製作的曝露架不可遮蔽到試片。

試片擺放到曝露架上時，要避免接觸、遮蓋或影響到其他試片，做好試片與試片之間、試片與曝露架之間的絕緣，以免導電。隔離墊片應以有固定孔洞且表面具有凹槽之陶瓷或耐腐蝕之塑膠材質。換言之，要經過絕緣處理過的螺栓和螺釘才可用於固定試片，試片和固定物所接觸的面積也是越小越好。

曝露架應設計使試片曝露仰角呈 45° (30° 是可接受的範圍)，或是符合測試計劃中所規定的方位。

曝露架之設計應避免地面灑水或雨水在架上流動時影響到試片；由於安置曝露架的地點，可能會有積雪的情形，故試片曝露的最小高度必須考慮避免被地面雨水噴濺及積雪埋沒，因此最小高度不得少於 0.75 m。

曝露架須足夠承載所有試片與試架的總質量，並可抵抗強風與大雪所帶來的衝擊。而且在強風之下曝露架也應穩固的立於地面上，試片不能有脫離試架或移動的現象。

在實際情況下，把試片的尺度標準化或把試片的大小限制在某一範圍是較便利的方法，此方法簡化曝露架的設計與試片的固定。

為保持大氣腐蝕生成物及污染物的累積，與防止其被雨水沖走，也可以在有遮蔽措施的情況下做曝露試驗。遮蔽場所的細部設計由曝露試驗的大氣條件決定。

4.4.2 遮蔽曝露的遮蓋物

受遮蓋的試片，如在傘狀屋頂之下進行試驗，也應被放置於曝露架上。

作為傘狀屋頂的材料為一般屋頂的材料，此屋頂須傾斜才可以導引水流，而使試片不受外來雨水、屋頂所滴下的水或由地面噴濺的水影響；此屋頂也要能夠遮蔽部分來自陽光的放射線。屋頂離地面的最大高度不得超過 3 m，其寬度亦不得超過曝露架邊緣 3 m。

4.4.3 封閉式曝露室

封閉式曝露所使用的百葉窗小屋，其設計須與標準的氣象觀測站小屋相同，可以確保試片不受大氣環境污染或放射線及風的影響，但可以維持空氣流通。百葉窗小屋的牆與門要漆成白色。

百葉窗小屋為威尼斯百葉窗式，葉片是固定的，只能在一定的範圍內移動，使內外空氣可以互相流通但雨水卻很難滲透進去。百葉窗小屋之底部至少要高於地面 0.5 m。

百葉窗小屋內部的空間至少要容納試片擺在曝露架上時所需的大小。在曝露架的設計與試片擺放的位置上，注意要使試片之間的空氣流通，以及避免有隱密的死角形成微小的氣象變化。

百葉窗小屋必須放在曝露場的空地，假如曝露場內有一個以上的百葉窗小屋，則彼此之間以不影響氣候條件為原則，距離應大於百葉窗小屋高度的兩倍。

5. 測試場地特性

為求更進一步得到腐蝕測試的結果，必須描述測試場地的大氣特性。一般以 CNS 13753 直接測試標準試片的腐蝕速率為準，如果是永久性曝露場，其他來源所收集或量測到的大氣資料也可供參考。

若大氣特性使用其他來源的資料，則要註明其來源，以及其與距離測試場之大約距離。描述大氣情況所需的環境資料如下：

- 氣溫，℃
- 相對大氣溼度，%
- 降雨量，每日公釐數
- 日照輻射的時間及強度
- 依據 CNS 13754，二氧化硫沈積率，每日每平方公尺毫克量($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)或每立方公尺毫克量(mg/m^3)。
- 依據 CNS 13754，氯化物沈積量，每日每平方公尺毫克量($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)。通常只適用於海邊之測試場地。

量測項目與其量測頻率如附錄 A 所示。

其他因素，如降雨時間、潤溼時間、風速及風向、雨水 pH 值、氣體量及特殊的污染物等，皆可依測試條件的要求而加以蒐集量測。

依 CNS 14122，在移去標準試片上的腐蝕生成物之後，才可以進行腐蝕速率的測試。測試場地大氣特性依 ISO 4226 及 ISO 6879 之規定；濃度量測及沈積速率量測分別依 ISO 4221 及 CNS 13754 之規定。

6. 操作條件

試片之放置依下列之規定。

- 試片之間不能互相接觸，在測試期間也不能與任何會影響腐蝕的物質接觸。
- 腐蝕生成物及含有腐蝕生成物之雨水不可滴落至其他試片上。
- 將試片表面置於易於接近之處。
- 試片容易拿取。
- 防止試片掉落（例如被風吹落），或遭到意料之外的污染及破壞。
- 所有的試片應曝露在同一狀況下，並且四面通風。
- 一般而言，戶外曝露測試時，在北半球試片表面要朝南；南半球試片表面要朝北。若在某些情況下（如海邊）則可朝其他方位。除非有其他測試規定，試片仰角多採水平 45°角（30°為可允許之範圍）。
- 在遮蔽曝露下，除非有其他測試規定，試片通常採用水平仰角 0°、30°、45°、60°、90°曝露。
- 試片以隨機方式放置在曝露架上。

7. 測試方法

7.1 測試時間

依測試試片的型式和測試目的來決定測試所經歷的時間與季節。對此種測試而言，大氣腐蝕的速率是非常慢的，故曝露的時程分為 1 年、2 年、5 年、10 年或 20 年，全憑待測金屬或金屬被覆層的抗腐蝕能力而定。在某些情況下總曝露測試時間可以不超過 2 年。

特別注意，尤其是暫時性曝露測試，當曝露試驗開始進行時，其結果將因曝露季節的不同而有所不同。一般建議試驗應在腐蝕速率最高的時期（如春、秋季）來進行。

7.2 週期性的觀察檢測

試片應予定期檢視，觀察試片是否遭到移動；若試片外觀出現重大變化或不正常特徵時，須以書面或照相記錄之。試片正反兩面均應檢視，以觀察其腐蝕效應之差異。

紀錄應包括任何腐蝕生成物的色澤、結構及均勻性；以及腐蝕生成物是否因試片之時效而仍附著良好或有剝落傾向。

定期性的檢視有助於儘早決定金屬或合金的冶金或化學性質是否需要更改，藉以維持材料的快速發展。每次檢測時也應檢查試片上的記號是否仍可清楚辨識（參照第 3.4 節）。定期檢視也有助於場地安全、維修儀器以及場地設施等的定期監護。

7.3 測試結果評估

評估方法藉由外觀檢視、金相檢查、質量損失之測定、機械性質的改變或材質特性的表現（例如反射率）等來進行。

試片外觀宜以彩色照相作為紀錄。

應在不同曝露時段評估（參照第 7.1 節）腐蝕效應，並在必要時與對比試片做比較。應在曝露期過後 3 個月內測試試片各項數值，測試前試片依第 3.7 節所描述之條件儲存。除非另有規定，否則有金屬被覆層之試片依 CNS 13402 之方法來加以評定。

金屬試片在量測其質量損失時，須依 CNS 14122 所規定的方法清洗。

8. 測試報告

測試報告必須包含下列項目：

- (a) 試片測試資料，包括試片曝露的傾斜度及方向。
- (b) 測試場地之描述（參照第 5 節）
- (c) 參考試片與測試試片的數目
- (d) 曝露、取樣及評估的日期
- (e) 試片的製備和試片原有性質（參照第 3.8 節）
- (f) 針對每次測試，均做一次個別的表面外觀改變之定性描述，如果情況允許，最好附上測試前、測試中及測試後照片。
- (g) 腐蝕之定量性評估結果，包括質量損失、金相檢查、物性變化、蝕孔深度、蝕孔密度及分布，以及使用其它方法所評定的結果。

評估方法與所得結果須清楚敘述，並以相符的圖表呈現。

測試報告中必須討論所有會影響測試結果的問題。

報告可將主要試驗結果做一概要結論。

相對應國際標準：ISO 8565 Metal and alloys – Atmospheric corrosion testing – General requirements for field tests

參考

1. 關鍵字：金屬，合金，腐蝕，測試，腐蝕測試，大氣腐蝕測試，現場腐蝕測試，測試試片，測試條件。

2. 中英名詞對照表

金屬	metals
合金	alloys
腐蝕	corrosion
測試	tests
腐蝕測試	corrosion tests
大氣腐蝕測試	atmospheric corrosion tests
現場腐蝕測試	field corrosion tests
測試試片	test specimens
測試條件	test conditions

CNS 14123, Z 7285

－ 10 －

附錄 A

(規定)

大氣曝露之環境因子

環境因子	單位	測量方式與次數	報告項目
氣溫	℃	連續測試，或一天至少 3 次。	每月平均溫度和年平均溫度
相對溼度	%	連續測試，或一天至少 3 次。	每月平均溼度和年平均溼度
氣溫高於 0℃ 且相對溼度大於 80% 的潤溼時間	h	—	每月平均時數和年平均時數
降雨量	mm/d	每月一次。	每月總降雨量和年總降雨量
空氣中 SO ₂ 的氣體濃度	mg/m ³	連續性－每月一次。	每月平均濃度和年平均濃度
或 SO ₂ 的沈積率	mg/(m ² · d)	連續性－每月一次。	每月平均沈積率和年平均沈積率
氯化物沈積率	mg/(m ² · d)	連續性－每月一次。	每月平均沈積率和年平均沈積率

參考書目

1. 「永續公共工程—節能減碳政策白皮書」，行政院公共工程委員會，行政院 97 年 11 月 11 日核定。
2. 「金屬與混凝土建築材料耐久耐候試驗規範與方法手冊之建立」，內政部建築研究所委託研究報告，民國 94 年 12 月。
3. 莊秋明，「鋼橋等結構物之腐蝕原因及類別與熱浸鍍鋅防蝕鋼橋之設計製造及施工」，土木工程技術，第六卷第三期，第 81~107 頁，民國 91 年 9 月。
4. 「高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心委託報告，民國 89 年 12 月。
5. 洪耀宗、王志華、施漢章、徐希白、林益全、劉日煬，「鍍鋅鋼材、5%鍍鋁鋅鋼材及 304 不鏽鋼之海洋大氣腐蝕研究」，防蝕工程，第十五卷第三期，第 107~114 頁，民國 90 年 9 月。
6. 王麒翔，「室內加速腐蝕試驗與室外大氣腐蝕關聯性研究」，國立雲林科技大學工業化學與災害防治研究所碩士論文，民國 91 年 6 月。
7. 張耀南、劉宏義、魏豐義，「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境近十年之大氣腐蝕行為研究」，防蝕工程，第十九卷第一期，第 21~40 頁，民國 94 年 3 月。
8. 國家標準 CNS 61「卜特蘭水泥」。
9. 黃仕慶，「鹽害對港灣構造物耐久性之評估」，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，民國 87 年 6 月。
10. 朱志光，「海水對混凝土影響之研究」，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，民國 86 年 6 月。
11. 洪照亮，「混凝土碳化與鋼筋混凝土結構物耐久性之研究」，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士學位論文，民國 87 年 6 月。
12. 「建材耐候耐久性曝曬試驗之建置研究」，內政部建築研究所委託研

究報告，民國 96 年 12 月。

- 13.黃慶輝、劉明皓，「淺談影響熱浸鍍鋅鍍層品質的因子」，熱浸鍍鋅，第 22 期，第 20~29 頁，民國 97 年 8 月。
- 14.徐耀賜、彭振聲、姚志銘，「熱浸鍍鋅鋼橋生命週期成本模式建立之研究」，熱浸鍍鋅，第 21 期，第 15~25 頁，民國 97 年 6 月。
- 15.張耀南、魏豐義，「熱浸鍍鋼材與熱浸鍍 5%鋁鋅鋼材在台灣的大氣曝露試驗研究」，熱浸鍍鋅，第 9 期，第 5~7 頁，民國 94 年 1 月。
- 16.「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究(1/2)」，交通部運輸研究所，民國 97 年 3 月。
- 17.「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究(2/2)」，交通部運輸研究所，民國 98 年 4 月。
- 18.國家標準 CNS 13127「金屬和無機被覆——靜態戶外曝露腐蝕試驗通則」。
- 19.國家標準 CNS 13402「金屬及無機被覆層在金屬底材上之腐蝕試驗法——試片及製品之腐蝕試驗分級評估」。
- 20.國家標準 CNS 13126「金屬和無機被覆——儲存狀態下之腐蝕試驗通則」。
- 21.國家標準 CNS 14122「金屬及合金之腐蝕——大氣腐蝕—試片腐蝕生成物清除法」。
- 22.國家標準 CNS 14123「金屬及合金之腐蝕——大氣腐蝕測試（現場測試之一般要求）」。
- 23.國家標準 CNS 13401「金屬及合金之腐蝕——大氣腐蝕之分類」。
- 24.國家標準 CNS 13753「金屬及合金之腐蝕——大氣腐蝕性（測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性）」。
- 25.國家標準 CNS 13754「金屬及合金之腐蝕——大氣腐蝕性（污染之測定）」。

- 26.陳育群，「輕型鋼施工現場防鏽處理耐久性之初探」，國立成功大學建築研究所碩士論文，民國 92 年 7 月。
- 27.陳建成、黃兆龍，「鋼筋混凝土腐蝕機理與耐蝕策略」，防蝕工程專集，第 54~63 頁，民國 91 年 6 月。
- 28.林維明、黃兆龍、彭耀南，「台灣地區建材劣化現象調查研究」，防蝕工程，第十一卷第一期，第 36~57 頁，民國 86 年 3 月。
- 29.鍾國亮、彭健賓、黃梓晃、蔡嘉倫、劉耀文、鄭錦榮、廖啟煌，「鐵塔鍍鋅層及塗膜劣化影像分析及資料庫建立」，台電工程月刊，第 698 期，第 9~23 頁，民國 95 年 10 月。

