

2022.8



新北市建築師公會111年度鑑定講習會

氬離子構造物之處理方式

報告人：林國財建築師

111年8月25日

簡報大綱

1 鋼筋腐蝕基本概念

2 RC構造物腐蝕成因與控制

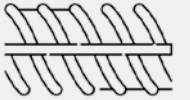
3 RC構造物腐蝕偵測及評估

4 RC構造物陰極防蝕工法簡介

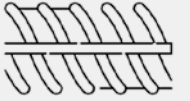


01

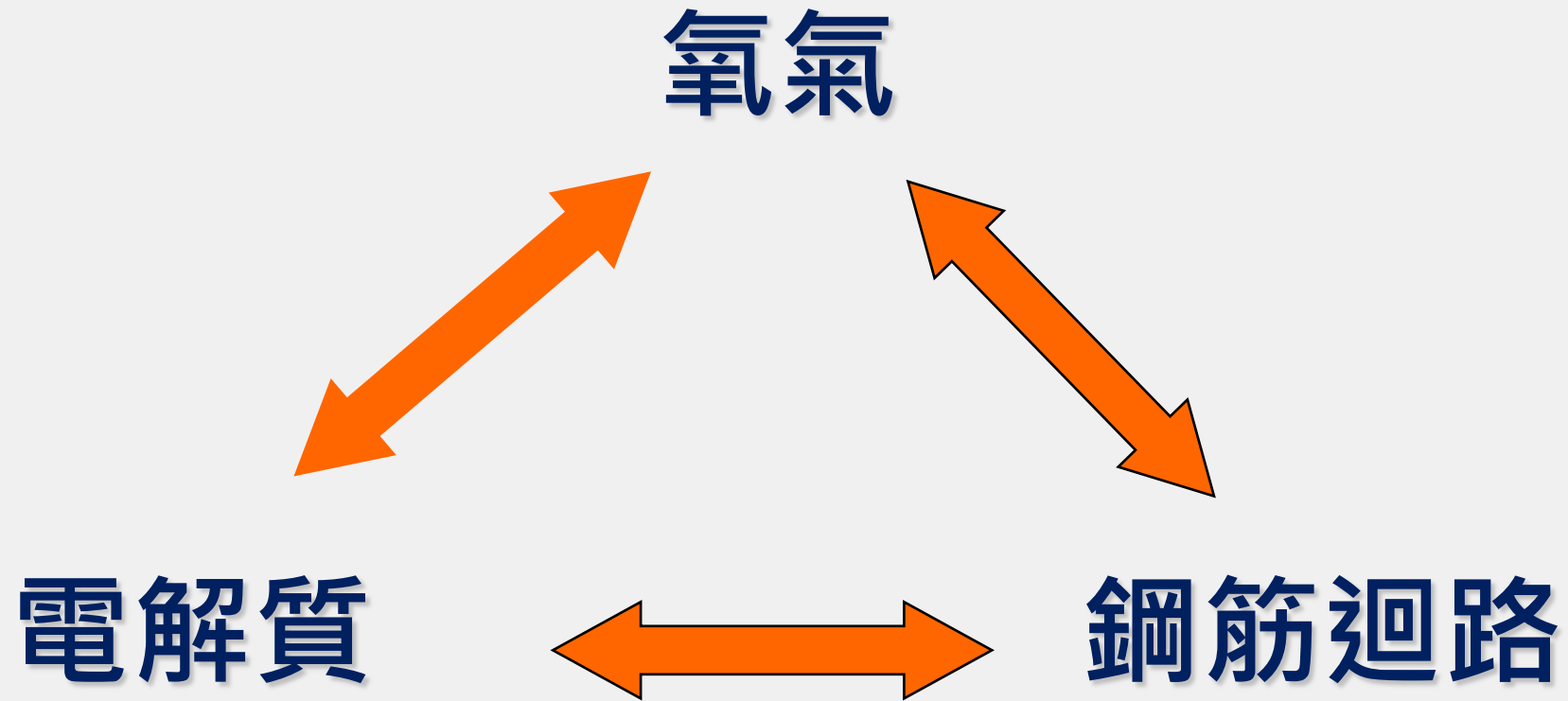
鋼筋腐蝕的基本概念

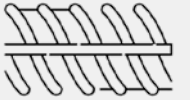


地球不是真空的，乃是由**環境劑**--**潮濕**空氣包
覆，**氧及水**對鋼筋的腐蝕及劣化大有影響；地
球上出產的鋼筋原礦為氧化物、硫化物等之化
合物，將之**還原、精煉、製造**成極不安定的純
鋼筋或其合金常欲**回復**先前較安定的形態，這
可說是鋼筋的**腐蝕現象**，因而使用鋼筋或合
金，一定會防蝕；在特定強腐蝕性環境中，若
不對耐蝕處理進行考量的話，會導致立即腐蝕
而在實用上產生問題。

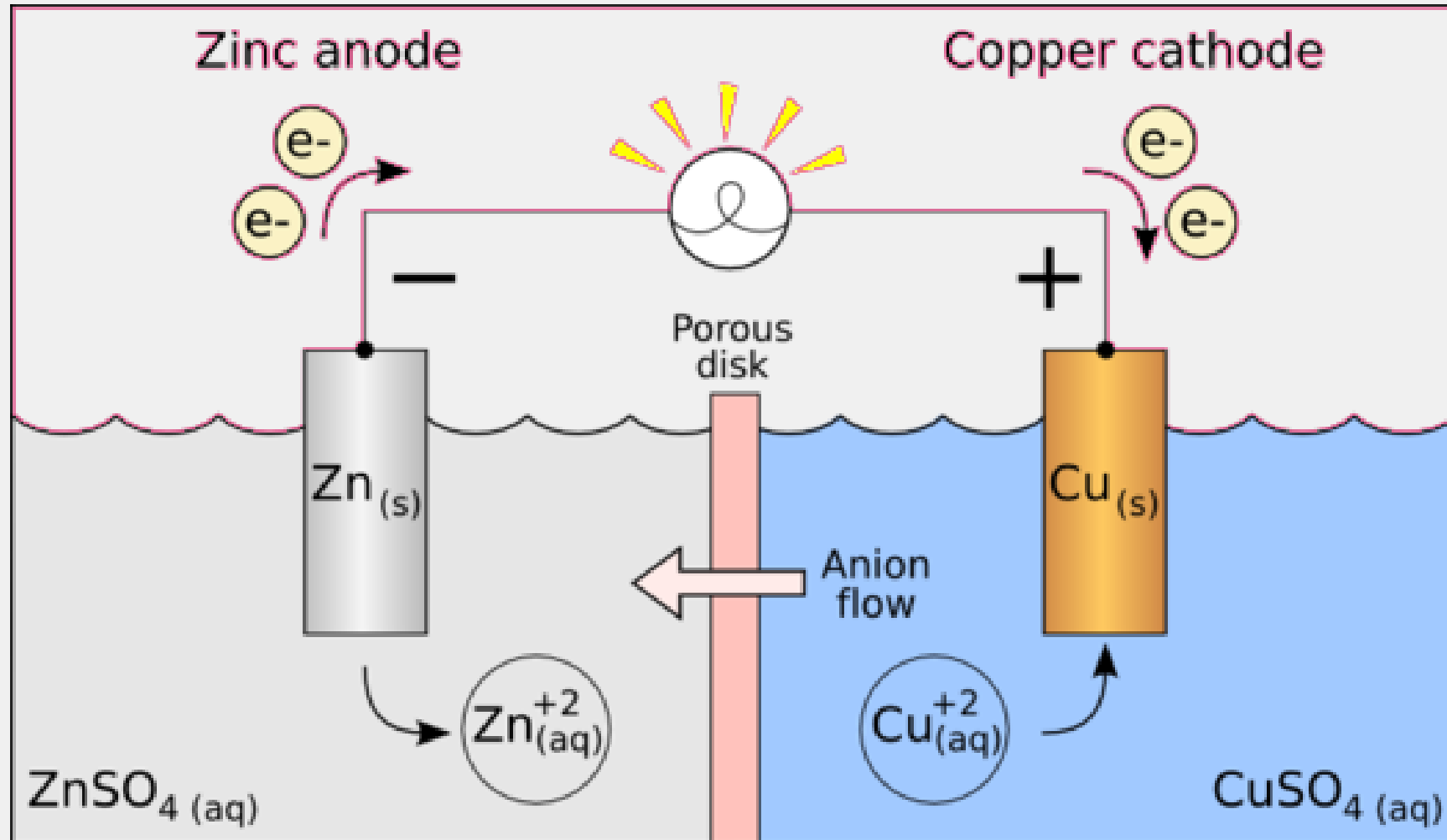


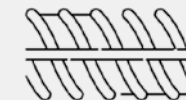
鋼筋腐蝕的基本條件



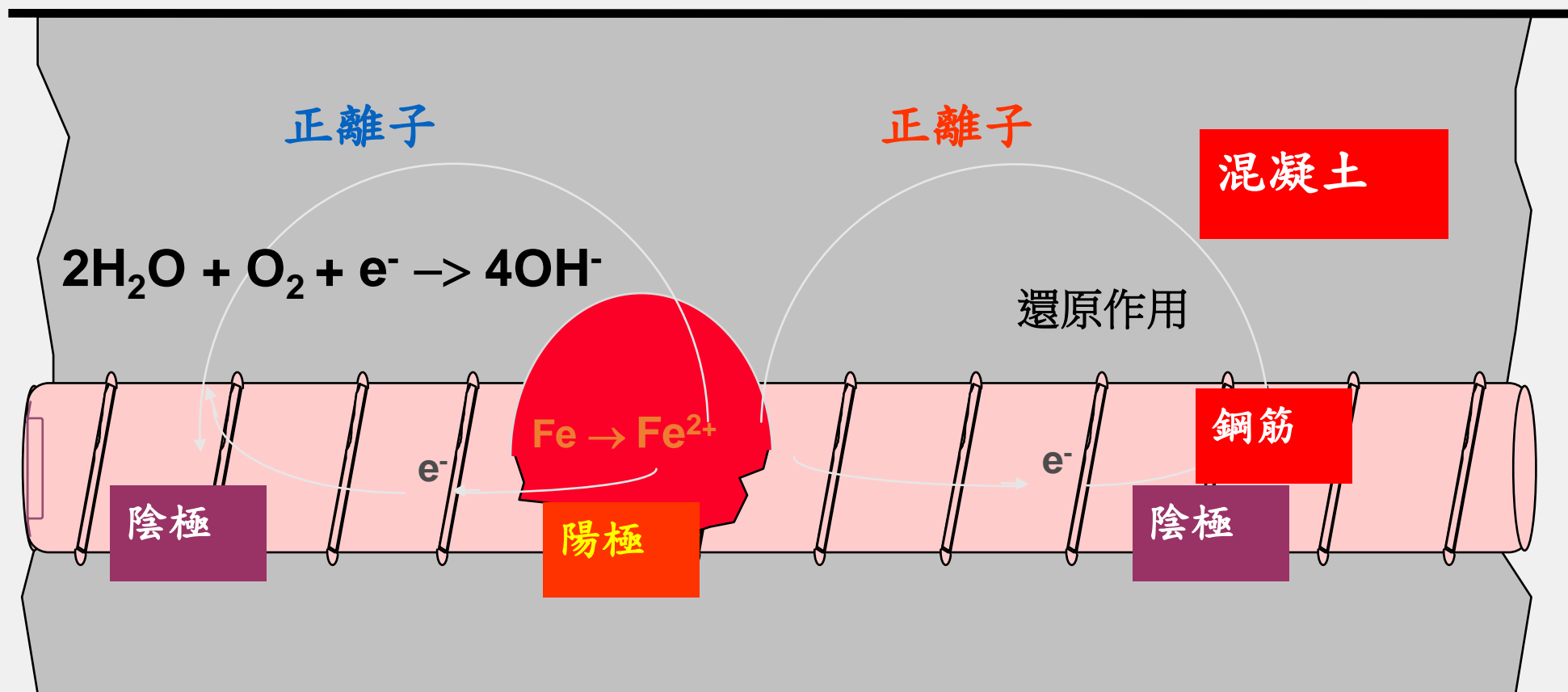


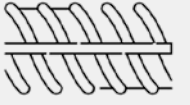
丹尼爾電池





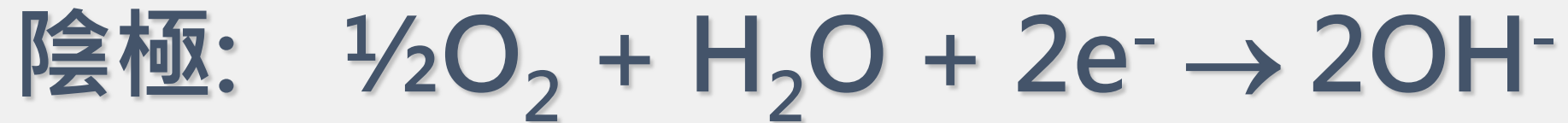
鋼筋腐蝕形成的電池反應

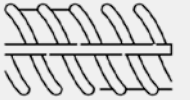




腐蝕之電化學原理

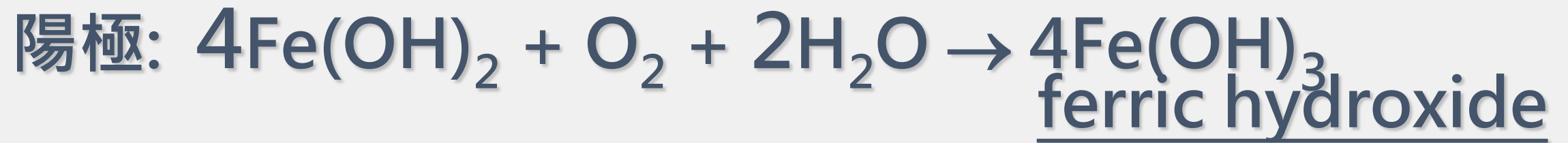
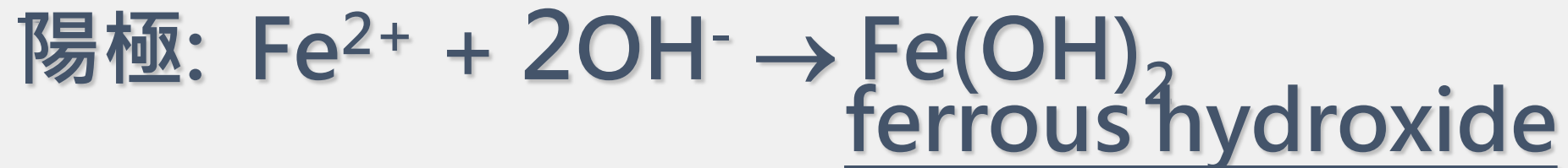
起初

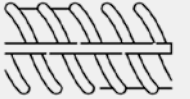




腐蝕之電化學原理

中段



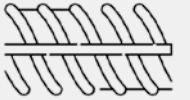


腐蝕之電化學原理

最後

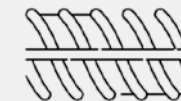


hydrated ferric oxide

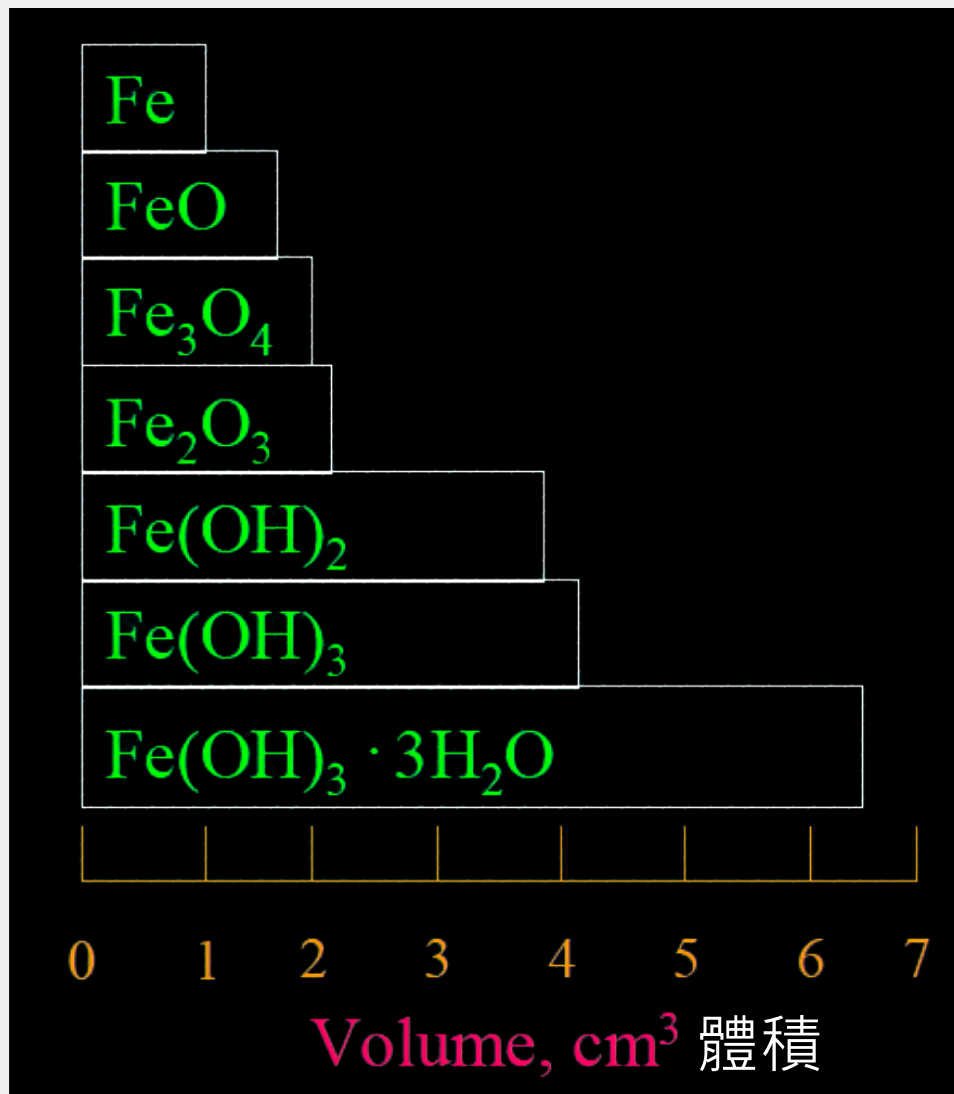


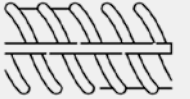
美國混凝土學會描述現代三個氯離子影響鋼筋腐蝕的學說

- ◆ **氧化膜學說**：氯離子能穿過或散落在保護鋼筋的鈍化薄膜，使其失效，造成腐蝕。
- ◆ **吸附學說**：氯離子被鋼筋表面吸附，並促進水合作用和鐵離子的分解。
- ◆ **過渡複合體學說**：水溶性氯化鐵化合物從鋼筋表面運走鐵離子，造成生鏽；氯化化合物成為催化劑，這可加速腐蝕速率高至正常之**兩倍**。



鋼筋體積膨脹





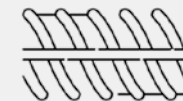
碳化作用



RC構造物腐蝕成因與控制

02





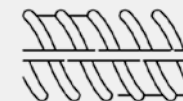
臺灣高等法院曾於90年4月16日院賓民節字第5483號函詢下列有關事項：

一. 請查明所謂海砂屋之定義為何？政府有無規定其定義，其氯離子含量標準曾否變更？

A. 「海砂屋」是一俗稱、新聞名詞，事實上，政府並沒有規定其定義及標準。目前所見到的「海砂屋」現象是因為混凝土中含有過量的氯離子，或再加上混凝土品質不良，施工不當所造成的鋼筋腐蝕，此現象極類似於「台北市高氯離子混凝土建築物善後處理辦法」及「台北縣政府高氯離子混凝土建築物善後處理要點」中所稱之高氯離子混凝土建築物。

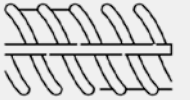
B. 目前廣為營建業參考及邊循之標準為83年7月22日修訂之中華民國CNS3090新拌預拌混凝土中水溶性氯離子最大容許值 $<0.6\text{kg/m}^3$ ，該標準分別於87年6月25日及104年1月13日變更修訂，104年修訂後之標準為新拌預拌混凝土中水溶性氯離子最大容許值 $<0.15\text{kg/m}^3$ 。

(註：以時空背景關係，另加入104年之新規定以免誤導)



二. 民國68年、69年、70年之標準與88年之標準有無不同？

- A. 民國68年、69年、70年間國內並無有關新拌或硬固混凝土中氯離子含量之標準，僅建築技術規則建築構造編第340條及344條中有規定新拌混凝土在特殊需求情形下禁含氯離子之限制，但是無含量標準之規定。自民國80年起我國國家標準CNS12891「混凝土配比設計準則」修訂後才首見混凝土中有氯離子含量之標準。
- B. 混凝土中氯離子含量標準自政府於民國80年國家標準CNS12891「混凝土配比設計準則」及83年CNS3090新拌預拌混凝土中水溶性氯離子最大容許值先後增訂，其後新建之建物均應據以興建，所以88年施工新建之建物自應依87年新修訂之CNS3090新拌預拌混凝土中水溶性氯離子最大容許值為標準而不能引用83年之標準。

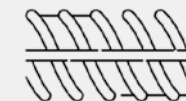


三. 房屋是否會因年代之經過產生海砂屋之現象？

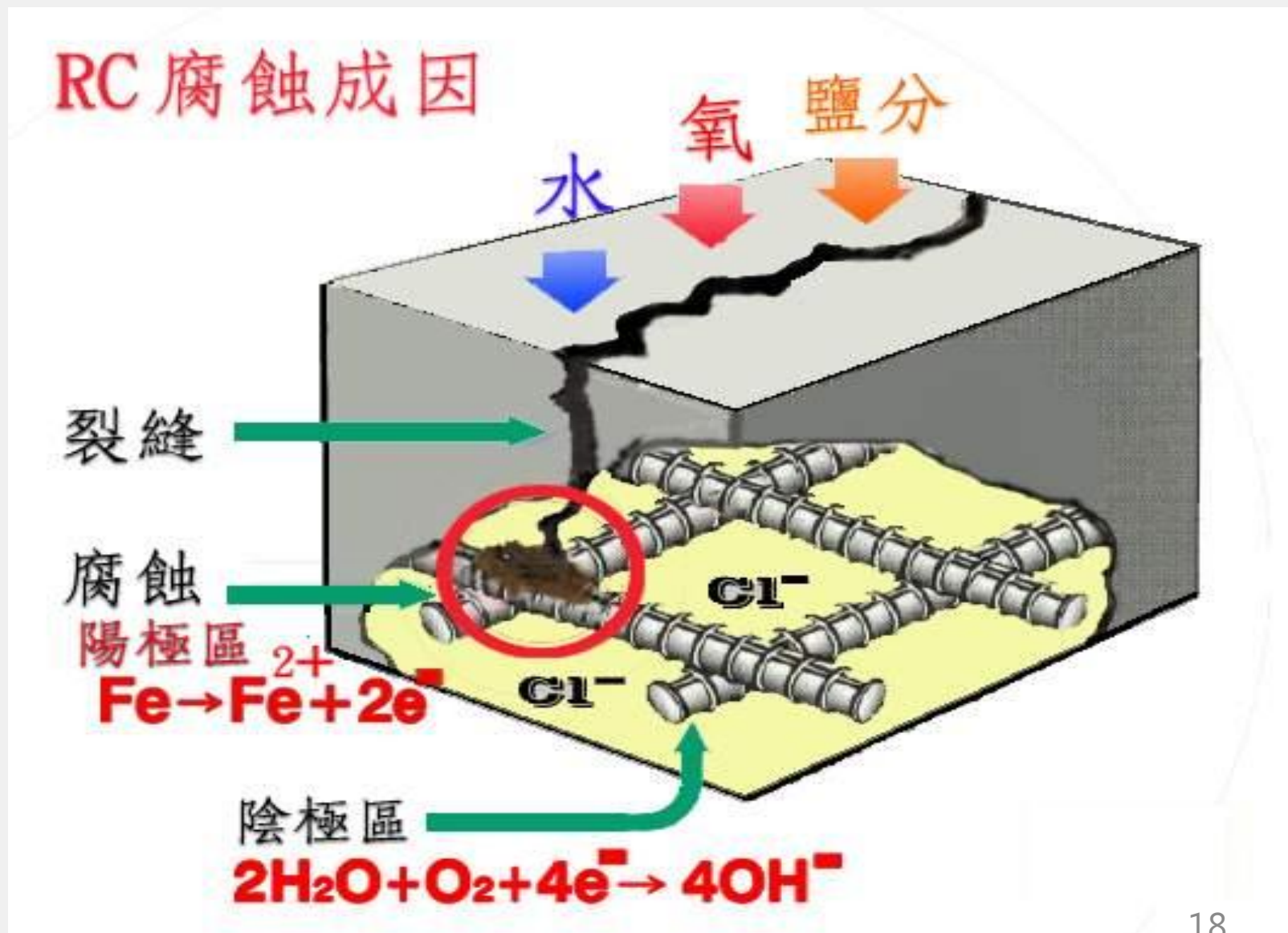
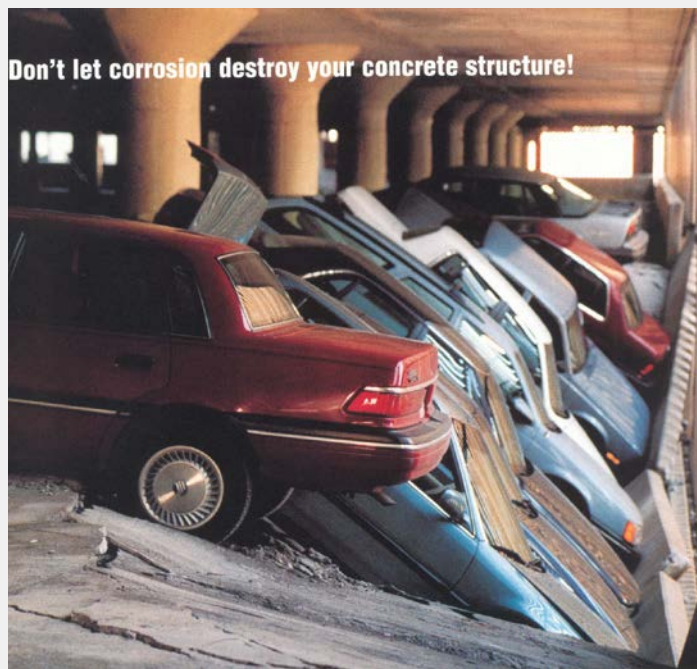
房屋因年代之經過可能會產生海砂屋之現象，會發生此現象者經分析可能有以下幾種情況：

- A. 房屋於建造時所使用之建材即含有過量之氯離子。
- B. 濱海房屋因長期在海風吹襲下，造成混凝土表面氯離子含量過高。
- C. 房屋位於製程中會長期釋放出含有害鋼筋混凝土建築物之化學鹽類、蒸氣或粉塵之工廠等場所附近。
- D. 房屋曾因混凝土劣化剝落或漏水，修復時使用含有氯化物之修補材。
- E. 房屋地下室周圍長期因地下水滲入，而地下水含有害鋼筋混凝土之化學鹽類(如硫酸鎂、氯化鎂等)。

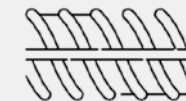
RC構造物腐蝕成因與控制



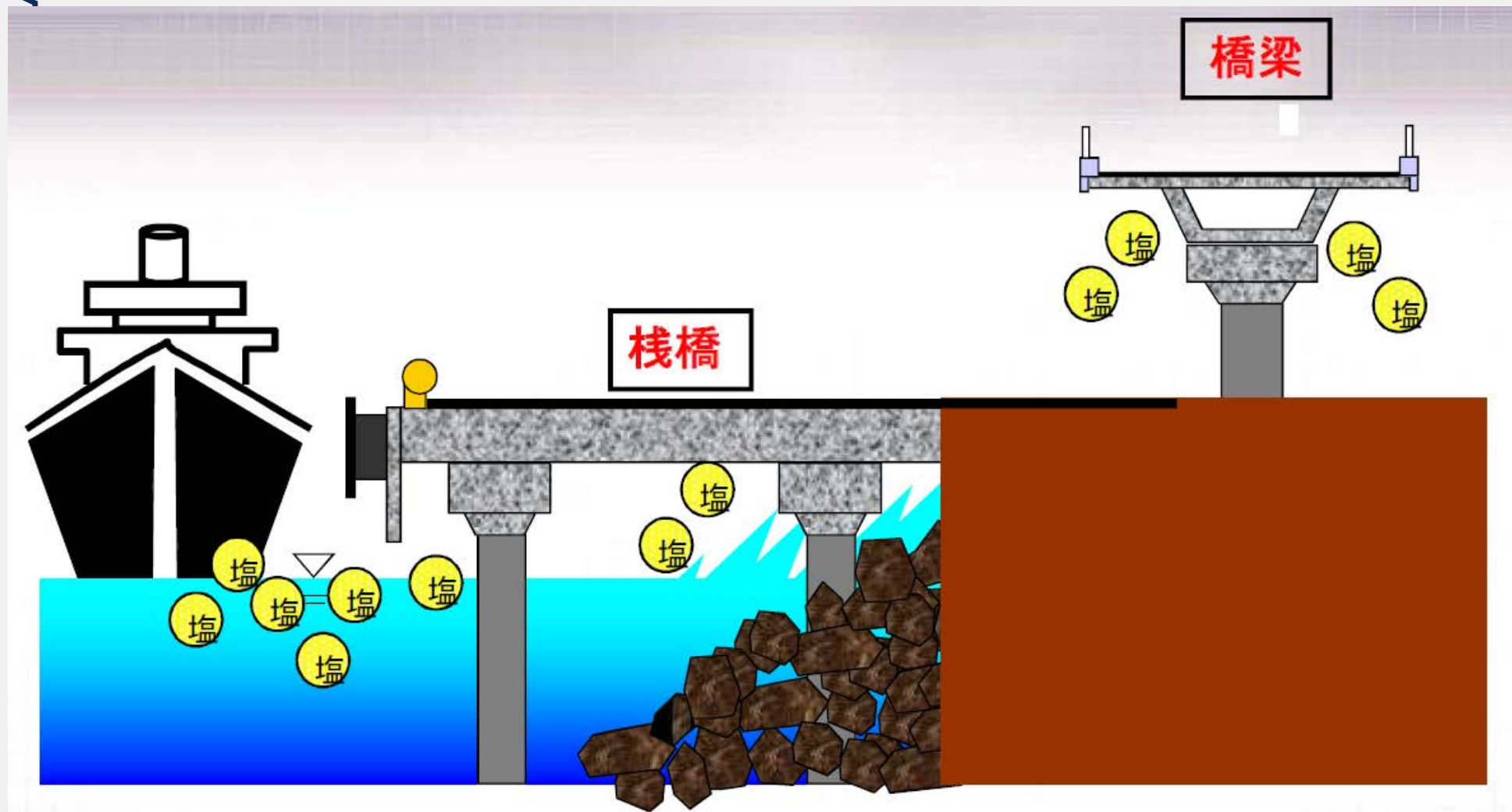
因裂縫的產生而造成水份、氧氣及鹽份的侵入，而導致鋼筋的腐蝕

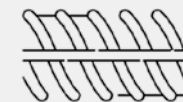


RC構造物腐蝕成因與控制



1.環境因素（如濱海高氯離子場所、氯離子的長期滲透等地、



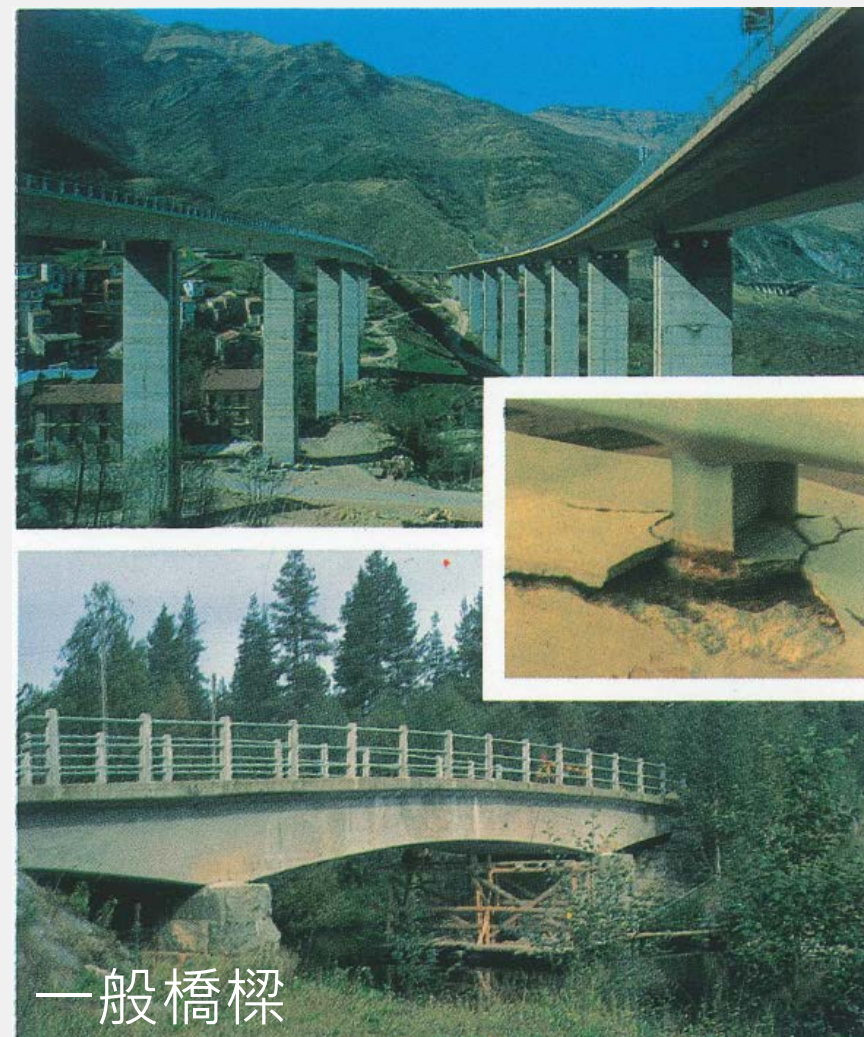


受鹽害影響之構造物

跨海大橋

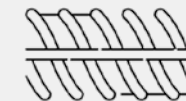


濱海高架道路



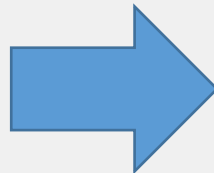
一般橋樑

RC構造物腐蝕成因與控制



1.環境因素（如高氯離子場所、氯離子的長期滲透等地）

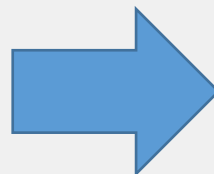
通宵台鹽精鹽廠



受鹽害侵蝕的結果

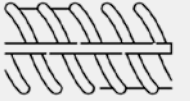


台電興達電廠



受海水長期滲透造成侵蝕的結果





2.原始材料使用的錯誤〔如建造時添加含超過標準的氯離子材料〕



使用海砂材料的建物



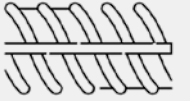
保護層薄弱處
混凝土掉落及鋼筋外露



樓版鋼筋外露及腐蝕



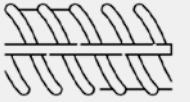
嚴重時導致主結構鋼筋外露



3. 修補材料使用的不當〔如使用含超過標準的氯離子材料〕



使用含高氯離子修補材料造成柱端混凝土的剝落及鋼筋腐蝕



腐蝕控制-缺乏水份或氧氣均不易造成鋼材腐蝕

二戰遺留在沙漠中的坦克殘骸

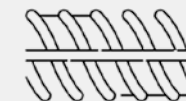


(缺乏水份)

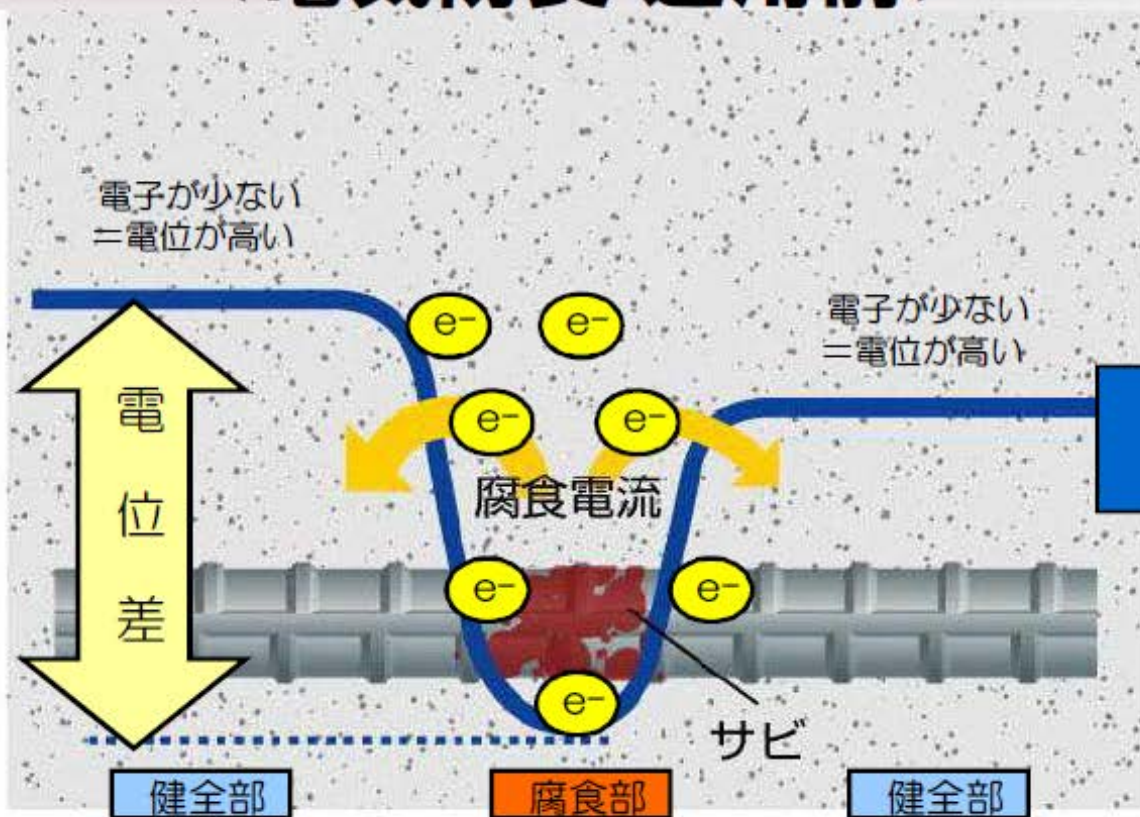
1912年沉沒的鐵達尼號船骸



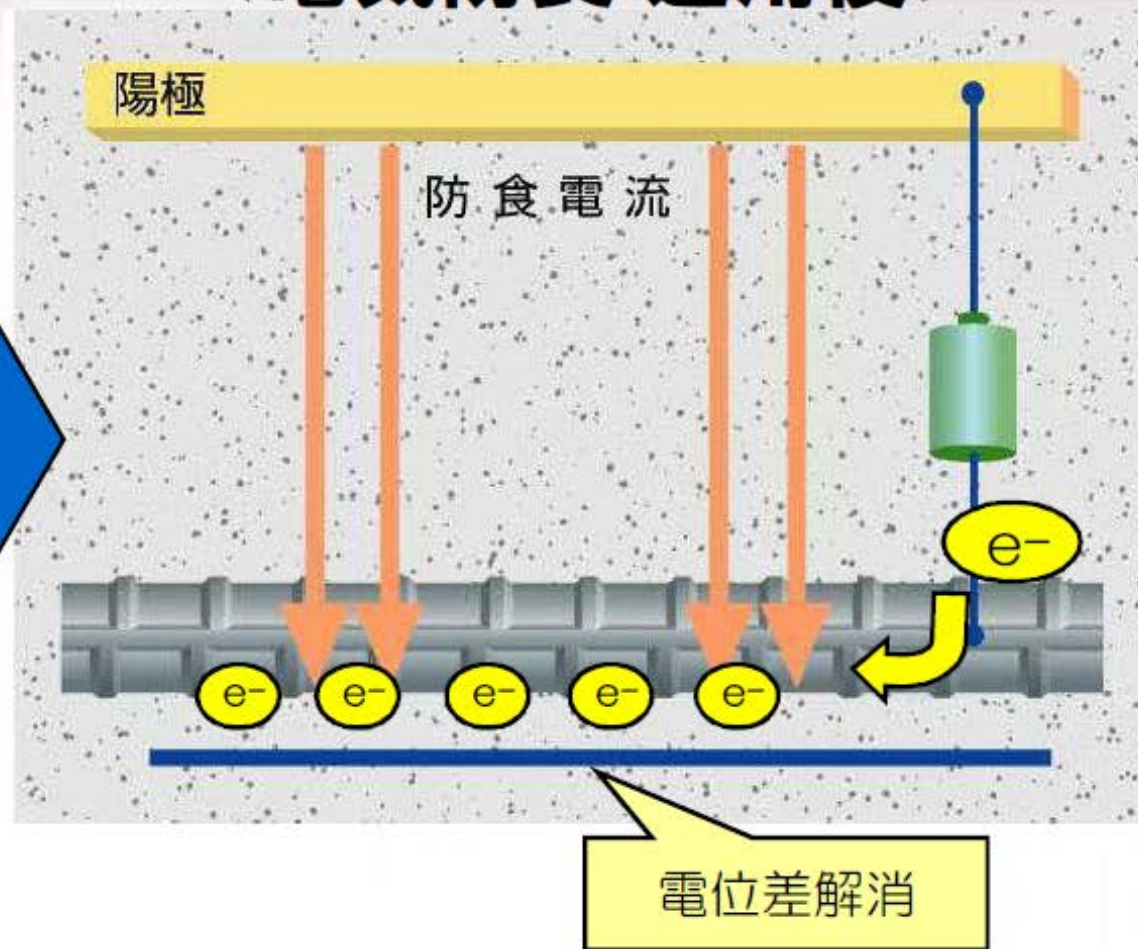
(缺乏氧氣)



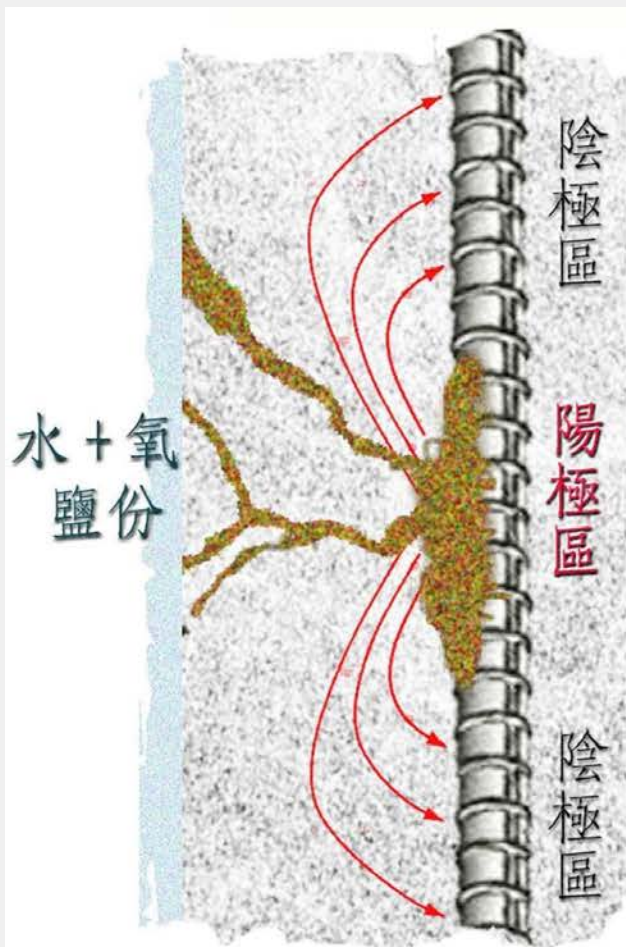
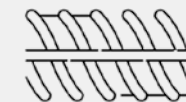
<電気防食 適用前>



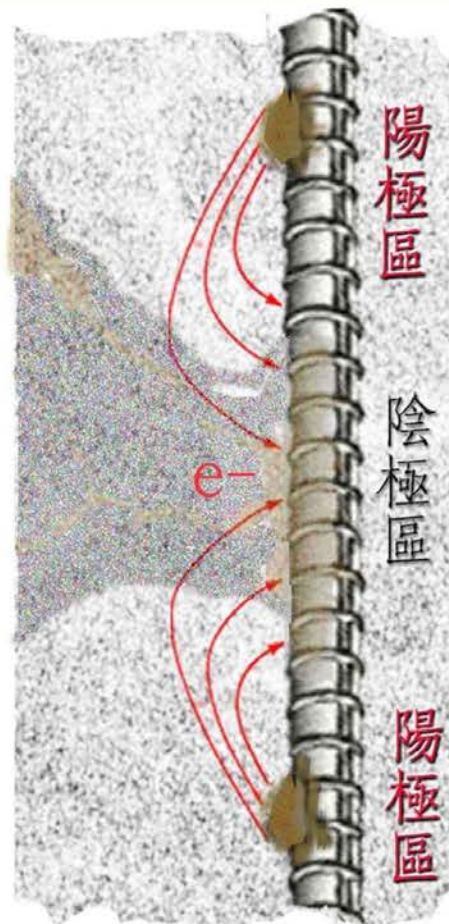
<電気防食 適用後>



RC構造物腐蝕成因與控制



1. 腐蝕現象產生



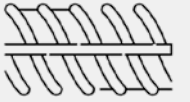
2. 一般砂漿修復
(伽凡尼效應，極性顛倒)



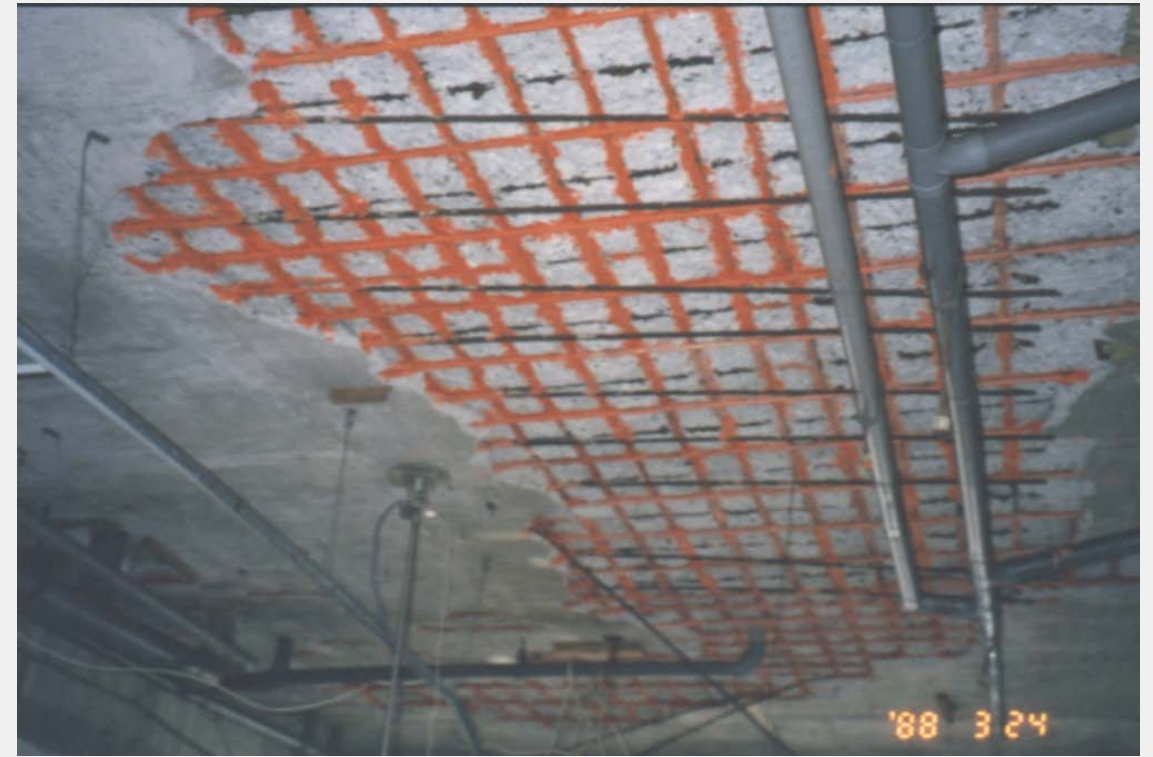
3. 陰極防蝕修復



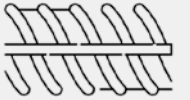
RC構造物腐蝕檢測及評估



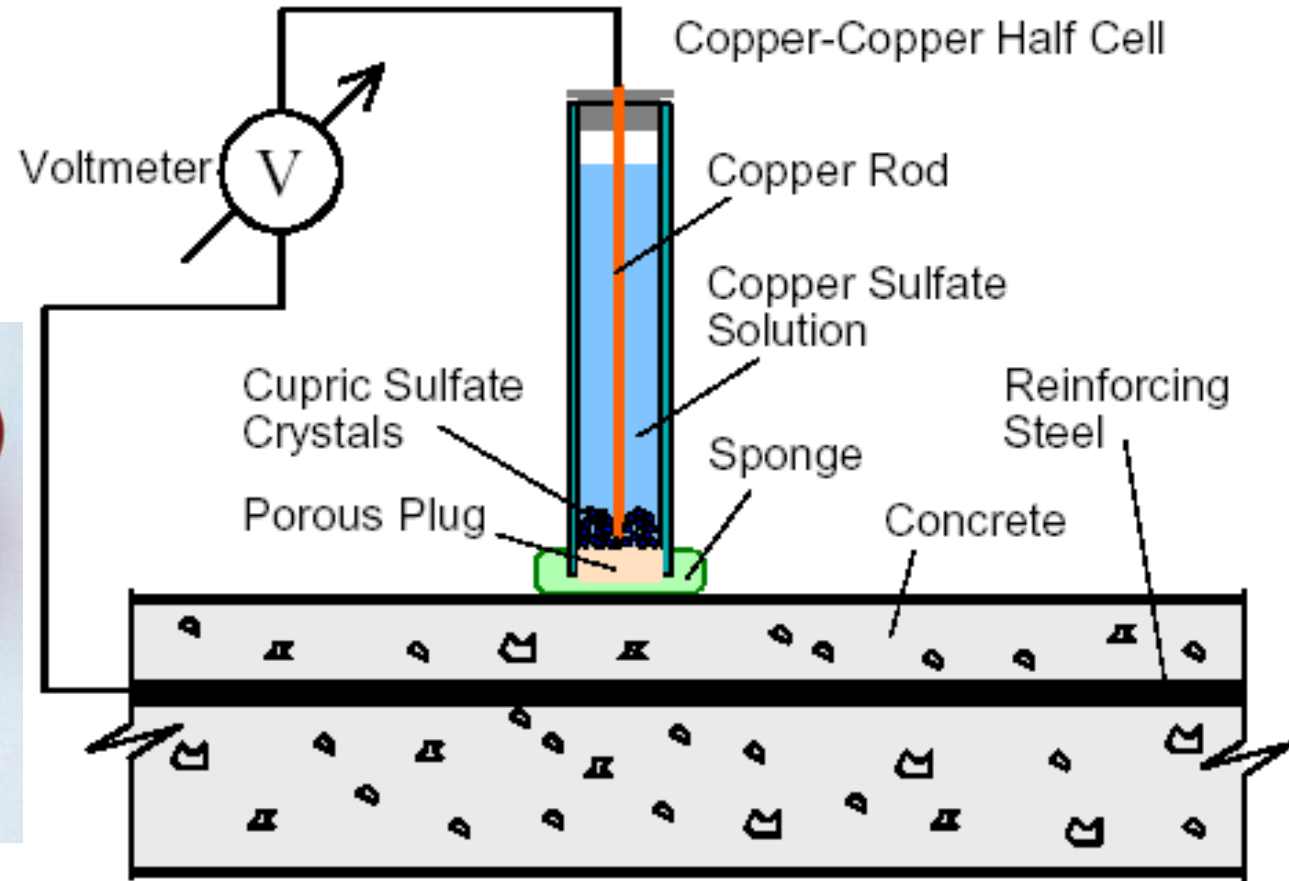
台灣地區典型海砂屋產生之徵兆 樓板鋼筋銹蝕導致混凝土剝落

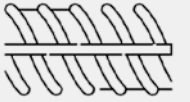


RC構造物腐蝕偵測及評估

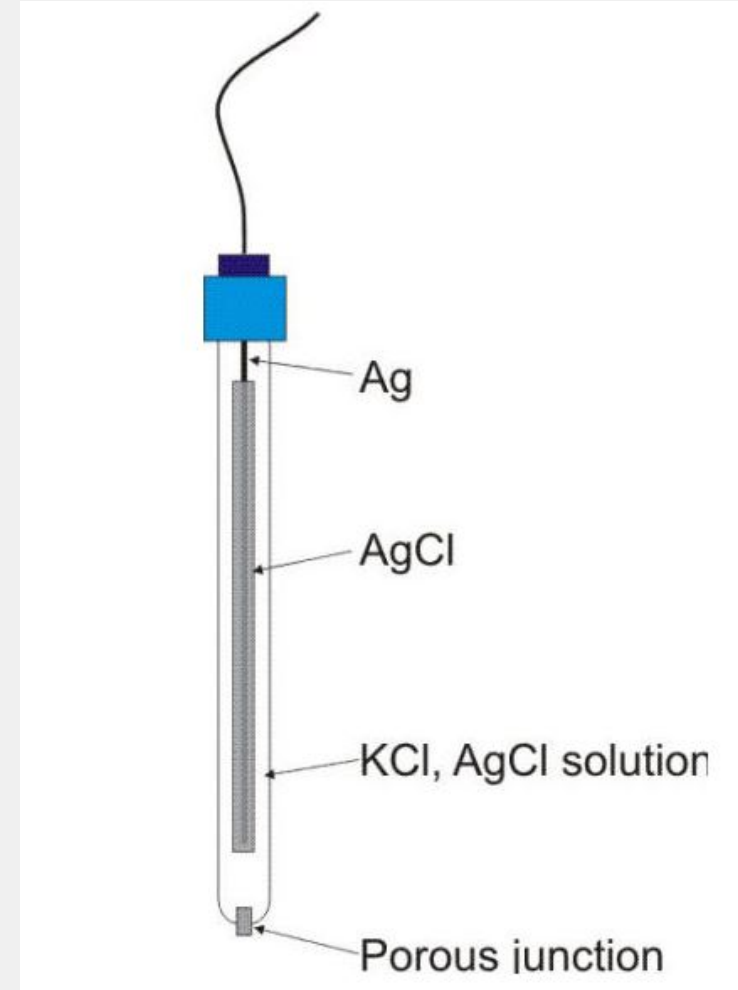
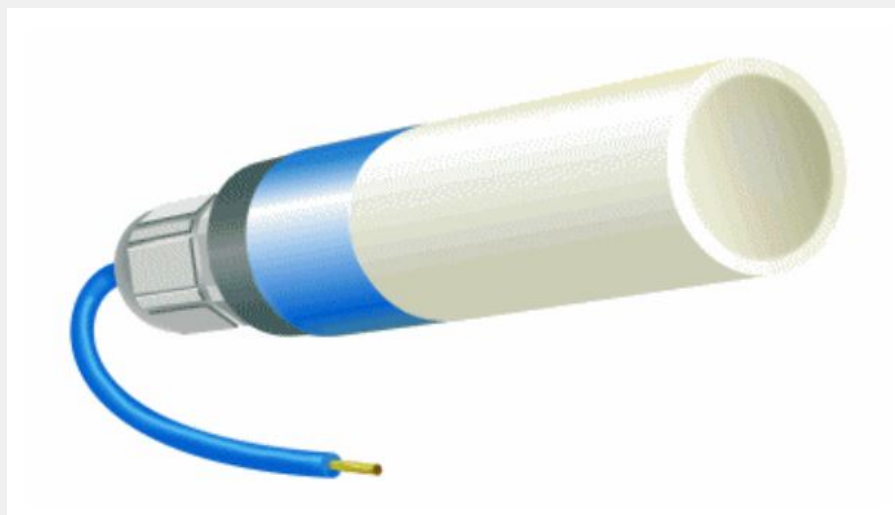
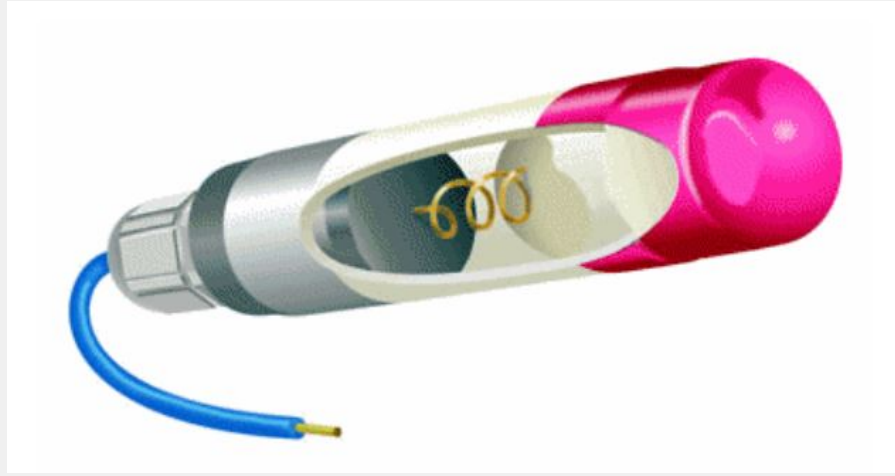


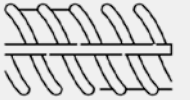
參考電極-銅/硫酸銅





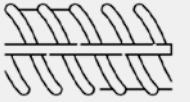
參考電極-銀/氯化銀





ASTM 對鋼筋混凝土的參考電極準則

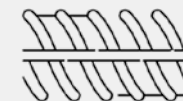
Cu/CuSO ₄	Ag/AgCl	SHE 標準氫電極	Calomel 甘汞	腐蝕情況
> -200 mV	> -106 mV	> +116 mV	> -126 mV	低 (10% 風險)
-200 to -350 mV	-106 to -256 mV	+116 to -34 mV	-126 to -276 mV	中
< -350 mV	< -256mV	< -34 mV	< -276 mV	高 (<90%風 險)
< -500 mV	< -406 mV	< -184 mV	< -426 mV	嚴重腐蝕



鋼筋腐蝕電位檢測



RC構造物腐蝕偵測及評估



等效電路與 腐蝕速率檢 測程式

E.I.S. Analysis

Equivalent circuit - Corrosion Rate

RE $\text{Rsol (ohms.cm}^2\text{)}$ $3.246\text{E}+02$ $\text{Rct: } 9.475\text{E}+02 \text{ ohms.cm}^2$ WE
 $\text{CDL: } 1.412\text{E}-07 \text{ F}$

Equivalent circuit for data bank : 2
Depression angle : 18.67°
Cpe "mho" : $7.925\text{E}-01$ siemens

Path : C:\AUTOAC\ITEMS\GRAPE
Run : 005

Metal	Far Ohms/cm²
Inconel 600	9.475E02
Inconel 625	
Lead	
Magnesium	120
Mild Steel	

icorr (mA/cm²)	So (mm²)
$2.753\text{E}-02$	120

Corrosion Rate (mm/yr)	Corrosion Rate (mils/yr)
$3.183\text{E}-01$	$1.253\text{E}+01$

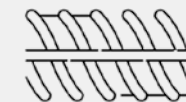
Stored results

File : C:\AUTOAC\ITEMS\GRAPE
Run : 005
Metal : Mild Steel
Icorr : $2.753\text{E}-02$ mA/cm²
Ba : $1.200\text{E}+02$ mV Bc : $1.200\text{E}+02$ mV
Corrosion Rate : $3.18\text{E}-01$ mm/yr, $1.25\text{E}+01$ mils/yr

Store results **Print above results**

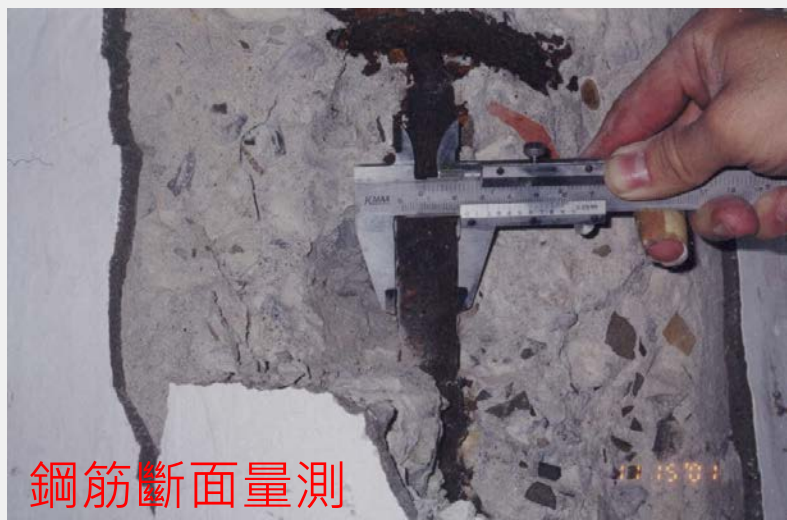
Print stored results

Finished



鋼筋腐蝕速率檢測

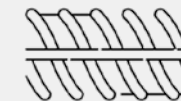
學校校舍的柱、樑及版等



鋼筋斷面量測



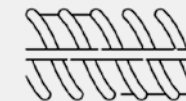
RC構造物腐蝕偵測及評估



鋼筋腐蝕速率檢測 圓山飯店游泳池牆體



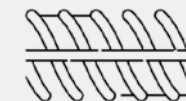
RC構造物腐蝕偵測及評估



鋼筋腐蝕速率檢測

高架橋，海上棧橋基樁等



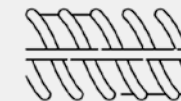


鋼筋腐蝕速率檢測 麥帥二橋橋墩及橋台

編號	說明	麥帥二橋-匝道一	編號	說明	麥帥二橋-匝道二
1	明	CP9(P2)橋墩	2	明	KA(A1)橋台
		鋼筋腐蝕電流檢測情形			鋼筋腐蝕電流檢測情形



RC構造物腐蝕偵測及評估



捷運墩柱鋼筋長期腐蝕偵測

直流供電系統雜散電流的影響

(Stray Current)



1.木柵捷運線雜散電流偵測



2.電極埋設位置打鑿



3.偵測電極安裝



4.雜散電流電位量測

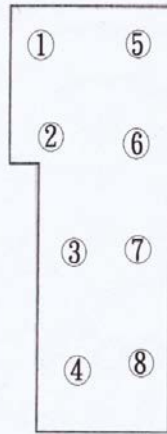
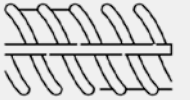


5.偵測箱安裝完成(一)

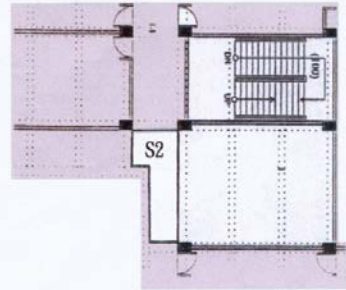


6.偵測箱安裝完成(二)

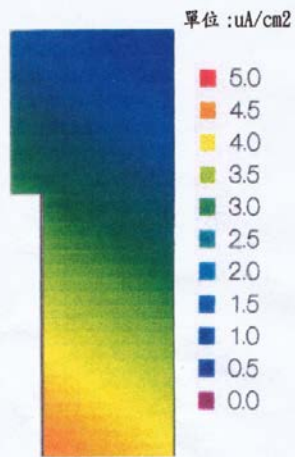
RC構造物腐蝕偵測及評估



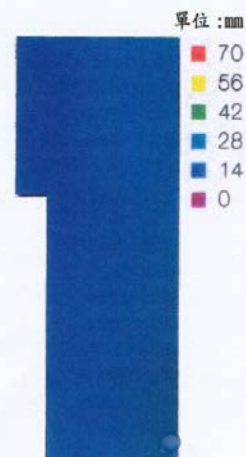
S2 檢測點位置圖



建築平面示意圖



鋼筋腐蝕速率分佈圖

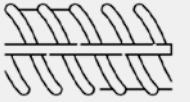


保護層厚度分佈圖

混凝土中性化反應測試

試體編號 2~3		中性化深度: 24 mm
試體編號 2~4		中性化深度: 20 mm
試體編號 2~5		中性化深度: 9 mm
<p>附註: 無紫紅色反應區域即為中性化區域</p> <p style="text-align: right;">檢測者: 葉世民</p> <p style="text-align: right;">檢測日期: 89/07/18</p>		

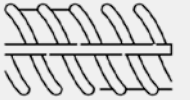
RC構造物腐蝕偵測及評估



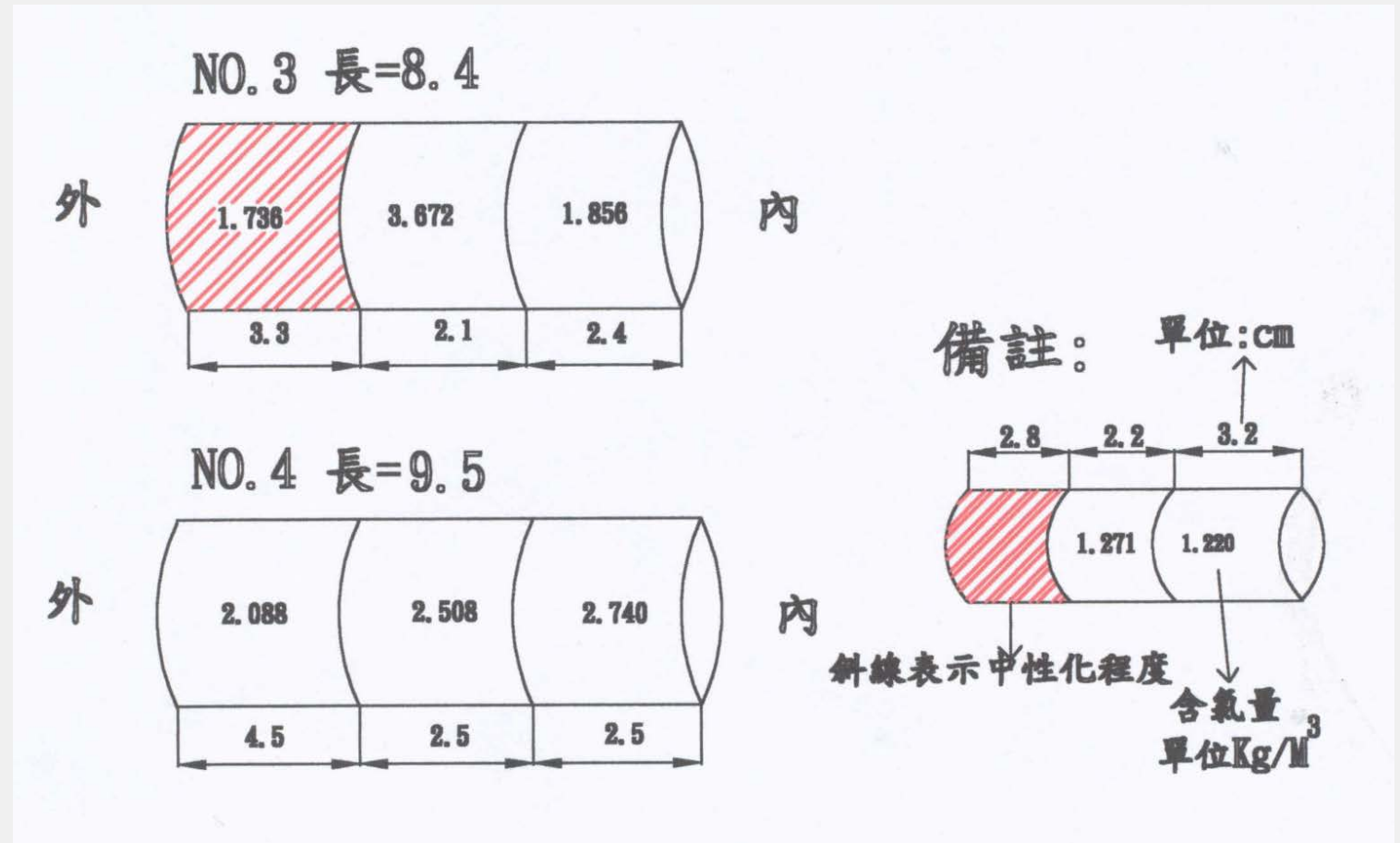
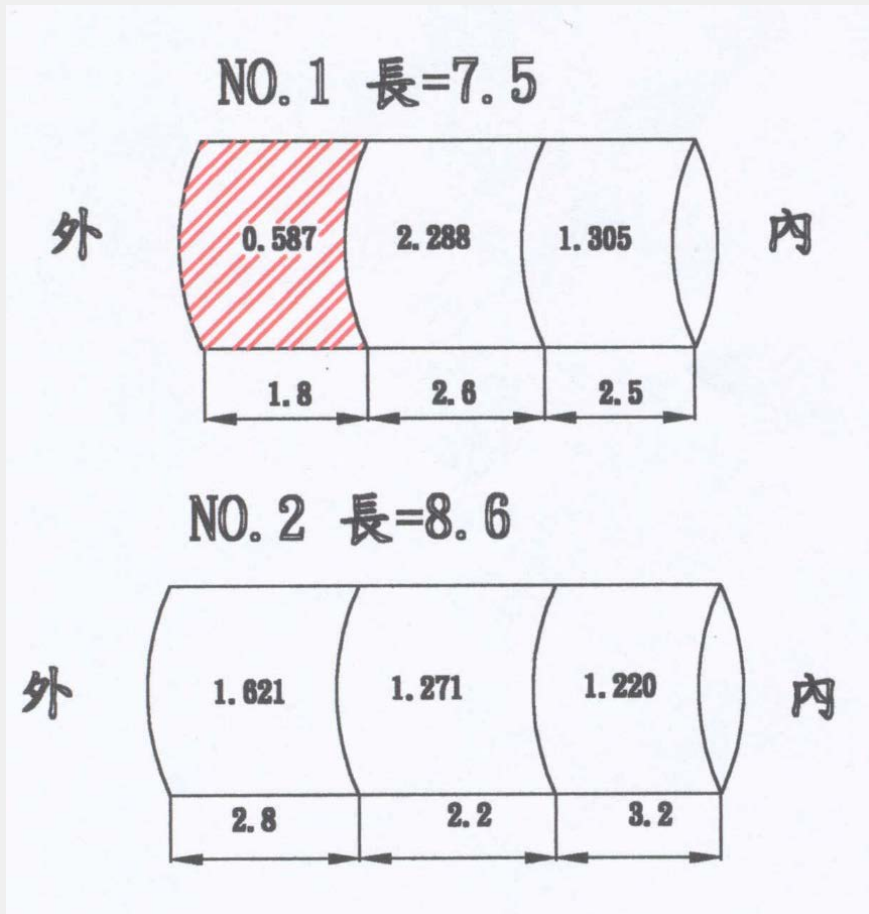
三重區大勇街某公寓陽台修繕



RC構造物腐蝕偵測及評估



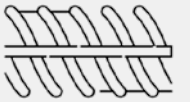
中性化與氯離子含量分布的觀察 (擺橫的混凝土鑽心試體)



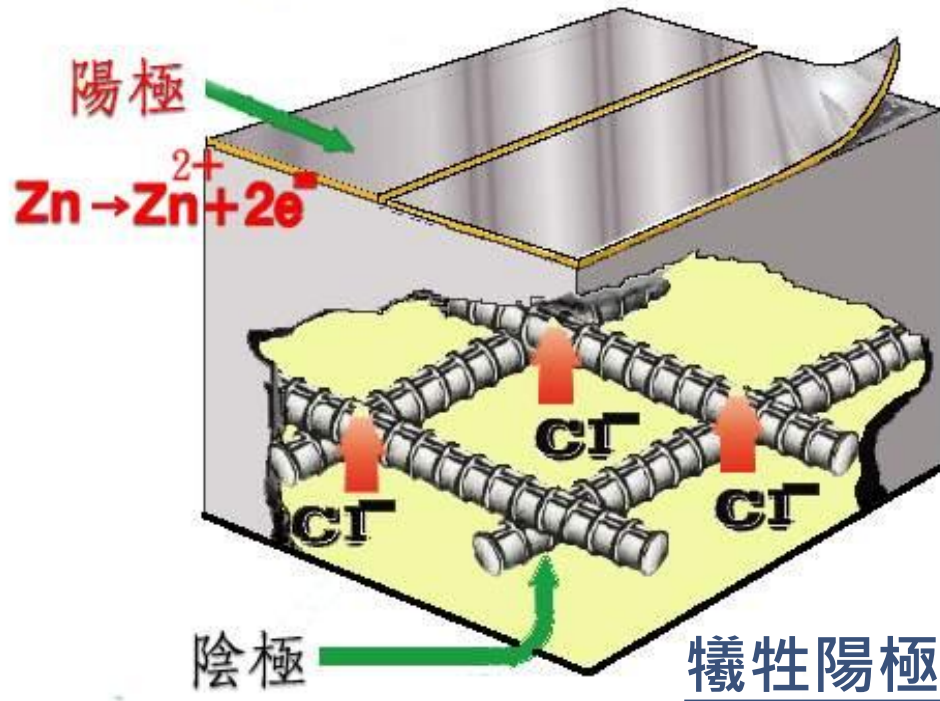
RC構造物陰極防蝕工法簡介

04

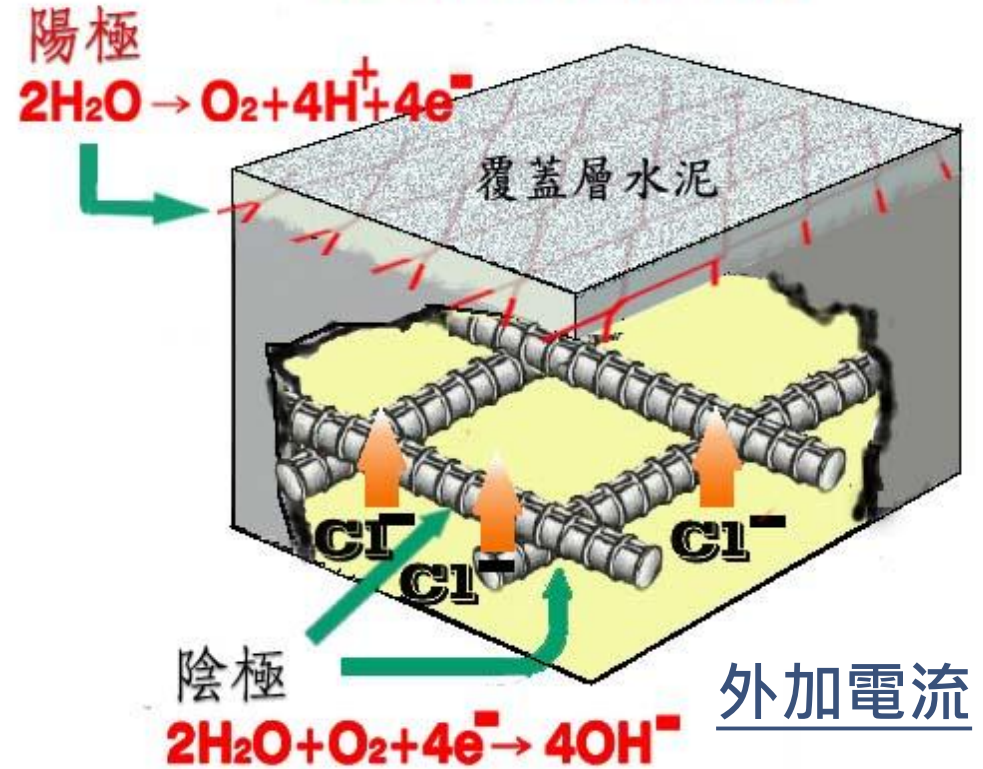




RC鋅板陰極防蝕

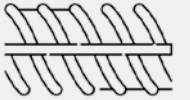


RC鈦網陰極防蝕



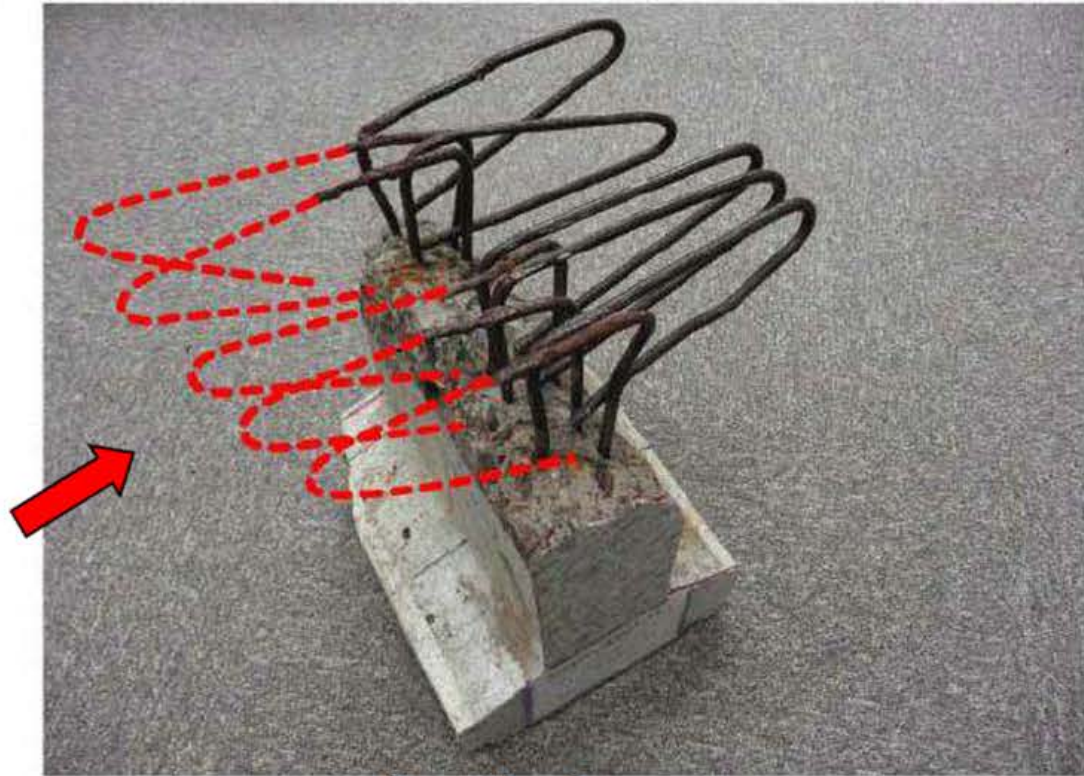
1. 陰極防蝕的基本原理即是藉外加電流或犧牲陽極強制使鋼筋形成陰極。
2. 陽極不斷的輸出電子使鋼筋週圍呈陰極反應，這樣鋼筋上之Fe就沒有機會釋出，因而得到保護。

鋼材有無防蝕保護經過10年後的差異



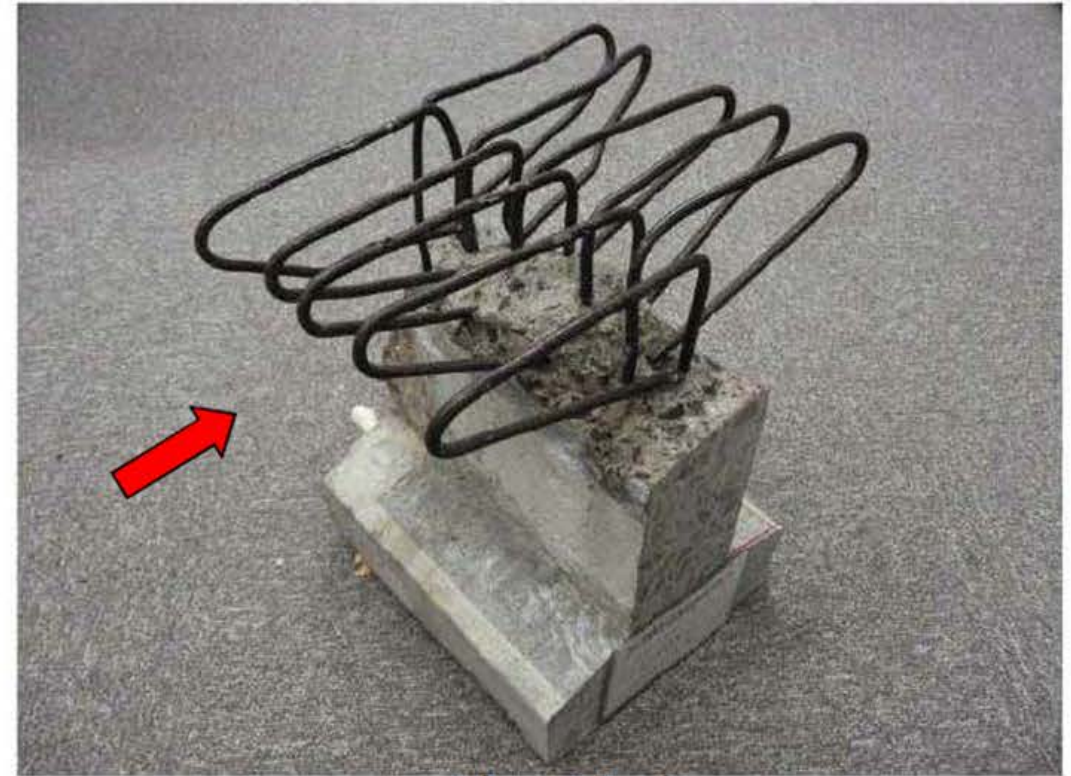
予め塩分を含有した供試体の10年間の試験結果

無防食状態のコンクリート中の鋼材



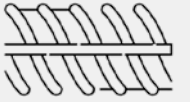
無防食

防食状態によるコンクリート中の鋼材

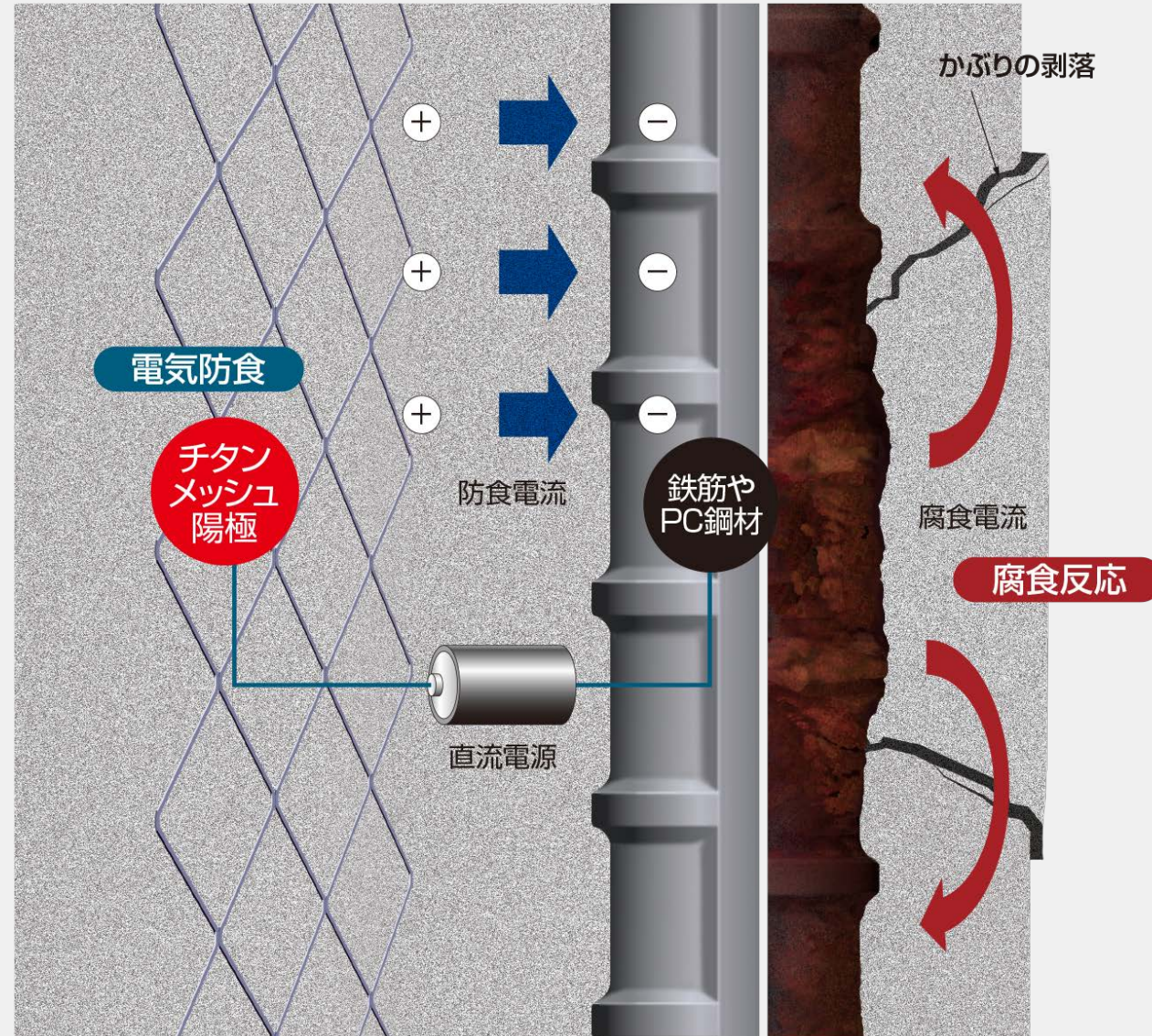


電気防食

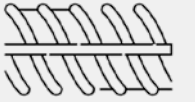
鋼筋陰極防蝕的保護效果



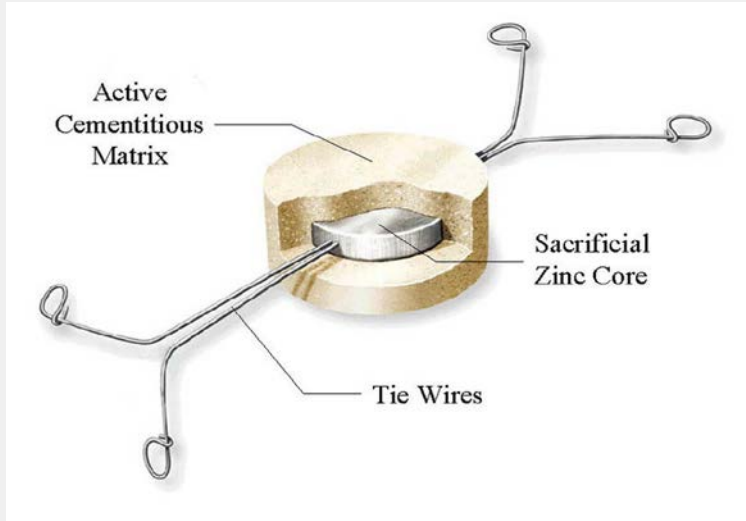
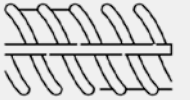
以鈦網楊極為例



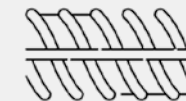
RC預力樑陰極防蝕工法之研究(大度路橋預力樑)



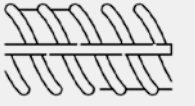
鋅塊犧牲陽極工法



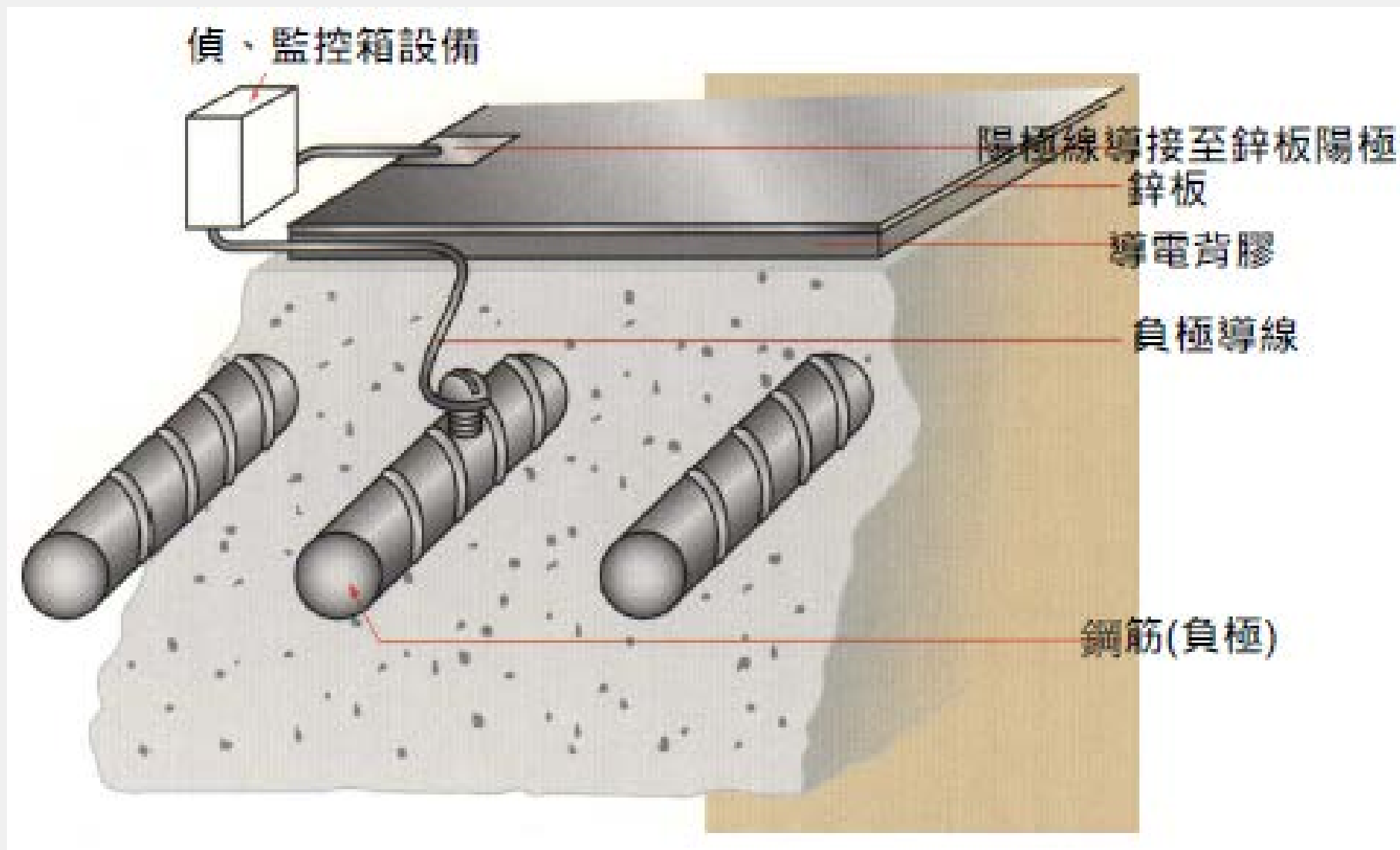
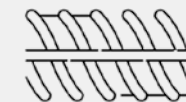
台北市信義路診所鋅塊犧牲陽極工程



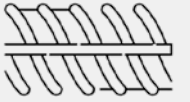
萬瑞線快速道路涵洞鋅塊犧牲陽極工程



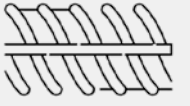
鋅板犧牲陽極工法系統示意圖



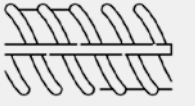
鋅板陰極防蝕工法-預力樑及基樁



鈦網外加電流陰極防蝕工法-預力基樁



大林電廠棧橋基樁鉗夾工法(犧牲陽極+碳纖維補強)



1



4



7



10



2



5



8



11



3



6

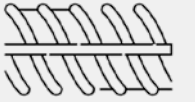


9

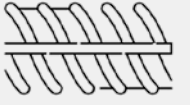


12

大林電廠棧橋基樁鉗夾工法(犧牲陽極+碳纖維補強)



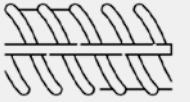
2. 鋅板犧牲陽極工法



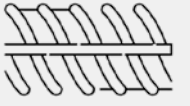
鋅板犧牲陽極工法，是利用材料**特殊導電背膠**作為傳導媒介，而將銹蝕物質析出。



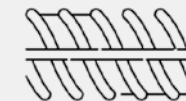
2. 鋅板犧牲陽極工法



2. 鋅板犧牲陽極工法



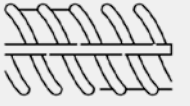
鋅網犧牲陽極工法



鋅網犧牲陽極工法，與鋅塊相同需利用水作為傳導媒介，但其工法需利用混凝土加以鏝抹覆蓋。



台電大林電廠棧橋基樁鋅塊犧牲陽極工程



1



4



7



10



2



5



8



11



3



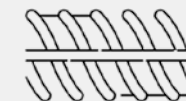
6



9

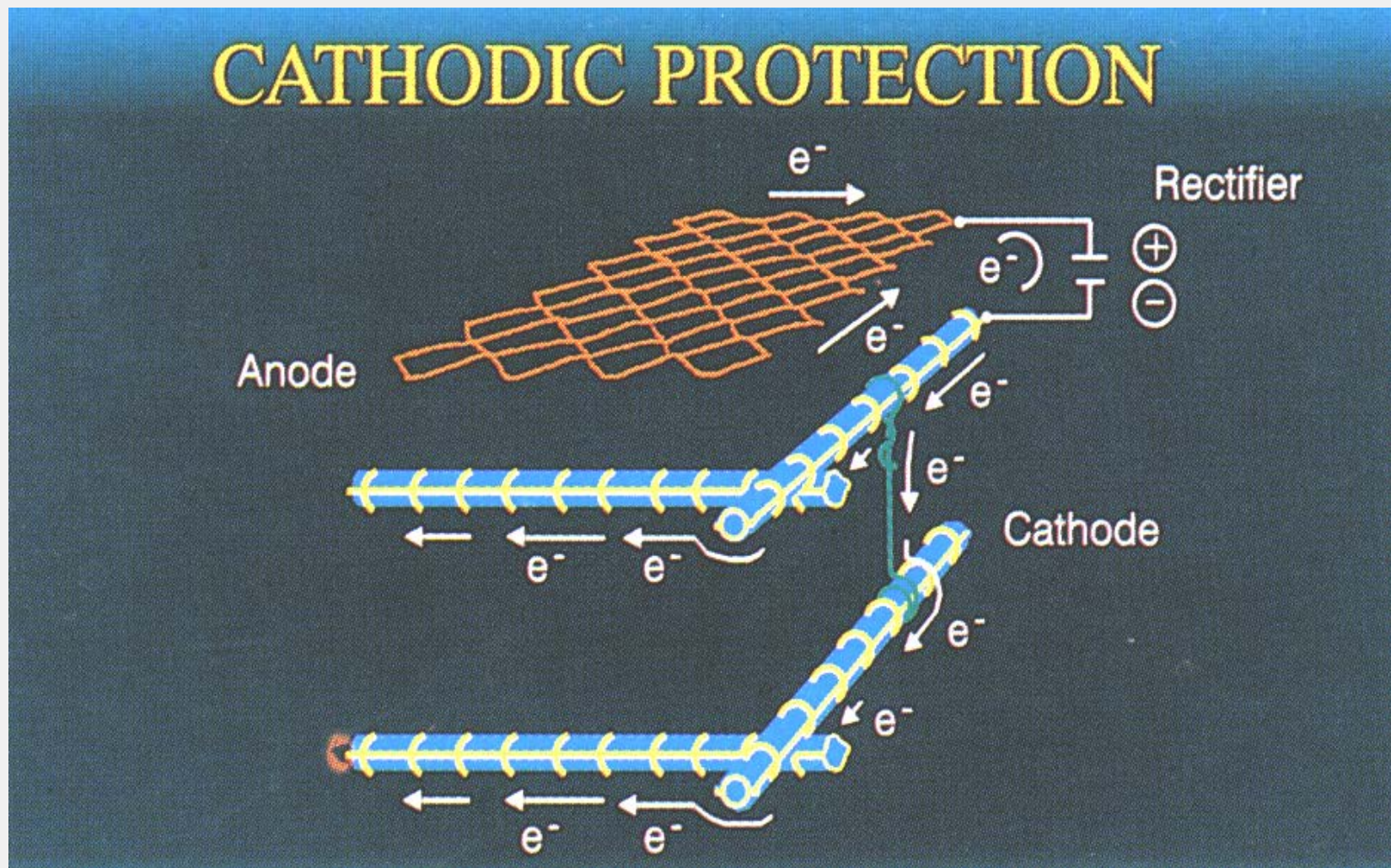


12

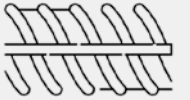


4. 鈦網外加電流陰極防蝕工法

鈦網外加電流陰極防蝕工法，需利用電源供應器額外供給電流於鈦網上，以達到銹蝕物質析出之功效，其工法也需利用混凝土加以鏟抹覆蓋，適合用於腐蝕嚴重建築物中。



鈦網外加電流陰極防蝕工法



台北市八德路某民宅防蝕工程



1.劣質RC打鑿



3.電極及防蝕系統安裝



5.面層低電阻水泥砂漿鏝抹



2.鋼筋剪薄量過多處鋼筋綁紮

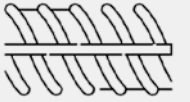


4.面層低電阻水泥砂漿鏝抹



6.防蝕系統完成面

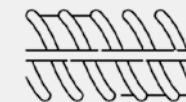
鈦網外加電流陰極防蝕工法



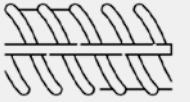
補強併防蝕工程



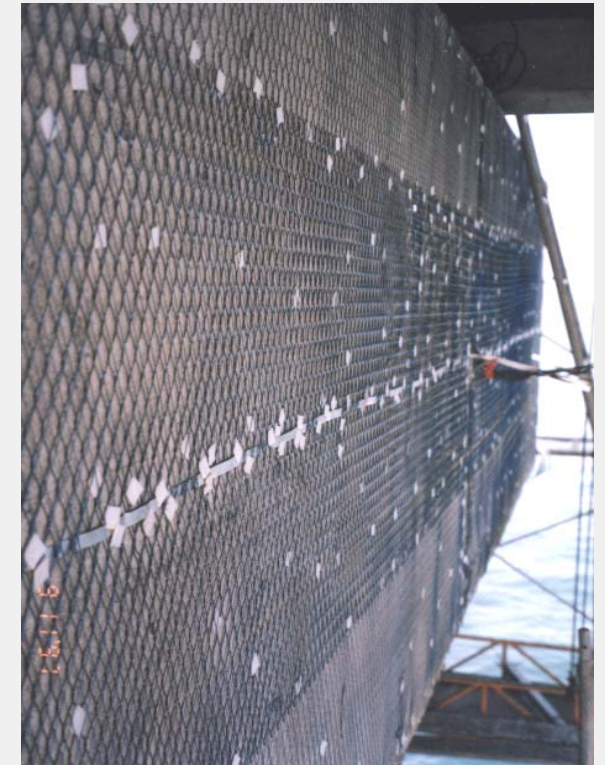
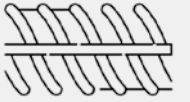
鈦條外加電流陰極防蝕工法



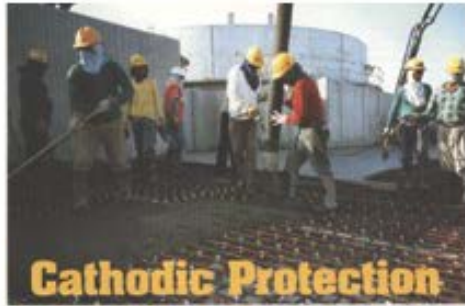
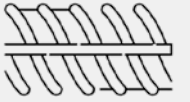
興達電廠棧橋及碼頭鈦網外加電流陰極防蝕工法



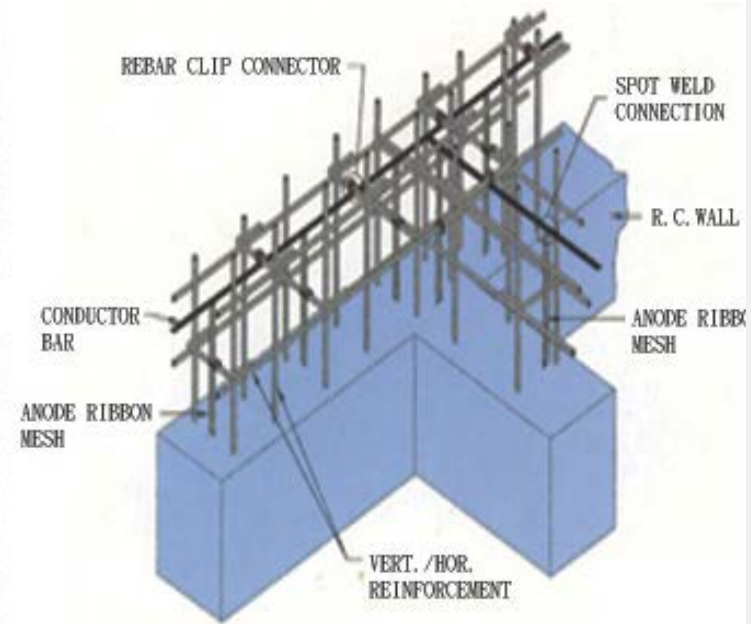
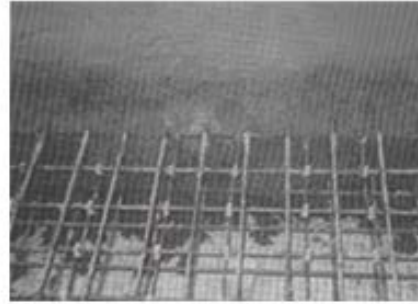
鈦網外加電流陰極防蝕工法



新建鋼筋混凝土結構物陰極防蝕工法



**Cathodic Protection
for New Concrete**

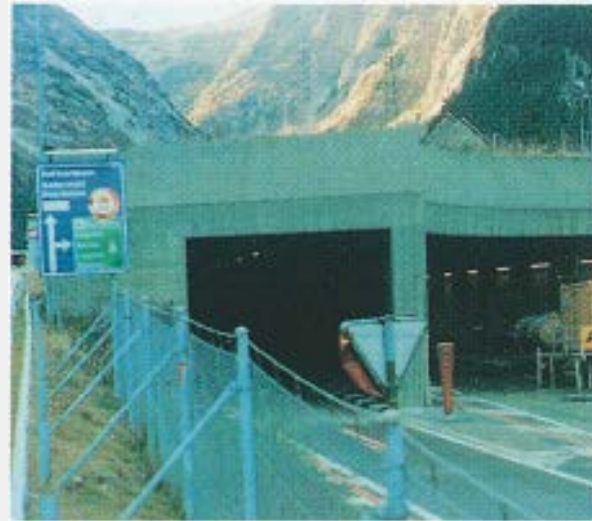
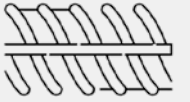


基本陽極
帶狀鈦網

ANODE
RIBBON MESH

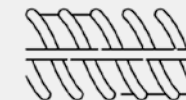


歐洲外加電流陰極防蝕系統案例



**NET installed in the
San Gottardo tunnel
Switzerland (16.94Km)**

日本RC陰極防蝕工法紹介-1

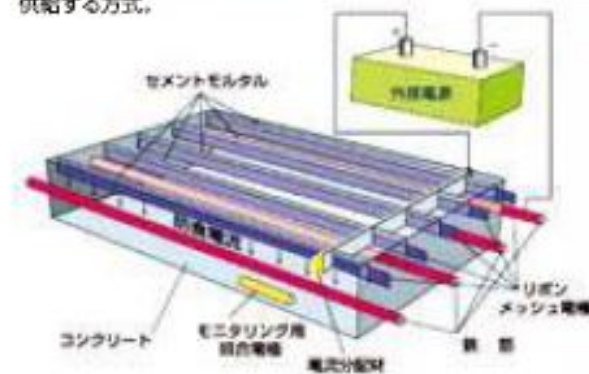


帶狀陽極網



リボンメッシュ方式

金属酸化物をコーティングしたリボン状の電極を溝切りしたコンクリート中に設置し、直流電源装置を用いて電極から鉄筋に対し防食電流を供給する方式。

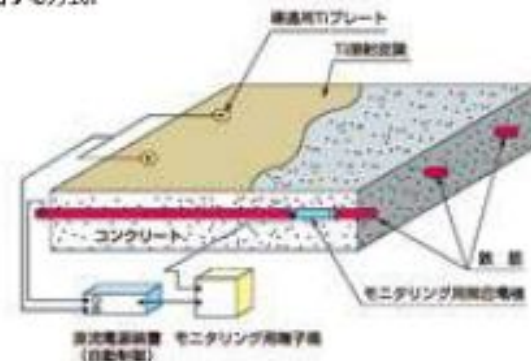


鈦金屬熔射

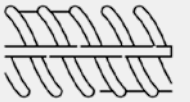


チタン溶射方式

高純度チタンをコンクリート表面にアーク溶射して耐久性が高い電極皮膜を形成。直流電源装置を用いて電極から鉄筋に対し防食電流を供給する方式。



日本RC陰極防蝕工法紹介-2



鈦網陽極

チタンメッシュ

メッシュ状チタンをコンクリート表面全面に設置する方式。

鈦棒陽極

内部挿入型電極

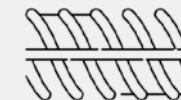
チタン棒をコンクリートの削孔部に設置する方式。

鉛板陽極

亜鉛シート

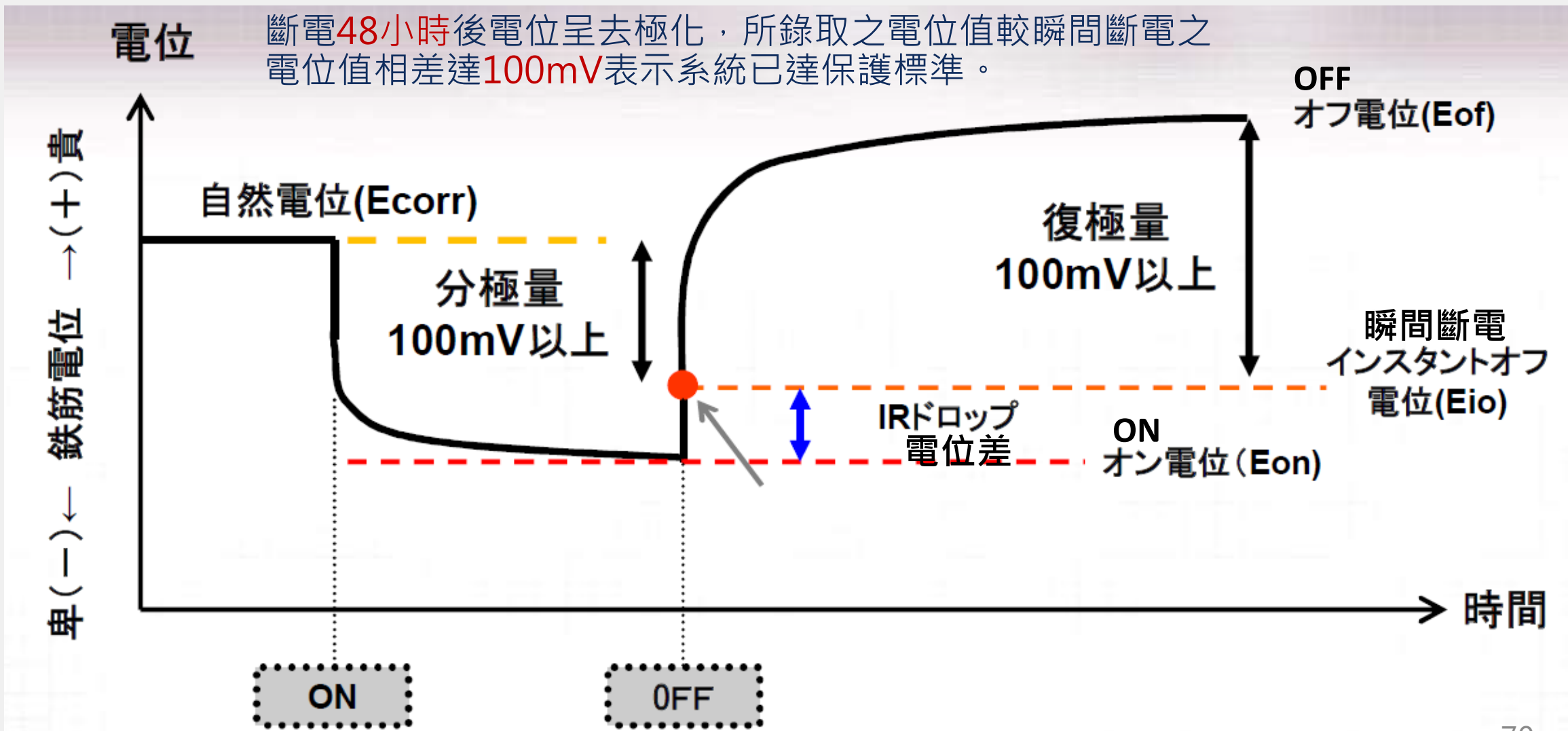
亜鉛板をコンクリート表面全面に設置する方式。

RC陰極防蝕效果之驗證方式

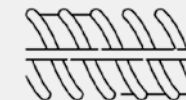


依NACE-美國防蝕工程師協會的規範 **NACE RP0290-90**

斷電48小時後電位呈去極化，所錄取之電位值較瞬間斷電之電位值相差達**100mV**表示系統已達保護標準。

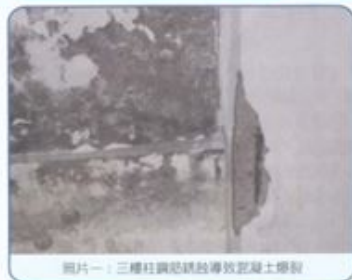


RC構造物陰極防蝕工法簡介



4 焦點話題《地方焦點·生活情報·研習活動》 技師報 NO.343 中華民國九十二年七月五日/星期六

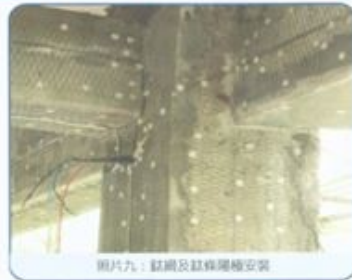
防蝕工法施作方式圖示照片說明



照片一：三樓柱鋼筋銹蝕導致混凝土爆裂



照片五：工作電極安裝



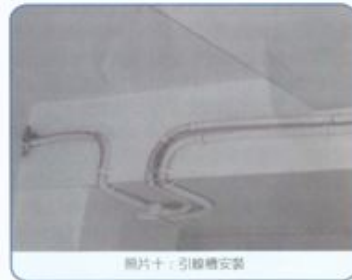
照片九：鋅網及鋅條陰極安裝



照片二：混凝土表面處理



照片六：參考電極及工作電極導通測量



照片十：引線槽安裝



照片三：鋼結構電性改善(鋼筋焊接導通)



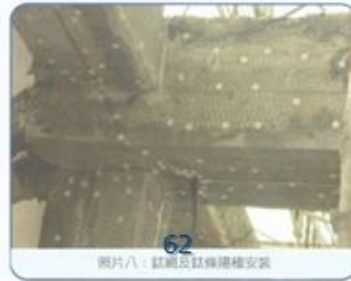
照片七：導電性塗料之塗佈(無收縮砂漿灌注)



照片十一：接線盒安裝



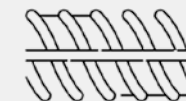
照片四：參考電極安裝(鋅棒)



照片八：鋅網及鋅條陰極安裝



照片十二：控制箱及整流器



1人暮らし向けの冷蔵庫

75L: 年間消費電力243kWh

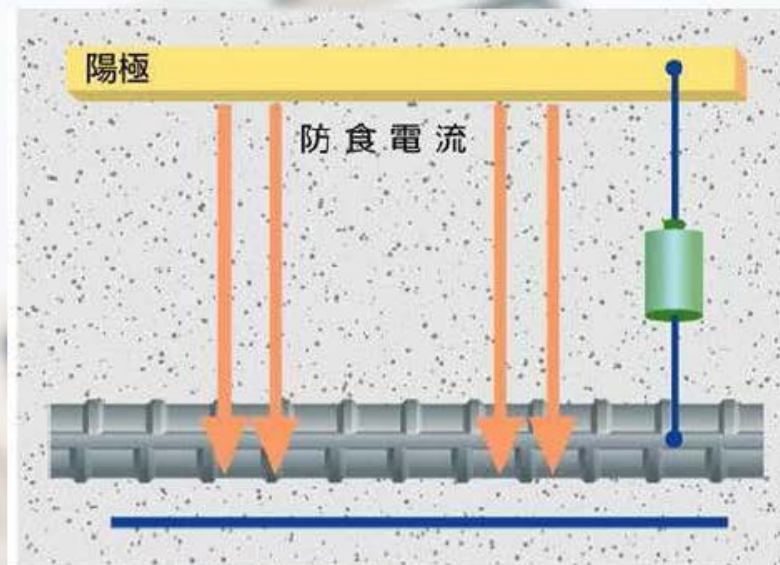
$243\text{kWh} \times 25.91\text{円} = 6,296\text{円}$



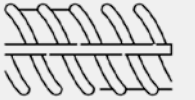
電気防食

500m²: 年間消費電力219kWh

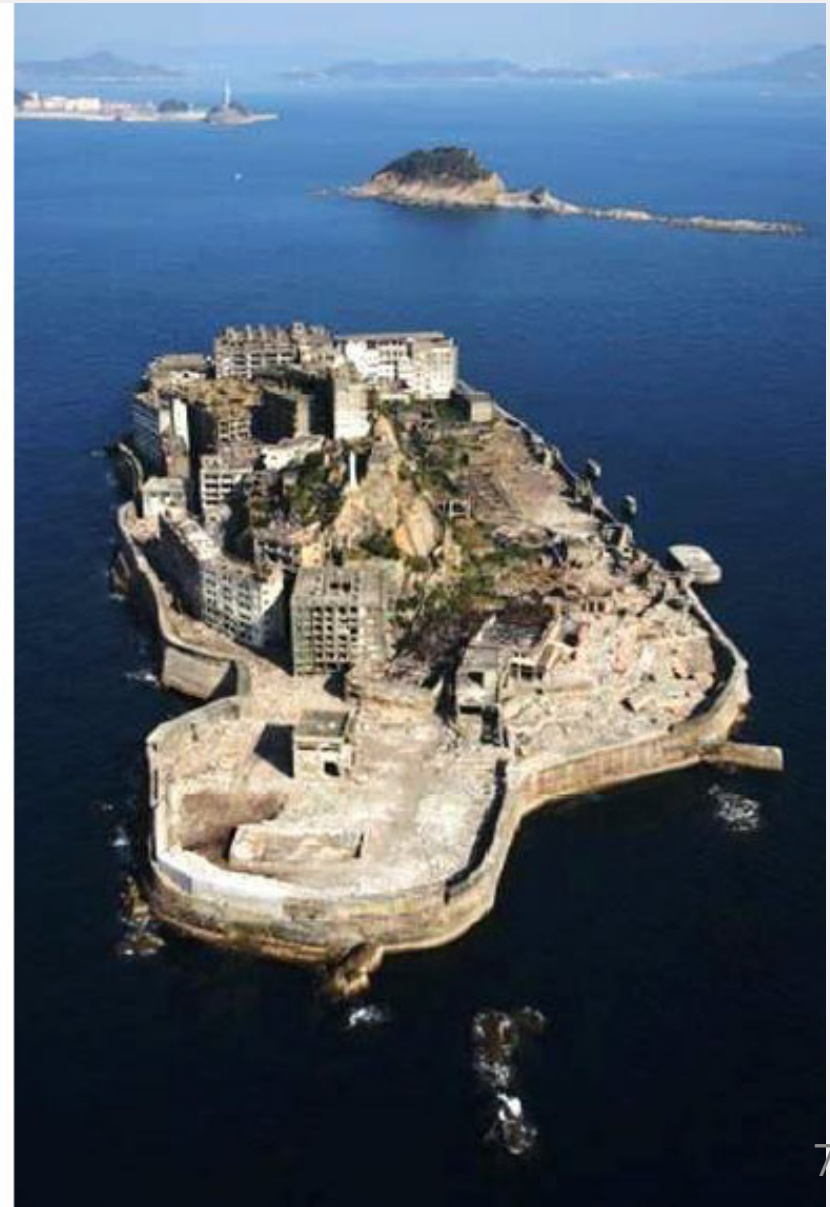
$219\text{kWh} \times 25.91\text{円} = 5,674\text{円}$

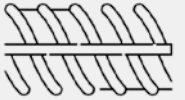


防食面積	500m ² (1回路あたり最大)
通電電圧	5V(過去実績より)
防食電流	2.5A(500m ² × 0.005A/m ²)
交流から直流への変換効率	50%
年間消費電力	$5\text{V} \times 2.5\text{A} \div 50\% \times 8760\text{h}$ = 219kWh



世界遺産・軍艦島での
電気防食の長期性能
検証実験に **チャレンジ！！**





台灣省建築師公會鑑定彙編 (八)

建築鑑定實務探討專輯



台灣省建築師公會
第十三屆鑑定委員會 編審

氯離子建築物之處理方式(作者:林國財建築師)

一、金屬的腐蝕基本觀念

地球不是真空的，乃是由環境劑—潮濕空氣包圍，氧及水對鋼筋的腐蝕及劣化大有影響；地球上出產的金屬原礦為氧化物、硫化物等之化合物，將之還原。精煉、製造成極不安定的純金屬或其合金，常欲回復先前較安定的形態，這可說是金屬的腐蝕現象，因而使用金屬或合金，一定要防蝕；在特定強腐蝕性環境中，若不加以進行耐蝕處理的考量，會導致立即腐蝕而在實用上發生問題。金屬的腐蝕既是自然會發生的現象，當人類利用還原、提煉或電解等方法將自然界存在的礦物變成可用的金屬材料後，大自然即不斷的將之腐蝕成為其原有的穩定狀態，故腐蝕乃為金屬材料與其環境間一種化學或電化學反應的行為，其間涉及到電子的轉移，構成氧化和還原反應的條件。鋼筋在大自然中傾向轉化為鐵鏽，鋼筋走出鐵礦經加熱、冶煉而成。在大自然中，只要環境容許，鋼筋是會回歸到其原來的狀況—鐵鏽（氧化物）。

有了上述觀念後，本文將介紹建築師先進們探討造成氯離子建築物腐蝕過程中氯離子所扮演的角色、氯離子建築物適當的防蝕工法及國內的應用現況。



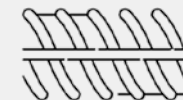
二、鋼筋在混凝土中的腐蝕機理簡介

鋼筋混凝土是將壓縮性強而伸張性弱之混凝土，加上具伸張性強之鋼筋相互配合材性應用混合而成；由於混凝土之強鹼性對鋼筋具有防鏽能力，同時，混凝土本身有不容易變質而硬化之特性，故被信賴為具有優越耐久性之結構材料，其使用年限常被訂的很高，然而鋼筋混凝土並非都可達到如此完美的標準，當其承受種種不良的環境因素影響時，會造成變質及劣化；再者，營建施工時所採用的方法，以及條件的不同，亦可產生品質上的差異…，諸如此類皆可導致鋼筋混凝土的防蝕能力降低。

近年來由於鋼筋混凝土結構物要求之材料性能及品質的保障愈高度化，耐久性及其可靠性頗受重視，但上述若不計入環境的影響，則毫無意義。當鋼筋生鏽時，混凝土會膨脹而剝離，同時鋼筋截面積會變薄而減弱鋼筋混凝土的壓縮性及伸張性，長久腐蝕下去當會影響結構體的安全。



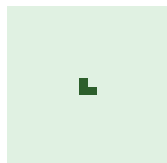
結語



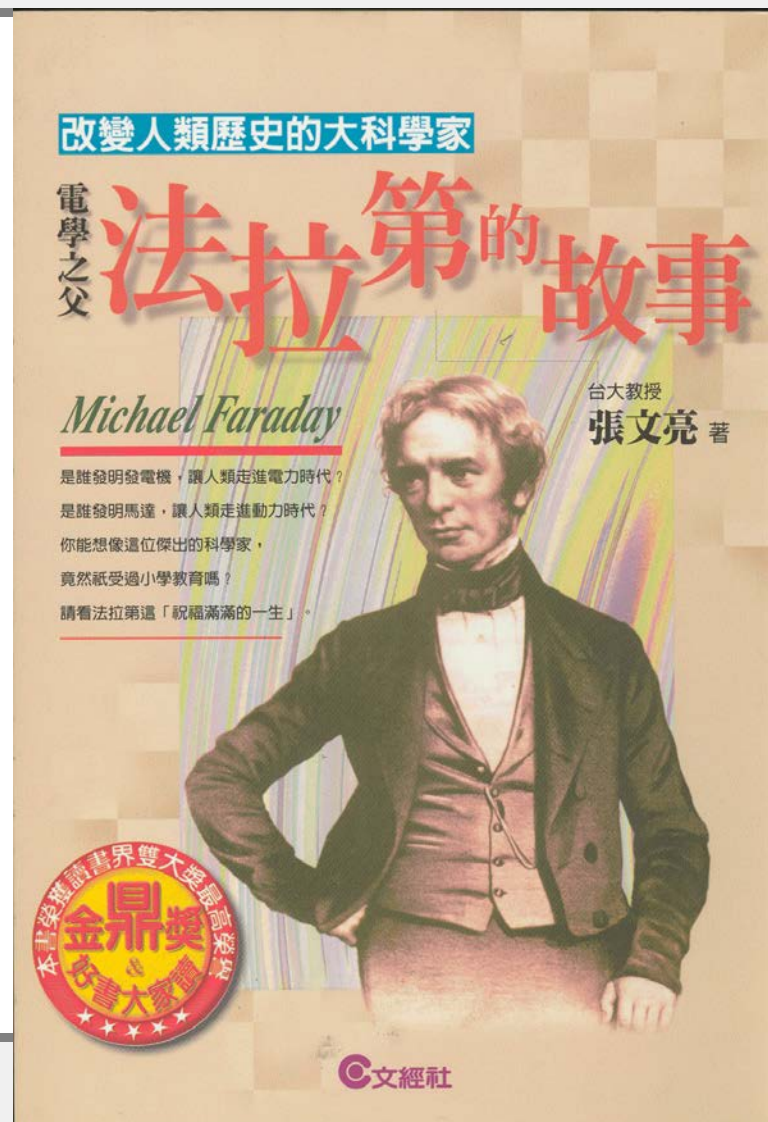
給法拉第的信：

『當我讀到您在科學上的重要發現時，我深深地感到遺憾，我過去的歲月實在浪費在太無聊的事情上。』

--拿破崙 (1820)



Saint Helena Island



簡報完畢

感謝聆聽



林國財 建築師 MP:0936109805

E-MAIL : lkt.archi50@gmail.com