

鋼筋混凝土之腐蝕問題及其對策

細井庸生著 李肇祁譯

1. 鋼筋混凝土構造物之病態：

目前根據調查，鋼筋混凝土構造物正遭受中性化，鹽害及骨材鹼性反應所引起之三大病苦，自1950年以後在日本建造之鋼筋混凝土中性化之速度發生預料外之加快使鋼筋在混凝土中生銹，因鐵銹之膨脹導致外皮之混凝土崩壞、鋼筋露出、險象叢生之實例很多。

使用海砂或某種含有氯離子混和劑之摻入更使情況惡化，鋼筋在內部之腐蝕加速進行，另外過去未曾注意到的一項問題是骨材發生鹼性化反應使混凝土崩壞的記錄亦有所聽聞，好像各項原因所引起之事故最近一齊爆出。

1.1 關於中性化問題

在混凝土中不使鋼筋生銹之條件多少有些問題，因為混凝土中之鹼性長時間下慢慢吸收空氣中之二氧化碳變成中性，在歐洲方面稱為 carbonation 已經中性化而失去鹼性區域內之鋼筋則在水和氧氣之影響下就發銹。同時因鐵銹之膨脹產生壓力將混凝土擠破產生細隙，終於使混凝土破壞。所以必需經常保持鋼筋周圍有鹼性，用不動態皮膜來保護鋼筋才行。

一方面做為耐火層之需要，鋼筋混凝土必須有若干厚

之保護層，由實驗結果對一般火災而言只要有 30 mm 厚就够，所以對混凝土樑、柱之保護層一般規定為 30mm。那麼這 30 mm 厚之保護層到底能維持鹼性至多少年呢？大有問題鋼筋混凝土如失去了鹼性而開始中性化時鋼筋就會生銹，所需年數可做為鋼筋混凝土之壽命，經長時間之試驗結果 30 mm 厚保護層之鋼筋混凝土要中性化所需之年數大約60~65年。這就是鋼筋混凝土構造物之法定折舊年數所被採用之依據。

中性化深度與經過年數之關係有岸谷公式如下：

i) 水灰比在60%以上時

$$t = \frac{0.3(1.15+3W)}{R^2(W-0.25)^2} \times x^2$$

ii) 水灰比在60%以下時

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6W-1.76)^2} \times x^2$$

W：水灰比

t：期間（年）

x：中性化深度（cm）

R：中性化比率（如附表）

附表 各種混凝土之中性化比率（R）

水 泥	細 骨 材	河 砂、河 碎 石			河 砂、輕 碎 石			輕 砂、輕 碎 石		
		plane	AE 劑	分散劑	plane	AE 劑	分散劑	plane	AE 劑	分散劑
普通波特蘭水泥		1	0.6	0.4	1.2	0.8	0.5	2.9	1.8	1.1
快強波特蘭水泥		0.6	0.4	0.2	0.7	0.4	0.3	1.8	1.0	0.7
高爐澤水泥（爐渣30~40%）		1.4	0.8	0.6	1.7	1.0	0.7	4.1	2.4	1.6
高爐澤水泥（爐渣60%左右）		2.2	1.3	0.9	2.6	1.6	1.1	6.4	3.8	2.6
砂 水 泥		1.7	1.0	0.7	2.0	1.2	0.8	4.9	3.0	2.0
飛 灰 水 泥		1.9	1.1	0.8	2.3	1.4	0.9	5.5	3.3	2.2

最近地球表面所含二氧化碳濃度有顯然增加，且局部有降下酸雨之影響，中性化之速度似有加速，此外混凝土常有發生裂疵，混凝土本身品質之降低等等各種因素交錯引起中性化速度加快，最近之實例中已有發現經16~17年，中性化深度就已達 20mm。如此一講雖然法定年數為60年，實際壽命頂多只能說20年。鋼筋混凝土之耐用壽命緊

繫於鋼筋之耐久性，為此絕對不讓鋼筋在裏面生銹才是緊要，那麼就得保持鋼筋周圍在高鹼性狀態。

1.2 關於含鹽份問題

混凝土中如含有氯離子時，雖然保有高鹼性，鋼筋仍不能避免生銹。因此規定混凝土中所含氯離子不得超過某一定量，日本建築學會建築工程施工說明書 JASS5 規範

中 NaCl 換算量要對水泥量在 0.04% 以下，土木學會規範則規定要 0.1% 以下。

混凝土中氯離子混摻之途徑有骨材使用海砂以及常時承受海鹽粒子之侵襲。此外常被忽略之一件事情就是附表 1 所示用作減水之 AE 劑亦是來源之一。

表-1 市售減水 AE 劑中所含氯化鈣量(%)

	普通型減水劑		快強型減水劑	
	以 CaCl ₂ 2H ₂ O 換算	NaCl 換算	以 CaCl ₂ 2H ₂ O 換算	換算為 CaCl
海砂問題構成嚴重情況以後	0.06	0.05	0.18	0.14
海砂問題尚未構成嚴重問題之前	0.2	0.16	0.5	0.4

對砂之絕對乾重之重量百分比

由上表可知使用快強減水劑時其含鹽度與未清洗過之海砂約略相等。

1.3 骨材鹼性化反應：

上節所述混凝土之耐久性全部依靠鋼筋之耐久性而這是以混凝土部份能繼續保持其健全性為前提。而骨材之鹼性化反應即與生銹毫無關連。

像使用與鹼有反應性之玻璃質為骨材時，就產生鹼性反應成為鹼砂衝擊，此現象一發生混凝土就在長時間下慢慢膨脹直至混凝土崩壞為止，可說是一種奇怪病態。

2. 防止病態之對策 (方案)

2.1 對新澆築時之方案：

鋼筋混凝土之病態中，鹽害與中性化現象會引起鋼筋之腐蝕而降低其耐用年數，骨材之鹼性反應則直接影響混凝土是其破壞。

最簡單根本之治療方法是使用絕對不生銹之鋼筋，以及絕不使用會引起鹼性反應之骨材，如此就可實現能耐長年月使用之鋼筋混凝土構造。

為使鋼筋不生銹之目的可考慮採用不銹鋼筋，鍍鋅鋼筋，Epoxy 被覆之鋼筋等均在研究階段，唯站在經濟性或耐衝擊，彎曲等性能上目前似缺乏其實用性，只好考慮改善之策。

鋼鐵在水和氧氣之同時攻擊下生銹，僅任何一方之存在不發生作用，所以在鋼筋混凝土中勿使鋼筋和水、空氣接觸就不生銹，又鐵在高鹼性環境下雖受水和氧氣之同時攻擊亦不生銹。所以將鋼筋之周圍保持高鹼性狀態且用不透水性材料做屏障使與水份隔離就不致生銹。混凝土能呈高鹼性是因水泥在水合反應時所生成之消石灰所導致，但此消石灰慢慢吸收空氣中之二氧化碳就變成中性之碳酸鈣 (CaCO₃) 失去了其鹼性，所以要防止中性化就得阻擋二氧化碳之侵入即可。做以上所說之防水處理及防止二氧化

碳滲透措施同時能達成目的之方法在 JIS A6203 「混凝土混合用 Polymer-Dispersion」規定其品質規格。將此分散劑拌入混凝土或摻入水泥漿做粉刷其表面厚厚一層，或用橡膠質彈性粉刷材料，大致可以防止中性化問題。

混凝土中如有氯離子存在，雖在高鹼性環境下鋼筋仍會生銹，必須除去骨材中所含之鹽份，同時亦不可使用含有氯離子之混合劑，在沿海建造之構造物常受海鹽粒子侵襲地方則要做防水處理以防鹽份侵入混凝土內。這樣做還是有微量鹽份會殘留於混凝土內則採用 JIS A6205 「鋼筋混凝土用防銹劑」將其摻拌進去效果甚佳。

對使用絕無骨材鹼性反應之非活性骨材時，鹼性物質之存在毫無障害，但骨材中如混有稍具活性之骨材時某一定量之鹼性物質之混入是相當危險，以上所述之各種措施如果個別施行，很難期待其完好，應將聯合施行較為有效。

2.2 對既設建築物之防護

誠如前述，對將要建造之鋼筋混凝土構造物只要有意想做隨時都有辦法，但對於過去未曾採取防護措施已經蓋建好之建築物亦有面臨必需採取行動之必要。為要解決這一問題日本小野田建材公司最近開發成一種稱為「小野田 Desalt Refleet 施工法」這是將對已含在混凝土中有害鹽份有強力防銹效果之專利藥品塗漆並使滲透進入混凝土中作防銹效用。對於混凝土已經中性化部份則使用特殊鹼性水溶液塗抹在其表面使其浸透進去以期恢復其鹼性同時亦可增強表面之脆弱層，再加上 polymer cement 系油漆之塗漆就可停止以後中性化之進行。至於已露出之鋼筋，已生銹鋼筋之處理，只好將外圍之混凝土打掉，重新去銹用高壓水沖洗後施予防除鹽份之塗抹含浸，或特殊鹼水溶液之塗抹含浸後用 polyeme cement 系泥漿做回填澆灌，必要時用防止中性化之 polymer cement 糊塗上一層，完成化學，物理上之修補工作。

3. 關於小野田 Deslt Refleet 施工法：

3.1 新施工法開發之經過。

1973年以混凝土、水泥漿粉刷，熟石膏等因經長年月而劣化以及遭受火災燒過之建築物為對象，尤其針對要解決中性化問題而着手研究，以恢復混凝土之鹼性以及已劣化層之強度為目的能自混凝土本身內部改善其性能同時亦能防止以後之中性化劣化，於1976年開發「小野田Desalt Refleet 施工法」成功，首先於1976年1月對建造後經15年之東京都第二辦公大樓施予修補工作，之後陸續對已經劣化，受火災燒過之物件施工甚多均獲致良好效果。

在幾個案例中有測出混凝土中確已換算鹽份含量超過 0.034% 以上且因鋼筋生銹混凝土遭受損害非常顯著者亦有。於 1984 年 4 月開始大量生產這種「小野田 Desalt

溶液」與小野田 Reflect 工法合併使用而完成「小野田 Desalt Reflect」施工法。並已獲得日本政府之專利權四種及已申請專利案三項。

3.2 本施工法之機構。

以多價 Alcohol Nitro Ester 為成份之防除鹽害之「小野田 Desalt 防銹液」保護混凝土中之鋼筋使其不受氯離子侵害，同時使用特殊鹼性液「小野田 RF-100」使已中性化之混凝土恢復其鹼性，而能增強已經劣化之混凝土表面。採用 RF 防銹糊防止鋼筋生銹，用 RF 水泥漿填補後再使用 RF 防銹糊作全面之塗抹，以期停止以後中性化之繼續進行，達到防止鹽害之目的。

3.3 使用材料說明

(1)小野田 Desalt：這是具有滲透性之防銹劑，能滲入含有鹽份之混凝土組織中而保護鋼筋不再生銹，如與小野田 RF-100 合併使用其效果更佳，本產品符合 JIS A6205 規格，其一般性狀如附表 2。

附表-2

成 份	多價 Alcohol Nitro Ester
粘 度	10 C. P. S 以下
比 重	1.25±0.05
外 觀	淡黃色透明水溶液

(2)小野田 RF-100對已劣化之混凝土，有裂疵部份具有良好之滲透性，使混凝土恢復其鹼性同時能增強表面強度，其一般性狀如附表 3，又混凝土的浸透深度如圖 1 所示，用小野田 RF-100 之處理效果如圖 2。

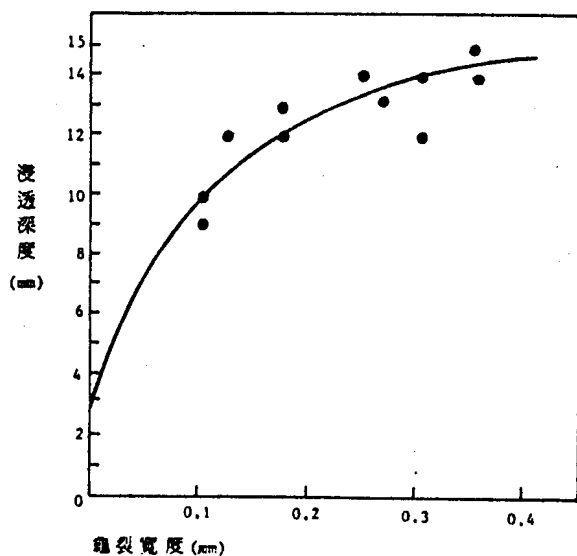


圖 1 對混凝土之浸透深度

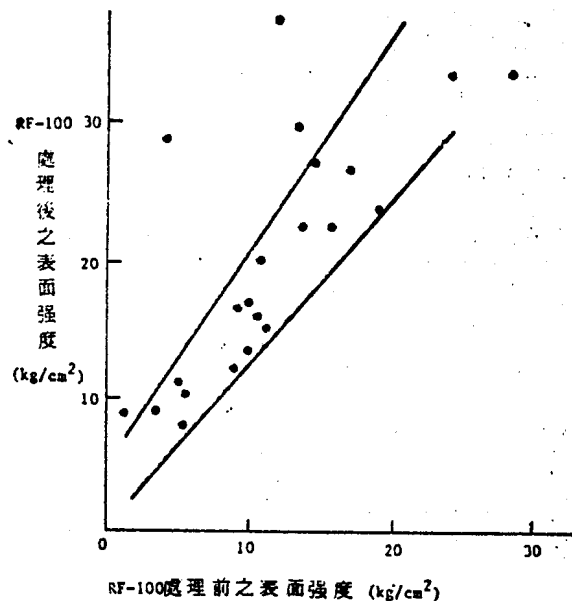


圖 2 表面強度之變化

附表-3

成 份	特殊調配矽酸鹼水溶液
粘 度	10 C. P. S 以下
比 重	1.09±0.02
PH	11±0.5
冰 點	0°C
外 觀	淡黃色透明水溶液

(3) RF 防銹水泥：與 RF 混合劑合併使用，用於鋼筋之防銹處理及表面之塗抹，形成防止中性化層及防止鹽害保護層。

(4) RF 泥漿粉：與 RF 混和劑併用作為修補缺損部位。

(5) RF 混和劑：係配有防銹劑之 SBR 系特種混和劑，與 RF 防銹水泥或 RF 泥漿粉混合使用。具有防銹性，粘接性、防水性、耐衝擊性等作為修補用泥漿，參照表 4~5。

3.4 防銹效果：

小野田 Desalt 及小野田 RF-100之防銹性能如附圖 3。由於氯離子之存在，雖然處於鹼性環境下腐蝕仍會進行，但用小野田 Desalt 來處理則在中性化狀態下亦能抑制腐蝕。RF 混合材之防銹效果及 RF 防銹糊之防銹效果如圖 4~5。

附表-4

試驗項目	試驗結果	
膠接強度	常態	12.1
	耐水	9.2
	溫、冷反覆後	17.0
壓縮強度 (kg/cm ²)	353.1	
彎曲強度 (kg/cm ²)	103.2	
耐裂疵性	無龜裂	
耐衝擊性	無剝離、龜裂	
多層噴漆 RF 材後之膠着強度 (kg/cm ²)	12.3	

試驗方法 JASS 23 M-103

RF 防銹糊之調配

RF 防銹水泥 20kg (1袋)

RF 混和劑 6kg (1/3罐)

附表-5

試驗項目	試驗結果	
	無混合 RF 材	混和 RF 材
壓縮強度 (kg/cm ²)	359.5	410.2
彎曲強度 (kg/cm ²)	81.5	107.6
吸水量 (g/4×4×16cm)	44.8	8.5
透水量 (g/15φ×4cm)	33.1	1.0
膠接強度 (kg/cm ²)	7.3	20.0

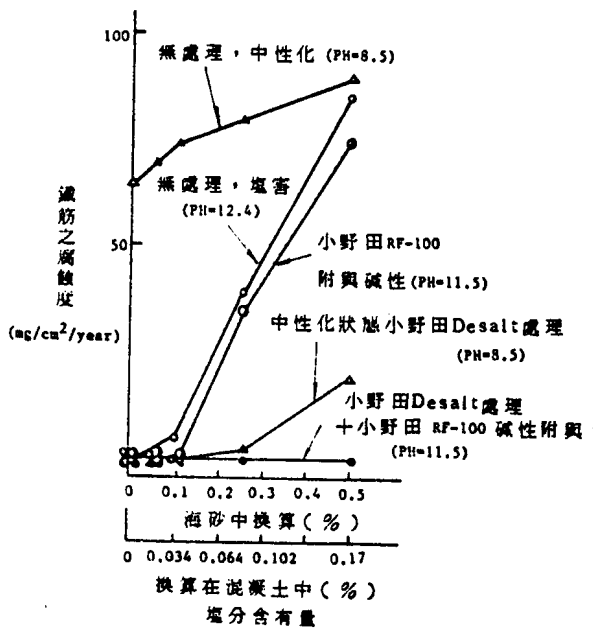


圖3 小野田 Desalt 及小野田 RF-100 之防銹性試驗結果

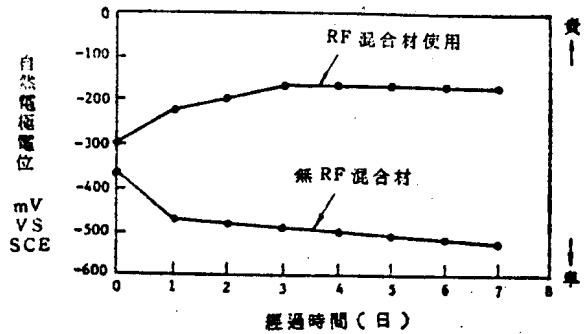


圖4 RF 混和材之防銹效果
NaCl 換算 1.3% 的人工海水腐食結冰使用 (鐵筋混凝土, 用防銹劑 JIS_A6205)。

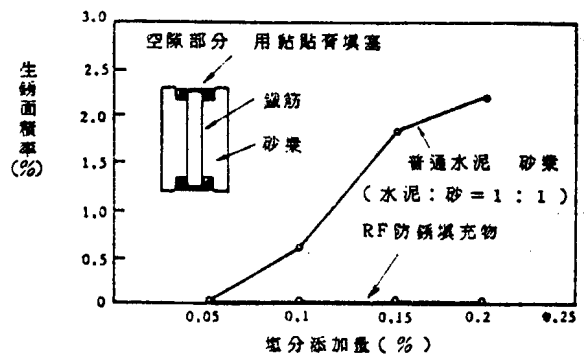


圖5 RF 防銹 Paste 之防銹果用 Autoclare 加速試驗 (鐵筋混凝土, 用防銹劑) (JIS A6205) 但試供體是 φ5×10cm 未用粗骨材使用鋼筋 φ10×90mm 配裝如上圖。

3.5 施工方法

當要施行小野田 Desalt Refleet 施工法之前應事先做好調查診斷工作, 通常要做調查之項目有鋼筋之生銹狀況, 混凝土有無龜裂, 其程度如何, 劣化狀況, 其他必要時亦做 Schmit Hamer 及抽出 core 來測驗混凝土之強度, 保護層中性化深度, 鹽份含量之測定等。有一技術團體專門負責做小野田 Desalt Refleet 施工。從事於該項工作人員必需經嚴格研習訓練, 考試合格領有執照者才能勝任。

譯者: 1. 任職臺北瓦斯協理兼總工程師。

2. 本會理事長。