

林工處施工指導叢書 第壹輯：

鋼筋混凝土

結構工程作業實例

台灣省政府住宅及都市發展局
林口新市鎮開發工程處
處長 廖政治

編著

詹氏書局

鋼筋混凝土結構工程作業實例／廖政治編著．

初版．--臺北市：詹氏，民 84

面； 公分．--（林工處施工指導叢書；
第 1 輯）

參考書目：面

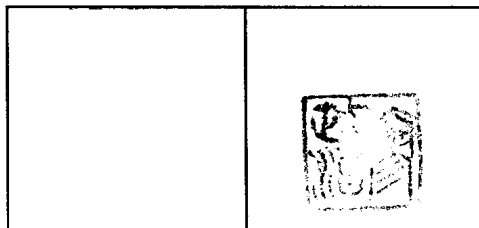
ISBN 957-705-074-3（平裝）

1. 鋼筋混凝土

441.557

84008691

版
權
所
有



翻
印
必
究

林工處施工指導叢書 第一輯

鋼筋混凝土結構工程作業實例

策 劃：廖 政 治

編輯助理：賴 宇 亭 游 財 添 鍾 尚 芸

發 行 人：詹 文 才

發 行 所：詹 氏 書 局

登 記 證：局版台業字第三二〇五號

郵政劃撥：0591120-1

戶 名：詹 氏 書 局

地 址：台北市和平東路一段一七七號九樓之五

電 話：(02)3918058.3967077.3412856.3938879

傳 真：(02)3964653.3938869

印 刷：海王彩色印刷製版公司

ISBN 957-705-074-3



9 789577 050748

00400

初版一刷 中華民國八十四年八月

定價：新台幣 400 元

初版二刷 中華民國八十五年九月

I.S.B.N. 957-705-074-3（平裝）

第三章 R C 結構工程鋼筋腐蝕原因及防止方法 探討——施工人員看『海砂屋』問題

一、前言

近來繼輻射鋼筋帶給居住者莫名不安之後，海砂屋問題成為媒體寵兒，桃園、臺北等縣市陸續發生多起海砂屋事件，更使得人們對住的安全打了個大問號。海砂屋其意義就其字面上看來，即建築物構築時加入了含海砂而使建築物樓版、柱及樑等構件混凝土保護層剝落，構件內鋼筋外露而危及建物強度，危害居住者安全。然而混凝土中鋼筋腐蝕不僅是使用了海砂所致，凡混凝土中之鋼筋如經常沾到水（水氣），亦將發生同樣後果。簡言之，要消除「海砂屋」除不使用海砂外，還要設法防止混凝土中之鋼筋不沾到水，才能完全解決。

本文先介紹鋼筋腐蝕原理，進而依據工程經驗提出設計、施工時防止鋼筋腐蝕問題之對策以供工程從業人員及社會大眾參考。

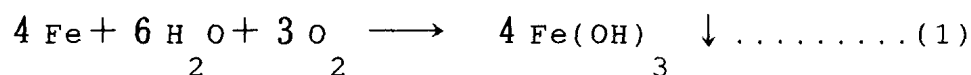
二、鋼筋在水中腐蝕電化學原理

所謂電化學反應即化學反應中包含了電子的移轉稱之。金屬腐蝕幾乎都屬電化學反應。

鋼筋主要化學成份為鐵元素（Fe），因應不同需求而加入各種不同元素如錳、銅、碳及鉻等而成耐侯鋼、低碳鋼等，而鐵含量仍維持90%以上；故以鐵之腐蝕反應代表鋼筋腐蝕反應。

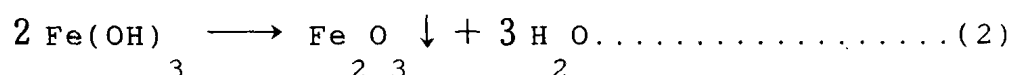
鐵在清水、海水、鹽溶液中及鹼性物質內，只要有溶氧存在均會腐蝕，鋼筋在水中生銹即為此類腐蝕典型，

即

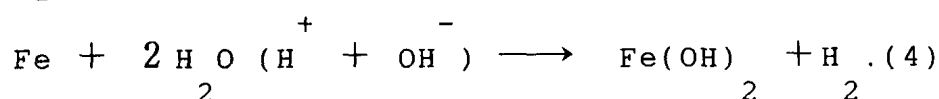
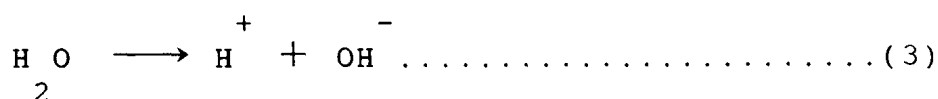


鐵與水及氧化合成氫氧化鐵，為紅褐色不溶解物質。

鐵在空氣中生鏽時因有機會得到乾燥，故氫氧化鐵脫水而成紅褐色氧化鐵鐵鏽即



以上為鋼筋在常溫下所進行化學反應。若鋼筋在蒸氣中其腐蝕反應則為



首先少部份水分子會游離成氫離子及氫氧根離子，接著鋼筋與氫氧根離子結合而成為氫氧化亞鐵，為白色沉澱物，是短暫合成物，極不穩定，當溫度降低時產生兩種化合物

(1) $\gamma\text{-FeOOH}$ ：黃色或菊色鐵鏽，即鐵軌上鏽蝕情形。

(2) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (含水氧化鐵) 即一般常見易剝落鐵鏽。

當鋼筋處在高溫或水泥水化所提供的鹼性環境中時外表產生保護性氧化鐵膜 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 Fe_3O_4) 等，此三種化合物均對鋼筋有保護性。

由以上腐蝕電化學原理我們得知，鋼筋只要是遇到水則會很快的鏽蝕，不一定得依靠海水中成份才會造成腐蝕現象。

三、鋼筋在海水中腐蝕電化學反應

海水與純水主要成份不同之處係海水中含約 3% 氯化鈉 (表一)，氯化鈉在水中溶氧易生成氯離子 (Cl^-)，氯離子被認為是鋼筋混凝土結構物發生腐蝕破壞主因，氯離子對鋼筋腐蝕之影響目前有三種理論：

- (1) 破壞鋼筋表面氧化膜理論。
- (2) 氯離子溶氧及氫氧根離子吸附在表面上。
- (3) 由於腐蝕所產生的鐵離子與氯離子所形成之氯化鐵化合物自陽極擴散而破壞 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 之保護層。

2

而由於鋼筋腐蝕後體積將膨脹 2-8 倍，因此將混凝土擠裂，而使混凝土中之孔隙擴大，水、氧氣及氯化物更易滲透而加速惡化。

表一 海水成份分析表

型	式	含量 (ppm)	陽離子	含量%	陰離子	含量%
元素或離子 團 化合物	氯 (Cl)	19.353	Na^+	1.056	Cl^-	1.898
	鈉 (Na)	10.760	Mg^{+2}	0.127	SO_4^{2-}	0.265
	硫酸鹽	2.712	Ca^{+2}	0.04	HCO_3^-	0.014
	鎂 (Mg)	1.294	K^+	0.038	Br^-	0.0065
	鈣 (Ca)	413	Sr^{+2}	0.001	F^-	0.0001
	重碳酸鹽 (HCO_3^-)	142	合計		合計	
	鉀 (K)	387				
	NaCl	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Na_2SO_4	CaCl_2	KCl	NaCl
2.450g		1.110g	410g	120g	70g	3.27%
說明：總鹽份量為每公升之海水含鹽量為 35 公克。						

表二為鋼筋在海水、鹽水及純水中其腐蝕率之比較，由表中可知鋼筋在海水中平均腐蝕度為4.31mpy(mm per year)，而在水中為1.30mpy，在海中腐蝕率幾近於水中的三倍，可知氯離子確實對鋼筋有很大的腐蝕效果。

表二 鋼筋在海水及純水中腐蝕率(mpy)

合金名稱	純水	合成海水	大鹽湖	紐約港	邁阿密	以色列	海中平均值
低碳鋼	1.30	6.84	3.23	2.67	5.12	6.78	4.31

四、鋼筋腐蝕主因探討

鋼筋在混凝土中受到高鹼性混凝土包裹的保護往往在鋼筋表面成一層 $10-30\text{\AA}$ 的 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 的鈍態膜(PASSIVE FILM)，

基本上是很難生鏽的，混凝土提供鋼筋與溶液間(外界水、溼氣等)之障礙，離子必須藉由擴散滲透或沿裂縫而直接入侵，形成一完全迴路(CIRCUIT)，而使鋼筋腐蝕，故促使鋼筋腐蝕原因可歸納為三：

- (1) 鋼筋混凝土滲透性高(水密性低)時，有害物質易侵入。
- (2) 有裂縫產生時會加速鋼筋腐蝕。
- (3) 有害物質侵入(如 Cl^-)，會造成腐蝕快速進行。

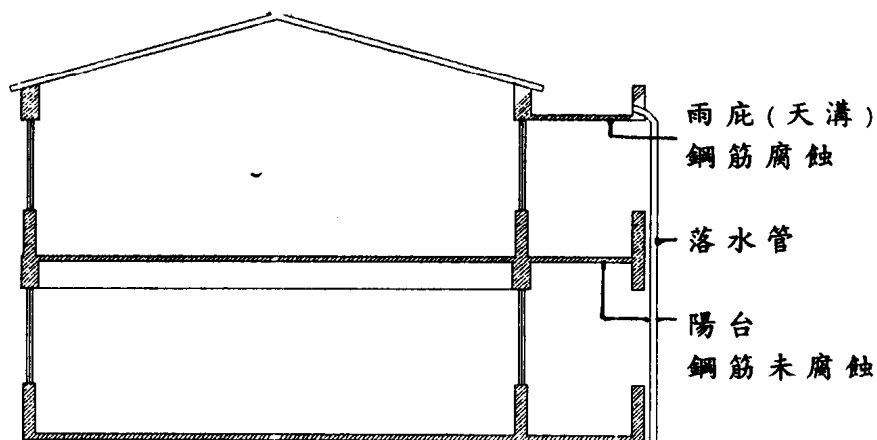
以上三種因素，易造成鋼筋電化學反應，侵害鋼筋，減低其斷面積，間接增加鋼筋變形，加寬混凝土之裂縫，進而造成惡性循環，而使鋼筋腐蝕。

五、實例探討

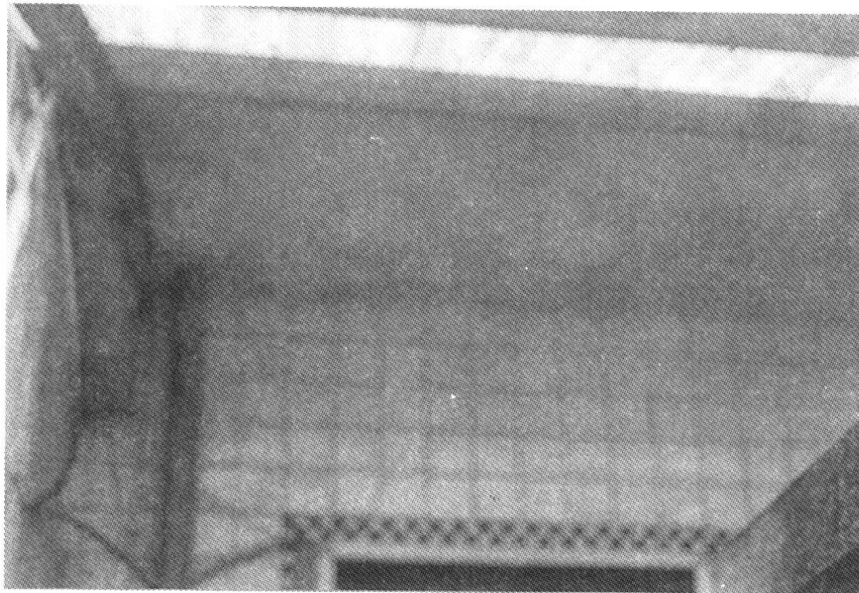
位於北市八德路二段鄰近省住都局巷子附近約有十來戶二層透天厝加強磚造住宅，其建物構造約如圖一所示。二樓、屋頂各有一懸臂構件，屋頂構件可視為雨庇，二樓則為陽台。根據理論二者配筋應大致相同，施工條件亦同，但由相片一、二所示，雨庇鋼筋已外露並銹蝕，而陽台卻仍完好。

經分析原因為：雨庇終年直接接觸雨水，並兼作天溝使用，一旦有裂縫產生水路雨水侵入雨庇，則造成惡性循環，導致鋼筋銹蝕外露。

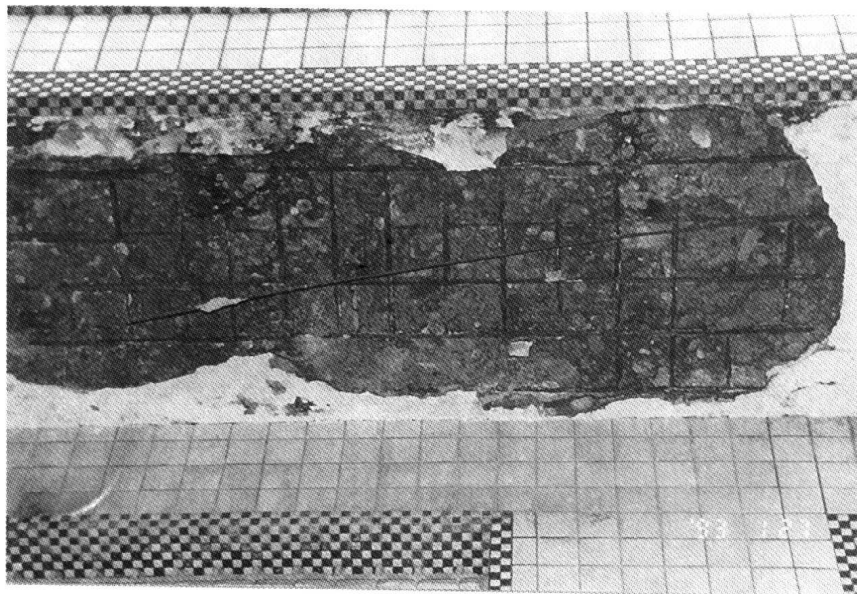
此二層房屋建造年代距今應有三十年，不致採用海砂（當時河川砂比海砂成本低），然仍有銹蝕情形；我們可確認構造物所處環境及條件對鋼筋腐蝕具相當程度影響。



圖一 北市八德路二段民宅構造示意圖



相片一 該棟二樓陽台完好



相片二 頂層雨庇（天溝）與相片一同結構，但鋼筋腐蝕混凝土剝落，顯示所處環境條件對腐蝕有影響

六、防止鋼筋混凝土腐蝕的方法

探討鋼筋腐蝕原理最終目的為避免鋼筋腐蝕進行，針對鋼筋腐蝕原因，從設計、施工及維護管理三方面考量，筆者歸納以下幾點方法來防範鋼筋腐蝕：

(一) 設計方面：

- (1) 明定混凝土粗、細骨材品質，如產地、氯離子含量等。
 - (2) 水灰比按各構材功能、水密性需要，分別指定（不宜單考量強度乙項）。
 - (3) 編列混凝土接縫實際需要之止水或防水工法及其經費。
 - (4) 依結構體功用、氣候及施工誤差等條件，決定鋼筋保護層厚度。
 - (5) 考量「巨積混凝土」工法，防止結構體日後隙裂。
- 以下逐項配合實例圖片分別加以說明：

(1) 控制混凝土中粗、細骨材品質（氯離子濃度應低於規範容許值）：

各國對混凝土中氯離子濃度（依氯離子含量決定水泥用量）均有相當嚴格的規定（表三），由表三中可看出我國 CNS 12891 中規定：RC 在一般環境下，氯離子含量應在水泥重之 0.3% 以下，較歐洲（挪威、法國）的 0.6% 為嚴格，而較鄰國日本 0.15% 為鬆。

表中顯示 CNS 規範容許在含鹽份影響下氯離子濃度應低於水泥重 0.15%，顯示並未嚴格限制不可使用海砂，然而控制因子顯然為混凝土中水泥重，若混凝土中水泥含量足夠而使氯離子濃度在規範容許值範圍內，則混凝土品質無慮，亦不會產生所謂海砂屋情事了。

氯離子除去方法有使用清水沖淡或利用電化學電滲離子取代法二種。第一種方法效果不佳，而第二種成功率頗高。添加抑制劑以防止鋼筋腐蝕亦有許多專家進行研究，經實証抑制劑在受壓力材效果不錯，但在受拉構材仍未受全面肯定。常用抑制劑以錫鹽類、硝酸鹽類及安息香酸鹽類等氧化物廢料等。

(2) 增加混凝土水密性：

混凝土為高鹼性化合物，對鋼筋具有保護作用，而混凝土之水密性直接影響其對鋼筋的保護效果。據以往工程經驗，造成鋼筋腐蝕及混凝土保護層剝落現象絕大部份為混凝土強度不足，水灰比過高所致。唯有降低水灰比(0.48以下)，才能增加水密性，保證低透水性。且不僅於混凝土配比設計時應注意，施工中更不可任意摻水。此外，澆築混凝土過程，必須充份搗實，不可使粒料分離，產生蜂窩導致混凝土不密實現象，否則再好的條件亦無濟於事；圖二所示即為鋼筋保護層對鋼筋腐蝕的影響，品質愈佳(即水灰比愈低)則保護層厚度可以愈薄。在臺灣很多建築物產生鋼筋腐蝕問題都出自保護層厚度不足所造成。

表三 各國對混凝土中氯離子含量之規定

國名	規 範	氯 離 子 含 量 之 規 定	1m ³ 之CL-重量(kg/m ³)
法國	DTU 21.4	1. 無筋水泥、混凝土保護層厚度為4mm以上之RC、CL-含量為水泥重之1.29%	3.87
		2. 保護層為2cm以上之RC，CL-含量為水泥重之0.65%	1.94
		3. RC用水所含之CL-濃度為0.25g/l以下。	
挪威	NS 3474	1. RC：CL-含量為水泥重之0.6%以下。	1.80
		2. PC：CL-含量為水泥重之0.02%以下。	0.06
日本	日本建築學會 JASS 5 JASS 5-86	1. 細骨材CL-含量為水泥重之0.16%以下。	0.19
		2. 混凝土CL-含量0.3kg/m ³ 以下。	0.30
		3. 混凝土CL-含量超過0.3~0.6kg/m ³ 鋼筋須做防銹處理。	0.60
中華民國	CNS 12891	1. RC(鹽份影響下)：CL- 含量為水泥重之0.15%。	0.45
		2. RC(一般環境下)：CL- 含量為水泥重之0.3%。	0.9
		3. RC(乾燥狀態下)：CL- 含量為水泥重之1.0%。	3
		3. PC：CL- 含量為水泥重之0.06%	

對經常浸水之混凝土結構物如雨庇、陽臺、屋頂其水灰比更應嚴格控制，表四為各種不同抗壓強度混凝土最大容許水灰比建議值。

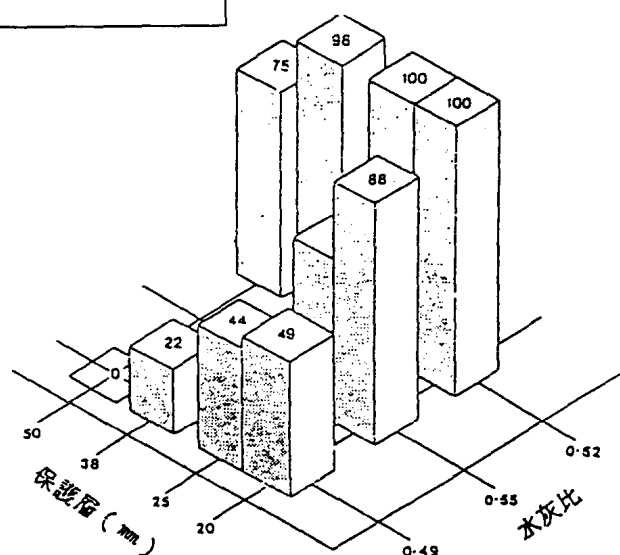
表五為各種不同環境下，特殊暴露情形水灰比之要求。在溼潤情況下暴露於凍融循環之混凝土，其水灰比值不得大於0.45。

表四 各種抗壓強度混凝土最大容許水灰比

規定抗壓強度 f'_c (kg/cm^2)	最大容許水灰比	
	非輸氣混凝土	輸氣混凝土
280	0.44	0.35
265	0.48	0.38
245	0.51	0.40
210	0.58	0.46
175	0.65	0.54

表五 特殊暴露情形水灰比之要求

暴露情況	常重混凝土最大水灰比
須具水密性之混凝土	0.50
在溼潤情況下暴露於凍融循環之混凝土	0.45
暴露在鹽水或海水之鋼筋混凝土且考慮防蝕問題	0.40



圖二 鋼筋相對腐蝕率與保護層及水灰比關係

(3) 保護層厚度要足夠：

一般設計樓版配筋多採用#3、#4等柔性鋼筋，再加上施工中墊塊(SPACER)高僅有2.0cm，若90cmX90cm置放一墊塊時，經施工人員來回踩踏後，往往造成墊塊鬆脫而保護層厚度不足，使鋼筋保護層減小，濕度高地區水份易滲入使鋼筋生鏽；有鑑於此，設計者應考量施工氣候因素等，酌量提高保護層厚度，以隔絕水份。若施工情況許可，使用2.5cm高墊塊或縮小墊塊間距(施工經驗間距應小於70cmX70cm)可避免裂縫產生。

(4) 防止鋼筋混凝土結構物裂縫

建築結構中，連續牆式結構、地下室構造物及設備基礎等容易由溫度收縮應力引起裂縫結構物，通稱「巨積混凝土」。此類工程均以永久性伸縮或施工縫(工作縫)釋放溫度應力；除上述依應力及溫度差異應設防水伸縮縫或施工縫外，施工人員應依施工現地需要設置防水伸縮縫或施工縫。

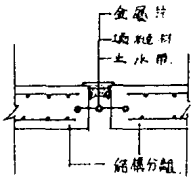
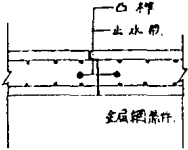
中國大陸現行鋼筋混凝土結構物設計規範(TJ 10-74)規定：

現澆式鋼筋混凝土連續式結構，處於室內或土中條件下伸縮縫間距為30m，露天條件下20m，無筋混凝土為10m

□ 後澆縫工法：

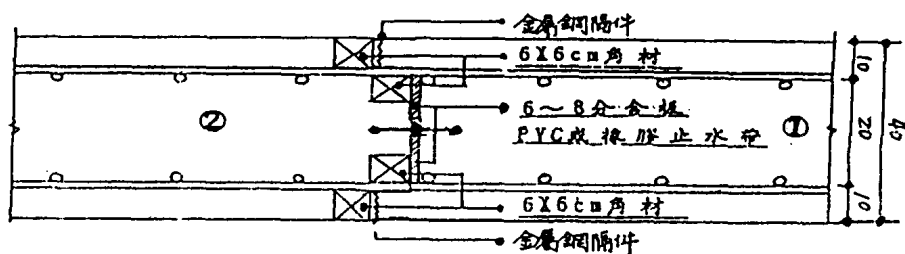
地下或半地下室結構受最大溫差、沉陷及沉降等變形作用是在施工期間發生。後澆縫工法係將結構分成若干段，每段長度儘量小些(20~30m)，並預留約70~100cm施工帶(結構不分離)，先澆築主構體，待主構體收縮穩定後再以膨脹混凝土澆築施工帶部份，以達不設置永久伸縮縫之目的。

表六 伸縮縫、工作縫與後澆縫工法比較：

	伸縮縫工法	施工縫(工作縫)工法	後澆縫工法
設計原則	將結構體分離以解決因溫度或受力差異產生沈陷及裂縫	施工中無法一次澆築時施做施工縫，接觸水部份設止水帶。	間隔一段距離預留施工帶，俟先澆築混凝土收縮穩定後再澆築施工帶部份
間距	30 m	30 m	20 ~ 30 m
保留時間	—	—	45 ~ 60 天
寬度及構造	約 3 cm	無	70 ~ 100 cm
填充材	橡膠填縫材	無	膨脹混凝土
示意圖			

□ 綜合比較：

以上三種施工法各有其優缺點，伸縮縫工法須於設計規劃階段考慮將結構分離問題，而且伸縮縫在防水上處理較易失敗。而後澆式工法若能配合止水帶施作亦不失為良好工法，然施工帶須等 45 ~ 60 天後才能澆築混凝土，對工程進度有相當程度影響。故建議採用凸榫工作縫加止水帶工法，以彌補對大面積混凝土澆築時造成結構可能因體積變化或沉陷變化、溫度變化及地震、颱風等外力影響導致應力變化，造成各種不定性龜裂。建議以圖三方式施工。



圖三 工作縫詳圖

(二) 施工方面：

- (1) 開工前事先檢討設計圖說是否周延（符合前述設計要件）。
- (2) 確實檢討混凝土澆築計劃，避免冷縫等現象產生。
- (3) 模板強度、剛度要足夠，確保混凝土密實性，俾減低透水機率。
- (4) 地下室外牆（位於地下常水位以下）或經常與水接觸之構體，分次澆築銜接處應設置企口接縫，並安裝止水帶。
- (5) 澆築混凝土必須搗實，不可產生蜂窩現象。
- (6) 地下室地樑與底版排筋不可分離。
- (7) 外牆與浴廁及女兒牆交接處，設置止水工作縫。

以下逐項配合實例圖片分別加以說明：

造成鋼筋腐蝕因素中，施工不當使混凝土產生裂縫導致滲水，破壞鋼筋之鈍態膜現象，均是施工時未能就混凝土澆築計劃、模板剛度、混凝土搗實及施工縫等相關作業切實做好所致。

結構工程之防水若能落實，則『海砂屋』情形必然大為減少；然而結構工程防水卻是最易被監工人員所疏忽，由於混凝土澆置前沒有規劃，事後又處理不當，因而造成滲水及鋼筋腐蝕等問題。以下就結構工程施工防止鋼筋腐蝕應注意事項加以說明：

(1) 檢討設計圖有關伸縮縫及施工縫留設位置是否恰當：

為避免結構體受到不同外力而產生不均勻沉陷或考量結構體面積龐大無法一次澆築混凝土時，應於適當位置留設伸縮縫，並做好止水措施。施工人員應切實檢討設計圖上是否遺漏留設伸縮縫或施工縫，建築工程應留設伸縮縫位置概略如下：

- ① 澆築長度大於三十公尺之結構體。
- ② 高度差異過大的相臨結構體。
- ③ 開挖深度不同之相臨結構體。

(2) 確實檢討混凝土澆築計劃，避免冷縫現象產生：

澆築混凝土首應避免產生冷縫，混凝土初凝時間為60～90分鐘，因此在澆築混凝土時新舊混凝土交接時間應少於60分鐘。為避免冷縫產生，施工人員應於事前妥慎做好混凝土澆築計劃；混凝土澆築計劃內容應包括：

- ① 澆築數量、範圍、方法、起訖點。
- ② 混凝土車出車頻率、時間。
- ③ 施工人員及器具（振動機、木槌、竹竿漏斗、幫浦車、輸送管等）性能、數量及配置之檢討。
- ④ 施工接縫計劃。
- ⑤ 最大澆置單元混凝土接觸時間計算。

擬提出本處監造林口啓智學校校舍新建工程行政區地下室地樑混凝土澆築計劃供施工人員參考：

台灣省立林口啓智學校校舍新建工程 行政區地下室筏基礎樑混凝土澆築計劃

一、預定澆築日期：83.10.8

二、澆築混凝土量：574立方米

三、澆築時間：6小時

四、車程：每趟30分鐘

五、預拌混凝土車出車頻率：5分鐘／台

六、機具：

(1)幫浦車：2台

(2)預拌混凝土車：12台

(3)振動機：5組(4組施工，1組備用)

(4)木槌：6只

七、人員：

(1)幫浦車手：2人

(2)管尾手：2人

(3)振動機手：8人

(4)木槌手：4人

(5)混泥土工：4人

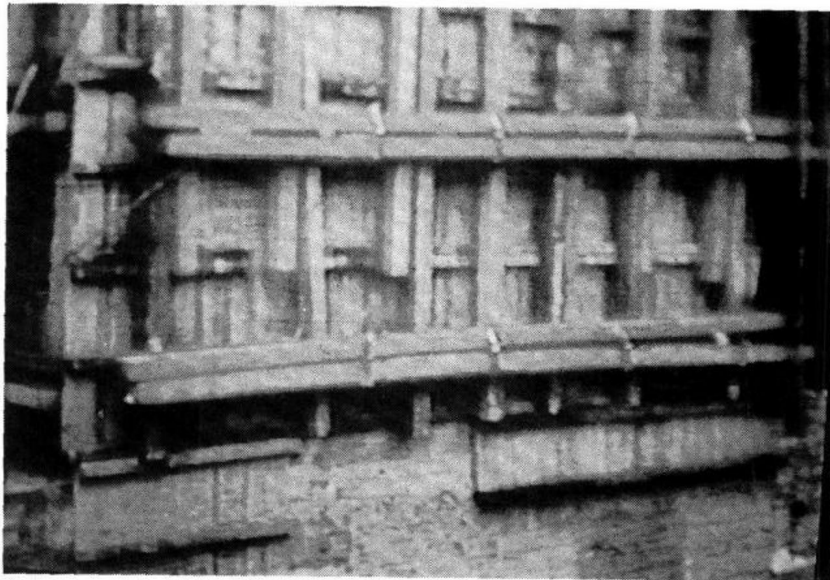
(6)竹竿手：4人

八、澆置分區：

爲避免冷縫產生，幫浦車二台分別配置於左右兩側，分六區由遠處向中央澆築，控制新舊混凝土澆築間隔不超出60分鐘。

(3) 模板剛度要足：

模板雖為假設工作物，然其剛度對混凝土強度及滲水現象都有影響，若能控制模板剛度對鋼筋腐蝕亦有抑制作用（因模板剛度不足，澆築混凝土過程中，會造成模板變形，影響混凝土密實性，進而增高其透水性），如相片四所示。



相片四 模板需具有足夠之剛度