



添加砂之環氧樹脂塗封鋼筋的握裹力與防蝕效能之研究 A Study of the Bond Enhancement and the Corrosion Prevention Efficiency for the Sand-Epoxy Coated Rebar

計劃編號：NSC88-2211-E-019-008

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：葉為忠 國立台灣海洋大學河海工程學系

一、中文摘要

本次研究旨在探討不同漆封鋼筋對鋼筋與混凝土間界面之握裹性質及防蝕效能之評估。鋼筋漆封的型式包括：純環氧樹脂漆封、環氧樹脂沾砂漆封及環氧樹脂摻砂漆封等三項。實驗結果指出，相對於純環氧樹脂漆封，環氧樹脂沾砂漆封及環氧樹脂摻砂漆封可產生較好的抗力機構。尤其是環氧樹脂摻砂漆封，它可將鋼筋與混凝土間的握裹力回復到接近無漆封鋼筋的程度。在防蝕效能評估方面，上述漆封型式都有很好的防蝕效果。根據理論計算，改善漆封型式將會提高鋼筋與混凝土間的界面參數。

關鍵字：塗封、防蝕、環氧樹脂、握裹力

Abstract

In this study, the properties of various epoxy coatings are evaluated. Three epoxy coatings, the pure epoxy coating, the sand-epoxy resin coating and sand-sticking epoxy coating, are investigated for their bond behaviors and capacity of corrosion prevention. Experimental results show that the sand-epoxy resin coating and sand-sticking epoxy coating have better mechanical behaviors than the pure epoxy coating does. Especially the sand-epoxy resin coating can almost enhance the maximum bond force to the level of the naked rebar. Our experiments show that all three types of coatings have the capacity in corrosion prevention. Based on the theoretical calculations, the shear stiffness, the critical yield shear force per unit length and the surface energy will all be enhanced by improving the coating materials.

Keyword : coating ; corrosion prevention ;

epoxy ; bond strength

二、緣由與目的

鋼筋鏽蝕現象一直是鋼筋混凝土結構物的一大問題，為防範此一問題以漆封鋼筋是較為簡便、經濟且有效的作法。但使用漆封鋼筋後，其與混凝土之握裹力約會下降 15-30%，因此使用漆封鋼筋需修正相關之設計規範。而文獻[1]中曾提出，以環氧樹脂添砂來改善握裹性質。為避免使用塗封鋼筋所引發的握裹力下降問題，本研究提出兩種方法來提高握裹力：

1. 塗料表面沾砂，使砂與塗料及混凝土緊密黏結。
2. 塗料中摻砂，使該塗料變成一種與砂混合之黏結劑再與混凝土結合。

希冀藉這兩種方法改善界面黏結力及界面摩擦力，並改變塗料性質，使其更接近混凝土性質，以減少卡樺力降低現象。並且在使用這兩種改善方案的同時，亦檢驗其抗腐蝕能力是否仍與原塗料一般具有相當之防蝕效果，以使漆封鋼筋如一般鋼筋一樣便於使用。

三、實驗計劃

3-1 配比與試體製作

本研究實驗計畫主要分成兩部分進行：第一階段先變化塗料漆封鋼筋的性質，其變化範圍包括純環氧樹脂漆封、環氧樹脂沾標準砂漆封及環氧樹脂摻標準砂漆封等三項變化。第二階段改變沾砂及摻砂中的比例(2:1、3:1的砂與環氧樹脂重量比)、變化砂的種類及級配(以兩種級配的河砂代替標準砂)改變漆封塗料性質，並在固定齡期後，進行拉拔試驗來求其分別的握裹特性。同時進行鋼筋腐蝕試驗，量測各種漆封鋼筋試樣的腐蝕速

率，以瞭解其防蝕的效果。本實驗混凝土的設計強度為 4500psi，其配比設計如表 1 所示。試驗變數如表 2 所示。

3-2 試驗方法

壓力強度試驗

參照美國 ASTM C39 之方法來進行試驗。

拉拔試驗

製作 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 之圓柱試體，並於試體中央置放 #4 竹節鋼筋，其埋入深度為 6 cm。進行試驗時，由於拉拔試體表面不夠平整，因此在進行試驗前必須先將試體表面加以蓋平，避免造成應力集中現象，使試體發生局部破壞。拉拔試驗是參照 ASTM C234-91a 之握裹試驗裝置，其荷重速率以不超過 1.27 mm/min(0.05 in/min) 為標準，而且在鋼筋滑動量到達 0.254mm(0.1 in) 之前的時間內，至少讀取 15 次讀數，試驗進行直到試體破壞為止。鋼筋的滑動量是利用兩個線性變位計(LVDT)加以量測，在擷取滑動量的數值後，必須將鋼筋受力端兩個變位計擷取到之數值加以平均，如圖 1 所示。

腐蝕試驗

1. 開路電位法 (OCP method):

以飽和甘汞電極 (SCE) 為參考電極，(RE) 白金電極為輔助電極 (CE) 及鋼筋為工作電極 (WE)。接於恆電位恆電流儀，測量其腐蝕電位之變化。

2. 直流極化法 (DC method):

與開路電位法相同，將記錄器接於恆電位恆電流儀，接通 RE、CE 及 WE 等電極，由恆電位恆電流儀測得其腐蝕電位，再由腐蝕電位 $\pm 10\text{mV}$ 之間掃描。由儀器可得各掃描點之電流量，將之計算其斜率，其斜率即為腐蝕極化電阻。

四、結果與討論

4-1 破壞模式與拉拔結果

握裹強度與各漆封界面之結果如表 3 及圖 2 所示。由圖 2 中可知，純環氧樹脂漆封的鋼筋其握裹強度會較無漆封者

低，此與文獻[1-4] 實驗結果相符合。此外由表 3 可得知，純環氧樹脂漆封者約為無漆封者的 85%；環氧樹脂沾砂漆封的鋼筋，其握裹強度與純漆封者相較變化似乎不大，且其極限拉拔荷重非常不穩定。而環氧樹脂沾砂漆封的鋼筋，由表 3 知其極限拉拔荷重約為控制組（無漆封）的 90%-95%，比純環氧樹脂漆封者約略回復了 5%-10%的極限拉拔荷重。

4-2 漆封鋼筋對防蝕效應的探討

開路電位法

表 4 為漆封鋼筋之開路電位值，從表中可看出各漆封鋼筋的開路電位值會隨著時間的增加而明顯的降低。再由圖 3 可以發現控制組(無漆封)浸泡於 3.5%的食鹽水一天後，開路電位值較其他漆封鋼筋下降許多，而其他漆封鋼筋的開路電位值均趨於緩和且無明顯的降低。

直流極化法 (DC Method)

各漆封鋼筋之腐蝕速率 (DC method, 直流極化法) 如表 5 所示。圖 4 是漆封鋼筋浸泡於 3.5%食鹽水後，以直流極化法量測之腐蝕速率圖。由圖 4 當中可看出，控制組在初期的腐蝕速率發展非常的快速，故初期的線段斜率較大，但在第四天以後，其腐蝕速率有減緩甚至降低之趨勢，顯示其腐蝕速率在第四天達到了一個臨界值。由以上的結果得知，不論何種形式之漆封鋼筋都確實能達到防蝕的目的。

4-3 參數計算與討論

Stang[5] 理論模式中四個界面參數: K 、 q_v 、 D 及 Γ 值。根據 Yeh 等人[6] 的研究結果顯示 Stang 的模式中四個界面參數值對於相同品質的母材與鋼筋鍵結之界面而言為定值；若能推得其參數值，則可利用理論式來預測相同母材的情況下，由界面參數反映混凝土與鋼筋間界面性質。此四個參數的定義及物理意義分述如下：

K 值:

單位為力/(長度)²，其物理意義為造成單位滑動位移所作用於單位長度鋼筋上的剪力。

q_y 值：

單位為力/單位長度，其代表的物理意義為單位長度下解鍵之臨界剪力。

Γ 值：

Γ 值為界面破壞能量(surface energy)，單位為能量/單位面積，其物理意義為打開單位面積鍵結所需的能量。

D 值：

D 值的物理意義代表在解鍵後之殘餘單位長度剪力與臨界單位長度剪力的百分比所需的能量。

表 6 及表 7 的數據顯示四個界面參數，除了 D 值維持 0.99 外其 K、q_y 與 Γ 值皆隨著鋼筋混凝土漆封界面間的不同而有不同的趨勢。由表 6 可知，其顯示 K 值與鋼筋與混凝土間界面強度的關係，K 值在控制組時最大，而其他漆封鋼筋混凝土以環氧樹脂摻砂漆封的 K 值回復最好。因此由 K 的變化可顯示，以環氧樹脂摻砂漆封的鋼筋會加強握裹界面的勁度，使界面愈趨向剛性。就 q_y 值而言，主要反映混凝土與鋼筋間卡樁阻力及黏結效應的組合，而以竹節剛筋而言，握裹強度以卡樁阻力為主，因此 q_y 值可被作為反應卡樁阻力的參數。就 Γ 值而言，主要與材料界面的化學鍵結有關。q_y 值與 Γ 值和 K 值相同，在控制組時最大，而其他漆封鋼筋混凝土以環氧樹脂摻砂漆封的 K 值回復最好。就 D 值而言，其代表殘餘單位長度剪應力與 q_y 的百分比，因此可知於解鍵後其卡樁力與摩擦阻力效應仍然很強。

五、結論

1. 相對於純環氧樹脂漆封，環氧樹脂混砂漆封會有較好的抗力機構。尤其是環氧樹脂摻砂漆封，它可使握裹力回復到接近無漆封鋼筋的程度。
2. 上述各種形式之漆封鋼筋都確實能達到防蝕的目的。
3. 用 epoxy 塗料去漆封鋼筋表面，在相同

的拉拔應力下，其所受的側向劈裂壓力會增大。改善漆封型式可以增加界面間的握裹力，但卻無法抵抗較剛性混凝土所產生的劈裂破壞。

4. 根據理論計算，改善漆封型式將會提高鋼筋與混凝土間的界面參數。

六、計畫成果自評

本計畫得到初步的結果，至於確實能提高塗料結合能力之原因，究竟是因為塗料性質因添砂而改變為更良好抑或是因塗料結合面變得更粗糙所致，則擬再做進一步的研究。

七、參考文獻

- [1] 蔡佐良，“提高混凝土對漆封鋼筋握裹力的研究”，中華民國第三屆結構工程研討會論文集(二)，1996 Kenting Taiwan R.O.C, pp.651-660
- [2] Treece, R. A. and Jirsa, J. O., “Bond Stress of Epoxy-Coated Reinforcing Bars”, ACI Materials Journal, Vol.86, No.2, pp.167-174, 1989
- [3] 張建智、黃然、葉為忠及楊仲家，“PU 塗料塗封鋼筋對鋼筋混凝土握裹行為影響之研究”，第二屆結構工程研討會暨國科會工程處結構工程專題研究成果研討會論文集(一)，1994, Nov.4-6, Nantou, Taiwan, R.O.C., pp.110-118
- [4] Homayoun H. Abrishami, William D. Cook and Denis Mitchell, “Influence of Epoxy-Coated Reinforcement on Response of Normal and High-Strength Concrete Beams”, ACI Structural Journal, March-April 1995, pp.157-166
- [5] Stang, H., Li, Z., and Shah, S. P., “Pullout Problem: Stress Versus Fracture Mechanical Approach”, Journal of Engineering Mechanics, Vol.116,
- [6] W. Yeih; R.Huang; J.J.Chang; C.C. Yang, “A Pullout test for Determining Interface Properties between Rebar and Concrete”, Submitted for Publishing in ACBM Journal.No.10, pp.2136-2149, 1990

表 1 混凝土之配比

設計強度 (psi)	w/c	單位: kg/m ³			
		水泥	水	粗骨材	細骨材
4500	0.58	345	200	750	1090

表 2 漆封鋼筋界面變化範圍

變化	範圍
漆封種類	純環氧樹脂漆封、環氧樹脂沾標準砂漆封及環氧樹脂摻標準砂漆封
級配	通過#8 停留在#16 篩之粗砂 通過#16 停留在#30 篩之細砂
重量比	2:1、3:1 的砂與環氧樹脂重量比

表 3 拉拔試驗最大載重--位移表

形式	編號	Max-load (t.)	Max-disp. Max-load (mm)	備註
無漆封	1	2.878	0.22	握裹破壞
	2	2.892	0.19	握裹破壞
	3	2.954	0.21	握裹破壞
	4	2.682	0.225	握裹破壞
純漆封	1	2.352	0.21	劈裂破壞
	2	2.301	0.23	劈裂破壞
	3	2.555	0.285	握裹破壞
	4	2.509	0.24	握裹破壞
標準砂 沾砂	1	2.628	0.26	握裹破壞
	2	2.378	0.28	劈裂破壞
	3	2.273	0.395	握裹破壞
	4	2.582	0.25	握裹破壞
標準砂 摻砂	1	2.722	0.22	劈裂破壞
	2	2.901	0.27	握裹破壞
	3	2.629	0.29	握裹破壞
	4	2.625	0.26	握裹破壞

表 4 鋼筋開路電位值 (Volts, SCE)

組別 天數	無漆封	純漆封	標準砂 沾砂	粗砂 沾砂	細砂 沾砂	標準砂 摻砂	粗砂 摻砂	細砂 摻砂
0	-0.535	-0.470	-0.465	-0.490	-0.475	-0.540	-0.510	-0.490
1	-0.620	-0.550	-0.530	-0.585	-0.560	-0.580	-0.580	-0.515
2	-0.632	-0.550	-0.540	-0.588	-0.552	-0.550	-0.583	-0.540
3	-0.640	-0.560	-0.540	-0.590	-0.575	-0.550	-0.560	-0.535
4	-0.645	-0.560	-0.535	-0.570	-0.580	-0.552	-0.565	-0.540
5	-0.630	-0.520	-0.560	-0.585	-0.570	-0.555	-0.570	-0.535
6	-0.650	-0.560	-0.572	-0.590	-0.580	-0.562	-0.575	-0.542
7	-0.670	-0.560	-0.565	-0.578	-0.575	-0.550	-0.565	-0.540

表 5 鋼筋腐蝕速率 (DC method) (單位 mpy)

組別 天數	無漆封	純漆封	標準砂 沾砂	粗砂 沾砂	細砂 沾砂	標準砂 摻砂	粗砂 摻砂	細砂 摻砂
1	40	3	0.5	2	0.5	0.4	0.9	1
2	130	2.8	1.3	4	1.4	0.3	1	0.3
3	160	1	3	3	0.5	0.5	5	1
4	170	2	6.5	5.7	1.5	0.3	1.5	1.5
5	190	2.5	6	5.2	2	0.9	2.2	1.5
6	150	2.2	3.2	5	2.3	0.4	2	0.7
7	150	3	4	5.4	2	0.3	2.8	1

表 6 拉拔參數 K、q_y 值一覽表

型式	No.	K (kg/cm ²)	平均 K (kg/cm ²)	q _y (kg/cm)	平均 q _y (kg/cm)
無漆封	1	38766.06	36589.72	465.193	447.678
	2	34413.38		430.163	
純漆封	1	22032.58	21750.515	330.487	326.334
	2	21468.45		322.177	
沾砂	1	23914.46	23374.34	334.631	332.984
	2	22834.22		331.336	
摻砂	1	31266.12	32055.19	437.726	427.140
	2	32795.31		426.339	
	3	32104.15		417.354	

表 7 拉拔參數 Γ、D 值一覽表

型式	No.	Γ (N-m/m ²)	平均 Γ (N-m/m ²)	D	平均 D
無漆封	1	4.495	4.412	0.99	0.99
	2	4.330		0.99	
純漆封	1	3.992	3.913	0.99	0.99
	2	3.835		0.99	
沾砂	1	4.311	4.284	0.99	0.99
	2	4.257		0.99	
摻砂	1	4.935	4.587	0.99	0.99
	2	4.463		0.99	
	3	4.367		0.99	

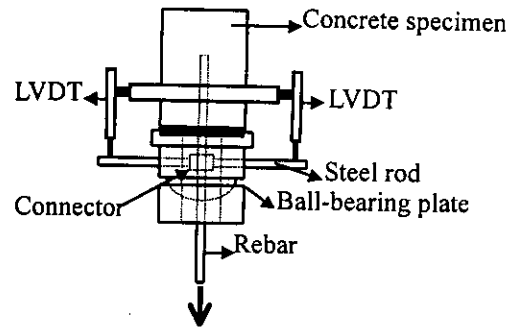


圖 1 鋼筋滑動量量測安排

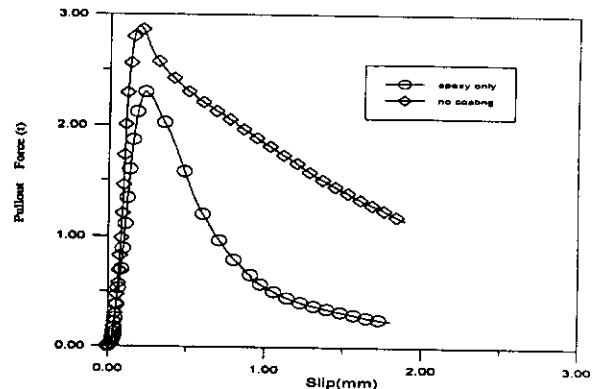


圖 2 無漆封與純環氧樹脂漆封之荷重-位移圖

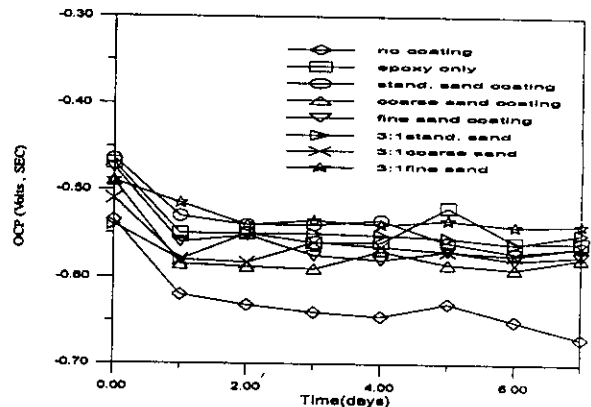


圖 3 各漆封鋼筋之開路電位比較

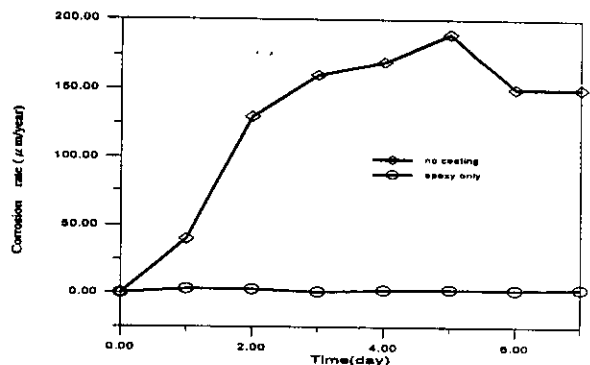


圖 4 腐蝕速率比較圖