

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

環氧樹脂塗佈鋼筋高溫下之握裹力

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-009-044-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系

計畫主持人：鄭復平

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 1 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

環氧樹脂塗佈鋼筋在高溫下之握裹力

計畫編號：NSC92-2211-E-009-044

執行期限：民國 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：鄭復平 執行機構及單位名稱：國立交通大學土木工程

一、 中文摘要：

塗裹環氧樹脂能將鋼筋和有害的環境完全隔絕，有效防止鋼筋的腐蝕。可是在不可預期的火害下，承受火場高溫的環氧樹脂將會融解甚至蒸發。

本實驗計畫旨在探討各種高溫下，耐腐蝕用的環氧樹脂塗佈鋼筋(Epoxy coated reinforcement)在混凝土內之握裹力變化。

本實驗主要步驟為將不同尺寸不同塗裹厚度之環氧樹脂塗佈鋼筋以各種深度埋置於混凝土試體中，並在不同高溫之下進行拉拔試驗。

研究結果發現，加熱至攝氏兩百度後，由於環氧樹脂融解而造成握裹力迅速下降，至六百度後環氧樹脂幾乎蒸散殆盡，加上混凝土內部乾裂鬆動，混凝土和鋼筋之間幾乎完全失去其握裹能力。

Abstract

The use of epoxy coating provides permanent protection of reinforcing steels against the exposure to harmful environment and practically prevents corrosion of reinforcing steel. However, in the case of unexpected fire, epoxy coating subjected to

elevated temperature will be melted or even be vapor.

The major concern of this research is to explore the influence of elevated temperature exposure on the bonding capability of the epoxy coated reinforcement. The relationship between bonding force at different temperatures is executed.

The results showed that the bonding capability decreases due to the exposure to high temperature.

二、 背景與目的：

在沿海地區興建的結構物由於長期遭受空氣中鹽份的侵襲，在港灣設施泡在水中的結構物及化學工廠等結構物，由於所處的環境充滿造成鋼筋混凝土中腐蝕鋼筋的因子，鋼筋防止腐蝕措施便是這類結構物設計的一大挑戰，如果沒有妥善的考慮鋼筋腐蝕問題，輕者減少結構物的使用壽命，重者造成結構物塌損，不但造成財產損失，也可能產生人員的傷亡。

目前在應付鋼筋腐蝕問題設計上大致上可分為三類；(1)藉由改善混凝土品質，(2)使用陰極防蝕，(3)鋼筋施以塗料保護。而在鋼筋外施以塗料保護，是三者中唯一能將造成腐

蝕鋼筋的因素直接排除的一種方法，但是這種方法也有副作用，也就是會降低鋼筋與混凝土間的握裹力，防止鋼筋腐蝕的能力會隨著塗料厚度的增加而更顯著，但很不幸的是，隨著塗料厚度的增加，鋼筋與混凝土間的握裹力卻逐漸的降低。在鋼筋外施加塗料的方法以鍍鋅及環氧樹脂使用較多，鍍鋅鋼筋大多使用熱鍍方式，此方法不但降低鋼筋與混凝土間的握裹力，也會造成鋼筋延展性的降低。使用環氧樹脂塗鋼筋表面雖然沒有造成鋼筋延展性的降低的疑慮，同樣會有降低鋼筋與混凝土間的握裹力，尤其是在承受高溫時，環氧樹脂在攝氏二百度左右便融解，但是鋼筋仍然有竹節可提供握裹力，再加上在高溫下混凝土強度降低，其機制將十分複雜。

本計畫將探討鋼筋以環氧樹脂塗佈(Epoxy coated reinforcement)埋置於混凝土中作為抗拉構材，並以不同塗佈厚度、不同鋼筋尺寸、不同埋入深度於相同強度混凝土中，於各種高溫環境下，探究其握裹力及破壞模式之關係以及受高溫之可行性。

三、試體製作與試驗方法：

(一) 試體規劃：

本實驗試體埋置之鋼筋塗佈環氧樹脂(Epoxy coated reinforcement)分為兩種尺寸(#4、#6)，埋置深度依鋼筋尺寸不同而分為(1)#4 鋼筋埋置深度為 5、10、15 倍直徑(2)#6 鋼筋埋置深度為 10、15、20(圖一)，環氧樹脂塗佈厚度分為三種(未塗佈、一

層、兩層)，試體中心加熱溫度方面，#6 鋼筋試體為室溫、100°、200°、400°、600°五種溫度；#4 鋼筋試體，由於握裹能力到 400°時已消失殆盡，故#4 鋼筋試體方面，將 600°試體改為 300°，其加熱溫度為室溫、100°、200°、300°、400°，共有 90 組試體總數 270 個。

本研究環氧樹脂之塗佈經多次試驗，採行塗佈 2 層與 4 層作為比較。而#4 鋼筋塗佈兩層之膜厚其節頂在 86 μm ~125 μm ，節底在 92 μm ~131 μm 之間；塗佈四層之膜厚其節頂在 226 μm ~345 μm ，節底則在 202 μm ~291 μm 之間。#6 鋼筋塗佈兩層之膜厚其節頂在 150 μm ~243 μm ，節底在 118 μm ~178 μm 之間；塗佈四層之膜厚其節頂在 449 μm ~599 μm ，節底則在 423 μm ~529 μm 之間。

(二) 試驗方法：

握裹力測試的設備架設(如圖二)，為將已埋入 Epoxy coated reinforcement 之混凝土試體放入電熱式高溫爐中，然後架設支撐鐵架並在其中間位置放置變位量測系統以量測拉拔時鋼筋於試體面的位移變化，接著將油壓缸由上而下小心穿過鋼筋後放置於支撐鐵架上，然後放上 Load cell 並墊上一塊墊片使得 Load cell 及夾具間的接觸面較平整以避免產生應力集中，最後將夾具裝上。設備架設完畢後，開啟電熱式高溫爐依設定之加熱曲線加熱至一定溫度後利用油壓裝置以 2.2ton/min 的拉拔速率下開始拉拔鋼筋，並擷取讀數。

四、結果與討論：

(一)握裹試驗與破壞模式：

本握裹試驗之破壞模式有拉拔破壞及劈裂破壞兩種形式，埋置#4 鋼筋試體之握裹試驗均為拉拔破壞。埋置#6 鋼筋試體之破壞情形則與埋置深度有關，其中埋置 10D 在各塗層厚度及各溫度下，破壞模式為拉拔破壞與些微之表面劈裂破壞(圖三);埋置 15D 之試體於室溫及 100 時為劈裂破壞，400 至 600 時，有時為劈裂有時為拉拔破壞，這是因混凝土在高溫下強度折減較大而易使混凝土劈裂;埋置 20D 之試體於室溫、100、200 時均為劈裂破壞，400 及 600 加熱下，則為拉拔破壞，但混凝土表面有多處高溫環境下造成之裂紋。

(二)高溫握裹試驗與鋼筋塗層破壞：鋼筋塗佈之環氧樹脂於試驗之破壞與試驗加熱之溫度有關，而與埋置深度、鋼筋號數無關，在試體中心為室溫情況下之握裹試驗，環氧樹脂塗層並未破壞，僅有表面之磨損，而溫度為 100、200、300 時之握裹試驗，環氧樹脂均有脫落情形，且隨溫度增高脫落越嚴重，這顯示所塗佈之環氧樹脂在 100 時，其與鋼筋黏結效果已受影響，再溫度 400、600 之下，鋼筋表面呈現黑色而環氧樹脂塗層均已消失(如圖所示)。

(三)握裹試驗之握裹應力：

埋置#6 鋼筋之試體，在常溫下其握裹試驗之握裹應力，塗佈環氧樹脂者會有約 6%以上之握裹應力折減，且塗佈越厚折減越多；在 100 時，未塗佈者約折減 48%~61%之握裹應力，而塗佈環氧樹脂者之折減率，大致較未塗佈者大，但變化也大；至於加熱至 200 後，握裹應力折減會增大，約將近有 80%之折減。埋置#4 鋼筋之試體，在常溫下其握裹應力，塗佈環氧樹脂之鋼筋會較沒有塗佈之鋼筋有較大之握裹應力，這可能是環氧樹脂改變了鋼筋竹節之外徑，而增加了鋼筋竹節與混凝土間之互鎖面積所造成；在 100 時，未塗佈者約折減 25%~48%之拉拔力，而塗佈環氧樹脂者之折減率，均明顯較未塗佈者大，約在 60%以上，應是環氧樹脂所增加之竹節外徑在高溫下產生質變，而使握裹應力大幅下降；至於加熱至 200 後，未塗佈者拉拔力折簡約提昇至 60%，而塗佈環氧樹脂者，拉拔力折減約近有 80%，拉拔力降低情形明顯(圖四~圖二十一)。

五、計畫結果與自評：

本計畫使用相同強度混凝土試體，不同尺寸及不同埋入深度的環氧樹脂塗佈鋼筋(Epoxy Coated Reinforcement)，在不同溫度的環境下，量測其破壞模式及握裹力與位移及溫度間的關係，以及 Epoxy Coated Reinforcement 遇熱後產生的變化。

實驗有幾點要注意的就是：

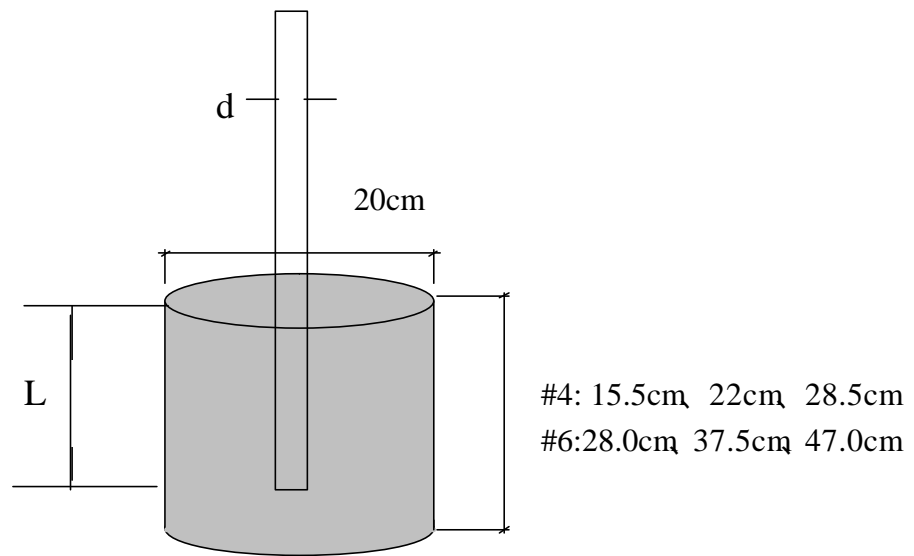
- 1.環氧樹脂塗佈之厚度非常薄，與工作時間及環氧樹脂流動方向有關，在做塗佈時應小心控制，以減少各試體間塗層厚度之差異，影響試驗變異。
- 2.加壓設備方面，要維持固定的加壓速率，加壓速率過快或過慢會影響實驗結果。
- 3.在 LVDT 的架設方面，需注意要盡量將 LVDT 固定到不會搖晃的程度，因為 LVDT 屬於精密儀器，一點點晃動都可能產生很大的誤差。
- 4.量測滑移量時，固定於鋼筋上之固定器應僅量鎖緊，以面造成加熱後環氧樹脂質變而鬆脫。

六、參考文獻

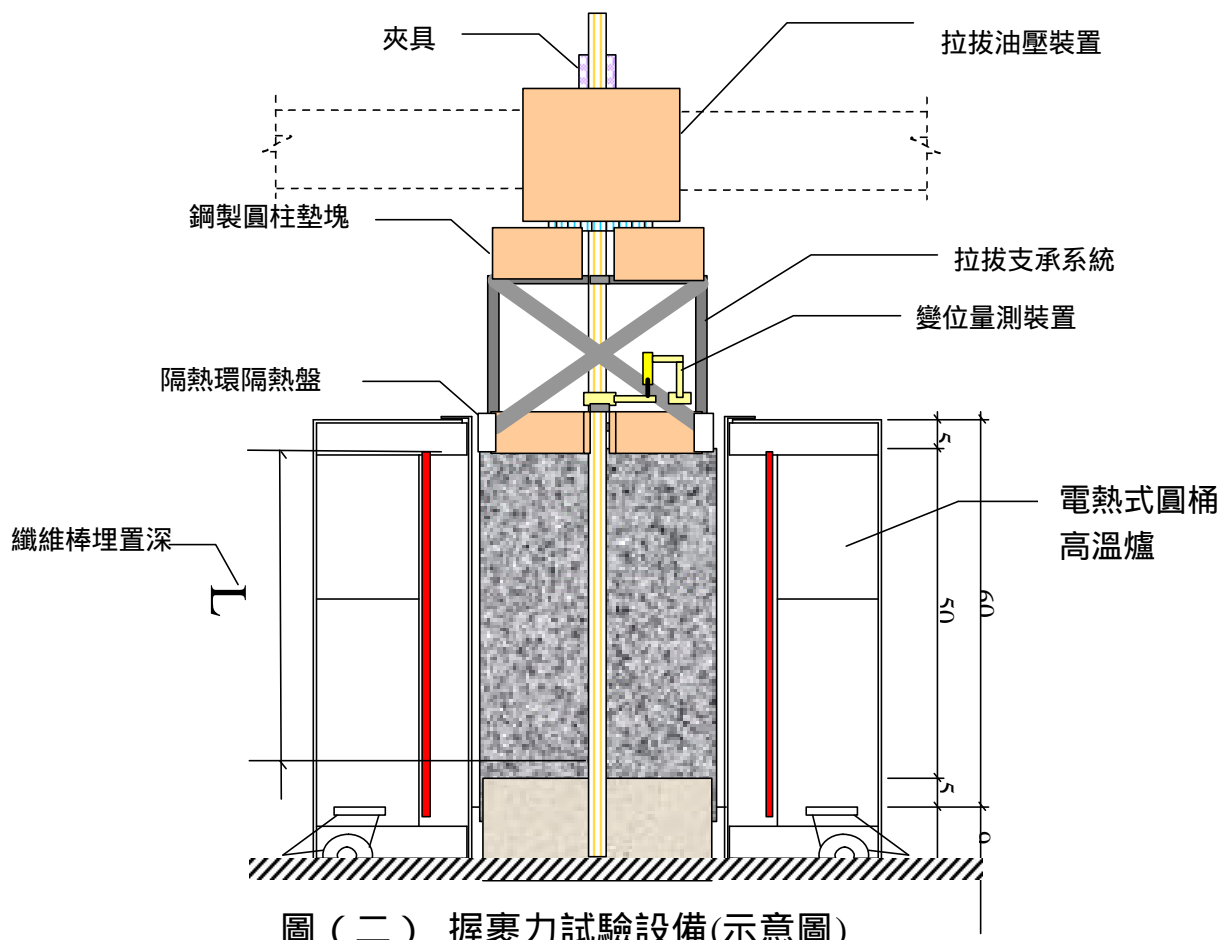
1. Maruyama,T. ;Honma,M. ;and Okamura,H., "Experimental Study on the Diagonal Tensile Characteristic of Various Fiber Reinforced Plastic Rods,"
2. Orangun,C.O; Jirsa,J.O; and Breen J.E,"A reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal Proceeding"
3. ACI Committee 408, "suggested Development, Splice and Standard Hook Provisions for Deformed Bar in Tension"
4. Phil, M.F. and J.N. Thompson, "Development Length of High Strength Reinforcing Bar in Bond," ACI Journal
5. Lutz, L.A. and P. Gergely, " Mechanics of Bond and Slip of Deformed Bars in Concrete," ACI Journal
6. Ezeldin and Balaguru," Bond Behavior of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete," ACI Materials Journal
7. Brettmann, B.B., D.Darwin, and R.C. Donahey, "Bond of Reinforcement to Superplasticized Concrete," ACI Journal
8. Okamura, H., "High Performance Concrete", Report , Concrete Lab., Department of Civil Eng. ,University of Tokyo,1991
9. Calspan-UB Research Center, "Mechanical Behavior of High-Performance Concrete, " Report C-205,1988
10. Rasheeduzzafar, Ali, M. G. and Al-Sulaimani, G. J. " Degradation of Bond between Reinforcing Steel and Concrete Due to Cathodic Protection Current", ACI Material Journal, V. 90, No. 1, Jan.-Feb. 1993, pp 8-15.
11. Choi, O. C.; Hadje-Ghaffari, H.; Darwin, D. and McCabe, S. " Bond of Epoxy Coated Reinforcement Bar : Bar Parameter", ACI Materials Journal, V. 88,No. 2, Mar.-Apr. ,1991, pp 207-217.
12. Darwin, D. and Graham, E. K. "Effect of Deformation Height and Spacing on Bond Strength of Reinforcing Bar", ACI Structural Journal, V. 90, No. 6. Nov.-Dec., 1993, pp647-657.
13. Treece, R. A. and Jirsa, J. O. " Bond Strength of Epoxy Coated Reinforcing Bar", ACI Materials Journal, V. 86, NO. 2, Mar.-Apr., 1989, pp 167-184.
14. Eligehausen, R. ; Popov, E. P.and Bertero, V. V. " Local Bond Stress-Slip Relationships of Deformed Bar Under Generalized Excitations", Report No. UCB/EERC 82-23, Earthquake Engineering Research Center, University of

California at Berkeley, Oct. 1983

15. Rehm, G. and Eligehausen, R.
“ Bond of Ribbed Bars Under
High –Cycle Repeated Loads”, ACI
Journal Proceedings, V. 76, No. 2,
Feb. 1970. pp 297-310.
16. ACI“ Splice and Development
Length of High Relative Rib Area
Reinforcing Bar in Tension”, ITG
report 1998.
17. 吳建國，黃然，梁明德等“ 混
凝土橋梁鹽份腐蝕問題之研究”，交
通部國道興建工程局研究報告編號
031，053 及 073



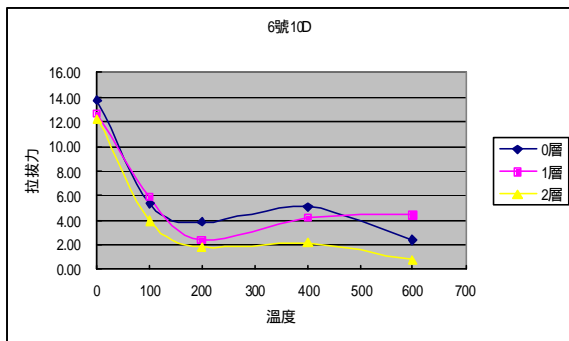
圖（一）握裹強度試驗試體規格及 Epoxy Coated reinforcement 埋置方式



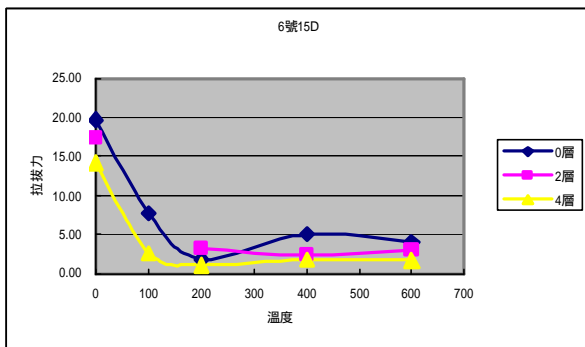
圖（二）握裹力試驗設備(示意圖)



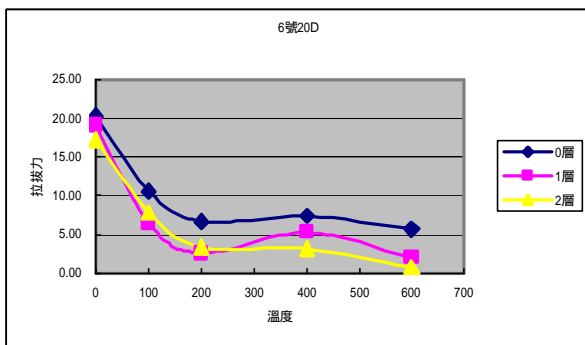
圖(三) 拉拔後的試體外觀



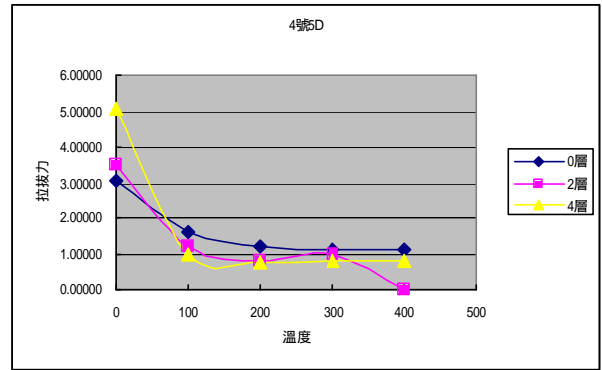
圖(四) 埋置 10D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之拉拔力



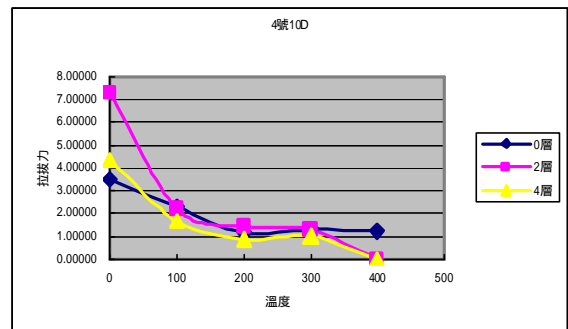
圖(五) 埋置 15D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之拉拔力



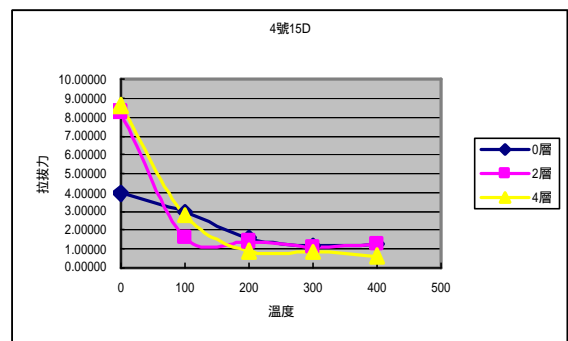
圖(六) 埋置 20D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之拉拔力



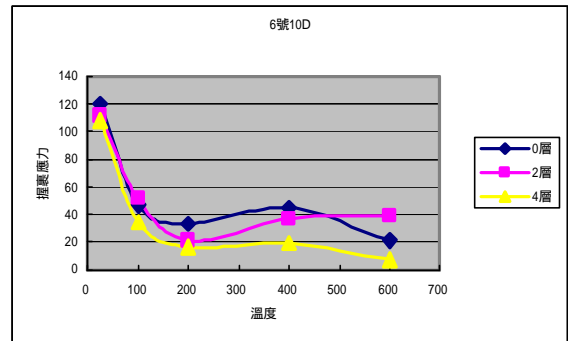
圖(七) 埋置 5D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之拉拔力



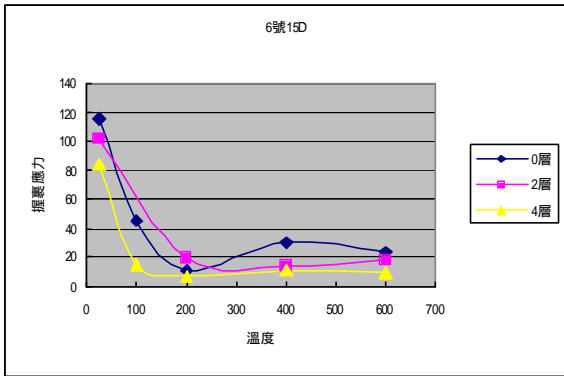
圖(八) 埋置 10D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之拉拔力



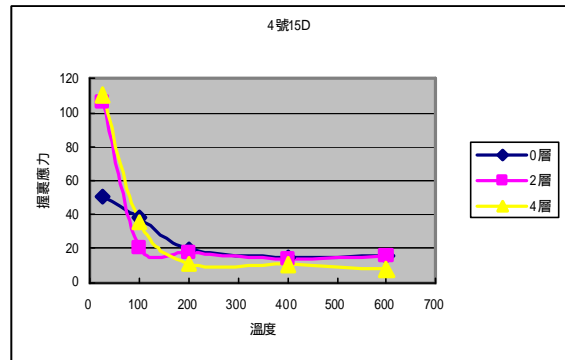
圖(九) 埋置 15D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之拉拔力



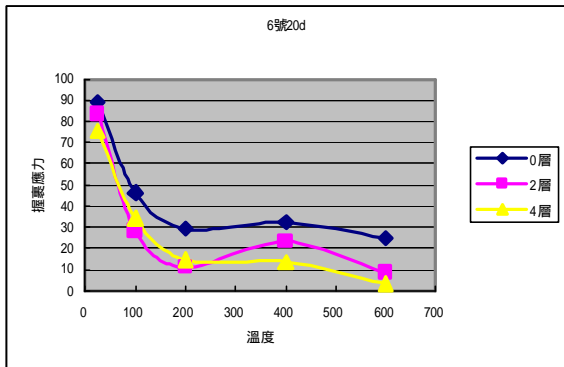
圖(十) 埋置 10D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力



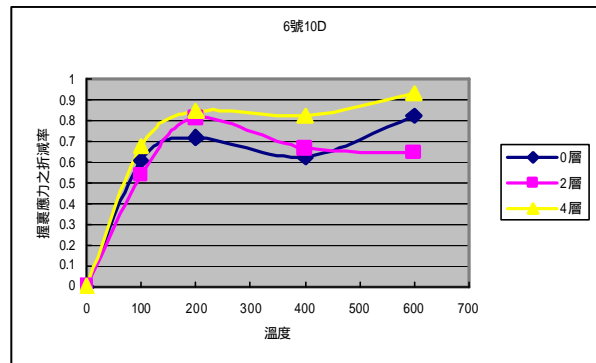
圖(十一) 埋置 15D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力



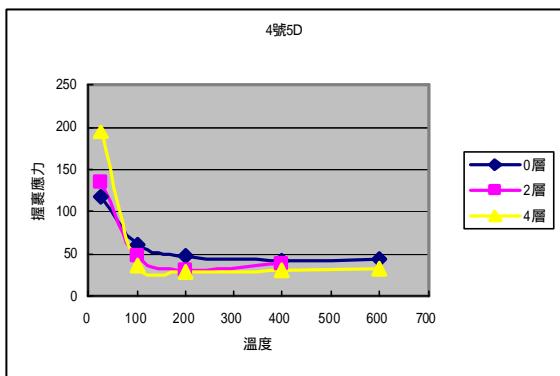
圖(十五) 埋置 15D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力



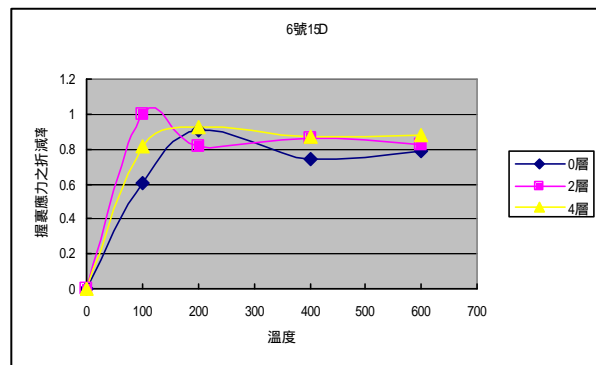
圖(十二) 埋置 20D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力



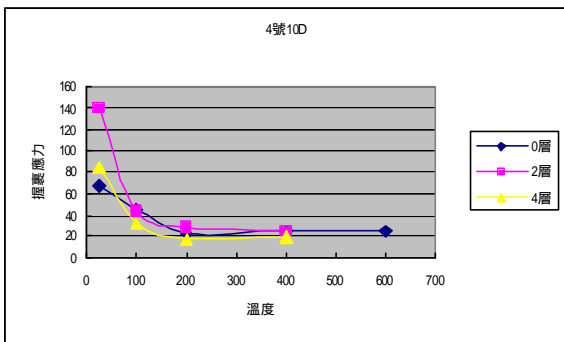
圖(十六) 埋置 10D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力之折減情形



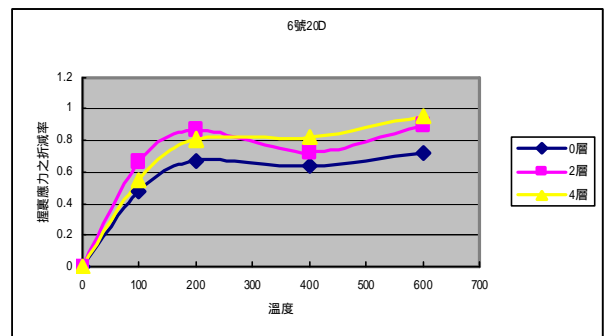
圖(十三) 埋置 5D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力



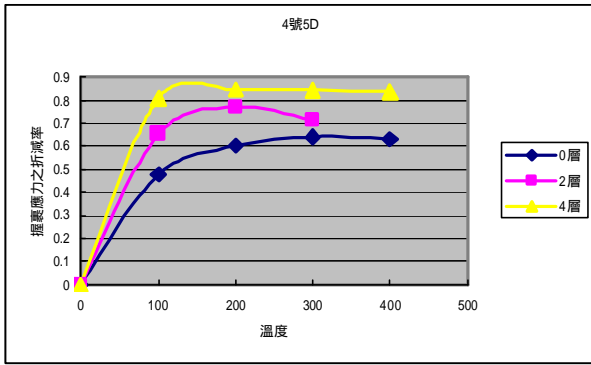
圖(十七) 埋置 15D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力之折減情形



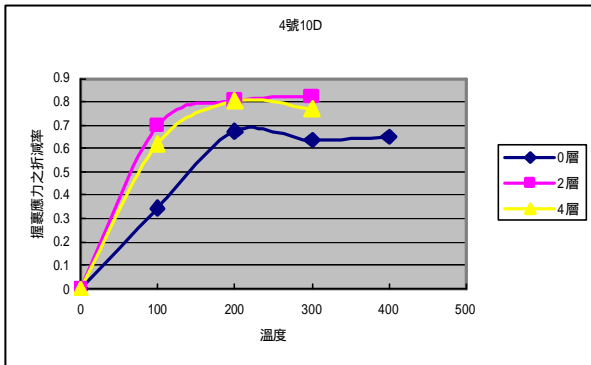
圖(十四) 埋置 10D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力



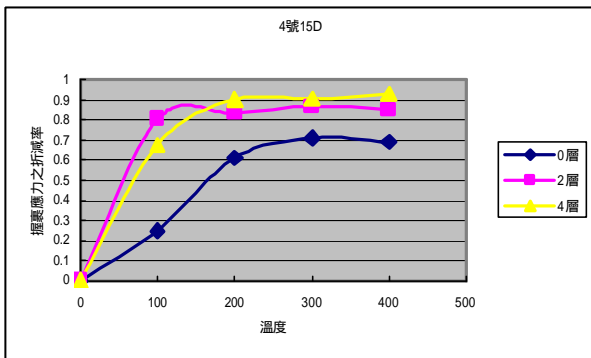
圖(十八) 埋置 20D#6 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力之折減情形



圖(十九) 埋置 5D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力之折減情形



圖(二十) 埋置 10D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力之折減情形



圖(二十一) 埋置 15D#4 鋼筋試體,在高溫環境下之握裹應力之折減情形