

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

高強度混凝土與環氧樹脂塗佈鋼筋在高溫下之握裹力

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-009-025-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

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 94 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高強度混凝土與環氧樹脂塗佈鋼筋在高溫下之握裹力

計畫編號：NSC 93-2211-E-009-025

執行期限：民國 93 年 8 月 1 日至 94 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：

環氧樹脂能將鋼筋和高鹼性等惡劣環境完全隔絕，因而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。

本實驗計畫旨在研討各種高溫下，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#6 鋼筋塗裹不同厚度之環氧樹脂 (Epoxy coated reinforcement) 以各種埋置深度於不同強度混凝土試體中，並在不同穩態高溫之下進行拉拔試驗，過程中並量測鋼筋與試體頂面之滑動位移及下端鋼筋與試體底面的滑動位移。

研究結果發現，鋼筋塗裹環氧樹脂會減低其握裹應力，隨著溫度升高而降低，塗裹較厚者 (300 μ m)，其握裹應力較低，在穩態高溫下亦同。混凝土強度 340kg/cm² 與 426kg/cm² 在不同溫度下握裹應力衰減不同，較高強度混凝土其握裹應力衰減會較明顯。

Abstract

The use of epoxy coating provides permanent protection of reinforcement bars against exposure to high-alkali environment and prevents the corrosion of reinforcement bars. However, in case of unexpected fire, epoxy coatings subjected to extreme temperature will melt or even vapor.

The major concern of this research project is to study the effects of elevated temperature on the bonding capability of the epoxy coated reinforcement. The relationship between bonding force and slip displacement at different temperatures is executed.

The results showed that the bonding capability decreases due to the exposure to high temperature and the thickness of epoxy coating. The failure mode changed with embedded length.

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 Epoxy Coated reinforcement 應用於混凝土作為抗拉構材受高溫之可行性以及不同塗佈厚度、不同埋入深度之 Epoxy Coated reinforcement 於不同強度混凝土中受高溫下的握裹力及破壞模式之關係。

三、試體製作與試驗方法：

(一) 試體規劃：

本實驗試體混凝土強度為 340kg/cm^2 、 426kg/cm^2 兩種，埋置之 Epoxy Coated Reinforcement 尺寸為 #6，埋置深度為 15、20 倍鋼筋直徑 ($15d_b$ 、 $20d_b$)，環氧樹脂塗佈厚度分為三種 (未塗佈、 $150\mu\text{m}\pm 20\mu\text{m}$ 、 $300\mu\text{m}\pm 20\mu\text{m}$)，試體為 20cm 圓柱試體 (圖一)，試體加熱溫度方面，將試體以每分鐘 2 加熱至目標穩態溫度：室溫、 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $600\text{ }^\circ\text{C}$ 五種溫度，加，共有 60 組試體總數 120 個。

(二) 試驗方法：

握裹力測試的設備架設如圖三及圖四所示，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 90(圖二)加熱至試體達穩態目標溫度後利用油壓裝置以每分鐘 2 噸的拉拔速率下開始拉拔鋼筋，並擷取讀數。

四、結果與討論：

(一) 破壞模式

在常溫下，鋼筋所塗裹之環氧樹脂，並無明顯損壞。在 100 ℃ 試驗溫度下，除竹節凸起 Interlock 處有輕微破損情形外，其餘處尚屬完整。在 200 ℃ 時，環氧樹脂塗層表面有碳化情形，竹節處環氧樹脂因拉拔試驗而剝落。加熱溫度為 400 °C 時環氧樹脂層呈現軟化後不完整情形。加熱溫度為 600 ℃ 的高溫下，塗裹層幾乎完全蒸發，在竹節上可發現和混凝土相互拉扯摩擦的痕跡(圖六)。

鋼筋拉力握裹試驗試體破壞模式，當埋置深度為 15 倍鋼筋直徑時，在常溫、100 ℃、200 ℃ 加熱溫度下，試體形成脆裂性的劈裂破壞成二至三塊。在 400 ℃、600 ℃ 的高溫下，試體有劈裂情形的裂縫產生，但試體尚保持完整，400 ℃ 劈裂之裂縫寬度較 600 ℃ 大。

當埋置深度為 20 倍鋼筋直徑時，在常溫、100 ℃、200 ℃ 時會有鋼筋斷裂情況發生，但是當溫度再增高時，試體仍然是劈裂破壞，由於竹節的作用不會和碳纖加強筋一樣，有抽離現象發生(圖七~圖十一)。

(二) 環氧樹脂塗佈厚度影響

鋼筋塗裹環氧樹脂在各種穩態

高溫下其握裹應力都會降低，塗裹越厚握裹應力折減越多，在高溫下亦同。當埋置深度為 15 倍鋼筋直徑時，環氧樹脂塗佈厚度之影響較大，埋置深度為 20 倍鋼筋直徑時之影響相對較小(圖十二~圖十五)。

(三) 溫度之影響

混凝土強度 426kg/cm²其在穩態高溫 100 ℃、200 ℃ 下握裹強度折減較 340kg/cm²來得明顯，但在 200 ℃ 至 400 ℃ 間 340kg/cm²強度之混凝土之握裹力持續下降，426kg/cm²強度之混凝土握裹力幾乎不變。在 200 ℃ 至 400 ℃ 間兩種強度的混凝土握裹力折減的幅度相差不多，這應與高強度混凝土有較高的粗骨材含量有關(圖十六~二十一)。

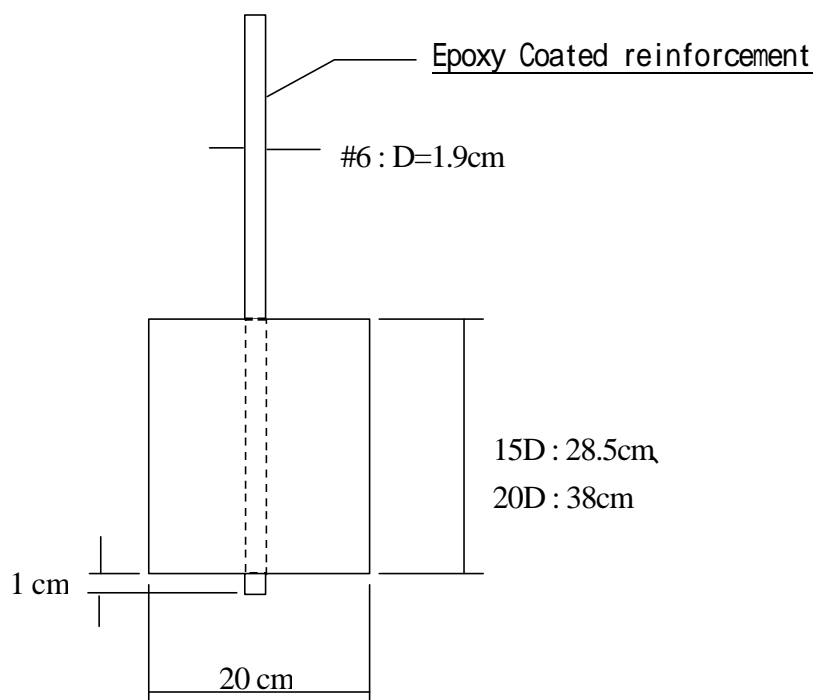
五、計畫結果與自評：

本計畫使用不同強度混凝土試體，不同埋入深度的環氧樹脂塗佈鋼筋，在不同穩態溫度的環境下，量測其破壞模式及握裹力與位移及溫度間的關係，本次試驗之 Epoxy Coated Reinforcement 委託有工程實績之專業廠商加工製造，塗裹厚度較準確且均勻，唯 150 μm 與 300 μm 之塗裹厚度對握裹應力影響之差異尚不大，應可再加厚塗裹厚度實驗之。

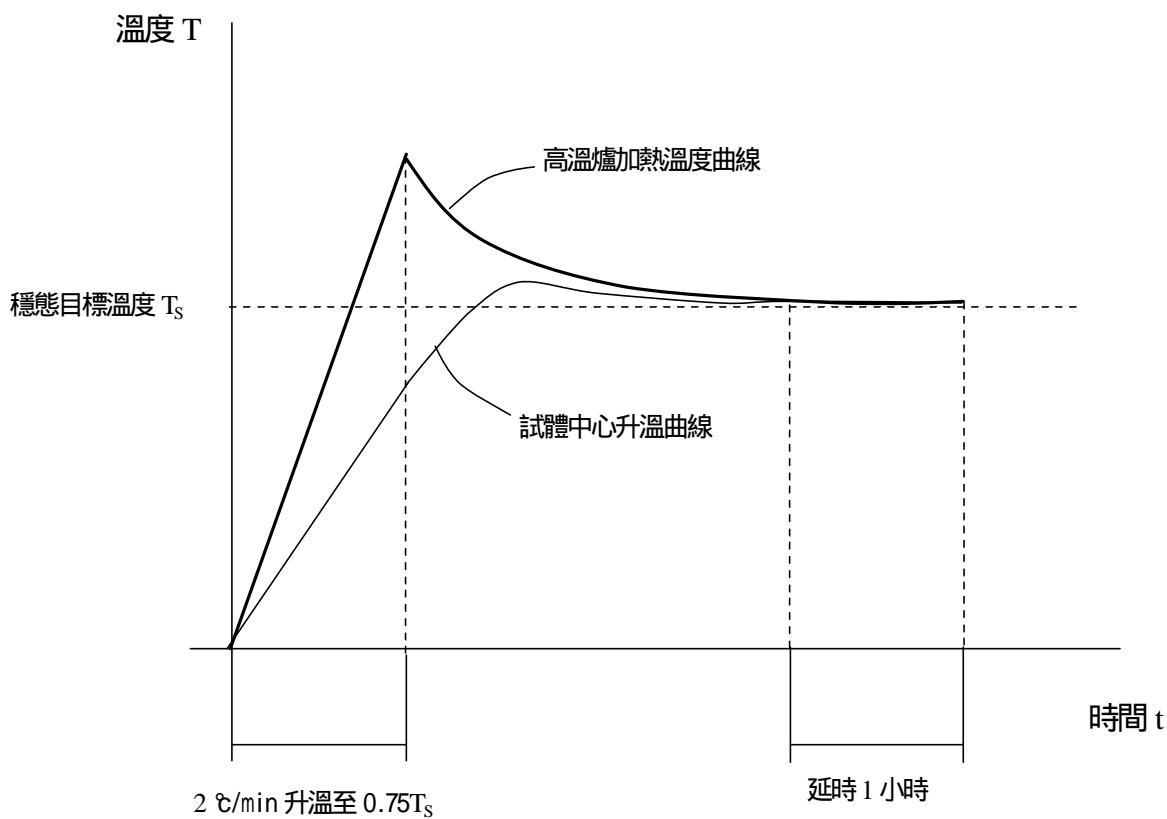
高強度混凝土強度受骨料品質影響較大，尤其當混凝土強度在 6000psi 以上時。此次試驗本預期 426kg/cm²有更高之強度，但配合之混凝土料廠，粗骨材強度較低，至 8000psi 混凝土強度配比，只達到 6000psi，使混凝土強度之比較級距變小。

六、參考文獻

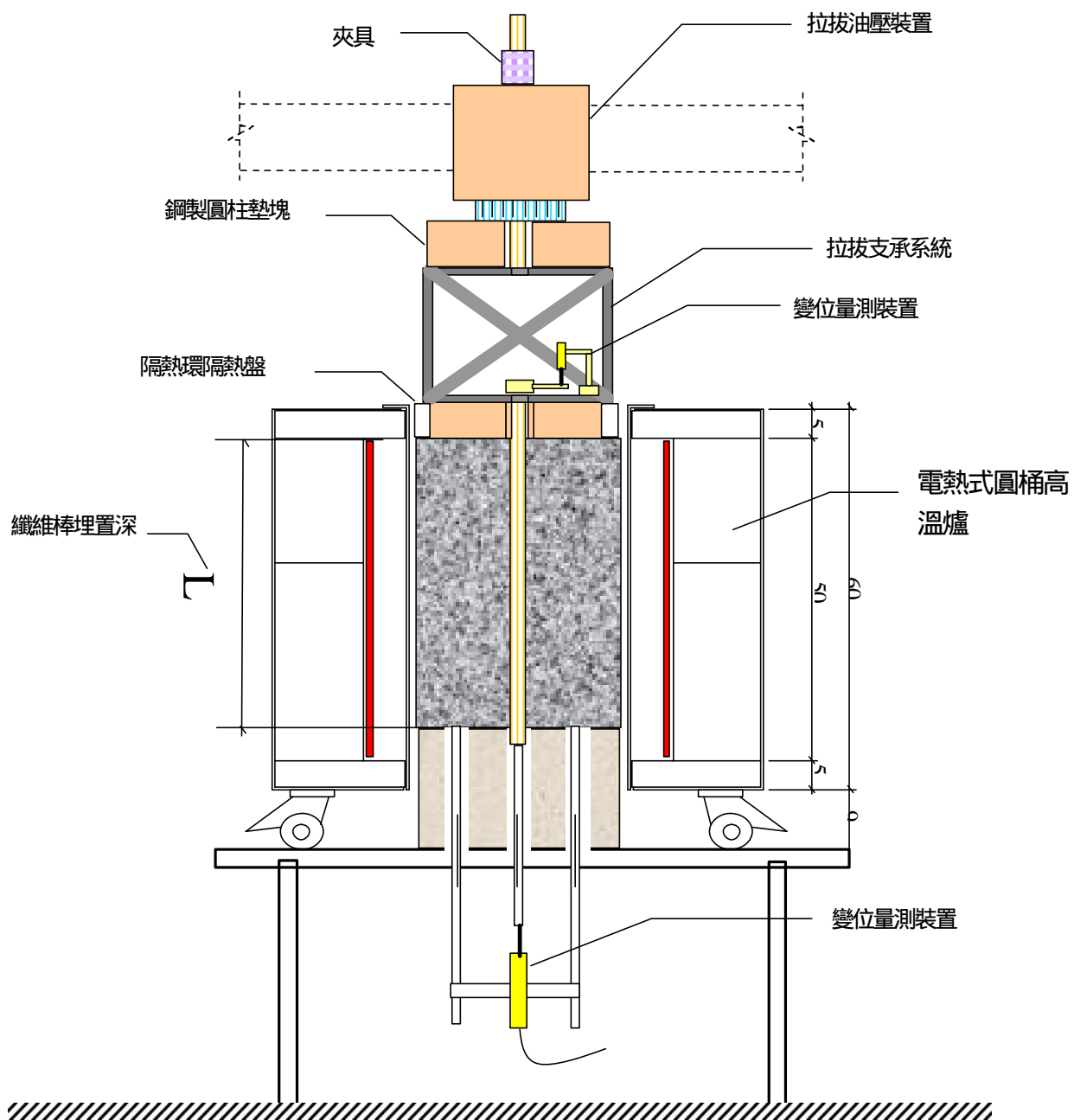
1. Maruyama, T.; Honma, M.; and Okamura, H., "Experimental Study on the Diagonal Tensile Characteristic of Various Fiber Reinforced Plastic Rods,"
2. Orangun, C.O.; Jirsa, J.O.; and Breen J.E., "A reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal Proceeding"
3. ACI Committee 408, "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., Dept. of Civil Engineering, 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, pp 647-657.
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）試體加熱曲線



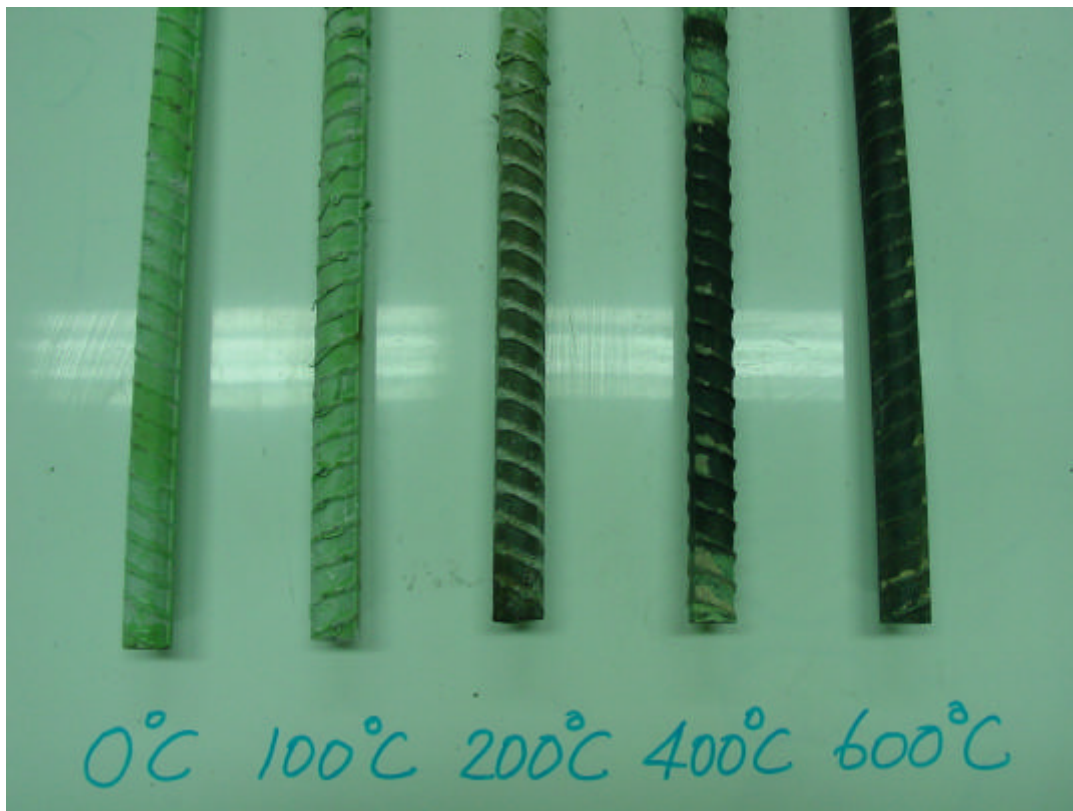
圖(三) 握裹力試驗設備(示意圖)



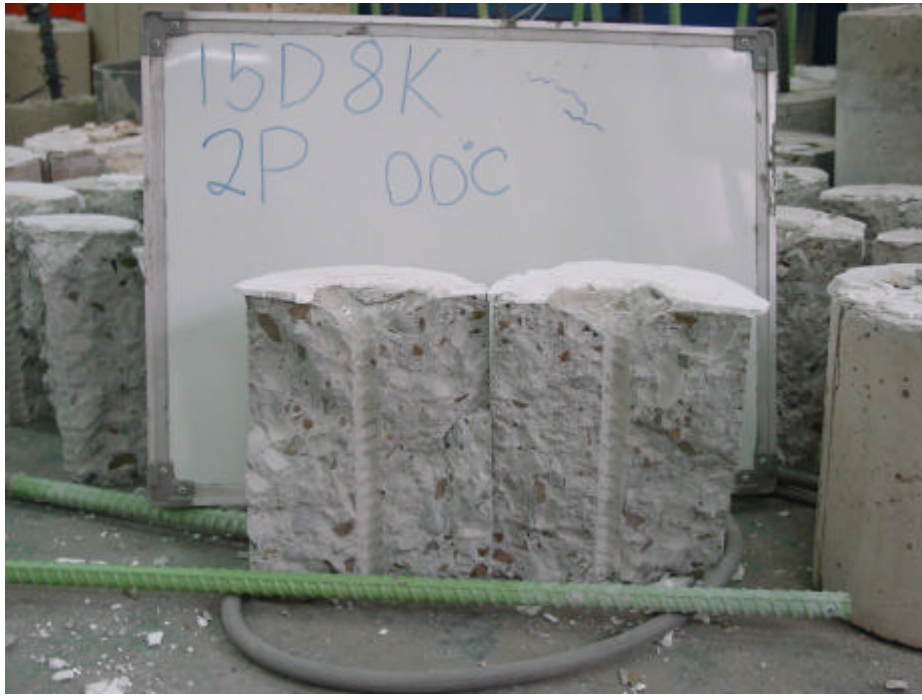
圖（四）握裹力試驗設備（實體圖）



圖(五)墊塊



圖(六) 鋼筋塗裹環氧樹脂在各高溫下拉拔試驗後情形之比較



圖(七)常溫下拉拔試驗 試體劈裂情形



圖(八) 穩態溫度 200 °C 拉拔試驗 試體劈裂情形



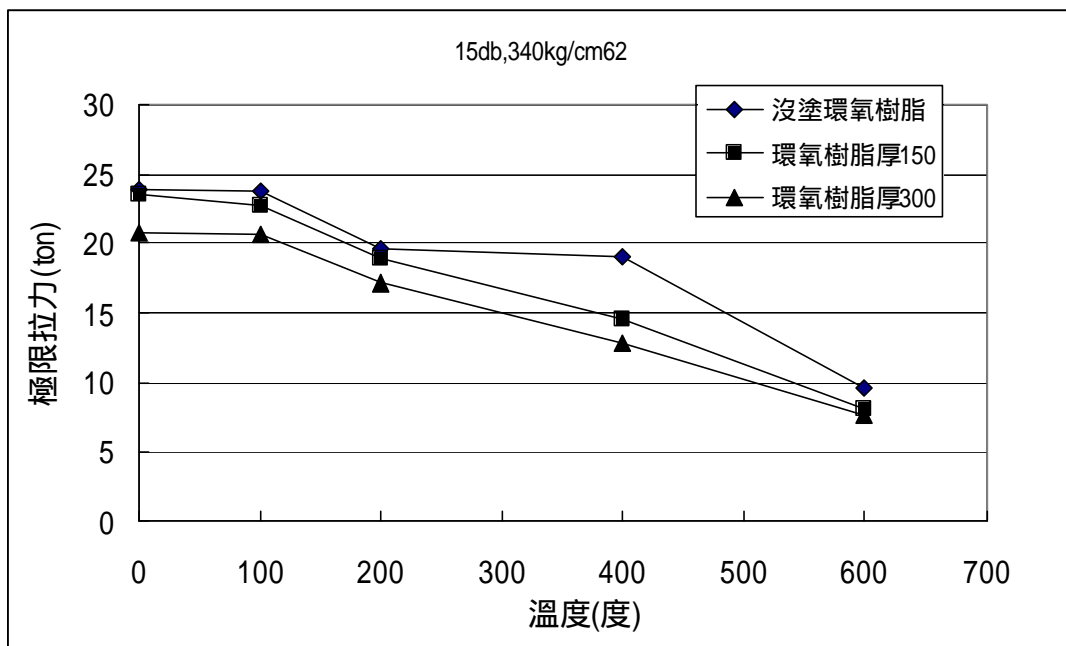
圖(九) 穩態溫度 400 °C 拉拔試驗 試體劈裂情形



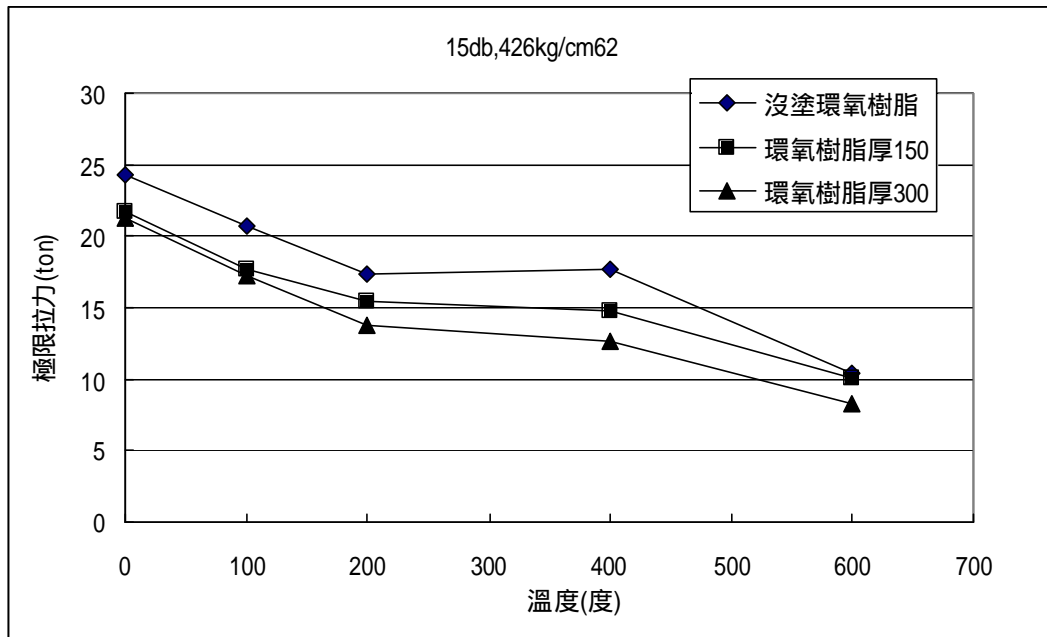
圖(十) 穩態溫度 600 °C 拉拔試驗 試體劈裂情形



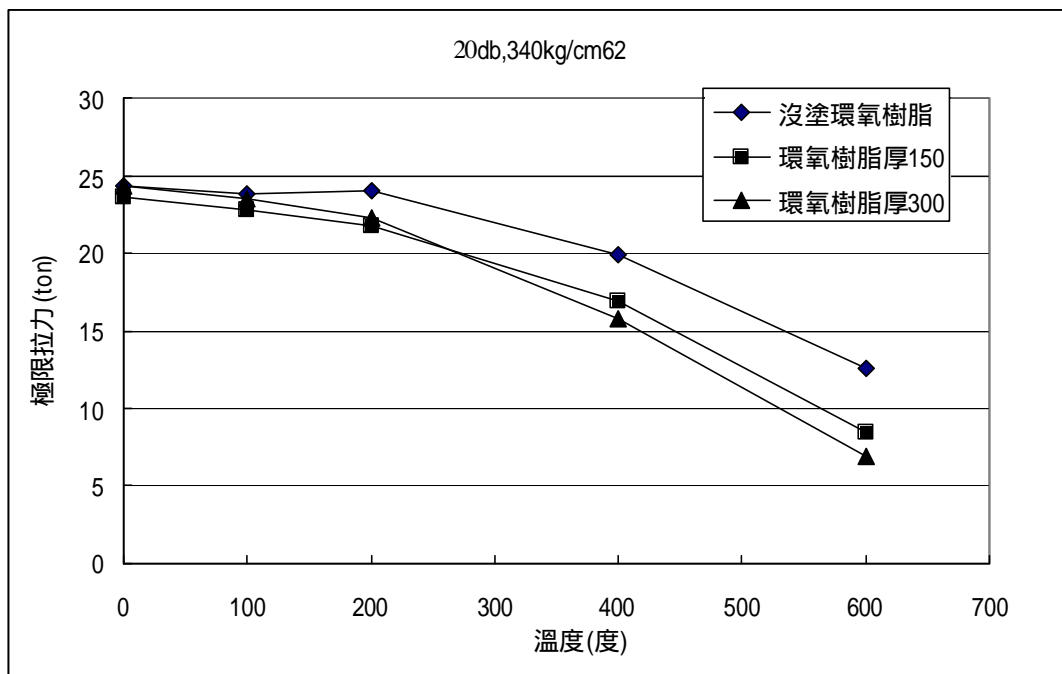
圖(十一) 穩態溫度 200 ℃ 拉拔試驗 試體劈裂情形



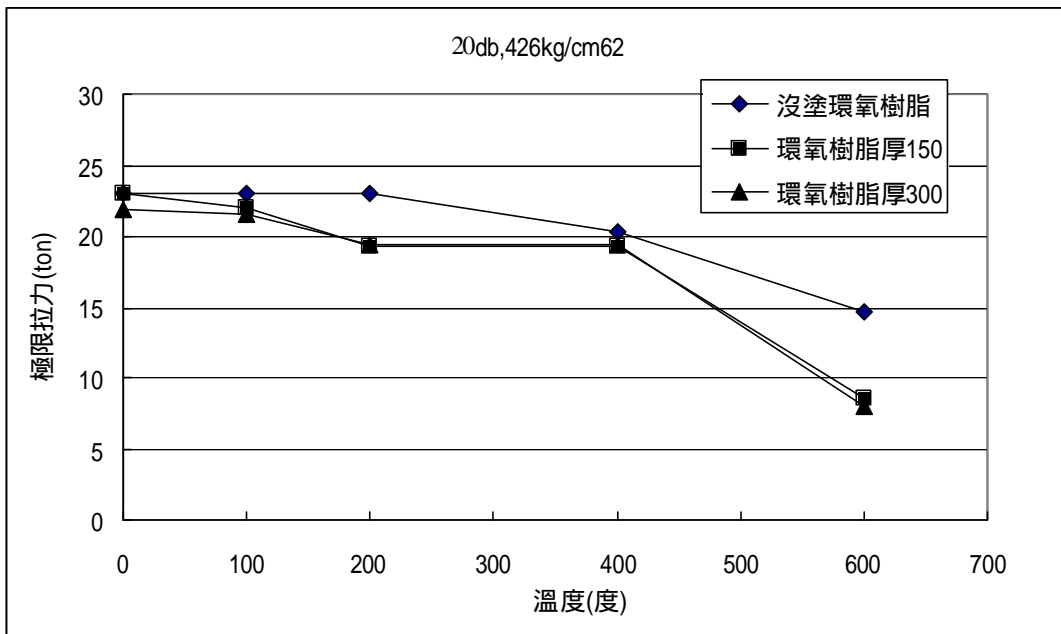
圖(十二) 鋼筋埋深 15db , 混凝土強度 340kg/cm² 試體
不同塗層厚度在各溫度下極限拉力



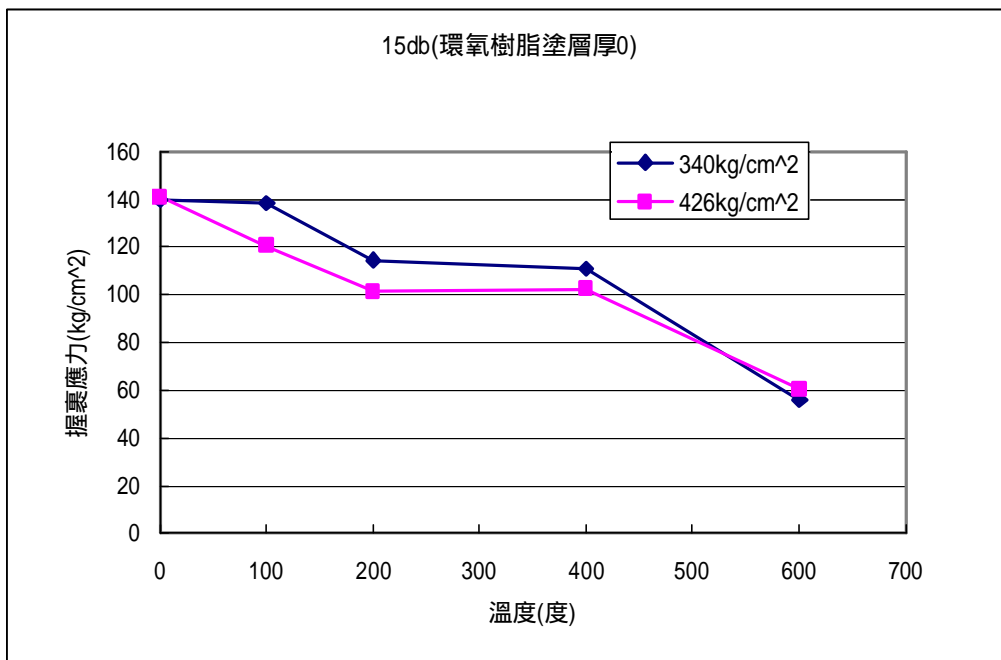
圖(十三) 鋼筋埋深 15db , 混凝土強度 426kg/cm² 試體
不同塗層厚度在各溫度下極限拉力



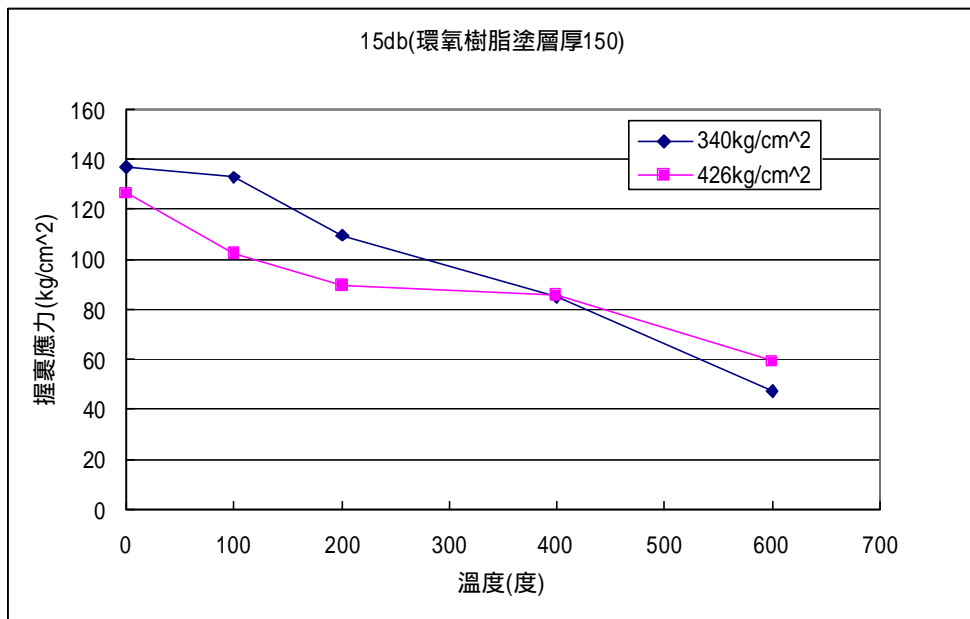
圖(十四) 鋼筋埋深 20db , 混凝土強度 340kg/cm² 試體
不同塗層厚度在各溫度下極限拉力



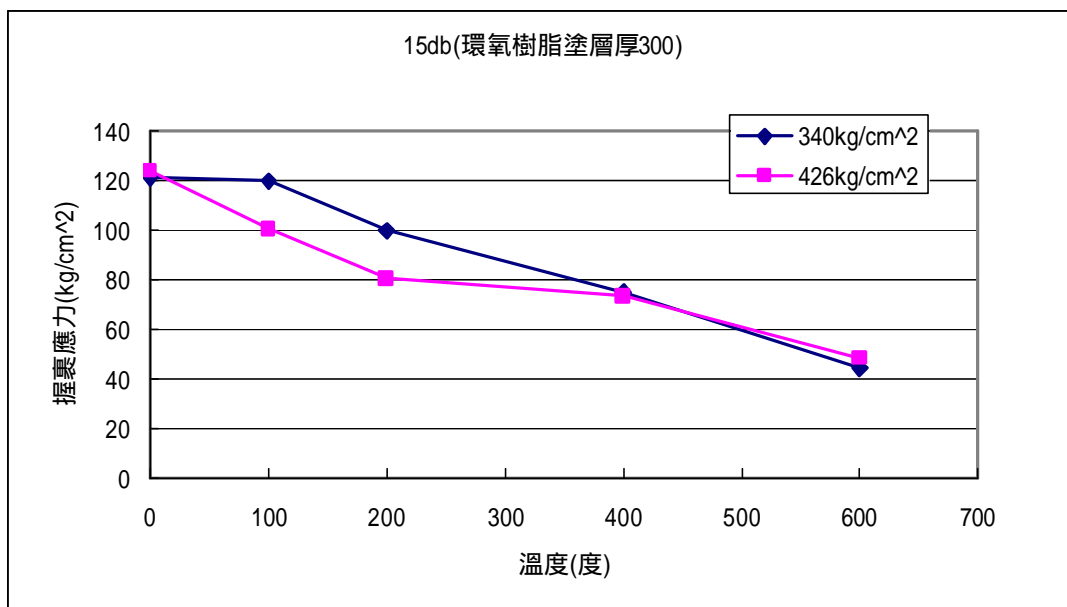
圖(十五) 鋼筋埋深 20db , 混凝土強度 426kg/cm² 試體
不同塗層厚度在各溫度下極限拉力



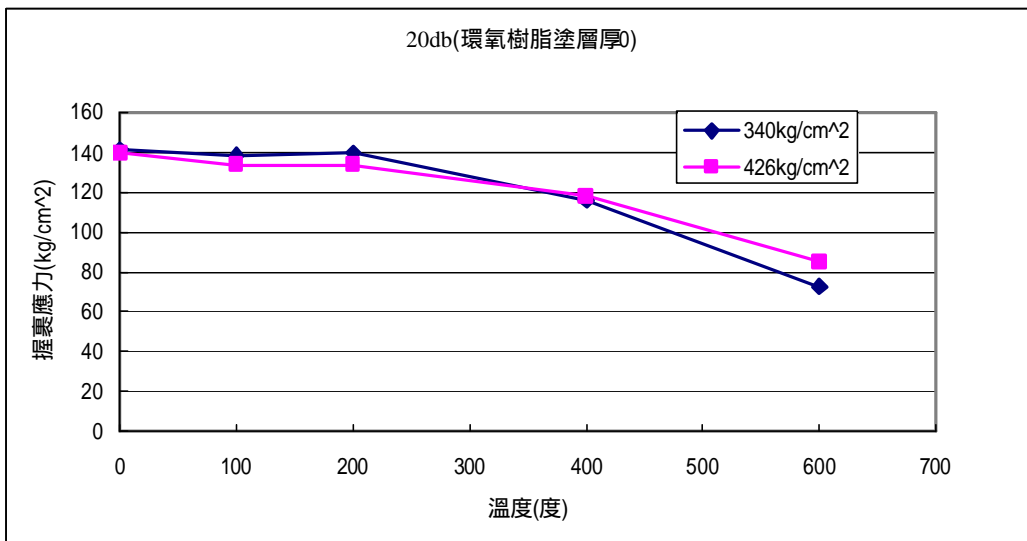
圖(十六) 未塗環氧樹脂鋼筋埋深 15db 試體
不同混凝土強度在各溫度下握裹應力



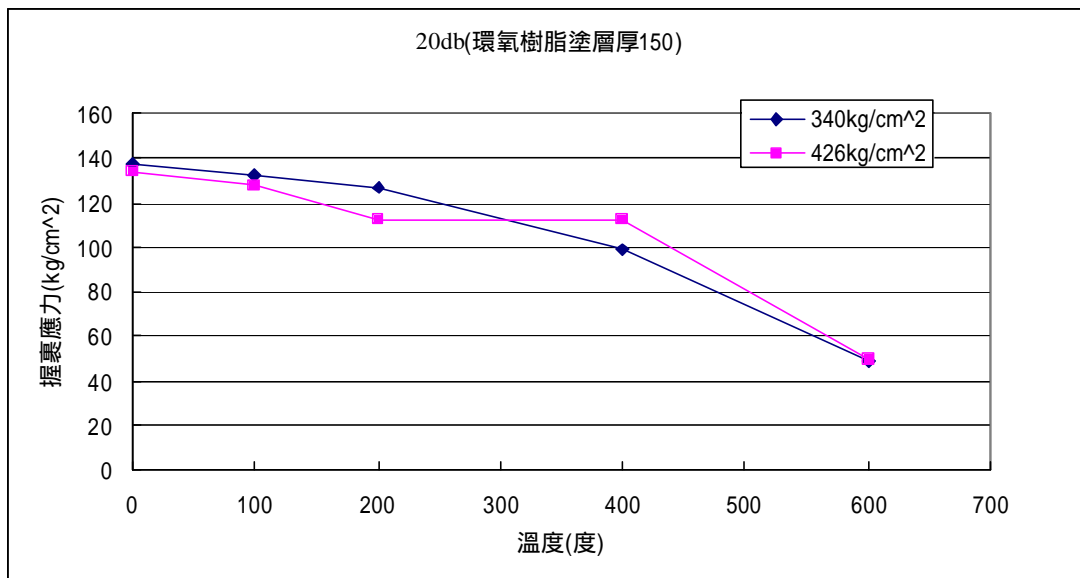
圖(十七) 環氧樹脂塗層厚度 150 μm 鋼筋埋深 15db 試體
不同混凝土強度在各溫度下握裹應力



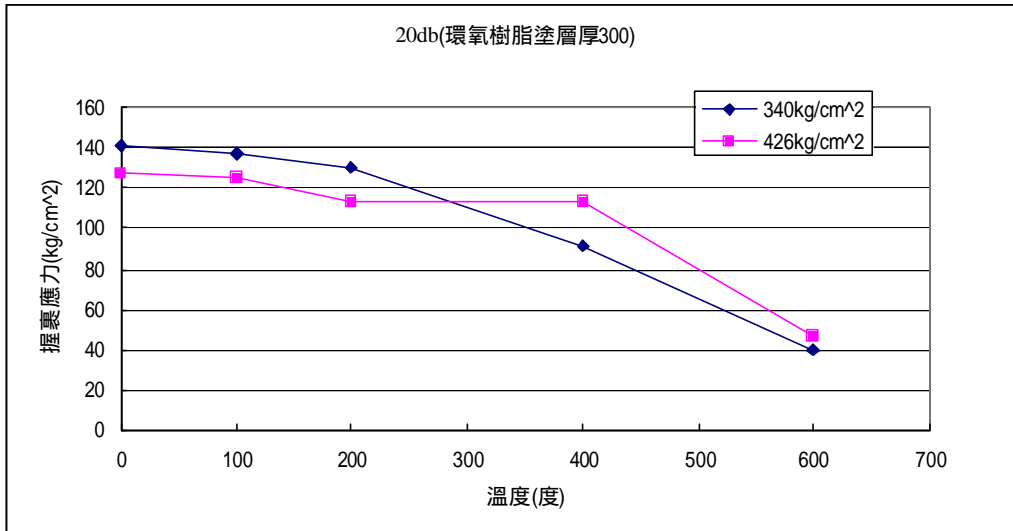
圖(十八) 環氧樹脂塗層厚度 300 μm 鋼筋埋深 15db 試體
不同混凝土強度在各溫度下握裹應力



圖(十九) 未塗環氧樹脂鋼筋埋深 20db 試體
不同混凝土強度在各溫度下握裹應力



圖(二十) 環氧樹脂塗層厚度 150 μm 鋼筋埋深 20db 試體
不同混凝土強度在各溫度下握裹應力



圖(二十一) 環氧樹脂塗層厚度 300 μm 鋼筋埋深 20db 試體
不同混凝土強度在各溫度下握裹應力