

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 利用高壓貫注環氧樹脂增加受高溫後之混凝土強度 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 97-2221-E-009-078-  
執行期間：97年08月01日至98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

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 01 月 05 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 利用高壓貫注環氧樹脂增加受高溫後之混凝土強度

計畫編號：NSC 97-2221-E-009-078

執行期限：97年8月1日至98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

### 一、中文摘要

混凝土在承受高溫後，不只是其漿體分解而降低其抗壓強度，也會其與骨材間之脹縮性質不協調及混凝土內外溫差效應結果而產生裂縫，此裂縫很難利用再養護來恢復其強度，因而使用貫注環氧樹脂修補裂縫來增加其強度。

經評估後選擇使用抽取真空產生負壓力的貫注方式來替代原先計畫採用高壓貫注方式，並成功設計一套負壓貫注環氧樹脂設備。貫注環氧樹脂是否成功，環氧樹脂的滲透性也很重要，經評估後選取一種高滲透性的環氧樹脂。經過初步試驗結果，在貫注環氧樹脂後，可提高混凝土抗壓強度將近 20%。

**關鍵字：**貫注環氧樹脂，抗壓強度，高溫

### Abstract

After subjected elevated temperatures, the compressive strength of concrete reduced significantly. Both the physical properties were changed and cracks were formed due to the incompatibility of its components making the decrease of its strength. Part of strength can be recovered by recurring. The reduced strength due to cracking can not be recovered by recurring. The injection of epoxy into the cracks is one good approach.

After evaluating the injection method, using vacuum pump to produce negative pressure is used instead of high positive pressure injection. We design a set of instrument to do the epoxy injection by negative pressure. The permeability of epoxy is another key factor for successful injection. We choose a high permeability epoxy used in the tests. After several tests shown that using injecting epoxy can increase about 20% of the strength.

**Keywords:** Epoxy Injection, Elevated

temperatures, Compressive Strength

### 二、緣由與目的

#### 緣由

混凝土是一種擁有很好的耐火性能的材料，但是在高溫作用下之混凝土，由於水泥漿體受熱作用而分解，且因其與骨材間之脹縮性質不協調及混凝土內外溫差效應結果而產生裂縫，使其抗壓強度因此降低，除了強度影響之外，高溫也會對混凝土造成開裂、剝落、爆裂或體積變化等現象，進而影響混凝土構件結構安全。由於高強度混凝土質地緻密，在高溫作用下導熱快，又容易產生爆裂行為，在耐火時效上，可能會比普通強度混凝土短。

受火害混凝土之抗壓強度的減少程度隨著所承受之溫度之增高而增加，在 400°C 以下，強度降低幅度較小，400°C 至 800°C 間強度大降低幅度，在 800°C 時只剩下大約 20% 的強度。如果用水加以再養護，水泥經過再水化的作用，部份混凝土之抗壓強度可以恢復，但是仍有部份混凝土之抗壓強度沒有辦法恢復，尤其是在受高溫後採用直接泡水的急速冷卻方式時，所能恢復的強度就十分有限，探討其原因為急速冷卻方式產生較多且較大的裂縫，再水化的作用無法恢復裂縫所降低而造成之混凝土抗壓強度。

混凝土結構物受外力及自然環境的影響常有裂縫產生，目前工程界補強的方法大都是利用針筒以高壓方式注射環氧樹脂進入裂縫中，以環氧樹脂極佳之黏結力

量，將裂縫黏結而達到修補的目的。

## 目的

受火害後試體裂縫常是細而且並不連續，裂縫數量也較一般結構裂縫多，針筒以高壓方式注射環氧樹脂修護方式並不完全適用於本研究，首先必須為本研究發一套可以使用之儀器設備。

火害後混凝土抗壓強度的恢復與再養護時間有關，因此貫注環氧樹脂的時間點也很重要。另外整個執行試驗的程序與方法也很重要。本研究的另一目的就是探討如何執行試驗，最後檢討增加強度的成效。

## 三、試驗設備與試驗方法

### (一) 試驗設備與試體

本研究計畫共使用下列之設備：

#### (1) 高溫爐

高溫爐為對試體施以高溫的設備，為現有之設備(照片一)。

#### (2) 烘箱

烘箱為將試體中游離水份烘出試體的設備，為現有之設備(照片二)。

#### (3) 抗壓試驗機

抗壓試驗機為測試混凝土抗壓強度的設備，為現有之設備(照片三)。

#### (4) 環氧樹脂貫注設備

環氧樹脂貫注設備為本計畫新設計之設備(照片四)，其詳細構件見圖一。

本研究使用之試體為直徑 10cm 高 20cm 的圓柱試體，使用之混凝土強度為  $280 \text{ kgf/cm}^2$ ，其配比見表一。

### (二) 試驗方法

本研究計畫原本擬採用高壓貫注環氧樹脂增強受高溫後之混凝土強度，但發現小試體之裂縫不大，裂縫不連續

時，高壓貫注效果不佳，因此改用真空產生負壓方式貫注環氧樹脂，產生之效果較好。

首先將試體放入烘箱以略高於水份汽化溫度之  $105^{\circ}\text{C}$  烘乾七天，將試體內部自由水逼出試體，以防止試體在高溫時產生爆裂，不但無法得到試驗結果，還可能損害高溫爐。

烘乾後的試體再放入高溫爐中，以每分鐘  $7.5^{\circ}\text{C}$  之增溫速度加熱，直到達到目標溫度時，繼續維持此目標溫度三小時，然後切斷電源讓其降溫，在切斷電源後依照再養護方式，部份置於空氣中，部份泡於水中。

在預定再養護時間達到後，再將試體放入烘箱以  $105^{\circ}\text{C}$  烘乾二天，將試體內部自由水逼出試體，否則環氧樹脂無法貫入試體，烘乾試體後便開始環氧樹脂的貫注工作。

首先將所有開關閥關緊(全是單向閥)，將環氧樹脂倒入左邊的液體儲存槽，其量估計為可淹沒右邊真空槽之試體高度加上貫入試體部份，打開右邊真空槽將烘乾完試體置入右邊真空槽中，緊閉真空槽蓋，打開真空槽通往真空幫浦的開關閥，起動真空幫浦，直到真空槽上方壓力表達到穩定後，關閉真空槽通往真空幫浦的開關閥，打開液體儲存槽與通往真空槽的開關閥，讓環氧樹脂流入真空槽，直到壓力表顯示沒有負壓為止(見圖一)。

將完成環氧樹脂貫注的試體取出，將表面殘留的環氧樹脂擦拭乾淨，讓此

試體置放於空氣中七天，使試體內之環氧樹脂完全固化後，再對試體進行抗壓試驗，以取得補強後之試體抗壓強度，與未受火害試體相比，可得到恢復百分比。與未補強試體抗壓強度相比，可得到增加強度。

#### 四、試驗結果

本計畫很多時間用在負壓貫注設備的設計評估與發包製作以及選擇適合之環氧樹脂，以致於無法作很多的試體試驗，只做了 5 組 20 個試體。

經過貫注環氧樹脂補強後的試體，在經過抗壓試驗後，其破壞情況頗為不同，由於環氧樹脂的黏結性質，試體破壞前試體會有明顯側向變形後，整個試體才分解破壞(見照片五)。

試體在承受 800°C 的高溫後，試體抗壓強度大概只剩下 20% 左右(如同大部份文獻記載)，如果放置不加以養護，其強度幾乎是不變，如果以環氧樹脂貫注則強度會增加不少，放置空氣中 17 天後貫注環氧樹脂，強度提升到 44.8%，如果放置空氣中 31 天後貫注環氧樹脂，強度提升到 45.68%。

試體在承受 800°C 的高溫後，如果置於水中再養護時，混凝土強度會再逐漸恢復，在水中再養護 31 天強度可恢復到 57.2%，但是如果放置水中 31 天後貫注環氧樹脂，強度提升到 72%。仍然有顯著的提升(表二)。

#### 五、計畫結果自評

本計畫所設計之負壓環氧樹脂貫注設備在試驗中環氧樹脂的減少量相當多，證明確實能夠將環氧樹脂貫注入試體中。從抗壓試驗結果顯示，經過環氧樹脂貫注後

的試體，抗壓強度也有相當程度的提升。表示以環氧樹脂貫注入混凝土補強混凝土是可行的。後續將再進行參數影響之研究，以發揮更大效果。

#### 六、參考文獻

1. R. Rhoades and R. C. Mielenz, Petrography of concrete aggregate, J. Amer. Concr. Inst, 42, pp. 581-600 (June 1946).
2. 林炳炎，“火，火，火，混凝土的耐火性及熱性質”，營建世界，1986。
3. Neville, A.M., “Properties of Concrete” fourth edition.
4. 許修豪，「不同冷卻再養護方式對混凝土承受高溫後殘餘強度及恢復狀況之影響」，國立交通大學碩士論文，1999。
5. 王天志，「加聚丙烯纖維之高性能混凝土在高溫後之強度恢復」，國立交通大學碩士論文，1997。
6. 廖侶翔，「混凝土添加不同熱學性能之材料工程性質探討」，國立交通大學碩士論文，2009。
7. Chan, Y. N.; Peng, G. F.; and Anson, M., “Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures,” Cement and Concrete Composites, Vol.21, 1999, pp.23-27.
8. Li, Yihai; Guangdong Electric Design Institution, Civil Department Franssen, Jean-Marc; University of Liege, Department of Structural Engineering, “Residual compressive strength of concrete after fire,” ACI Structural and Materials Journals, 14-Jul 2009, M-20009-005.R1.
9. Husem, M., “The effects of high temperature on compressive and flexural strengths,” Fire Safety

Journal, Vol. 41, No. 2, March 2006, pp. 155-163.

10. 林銅柱，沈得縣，「高性能混凝土耐火性能之探討」內政部建築研究所籌備處專題研究計畫成果報告，MOIS-840007, 1995。
11. Abranms, M. S. ,” Compressive Strength of concrete Institute” ,Sp-25, Temperatureand concrete, Detroit, pp. 33-58

12. 張宏如，「噴水對混凝土燒失量之影響」，國立台灣工業技術學院碩士論文，1993。
13. 何明錦、吳傳威、彭添富，「鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編」，MOIS 872011，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，1998。
14. 郭詩毅，「鋼板貼片用環氧樹脂受溫後黏結性質變化之研究」，國立台灣科技大學博士論文，2004。

表一 混凝土配比

工程名稱				工程設計強度 $f_c'$	280 $\text{Kgf/cm}^2$	坍度	15cm
水膠比	0.485	粒料標稱最大粒徑	20 mm	細粒料細度模數 FM	2.9	細粒料面乾內飽和比重	2.65
粗粒料面乾內飽和比重	2.65	水泥比重	3.15	水泥廠牌	I 型水泥	空氣含量	2.0%
細粒料率(S/A)	47.8 %			用水量	194 Kg		
水+膠結體+空氣含量所占體積	0.344 $\text{m}^3$			膠結料用量	400 Kg		
粒料所占體積	0.656 $\text{m}^3$			化學參料	1A		
細粒料所占體積	0.314 $\text{m}^3$			細粒料用量	831 Kg		
粗粒料所占體積	0.342 $\text{m}^3$			粗粒料用量	907 Kg		
單位體積	1 $\text{m}^3$			單位重量	2332 $\text{Kg/ m}^3$		

表二 補強試體強度

試體編號	備註	抗壓強度	抗壓強度平均	殘留強度百分比(%)
1	未受高溫試體	386.8	321.975	100
2		353.7		
3		258.1		
4		289.3		
5	800℃	73.8	70.275	21.826
6	自然冷卻位未補強	69.4		
7		66.8		
8		71.1		
9		800℃	140.8	144.275
10	自然冷卻空氣養護17天+環氧樹脂	123.2		
11		153.9		
12		159.2		
13		800℃	240.0	147.100
14	自然冷卻空氣養護31天+環氧樹脂	刪去		
15		149.8		
16		136.9		
16		154.6		
17	800℃	219.4	231.925	72.032
18	自然冷卻水養護31天環氧樹脂	218.8		
19		247.0		
20		242.52		



(照片一) 高溫爐照片



(照片二) 烘箱照片



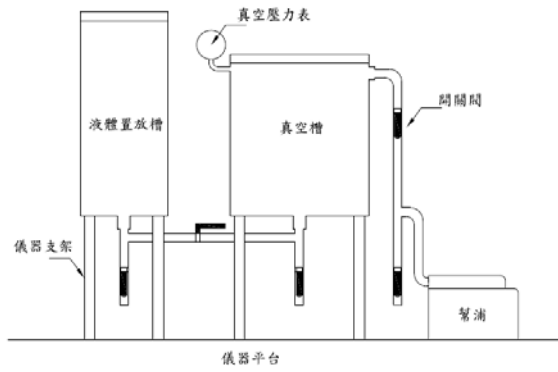
(照片三) 抗壓試驗機照片



(照片四) 環氧樹脂貫注設備照片



(照片五) 試體破壞照片



(圖一) 環氧樹脂貫注設備示意圖