

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 高強度混凝土版耐火性能之研究

計畫類別： 個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2211 - E - 009 - 043 -

執行期間： 88年8月1日至 89年10月31日

計畫主持人： 鄭復平

共同主持人： 陳誠直

計畫參與人員： 盧天財

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學

中華民國 90 年 1 月 29 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 高強度混凝土版耐火性能之研究

計畫編號：NSC 89-2211-E-009-043

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 10 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

本計畫研究項目為纖維加勁高強度混凝土版之耐火性能，欲探討之實驗變數有纖維種類、混凝土強度；另外也製做普通強度混凝土版及未加纖維之混凝土版以供比較實驗結果。整個實驗的進行及評量依據 ACI-216 及 ASTM E 119 的規定，試驗之混凝土版形式為簡支單向版，均承受均佈載重 200kg/m<sup>2</sup>，實驗過程中量測混凝土版隨標準升溫曲線而變化之溫度分佈，版中(加載、昇溫、降溫、卸載)撓度變化情形、耐火時效、背面溫度、受熱面的剝落、爆裂現象、版塊裂痕等。評估其是否符合現行建築技術規則的要求，以提供設計者參考。

**關鍵詞：**高強度混凝土版，纖維加勁，高溫，耐火時效。

### Abstract

Series studies were conducted in our campus for HSC at elevated temperature. The study of mechanical behavior of slab at elevated temperature for different fibers and compressive strength will be included in this study. The adding of fibers to increase the capability of fire resistance of HSC will be investigated too.

The effect of adding fibers in high strength concrete will be tested to compared with the results from plain HSC. The normal strength concrete slab with different fiber reinforcement were tested for comparison. Whole study will be under the guide line of ASTM E 119 and ACI 216. Simple supported slab with 200kg/m<sup>2</sup> will be studied. The distribution of temperature inside of slab and the deflection of slab will be measured in the progress of tests.

**Keywords:** high strength concrete slab, fiber reinforced, high temperature, capacity of fire resistance

### 二、緣由與目的

#### 緣由

近幾年來都市建築多朝高樓設計，為減輕建物自重，降低地震力，與增加使用空間，高強度混凝土之使用有越來越多的趨勢；但因高強度混凝土緻密的特性，使其遭遇火災時，混凝土表面容易剝落、爆裂，降低混凝土耐火性能。幾次高樓大火突顯出高樓救火的困難，也使得火場的燃燒時間延長，在高樓建築救火不易的情況下，混凝土構件是否能維持足夠的耐火時效就顯得非常重要。

在混凝土構件裏柱、版、樑為重要構件，其防火時效在建築技術規則第七十條有明確規定，柱、樑依使用用途需有 1 到 3 小時的防火時效，而樓地板則需有 1 到 2 小時的防火時效。本校近年來致力於高性能高強度混凝土的耐火性能研究，針對高強度高性能混凝土柱構件的防火試驗已有初步成果，目前正將結果利用數值分析來模擬，以取代昂貴的實尺寸實驗。在國科會、教育部的補助及本校提供相對配合款下，添購了樑、版試驗用高溫爐，因此後續欲針對高強度混凝土版的防火時進行試驗，以獲得各種變數下的實驗資料，提供往後高強度混凝土版耐火性能數值分析之基礎，再配合往後樑耐火試驗，構成對整個建築物柱、版、樑構件受火害的安全性設計有更完整的瞭解。

本研究考慮實用性及因為版構件澆置較容易，因此不強調高性能這個特點，主要針對常用之高強度混凝土版，抗壓強度

為 9000psi 及 11000psi 兩種強度,另外也製作 5000psi 普通強度混凝土版以供比較;依據 ACI 216、ASTM E 119 和建築技術規則的要求,評量其耐火性能。評估重點包括版及鋼筋溫度是否仍在限定範圍內;在要求之防火時效內,版是否能支持設計載重而不至倒塌崩毀。

另外為改善高強度混凝土在高溫下易剝落、爆裂的特性,據初期對柱構件的研究發現,添加纖維對混凝土版剝落、爆裂及韌性能有效改善,因此也欲測試添加聚丙烯及鋼纖維對混凝土版耐火性能的影響,以提升高強度混凝土的耐火能力及混凝土技術的發展,增進高強度混凝土的應用範圍。

### 目的

本研究目的為針對常用之高強度範圍內的混凝土版,依據 ACI216,ASTME119 及建築技術規則的要求,進行版構件的耐火試驗,及利用添加聚丙烯及鋼纖維來改善高強度混凝土的耐火性能,以期能在符合現行的耐火規範下,提供高品質的混凝土,提升建築物的安全性。

主要研究目的如下:

- (1) 因為不同強度的混凝土,其水灰比不同,混凝土孔隙分佈也不一致,使得混凝土內部水分在受火過程,其水分蒸發、蒸汽壓力分佈均有所不同,甚至使表面混凝土產生剝落和爆裂,而影響構件之耐火時效,因此有必要對不同強度混凝土進行探討。
- (2) 基於上述混凝土表面剝落、爆裂的問題,本試驗基於柱構件耐火試驗的結果,嘗試在混凝土內添加聚丙烯及鋼纖維,以瞭解其對混凝土版耐火性能的影響。

### 三、試驗方法與步驟

本研究共製作七個試體,分別是含有聚丙烯纖維及鋼纖維之試體各三個(抗壓強度 5000psi 9000psi 及 11000psi 各一個),另外製作一個 9000psi 不含纖維之試體以資比較。試體尺寸為

320cm 長,95cm 寬,12cm 厚 使用雙層間距為 20cm 之 #4 鋼筋(圖一),在短向距離外邊 17.5cm 及 47.5cm,長向距離外邊 40cm 及 160cm 處不同深度各埋設三個熱電耦,以量測試體內溫度,分別安排於距離受熱面 2.5cm、5cm 及 10cm 處。

在製作試體之前先進行配比試驗,其配比及試驗時之抗壓強度見附表一。在試體經養護後達成預期強度後,將試體吊到高溫爐之預定位置(其支撐點距離外邊為 20cm)並放置載重,在長向中央位置離外邊為 160cm 90cm 72.5cm 37.5cm 及 29cm 處架設量取變位之 LVDT。依照 ASTM E-119 升溫曲線加熱,於試驗中定時量取試體內部溫度及試體變形量,於試驗時間達到 182 分鐘時關掉熱源終止試驗。部份試體在關掉熱源後仍然繼續量取試體內部溫度及試體變形量,直到將試體上之載重移除為止。

### 四、試驗結果

就不同變因討論試體之撓度與內部溫度之變化

撓度討論:

- (1) 由圖二及圖三可知混凝土版受火後之撓度不管是加入鋼纖維或是聚丙烯都是隨著混凝土強度增加而放大,這種現象可由試驗後試體裂縫得到合理解釋,因為強度較高之混凝土版有較大及較多的裂縫,因而大幅降低其勁度,造成高強度混凝土有較大之變形量。
- (2) 由圖四可知無纖維加勁混凝土版撓度大於鋼纖維加勁混凝土版,鋼纖維加勁混凝土版撓度又略大於聚丙烯纖維加勁混凝土版撓度,但添加不同纖維的差別不大。
- (3) 由圖二至圖四可知受火之加勁混凝土版撓度曲線可明顯區分成三段,剛開始近似直線且斜率相當大,接著是一段曲線,最後是一段

斜率較為和緩近似線性變化之直線段。此曲線與高溫爐及試體內部之升溫曲線甚為類似，只不過較為和緩而且有一些時間落後而已，由此可知撓度與溫度關係密切。

- (4) 試體在依照 ASTM E-119 加溫 180 分鐘後，將高溫爐熄火，開始自然降溫至一般室溫，混凝土版之撓度也跟著爐溫的降低而減小。由(圖五)可知兩者的撓度差值普通強度加勁混凝土版大於高強度加勁混凝土版，也就是說高強度加勁混凝土版的殘留撓度比較大。5000psi 強度之混凝土版對於加入鋼纖維或聚丙烯並無多大差異但對於 11000psi 強度之混凝土版，鋼纖維混凝土版殘留撓度大於聚丙烯混凝土版。
- (5) 混凝土版於高溫爐停止加熱後，有一段時間撓度急遽減小，然後逐漸趨於和緩。其線形與混凝土圓柱試體抗壓試驗應力 應變曲線之下降段非常相似。如果再參考圖八之試體溫度歷時，可以發現兩者極為相似，由此更可發現混凝土版撓度與溫度間之關係極為密切。
- (6) 由圖六可知，愈靠近支點撓度變形之曲率愈大，在距支點  $L/8$  處之撓度約為中點  $L/2$  最大撓度的 50%。又以上之現象，無纖維加勁混凝土版較聚丙烯纖維加勁混凝土版較鋼纖維加勁混凝土版明顯。

#### 溫度討論：

- (1) 由圖七可知，混凝土版內愈靠近加熱面之昇溫曲線愈類似上凸拋物曲線加溫，而愈靠近背面則愈趨於直線加溫，其間並有一段時間溫度幾乎沒有變化，其溫度隨著遠離加熱面而降低。
- (2) 由圖七可知，試體在 180 分鐘後，高溫爐停止加熱，自然降溫至一般室溫，其降溫曲線剛開始為下凹拋物曲線，然後逐漸和緩，最後趨於水平至一般室溫，離開加熱面較近處，其降溫速度較快，但不久後不

會深度之溫度趨於一致。

- (3) 本次實驗纖維加勁混凝土版為鋼纖維與聚丙烯纖維兩種的比較，由實驗數據可觀察出聚丙烯纖維加勁混凝土版在 180 分鐘時的版內溫度有大於鋼纖維加勁混凝土版的趨勢。但由於兩者纖維在試體所含的設計比例不盡相同，故實難斷言鋼纖維加勁較聚丙烯加勁隔熱好。

## 五、結論

由以上就試驗結果的探討可以發現高強度混凝土加入纖維可以大量減少混凝土版受高溫產生之撓度。混凝土版在高溫下，其撓度隨著試體抗彎強度之增加而放大。混凝土版在降溫後，其撓度可以降低至幾乎只有在高溫時的一半。聚丙烯纖維混凝土版會比鋼纖維混凝土版表現較好

## 六、計畫結果自評

本計畫執行結果獲得相當寶貴資料，相信對於高強度混凝土版在高溫下之行為得到相當的認識，並且得到相當好的成果，在相關資料整理以後，準備將其修改成英文版本，投稿國外著名期刊，將整個研究成果對外公布，本計畫之預期目標大致上均順利完成。

## 七、參考文獻

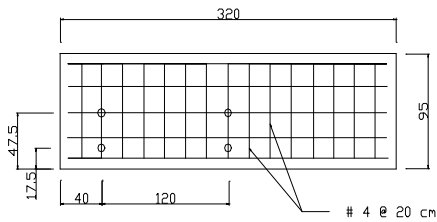
1. Hertz, Kristian, "Heat-Induced Explosion of Dense Concretes", Report No166, Institute of Building Design, Technical University of Denmark, Lyngby, 1982, p24.
2. Abrams, M.S. and Gustafson, A.H., "Fire Endurance of Concrete Slabs as Influenced by Thickness, Aggregate Type, and Moisture", Journal, PCA Research and Development Laboratories, V.10, No.2, MAY 1968, p9-p24. Also, Research Department Bulletin No.233(RX223), Portland Cement Association.
3. "Standard Methods of Fire Building Construction and Materials", (ASTM E119), 1986 Annual Book of ASTM

Standards, V.04.07, ASTM, Philadelphia, p353-p379.

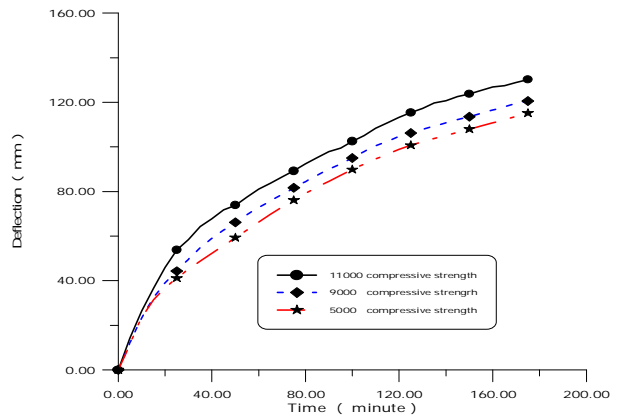
4. "Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements", ACI 216R-89, American Concrete Institute, 1989.
5. 林銅柱, "鋼筋混凝土結構物耐火設計研習會演講稿", 國立台灣工業技術學院.
6. 黃清賢, "建築與防火", 徐氏基金會, 1988.

表一 混凝土設計配比

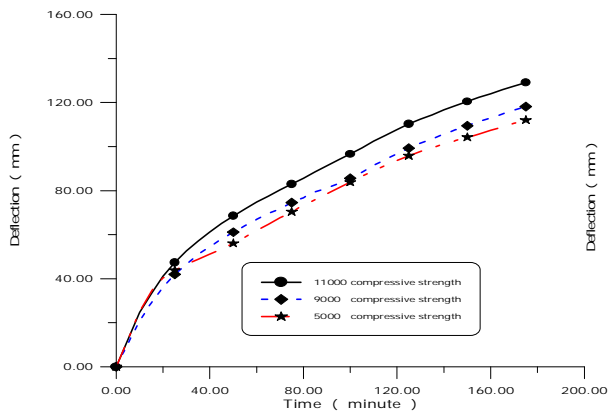
設計強度	水	水泥	砂灰	粗骨材	細骨材	纖維	強塑劑
11000psi	166.5	483.0	42.0	900	727.9	20.8	18.0
11000psi	181.5	483.0	42.0	900	727.9	0.9	18.0
9000 psi	173.5	483.0	42.0	900	727.9	20.8	18.0
9000 psi	173.5	483.0	42.0	900	727.9	0.9	18.0
5000 psi	244.0	311.6	0.0	938	816.0	20.8	0.0
5000 psi	244.0	311.6	0.0	938	816.0	0.9	0.0
9000 psi	173.5	483.0	42.0	900	727.9	0.0	18.0



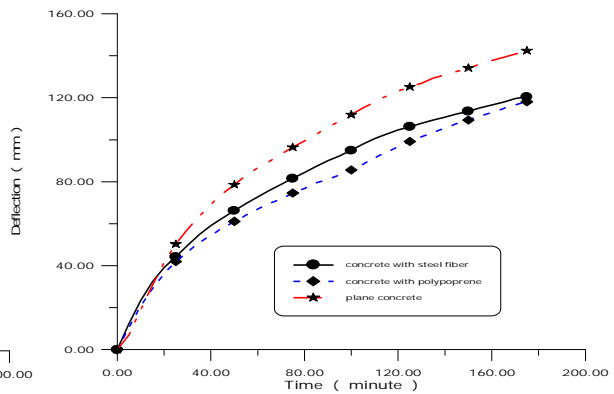
圖一 試體及預埋熱電耦線的位置圖



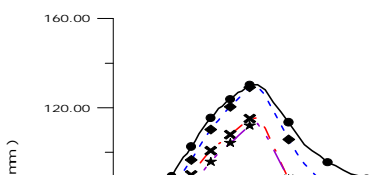
圖二 鋼纖維混凝土撓度歷時圖

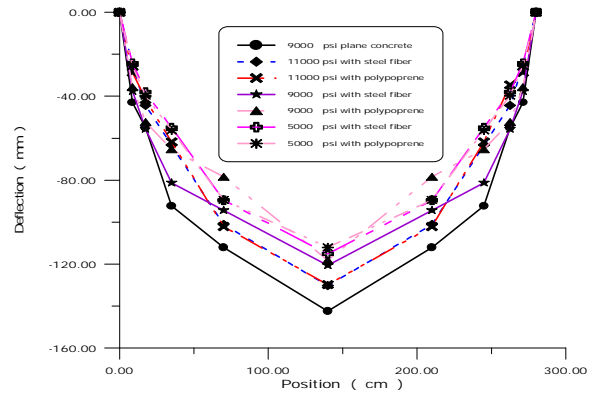


圖三 聚丙烯混凝土撓度歷時圖



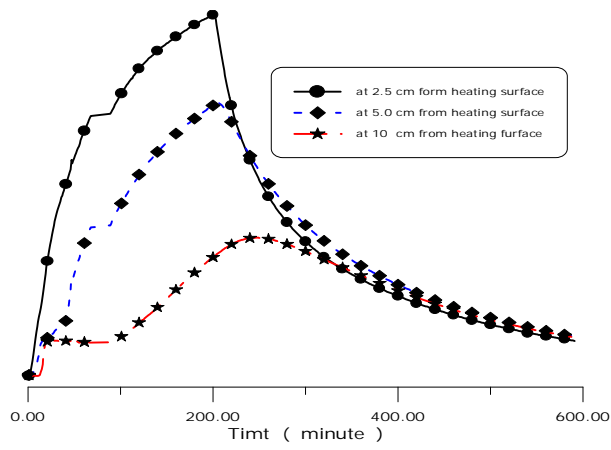
圖四 不同混凝土撓度歷時圖





圖六 試體長方向最大變形圖

圖五 包括降溫階段之撓度歷時圖



圖七 不同深度溫度歷時圖