

# 鋼筋混凝土梁柱組合體火害行為研究

研究生：林純儀

指導教授：鄭復平博士

國立交通大學土木工程學系

## 摘要

在與加拿大國家防火實驗室有關高性能混凝土實尺寸柱高溫加載之抗火能力試驗合作計畫後，發現混凝土實尺寸柱在高溫再加上偏心載重之抗火能力，呈現大幅度的降低。在實際情形下，樑柱組合體的行為因會受到梁的束制，其行為又未必與偏心載重相同。台灣位處環太平洋地震帶上，幾乎所有建築物的結構設計都是由地震力產生的水平力所控制，因此在評估建築物在承受火災後，到底還剩下多少強度，其能承受之水平力的能力，便是評估建築物能否經由修復補強的重要指標。

試驗結果顯示出柱體內部的溫度與外部溫度有很大的差異，大尺寸柱子的耐火能力絕對比小尺寸大很多。如果柱子承受彎矩，由於在保護層破裂後，鋼筋直接曝露在高溫下，使其抗拉能力降低，因此柱子的抗火能力急速降低。使用偏心載重的高溫高壓試驗並無法完全模擬真正結構物受火害行為。柱子承受火害的破壞模式會因為彎矩大小有所不同，彎矩不大時破壞發生於柱子的接頭附近，彎矩增大後破壞模式轉移成為梁破壞。在僅受火害三小時的情況下，試體抵抗水平力的殘餘能力降低並不會很大。

# Behavior of RC beam-column assembly at elevated temperature

Student:Chun-Yi Lin

Adviser:Dr. Fu-Ping Chen

Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

## **ABSTRACT**

The results from the joint research with NRC Canada found that the fire resistance of column was reduced significantly due to eccentric loading. This research will clarify the difference between column with eccentric loading and beam-column assembly in fire resistance. The design of building in Taiwan area is controlled by the presence of seismic force. The residual horizontal force after suffering fire damage is major index for the safety estimation of building.

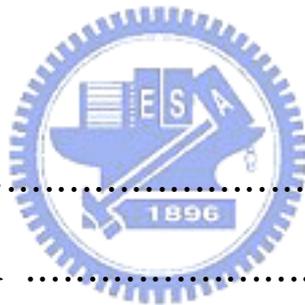
The results from experiment showed that : Concrete is good insulation material for heat and size effect is important. Explosion of concrete cover cause steel exposing to heat directly and reduce the fire resistance significantly. The failure mode is quite difference between column with eccentric loading and beam-column assembly. The increase of moment transfers the failure mode from column to beam. The capability to resist horizontal force after exposing fire damage for 3 hours is reduced not very much.

# 目 錄

中文摘要·····	I
英文摘要·····	II
目錄·····	III
表目錄·····	VII
圖目錄·····	VIII
照片目錄·····	XI

## 第壹章 緒 論

1-1 研究動機與目的·····	01
1-2 研究範圍與方法·····	04



## 第貳章 文獻回顧

2-1 水泥·····	06
2-1-1 水泥組成成份及其性質·····	06
2-1-2 水泥漿體與水泥砂漿受熱之變化·····	06
2-2 骨材·····	08
2-3 強塑劑·····	08
2-3-1 強塑劑的分類·····	08
2-3-2 強塑劑的塑性作用·····	09

2-4 混凝土的熱學性質	09
2-4-1 熱膨脹係數	10
2-4-2 體積變化	10
2-4-3 熱傳遞	10
2-4-4 比熱	11
2-4-5 外觀變化	11
2-4-6 爆裂行為	11
2-5 混凝土受火害後的應力—應變關係	12
2-5-1 強度降低	12
2-5-2 楊氏模數降低	13
2-5-3 應力—應變關係	13
2-6 混凝土強度恢復	13
2-7 柱高溫加載試驗	14
2-7-1 溫度分佈情形	14
2-7-2 軸向變形	14

## 第參章 試驗計劃

3-1 試驗設備	15
3-1-1 梁柱爐	15
3-1-2 油壓機	15
3-1-3 應變計	16

3-1-4 資料擷取器	16
3-1-5 熱電耦線	16
3-1-6 鉸接連接頭	16
3-1-7 柱墩	17
3-1-8 梁傳力桿	17
3-1-9 梁端滾支承	18
3-1-10 梁柱爐間隔板	18
3-2 試體製作	18
3-3 試驗方法	21
3-3-1 鋼筋混凝土樑柱組合體抗火能力試驗	21
3-3-2 承受火害後剩餘承受水平力能力	23

#### 第四章 數值分析模式

4-1 假設條件	25
4-2 溫度傳播公式	26
4-3 熱容量之計算	28
4-4 熱傳導係數	28
4-5 水份蒸發公式	29
4-6 應力—應變關係	30
4-7 分析流程	31

## 第五章 試驗結果與討論

5-1 抗火能力試驗	32
5-1-1 溫度分佈	32
5-1-2 變形	33
5-1-3 破壞模式	34
5-2 抗火能力數值分析	36
5-2-1 溫度分佈	36
5-2-2 軸向變形	36
5-3 殘餘水平抵抗力試驗	37
5-4 再養護水平抵抗能力之恢復	38

## 第六章 結論與建議

6-1 結論	40
6-2 建議	41

參考文獻	42
------	----

## 表 目 錄

表 2-1	標準卜特蘭水泥的典型成分及性質·····	47
表 2-2	水泥熟料礦物的水化特徵·····	47
表 2-3	水泥成分·····	48
表 3-1	$280\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土配比·····	49
表 3-2	$140\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土配比·····	50



## 圖目錄

圖 2-1	水泥成分之水化速率·····	51
圖 2-2	純水泥礦物漿體的強度發展·····	52
圖 2-3	水泥砂漿中不同細骨材所含體積百分比與膨脹係數關係圖·····	52
圖 2-4	水泥砂漿熱膨脹係數與相對溼度之關係圖·····	53
圖 2-5	不同齡期水泥砂漿之熱膨脹係數·····	53
圖 2-6	水泥顆粒凝結情形之示意圖·····	54
圖 2-7	強塑劑使聚集之水泥顆粒分散·····	54
圖 2-8	混凝土熱膨脹·····	55
圖 2-9	骨材與水泥漿體之熱應變圖·····	55
圖 2-10	骨材與水泥漿體界面裂縫示意圖·····	56
圖 2-11	混凝土強度與溫度之關係·····	56
圖 2-12	混凝土彈性模數與溫度之關係·····	57
圖 2-13	矽質骨材混凝土應力—應變曲線·····	57
圖 2-14	碳酸岩骨材混凝土應力—應變曲線·····	58
圖 2-15	柱子高溫高壓試驗溫度歷時·····	58
圖 2-16	柱子高溫高壓試驗內部溫度分佈·····	59
圖 2-17	普通混凝土柱子高溫高壓試驗軸變形歷時·····	59
圖 2-18	高強度混凝土柱子高溫高壓試驗軸變形歷時·····	60

圖 3-1	梁柱爐設計圖	61
圖 3-2	梁柱爐柱子油壓機設計圖	62
圖 3-3	梁柱爐蓋板圖	63
圖 3-4	梁柱爐柱底支承板詳圖	64
圖 3-5	CNS 12514(ISO 834) 升溫曲線	65
圖 3-6	鉸接接頭 (與試體相接部份)	66
圖 3-7	鉸接接頭 (與柱墩相接部分)	67
圖 3-8	鉸接接頭 (與油壓機相接部分)	68
圖 3-9	柱墩平面圖	69
圖 3-10	梁傳力桿	72
圖 3-11	梁端滾支承	73
圖 3-12	梁封口	75
圖 3-13	梁柱組合體鋼筋圖	76
圖 3-14	梁柱斷面及熱電耦線位置圖	77
圖 3-15	柱端接合鋼板	78
圖 3-16	LVDT 設置位置圖	79
圖 3-17	熱電耦線安裝編號圖	79
圖 4-1	分析模式流程圖	80
圖 5-1	1.5cm 偏心試體柱體內鋼筋溫度歷時	81
圖 5-2	1.5cm 偏心試體柱體內混凝土溫度歷時	81

圖 5-3	5cm 偏心試體柱體內鋼筋溫度歷時	82
圖 5-4	5cm 偏心試體柱體內混凝土溫度歷時	82
圖 5-5	6cm 偏心試體柱體內鋼筋溫度歷時	83
圖 5-6	6cm 偏心試體柱體內混凝土溫度歷時	83
圖 5-7	5cm 偏心試體梁體內鋼筋溫度歷時	84
圖 5-8	5cm 偏心試體梁體內混凝土溫度歷時	84
圖 5-9	一小時加熱之斷面溫度分佈圖	85
圖 5-10	二小時加熱之斷面溫度分佈圖	86
圖 5-11	三小時加熱之斷面溫度分佈圖	87
圖 5-12	1.5cm 偏心試體柱之變位歷時	88
圖 5-13	5cm 偏心試體柱之變位歷時	88
圖 5-14	6cm 偏心試體柱之變位歷時	89
圖 5-15	6cm 偏心試體柱數值模式與試驗之變位歷時比較	89

## 照片目錄

照片 一	低溫圓柱試體破壞模式	90
照片 二	高溫圓柱試體破壞模式	90
照片 三	柱主筋穿過柱端部模板	91
照片 四	穿入柱子箍筋	91
照片 五	穿入另一柱端模板	92
照片 六	固定柱子箍筋	92
照片 七	穿入梁主鋼筋	93
照片 八	綁紮梁箍筋	93
照片 九	裝置熱電耦線	94
照片 十	固定鋼筋籠位置	94
照片 十一	豎立側模	95
照片 十二	澆置混凝土	95
照片 十三	養護中試體	96
照片 十四	拆模前試體	96
照片 十五	拆模	97
照片 十六	拆模後繼續養護	97
照片 十七	試體吊離	98
照片 十八	完成後試體	98

照片 十九	製作圓柱試體	99
照片 二十	梁柱爐全景	99
照片 二十一	油壓機水平力保護裝置	100
照片 二十二	鉸接裝置	100
照片 二十三	梁端傳力桿	101
照片 二十四	試驗中的試體	101
照片 二十五	5cm 偏心試體破壞側視圖 (一)	102
照片 二十六	5cm 偏心試體破壞側視圖 (二)	102
照片 二十七	5cm 偏心試體破壞正視圖	103
照片 二十八	5cm 偏心試體破壞區放大圖 (一)	103
照片 二十九	5cm 偏心試體破壞區放大圖 (二)	104
照片 三十	6cm 偏心試體柱在試驗後之側視(一)	104
照片 三十一	6cm 偏心試體柱在試驗後之側視(二)	105
照片 三十二	6cm 偏心試體梁在試驗後之頂部	105
照片 三十三	6cm 偏心試體梁主鋼筋斷裂(一)	106
照片 三十四	6cm 偏心試體梁主鋼筋斷裂(二)	106
照片 三十五	水平殘餘抵抗力試驗參考試體破壞 (一)	107
照片 三十六	水平殘餘抵抗力試驗參考試體破壞 (二)	107
照片 三十七	水平殘餘抵抗力試驗參考試體破壞 (三)	108
照片 三十八	水平殘餘抵抗力試驗試體一之柱	108

照片 三十九	水平殘餘抵抗力試驗試體一之梁底	109
照片 四十	水平殘餘抵抗力試驗試體一之梁頂	109
照片 四十一	水平殘餘抵抗力試驗試體二加壓前之柱	110
照片 四十二	水平殘餘抵抗力試驗試體二加壓後之接頭	110

