

填充式箱型鋼柱防火性能設計研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

填充式箱型鋼柱防火性能設計研究

受委託者：國立交通大學

研究主持人：陳誠直 教授

研究員：林政億

研究助理：曾暉璇 蔡旻諺

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

目次.....	I
表次.....	IV
圖次.....	VI
摘要.....	IX
第一章 概論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的.....	1
第三節 研究方法.....	2
第二章 規範與文獻回顧.....	4
第一節 耐火試驗法.....	4
第二節 填充式箱型鋼柱之火害行為.....	5
第三節 防火設計.....	7
第四節 防火性能設計.....	13
第五節 耐火時間評估公式.....	15
第三章 填充式箱型鋼柱耐火實驗.....	18
第一節 試體設計與製作.....	18
第二節 實驗設備與設置.....	25
第三節 實驗步驟.....	26
第四章 實驗結果與討論.....	29
第一節 實驗結果.....	29
第二節 載重比影響.....	37
第五章 含填充式箱型鋼柱建築結構柱載重比之分析.....	41
第一節 分析規劃及流程.....	41
第二節 建築結構模型.....	42
第三節 建築結構模型之檢核.....	52
第四節 載重比分析結果與討論.....	54
第六章 填充式箱型鋼柱防火設計指南.....	64
第一節 防火性能設計.....	64

第二節 填充式箱型鋼柱防火設計建議	65
第七章 結論與建議	75
第一節 結論	75
第二節 建議	76
附錄一 填充式箱型鋼柱試體強度估算	79
附錄二 審查意見與答覆	82
參考書目	97

表次

表 2-1	建築物防火構造應具有之防火時效	8
表 2-2	Eurocode 4 鋼管混凝土柱耐火要求	11
表 3-1	試體規劃	20
表 3-2	混凝土配比	23
表 4-1	試體施加之軸向載重	29
表 4-2	試驗結果之比較	37
表 5-1	五層樓結構模型構件尺寸表	45
表 5-2	五層樓模型各樓層所加載重	45
表 5-3	十二層樓結構模型構件尺寸表	48
表 5-4	十二層樓模型各樓層所加載重	48
表 5-5	二十四層樓結構模型構件尺寸表	51
表 5-6	二十四層樓模型各樓層所加載重	52
表 6-1	日本法規令第 107 條要求柱構件防火時效	68
表 6-2	填充式箱型鋼柱耐火研究成果	70

圖次

圖 2-1	標準升溫曲線	5
圖 2-2	建築物防火性能驗證流程	8
圖 2-3	日本耐火性能檢証法與法規	9
圖 2-4	AIJ 建築物構造耐火設計流程	10
圖 2-5	Eurocode 4 結構火設計步驟	11
圖 2-6	ECCS 鋼管混凝土柱耐火要求	12
圖 2-7	防火性能設計之項目與流程	14
圖 3-1	填充式箱型鋼柱耐火時間	18
圖 3-2	填充式箱型鋼柱斷面示意圖	20
圖 3-3	箱型鋼柱斷面設計圖	20
圖 3-4	填充式箱型鋼柱透氣孔配置示意圖	21
圖 3-5	填充式箱型鋼柱試體端部設計圖	22
圖 3-6	試體組裝 U 字形樣式	23
圖 3-7	填充式箱型鋼柱試體之溫度測點分佈	24
圖 3-8	試體內部熱電偶安裝	25
圖 3-9	實驗試體設置示意圖	26
圖 4-1	試體 B6N-.15 爐內升溫曲線	30
圖 4-2	試體 B6N-.15 定載加溫之軸向變形-時間關係圖	31
圖 4-3	試體 B6N-.15 之鋼骨測點溫度-時間關係	31
圖 4-4	試體 B6N-.15 之混凝土測點溫度-時間關係	32
圖 4-5	試體 B6N-.15 耐火試驗後外觀	32
圖 4-6	試體 B6N-.15 柱板局部挫屈	33
圖 4-7	試體 B6N-.20 定載加溫之軸向變形-時間關係圖	34
圖 4-8	試體 B6N-.20 爐內升溫曲線	34
圖 4-9	試體 B6N-.20 之鋼骨測點溫度-時間關係	35
圖 4-10	試體 B6N-.20 耐火試驗後外觀	36
圖 4-11	試體 B6N-.20 柱板局部挫屈	36
圖 4-12	試體於不同載重比之軸向變形-時間關係	38

圖 4-13	試體於不同載重比之軸向變形-爐內平均溫度關係.....	39
圖 5-1	建築結構模型設計分析流程圖	42
圖 5-2	五層樓結構平面示意圖	43
圖 5-3	五層樓結構短邊向立面示意圖	44
圖 5-4	五層樓 3D 結構模型圖	44
圖 5-5	十二層樓結構平面示意圖	46
圖 5-6	十二層樓結構短邊向立面示意圖	47
圖 5-7	十二層樓 3D 結構模型圖	47
圖 5-8	二十四層樓結構平面示意圖	49
圖 5-9	二十四層樓結構外層立面示意圖	50
圖 5-10	二十四層樓 3D 結構模型圖	50
圖 5-11	五層樓 4×3 柱位配置示意圖	55
圖 5-12	十二層樓 5×7 柱位配置示意圖	56
圖 5-13	二十四層樓非矩形柱位配置示意圖	57
圖 5-14	5F 結構模型柱載重比.....	59
圖 5-15	12F 結構模型柱載重比.....	60
圖 5-16	24F 結構模型柱載重比.....	62
圖 6-1	柱構件距地版面算起之高度	68
圖 6-2	耐火性能合格時間與 P/P_c 之關係	71
圖 6-3	耐火性能合格時間與 P/P_n 之關係	71
圖 6-4	實驗結果與耐火時間評估公式計算結果	73

摘要

關鍵詞：火害、填充式箱型鋼柱、防火性能設計

一、研究緣起

建築物發生火災的持續時間將影響災害造成的損失程度，若建築結構因火災高溫導致損壞或倒塌，將嚴重威脅人員生命安全甚至影響社會經濟，因此為確保建築結構於火災持續時間仍能具有載重支撐能力，建築結構防火設計有其重要性。由相關研究成果發現，鋼管混凝土柱之防火設計並不能完全適用於國內中高樓層普遍採用之填充式箱型鋼柱，且國內尚無建築結構防火性能設計；基於防火安全考量，填充式箱型鋼柱的防火性能設計建議將有其必要性。

二、研究方法與過程

研究為先蒐集與彙整相關文獻、規範與法規等，再以實驗與分析方法，探討填充式箱型鋼柱火害下行為、耐火性能與使用狀態下之建築構件所承受的載重比範圍；最後，依彙集相關資料與本研究結果，提出填充式箱型鋼柱防火性能設計指南。

三、重要發現

填充式箱型鋼柱試體火害下行為為爐內升溫使之產生膨脹伸長變形，於達最大伸長變形後即轉為壓縮變形，然因內填充混凝土仍處低溫，使軸向變形呈一段穩定狀態之行為，隨後試體軸向壓縮速率增加至判定破壞。承受 0.2 倍以下載重比之無防火被覆試體顯示，內填充混凝土有效延續填充式箱型鋼柱耐火性能，承受較小載重比之柱構件具有較佳耐火性能。再由結構分析結果發現，低矮層、中層或是高層建築結構物於使用性狀態下，各柱構件載重比最大皆不超過 0.5，其中角柱與位於中高樓層之柱構件載重比皆小於 0.2。本研究建立填充式箱型鋼柱防火設計指南，有助於進行構件防火設計與合理評估耐火性能時間。

四、主要建議事項

建議一

受偏心載重填充式箱型鋼柱火害行為研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：科技部

建築物柱構件會因分佈位置不同，使承受不同型式的力，如角柱、邊柱與內柱。由本研究成果發現，柱承受的載重大小明顯影響構件耐火性能，而角柱、邊柱相對內柱承受的軸向載重為小；惟偏心載重會對填充式箱型鋼柱耐火性能造成影響。因此探討偏心載重對填充式箱型鋼柱耐火性能影響程度將有其必要性。

建議二

「建築物構造防火性能驗證技術手冊」第三章屋內火災構造保有防火時效之計算增加有關填充式箱型鋼柱計算方法：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

目前「建築物構造防火性能驗證技術手冊」已有木構造柱、鋼骨構造柱與鋼筋混凝土柱之保有耐火時間計算方法，但缺少填充式箱型鋼柱。經由本研究成果所提受軸向載重無防火被覆填充式箱型鋼柱耐火時間評估公式，可讓設計者評估其耐火時間，再依「建築技術規則」規定判定是否達需求防火時效；若未達要求，則可另依內政部核可最小噴塗厚度之規定，於填充式箱型鋼柱表面覆以鐵絲網再噴塗足夠厚度之防火被覆，或經中央主管建築機關認可覆以足夠厚度之磚、石或空心磚。

建議三

填充式箱型鋼柱防火性能之模擬分析：中長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：科技部

本研究提出填充式箱型鋼柱防火性能之耐火時間評估公式，為依標準升溫曲線之耐火實驗成果建立，但建築物發生火災之火場劇烈程度與持續時間受各種不確定因子影響。因此需有可靠的模擬分析，以考量火場各種不確定性。為完整建立填充式箱型鋼柱防火性能設計指南，考量不同火場影響填充式箱型鋼柱之模擬分析有其必要性。

Abstract

Keywords: fire, concrete-filled steel box column, fire performance-based design

Duration of a building suffered a fire will affect the degree of losses caused by the disasters. If building structures are damaged or collapse due to the fire, it would seriously endangers the safety of human life and even influences the social economy. Therefore, fire-resistant design is important to ensure that the building structures still have capacity during the fire. The literature revealed that the fire resistance used for concrete-filled steel tubular columns cannot be fully applicable to the concrete-filled box columns (CFBCs) which are widely used in domestic medium- and high-rise buildings. Moreover, the performance-based design for fire is still lack in our country. Based on fire safety considerations, the recommendations of fire performance-based design for concrete-filled box columns is needed.

Research was conducted first to collect related literature, specifications and regulations. Then, this study was carried out experimentally and numerically to explore the fire behavior and fire resistance of the CFBCs, and load ratio of the building structures at service condition. Finally, fire performance-based design guidelines for the CFBCs are proposed based on the literature and results of this study.

The test results showed that the CFBC axially expanded and elongated due to the increase of furnace temperature. The elongation changed to shortening after the specimens reached their maximum elongation. However, the temperature of the concrete filled inside the box columns was still low, and the axial deformation of the specimens maintained a stable state. Finally, the rate of axial compressive deformation increased and the specimens reached their failure. The specimens subjected to load ratio of less than 0.2 revealed that the concrete filled inside the box columns effectively enhanced the fire resistance. The specimens with smaller load ratio resulted in a better fire resistance. Further, the results of the structural analysis demonstrated that all the load ratios of the columns designed for low-, medium- and high-rise buildings were less than 0.5. Moreover, the load ratios of the columns at corner and higher storey were less than 0.2. This study established fire performance-based design guidelines for CFBCs to benefit the design and assessment of the fire resistance for CFBCs.

According to the research results, the following suggestions are proposed.

For immediate strategy:

The calculations of the fire resistance of CFBCs can be added in Chapter 3 – “The Calculations of Fire Resistance of Interior Structures in Fire” in the “Technical Handbook of Fire Performance Verification of Building Structures.” The calculations of fire resistance for wood, steel and reinforced concrete structures have been included in the handbook; however, those for CFBCs are missing. These research results provide the calculations of fire resistance for CFBCs without fire-proofing material. When the fire rating is not satisfactory, fire-proofing materials are needed.

The forces of columns in a building structure will vary depending on the location of the columns, such as corner, edge and interior columns. The results of this study found that the load ratio significantly affects the fire resistance, and the corner and edge columns have smaller load ratio than interior columns. However, eccentric axial load would affect the fire resistance of CFBCs. Further study is needed to explore the effect of eccentric axial load on CFBCs.

For long-term strategy:

The fire resistance formula proposed by this study is based on the test results in accordance with standard fire curve. However, severity and duration of a building fire affect by various uncertain factors. Thus, a reliable simulation analysis is required to consider the fire uncertainties. To completely establish the fire performance-based design guidelines for CFBCs, simulation analysis is needed to take into consideration the influence of different fire situation.

第一章 概論

第一節 研究緣起與背景

建築結構的設計與建造需滿足各種安全需求，如強度、穩定、使用性等的需求。台灣位處地震帶，故耐震設計為重要的考量之一，耐震設計的方法於近十餘年來已逐漸考量性能設計，依據建築結構的使用目標設定不同程度的需求。防火設計亦為建築結構重要的安全需求之一，主要原因為火災伴隨著高溫、濃煙、有毒氣體等，嚴重威脅人員生命安全、財產損失與建築結構損害，或進而危害公共安全。因此防火設計法規皆須嚴格執行，以確保防止火災的發生或於火災發生後減少對建築結構與人員造成的損害。

各國防火設計的方法主要為法規條例式的規定，以確保建築結構能符合防火需求。近十餘年來防火性能設計亦逐漸被重視，設計方法為設定建築結構的防火性能目標，依據工程上的分析方法與性能準則，用以設計結構構件與結構體，達成各防火性能之目標。性能設計法的應用於綠建築與永續結構上將有其優勢。

鋼管混凝土柱與填充式箱型鋼柱(或稱內灌混凝土箱型鋼柱)，皆為採鋼材製作成閉合斷面並於其內填充混凝土之柱構件。國外普遍採用鋼管混凝土柱，相關研究涵蓋探討結構構件之耐火性能、影響參數，並依研究成果提出耐火時效評估公式，部分國家亦已制訂鋼管混凝土柱之防火設計規範。填充式箱型鋼柱因其優越的結構行為與耐震性能等，已被廣泛的應用於國內中高樓層建築物，但其火害行為與鋼管混凝土柱有所差異，參考鋼管混凝土柱防火規定設計之填充式箱型鋼柱試體，僅部分試體達規定之防火時效(陳誠直等人 2012, 2013)。因應防火性能設計，建立本土化填充式箱型鋼柱的防火性能設計指南有其必要性。

第二節 研究目的

本研究目的為以耐火實驗研究填充式箱型鋼柱火害下行為、耐火性能、防火時效與破壞模式。再利用結構分軟體模擬低、中、高樓層建築，探討符合耐震設計填充式箱型鋼柱所承受之載重比範圍。最後，彙整國內外相關火害研究成果與本研究成果，提出填充式箱型鋼柱防火性能設計指南。

第三節 研究方法

為明確探討國內普遍採用之填充式箱型鋼柱於火害下行爲、耐火性能與其構件於建築物中所承受之載重範圍，以提出填充式箱型鋼柱防火性能設計指南，因此研究方法為蒐集與彙整相關建築結構防火設計規範與文獻，瞭解目前各國針對填充式箱型鋼柱構件耐火設計或防火性能設計規定等。再基於國內外相關火害研究尚缺乏之成果，規劃實尺寸填充式箱型鋼柱試體進行耐火試驗，探討試體斷面溫度、軸向變形、破壞模式、耐火性能時間等。

由相關研究成果發現，柱試體承受軸向載重大小為主要影響柱構件耐火性能之參數。國內結構設計構件尺寸與強度受地震力影響甚大，故將採分析方法模擬不同樓層高度建築物，研究與探討填充式箱型鋼柱於建築結構使用狀態下之受力範圍。最後，彙整相關火害研究成果與國內外建築構件防火規定等，提出填充式箱型鋼柱防火性能設計指南。

第二章 規範與文獻回顧

本章將彙整相關文獻與規範，瞭解目前火害填充式箱型鋼柱之研究進展等，涵蓋各國研究學者正進行或已完成填充式箱型鋼柱火害下行為研究、耐火性能探討與防火性能設計規定等，及部分國家已提出建築構件防火設計條規與規範。

第一節 耐火試驗法

國內外研究學者普遍依照 ASTM E119 (2000)，或 ISO 834 (1987)規定之標準耐火試驗方法，進行構件耐火性能試驗研究。

壹、ASTM E119

ASTM E119 (2000)為建築物構造與材料之標準火試驗方法，主要規定火爐升溫速率、試驗試體(柱、梁、牆、樓版與其他建築構件)要求、試體破壞判定等。標準火升溫條件為 5 分鐘爐內平均溫度須達 538°C，10 分鐘須達到 704°C，30 分鐘須達到 843°C，1 小時須達到 927°C，2 小時須達到 1010°C，4 小時須達到 1093°C，如圖 2-1 所示。對於承重柱構件，試體受熱段長度不得小於 2.7 公尺，而試體頂端鉸支承、底端未限定，但無明確要求試體需量測溫度。

貳、ISO 834

ISO 834 (1999)為建築物構件耐火試驗規定試驗設備、標準升溫曲線、溫度量測裝置、試驗條件、試驗步驟及性能判定等。我國 CNS 12514「建築物構造部分耐火試驗法」(2010)主要參考 ISO 834 修訂。於進行耐火試驗，室內溫度須介於 10~40°C 且初始平均爐內溫度小於 50°C，而爐內升溫須符合標準升溫曲線 $T = 345 \times \log_{10}(8t + 1) + 20$ ，如圖 2-1 所示。對於承重柱構件之規定，試體受熱長度須大於 3 公尺以上，柱兩端邊界束制條件依實際邊界條件模擬，且試體於試驗過程中須量測溫度及變形。耐火性能判定以軸向壓縮量(C)及軸向壓縮速率(dC/dt)限制， $C = h/100$ (mm)； $dC/dt = 3h/1000$ (mm/min)，其中 h 為柱試體高度。

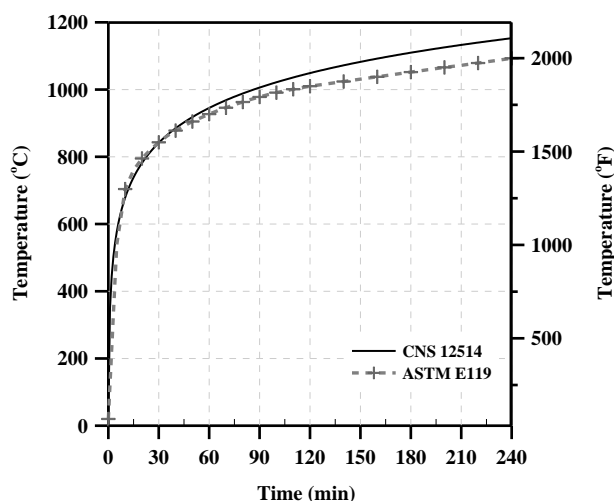


圖 2-1 標準升溫曲線

(資料來源：本研究整理)

第二節 填充式箱型鋼柱之火害行為

以閉合鋼材斷面內灌入混凝土或鋼筋混凝土的柱構件，其閉合斷面可為鋼管或由鋼板銲接之箱型斷面；火害高溫下之相關研究文獻主要以實驗與分析方法進行研究與探討，重要相關研究成果如下。

Han 等人(2003)以 11 支矩、方形鋼管混凝土柱試體，進行耐火實驗研究，探討不同斷面尺寸、偏心載重與防火被覆對耐火性能之影響。研究結果顯示，較大斷面尺寸之試體斷面溫度上升較為緩慢，試體低溫部分仍具有載重支撐能力，可持續抵抗載重，以延長耐火時效；偏心載重影響不顯著，然增加載重則降低耐火性能；增加防火被覆厚度，明顯提升試體耐火時效。

Kim 等人(2005)採 10 支圓及方形鋼管混凝土柱進行耐火實驗，探討試體斷面溫度分佈、軸向變形行為、耐火時效與火害後試體行為。結果顯示，鋼管升溫速度較混凝土為快速，而試體約於試驗 15~20 分鐘達最大軸向伸長變形，此時鋼管溫度約為 500~600°C；試體施加载重大小明顯影響耐火時效。

Kodur (2007)彙整不同型式之鋼管混凝土柱受火害之研究文獻，比較不同斷面形狀、不同填充物對柱構件耐火性能之影響，並提出耐火時效評估公式。斷面形狀為圓形、方形，內填充物分為純混凝土、鋼筋混凝土和鋼纖維混凝土。研究結果發現，圓形斷面試體耐火性能相較方形斷面為佳；鋼管柱內為鋼筋混凝土之

試體耐火能力最好，其次為鋼纖維混凝土和純混凝土。

Lu 等人(2009)藉由耐火實驗與有限元素分析研究方形鋼管混凝土短柱之火害行為；混凝土採自充填混凝土，於試驗時之混凝土強度高達 99 MPa。由實驗結果發現，試體軸向變形行為可分為(a)試體溫度增加產生膨脹變形，(b)鋼與混凝土材料強度因高溫折減導致試體轉變為壓縮變形，(c)試體破壞壓縮變形驟增之三個階段行為。試體破壞模式為鋼管局部挫屈與混凝土碎裂。載重比明顯影響試體耐火性能，試體承受較小載重可增加耐火時效。採 ABAQUS 分析軟體可合理模擬實驗行為，且一般和高強度混凝土材料性質可適用於模擬高強度自充填混凝土模型。

何明錦等人(2012)研究填充式箱型鋼柱試體火害高溫下之行為，並探討箱型鋼柱板銲接型式對柱構件耐火性能的影響。實驗結果得知，試體皆承受相同定額軸向載重作用下，柱板採不同銲接型式(全滲透與半滲透銲接)僅些微影響試體耐火性能，但柱板採半滲透銲接之試體破壞時，會發生柱板銲接處開裂現象。

陳誠直等人(2010)針對國內採用之填充式箱型鋼柱，進行耐火實驗，探討防火被覆對試體之耐火影響、比較試體斷面溫度分佈、試體強度與勁度變化、變形行為(變形與變形速率)與破壞模式等。研究結果顯示，試體防火被覆噴覆核可厚度皆可達預期防火時效；無噴覆防火被覆試體於耐火試驗期間，試體混凝土發出爆裂的聲音，惟因箱型鋼板提供圍束導致試體未立即破壞，直到鋼板局部的鼓起與內部混凝土的碎裂。

陳誠直等人(2012)利用實驗與分析方法，探討有無配置剪力釘及施加不同軸向載重之填充式箱型鋼柱高溫下行為。研究結果發現，承重柱構件所承受之載重大小，明顯影響火害下試體軸向變形行為及耐火性能；試體配置剪力釘可略微增加柱構件之耐火性能；破壞模式為試體被壓縮、鋼板發生多處局部面外凸起、及內部混凝土碎裂。以有限元素分析模擬可合理預測試體斷面溫度分與軸向變形趨勢。

陳誠直等人(2013)依前期研究成果規劃填充式箱型鋼柱試體，探討箱型鋼柱內之縱向主筋、軸向載重大小及斷面尺寸，對填充式箱型鋼柱構件火害行為、耐火性能與耐火時效之影響；再彙整相關實驗成果，提出耐火性能時間評估公式。

研究結果顯示，試體於加熱 20 分鐘後，陸續發出混凝土爆裂聲響；軸向載重大小明顯影響填充式箱型鋼柱構件之耐火性能，其次為配置縱向鋼筋，斷面尺寸影響則較為不顯著。

王天志(2014)與湯兆緯(2014)皆研究斷面 400×400 mm，鋼板厚度 12 mm 之填充式箱型鋼柱火害行為，探討箱型鋼柱內填充物對耐火性能之影響；前者於箱型鋼與混凝土間有無設置剪力釘；後者試體皆有設置剪力釘，而分別填充純混凝土、添加纖維混凝土與添加纖維之鋼筋混凝土。實驗結果顯示，設置剪力釘與採用聚丙烯纖維混凝土僅些微影響柱構件耐火性能，而設置縱向主筋則有助於提升耐火性能。

謝哲民(2014)藉由填充型箱型鋼柱耐火實驗，研究柱構件火害行為與參數對耐火性能的影響。並建立分析計算公式以模擬試體軸向變形，進而探討箱型鋼柱與內填充混凝土於火害過程中之載重分擔關係。結果顯示，試體箱型鋼柱升溫速度較內填充混凝土為快速，鋼骨與混凝土產生軸向變形差異，箱型鋼柱分擔之軸向載重亦逐漸增加。爾後高溫使鋼骨強度折減，箱型鋼柱承載能力喪失，載重轉移至內填充混凝土承擔，而混凝土無法提供足夠載重支撐能力，壓縮變形驟增，試體破壞。

第三節 防火設計

建築結構構件除須滿足常溫下之強度與使用性要求外，亦須考量火災高溫造成結構安全性之影響，以滿足不同需求之目標。目前各國已於建築結構設計規範增設防火設計章節與制訂法規條例式的規定，相關防火設計如下所述。

壹、建築技術規則

「建築技術規則」(2012)為我國建築設計和施工之依據，於建築構造篇第七章鋼骨鋼筋混凝土構造規定，如設計原則、材料、構材設計、接合設計施工等條文；其中，第 507 條規定，鋼管混凝土柱為指鋼管內部填充混凝土之柱。建築物構件防火要求與應具之防火時效，則參考建築設計施工篇-建築物之防火規定，如表 2-1 所示；針對柱構件之防火設計須符合第 70 條至 73 條規定。

表 2-1 建築物防火構造應具有之防火時效

主要構造部分	自頂層算起不超過四層之各樓層	自頂層算起超過第四層至第十四層之各樓層	自頂層算起第十五層以上之各樓層
承重牆壁	1 小時	1 小時	2 小時
梁	1 小時	2 小時	3 小時
柱	1 小時	2 小時	3 小時
樓地版	1 小時	2 小時	2 小時

(資料來源：建築技術規則)

貳、建築物構造防火性能驗證技術手冊

「建築物構造防火性能驗證技術手冊」(2008)提供木構造、鋼骨構造、鋼筋混凝土構造之梁與柱，或牆和樓版等建築物構造防火性能、驗證方法與驗證計算例說明，讓設計者於依我國相關規定要求完成防火設計後，再依手冊進行驗證。對於防火性能之定義，該手冊說明為防止建築物內的延燒擴大及建築物主體的損壞；其防止延燒擴大稱為防火區劃設計，而防止建築損壞稱為構造防火設計，如圖 2-2 所示。除此之外，手冊亦提供火災繼續時間與構造保有防火時效之計算方法與說明等。

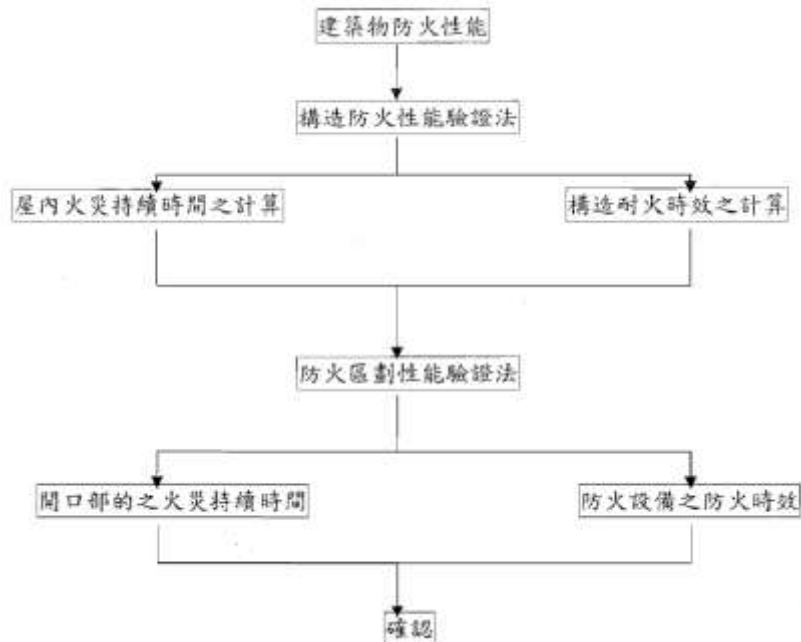


圖 2-2 建築物防火性能驗證流程

(資料來源：建築物構造防火性能驗證技術手冊)

參、日本耐火性能檢証法之解說與計算例解說

日本耐火性能檢証法之解說與計算例解說(2001)考量不同情況下火災程度與配合日本建築基準法規，提供發生火災建築物之梁、柱、牆與樓版等構造耐火性能計算(檢驗)方法、計算解說與計算範例，使設計者可更加瞭解火災安全設計，使達建造安全建築物之目的；耐火性能檢証法與日本建築基準法規之相互關係，如圖 2-3 所示。另外，我國「建築物構造防火性能驗證技術手冊」為參照日本「耐火性能檢証法之解說與計算例解說」而建立。

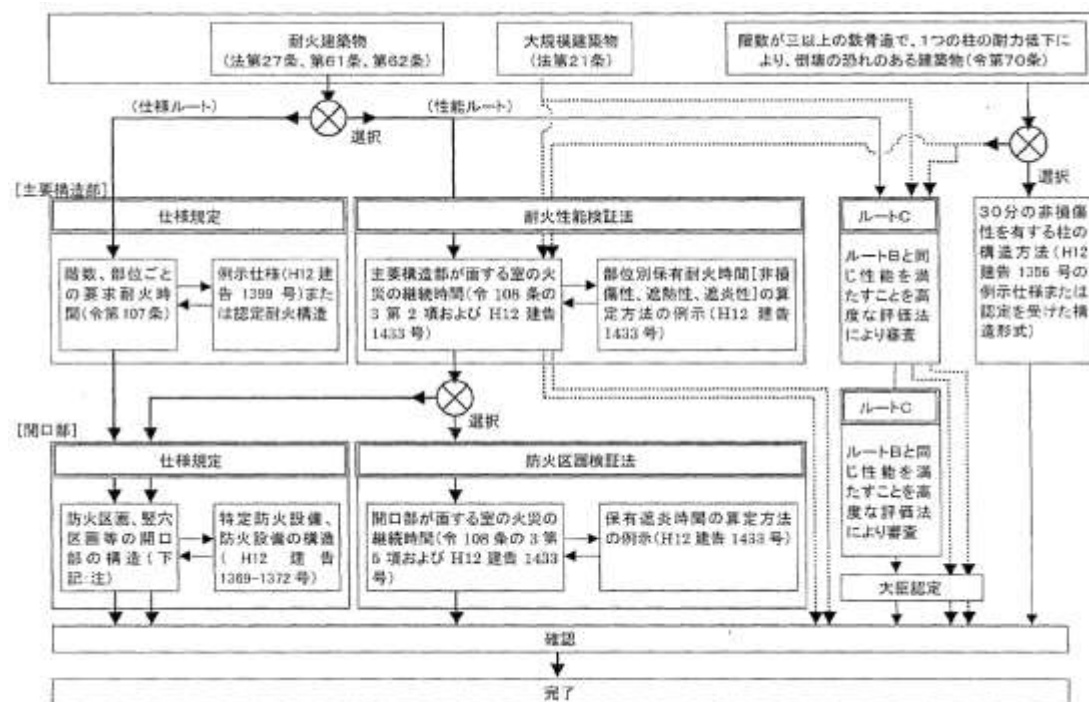


圖 2-3 日本耐火性能檢証法與法規

(資料來源：耐火性能檢証法之解說與計算例解說)

肆、日本建築協會(Architectural Institute of Japan, AIJ)

AIJ (1997)提出填充式箱型鋼柱構造設計施工指針，除規定常溫下填充式箱型鋼柱構件力學特性、變形能力、設計方式、施工製作、梁柱接合等要求外，亦有火災下相關設計規定要求之章節。對於耐火設計章節包括斷面溫度計算、構件火害下行為、鋼骨與混凝土材料性質、耐火設計流程與設計範例。填充式箱型鋼

柱構造耐火設計流程，如圖 2-4 所示。

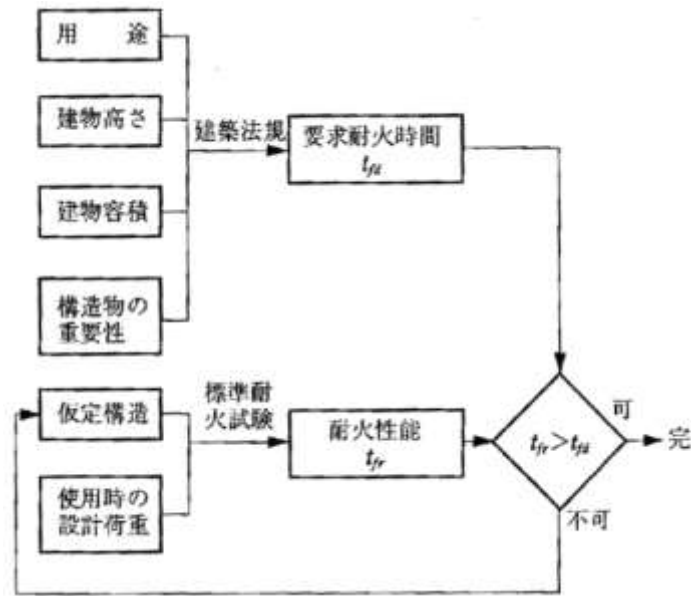


圖 2-4 AIJ 建築物構造耐火設計流程

(資料來源：AIJ)

伍、歐洲規範(Eurocode 4, EC 4)

Eurocode 4 Part1-2 (EN 1994-1-2:2005)屬鋼骨與混凝土結構火設計規範，並規定高溫下材料性質、受火結構構件之設計步驟與詳細設計規定；設計步驟，如圖 2-5 所示。對於鋼管混凝土柱構件受火災影響之設計方法可分為查表法 (tabulated data)、簡易計算法 (simple calculation models) 及進階計算法 (advanced calculation models)。如表 2-2 所示，查表法明定鋼管混凝土柱之載重比 ($\eta_{fi,t}$)、斷面尺寸、鋼板厚度、鋼筋比及主筋保護層厚度 (u_s) 等規定，使達到要求之耐火時效 (30、60、90、120、180 分鐘)；其中， u_s 為主筋中心至混凝土表面之距離。

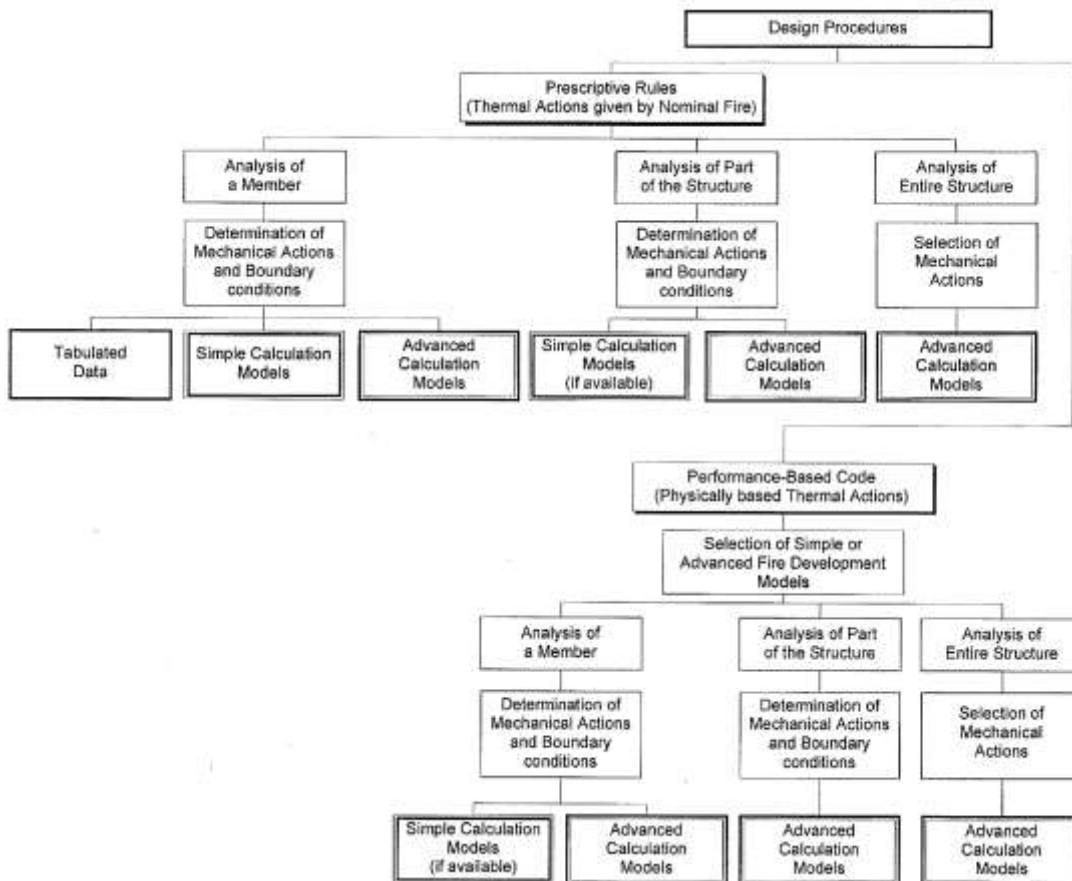


圖 2-5 Eurocode 4 結構火設計步驟

(資料來源：Eurocode 4)

表 2-2 Eurocode 4 鋼管混凝土柱耐火要求

		Standard Fire Resistance				
		R30	R60	R90	R120	R180
1	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{h,1} \leq 0,28$					
1.1	Minimum dimensions h and b or minimum diameter d [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Minimum ratio of reinforcement $A_S / (A_C + A_S)$ in (%)	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Minimum axis distance of reinforcing bars u_S [mm]	-	30	40	50	60
2	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{h,1} \leq 0,47$					
2.1	Minimum dimensions h and b or minimum diameter d [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Minimum ratio of reinforcement $A_S / (A_C + A_S)$ in (%)	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Minimum axis distance of reinforcing bars u_S [mm]	-	30	40	50	60
3	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{h,1} \leq 0,66$					
3.1	Minimum dimensions h and b or minimum diameter d [mm]	260	450	550	-	-
3.2	Minimum ratio of reinforcement $A_S / (A_C + A_S)$ in (%)	3,0	6,0	6,0	-	-
3.3	Minimum axis distance of reinforcing bars u_S [mm]	25	30	40	-	-

(資料來源：Eurocode 4)

陸、ECCS-Technical Committee 3

歐洲鋼結構協會 European Convention for Constructional Steelwork-Technical Committee 3 (ECCS- Technical Committee 3) (1988)介紹 4 種不同型式鋼與混凝土組成之柱構件曝露於標準火場之耐火計算規定。耐火計算規定，如試體斷面溫度計算方法、常溫下與火場下試體載重支撐能力計算方法、試體設計與限制要求等。對於鋼管混凝土柱構件，斷面可為方形或圓形，其耐火能力可採建議之方法計算或參考 ECCS 附錄 C 查圖表。ECCS 附錄 C 規定構件材料性質、斷面尺寸、鋼筋尺寸、鋼筋比、保護層厚度、挫屈長度等，並分別以試體達 60、90、120 分鐘耐火時間，限制試體之承載挫屈載重及挫屈長度，圖 2-6 為其中一例。

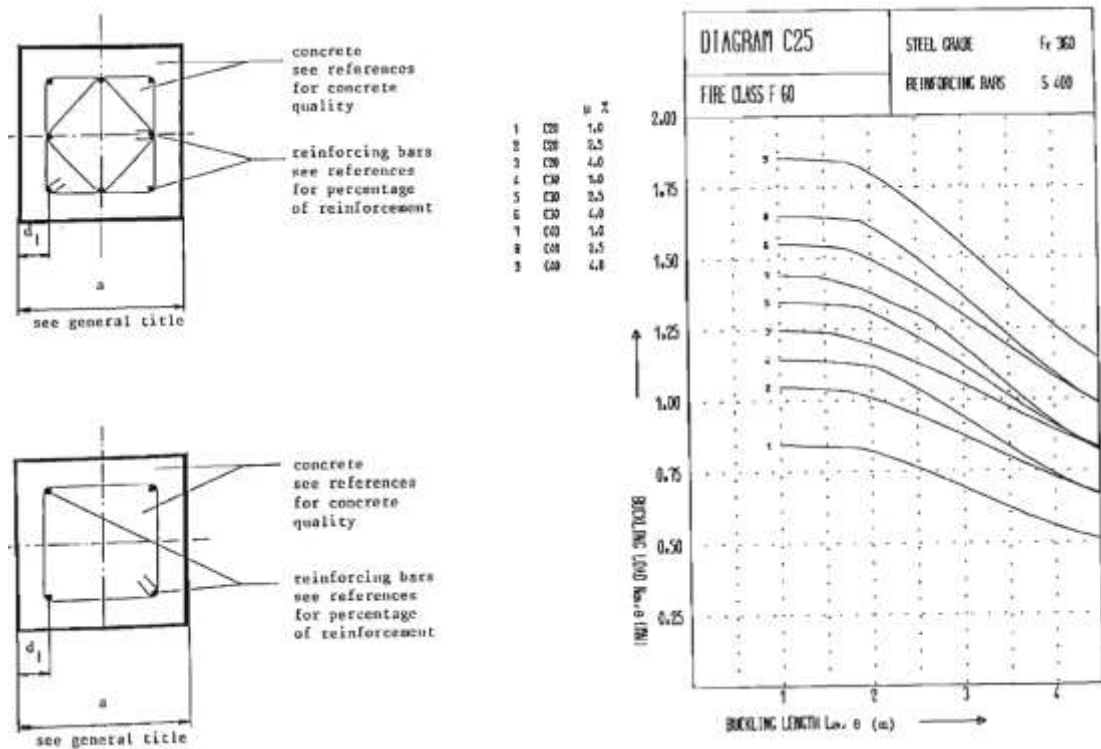


圖 2-6 ECCS 鋼管混凝土柱耐火要求

(資料來源：ECCS- Technical Committee 3)

柒、American institute of steel construction (AISC)

AISC (2010)規範規定常溫下鋼結構構件、鋼與混凝土結構構件與接合元件等設計方法與要求，且於附錄增設結構受火設計之章節。設計規範提供鋼結構構件、構架與系統之受火設計與評估方法，包括規定標準火場環境、高溫下結構材

料性質、結構溫度計算、受火結構強度需求與變形限制等。

捌、Society of Fire Protection Engineers (SFPE)

SFPE (2000, 2002)防火工程手冊主要為探討火災發展與行為、危險評估、消防設備設計與結構材料受高溫影響之行為，與火災危害風險分析等。火災發展過程為點燃、成長、閃燃、完全發展與衰弱，於過程中扮隨著高溫、煙霧、毒氣，而火災中溫度變化過程會因房間尺寸、牆壁結構、窗戶面積與空氣流通等影響。考量火災發展、人的行為反應與不確定因素等，適當地設計與設置消防設備使可保障生命安全、降低損失等。

第四節 防火性能設計

火災會危害人員生命與造成建築結構損害倒塌；各國除已制訂建築防火要求與規定外，亦逐漸發展建築物構造防火性能設計。性能設計涵蓋多方向研究範圍考量各種可能影響，使達到火安全與降低災害損失，相關文獻簡述如下。

Eurocode 4 Part1-2 (2005)規定構件、構架、整體結構之耐火設計，設計步驟分為兩部分，一為規範條例 (Prescriptive Rules)，另一為性能法規 (Performance-Based Code)，如圖 2-5 所示。性能法規之設計流程大致與規範條例相同，而性能法規要求較為謹慎，其須選擇火發展模型與採進階計算法。

NIST Special Publication 1061 (2006) 建立性能化防火安全設計，其研究重點為(1)增進防火系統於火場升溫與燃燒之預測；(2)評估災害之不確定性，並將其納入危害及風險分析裡；(3)建立建築設計與建築物安全間之關係；(4)建築物材料和幾何形狀的改變對於火災發展及燃燒產物之影響；(5)預測結構體發生火災之反應。性能基準設計可使建築設計與防火安全設計兩者達平衡，有效降低建築物施工設計之成本，減少火災發生時災害損失。

SFPE (2000)主要以流程圖的形式，架構建立建築防火性能設計指南，如圖 2-7 所示；對於防火性能設計之架構，首先須確定建築防火性能設計之目標、適用範圍與限制，再制定性能標準(考量火災場景、建築物特徵與居住者特徵等)，

並以試驗評估是否滿足性能標準，最後確定建築防火性能設計。

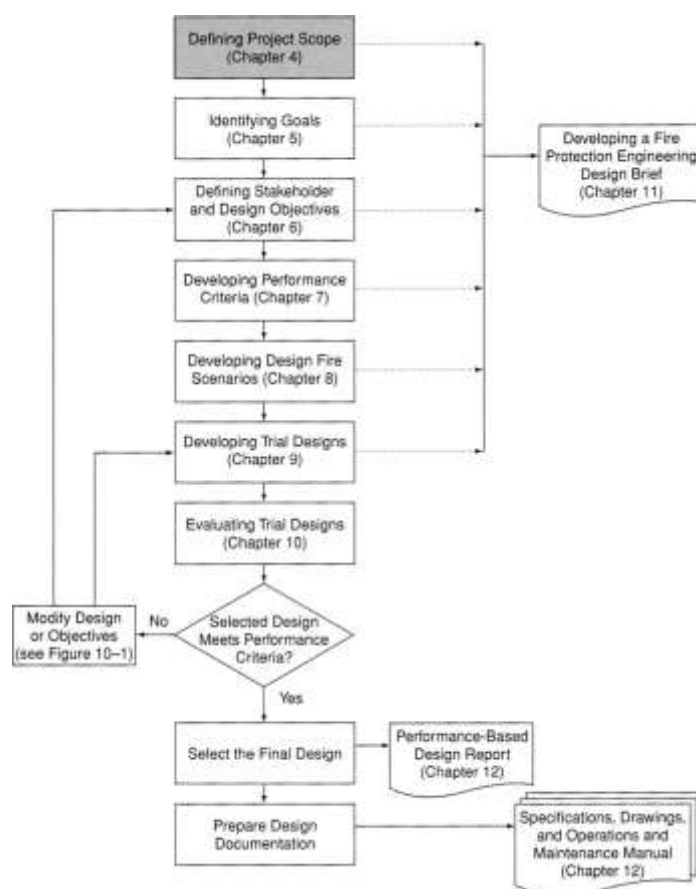


圖 2-7 防火性能設計之項目與流程

(資料來源：Society of Fire Protection Engineers)

結構物之性能基準設計(Performance-based design, PBD)可應用於結構防火工程(Lange 等人 2012)，分析模型包含(1)危害程度：考量地震和火害參數來描述災害發生時之危害程度，如地表最大加速度、升溫速率、受熱時間及火場最高溫度等，並建立災害曲線；(2)結構系統：結構物梁柱構件因受熱形式不同造成內部溫度差異，造成軸向壓力及彎矩發生，而樓版系統受載重作用則有變形產生；(3)損失評估：利用災害分析結果來評估地震造成損失的影響，如停工時間、修繕金額及修繕時間等。由研究結果顯示此種分析方法可以簡單描述各階段反應、較佳之適用性與考量不確定性等優勢，因此可使結構物防火工程與結構工程相互平衡，達最佳性能基準設計與經濟性。

第五節 耐火時間評估公式

由相關研究成果建立之耐火性能時間評估公式，屬防火性能設計步驟之一，可提供設計者快速計算結構構件耐火時間、驗證構件設計達防火需求。各國研究學者提出之鋼管混凝土柱構件之耐火性能評估公式，如下所示。

Harada (2004)論述日本 Building Standards Law of Japan 建築構件耐火性能設計及規定，並於文中討論 Association of New Urban Housing Technology 所建議之圓形和矩形鋼管混凝土耐火時效公式。矩形鋼管混凝土耐火時間評估公式，如公式(2-1)所示。

$$\frac{P}{A_c F_c} = (3.06 \times 10^{-3} \times F_c^{1.735} \times t + 1)^{-0.225} \quad (2-1)$$

其中，P 為施加载重(N)， A_c 為混凝土斷面積(mm²)， F_c 為混凝土強度(MPa)，t 為時間(min)。

Kodur (1999)以實驗研究圓形和方形鋼管混凝土柱火害行為與耐火性能，再以數值分析進行影響耐火性能參數研究，提出耐火時間評估公式，如公式(2-2)所示。

$$R = f \frac{(f'_c + 20)}{(KL - 1000)} D^2 \sqrt{\frac{D}{C}} \quad (2-2)$$

其中，R 為耐火時間(min)， f'_c 為 28 天混凝土強度(MPa)，D 為柱斷面尺寸(mm)，C 為柱構件施加之載重(kN)，K 為有效長度因子，L 為未支撐柱長(mm)，f 為鋼管內填充物和骨材影響係數(方形鋼管柱內填充矽質骨材之混凝土，f 為 0.06；方形鋼管柱內填充碳酸質骨材之混凝土，f 為 0.07)。另外，對於方形鋼管內填充純混凝土柱之公式使用限制為 $R \leq 120$ min， $20 \leq f'_c \leq 40$ MPa， $140 \leq D \leq 305$ mm， $2000 \leq KL \leq 4000$ mm。

Park 等人(2007)探討方形鋼管混凝土柱受火害高溫之影響，並依研究結果提出耐火時間計算公式(2-3)。作者提出公式：

$$t = (172.7 - 50.8\sqrt{\frac{D_c}{10}}) \times \ln\left(\frac{N \times 10^3}{f_{ck} \times A_c}\right) \quad (2-3)$$

其中， t 為耐火時間(min)， D_c 為填充混凝土之寬度(mm)， N 為施加载重(kN)， f_{ck} 為 28 天混凝土圓柱抗壓強度(MPa)， A_c 為填充混凝土之斷面積(mm²)。

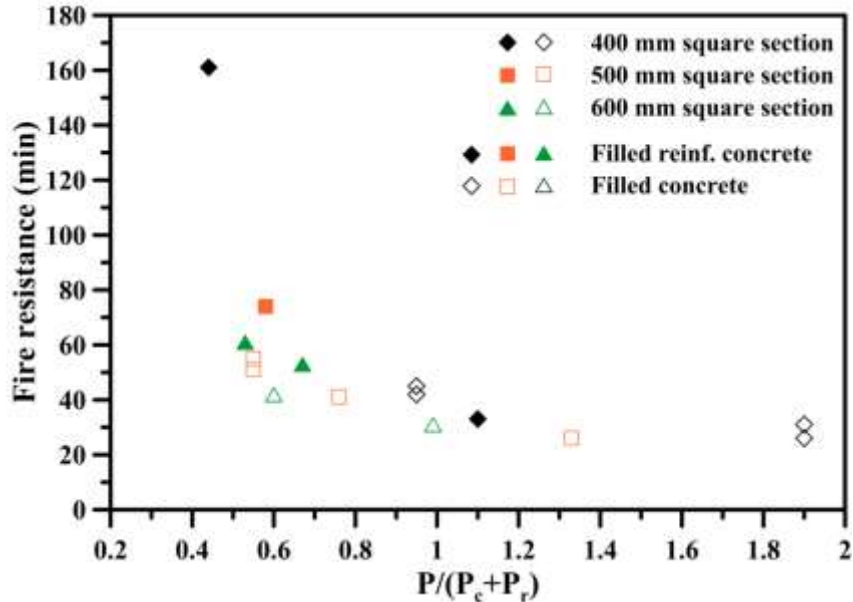
第三章 填充式箱型鋼柱耐火實驗

為探討填充式箱型鋼柱火害行為、耐火性能與耐火時間，本研究將依據我國 CNS 12514 「建築物構造部分耐火試驗法」之相關規定進行耐火試驗。

第一節 試體設計與製作

壹、試體規劃與設計

柱為支撐建築物樓層構造之主要結構構件，除了須承受靜載重、活載重等，亦須考量火災高溫造成的影響。由承重填充式箱型鋼柱構件受火害之研究文獻發現，承重構件會因溫度導致材料強度降低，使構件逐漸喪失載重支撐能力。影響填充式箱型鋼柱構件耐火性能參數為斷面尺寸、軸向載重大小和內填充物等，其中以載重大小之影響最為顯著。再者，由陳誠直等人(2013)彙整一系列之研究成果顯示(圖 3-1)，尚缺乏承受較小軸向載重之火害研究成果，因此本研究試體延續前期研究尚缺少之成果，規劃 2 支填充式箱型鋼柱試體，如表 3-1 所示。



註：P 為施加载重， P_c 與 P_r 分別為混凝土與縱向主筋之軸壓強度。

圖 3-1 填充式箱型鋼柱耐火時間

(資料來源：陳誠直等 2013)

填充式箱型鋼柱試體設計主要參考我國「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」，且需滿足耐震設計要求。試體為四片鋼板柱銲接成箱型鋼柱，並於其內填充混凝土所組合而成，如圖 3-2 所示。箱型鋼柱之鋼骨採用 A572 Grade 50 規格鋼材，柱板厚 19 mm，長 3060 mm，柱板銲接採單斜槽開槽銲接型式，開槽角度為 35 度，根部間隙為 7 mm，如圖 3-3 所示。另外，為考量試體灌漿時內部空氣排除及高溫下混凝土水汽遷移等因素，於柱板各面沿縱向預設數個直徑 20 mm 透氣孔，如圖 3-4 所示。試體內填充混凝土將採國內工程業界常用施工工作度較高之自充填混凝土；試體端板設計，如圖 3-5 所示。

表 3-1 試體規劃

試體編號	斷面尺寸 B×H×t (mm)	載重比 (P/P _n)
B6N-.15	□600×600×19	0.15
B6N-.20	□600×600×19	0.20
備註： P 為施加载重 P _n 為試體標稱軸壓強度，相關計算如附錄一所示		

(資料來源：本研究整理)

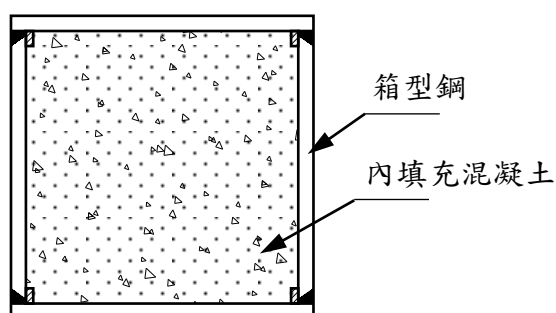


圖 3-2 填充式箱型鋼柱斷面示意圖

(資料來源：本研究整理)

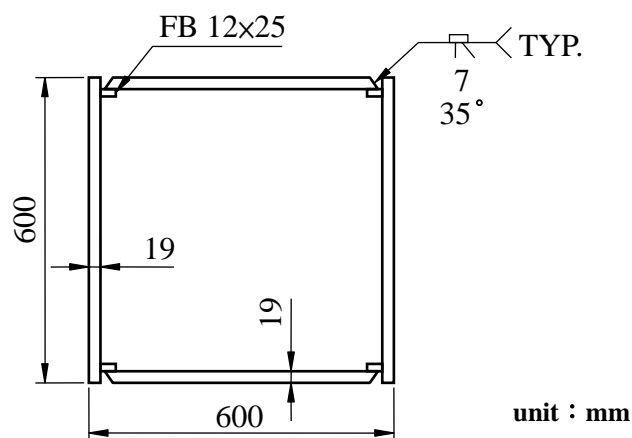


圖 3-3 箱型鋼柱斷面設計圖

(資料來源：本研究整理)

(a) 前視圖

(b) 右側視圖

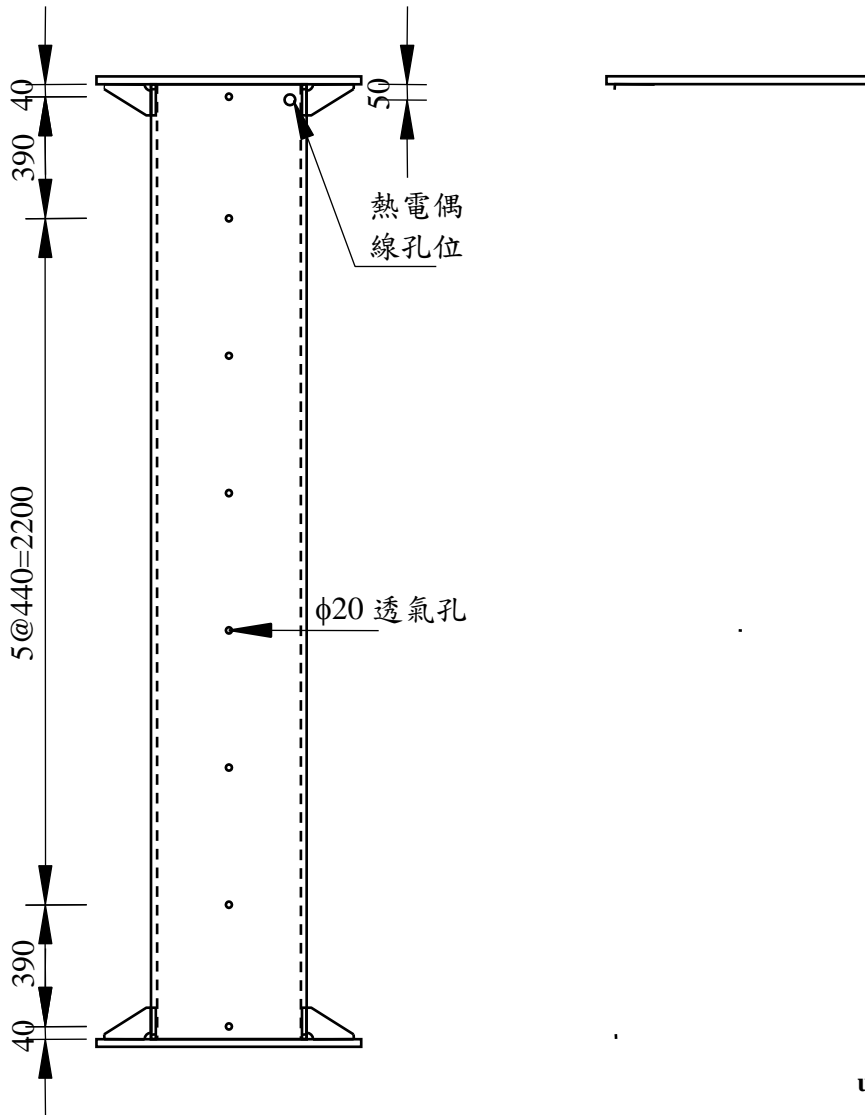


圖 3-4 填充式箱型鋼柱透氣孔配置示意圖

(資料來源：本研究整理)

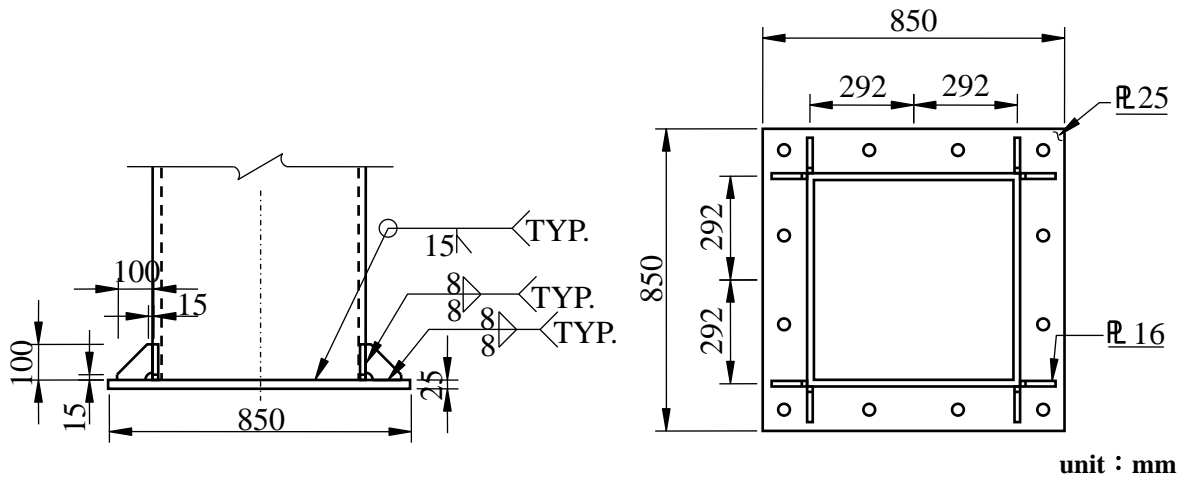


圖 3-5 填充式箱型鋼柱試體端部設計圖

(資料來源：本研究整理)

貳、試體製作

試體製作程序如下：

1. 依所規劃之試體設計圖裁切鋼板、鑽孔及開槽；
2. 將柱板組立為 U 字形，再與兩端端板銲接接合；
3. 佈設與安裝試體內部熱電偶測點；
4. 試體第四面柱板與 U 字形肢材組裝銲接施工；
5. 混凝土灌漿作業；
6. 混凝土養護；
7. 安裝柱面熱電偶測點。

委託鋼鐵廠依設計圖樣製作試體，製作步驟如上述。組裝 U 字形，如圖 3-6 所示。試體內部溫度測點安裝至預定位置，並將熱電偶線延著試體縱向方向，再經由試體頂端柱板預留之孔延伸出試體外，且確定各測點訊號正常。試體各柱板全滲透銲接處皆利用超音波檢測確保銲道無缺陷，再進行混凝土灌漿作業。

試體之柱板鋼骨採用 A572 Grade 50 規格鋼材，實際降伏強度為 3.85 tf/cm²，抗拉強度為 5.23 tf/cm²。試體內灌混凝土採自充填混凝土，其 28 天之標

準圓柱試體抗壓強度為 580.3 kgf/cm^2 ；混凝土配比，如表 3-2 所示。



圖 3-6 試體組裝 U 字形樣式

(資料來源：本研究整理)

表 3-2 混凝土配比

材料用量(kg/m^3)						
水泥	爐粉	飛灰	粗骨材	細骨材	水	化學摻劑
329	66	44	780	992	175	7.03
備註： 設計空氣含量為 1.5% 最大骨材粒徑為 19 mm 水膠比為 0.3977						

(資料來源：本研究整理)

參、試體溫度測點規劃與佈設

依據 CNS 12514 規定建議，承重柱構件於耐火試驗過程中須量測試體變形與溫度。試體溫度量測儀器採用 0.75 級性能以上及直徑 0.65 mm 之 K 型熱電偶，熱電偶佈設於試體受熱段(2800 mm)內之 3 個斷面高度。試體斷面溫度測點規劃，主要為依不同材料及距試體表面深度佈設；試體斷面之鋼骨於箱型鋼外側中央與角隅處，以及箱型鋼內側中央設置 3 個測點；混凝土 4 個測點設置於距混凝土表面 40、120、200 與中心處。詳細試體溫度測點分佈，如圖 3-7 所示；實際

試體內部熱電偶安裝樣式，如圖 3-8 所示。

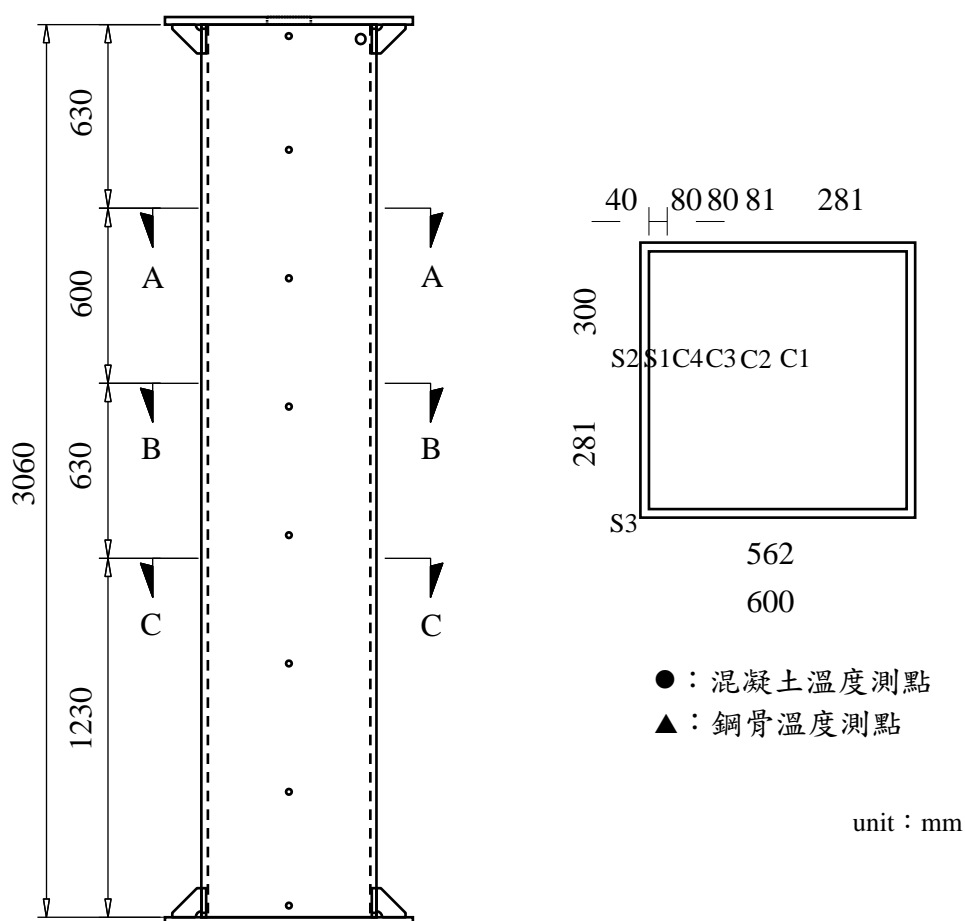


圖 3-7 填充式箱型鋼柱試體之溫度測點分佈

(資料來源：本研究整理)

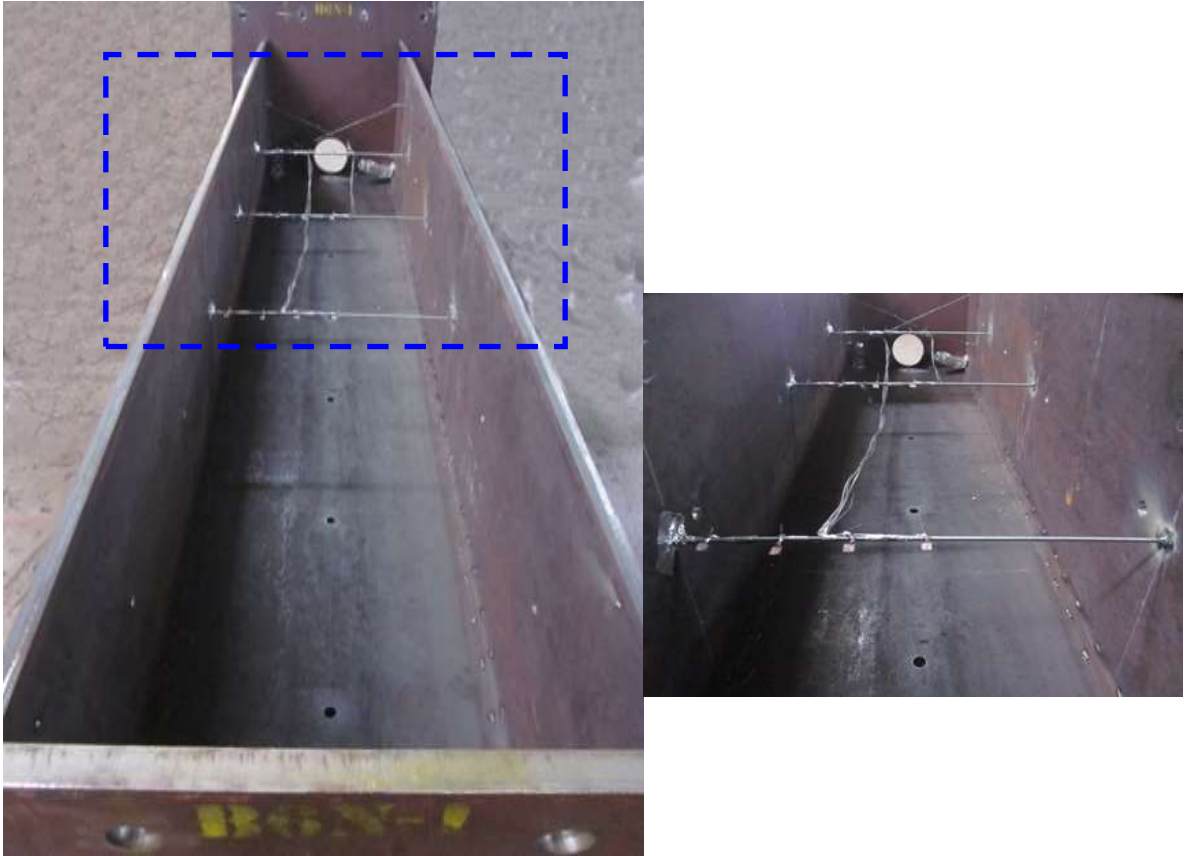


圖 3-8 試體內部熱電偶安裝

(資料來源：本研究整理)

第二節 實驗設備與設置

研究試體將於內政部建築研究所防火實驗中心之複合耐火爐進行耐火實驗，複合耐火爐為兼具加溫與加載之實驗設備。加溫設備以數位控制方式，可模擬 CNS 12514 標準升溫曲線之升溫速率及溫度，並藉由加溫爐東、西兩側之噴火孔以雙向對流形式使爐內溫度均勻分佈。加載設備具 2000 噸加載能力，行程為 500 mm，加載介面以萬向球座設計，轉角可達 15°以上，亦可選擇無旋轉之固定座方式連接。

實驗設置如圖 3-9 所示，實驗設置之程序為將加載設備頂端及底端分別加裝支撐短柱和柱墩，再將試體吊裝至複合耐火爐內；試體兩端利用螺栓分別與柱墩及支撐短柱連接固定，再以防火棉包覆不受熱處；最後連接熱電偶線至資料擷取器、蓋上加溫爐頂端爐蓋板，及架設量測試體軸向變形之位移計。

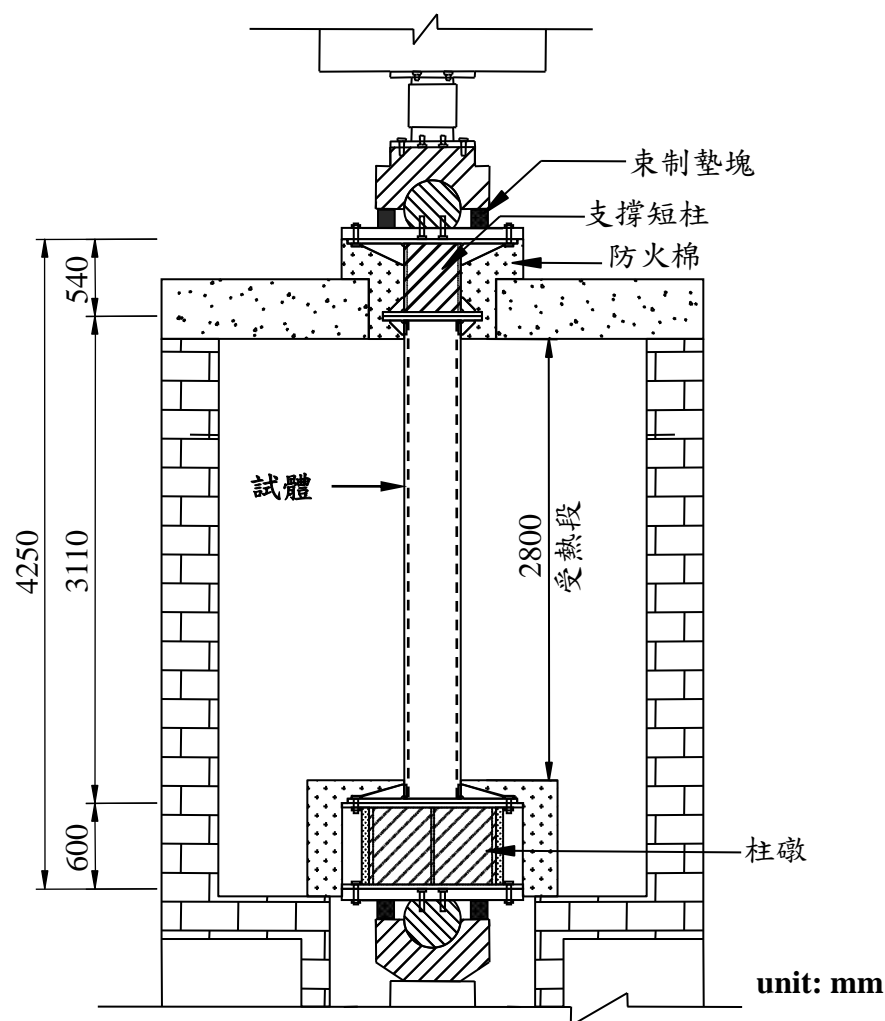


圖 3-9 實驗試體設置示意圖

(資料來源：本研究整理)

第三節 實驗步驟

承重柱構件耐火實驗為依據 CNS 12514 規定進行，試驗步驟如下所示：

試驗開始前預備事項

1. 室內氣溫須在 10~40°C 範圍內，爐內溫度須小於 50°C；
2. 承重構造試體之載重於加載後，等待 15 分鐘保持加載不變直至試體變形不再增加，並記錄變形量；
3. 試驗開始前 5 分鐘內，所有熱電偶之初始值須持續記錄並檢查一致性。

耐火試驗過程

1. 試驗開始之際，試體內部初始平均溫度和非加熱面溫度須與初始室內溫度相差 5°C 範圍內；
2. 加溫爐依標準加熱溫度-時間曲線進行升溫，加熱函數為 $T = 345 \times \log_{10}(8t + 1) + 20$ ，如圖 2-1 所示；
3. 試體承受之載重須保持不變，且當試體發生進一步變形時，加載系統應有即時反應能力，以保持穩定之加載值；
4. 爐內溫度與試體溫度之熱電偶測點，應每隔不超過 1 分鐘即量測一次；
5. 試體垂直或柱中心之水平變形量依量測設備狀況，每間隔一段時間進行量測，變形速率將以實驗之變形量推算而得；
6. 試驗結束後，須觀察試體之變形模式並詳實記錄之。

耐火試驗終止條件

1. 試體達到性能基準指標，或試驗時間已達預定時間；
2. 因人員安全或設備可能遭受破壞之因素。

垂直承重構造之性能基準判定，最大軸向壓縮量(mm)： $C = h/100$ ；最大軸向壓縮速率(mm/min)： $dC/dt = 3h/1000$ ，其中 h 為試體初始高度。本試驗防火時效容許之最大軸向壓縮量為 28 mm，最大軸向壓縮速率為 8.4 mm/min。

第四章 實驗結果與討論

本章節呈現 B6N-.15 及 B6N-.20 兩支試體耐火性能試驗結果，再根據試驗結果討論施加軸向載重大小對於填充式箱型鋼柱耐火性能之影響。試體於試驗前測得混凝土抗壓強度為 626 kgf/cm^2 ，鋼材實際降伏強度為 3.85 tf/cm^2 ，抗拉強度為 5.23 tf/cm^2 。以國內鋼骨鋼筋混凝土規範計算試體標稱強度約為 3106.2 tf ，依試驗規劃兩支試體施加之軸向載重 P ，如表 4-1 所示；試體標稱軸壓強度 P_n 計算如附錄一所示。

表 4-1 試體施加之軸向載重

試體編號	載重比 (P/P_n)	施加载重 (tf)
B6N-.15	0.15	463.3
B6N-.20	0.20	617.8

(資料來源：本研究整理)

第一節 實驗結果

壹、試體 B6N-.15

實驗開始時室內溫度約為 33°C ，試體平均溫度約為 33.7°C ；試體施加軸向載重 463.3 tf 並持壓超過 15 分鐘後，即開始進行定載加溫試驗。試驗初期，爐內升溫使試體受熱產生膨脹伸長變形行為。

加溫爐內平均升溫曲線與 CNS 標準升溫曲線之關係如圖 4-1 所示。試體軸向變形與時間之關係如圖 4-2 所示，試體鋼骨及混凝土測點溫度分別如圖 4-3 與圖 4-4 所示；由於 C 斷面混凝土測點及 CS1 測點於試驗開始 40 分鐘後異常升溫，且部分測點於加溫 80 分鐘後訊號異常，因此將不在此討論異常之測點溫度。

試驗進行至 28 分鐘時，加爐內傳出巨大聲響，試體軸向變形亦為伸長變形趨勢，爾後仍傳出幾聲大小不等之爆裂聲。加熱至 30 分鐘時，試體達到最大軸向伸長量 18.6 mm ，此時爐內平均溫度約為 841°C ，試體柱板表面鋼骨平均溫度為 563.7°C ，混凝土除最外側之 C4 測點平均溫度已上升至 74.3°C 外，其餘測點皆無明顯變化，如圖 4-3 與圖 4-4 所示。加熱至 31 分鐘後，試體軸向變形由伸長轉變為壓縮，然加溫爐內亦持續傳出爆裂聲響，且於加熱 35 分鐘時觀測發現

試體南面柱板透氣孔(距試體底部 1310 mm 處)有出水現象產生，出水現象持續至加熱 46 分鐘停止。

加熱 49 分鐘，加溫爐內傳出巨大爆裂聲，試體軸向壓縮變形逐漸趨緩使呈現變形穩定之情況，此變形穩定情況持續約為 96 分鐘，直至加熱 146 分鐘後，試體軸向壓縮速率漸增，而於加熱 166 分鐘達 CNS 12514 之最大軸向壓縮速率 8.4 mm/min 規定，判定試體失去承重能力，停止試驗。此試體 B6N-.15 耐火性能滿足我國「建築技術規則」規定之兩小時以上防火時效。

圖 4-5 為耐火試驗後試體之外觀；試驗後，試體箱型鋼柱板間之全滲透銲接處皆無銲道開裂現象，但試體四面柱板多處產生局部挫屈變形，局部挫屈變形為鋼板向外凸出，且試體柱板上半部局部挫屈變形較下半部明顯，其中最大凸起量為 72.5 mm (南面柱板距底部 2515 mm 處)，其餘凸起量均介於 9 mm 至 37 mm，如圖 4-6 所示。

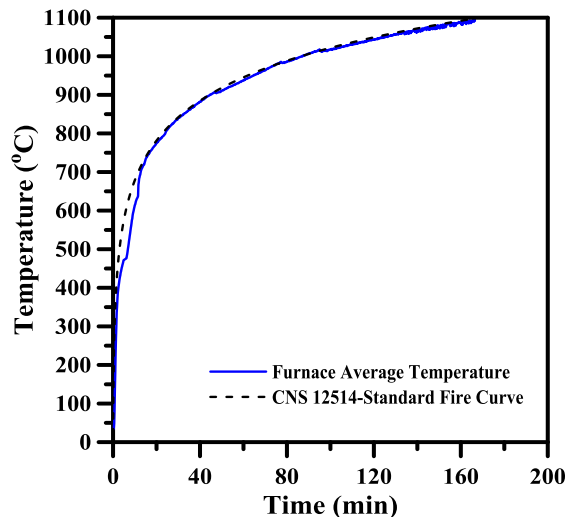


圖 4-1 試體 B6N-.15 爐內升溫曲線

(資料來源：本研究整理)

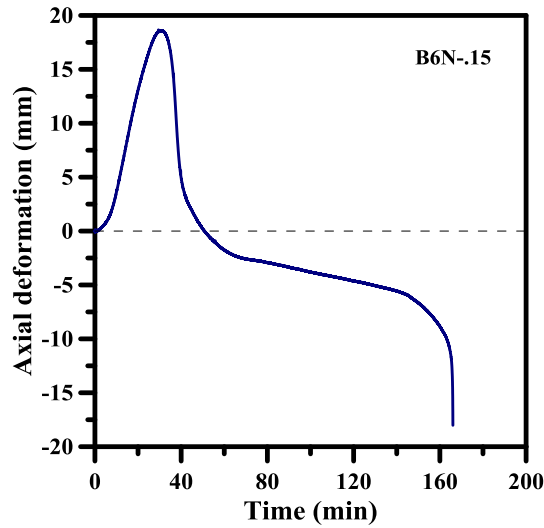


圖 4-2 試體 B6N-.15 定載加溫之軸向變形-時間關係圖

(資料來源：本研究整理)

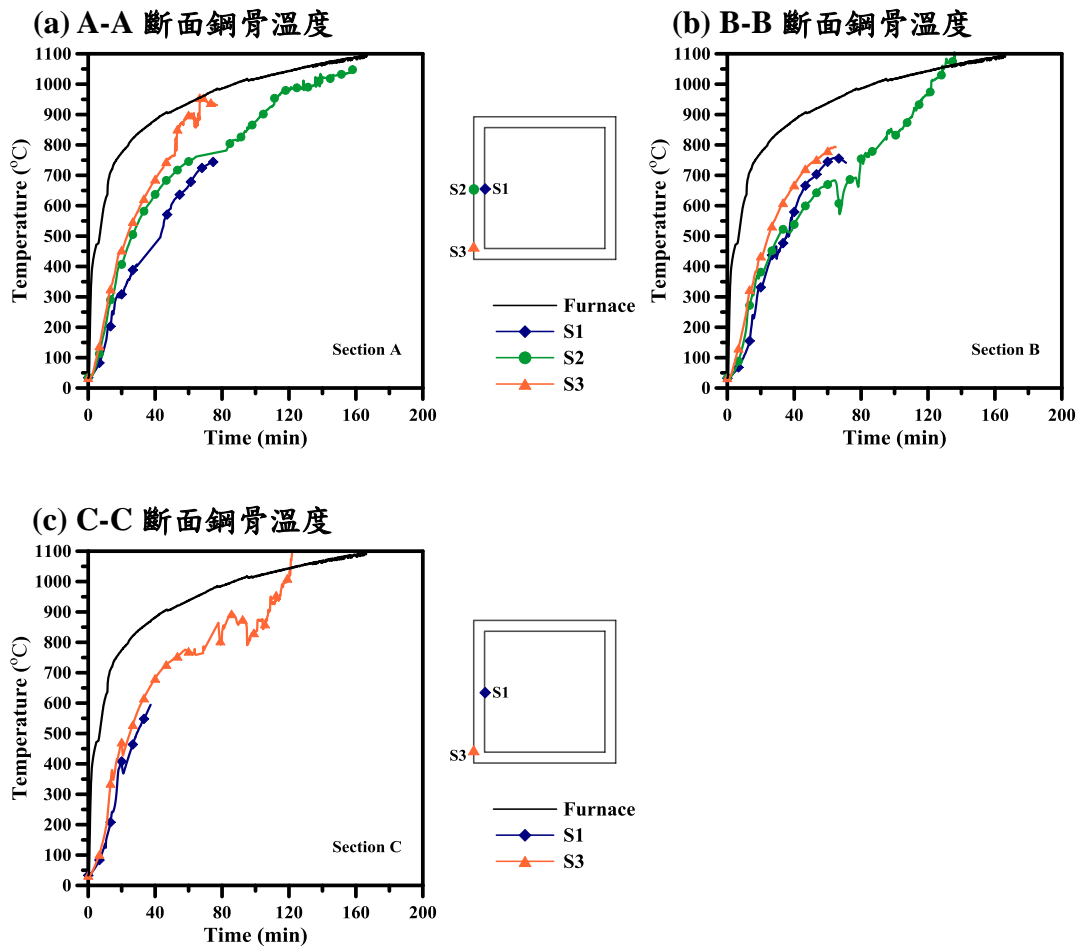


圖 4-3 試體 B6N-.15 之鋼骨測點溫度-時間關係

(資料來源：本研究整理)

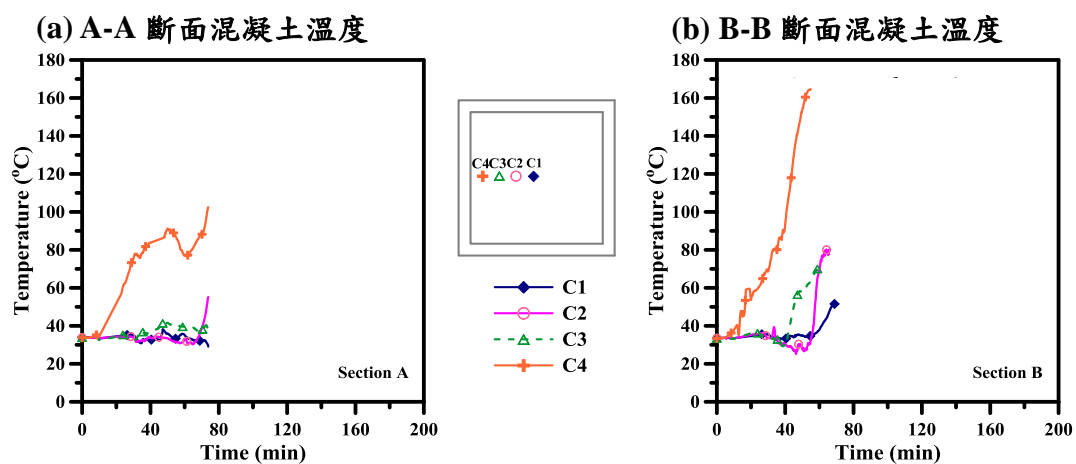


圖 4-4 試體 B6N-.15 之混凝土測點溫度-時間關係

(資料來源：本研究整理)

(a) B6N-.15 南面



(b) B6N-.15 東面和北面



圖 4-5 試體 B6N-.15 耐火試驗後外觀

(資料來源：本研究整理)

(a) B6N-.15 西面和南面



(b) B6N-.15 東面和北面

**圖 4-6 試體 B6N-.15 柱板局部挫屈**

(資料來源：本研究整理)

貳、試體 B6N-.20

試體 B6N-.20 施加較大之軸向載重。試驗開始時平均室溫約為 33.1°C ，試體各測點平均溫度為 33.4°C ，於施加軸向載重 617.8 tf 並持壓超過十五分鐘，確認試體變形不再增加後，開始進行定載加溫試驗。試驗初期(至加熱 28 分鐘)與試體 B6N-.15 變形行為相同為伸長變形，但相對試體 B6N-.15 較早到達最大伸長變形。試體 B6N-.20 於試驗 28 分鐘達最大軸向伸長量 16 mm ，如圖 4-7 所示。此時加溫爐內平均溫度為 831°C ，如圖 4-8 所示；試體柱板表面鋼骨平均溫度為 493.4°C ，如圖 4-9 所示；其他測點則因訊號呈現不規則跳動，且溫度上升趨勢與 B6N-.15 試體差異不大，故不在此討論。

加熱 28 分鐘，試體軸向伸長變形達最大後轉為壓縮變形，持續至加熱 50 分鐘，爾後試體壓縮變形趨緩，呈現軸向變形穩定情況約 30 分鐘；於此期間，加溫爐內持續傳出大小不等之爆裂聲。加熱 80 分鐘後，試體軸向壓縮速率驟增，並達到規定之性能基準指標。試驗共進行 80 分鐘，試體 B6N-.20 達「建築技術規則」規定之一小時防火時效。

待試體冷卻後進入加溫爐內觀察試體外觀發現，試體四面柱板多處產生局部挫屈變形，如圖 4-10 與圖 4-11 所示。試體挫屈處之柱板皆向外凸起且無鐸道開裂現象，其中最大凸起量 86 mm 有兩處，分別位於東面柱板距試體底端 2630 mm 及西面柱板距試體底端 2190 mm 處，而靠近柱板挫屈處之透氣孔呈現橢圓形狀。

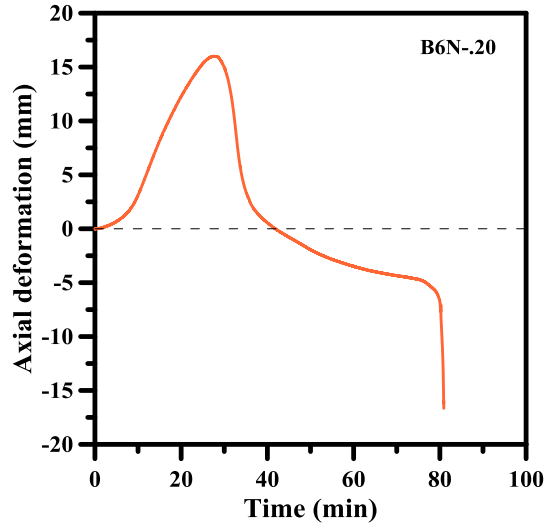


圖 4-7 試體 B6N-.20 定載加溫之軸向變形-時間關係圖

(資料來源：本研究整理)

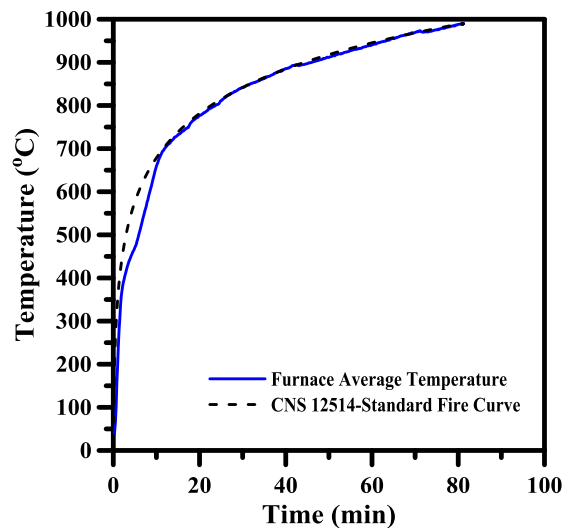


圖 4-8 試體 B6N-.20 爐內升溫曲線

(資料來源：本研究整理)

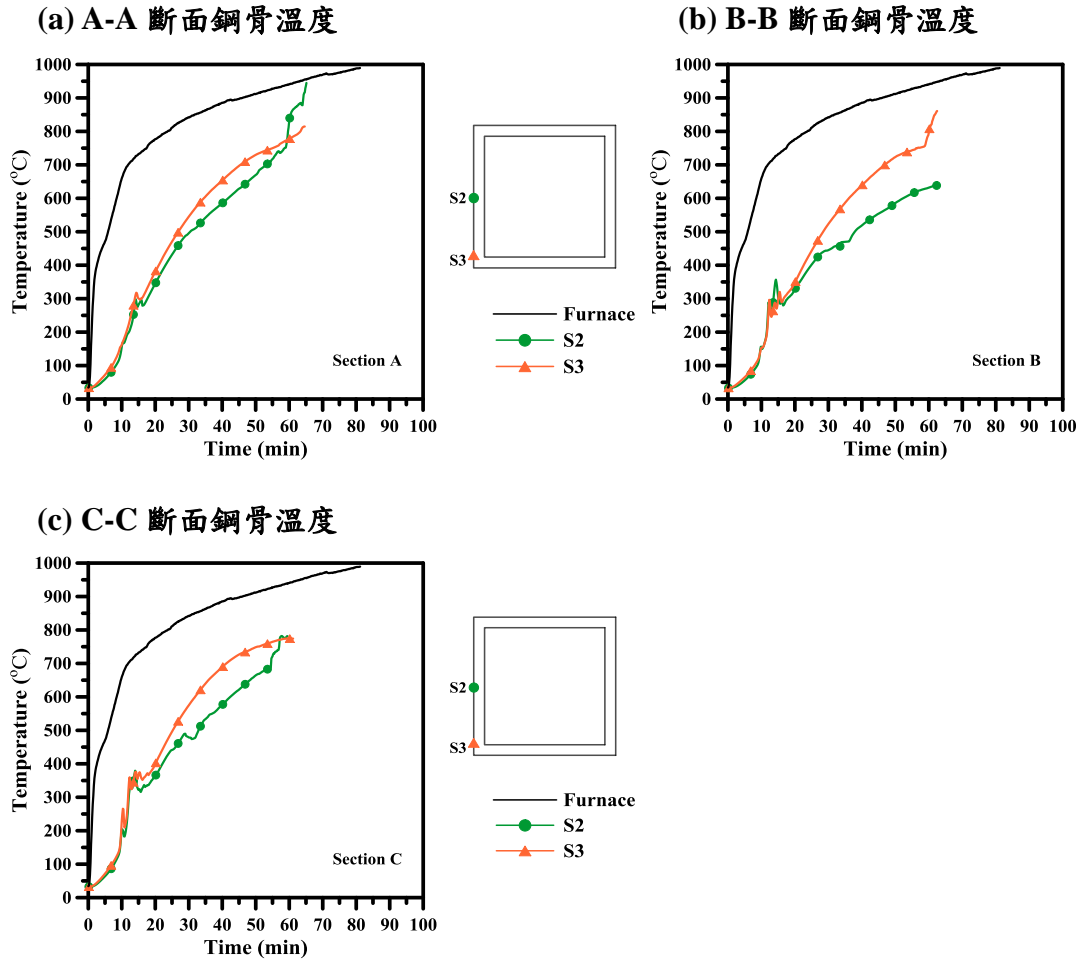


圖 4-9 試體 B6N-.20 之鋼骨測點溫度-時間關係

(資料來源：本研究整理)

(a) B6N-.20 南面



(b) B6N-.20 東面與南面



圖 4-10 試體 B6N-.20 耐火試驗後外觀

(資料來源：本研究整理)

(a) B6N-.20 北面與西面



(b) B6N-.20 南面



圖 4-11 試體 B6N-.20 柱板局部挫屈

(資料來源：本研究整理)

總結試驗結果，試體變形行為皆先為受熱膨脹伸長變形，而達最大伸長變形後轉為軸向壓縮變形。待軸向位移壓縮回初始值後，試體進入變形穩定階段，持續一段時間後試體軸向壓縮速率增加，達到規定之性能基準指標。根據謝哲民(2014)研究指出，試體受熱後因兩材料熱性質影響，箱型鋼柱升溫較快使得載重逐漸轉由鋼骨承擔，隨後試體鋼骨與混凝土產生軸向變形差異。鋼骨因高溫強度折減導致軸向變形由膨脹伸長轉為壓縮變形，且於鋼骨壓縮至與混凝土為同一平面，軸向載重逐漸轉至內部混凝土承擔。當混凝土無法提供足夠承载力後，試體破壞。另外，此次試驗兩支試體各測點之升溫趨勢亦無明顯不同。詳細試驗結果之比較，如表 4-2 所示。

表 4-2 試驗結果之比較

試體編號	B6N-.15	B6N-.20
施加軸向載重(tf)	463.3	617.8
耐火時間(min)	166	80
最大軸向伸長量(mm)	18.6	16
達最大伸長量之時間(min)	30	28
達最大伸長量時之鋼骨表面平均溫度(°C)	563.7	493.4
達最大伸長量時之試體內側鋼骨平均溫度(°C)	483.7	*
達最大伸長量時之混凝土測點 C4 平均溫度(°C)	74.3	*
達最大伸長量時之混凝土中心溫度(°C)	34.5	*
試體發出聲響時間(min)	28~49	28~80
試體變形穩定之持續時間(min)	96	30
備註: *測點溫度異常		

(資料來源：本研究整理)

第二節 載重比影響

本節將藉由軸向變形與時間、軸向變形與溫度關係，探討載重比對柱構件耐火時間之影響；其中，試體 B6N-.15 及 B6N-.20 除施加之軸向載重不同外，其餘參數皆相同。圖 4-12 為試體於不同載重比之軸向變形與時間關係，試體 B6N-.15 由於載重比較小，導致較晚達到最大軸向伸長變形，而延後壓縮行為的發生。兩

支試體於壓縮過程中，皆有一段變形穩定之持續時間，B6N-.15 持續約 96 分鐘，B6N-.20 則持續約 30 分鐘之變形穩定行為；載重比越小則變形穩定時間越長，進而能夠提升試體之防火時效。

圖 4-13 為試體於不同載重比之軸向變形與爐內平均溫度關係，兩支試體皆於約 400°C 開始軸向伸長變形，至約 800°C 達到試體最大軸向伸長量，轉為軸向壓縮行為。B6N-.15 由於承受較小之軸向載重，可達到較大之最大軸向伸長量。試體 B6N-.15 破壞時，爐內平均溫度約為 1100°C，B6N-.20 則於爐內平均溫度約 1000°C 時達到破壞；載重比越小，則試體於破壞時可到達之平均溫度較高。因此承受較小之軸向載重，可延後壓縮行為的發生、延長變形穩定時間、提高破壞時之溫度與提升防火時效。

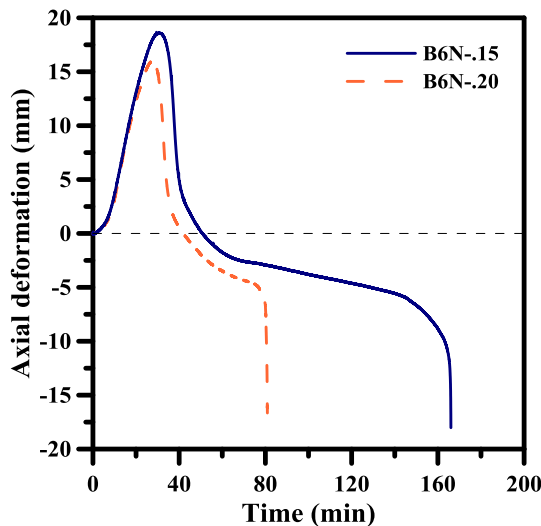


圖 4-12 試體於不同載重比之軸向變形-時間關係

(資料來源：本研究整理)

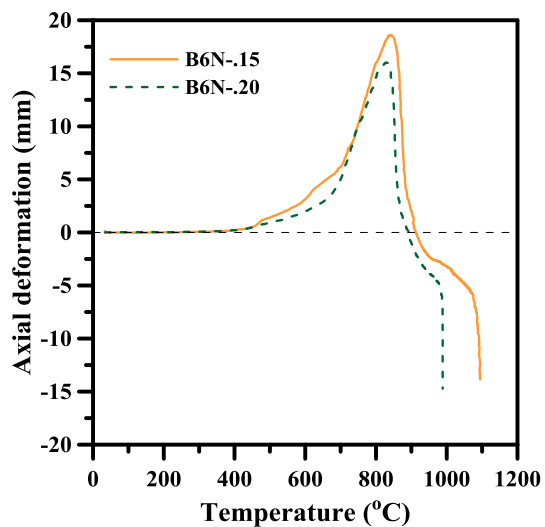


圖 4-13 試體於不同載重比之軸向變形-爐內平均溫度關係

第五章 含填充式箱型鋼柱建築結構柱載重比之分析

載重比為施加载重除以柱極限軸壓強度之比值，為影響柱防火時效的重要因素之一。本研究除了以耐火實驗探討填充式箱型鋼柱火害下之行為外，並利用結構分析軟體 Etabs 建立建築結構模型，探討建築結構於使用性狀態下，各位置之柱構件於不同樓層數中所承受之載重比分佈範圍。

採結構分析軟體 Etabs 模擬一般實際建築物，其建立之建築結構模型須具有一定之合理性，除設計靜載重與活載重以外，亦將地震力納入分析設計，並檢核結構模型是否符合國內規範，最後再對各柱構件承受之軸向載重進行分析及討論。填充式箱型鋼柱屬於鋼骨鋼筋混凝土(Steel Reinforce Concrete, SRC)結構，因此須採轉換斷面方法建立建築結構模型。

第一節 分析規劃及流程

考慮建築結構中各柱構件會因其所在樓層高度及位置影響受力狀況，且不同高度之建築結構受力行為亦有所差異。本研究規劃建立三種不同高度之建築結構模型，分別為低矮層(五層樓)、中層(十二層樓)及高層(二十四層樓)建築結構，探討各樓層角柱、邊柱及內柱等各類型柱構件載重比分布範圍。建築結構模型之設計及分析流程如圖 5-1 所示。

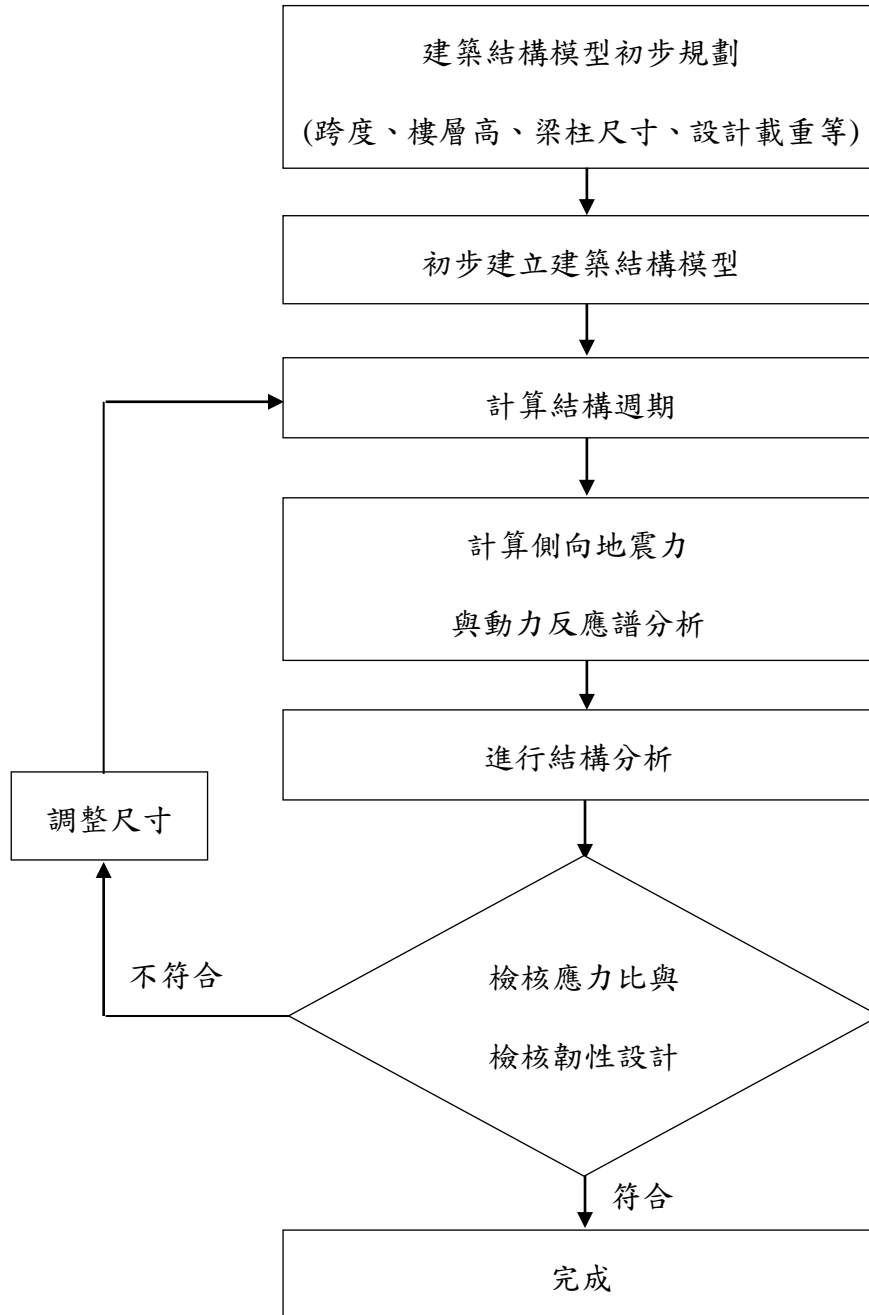


圖 5-1 建築結構模型設計分析流程圖

(資料來源：本研究整理)

第二節 建築結構模型

此節將依序呈現低矮層(五層樓)、中層(十二層樓)及高層(二十四層樓)建築結構模型設計之詳細設置。包括建築結構模型平面、立面、模型各構件之尺寸、載重以及設計地震力與反應譜等。

壹、五層樓建築結構模型

建築結構模型平面及立面

低矮層五層樓建築結構模型平面採 24 m×20 m (X 方向×Y 方向)，X 方向設計為三跨，每跨 8 m，Y 方向採兩跨，每跨 10 m，如圖 5-2 所示；立面設計之第一層樓的樓高為 4 m，第二層至第五層樓高皆為 3.2 m，模型總高度 16.8 m，如圖 5-3 所示(短邊向)；五層樓 3D 建築結構模型圖，如圖 5-4 所示。

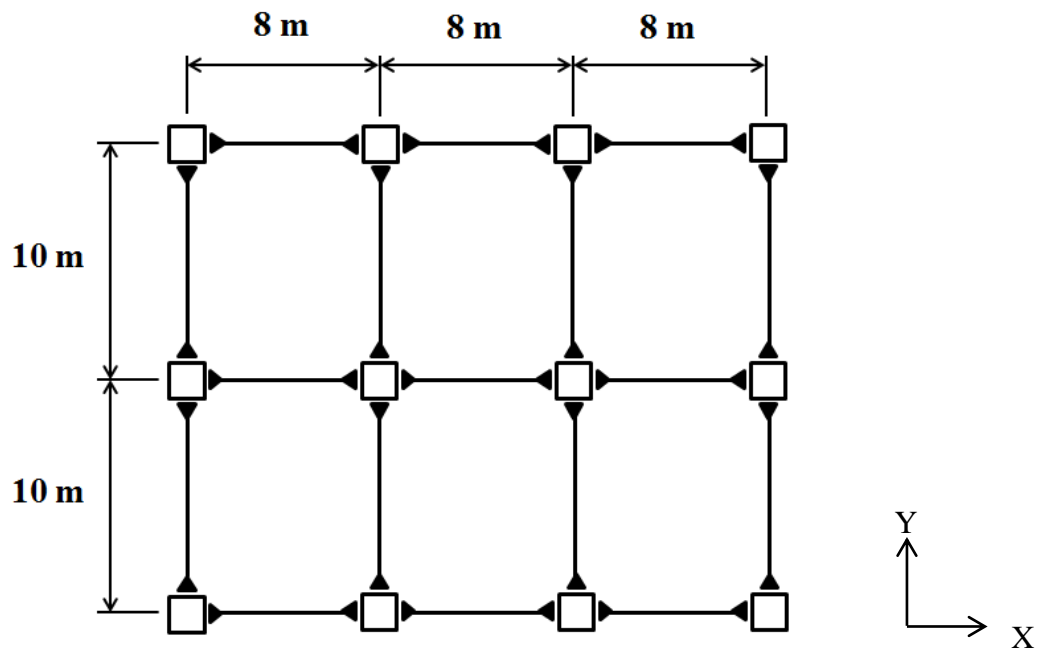


圖 5-2 五層樓結構平面示意圖

(資料來源：本研究整理)

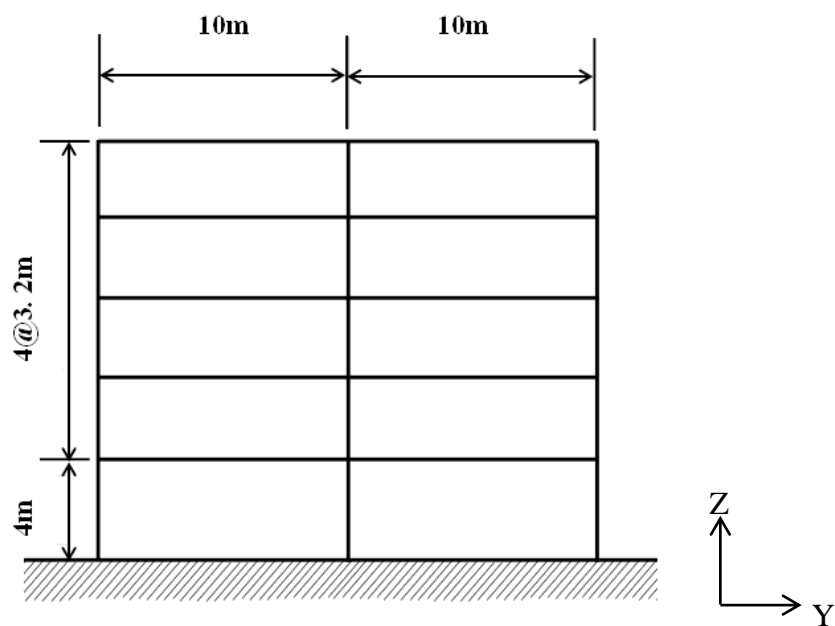


圖 5-3 五層樓結構短邊向立面示意圖

(資料來源：本研究整理)

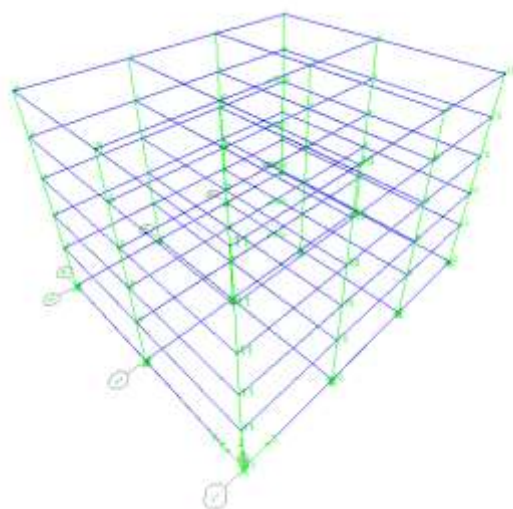


圖 5-4 五層樓 3D 結構模型圖

(資料來源：本研究整理)

模型構件之尺寸

五層樓建築結構模型無地下室，僅於地面層建立地梁；此外，由於位在低樓層之構件承受較大自重，需具有較高之承载力，故本五層樓結構模型之梁與柱尺寸將一至二層與三至五層分別設定，構件尺寸表如表 5-1 所示。

表 5-1 五層樓結構模型構件尺寸表

樓層	構件	尺寸(mm)	材質
1-2F	柱	CFBC□500×500×28	(CFBC 轉換斷面) $F_y = 3300 \text{ kgf/cm}^2$ $f'_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$
3-5F	柱	CFBC□400×400×28	
1-2F	梁	鋼梁 RH600×300×14×23	SM 490
3-5F	梁	鋼梁 RH500×300×13×21	SM 490
1-5F	版	RC Slab (25 cm)	C 280
GF	底梁	RC700×1800	C 420

(資料來源：本研究整理)

載重

依據「建築技術規則-建築構造篇」，決定施加至五層樓建築結構體的靜載重與活載重，載重如表 5-2 所示。

表 5-2 五層樓模型各樓層所加載重

樓層	靜載重(kgf/m ²)	活載重(kgf/m ²)
1-4F	650	200
5F	550	200

(資料來源：本研究整理)

設計地震力與反應譜

利用分析得到此五層樓建築結構之週期，將依此計算側向地震力之豎向分配。此外，為求分析結果更趨完整，亦採用反應譜動力分析。地震力分析之基本假設如下：

1. 地區：新竹市東區
2. 地盤種類：Type2 (普通地盤)
3. 基本振動週期： $T_{code} = 0.085hn^{3/4} = 0.9875$ 秒(轉換斷面後為鋼構架系統)
4. 韌性容量： $R=4$
5. 用途係數： $I=1$

貳、十二層樓建築結構模型

建築結構模型平面及立面

中層十二層樓建築結構模型平面採 36 m×54 m (X 方向×Y 方向)，X 向有四跨，每跨 9 m，Y 向有六跨，每跨 9 m，平面示意圖如圖 5-5 所示。地表以上共有十二層樓，第一層樓的樓高為 5 m，第二層至十二層之樓高皆為 4 m，模型總高度為 49 m。並建有一層高度為 3.5 m 之地下室，其在 X 向與 Y 向均多出四跨，立面如圖 5-6 所示(短邊向)；圖 5-7 為十二層樓 3D 建築結構模型圖。

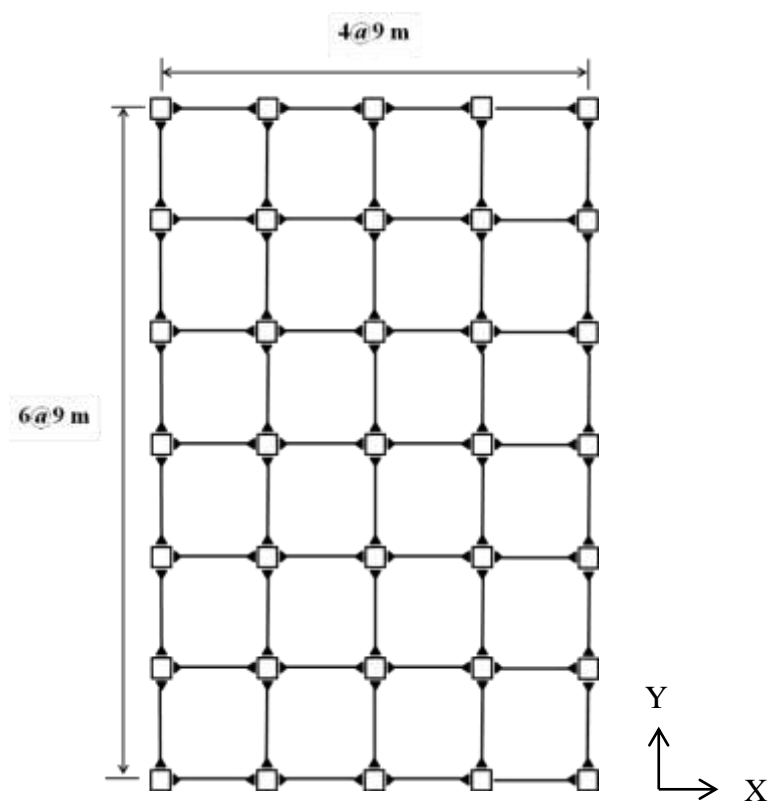


圖 5-5 十二層樓結構平面示意圖

(資料來源：本研究整理)

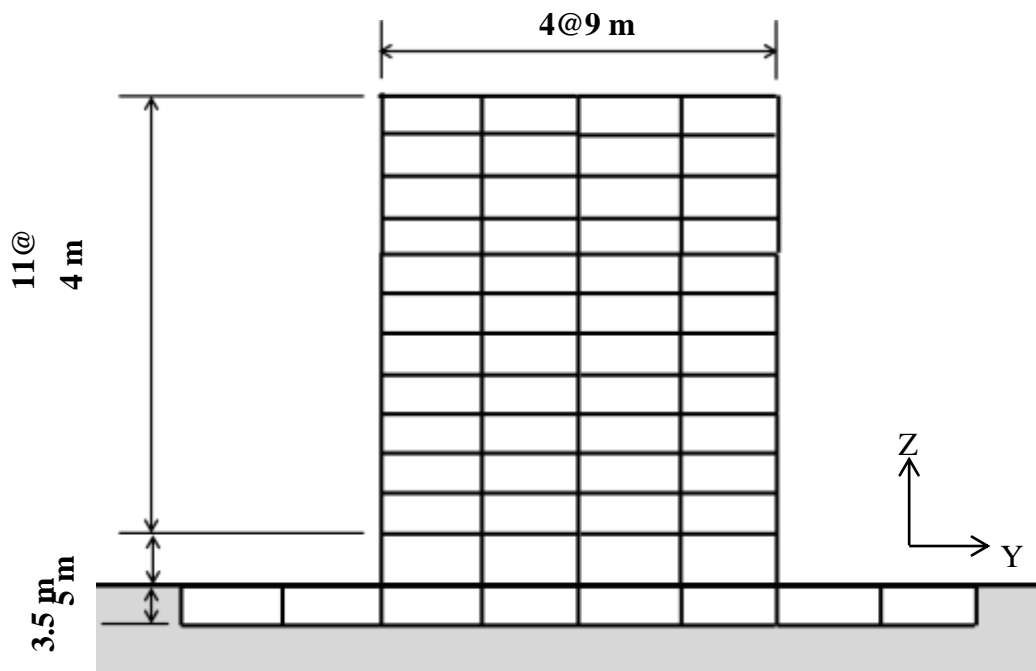


圖 5-6 十二層樓結構短邊向立面示意圖

(資料來源：本研究整理)

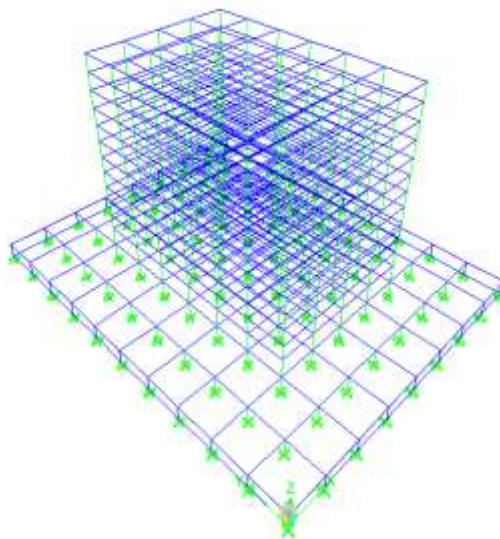


圖 5-7 十二層樓 3D 結構模型圖

(資料來源：本研究整理)

模型構件之尺寸

因十二層樓結構模型之受力大致為由低層至高層逐漸減小，柱之設計強度相

對隨高度增加逐漸降低。降低柱之強度方式有二，其一為縮減柱斷面大小，另一為僅調整柱的鋼板厚度，使得鋼板變薄降低柱強度。考慮施工方便及避免斷面突減造成樓層勁度過低，設計採不縮減柱斷面尺寸但調整鋼板厚度，每三層樓逐漸縮減鋼板厚度。構件尺寸表如表 5-3 所示。

表 5-3 十二層樓結構模型構件尺寸表

樓層	構件	尺寸(mm)	材質
2F 以下	柱	CFBC□600×600×36	(CFBC 轉換斷面) $F_y = 3300 \text{ kgf/cm}^2$ $f'_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$
3-5F	柱	CFBC□600×600×32	
6-8F	柱	CFBC□600×600×28	
9-12F	柱	CFBC□600×600×25	
GF	底梁	RC600×900	C 420
1F	梁	鋼梁 H700×350×16×32	SM 490
2-5F	梁	鋼梁 H600×300×12×28	SM 490
6-12F	梁	鋼梁 H600×300×12×22	SM 490
GF-12F	版	RC Slab (15 cm)	C 280
B1F	牆	RC Wall (60 cm)	C 420

(資料來源：本研究整理)

載重

依據「建築技術規則-建築構造篇」，決定施加至十二層樓建築結構體的靜載重與活載重；其中因建有地下室，地面層之板厚度比其他樓層厚，所施加之載重相對較大，載重如表 5-4 所示。

表 5-4 十二層樓模型各樓層所加載重

樓層	靜載重(kgf/m ²)	活載重(kgf/m ²)
GF	770	500
1-11F	650	200
12F	550	200

(資料來源：本研究整理)

設計地震力與反應譜

因十二層樓建築結構模型所分析出之週期相對較五層樓長，地震力分析之基本假設為：

1. 地區：新竹市東區

2. 地盤種類：Type2 (普通地盤)
3. 基本振動週期： $T_{code} = 0.085h_n^{3/4} = 2.204$ 秒(轉換斷面後為鋼構架系統)
4. 韌性容量： $R=4$
5. 用途係數： $I=1$

參、二十四層樓建築結構模型

建築結構模型平面及立面

高層二十四層樓建築結構模型平面為一 X 及 Y 向為對稱非矩形，兩方向跨度皆為 9 m，從最外側三跨、向內增為五跨、最後增至七跨，如圖 5-8 所示；地面以上共有二十四層樓，第一至三層樓的樓高為 5 m，第四層至二十四層樓高皆為 3.8 m，並建有於 X 及 Y 向各多出四跨之地下室，其高度為 3.5 m，模型總高度為 94.8 m。圖 5-9 為立面圖（所示為最外層）。圖 5-10 為二十四層樓 3D 建築結構模型圖。

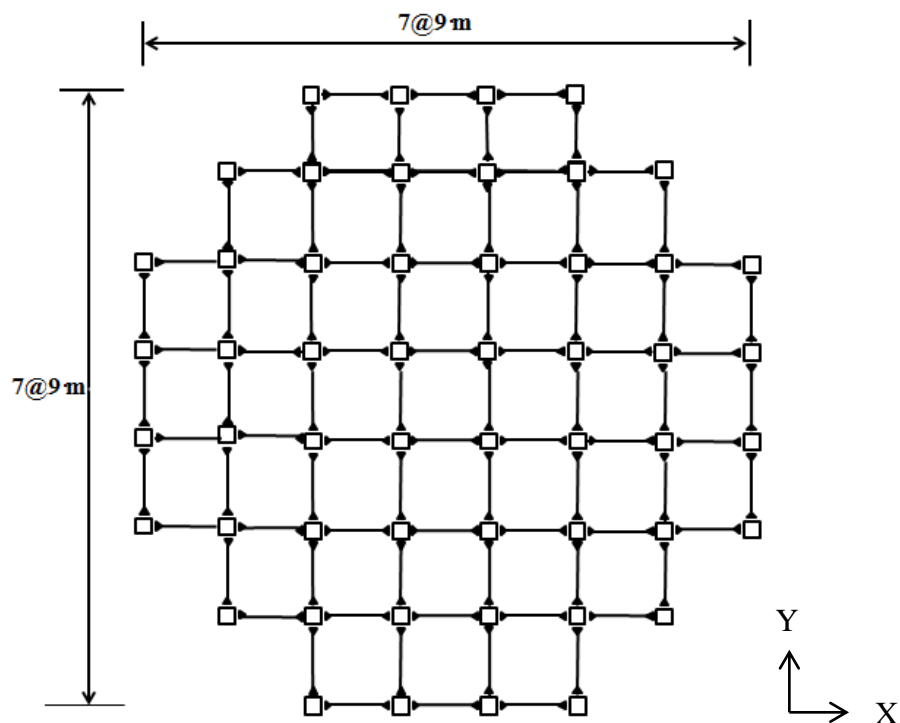


圖 5-8 二十四層樓結構平面示意圖

(資料來源：本研究整理)

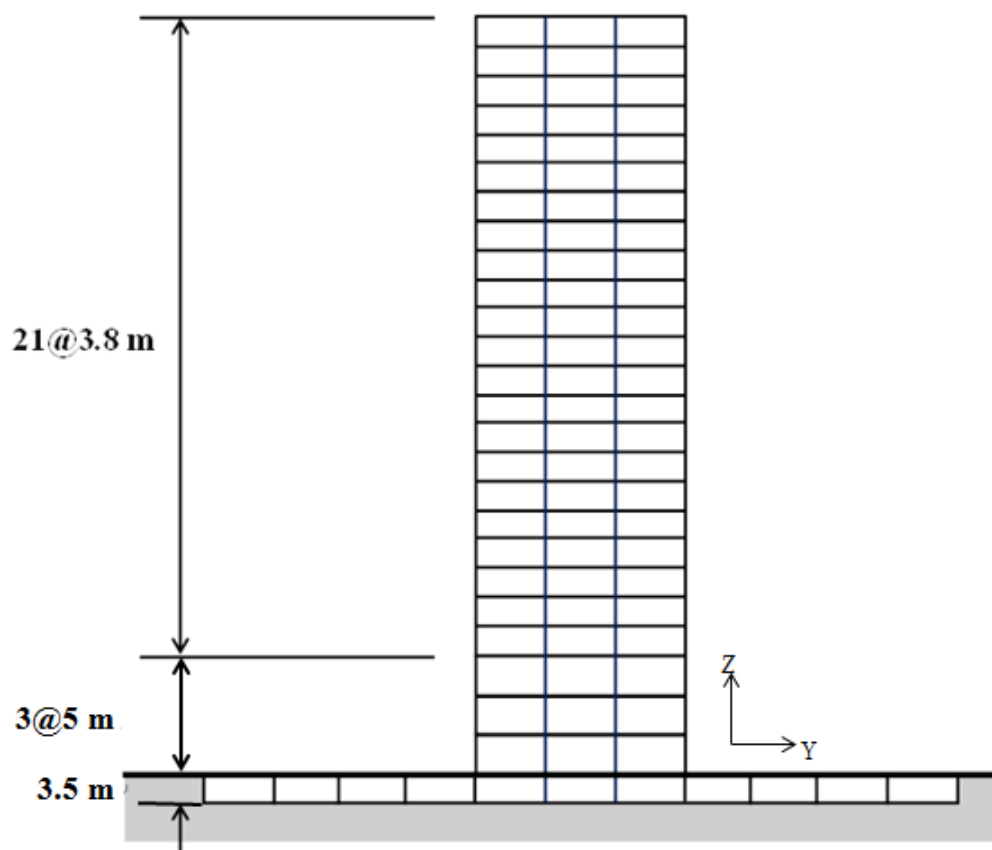


圖 5-9 二十四層樓結構外層立面示意圖

(資料來源：本研究整理)

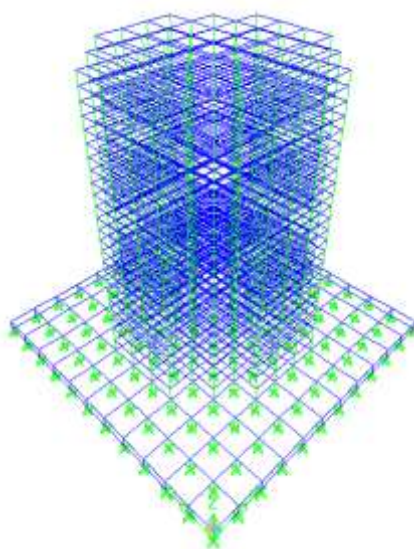


圖 5-10 二十四層樓 3D 結構模型圖

(資料來源：本研究整理)

模型構件之尺寸

高層建築結構中，位於低樓層之柱需承受極大自重，一樓以及地下室之柱構件皆採 80×80 cm 的大尺寸斷面，從二樓開始，柱斷面減為 70×70 cm，隨後採取每三層樓隨高度逐漸縮減鋼板厚度，並且於第 13 層樓以上再縮小柱斷面尺寸為 60 cm，確保設計不過度保守。另外，地下室周圍以 60 cm 之 RC 牆包覆。構件尺寸如表 5-5 所示。

表 5-5 二十四層樓結構模型構件尺寸表

樓層	構件	尺寸(mm)	材質
1F 以下	柱	CFBC□800×800×50	(CFBC 轉換斷面) $F_y = 3300 \text{ kgf/cm}^2$ $f'_c = 560 \text{ kgf/cm}^2$
2-3F	柱	CFBC□700×700×50	
4-6F	柱	CFBC□700×700×45	
7-9F	柱	CFBC□700×700×40	(CFBC 轉換斷面) $F_y = 3300 \text{ kgf/cm}^2$ $f'_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$
10-12F	柱	CFBC□700×700×36	
13-15F	柱	CFBC□600×600×32	(CFBC 轉換斷面) $F_y = 3300 \text{ kgf/cm}^2$ $f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$
16-18F	柱	CFBC□600×600×28	
19-24F	柱	CFBC□600×600×25	$F_y = 3300 \text{ kgf/cm}^2$ $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$
GF	底梁	RC600×900	C 420
1-3F	梁	鋼梁 H700×300×19×40	SM 490
4-9F	梁	鋼梁 H600×300×19×40	SM 490
10-12F	梁	鋼梁 H600×300×16×36	SM 490
13-15F	梁	鋼梁 H600×300×16×32	SM 490
16-18F	梁	鋼梁 H600×300×12×28	SM 490
19-24F	梁	鋼梁 H600×300×12×22	SM 490
GF-24F	版	RC Slab (15 cm)	C 280
B1F	牆	RC Wall (60 cm)	C 420

(資料來源：本研究整理)

載重

二十四層樓建築結構模型的設計靜載重與設計活載重亦參考「建築技術規則-建築構造篇」；其中因建有地下室，地面層之板厚度比其他樓層厚，需承擔的力量也最大，靜載重與活載重也較其他樓層大，載重如表 5-6 所示。

表 5-6 二十四層樓模型各樓層所加載重

樓層	靜載重(kgf/m ²)	活載重(kgf/m ²)
GF	770	500
1-23F	650	200
24F	550	200

(資料來源：本研究整理)

設計地震力與反應譜

此二十四層樓建築結構因高度較高，且轉換斷面後為鋼構造，結構體整體勁度低，以致所分析出之週期較長，落於動力分析反應譜下降後之平台段。地震力分析之基本假設為：

1. 地區：新竹市東區
2. 地盤種類：Type2 (普通地盤)
3. 基本振動週期： $T_{code} = 0.085h_n^{3/4} = 3.6154$ 秒(轉換斷面後為鋼構架系統)
4. 韌性容量： $R=4$
5. 用途係數： $I=1$

第三節 建築結構模型之檢核

建築結構模型需以規範要求進行檢核，使符合要求且具合理性(亦即不過度保守)。檢核方式除以 Etabs 結構分析軟體內建之規範檢核應力比外，亦須額外進行韌性設計以及層間變位的檢核。建築結構模型之檢核項目與檢核方法，如下所述以茲參考。

壹、應力比檢核

以結構分析軟體 Etabs 內建之 AISC-LRFD (1993)檢核此建築結構模型，各構件應力比皆不得大於 1.0；若應力比過低，亦可用來檢查是否設計有過度保守的情形。

貳、韌性設計檢核

由於 Etabs 內建 AISC-LRFD (1993) 規範並無包含我國「鋼結構極限設計法規範及解說」(2010)，第十三章耐震設計之內容，因此須額外進行韌性檢核；相關韌性檢核內容如下。

柱軸向強度

「鋼結構極限設計法規範及解說」(2010) 章節 13.4.1 規定，柱構件在不考慮彎矩作用之下，用以抵抗地震力柱構件之軸向強度，須滿足下列兩種載重組合，即公式(5-1)及(5-2)。

$$\text{軸壓力：} 1.2P_D + 0.5P_L \pm 1.4F_u P_E \leq \phi_c P_n \quad (5-1)$$

$$\text{軸拉力：} 0.9P_D \pm 1.4F_u P_E \leq \phi_t P_n \quad (5-2)$$

其中， P_D 、 P_L 、 P_E 分別為靜載重、活載重以及地震力作用下造成之柱軸力； F_u 為結構系統地震力折減係數，其值不必超過 2.5； ϕ_c 、 ϕ_t 為強度折減係數； P_n 為標稱軸壓(拉)強度。

梁剪力強度

「鋼結構極限設計法規範及解說」(2010) 章節 13.6.1 規定，梁與柱接合處之剪力強度須能抵抗由載重組合 $1.2D+0.5L$ 而得，並加上梁臨界斷面處產生該斷面之塑性彎矩所造成之剪力，檢核方式為須滿足(5-3)式。

$$1.2 P_D + 0.5 P_L + \frac{2M_p}{l_n} \leq 0.6F_y h t_w \quad (5-3)$$

其中， M_p 為梁之塑性彎矩； l_n 為梁之淨長度； h 為梁深； t_w 為梁腹板厚度。

梁柱腹板交會區剪力強度

「鋼結構極限設計法規範及解說」(2010) 章節 13.6.2 規定，檢核梁柱腹板之交會區是否具足夠之剪力強度。檢核方式為將梁產生塑性彎矩時翼板產生之等效軸拉(壓)力，作為梁柱腹板交會區須抵抗之設計剪力，並扣除塑性彎矩在梁柱交會處產生之柱剪力；其值須小於柱之標稱剪力強度。

強柱弱梁檢核

「鋼結構極限設計法規範及解說」(2010)章節 13.6.5 規定，為確保於地震力作用下柱構件不會相較梁構件提前破壞，即為強柱弱梁設計。其檢核方式為，建築結構模型中所有梁柱接頭皆須滿足公式(5-4)。

$$\frac{\sum Z_c(F_{yc} - P_{uc} / A_g)}{\sum Z_b F_{yb}} \geq 1.25 \quad (5-4)$$

其中， A_g 為柱全斷面積， F_{yb} 為梁鋼材之標稱降伏強度， F_{yc} 為柱鋼材之標稱降伏強度， P_{uc} 為所需之柱軸向受壓強度， Z_b 為梁斷面塑性模數， Z_c 為柱斷面塑性模數。

參、層間變位角檢核

除確保建築結構模型強度以及韌性符合規範要求，亦須考慮使用性的需求，如過大的位移則不符合使用性需求。參考「建築物耐震設計規範」(2011)章節 2.16，每一樓層與其上、下相鄰層之相對側向位移除以層高，其值不得超過 0.005。

第四節 載重比分析結果與討論

此節分為兩部分，第一部份為介紹所建立三種建築結構模型之柱位配置以及定義柱種類，同一樓層之柱構件會因所在位置分屬不同類型，載重比之討論則建立於此柱分類上。第二部份將對柱構件之分析結果進行討論。

壹、模型之柱位配置

五層樓建築結構模型

五層樓建築結構模型採用 4×3 的柱位配置(即 3 跨×2 跨，12 根柱子)，如圖 5-11 所示。建築結構模型之柱構件類型涵蓋內柱(Interior column)、邊柱(Edge column)、角柱(Corner column)。

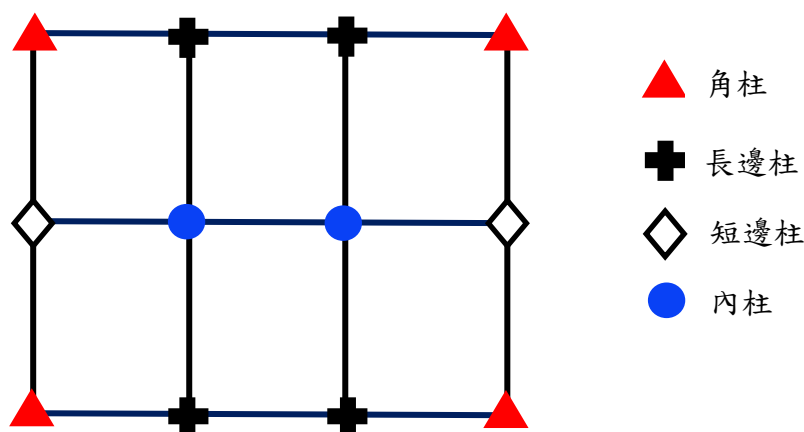


圖 5-11 五層樓 4×3 柱位配置示意圖

(資料來源：本研究整理)

十二層樓建築結構模型

採用 5×7 的柱位配置(即 6 跨×4 跨，35 根柱子)，如圖 5-12 所示；柱載重比分析結果皆對稱分布，將分析結果相同之柱構件歸為同一類，並以基本之角柱、邊柱及內柱區分，形成六種柱構件類別如下：角柱(Corner column)、邊柱 1 (Edge column1)、邊柱 2 (Edge column2)、第一層內柱 1 (First Interior column1)、第一層內柱 2 (First Interior column2)、第二層內柱 (Second Interior column)。

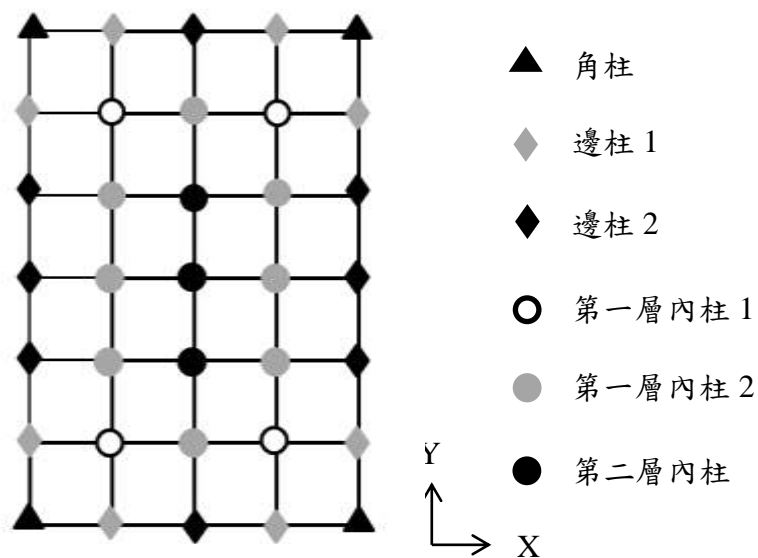


圖 5-12 十二層樓 5x7 柱位配置示意圖

(資料來源：本研究整理)

二十四層樓建築結構模型

二十四層樓平面為一非矩形對稱平面，柱載重比分析結果亦成對稱分布，柱構件可依分析結果區分為八種類別：角柱 1 (Corner column1)、角柱 2(Corner column2)、邊柱 (Edge column)、第一層內柱 1 (First Interior column1)、第一層內柱 2 (First Interior column2)、第二層內柱 1 (Second Interior column1)、第二層內柱 2 (Second Interior column2)、第三層內柱 1 (Third Interior column1)；如圖 5-13 所示。

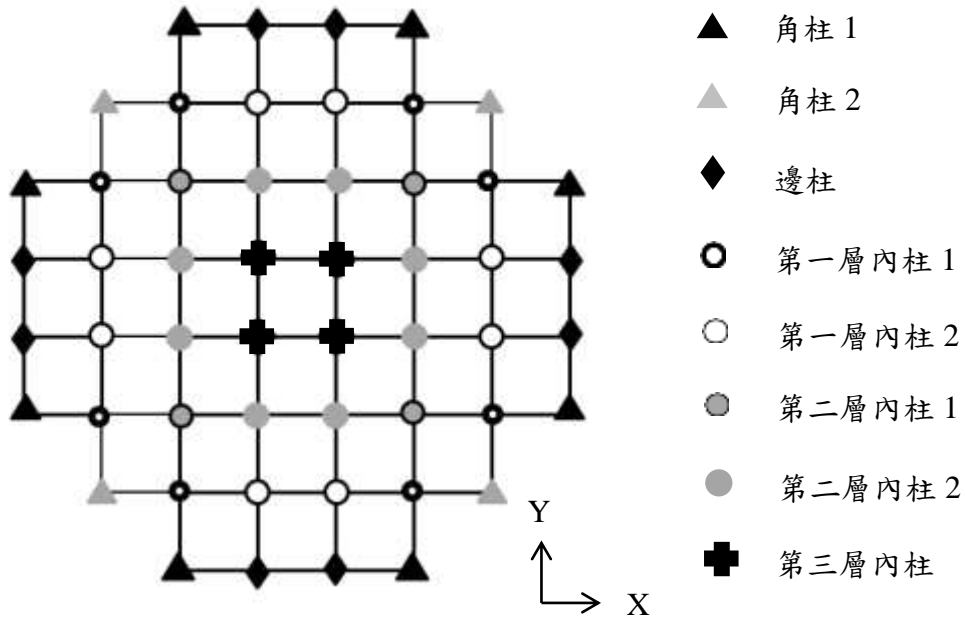


圖 5-13 二十四層樓非矩形柱位配置示意圖

(資料來源：本研究整理)

貳、柱構件載重比分佈範圍

載重比為載重組合 $D+L$ (靜載重+活載重)除以各柱構件極限軸壓強度之比值，而角柱、邊柱及內柱因所在位置不同，其所分配到需承擔來自樓板之均佈軸向載重亦不相等，故以此作為探討載重比之分類。各建築結構模型載重比計算結果整理如下所示。

五層樓建築結構模型

此五層樓建築結構模型之應力比檢核結果，一至二樓柱應力比位於 0.4 至 0.7 之間，三至五樓柱應力比位於 0.3 至 0.4 之間；梁為短邊向應力比較高，皆分布於 0.8 至 1.0 之間。柱之應力比雖未接近 1.0，但在韌性設計之強柱弱梁以及梁柱腹板交會區剪力強度檢核中，均已到達臨界邊緣，無法調減構件尺寸。由上述五層樓建築結構檢核情況，可知此設計不過於保守。

圖 5-14 為五層樓建築結構之載重比分布圖，同一樓層柱構件斷面設計相同，內柱位於結構平面中心位置，所分擔之軸向載重最多；長邊柱及短邊柱之差異不大，而角柱位於結構平面角隅處，所需分擔之軸向載重最少，故內柱有最大之載重比，而角柱有最小之載重比。以模型立面方向而言，一樓柱之載重比最大，範圍介於 0.07 至 0.264 之間，二樓介於 0.059 至 0.208 之間，三樓介於 0.062 至 0.22 之間，四樓介於 0.042 至 0.144 之間，遞減至五樓，載重比範圍降至 0.018 至 0.069 之間。

綜合上述五層樓建築結構模型分析結果，依柱構件類型區分之載重比分佈大至小依序為內柱、短邊柱、長邊柱、角柱。此外，比較採相同柱斷面尺寸之三至五樓，載重比之大小將依所在樓層數越高而遞減，其中四樓之載重比皆低於 0.2，五樓皆低於 0.1。

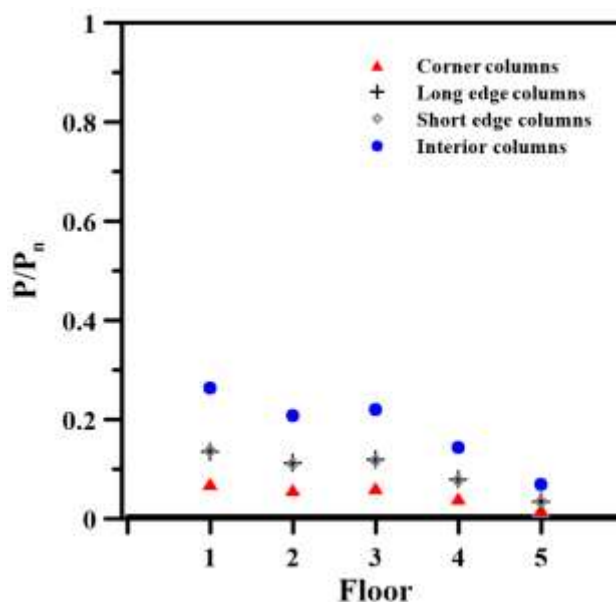


圖 5-14 5F 結構模型柱載重比

(資料來源：本研究整理)

十二層樓建築結構模型

應力比檢核結果，一至六樓之柱應力比範圍介於 0.5 至 0.8 之間，高樓層之柱應力比介於 0.2 至 0.5 間；短邊向梁應力比較長邊向高，一至九樓範圍介於 0.7 至 1.0 間，高樓層介於 0.4 至 0.7 之間。高樓層主要為梁柱腹板交會區剪力強度以及層間變位角控制，層間變位角於七樓至十樓間均已高於 0.004，故高樓層應力比雖不高，卻亦無法再縮減構件尺寸。由以上敘述知檢核狀況，確定十二層樓建築結構設計不過度保守。

十二層樓結構模型柱載重比分析結果發現，載重比隨著柱所在樓層數升高而遞減；一樓之軸向載重仍然最大，範圍介於 0.121 至 0.377 之間，二樓介於 0.117 至 0.344 之間；至中間層六樓，逐漸減少至介於 0.092 至 0.26 之間，遞減至頂樓十二樓，載重比範圍降至 0.011 至 0.036 之間；如圖 5-15 所示。

十二層建築結構模型自重較五層樓大，載重比相較於五層樓亦有上升之趨勢；由柱構件類型區分載重比分佈由大至小依序為第二層內柱、第一層內柱 2、第一層內柱 1、邊柱 2、邊柱 1、角柱；其中，六樓以上之載重比皆低於 0.3，九樓以上樓皆低於 0.2；十二層建築結構柱構件載重比最大不超過 0.4。

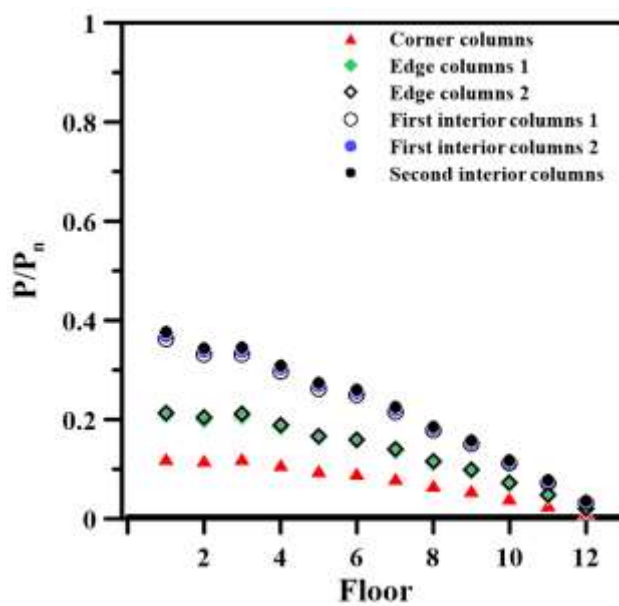


圖 5-15 12F 結構模型柱載重比

(資料來源：本研究整理)

二十四層樓建築結構模型

二十四層樓建築結構模型應力比檢核結果，一至十八樓柱應力比範圍皆介於 0.7 至 1.0 之間，高樓層大約介於 0.2 至 0.7 之間；二十樓以下梁應力比皆介於 0.7 至 1.0 之間，二十樓以上由 0.7 逐漸由高度遞減至 0.4 左右。考慮高樓層層間變位角已高於 0.003，且基於施工性便利考量不宜頻繁變換柱斷面尺寸，高樓層之柱構件仍維持相同斷面，以致應力比不高，但仍可知此二十四層樓建築結構構件尺寸設計為合理。

圖 5-16 為二十四層樓結構模型柱載重比結果，觀察可發現並不是所有載重都逐層遞減，原因為此二十四層樓建築結構模型之柱構件設計每三層樓即縮小一尺寸，載重比在縮小之交界層有些微上升之趨勢。此現象於高層結構更為顯著，尤其在柱斷面由 70 cm 縮為 60 cm 時愈明顯；整體而言，載重比仍有隨樓層數遞減之勢。一樓柱須抵抗高自重以及地震力，斷面較大所以載重低；二樓柱斷面由 80 cm 縮減為 70 cm，載重比明顯上升，範圍介於 0.205 至 0.482 之間。三樓介於 0.193 至 0.457 之間；至中間層十二樓，逐漸減少至介於 0.137 至 0.339 之間，遞減至頂樓二十四樓，載重比範圍降至 0.014 至 0.04 之間。

綜合上述載重比分佈範圍，二十四層建築結構模型屬高層結構，自重及地震力皆大幅上升，整體載重比值也高於前兩者，但最大值仍皆低於 0.5。由柱構件類型區分，載重比分佈大至小依序為第三層內柱、第二層內柱 2、第二層內柱 1、第一層內柱 2、第一層內柱 1、邊柱、角柱。其中，十九樓以上之載重比皆低於 0.3，二十二樓以上樓皆低於 0.2。

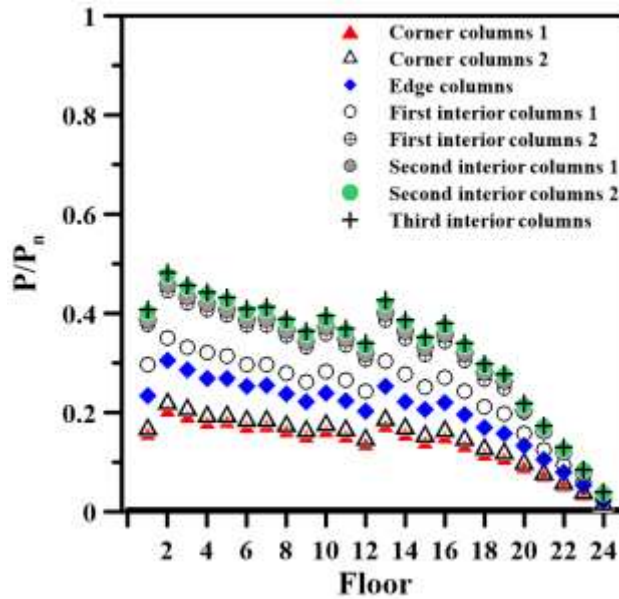


圖 5-16 24F 結構模型柱載重比

(資料來源：本研究整理)

此分析結果乃基於假設位於新竹地區，地盤較佳。若位處地盤較差之地區，梁、柱構件尺寸將較大，則載重比會更低。總結低、中、高層樓建築結構模型所得之柱載重比分布範圍發現，載重比分布可依柱種類以及所在樓層高度區分，分析結果整理如下：

1. 五層樓結構內柱載重比最高不超過 0.3，十二層樓結構內柱載重比最高不超過 0.4，二十四層樓內柱載重比最高不超過 0.5。
2. 由各個柱種類載重比分布情形觀察，所有角柱之載重比皆小於 0.2；邊柱載重比皆低於 0.305；內柱之載重比皆低於 0.482。
3. 五層樓結構於四樓以上載重比皆低於 0.2，十二層樓結構於九樓以上載重比皆低於 0.2，二十四層樓結構於二十二層以上載重比皆低於 0.2；可知一般於使用性狀態下建築結構體位於較高樓層柱所承受之軸向力為低值。

第六章 填充式箱型鋼柱防火設計指南

第一節 防火性能設計

導致火災主要原因為火、人、建築物，三者相互間之關係；當火在建築物中產生且形成火災害，其將歷經起火、成長、擴展與衰退期，於期間會伴隨著高溫、濃煙、有毒氣體等；而建築物中會產生火，絕大部分原因為人為因素所造成；人們為生活需求，設計與建造滿足安全要求之建築結構物，如強度、穩定、使用性等。若火未即時抑制控管，一旦形成火災害將使建築物內火延燒或蔓延至其他區間，致使人員生命、建築結構穩定與公共安全受到嚴重威脅，因此火的持續時間會影響災害帶來的危險與損失程度，而影響火持續時間之原因包括建築空間規劃、結構構造材料、室內可燃物、窗戶開口、通風、風向、消防設備與其他不確定因素等。

目前各國已進行建築物構造耐火性能相關研究，或依需求制定耐火要求，使朝向整合一系列相關研究成果並考量各種不確定因素，以項目構架或流程形式建立防火性能設計，如 Eurocode 4 (2005)、Lange 等人(2012)、NIST (2006)、SFPE (2000)。綜合相關研究成果，防火性能設計之目的(目標)為：

1. 確保居住者生命安全，保障救援人員之安全
2. 降低財產損失與災後恢復成本
3. 控制與限制火場的發展與蔓延，抑制濃煙的擴散
4. 防止建築結構損壞、倒塌，或部分結構過早破壞
5. 提高社會公共安全
6. 減少環境與衛生污染

由火、建築、人所導致之災害涵蓋眾多不確定與風險因子，此將使制定的性能設計目標受到影響或無法達成需求，因此於建立明確且可適用各種建築的防火性能設計將非常困難。為考量影響因子，現階段已架構建立之防火性能設計皆有探討火災現象、模擬火災情境、人的行為與反應、建築設計與設備、風險評估、危害程度與損失評估分析等；各項影響因子，如火的影響因子為火發展、蔓延趨勢、溫度、煙霧濃度、遮蔽與持續時間等，建築的影響因子為建築種類、建築材

料、格局區劃與設計、消防設備與設置、耐火性能等，人的的影響因子為應變與反應的行為、逃生與疏散計劃、設備維護與管理與其他不預期因素等。相關防火性能設計的架構與建立方法可參考 SFPE (2000)，如圖 2-7 所示，而 Eurocode 4 所提出之性能設計著重於建築物構件防火設計，如圖 2-5 所示。

第二節 填充式箱型鋼柱防火設計建議

建築構造防火設計屬防火性能設計中之一環，國內經各界研究單位進行多年火災相關研究，已獲得相當建築構造防火研究成果與建議。現今我國有制定相關建築構造防火要求與規定等，但仍有部份建築構造耐火性能尚未完整探討，且缺乏明確地防火建議與規定。因此本研究將基於國內建築構造防火規定為架構，再依填充式箱型鋼柱之相關規範與研究成果，提出填充式箱型鋼柱防火設計指南。

壹、填充式箱型鋼柱構造設計與防火需求

填充式箱型鋼柱為鋼骨鋼筋混凝土構造，其柱構件設計主要為參考我國「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」(2011)與「建築技術規則」(2012)，且我國位處地震帶，故結構構件需考量耐震設計。對於防火要求則可參照「建築技術規則」(2012)與「建築物構造防火性能驗證技術手冊」(2008)之要求，進行設計；相關重要之設計規定如下所示：

結構柱構件設計

依照「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」，鋼骨鋼筋混凝土構造設計基本要求為考慮構造之強度極限狀態與使用性極限狀態，以達到安全目標與發揮正常使用功能；設計需符合規範之載重、一般規定、構造細則、受不同形式之力作用構件、接合與耐震設計等規定。對於受軸壓力作用之柱構件規定，其設計受壓強度為採強度疊加法，並限制構件材料、肢材面積比與寬厚比等；於耐震設計規定，此種柱構件若使用銲接箱型鋼或圓形鋼管柱內灌混凝土時，組成鋼管柱之相鄰鋼板間之銲接須沿柱之全長以全滲透銲接為之。除此之外，設計填充式箱型鋼柱亦需考量「建築技術規則」之建築構造篇等相關規定。

結構柱構件防火要求

我國建築物構造防火要求為採法規條例式的形式規定，對於填充式箱型鋼柱構件防火要求，應符合「建築技術規則」之規定。「建築物構造防火性能驗證技術手冊」亦可驗證柱構件耐火性能。根據「建築技術規則」設計施工篇-第 70 條規定，建築物依樓層高度界定柱構件應具備之防火時效，如表 2-1 所示。再於第 71 至 73 條分別規定具要求防火時效之柱構件，應符合柱構造種類、斷面尺寸、保護層厚度、防火材，或經中央主管建築機關所認可者等規定；詳細規定，如下所示。

「建築技術規則」設計施工篇-第 71 條，具 3 小時以上防火時效之柱構件，其柱短邊寬度在 40 cm 以上且符合下列規定；

1. 鋼筋混凝土造或鋼骨鋼筋混凝土造；
2. 鋼骨混凝土造之混凝土保護層厚度在 6 cm 以上者；
3. 鋼骨造而覆以鐵絲網水泥粉刷，其厚度在 9 cm 以上(使用輕骨材時為 8 cm)，或覆以磚、石或空心磚，其厚度在 9 cm 以上(使用輕骨材時為 8 cm)；
4. 其他經中央主管建築機關認可具有同等以上之防火性能者。

「建築技術規則」設計施工篇-第 72 條，具 2 小時以上防火時效之柱構件，其柱短邊寬度在 25 cm 以上且符合下列規定；

1. 鋼筋混凝土造或鋼骨鋼筋混凝土造；
2. 鋼骨混凝土造之混凝土保護層厚度在 5 cm 以上者；
3. 其他經中央主管建築機關認可具有同等以上之防火性能者。

「建築技術規則」設計施工篇-第 73 條，具 1 小時以上防火時效之柱構件，符合下列規定；

1. 鋼筋混凝土造、鋼骨鋼筋混凝土造或鋼骨混凝土造；
2. 鋼骨造而覆以鐵絲網水泥粉刷，其厚度在 4 cm 以上(使用輕骨材時為 3 cm)，或覆以磚、石或空心磚，其厚度在 5 cm 以上者；
3. 其他經中央主管建築機關認可具有同等以上之防火性能者。

依照「建築物構造防火性能驗證技術手冊」規定，建築物防火性能分為構造防火性能驗證與防火區劃性能驗證，而建築結構柱構件則歸類於構造防火性能驗證法，如圖 2-2 所示；且於手冊中規定，建築結構防火構造柱構件可採建築法規條例式，或採手冊中之構造防火性能驗證法。針對構造防火性能驗證法於驗證建築物構造防火時效，皆需考量火災劇烈程度，再依影響程度計算構造保有耐火時效。火災劇烈程度乃以溫度上升的速度來表示，若火災室為一般起居室，則假設室內整體上昇溫度均一，採溫度上升係數(α)決定，如公式(6-1)所示；但對可燃物較少的大空間內，火災只侷限於某局部區域，因此木構造或無防火被覆鋼骨構造，則需考量構件附近火災溫度上升係數(α_1)，如公式(6-2)所示。

$$\alpha = 1280 \left(\frac{q_b}{\sqrt{\sum (A_c I_h)} \sqrt{f_{op}}} \right)^{2/3} \quad (6-1)$$

其中， q_b 為該火災室之可燃物的每秒平均發熱量(MW)， A_c 為該火災室之牆壁、地版及天花板各部分的表面積(m^2)， I_h 為該火災室之牆壁、地版及天花板各部分的热慣性($kWsec^{1/2}/m^2K$)， f_{op} 為有效開口因子(m^2)。

$$\begin{cases} Z \leq 2 & \alpha_1 = 500 \\ 2 \leq Z \leq 7 & \alpha_1 = 500 - 100(Z - 2) \\ 7 \leq Z & \alpha_1 = 0 \end{cases} \quad (6-2)$$

其中， Z 為從該構件地版面算起之高度(m)；參考日本-耐火性能檢証法之解說與計算例解說(2001)規定，若火源於柱構件 2 m 範圍內， Z 值為取零或負值，因此柱構件附近火災溫度上升係數為 500，如圖 6-1 所示。

對於建築物柱構造保有耐火時效之計算，其手冊僅規定木構造、有或無防火被覆鋼骨構造、鋼筋混凝土構造之計算方法，而無制訂填充式箱型鋼柱保有耐火時效計算方法。然由日本-耐火性能檢証法之解說與計算例解說(2001)規定發現，其他未定義的構造，將可參考日本法規平 12 建告第 1399 號之令第 107 條規定，如表 6-1 所示；然而發現表 6-1 與「建築技術規則」設計施工篇-第 70 條規定雷同。

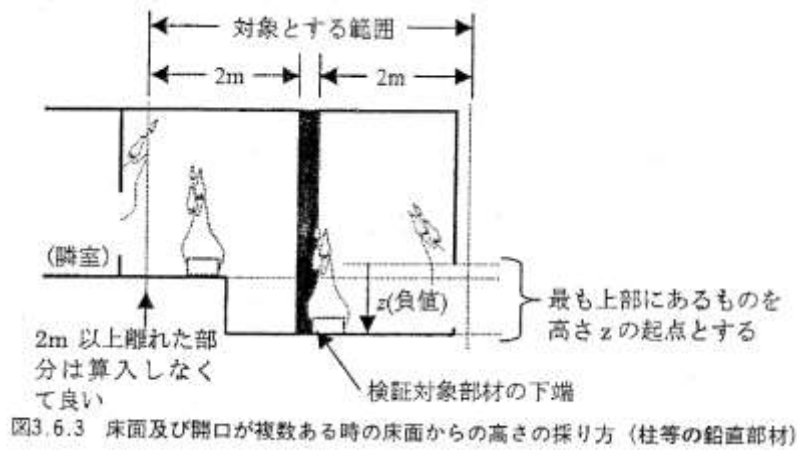


圖 6-1 柱構件距地版面算起之高度

(資料來源：耐火性能檢証法之解說與計算例解說)

表 6-1 日本法規令第 107 條要求柱構件防火時效

建築物の部分		建築物の階 最上階及び最上階から数えた階数が2以上で4以内の階	最上階から数えた階数が5以上で14以内の階	最上階から数えた階数が15以上の階
壁	間仕切壁(耐力壁に限る)	1時間	2時間	2時間
	外壁(耐力壁に限る)	1時間	2時間	2時間
柱		1時間	2時間	3時間
床		1時間	2時間	2時間
はり		1時間	2時間	3時間
屋根				30分間
階段				30分間
一 この表において、第2条第1項第八号の規定により階数に算入されない屋上部分がある建築物の部分の最上階は、当該屋上部分の直下階とする。 二 前号の屋上部分については、この表中最上階の部分の時間と同一の時間によるものとする。 三 この表における階数の算定については、第2条第1項第八号の規定にかかわらず、地階の部分の階数は、すべて算入するものとする。				

(資料來源：耐火性能檢証法之解說與計算例解說)

貳、填充式箱型鋼柱耐火時間評估公式

由前述我國結構柱構件防火要求之規定發現，當設計者參照「建築技術規則」或「建築物構造防火性能驗證技術手冊」進行評估填充式箱型鋼柱防火性能時，

將無法明確得知所設計之柱構件的耐火時間。再者，建築物柱構件軸向受力大小會因位處樓層不同而不同，使之影響填充式箱型鋼柱耐火性能，因此本研究彙整國內相關火害研究成果，再基於「建築技術規則」與「建築物構造防火性能驗證技術手冊」之架構，建立受軸向載重填充式箱型鋼柱耐火時間評估公式。

填充式箱型鋼柱研究成果

我國普遍採用之填充式箱型鋼柱為 4 片鋼板銲接組合再填充混凝土，而工程實務上常於箱型鋼柱內增設剪力釘，以增加鋼骨與混凝土間的結合能力；其相關火害研究為陳誠直等人(2010, 2012, 2013)、何明錦等人(2012)、湯兆緯等人(2014)、王天志(2014)與本研究等，彙整共 16 支試體，如表 6-2 所示。

研究成果顯示，試體斷面尺寸與載重比等，會影響填充式箱型鋼柱耐火性能，其中以試體承受載重比大小之影響最為顯著，剪力釘影響甚微；承受較小載重比試體滿足 2 小時以上防火時效，但受較大載重比確未達 1 小時防火時效。因此基於載重影響耐火性能的原因，進一步探討施加载重與各材料承載能力的比值，瞭解其與耐火時間之關係，如圖 6-2 與 6-3 所示；其 P 為施加载重； P_c 為混凝土承載能力(tf)， $P_c = 0.85f'_c A_c$ ， f'_c 為混凝土抗壓強度(kgf/cm²)， A_c 為內填充混凝土斷面(cm²)； P_n 為依據「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」計算填充式箱型鋼柱標稱軸壓強度(tf)。

由圖 6-2 與 6-3 施加载重與各材料承載能力的比值發現，試體耐火性能隨著比值增大而耐火性能合格時間降低，而耐火性能合格時間與 P/P_c 之關係相較與 P/P_n 之關係較為顯著與合理。再者，相關研究成果顯示，當鋼管柱因高溫而喪失承載能力，填充式箱型鋼柱之耐火性能實為混凝土部分延續，且耐火時間評估公式大部分為考慮 P 與 P_c 的影響； P/P_c 包括之耐火性能影響參數為斷面尺寸、混凝土強度與施加载重。

另外，本研究第五章之低矮、中、高層樓建築結構於使用載重下，各樓層之所有角柱載重比(P/P_n)皆小於 0.2，對應圖 6-3 後發現，不論低矮、中、高層樓建築物之各樓層所有角柱，具有 1 小時以上防火時效。五層樓建築於四樓以上、十二層樓建築於九樓以上、二十四層樓建築於二十二層以上之所有柱構件，亦因載重比低於 0.2，將有 1 小時以上防火時效。

表 6-2 填充式箱型鋼柱耐火研究成果

文獻	試體編號	斷面尺寸 B×t (mm)	f'_c (kgf/cm ²)	載重比	剪力釘	耐火性能 合格時間 (min)
本研究	B6N-.15 ¹	600×19	626	0.15	—	166
	B6N-.20 ¹	600×19	626	0.20	—	80
陳誠直等 (2010)	CFBC-3 ¹	500×22	673	0.36	—	41
陳誠直等 (2012)	LR0.6-B ¹	400×19	515	0.60	—	26
	LR0.3-B ¹	400×19	515	0.30	—	42
	LR0.6-A ¹	400×19	515	0.60	有	31
	LR0.3-A ¹	400×19	515	0.30	有	45
何明錦等 (2012)	CP1 ¹	500×22	524	0.23	有	55
	PP1 ¹	500×22	524	0.23	有	51
陳誠直等 (2013)	B5N-.6 ¹	500×19	564	0.6	—	26
	B6N-.3 ¹	600×19	564	0.3	—	42
	B6N-.5 ¹	600×19	564	0.5	—	31
湯兆緯等 (2014)	TA1 ¹	400×12	495	0.23	有	40
	TB1 ²	400×12	449	0.23	有	46
王天志 (2014)	SRC ¹	400×12	503	0.23	—	56
	SSRC ¹	400×12	503	0.23	有	50
備註：						
1. “1”及“2”分別為箱型鋼柱內填充純混凝土與含聚丙烯纖維混凝土						
2. 載重比為施加载重(P)除以填充式箱型鋼柱標稱強度(P _n)						

(資料來源：本研究整理)

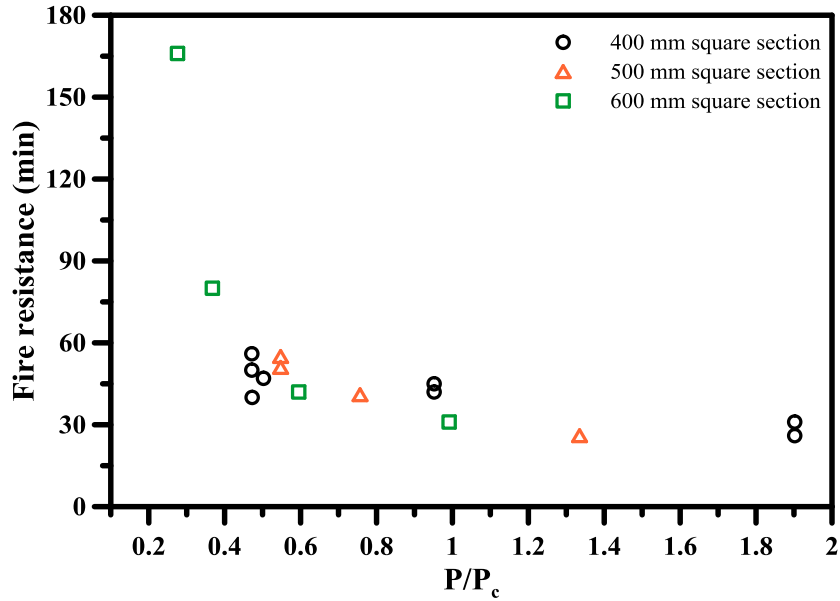


圖 6-2 耐火性能合格時間與 P/P_c 之關係

(資料來源：本研究整理)

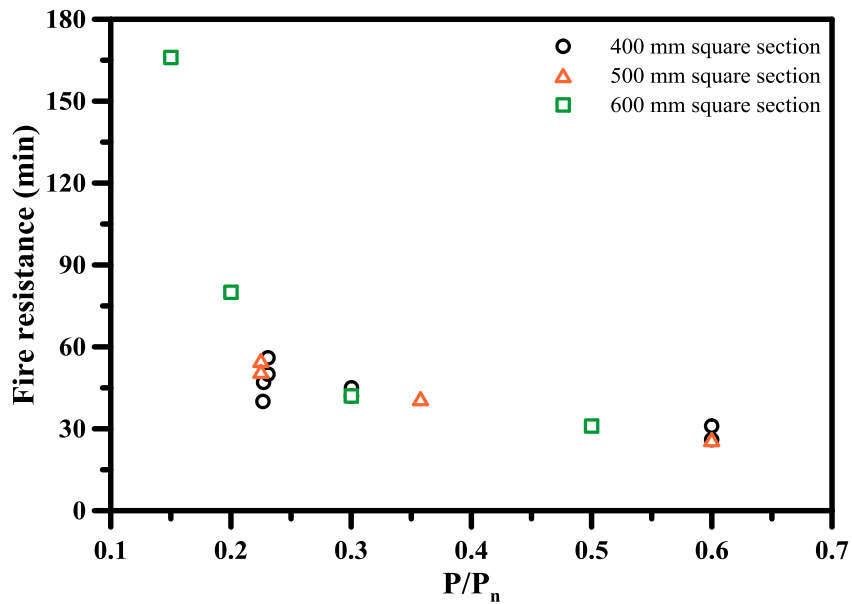


圖 6-3 耐火性能合格時間與 P/P_n 之關係

(資料來源：本研究整理)

耐火時間評估公式

我國建築物依樓層高度分別要求柱構件需具備 1、2 與 3 小時防火時效，而於驗證計算其保有耐火時效須考量火災劇烈程度之影響，如公式 6-1 或 6-2 所示；對於火災劇烈程度之考量，因實驗試體為採 CNS 12514 標準升溫曲線模擬

火災室，因此假設室內整體上升溫度均一，無大空間造成局部受火情況，故火災溫度上升係數(α)為 460。

對於受軸向載重無防火被覆填充式箱型鋼柱，其耐火時間評估公式將由前述彙整之實驗成果，利用數學模型曲線擬合方法，取較為保守實驗下限值，以建立耐火時間評估公式，如公式(6-3)與圖 6-4 所示。藉由公式(6-3)可讓設計者評估受軸向載重柱構件耐火時間，再依「建築技術規則」規定判定是否達需求防火時效；若未達要求，則可另依內政部核可最小噴塗厚度之規定，於填充式箱型鋼柱表面覆以鐵絲網再噴塗足夠厚度之防火被覆，或經中央主管建築機關認可覆以足夠厚度之磚、石或空心磚。

$$t = 1.7\xi^{-3} + 25e^{(-0.11\xi)} \quad (6-3)$$

其中， ξ 為 P/P_c ， P 為施加载重， P_c 為 $0.85f'_cA_c$ ； t 為耐火時間(min)

試體參數如下：

1. 箱型鋼骨採建築結構用鋼材；內填充混凝土採自充填混凝土；
2. 斷面大小 400 mm~600 mm；
3. 混凝土強度 450~700 kgf/cm²；
4. 填充式箱型鋼柱之受熱段長度 2800~3100 mm；
5. P/P_c 介於 0.28~1.9 之間。

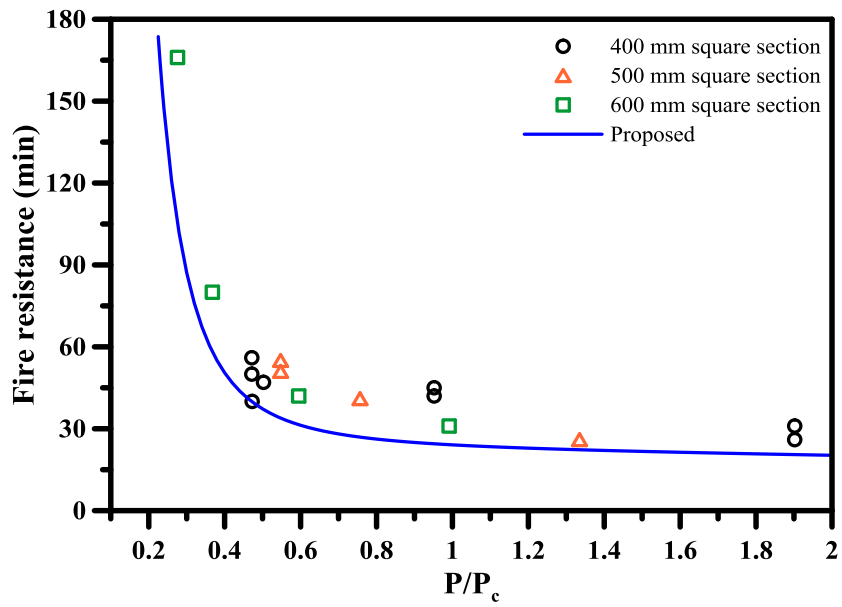


圖 6-4 實驗結果與耐火時間評估公式計算結果

(資料來源：本研究整理)

第七章 結論與建議

第一節 結論

明確探討耐火性能將有助提升建築物構造安全性，因此本研究為延續前期尚缺乏成果，以耐火實驗與結構分析軟體，探討填充式箱型鋼柱耐火性能與其於建築物中所承受的載重比範圍，再彙整相關研究與本研究成果，提出填充式箱型鋼柱之防火性能設計。總結本研究提出以下結論。

1. 試體施加 0.15 倍標稱強度之軸向載重，試驗結果可達兩小時之防火時效，而施加 0.2 倍標稱強度之軸向載重能達到一小時之防火時效，故試體施加之軸向載重大小對於防火時效影響程度極大。
2. 試體承受較小載重，可增加膨脹伸長轉為壓縮行為之時間，並且增加軸向變形穩定之持續時間，有助於提升柱之耐火性能。
3. 本研究設計之低矮層、中層或是高層建築結構物，為符合耐震設計要求與考量地震力的影響，柱構件為較大斷面；其於使用性狀態下建築結構柱構件之分析結果顯示，載重比最大皆不超過 0.5。
4. 使用性狀態下低矮層、中層或是高層建築結構物，角柱與位於中高樓層之柱構件載重比皆小於 0.2，具有不錯的耐火性能。
5. 影響建築物柱構件載重比大小主要因素為柱所在樓層高度及分佈位置；柱構件載重比隨著所在樓層高度增加而減少；由分佈位置區分載重比由大至小依序為內柱、邊柱、角柱。
6. 本研究提出之填充式箱型鋼柱耐火時間評估公式有助於耐火性能設計與驗證。依目前之法規，填充式箱型鋼柱應依「建築技術規則」規定噴覆足夠厚度之防火被覆，或認可之磚、石或空心磚。

第二節 建議

建議一

受偏心載重填充式箱型鋼柱火害行為研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：科技部

建築物柱構件會因分佈位置不同，使承受不同型式的力，如角柱、邊柱與內柱。由本研究成果發現，柱承受的載重大小明顯影響構件耐火性能，而角柱、邊柱相對內柱承受的軸向載重為小；惟偏心載重會對填充式箱型鋼柱耐火性能造成影響。因此探討偏心載重對填充式箱型鋼柱耐火性能影響程度將有其必要性。

建議二

「建築物構造防火性能驗證技術手冊」第三章屋內火災構造保有防火時效之計算增加有關填充式箱型鋼柱計算方法：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

目前「建築物構造防火性能驗證技術手冊」已有木構造柱、鋼骨構造柱與鋼筋混凝土柱之保有耐火時間計算方法，但缺少填充式箱型鋼柱。經由本研究成果所提受軸向載重無防火被覆填充式箱型鋼柱耐火時間評估公式，可讓設計者評估其耐火時間，再依「建築技術規則」規定判定是否達需求防火時效；若未達要求，則可另依內政部核可最小噴塗厚度之規定，於填充式箱型鋼柱表面覆以鐵絲網再噴塗足夠厚度之防火被覆，或經中央主管建築機關認可覆以足夠厚度之磚、石或空心磚。

建議三

填充式箱型鋼柱防火性能之模擬分析：中長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：科技部

本研究提出填充式箱型鋼柱防火性能之耐火時間評估公式，為依標準升溫曲線之耐火實驗成果建立，但建築物發生火災之火場劇烈程度與持續時間受各種不確定因子影響。因此需有可靠的模擬分析，以考量火場各種不確定性。為完整建立填充式箱型鋼柱防火性能設計指南，考量不同火場影響填充式箱型鋼柱之模擬分析有其必要性。

附錄一 填充式箱型鋼柱試體強度估算

填充式箱型鋼柱試體，斷面尺寸(H×B×tw×tf)為 600×600×19×19 mm，試體長度(L)為 3.06 m。試體實際鋼材降伏強度(F_{ys})為 3.85 tf/cm²，彈性模數(E_s)為 2100 tf/cm²；試驗前混凝土抗壓強度(f'_c)為 626 kgf/cm²。試體強度計算如下述。

1. 一般要求

(a) 柱斷面最小尺寸(B)規定

$$B=60 \text{ cm} > 30 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

(b) 柱短邊-長邊尺寸比值(B/H)規定

$$B/H=60/60=1.0 > 0.4 \quad \text{OK}$$

(c) 鋼骨斷面積不得小於構材全斷面之 2%

$$\frac{A_s}{BH} = \frac{(60 \times 60) - (56.2 \times 56.2)}{60 \times 60} = 12.3 \% \geq 2\% \quad \text{OK}$$

(d) 斷面肢材寬厚比

$$\frac{b}{t} = 29.58 \leq \lambda_{pd} = \sqrt{\frac{3E_s}{F_{ys}}} = 40.45 \quad \text{OK}$$

2. 鋼骨部分之標稱受壓強度

$$\text{箱型鋼斷面積 } A_s = 441.6 \text{ cm}^2; \text{ 慣性矩 } I_s = \frac{60^4}{12} - \frac{56.2^4}{12} = 248688.1 \text{ cm}^4$$

$$\text{箱型鋼之迴轉半徑 } r_s = \sqrt{\frac{I_s}{A_s}} = \sqrt{\frac{248688.1}{441.6}} = 23.73 \text{ cm}$$

$$\text{箱型鋼之有效迴轉半徑 } r_{\text{eff}} = r_s + \alpha \times \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} = 25.5; \text{ 填充型鋼管混凝土柱 } \alpha = 0.1$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{\pi r_{\text{eff}}} \sqrt{\frac{F_{ys}}{E_s}} = \frac{0.65 \times 306}{\pi \times 25.5} \sqrt{\frac{3.85}{2100}} = 0.11 < 1.5$$

$$\text{箱型鋼柱標稱受壓強度 } P_{ns} = (0.21\lambda_c^3 - 0.57\lambda_c^2 - 0.06\lambda_c + 1)F_{ys}A_s = 1677.7 \text{ tf}$$

3. RC 部分標稱受壓強度

$A_c=3158.44 \text{ cm}^2$ ；混凝土受到箱型鋼良好圍束， $\varphi_e = 0.85$

$$P_{nrc} = \varphi_e (0.85f'_c A_c + A_r F_{yr}) = 1428.5 \text{ tf}$$

4. 填充式箱型鋼柱之強度

$$P_n = P_{ns} + P_{nrc} = 1677.7 + 1428.5 = 3106.2 \text{ tf}$$

鋼骨部分之強度折減係數 $\varphi_{cs} = 0.85$ ；混凝土部分強度折減係數 $\varphi_{crc} = 0.75$

$$\varphi_e P_n = \varphi_{cs} P_{ns} + \varphi_{crc} P_{nrc} = 0.85 \times 1677.7 + 0.75 \times 1428.5 = 2497.4 \text{ tf}$$

附錄二 審查意見與答覆

壹、期初審查意見與答覆

會議日期：103 年 1 月 21 日，下午 3 時 30 分

地點：內政部建築研究所簡報室

新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

審查委員意見	答覆
1. 請納入檢討本所出版之”建築物構造防火性能驗證技術手冊”中有關填充式箱型鋼柱部分，就本案及本所歷年研究成果加以彙整分析後提出具體條文建議。	1. 該手冊有構件之防火性能之建議，如鋼筋混凝土、鋼構構件等，鋼構件涵蓋有無防火被覆。本案填充式箱型鋼柱將參考與比較相關之防火性能提出建議。
2. 請就國內相關規範有關填充式箱型鋼柱部分加以檢討，提出具體修正建議。	2. 本案將就國內有關填充式箱型鋼柱之相關規範與研究成果提出修正建議。
3. 本案為彙整本所歷年研究資料及今年補充實驗所建立之性能設計指南，資料是否充足，如不充足在指南中應詳述限制條件或依指南設計時須進行之驗證條件。	3. 因火害實驗費用高，量化數據可能不充足；而分析方法所得之防火時效與實驗結果有所差異。本研究提出之設計指南將明確訂定限制條件等或須進行之驗證。
4. 是否考量試體冷卻後再進行彎矩等試驗？	4. 試體為進行防火時效試驗，屆時試體已破壞無法再進行彎矩等試驗。
5. 如何檢討圍束效應？	5. 鋼板相對混凝土熱傳導性較佳，前期分析研究發現鋼板受熱會產生橫向熱膨脹變形，此將喪失對混凝土之圍束效應。
6. 熱電偶點量測之故障探討。	6. 依前期研究經驗，試體熱電偶測點故障率不高，而曝露於加溫爐內之熱電偶線須以防火棉包覆，以降低損壞之可能性。
7. 如何獲得使用載重至耐震設計載重之實驗成果。	7. 本研究將分析耐震設計柱承受之使用載重，實驗試體將考量使用狀態下柱構件承受之載重。

<p>8. 載重廣義而言，應含彎矩及剪力，故建議除垂直載重外，也應將廣義載重考慮在研究規劃之內。</p>	<p>8. 使用狀態下柱構件之彎矩及剪力之影響相對軸力小，考量彎矩之影響有待後續之研究。</p>
<p>9. 承上所述，建議載重比亦含抗彎及抗剪之強度比。</p>	<p>9. 有待後續之研究。</p>
<p>10. 預期目標之一為防火設計指南，內容建議除縱向鋼筋量之外，亦應含繫筋最小要求。</p>	<p>10. 繫筋於防火性能之影響尚待研究，若箱型鋼柱內填充鋼筋混凝土，將於設計指南建議繫筋最小要求。</p>
<p>11. 本研究之試體是否包括有防火被覆的樣本，而其差異為何。</p>	<p>11. 本研究之試體將無防火被覆，前期研究顯示有防火被覆試體將於防火時效後才破壞。</p>
<p>12. 設計指南於提出前可請實務單位提出建議，使更符合實際應用需求。</p>	<p>12. 本案將有兩次專家學者諮詢會，將請實務單位提出建議。</p>

貳、期中審查意見與答覆

會議日期：103 年 07 月 11 日（五），上午 9 時 30 分

地點：內政部建築研究所簡報室

新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

委員	審查委員意見	答覆
程建築師 建民	1. 本次三案箱型鋼柱火害試驗，建議於火害後能鑽取混凝土柱心試體，並測其殘餘強度，以供後續研究及工程界參考。	1. 本研究試體為獲得其防火時效，故試體皆已破壞，無法再測其殘餘強度。
林技師增吉	1. 本案規劃提出防火設計指南與建議，希望能更明確並易於使用參考。 2. 報告書第 38 頁之 P_{nrc} 計算是否有考量鋼筋承擔部分，請加以檢核。	1. 防火性能設計指南涵蓋多方向範圍及領域，而本案內容將以填充式箱型鋼柱為主，並彙整近幾年研究成果供 SRC 規範或建築物構造防火性能驗證技術手冊補充修正參考。 2. 試體為內灌混凝土箱型鋼柱，無設置縱向鋼筋， P_{nrc} 之鋼筋部分以零計算。
柯技師鎮洋	1. 本計畫試體內部僅有混凝土，並未配置鋼筋，如果用 SRC 規範內部係指 RC(鋼筋混凝土)。依據簡報內容，AISC-LRFD 之結果亦較符合工程實務認知，因此研究成果使用國內 SRC 規範時，對於鋼柱內部混凝土強度，建議採用純混凝土，以求算混凝土之貢獻。	1. 本計畫試體鋼柱內部未配置鋼筋，強度計算將採計純混凝土之貢獻。
鍾教授興陽	1. 我國填充式箱型鋼柱的製造與型式與歐美不盡相同，本研究的預期成果將建立我國填充式箱型鋼柱耐火性能設計指南，對工程界	1. 銘謝指教。 2. 本研究將彙整國內外相關實驗資料，研擬箱型鋼柱之耐火性能。 3. 以我國 SRC 規範分析設計之建

	<p>及業界非常有意義。</p> <p>2. 建議研究團隊能將建研所先前對填充式箱型鋼柱火害實驗資料與成果納入分析，以更多更充分的實驗資料庫來建立我國填充式箱型鋼柱耐火性能設計指南，以為日後規範之基礎。</p> <p>3. 報告書第 30-31 頁內容之五層鋼構設計，是否以 AISC-LRFD 為設計基準，如以我國 SRC 規範設計，載重比(D+L)可能更低，耐火性能可能較佳。另外報告書第 21 頁有關熱電耦佈點是否足夠，請加以檢核。</p>	<p>築結構模型確實有過保守之可能，所以本案將以 AISC-LRFD 為設計基準。由前期研究成果可知試體溫度分佈及升溫趨勢，因此本研究試體熱電耦佈點應足夠。</p>
<p>邱顧問昌平</p>	<p>1. 本計畫延續 2013 年之研究成果，繼續辦理 2 支 CFBC 試體之耐火試驗。另就不同載重比下以 Midas gen 軟體做 CFBC 之結構分析，探討五層建築物之耐火分析，目前已有初步成果。</p> <p>2. 本研究建議於名稱上加“混凝土”，或採用文中之“內灌混凝土箱型鋼柱”，較同於 CFBC 所代表之意義。</p> <p>3. 報告書第四章標題及內容，請再斟酌修正，如「不同載重比 CFBC 構建之結構分析」，或「含 CFBC 建築結構在外力作用下柱載重比分析之探討」等。</p>	<p>1. 銘謝指教。</p> <p>2. 報告書內容有關名詞及用語，將依鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與審查意見修正。</p> <p>3. 將依建議修正。</p>
<p>曾技師慶祥</p>	<p>1. 依報告書第 13 頁耐火時間公式顯示，耐火時間與箱型鋼柱尺寸無關，包括鋼材斷面積及鋼板厚度，惟設計時是否對此也應考量基本設計要</p>	<p>1. 試體設計有關鋼板厚度等須符合我國「鋼骨鋼筋混凝土設計規範與解說」之規定。</p> <p>2. 考慮一般樓層高度(扣除梁深)，柱試體高度 2.8 m 尚能符合 ASTM</p>

	<p>求，請加以說明。</p> <p>2. 試體受熱長度，依ASTME119規定，不得小於2.7m，依ISO834規定，需大於3m以上，本試驗規劃為2.8m，是否符合CNS要求，請檢核。</p>	<p>之規定。</p>
高教授健章	<p>1. 依據初步分析研究，軸向受壓力與軸壓強度比值較低為一般建築之趨勢。經統計過去研究成果，載重比欠缺部分為0.15與0.2，以此作為本年度研究之目標，並已完成試體製作，進度正常。</p> <p>2. 目前業界柱內灌漿是由柱底往上擠，與本研究試體製作方式不一樣，造成空氣排除與骨材下沉現象有所不同，日後有進一步探討之需要。</p>	<p>1. 銘謝指教。</p> <p>2. 後續研究將依照實務上做法。</p>
主席	<p>1. 本所有關SRC防火性能設計方面之研究已做多年，是否能協助蒐集過去成果並彙整成相關防火規範，或建議修正之條文等，以供業界參考。</p> <p>2. 報告書第五章設計指南之內容及章節架構尚未提出，請於期末報告時補充完成。</p>	<p>1. 有關SRC性能設計指南，內容將以填充式箱型鋼柱為主，並彙整過去研究成果供SRC規範或建築物構造防火性能驗證技術手冊補充修正參考。</p> <p>2. 將於期末報告提出相關成果與建議。</p>

參、期末審查意見與答覆

會議日期：103 年 10 月 31 日（五），下午 2 時 30 分

地點：內政部建築研究所簡報室

新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

委員	審查委員意見	答覆
林研究員克強	<ol style="list-style-type: none"> 2. 建立填充式箱型鋼柱之軸壓比與耐火時效之關係，有正面的意義。 3. 請說明報告書圖 3-1 中，一組 400mm 方形柱，軸壓約在 0.4 至 0.5 $P/(P_c+P_r)$ 之間，可達約 160 分鐘防火時效之試驗結果，未納入圖 6-2 與圖 6-3 之原因。 4. 在計算 P_n 時是否採用鋼材之實際材料強度？在文中未看到鋼材之實際強度，請補充列出。 5. 在三棟結構分析實例中，樓層單位重有偏小之趨勢 (0.55~0.75)，是否有其代表性，請說明。 6. 本研究採用防火時效與軸壓比 P/P_c 建立關係，為何不以 P/P_n 之軸壓比建立關係，請說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 銘謝指教。 2. 該試體為箱型鋼柱內填充鋼筋混凝土，目前國內實務上並未使用此類型柱。 3. 計算 P_n 為採用實際鋼材降伏強度，已補充於報告。 4. 0.55~0.75 tf/m^2 僅為樓板所承受之靜載重，並未包含柱、梁及板等構件之自重，造成此單位重數值看似偏低；而實際上構件造成之自重已在建構模型時由結構分析軟體自動考慮並計算。 5. P_n 包括鋼材與混凝土的影響，P_c 僅包含混凝土的影響；填充式箱型鋼柱是否可延續耐火性能，柱構件承擔的載重為主要影響因子，而混凝土的影響更甚於鋼材，因此採用 P/P_c 建立其與防火時效之關係。
黃教授世建	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究的實驗成果嚴謹。 2. 除了載重比之外，柱之偏心距是否亦為重要的火害結構參數？是否能在實驗加載時，加入偏心距產生彎矩作用，以檢查偏心距之影響。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 銘謝指教。 2. 偏心距產生彎矩對 CFBC 耐火性能確實有影響，此將有待後續研究。

柯技師鎮洋	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書中使用 P/P_n、P/P_c+P_r、P/P_c，如果能夠統一表示，或許更易使用，使用上較不易混用。 2. P/P_c 中，P 如果係指 Dead Load 加上 Live Load 時，P/P_c 達 1.9 的情況，實務甚少發生。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不同的軸壓比為研究過程用以討論其於防火時效之影響。 2. CFBC 採用的鋼板較厚，鋼骨所分擔的載重(P_s)較大，故 P/P_c 較高。更進一步為可擴大試體參數涵蓋的範圍。
楊教授國珍	<ol style="list-style-type: none"> 1. 填充式箱型鋼柱之耐火時效以變形量做為判定之基準，建議加入溫度分佈與變形量之圖形，並分析比較之。 2. 建議試體溫度圖中加入爐溫之分佈圖。 3. 請補充第 5 頁何明錦等人 (2012) 之參考文獻。 4. 以實際結構系統為例，進行載重比與防火時效之比較，有助於填充式箱型鋼柱防火性能設計之應用與推廣。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依建議加入溫度與軸向變形關係圖。 2. 依建議將試體溫度圖中加入爐溫之分佈圖。 3. 已補充於參考文獻。 4. 銘謝指教。
鍾教授興陽	<ol style="list-style-type: none"> 1. 第五章建築結構柱載重比之分析，可提供後續火害研究加載之依據，有其重要之價值。 2. 第六章所提出的無被覆填充式箱型鋼柱的耐火時間評估公式為我國本土所建立之公式，對我國業界與學界日後訂定 CFBC 之耐火性的設計規範極有幫助。 3. 後續可進行具有防火被覆 CFBC 之耐火時間評估公式之研究。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 銘謝指教。 2. 銘謝指教。 3. 銘謝指教。具防火被覆 CFBC 耐火時間之評估公式可於後續再研究。
方教授一匡	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究計畫主持人綜合本期 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究填充式箱型鋼柱之防火

	<p>與前期研究之成果建立填充式箱型鋼柱承受軸力大小與其防火時效關係式，成果具體，有實務參考價值，相關建議防火時效公式是否為試驗結果經迴歸方式所得，請說明。</p> <p>2. 依試驗結果顯示，柱之承载力與鋼管中混凝土之承载力有密切關係，試體的最大承载力發生點之破壞模式是鋼管高溫下之挫屈，還是混凝土壓碎，請在結論中說明破壞過程之細節。</p> <p>3. 綜合填充式箱型鋼柱在常溫與高溫之承载力控制因素，是否可定出最小之鋼板厚度或混凝土斷面以達到 1、2、3 小時防火時效，並與 EuroCode 之規定值比對。</p> <p>4. 彎矩的影響在後續研究中如能納入考慮會讓成果更完整。</p>	<p>時效公式為試驗結果經迴歸方式所得。</p> <p>2. 受限儀器設備限制，試體的最大承载力發生點之破壞模式較難觀察。文獻(謝哲民 2014)的研究顯示試體達最大承载力後的破壞肇因於鋼骨的喪失承载力，接續著為混凝土的破壞。</p> <p>3. 本研究參考諸多文獻的研究成果，將防火時效影響參數簡化為 P/P_c 載重比，並限制為實務常用的鋼骨與斷面尺寸，即無 Eurocode 對鋼管混凝土柱最大鋼管厚度與最小斷面的限制。</p> <p>4. 銘謝指教。</p>
<p>業務單位</p>	<p>1. 請補充鋼材強度、混凝土 28 天抗壓強度及其配比資料。</p> <p>2. 報告書之建議事項，宜再重新檢討，並與業務單位確認。</p>	<p>1. 已於報告中補充鋼材強度、混凝土 28 天抗壓強度及其配比資料。</p> <p>2. 遵照辦理。</p>

肆、工作會議

會議日期：103 年 4 月 2 日，下午 2 時 00 分

地點：內政部建築研究所討論室(一)

新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

主持人：陳誠直 教授

與會人員：蔡綽芳組長；李其忠副研究員、林政億、曾暉琬

與會人員意見	答覆
1. 設計指南應如何應用？若為性能法規，其應用途徑是否列入設計指南，以供參考？或尚需其他研究補足方能落實？	1. 性能設計涵蓋多方向研究範圍，而本研究將著重於火災發生時填充式箱型鋼柱構件之防火時效。研究將彙整國內外研究成果，並參考「建築物構造防火性能驗證技術手冊」，建立設計指南。
2. 防火設計應如何評定？	2. 目前國內並無完整的防火性能設計法，因所需考量的項目繁多，尚需持續研究，以整合建立完備周全的性能設計法。
3. 研究為探討耐震後之火害，還是火害後之耐震？	3. 本研究試體為滿足耐震設計之填充式箱型鋼柱，探討承重柱構件耐火性能。
4. 載重比值的意義？一般建築構件之分佈為？	4. 載重比為柱構件承受軸壓力與其軸壓強度之比值。台灣處地震帶，於建築結構須考慮耐震設計；柱構件承受軸壓力與其軸壓強度將因位置而有差異，故本研究將探討載重比之分佈。
5. 否需探討火害後之殘餘強度？	5. 研究試體為得到防火時效，試體皆已損壞，無法進行殘餘強度試驗。
6. 公式的應用上，混凝土強度是否為自充填混凝土或一般混凝土？似乎高流動性之混凝土效果較差。	6. 研究試體皆採用高強度自充填混凝土，高強度混凝土與自充填混凝土之耐火性能較一般混凝土為差，故依此回歸之防火時效公式

	將趨保守。
--	-------

伍、第一次專家學者諮詢座談會

會議日期：103 年 04 月 25 日，下午 2 時 30 分

地點：內政部建築研究所討論室（一）

新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

委員	專家學者意見	答覆
陳委員正誠	<p>7. 箱型鋼柱內設置縱向加勁板，有柱端塑性鉸韌性下降之疑慮，實用性較低。</p> <p>8. 建議以試驗探討 $P/(P_c+P_r)$ 較低情況下，一般填充型箱型柱之耐火時效。</p>	<p>2. 試體將不設置縱向加勁板。</p> <p>3. 試體將規劃 $P/(P_c+P_r)$ 較低情況進行耐火試驗。</p>
陳委員正平	<p>3. 加勁板因連續性不佳，且兩側未連貫，施工亦不易，造價也高。建議以繫桿輔助之方式作為提高防火時效之主要方法。</p> <p>4. 建議繫桿以全長均勻配量，不將塑鉸區配量較多之情形納入本研究。</p> <p>5. 柱內加勁板目前未見有此種設計方式，恐不實際。</p>	<p>3. 採用繫桿的試體將規劃於本年度建研所自辦計畫內。</p> <p>4. 銘謝指教。</p> <p>5. 試體將不採用於柱內設置加勁板。</p>
林委員克強	<p>2. 鋼材採用 A572 GR50 的理由？請說明；因為現行鋼結構設計規範對柱構件材料建議採用 SN 材質。</p> <p>3. 考慮加勁板採用繫桿的可行性。</p>	<p>2. 因試體所用 SN 材質之鋼材量少較不易取得，且 A572 Gr. 50 機械性質與 SN 相近，故選用 A572 Gr. 50。</p> <p>3. 採用繫桿的試體將規劃於本年度建研所自辦計畫內。</p>
黃委員國倫	<p>4. 此研究對繫桿防火設計有很大幫助。</p> <p>5. 耐火性能合格時間評估公式載重比較小時，數據點數似不夠多。</p> <p>6. 可考慮兩端使用圍束繫桿，中間段使用內加勁板之試</p>	<p>4. 銘謝指教。</p> <p>5. 本次試驗將依前期研究尚缺之數據，採較小載重比，使研究成果更加完整。</p> <p>6. 銘謝指教。</p>

	體。	
張委員今瑋	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究前期計畫考慮剪力釘對填充式箱型鋼柱的防火時效，有必要性且具有前瞻性。 2. 剪力釘及圍束繫桿研究文獻（有關防火時效部分）可再搜集，藉以比較研究結果比對。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 銘謝指教。 2. 將再搜集相關文獻，惟此類之研究文獻甚少。

陸、第二次專家學者諮詢座談會

會議日期：103 年 12 月 04 日（四），下午 1 時 30 分

地點：國立交通大學，工程二館，208 室

新竹市大學路 1001 號

委員	審查委員意見	答覆
陳委員鴻輝	6. 本案以 600 mm 方形斷面鋼柱做研究，成效良好，惟業界部分使用不同斷面尺寸，建議未來可探討其防火性能。 7. 建築結構分析模型結果皆有一致結論：載重比皆小於 0.5、角柱小於邊柱小於內柱。可考慮未來如何應用於建築技術規範之規定。	1. 前期研究已有 400 與 500 mm 斷面尺寸的試驗，更大斷面尺寸之防火性能，受限於加載設備之容量限制不易進行。 2. 銘謝指教。
郭委員詩毅	3. $P/(P_c+P_r)$ 比值小的相關研究，有了解的需要；本研究試驗結果分析結合轉換斷面建立建築結構模型之分析規劃完整。 4. 請補充自充填混凝土之配比。	3. 銘謝指教。 4. 已補充於報告。
黃委員炯憲	3. 若有可能，鋼管及混凝土溫度與時間之關係能畫至變形最大之時間。 4. 是否需考慮自充填混凝土之收縮效應？ 5. 鋼柱厚度之影響？	1. 實驗後半段溫度測點異常，導致無法取得正確之溫度資料。 2. 混凝土有乾縮現象，試體製作無法確實掌握其影響。 3. 歐洲規範中明確限制鋼管之最大厚度；因厚度增加使柱構件可承受較大載重，但當鋼管柱喪失承載能力，內填充混凝土將無法承載其載重。本研究之 CFBC 試體並未限制其厚度。

<p>廖委員仁壽</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若內灌混凝土強度能涵蓋至實務上較為常用之 350 kgf/cm² 則更佳。 2. 請補充混凝土含水率資料。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 銘謝指教，惟自充填混凝土抗壓強度皆較目標強度高。 2. 本研究試體未量測，基於前期研究成果，在相同條件下之試體混凝土含水率約 90% 以上。
--------------	--	--

參考書目

- AISC (2010). "Specification for structural steel buildings." ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- AISC-LRFD (1993). "Load and resistance factor design specification for structural steel buildings." American Institute of Steel Construction, Chicago.
- Architectural Institute of Japan (1997). "Recommendations for design and construction of concrete-filled steel tubular structures." Architectural Institute of Japan, Tokyo.
- ASTM E119 (2000). "Standard test methods for fire tests of building construction and materials." American Society for Testing and Materials.
- ECCS-Technical Committee 3-Fire Safety of Steel Structures (1988). "Calculation of the fire resistance of centrally loaded composite steel-concrete columns exposed to the standard fire." European Convention for Constructional Steelwork Publication-Calculation of the fire resistance of composite structures.
- Eurocode 4 (2005). "Design of composite steel and concrete structures, Part 1.2, General rules-structural fire design." Eurocode 4 DD ENV 1994-1-2 : 2005, British Standards Institution, London.
- Han, L. H., Yang, Y. F., Xu, L. (2003). "An experimental study and calculation on the fire resistance of concrete-filled SHS and RHS columns." *Journal of Constructional Steel Research*, 59, 427-452.
- Harada K. (2004). "Actual state of the codes on fire design." *Proceedings of the workshop, Fire Design of Concrete Structures: What now? What next?*, Milan, Italy, 11-20.
- ISO. (1999). "Fire resistance tests-elements of building construction, Part 1, General requirements." International Standard ISO 834, Geneva.
- Kim, D. K., Choi, S. M., Kim, J. H., Chung, K.S., Park, S. H. (2005). "Experimental study on fire resistance of concrete-filled steel tube column under constant axial loads." *Steel Structural*, 5(4), 305-313.
- Kodur, V. K. R. (1999). "Performance-based fire resistance design of concrete-filled steel columns." *Journal of Constructional Steel Research*, 51, 21-36.

- Kodur, V. K. R. (2007). "Guidelines for fire resistant design of concrete-filled steel HSS columns-state-of-the-art and research needs." *Steel Structures*, 7, 173-182.
- Lange, D., Devaney, S., Usmani, A. S. (2012). "Applying the peer performance based earthquake engineering methodology to structures in fire." *7th International Conference on Structures in Fire*, Zurich, Switzerland.
- Lu, H., Zhao, X.-L., Han, L.-H.(2009). "Fire behaviour of high strength self-consolidating concrete filled steel tubular stub columns." *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 1995-2010.
- NIST Special Publication 1061 (2006). "Forum workshop on establishing the scientific foundation for performance-based fire codes: proceedings." *National Institute of Standards and Technology*.
- Park, S. H., Chung, K. S. and Choi, S. M. (2007). "A study on failure prediction and design equation of concrete filled square steel tube columns under fire condition." *Steel Structures*, 7, 183-191.
- SFPE. (2000). "SFPE engineering guide to performance-based fire protection analysis and design of buildings." *National Fire Protection Association*.
- SFPE. (2002). "SFPE handbook of fire protection engineering." *National Fire Protection Association*.
- 国土交通省住宅建築指導課、国土交通省建築研究所、日本建築主事會議、財団法人日本建築センター(2001)，「耐火性能檢証法之解說及計算例及其解說」，井上書院。
- 內政部營建署(2010)，「鋼結構極限設計法規範及解說」。
- 內政部營建署(2011)，「建築物耐震設計規範及解說」。
- 內政部營建署(2011)，「鋼骨鋼筋混凝土構造設計與解說」。
- 內政部營建署(2012)，「最新建築技術規則」，詹氏書局。
- 內政部建築研究所(2008)，「建築物構造防火性能驗證技術手冊」，金友勝數位科技有限公司。
- 中華民國國家標準 CNS 12514 (2010)，「建築物構造部分耐火試驗法」，經濟部

標準檢驗局。

陳誠直、趙文成、林政億、吳易宸(2010)，「含混凝土箱型鋼柱火害下軸向受力行為之研究」，內政部建築研究所委託研究報告。

陳誠直、林政億、柯宗滕、胡耀光(2012)，「包覆填充式箱型鋼管混凝土柱火害行為研究」，內政部建築研究所委託研究報告。

陳誠直、林政億、謝哲民、王信賢(2013)，「箱型鋼管混凝土柱之防火性能驗證技術研究」，內政部建築研究所委託研究報告。

何明錦、湯兆緯、涂耀賢、洪志評、劉得弘(2012)，「銲接工法對鋼骨鋼筋混凝土柱火害行為之研究」，內政部建築研究所協同研究報告。

湯兆緯、顏聰、潘坤勝、陳豪吉(2014)，「火害下內灌混凝土箱型鋼管柱承重能力試驗與分析」，內政部建築研究所委託研究報告。

王天志(2014)，「含剪力釘箱型鋼骨混凝土柱火害後行為研究」，內政部建築研究所自行研究報告。

謝哲民(2014)，「填充型箱型鋼柱火害中之力學行為」，國立交通大學土木工程學系碩士論文，陳誠直指導。

填充式箱型鋼柱防火性能設計研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：陳誠直

出版年月：103年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-04-3077-6 (平裝)

ISBN : 978-986-04-3077-6