

框組壁式木構造承重牆火害後承重性能之研究

A Study of the Load-Bearing Performance of Wooden Framing Platform Walls After a Fire

曾俊達* 詹家旺** 蘇鴻奇***

一、研究緣起與目的

木構造建築物符合我國永續發展的綠建築政策，已受到重視並加以推廣，但目前國內少有以木構造建築物防火性能進行相關研究，雖引進台灣卻無法融入台灣的營建生產系統。本研究為配合建築防火避難安全之研究以落實木構造建築技術推動之目的，以框組壁式木構造承重牆為研究對象，探討框組壁式木構造承重牆承重性能之研究，主要研究目的為：

1. 針對全尺寸框組壁式木構造建築物承重牆體系施加載重並進行耐火性能實驗，探討與分析木構造承重牆體受火害時之破壞模式，並驗證其破壞時間與預定防火時效之差異性。
2. 進行框組壁式木構造建築物承重牆內部構件受火害時炭化變化模式以及承重牆承重性能分析。
3. 進行木構材間柱抗壓強度實驗以分析承重牆內部間柱火害前後承重強度差異特性。

二、理論與方法

(一) 框組壁式木構造承重牆耐火性能

1. 實驗方法：依 CNS 12514「建築物構造部份耐火試驗法」進行牆體全尺度加載與加熱實驗。
2. 本研究實驗因子牆體構造材料覆蓋板材為 15mm 石膏板固定方式採用橫向封板並用螺釘固定與 12mm 矽酸鈣板固定方式採用橫向封板並用平滑釘固定，間柱材種為美杉 (SPF)，間柱斷面尺寸為 2×4 間距 406mm，填充材為岩棉，以上材料性能與規格係依「木構造建築物設計及施工技術規範」之規定，實驗試體因子設定如表 1 之整理。

表 1 框組壁式木構造牆實驗試體因子設定表

實驗因子		覆蓋板材		間柱斷面間距	填充材	釘材	
因子條件		石膏板	矽酸鈣板	2×4	岩棉	螺釘	平滑釘
條 件 設 定 內 容	性能	CNS 6532 耐燃 1 級	CNS 6532 耐燃 1 級	CNS 14631 CNS 14632 CNS 14633	CNS9659 CNS3657		
	規格	厚度： 15mm	厚度： 12mm	a.斷面尺寸： 38mm×89mm b.間距：406mm	a.厚度：50mm b.密度：60kg/m ³	a.釘長：31.8mm b.釘距：300mm	a.釘長：50.0mm b.釘距：150mm

*曾俊達，國立成功大學建築研究所 副教授

**詹家旺，內政部建築研究所專案助理/國立成功大學建築研究所碩士

***蘇鴻奇，內政部建築研究所副研究員/國立成功大學博士候選人

3. 本實驗試體設計係依內政部建築研究所防火實驗中心大型門牆耐火加熱試驗裝置之試體加載框尺寸4500mm×4300mm(高×寬),配合試體加載框設計試體尺寸為3000mm×4098mm(高×寬),使用2×4間柱斷面與2種覆蓋板材料進行試體製作。試體置於試體加載框內其上部空隙採用H型鋼與方型管支撐。試體周圍之束制條件參考文獻上下端部採用鉸接方式固定,左右兩側依CNS 12514第4.3.3節承重牆之試體垂直邊界不施予束制採自由端方式固定,如【圖1~圖5】,試體總計有2組,牆體材料之組構如【表2】所示。

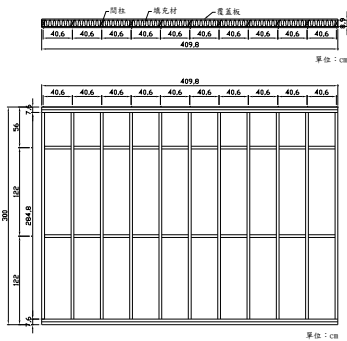


圖 1 框組壁式木構造承重牆試體間柱設計圖

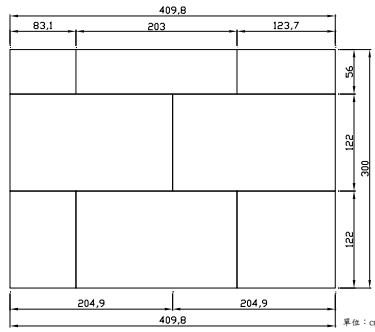


圖 2 實驗試體編號 A 及 B 加熱面覆蓋板設計圖

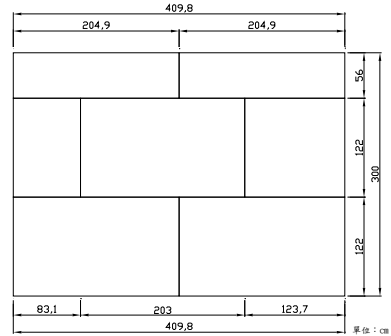


圖 3 實驗試體編號 A 及 B 非加熱面覆蓋板設計圖

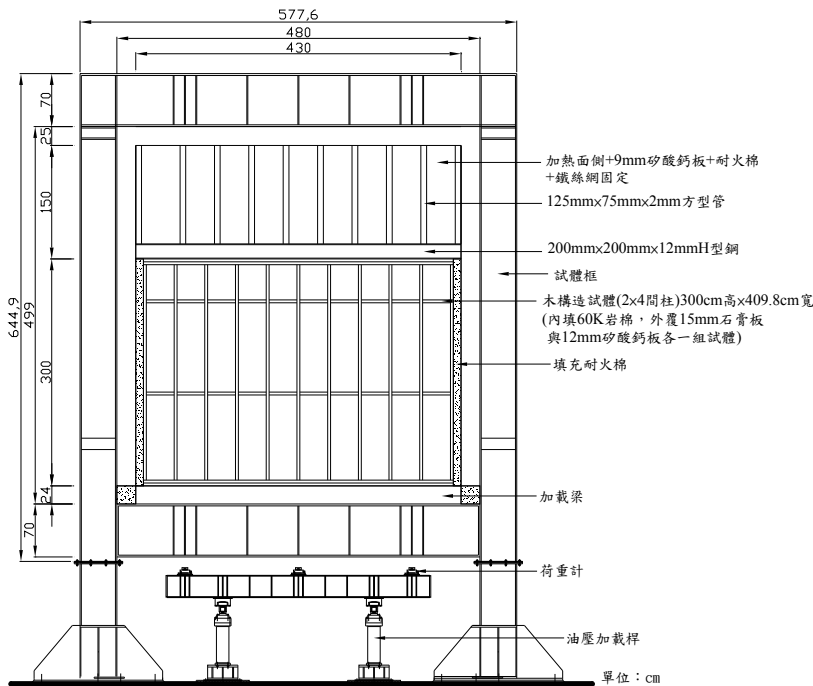


圖 4 框組壁式木構造承重牆耐火性能實驗試體設計圖

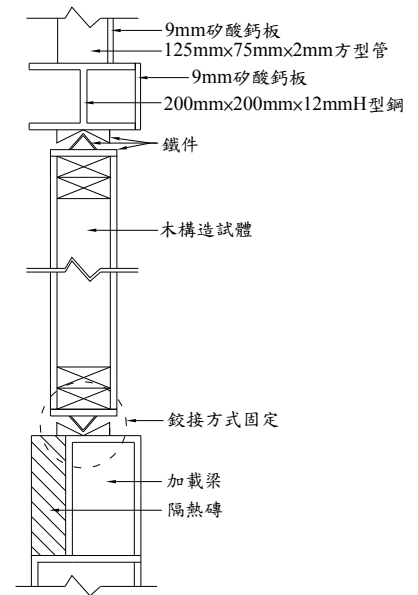


圖 5 框組壁式木構造承重牆試體上下端部鉸接構造圖

表 2 框組壁式木構造承重牆實驗試體規劃表

試體編號	覆蓋板		間柱斷面	填充材	釘材	
	15mm 石膏板	12mm 矽酸鈣板			螺釘	平滑釘
A	●		●	●	●	
B		●	●	●		●

(二) 木構材間柱抗壓強度

1. 實驗方法：依 CNS 453 「木材抗壓試驗法」進行抗壓強度實驗。
2. 實驗試體規劃：前項實驗試體編號 A 及試體編號 B 共有 22 根間柱，但試體框架左右兩邊為邊界受熱炭化部分僅在側邊，因此本研究僅取內部構件間柱共 18 根作為抗壓強度實驗試體，如【圖 6 及圖 7】，每根間柱裁取三段作為實驗試體，試體斷面為長立方體，尺寸為 38mm×未炭化部×76mm(寬×長×高)，依木構材間柱抗壓強度實驗試體規劃表進行實驗，如【表 3】。

表 3 木構材間柱抗壓強度實驗試體規劃表-試體編號 A 及 B

間柱試體編號	間柱量測位置			間柱試體編號	間柱量測位置			間柱試體編號	間柱量測位置		
	間柱上端	間柱中端	間柱下端		間柱上端	間柱中端	間柱下端		間柱上端	間柱中端	間柱下端
A1	●			B1	●			C1	●		
A2		●		B2		●		C2		●	
A3			●	B3			●	C3			●
D1	●			E1	●			F1	●		
D2		●		E2		●		F2		●	
D3			●	E3			●	F3			●
G1	●			H1	●			I1	●		
G2		●		H2		●		I2		●	
G3			●	H3			●	I3			—

註 1：—實驗樣本損壞無法量測

註 2：試體編號 A 間柱編號為 GA1~GI3，試體編號 B 間柱編號為 SA1~SI3

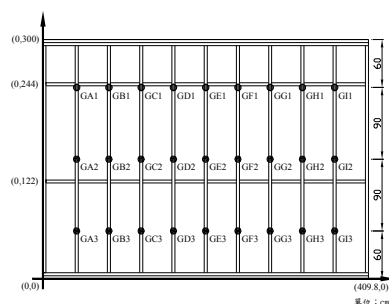


圖 6 木構材間柱抗壓強度量測點位置圖-試體編號 A

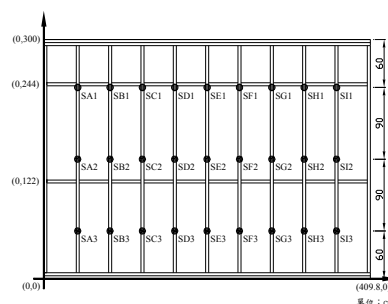


圖 7 木構材間柱抗壓強度量測點位置圖-試體編號 B

三、研究過程與成果

(一) 框組壁式木構造承重牆耐火性能實驗結果

1. 承重能力：試體編號 A 經加熱實驗後最大軸向壓縮量與最大軸向壓縮速率值分別為 17.79mm 與 7.59mm/min，試體編號 B 最大軸向壓縮量與最大軸向壓縮速率值分別為 6.27mm 與 2.57mm/min，承重能力在測試期間內未超過基準 30mm 與 9mm/min。
2. 遮焰性：試體編號 A 於 37 分 20 秒，試體編號 B 於 21 分 33 秒時均在非加熱面因為試體產生嚴重挫屈導致試體非加熱面外變形超出試體框架，並產生從加熱側通達非加熱側之火焰，兩組試體皆因非加熱面產生持續 10 秒以上火焰，在遮焰性能方面未達測試性能基準。
3. 阻熱性：於加熱時間試體編號 A 非加熱面平均溫度最高為 80.2°C，非加熱面溫度測點 T8 最高溫度為 94.0°C，試體編號 B 非加熱面平均溫度最高為 75.3°C，非加熱面溫度測點 T3 最高溫度為 88.2°C，阻熱性能在測試期間內未超過基準平均溫度 170°C 以上及最高溫度 210°C 以上。

依 CNS 12514 標準第 9.5 節防火時效等級判定，試體編號 A 防火時效為 30 分鐘，試體編號 B 防火時效未達 30 分鐘，兩組試體均未符合建築技術規則建築設計施工編第七十條承重牆 1 小時防火時效之規定，實驗結果整理如【表 4】。

表 4 框組壁式木構造承重牆耐火性能實驗結果表

判定項目	試體編號 A		試體編號 B	
	(1)	最大軸向壓縮量(mm)未超過 C=h/100=30mm	試體於加熱37分20秒時最大軸向壓縮量為17.79mm，未超過基準值30mm。	試體於加熱21分33秒時最大軸向壓縮量為6.27mm，未超過基準值30mm。
(2)	最大軸向壓縮速率(mm/min)未超過，dc/dt=3h/1000=9mm/min	試體於加熱37分20秒時最大軸向壓縮速率為7.59mm，未超過基準值9mm/min。	試體於加熱21分33秒時最大軸向壓縮速率為2.57mm，未超過基準值9mm/min。	
遮焰性	(1)	棉花墊未引燃	棉花墊未引燃。	棉花墊未引燃。
	(2)	在非加熱面之持續火焰未超過10秒	試體於加熱37分20秒時產生在非加熱面之持續火焰超過10秒。	試體於加熱21分33秒時產生在非加熱面之持續火焰超過10秒。
	(3)	從加熱側通達非加熱側之持續噴出火焰未超過10秒	試體於加熱37分20秒時產生從加熱側通達非加熱側之持續噴出火焰超過10秒。	試體於加熱21分33秒時產生從加熱側通達非加熱側之持續噴出火焰超過10秒。
阻熱性	(1)	試驗中平均溫度未超過170℃以上	試體於加熱37分20秒時非加熱面平均溫度最高為80.2℃，未超過170℃以上。	試體於加熱21分33秒時非加熱面平均溫度最高為75.3℃，未超過170℃以上。
	(2)	試驗中在任一位置之溫度(包括移動式熱電偶所測者)未超過210℃以上	試體於加熱37分20秒時非加熱面溫度測點T8最高溫度為94.0℃，未超過210℃以上。	試體於加熱21分33秒時非加熱面溫度測點T3最高溫度為88.2℃，未超過210℃以上。

(二) 木構材間柱抗壓強度實驗結果

- 由【表 5】可知，試體編號 A 及 B 兩組試體平均炭化深度與承壓面積減少百分比數值差異大，但平均縱向抗壓強度與試體抗壓強度減少百分比數值差異小，結果顯示間柱受火害時炭化深度與斷面減少對承重性能之影響較低。

表 5 試體抗壓強度減少百分比

項目	位置	試體編號 A 間柱位置			試體編號 B 間柱位置		
		間柱上端	間柱中端	間柱下端	間柱上端	間柱中端	間柱下端
平均炭化深度 (mm)		38.03	41.78	36.56	9.39	7.89	16.91
承壓面積減少百分比 (%)		55.06	57.32	51.34	26.65	18.12	40.15
平均縱向抗壓強度 (kgf/cm ²)		344.52	330.87	324.38	330.72	360.98	353.21
試體抗壓強度減少百分比 (%)		25.6	29.58	29.98	32.87	25.63	28.12

- 以牆體整體抗壓強度來看試體編號 A 平均減少約 28.39%，試體編號 B 平均減少約 28.87% 兩組試體強度減損差異性不大，研究結果顯示間柱炭化深度影響試體承重性能有一定程度，兩組試體皆因覆蓋板崩落導致加熱面阻熱性功能喪失，使間柱直接受高溫影響承重性能較大。
- 本研究繪製間柱試體上端、中端及下端處荷重與位移分析圖發現試體編號 A 軸向位移量在 1.5~4.5mm 間為承重能力開始減損時期，試體編號 B 軸向位移量在 2~5mm 間為承重能力開始減損時期，比較軸向壓縮量實驗結果試體編號 A 在加熱 28 分鐘後間柱承重強度即開始明顯降低，此時亦為間柱產生炭化期間，間柱在炭化斷面減少及高溫因子交互影響下，承重性能開始喪失，產生變形，試體編號 B 在加熱 18 分鐘後間柱承重強度亦即開始明顯降低。

(三) 框組壁式木構造承重牆承重性能分析

本研究以木構材間柱抗壓強度實驗所求得之縱向抗壓強度及彈性模數，代入承重能力計算公式中，將所計算之承重牆承重能力理論值與設計值及加載加熱實驗後承重能力進行分析比較。

經計算後框組壁式木構造承重牆承重能力設計值為 10.33Ton，試體編號 A 經加載加熱實驗後承重能力為 4.59Ton 與理論值相較減少 5.16Ton（承重能力減少 52.92%），與設計值相較減少 5.74Ton（承重能力減少 55.57%）；試體編號 B 經加載加熱實驗後承重能力為 8.4Ton，與理論值相較減少 1.35Ton（承重能力減少 13.85%），與設計值相較減少 1.93Ton（承重能力減少 18.68%），分析比較結果整理如【表 6】。

表 6 木構造承重牆承重能力分析表

序目 項次	理論值 (1)	設計值 (2)	試體編號 A (3)	試體編號 B (4)
承重能力 (Ton)	9.75	10.33	4.59	8.4
與 (1) 之差值 (Ton)	0	0.58	5.16	1.35
與 (2) 之差值 (Ton)	0.58	0	5.74	1.93
與 (1) 之百分比 (%)	0	5.62	52.92	13.85
與 (2) 之百分比 (%)	5.62	0	55.57	18.68

由【表 6】可知理論值與設計值兩者計算結果準確率達 94.38%，顯見由木構材間柱小型試體之縱向抗壓強度與彈性模數計算之全尺寸承重牆之承重能力有一定程度的準確性。

四、結論與建議

(一) 結論

1. 框組壁式木構造承重牆耐火性能

- 經由實驗結果顯示依「木構造建築物設計及施工技術規範」框組壁式系統組構之牆體防火設計，牆體在具有承重功能的狀態下，試體編號 A 防火時效為 30 分鐘，試體編號 B 防火時效未達 30 分鐘，兩組試體皆因遮焰性能未符合 CNS 12514 耐火性能規定，亦未符合建築技術規則建築設計施工編第七十條承重牆壁 1 小時防火時效之規定。
- 本研究依牆試體覆蓋板內側之實驗溫度數據紀錄，得知覆蓋板為石膏板牆體在加熱實驗開始後 31 分鐘才有明顯升溫情形，而覆蓋板為矽酸鈣板牆體在加熱實驗開始後 5 分鐘即開始明顯升溫，結果顯示矽酸鈣板熱傳導性較石膏板快速，對內部間柱構件受高溫影響較高。
- 承重牆體在火害衝擊下，一但覆蓋板系統崩落，即無法對間柱形成保護作用，而使間柱直接受火燃燒，在無加載條件下，此情形僅構造本身熱應力造成變形，但不至於破壞非加熱面之覆蓋板，進而失去遮焰性能，本次實驗因具加載條件，當加熱面覆蓋板系統產生大面積崩落，間柱直接受火燃燒局部炭化，以致在承重狀態下除熱應力外再加上炭化部分降低強度，而形成彎矩力，加速牆體變形而降低遮焰性能。
- 目前「木構造建築物設計及施工技術規範」框組壁式牆體防火設計之系統，如使用在區劃牆可符合規定，但在承重狀態下即無法達到 1 小時防火時效性能要求。建議木構造規範制定在承重狀態之框組壁式牆體系統防火設計，以落實木構造建築防火安全。
- 本研究經由實驗數據分析結果得知當覆蓋板於實驗過程中產生崩落時，試體承重能力會快速減少，如於加熱面增加覆蓋板板片層數，可使曝火面在受火害衝擊過程中減緩覆蓋板崩落的時間，使間柱的阻熱性增加，可延長試體的防火時效。

2. 木構材間柱抗壓強度

- a. 木構材間柱壓縮變形量在 1.5~5mm 間為間柱抗壓強度減損時期，此時間柱承重強度亦即開始明顯降低，使牆體承重能力減少。
- b. 承重牆兩組試體強度減損差異性不大，皆因覆蓋板崩落導致曝火面阻熱性功能喪失，使間柱直接受高溫影響承重性能較大。
- c. 本研究經由分析框組壁式木構造承重牆承重能力理論值與設計值準確率達 94.38%，顯見由木構材間柱小型試體之縱向抗壓強度與彈性模數計算之全尺寸承重牆之承重能力有一定程度的準確性。

(二) 建議

1. 本次實驗關鍵在於覆蓋板性能，矽酸鈣板可能因含水率及板材密度較大，以致於火害時產生爆裂，由於覆蓋板系統較早崩落，提前形成彎矩現象，因此，此類承重牆對於覆蓋板系統應妥慎選擇與施作，將能確保防火安全。
2. 木構造牆在承重狀態下溫度影響牆體承重能力較大，建議針對覆蓋板板材之種類、厚度、層數與間柱材種、斷面尺寸等因子進行牆體系統設計時，應考慮增加其阻熱性，使木構造牆符合建築技術規則 1 小時防火時效性能。

致謝

本研究承行政院國家科學委員會 96 年度二年期研究計畫「木構造承重牆耐火性能驗證研究」(計畫編號：NSC96-222-E-006-237-MY2) 提供研究經費及承內政部建築研究所防火實驗中心協助性能驗證，謹此致謝。

五、參考文獻

1. 曾俊達、葉世文、蘇鴻奇，「木構造耐火性能設計與驗證研究」，內政部建築研究所，台北市，2004.12。
2. 曾俊達、葉世文、蘇鴻奇，「框組式木構造區劃牆耐火性能驗證研究」，建築學報第 59 期，頁 145-162，2007.3。
3. 內政部營建署，「木構造建築物設計及施工技術規範」，內政部營建署，台北市，2008.10。
4. 加拿大木材集團，「台灣住宅平台式木構架建築施工法-優良施作法指南」，內政部營建署出版，2008。
5. 經濟部標準檢驗局，「CNS 12514 建築物構造部分耐火試驗法」，經濟部標準檢驗局印行，2010.2。
6. 經濟部標準檢驗局，「CNS 453 木材抗壓試驗法」，經濟部標準檢驗局印行，2005.5。
7. AF & PA's WFCM/ANSI Canvass Committee, "Wood Frame Construction Manual for One- and Two-Family Dwellings", American Wood Council. October 2001.
8. Kodur, V.K.R., Sultan, M.A., Latour, J.C., Leroux, P. and Monette, R.C., "Fire Resistance Tests on Cellulose and Glass Fiber Insulated Wood Shear Walls", National Research Council Canada, 2002.
9. Sultan, M.A. and Lougheed, G.D., "Result of Fire Resistance Tests on Full-Scale Gypsum Board Wall Assemblies", National Research Council Canada, 2002.
10. V. K. R. Kodur, M. A. Sultan, "Performance of wood stud shear walls exposed to fire", Fire and Materials, Volume 24, Issue 1, Pages: 9-16, January/February 2000.
11. Bénichou, N.; Morgan, D., "Structural Response Model for Wood Stud Wall Assemblies – Theory Manual", National Research Council Canada, April 2003.
12. Sultan, M.A.; Bénichou, N., "Heat exposure measurements in fire resistance wall and floor test furnaces", Structures in Fire, Proceedings of the 3rd International Workshop, Ottawa, Ontario, May 10-11, pp. 1-9, 2004.
13. American National Standard, "ASTM E119-08 Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials", 2008.
14. American National Standard, "ASTM D6513-08 Standard Practice for Calculating the Superimposed Load on Wood-frame Walls for Standard Fire-Resistance Tests", 2008.
15. Phil Line, P.E., John "Buddy" Showalter, P.E., and Robert J. Taylor, Ph.D., P.E., "National Design Specification for Wood Construction, NDS", 2005.