

H形鋼内蔵木質耐火構造部材の実用化に向けての開発研究

～木質柱と間仕切壁の取り合い部の耐火性能検証と小型実験による部材内温度分布の測定～

3.防災部門－4.防・耐火性－C.木質系構造・材料

準会員 ○ 伊藤拓真*¹ 正会員 長谷見雄二*²正会員 景山悠太郎*³ " 原田和典*⁴" 宮林正幸*⁵ 準会員 楠田紘敬*¹ハイブリッド耐火構造 鉄骨内蔵 接合部
耐火加熱試験 温度分布

1. はじめに

木現しで用いるH鋼内蔵木質耐火構造部材の開発は柱、梁部材単体での1時間耐火性能認定がされており¹⁾、既に本部材を用いた建築物も実現している²⁾。木現し部材は二次部材等との接合部が弱点になり得るが、他部材と接合した状態で耐火性能を維持できるかは不明確で、現状では設計上の制約が大きく、普及に至っていない。一方、木質耐火構造の開発は、従来、主に実大規模実験で進められてきたが、多様な課題を効率的に解決するには、熱伝導解析を導入することが望ましい。そこで、本稿では、木質構造柱と間仕切り壁の取り合い部分の1時間の耐火性能を実大実験で検証し、接合部開発の見通しを立てる。更に、熱伝導解析の検証への利用を目的に、小型実験を行い詳細な部材内温度を測定した結果を報告する。

2. H鋼内蔵木質耐火構造柱と間仕切り壁の取合い部の実大実験

H鋼内蔵木質耐火構造部材を柱や梁に用いた耐火建築物の実現を最終目標とする。柱と間仕切り壁の接合部の耐火性能を把握し1時間の耐火性能を確保できる仕様を明らかにする。

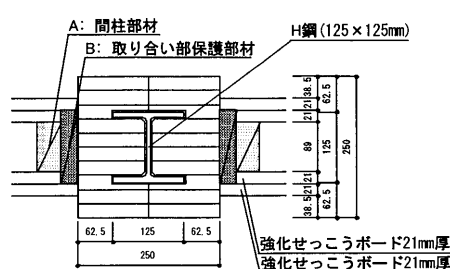


図1. 試験体仕様構成

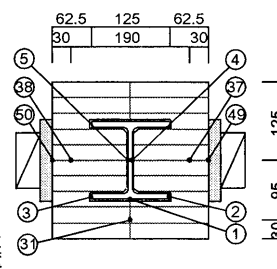


図2. 温度測定位置例

2-1. 実験概要

1) 試験体概要

試験体は、柱(250×250mm, H形鋼断面125×125mm)及び壁面材(せっこうボード21mm厚両面張り)を共通とし(図1)、間柱を2×4材(トドマツ)と鋼製C形スタッド0.8mm厚(LGS)の2種類、柱・壁の緩衝材を4種類の計8仕様とし、図3,4のように、壁状の試験体の2本の柱に2仕様の柱取り合い部を再現することにより、4回の実験で全仕様を検討できるようにした。1試験体で2本の柱の仕様を変えて行い、試験体4体で計8仕様の耐火性能を検証する。またK型熱電対0.65mmにより一断面につき10～12点で部材内温度を計測した(図2)。

2) 検討方法

(財)ベタリーピング筑波研究所の壁炉でISO834標準耐火加熱曲線により1時間非載荷加熱し、23時間放置した。断面温度分布を3箇所計測の上、非加熱側への燃抜けにより遮炎性を、間柱の炭化の有無により自然鎮火可能性を判定した。

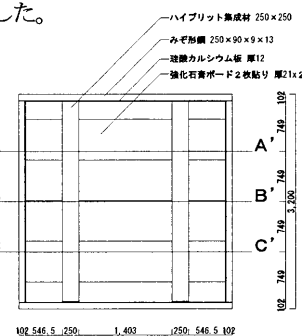


図3. 試験体立面図及び温度測定断面位置

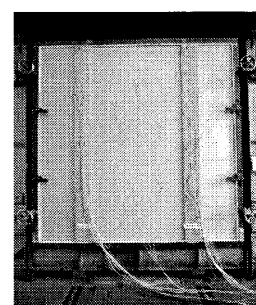


図4. 実大試験体写真(1体2仕様)

表1. 実大試験体仕様及び実験結果一覧

試験体名	試験体仕様名	A: 間柱部材		B: 取り合い部保護部材		加熱時間	放置時間	試験結果				備考
		材	断面寸法	材	幅 厚			燃え抜け	間柱の炭化	判定		
ア	T-1	トドマツ材	89×38	ケイ酸カルシウム板	20	1時間	23時間	有(*1)	有	×	(*)B-B'断面にて試験開始後4時間で炎が貫通した	
	T-2			難燃処理杉材	30	1時間	23時間	無	有(*2)	×	(*)B-B'断面、C-C'断面にて間柱が炭化した	
イ	T-3	トドマツ材	89×38	GB-F	21	1時間	23時間	無	無	○		
	T-4			難燃処理杉材2枚重ね	60	1時間	23時間	無	(*)3	○	(*)3壁材(GB-F)固定用ビスの熱橋による炭化のため燃え進みによる炭化とは区別した	
ウ	S-1	スチット材	90×45	難燃処理杉材	30	1時間	23時間	有(*4)	無	×	(*)4B-B'断面にて試験開始後4時間30分で炎が貫通	
	S-2			なし(直付け)	-	1時間	23時間	無	無	○		
エ	S-3	スチット材	90×45	GB-F	12.5	1時間	23時間	無	無	○		
	S-4			なし(H鋼を90°回転)	-	1時間	23時間	無	無	○		

2-2. 実験結果

実験結果一覧を表 1(前頁)に、各仕様炭化性状の一部を一覧で表 2(次頁)に示す。T1、S-1 の 2 仕様は約 4 時間で裏面まで燃え抜け、T2 は間柱が炭化して、計 3 仕様が耐火性能を満たさなかった。また間柱が 2×4 規格材の仕様と間柱が鋼製 C 形スタッドの 4 仕様毎にそれぞれ B・B' 断面の片側の柱側面の温度推移図を図 5,6 にまとめた。ただし A・A' 断面付近で非加熱側まで燃え抜けた S-1 については A・A' 断面の S-1_50 の温度推移を記載した。

1) 遮炎性について

T1、S-1 の 2 仕様は約 4 時間で非加熱側まで燃え抜け、遮炎性が得られなかった。

2) 間柱の炭化の有無について

T1、T2 の 2 仕様の間柱が炭化した。

3) 残炎について

8 仕様全てにおいて脱炉後の残炎は見られず自然鎮火した。

4) 温度推移について

間柱に 2×4 規格材を用いた仕様の内、柱側面の熱電対温度 T1_52 は 1 時間加熱終了後約 2 時間で木材着火温度(本稿では 260℃を目安とする。)に達し、その後、最高温度は 983℃に達した。T2_58 は 1 時間加熱終了後約 10 時間で 260℃に達し、その後、最高温度 673 に達した。T3_52 は最高温度 50℃、T4_58 は最高温度 40℃であり 260℃には達しなかった。間柱に鋼製 C 形スタッドを用いた仕様の内 S-2、S-3、S-4 の 3 仕様の柱側面の熱電対温度は最高温度 260℃以下であった。S-1_50 は 1 時間加熱終了後約 4 時間で 260℃に達し、その後、最高温度 1090℃に達した。

2-3. 考察

1) T-1 と T-3 の比較

仕様の違いは取り合い部保護部材のみであり、T-1 ではケイ酸カルシウム板 20mm 厚、T-3 では強化せっこうボード 21mm 厚である。T-3 は S-2 と並んで炭化量が少なく遮炎性が高かった。その要因は T-3 ではせっこうボード内の結晶水が吸熱作用をもたらしたためである。図 7 に T-1 と T-3 の温度推移図を示す。

2) S-1 と S-2 の比較

仕様の違いは柱と間柱の間の難燃木材の有無のみである。取り合い部を保護する部材が増えたはずの S-1 の方が遮炎性を満足しなかった要因は難燃木材が加熱により分解、炭化が進行し、難燃木材と構造柱の間に隙間が生じたためである。

3) 燃え抜け方

燃え抜ける際には図 5,6 を見てもわかるように柱部材と壁部材の隙間から温度が上昇し、燃え抜けに至ることがわかった。

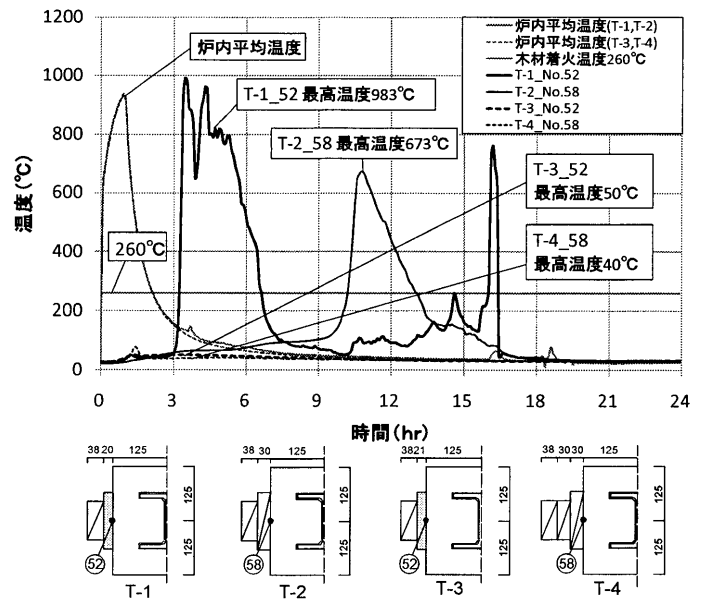


図 5. 間柱 2×4 断面 B-B' 温度推移図 (4 仕様まとめ)

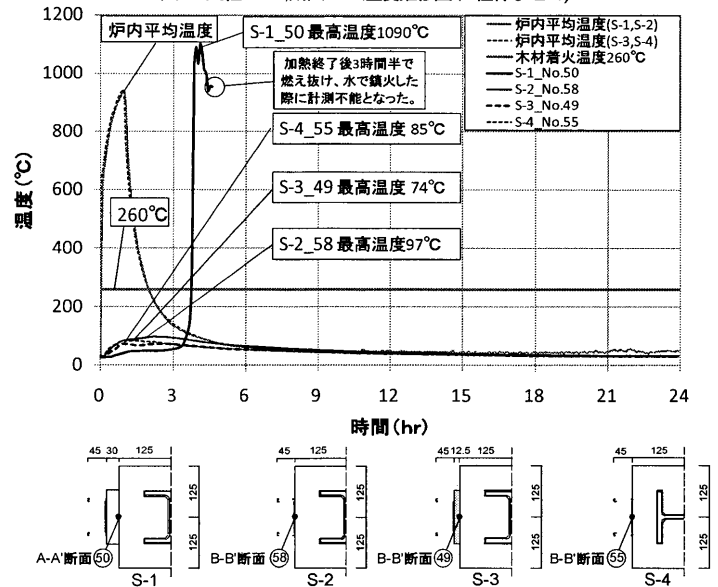


図 6. 間柱スタッド温度推移図 (4 仕様まとめ)

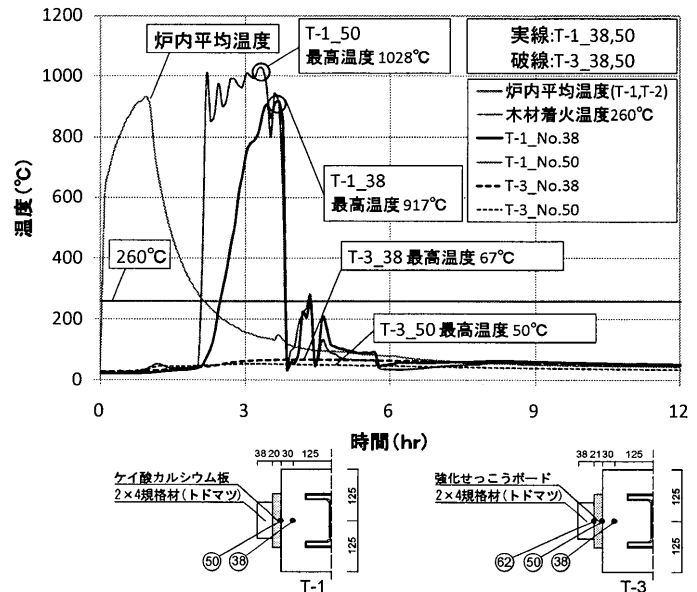


図 7. T-1, T-2、断面 A-A' 温度推移図比較

表2. 実大試験、各仕様炭化性状一覧

仕様T-1	B-B断面	判定[×]	仕様T-2	B-B断面	判定[×]
仕様T-3	A-A断面	判定[○]	仕様T-4	A-A断面	判定[○]
仕様S-1	最燃焼部断面	判定[×]	仕様S-2	A-A断面	判定[○]
仕様S-3	A-A断面	判定[○]	仕様S-4	A-A断面	判定[○]

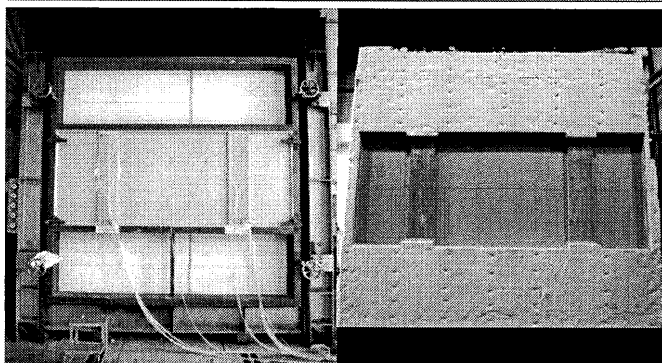


図8. 小型試験体写真(非加熱面)

図9. 小型試験体写真(加熱面)

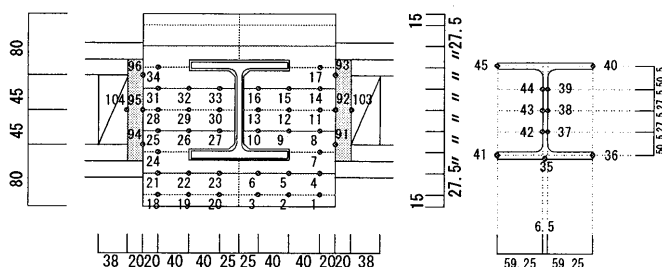


図10. 小型試験体温度測定位置例

3. H鋼内蔵木質耐火構造柱と間仕切り壁の取合いの小型実験

耐火加熱される木質耐火部材の熱伝導解析を進めるには、モデルの検証に木質部材の温度分布が必要である。そのため、小型試験体により加熱・放置時の詳細な部材内温度を測定する。

3-1. 実験概要

1) 試験体概要

前述の実大実験で用いた仕様の内、T1,T3,S-2,S-4 の4仕様を用い、それぞれ試験体名を MT-1,MT-3,MS-2,MS-4 とする。本実験では、熱伝導解析との比較を考慮して、難燃木材等、伝熱・吸発熱性状が十分把握できない材料を避け、現実的な範囲で熱伝導解析が比較的容易と思われる仕様のみを選定した(表3)。試験体は高さ1200mmとし、試験体高さ600mmの一断面にK型熱電対0.32mmを埋設した。本実験では詳細な温度変化の性状を把握する必要があるため、各試験体一断面につき44~50点の熱電対で温度測定を行った(図10)。小型実験の試験体は加熱炉の上下約1/3ずつをケイ酸カルシウム板で覆っている(図11)。

2) 検出方法

前述の実大実験と同じ(財)ベターリビング筑波研究所の壁炉において、小型加熱非載荷試験を1時間加熱23時間放置で行い、燃焼性状を把握する。加熱はISO834標準加熱曲線に従い、断面温度の測定は一断面で行う。実験で得た値を基に部材断面の温度分布の等時刻線の作成を行う。

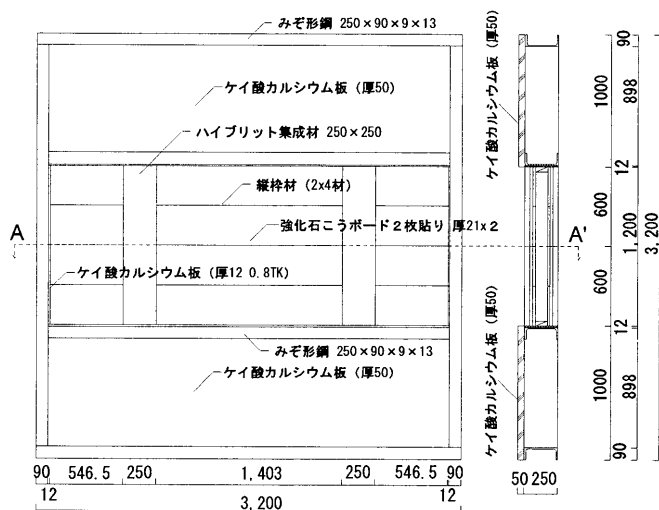


図11. 小型試験体立面、断面図及び温度計測断面位置

表3. 小型試験体仕様及び実験結果一覧

試験体名	試験体仕様名	A: 間柱部材		B: 取り合い部保護部材		加熱時間	放置時間	試験結果				
		材	断面寸法	材	幅			厚	燃え抜け	間柱の炭化	判定	備考
オ	MT-1	2×4材	89×38	ケイ酸カルシウム板	131	20	1時間	23時間	有(*1)	有	×	(※1)試験開始後算3時間30分で火災が貫通した
	MT-3	GB-F		21		1時間	23時間	無	有(*2)	×	(※2)右側の間柱のみ炭化	
カ	MS-2	スラット	90×45	なし(直付け)		-	1時間	23時間	無	無	○	
	MS-4	スラット		なし(H鋼を90°回転)		-	1時間	23時間	無	無	○	

3-2. 実験結果及び考察

MT1は1時間加熱終了後2時間30分で燃え抜け、MT3は右側の間柱のみ炭化した。判定結果一覧を前頁、表3に記載する。

1) 経時的な温度分布について

各仕様における経時的温度分布と脱炉後の炭化性状を以下、表4に示す。MT-1は柱側部において温度上昇しやすかったことが分かった。

2) 各仕様別の温度上昇の特徴について

表4を見てわかるようにMT-1は1時間加熱終了後2時間の時点で柱部材側部まで燃え進んでおり、左側のケイ酸カルシウム板の表面温度は最高で945℃を示していた。このとき左側の間柱の表面温度は375℃まで達しており、間柱まで燃焼していることが分かった。MT-3は加熱終了後2時間の時点で右側の柱部材側部のみ燃え進んでおり、右側のGB-Fの表面温度は298℃とMT-1よりも低い温度であった。同時刻において左側のGB-Fの表面温度は40℃であり、左側の間柱の表面温度は52℃であった。そのため左側の間柱の炭化は起こらなかった。MS-2、MS-4は柱の炭化性状と部材内温度分布の性状は類似している。

3) 実大実験と小型実験の比較について

MT1とT1の炭化性状を比較すると共に遮炎性を満足しなかった。MT3とT3を比較するとMT3の右側において一部炭化が深く進んでいる部分があるが、図12によりMT3とT3の温度推移図により部材間温度を比べても燃焼した柱右側面の値以外はほぼ等しい値であった。またMS-2、MS-4とS-2、S-4についても遮炎性の再現性が得られた。以上から、4仕様全ての仕様において前述の実大非載荷加熱実験の結果と大きな差異は見られなかったため、小型実験の温度データは解析値の比較検証に耐える再現性を有すると考える。

表4. 各仕様における経時的温度分布

	MT-1	MT-3	MS-2	MS-4
1時間後				
3時間後				
24時間後				

4. まとめ

①間柱が2×4規格材(トマツ)で一時間耐火性能が得られた仕様は柱・壁の緩衝材が強化せつこうボード21mm厚の仕様と緩衝材が難燃処理スギ材2枚重ねの仕様の2仕様であり、間柱が鋼製C形スタッドで性能が得られた仕様は鋼製C形スタッドを柱にビスで直付けした仕様、緩衝材として強化せつこうボード12.5mm厚を用いた仕様と柱内のH形鋼を90°向きを変えて鋼製C形スタッドを柱にビスで直付けした仕様の3仕様で、合計5仕様である。

②間仕切壁に接合するH鋼内蔵木質柱の小型実験により熱伝導解析と比較可能な詳細な温度分布が得られた。

【謝辞】

本研究は、林野庁・地域材利用加速化緊急対策支援事業の一環により行われた。また試験場所を提供してくださった(財)ベタリーピングの関係者各位の皆様に深く謝意を表します。誠に有難う御座いました。

【参考文献】

- 1) 田坂茂樹、遊佐秀逸他；木質構造の耐火性能に関する研究その18)集成材被覆H形鋼柱の耐火性能：2005年度日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2005年9月
- 2) 遊佐秀逸；最新の木造耐火建築物の事例、金沢エムビル：建築技術、2005年7月号

- *1 早稲田大学建築学科 *2 早稲田大学理工学術院教授
 *3 早稲田大学大学院修士課程 *4 京都大学工学研究科教授
 *5 (有)ディー・イー・コンサルティング

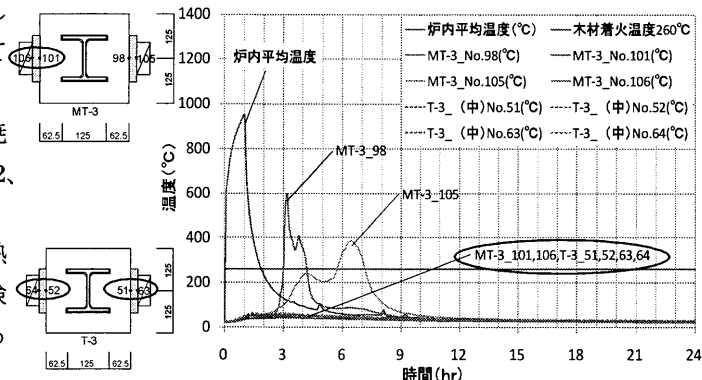


図12 MT-3、T-3 温度推移図