

## 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詳細温度の測定～

耐火構造

鉄骨内蔵

間仕切壁

実大加熱試験

小型加熱試験

正会員○伊藤拓真<sup>\*1</sup> 正会員 長谷見雄二<sup>\*2</sup>// 景山悠太郎<sup>\*3</sup> // 原田和典<sup>\*4</sup>// 宮林正幸<sup>\*5</sup> // 櫛田紘敬<sup>\*1</sup>

## 1.はじめに

本現しで用いる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時間耐火性能を得ており<sup>1)</sup>、既に本部材を用いた建築物も存在する<sup>2)</sup>。しかし耐火性能が検証された断面仕様が限られる上、間仕切り壁等の二次部材を接合した場合の耐火性能は未だ検証されておらず、一般的な普及には至っていない。本稿では、木質構造柱に間仕切り壁を接合させた仕様について1時間の耐火性能検証のため非載荷の実大実験を行い、開発の見通しを立てる。また今後、この種の検討を熱伝導解析で進めるのを容易にするために小型実験で詳細な部材内温度を測定し、熱伝導解析手法の検討基盤としたい。

## 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

## 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)を共通とした(図1)。間柱には2×4材(トドマツ)と鋼製C形スタッド0.8mm厚(LGS)の2種類を用い、火災から間柱を保護する目的で柱・壁の緩衝材としてケイ酸カルシウム板、強化せっこうボード、難燃処理杉材、二枚重ねの難燃処理杉材の4種類を用いた。難燃木材には難燃薬剤ノンネンW2-50を120kg/m<sup>3</sup>を目標に注入した。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2参照)。

表1. 実大試験体仕様及び実験結果

| 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            | 厚    |      |      | 燃え抜け  | 間柱の炭化 | 判定 |                                            |    |
| ア    | T-1    | ケイ酸カルシウム板 | 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時間で火災が貫通した                |    |
|      | 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    |           |       | 強化せっこうボード    | 21   | 1時間  | 23時間 | 無     | 無     | ○  | (*)壁材(GB-F)固定用ビスの熱損による炭化のため燃え込みによる炭化とは区別した |    |
|      | T-4    |           |       | 難燃処理杉材2枚重ね   | 60   | 1時間  | 23時間 | 無     | (*)3  | ○  | (*)B-B'断面にて試験開始後4時間30分で火災が貫通               |    |
| ウ    | S-1    | なし(直付け)   | 90×45 | 難燃処理杉材       | 30   | 1時間  | 23時間 | 有(*4) | 無     | ×  |                                            |    |
|      | S-2    |           |       | なし(直付け)      | -    | 1時間  | 23時間 | 無     | 無     | ○  |                                            |    |
| エ    | S-3    |           |       | 強化せっこうボード    | 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     | ○  |                                            |    |

Research and Development for practical fireproof steel-timber hybrid column: Verification of the fire resistance of column-wall joint and measurements of the temperature field with the timber element.

## 2) 検討方法

(財)ベターリビ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、非加熱側への燃え抜けの有無により遮炎性を、間柱の炭化の有無により自然鎮火可能性を判定した。

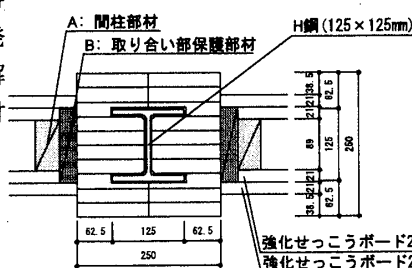


図1. 試験体仕様構成

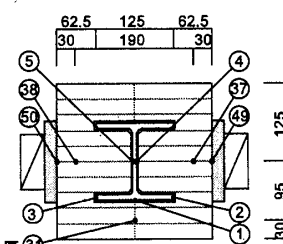


図2. 温度測定位置例

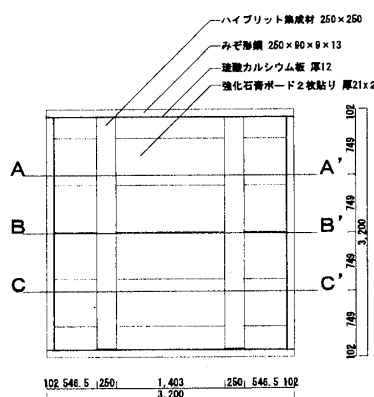


図3. 試験体立面図及び温度測定断面位置

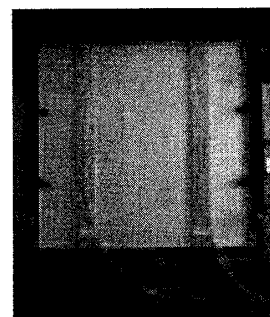


図4. 実大試験体写真(1体2仕様)

## 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。T-1、S-1 の 2 仕様は加熱開始後約 4 時間で裏面まで燃え抜け、T-2 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

T-1、S-1 の 2 仕様は加熱開始後約 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

T-1、T-2 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 T-1\_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。T-2\_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。T-3\_52 は最高温度 50℃、T-4\_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 仕様は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

試験体の違いは取り合い部保護部材であり、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。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

試験体の違いは柱と間柱の間の難燃木材の有無である。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) T-2 と T-4 の比較

試験体の違いは柱と間柱の間の難燃木材の枚数である。難燃木材が 1 枚の T-2 と 2 枚重ねの T-4 を図 5、表 2 により比較すると T-4 の方が柱側面の最高温度は 600℃以上低く、間柱も炭化しなかった。そのため難燃木材を重ねて使用することにより遮炎性、自然鎮火可能性を共に高められることが判明した。

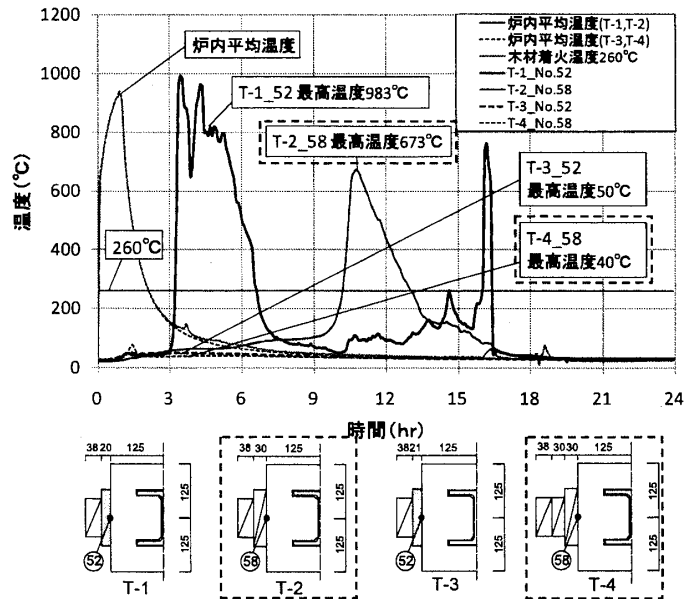


図 5. 間柱 2×4 温度推移図 (4 仕様まとめ)

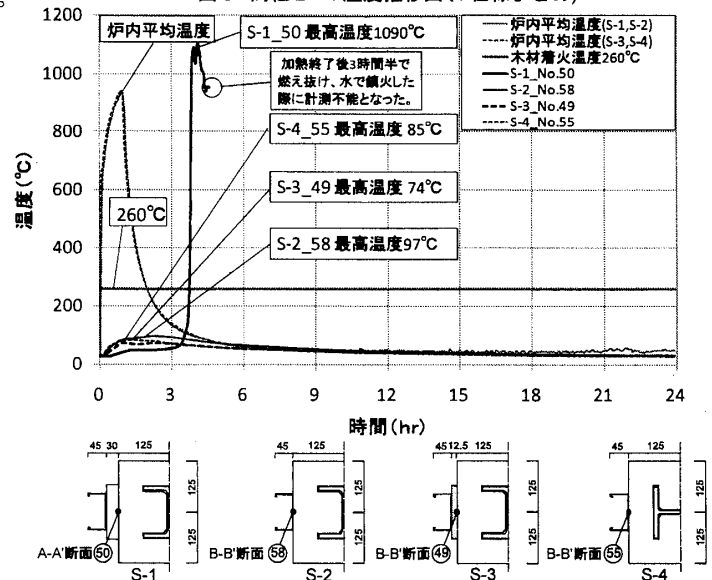


図 6. 間柱鋼製 C 形スタッド温度推移図 (4 仕様まとめ)

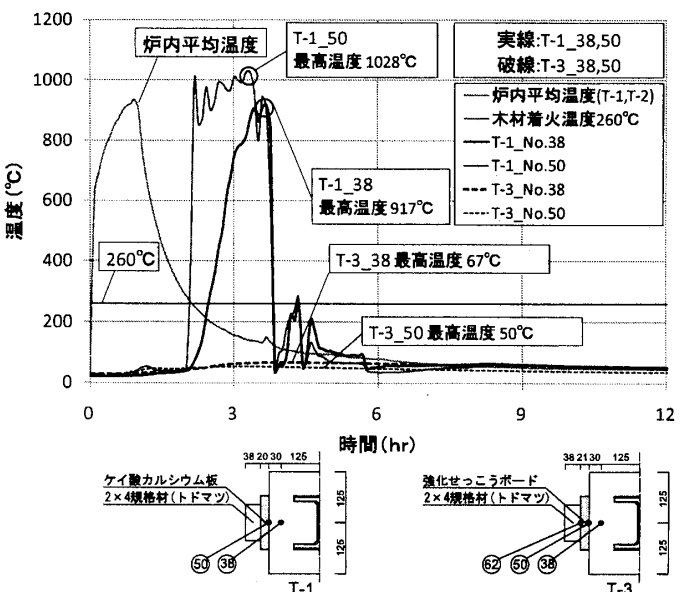


図 7. T-1, T-3、断面 A-A' 温度推移図比較

表 2. 実大試験、各仕様炭化性状一

|       |        |       |       |       |       |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 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[○] |

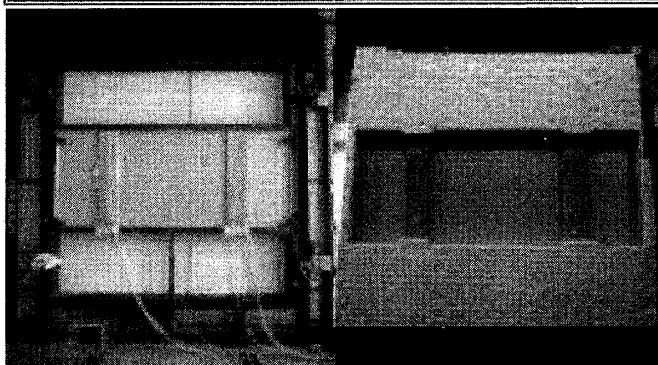


図 8. 小型試験体写真(非加)

図 9. 小型試験体写真(加熱)

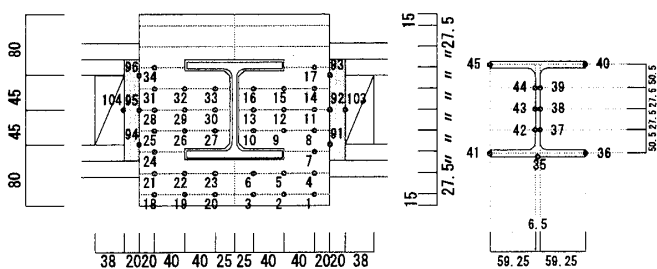


図 10. 小型試験体温度測定位

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  |       |    |  | 備考                      |
|------|--------|-----------|-------|--------------|-----|------|------|-------|-------|----|--|-------------------------|
|      |        | 材         | 断面寸法  | 材            | 幅 厚 |      |      | 燃え抜け  | 間柱の炭化 | 判定 |  |                         |
| オ    | MT-1   | ケイ酸カルシウム板 | 89×38 | GB-F         | 20  | 1時間  | 23時間 | 有(*1) | 有     | ×  |  | (*)試験開始後算3時間30分で火炎が貫通した |
|      | MT-3   |           |       |              | 21  | 1時間  | 23時間 | 無     | 有(*2) | ×  |  | (*)2右側の間柱のみ炭化           |
| カ    | MS-2   | なし(直付け)   | 90×45 | なし(H鋼を80°回転) | -   | 1時間  | 23時間 | 無     | 無     | ○  |  |                         |
|      | MS-4   |           |       |              | -   | 1時間  | 23時間 | 無     | 無     | ○  |  |                         |

## 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

今後、熱伝導解析の検証の際に、解析値と比較可能な実験値として利用できるようにするために小型実験を行い詳細な部材内温度分布を測定する。

## 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、T-1,T-3,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の一面面に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) 検討方法

前述の実大実験と同じ(財)ベタリーピ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。

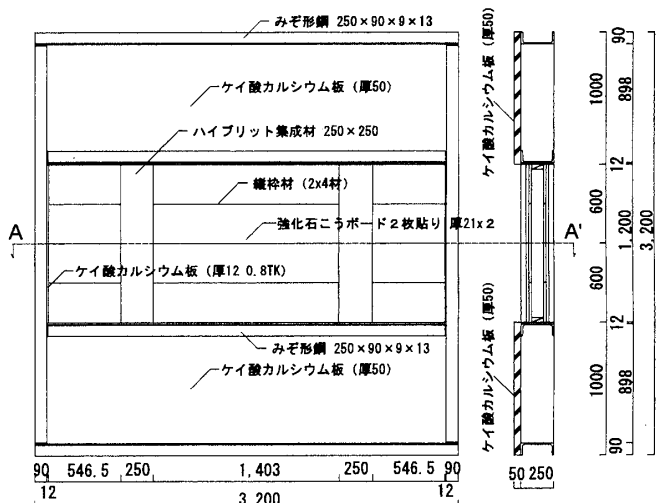


図 11. 小型試験体立面、断面図及び温度計測断面位置

### 3-2. 実験結果及び考察

MT-1 は1時間加熱終了後2時間30分で燃え抜け、MT-3 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いことが分かった。

#### 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

MT-1 と T-1 の炭化性状を比較すると共に遮炎性を満足しなかった。MT-3 と T-3 を比較すると MT-3 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 MT-3 と T-3 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。

### 4. まとめ

- ①間柱が 2×4 規格材(トドマツ)の仕様の内、遮炎性を有し、自然鎮火した仕様は柱・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 形スタッドで遮炎性を有し、自然鎮火した仕様は鋼製 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)ベターリビングの関係者各位の皆様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；木質系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

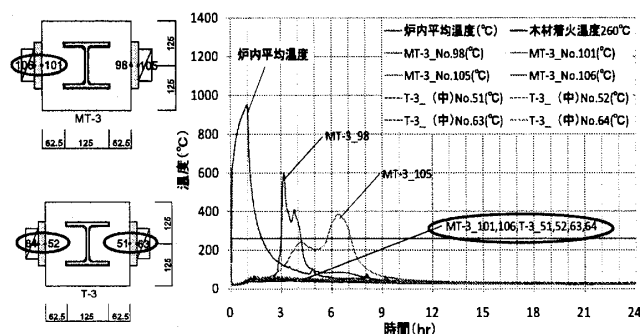


図 12 MT-3, T-3 温度推移図

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   | <br>375℃ 945℃ | <br>52℃ 40℃ 298℃ 101℃ |      |      |
| 2 4 時間後 |               |                       |      |      |

\*1 早稲田大学大学院  
 \*2 早稲田大学理工学術院教授、工博  
 \*3 株式会社大林組（実験当時、早稲田大学大学院）  
 \*4 京都大学工学研究科教授、工博  
 \*5 有限会社ディー・イー・コンサルティング

\*1 Graduate School of Science and Engineering, Waseda University  
 \*2 Prof. Department of Architecture, Waseda University Dr. Eng  
 \*3 Obayashi Corporation/During experiment, Graduate School of Science and Engineering, Waseda University  
 \*4 Prof. Department of Architecture, Kyoto University Dr. Eng  
 \*5 Limited company T・E・Consulting