

# F18. 中規模木造建築の区画貫通部の仕様及び燃えしろ設計法の合理化に係る検討

一般社団法人 建築性能基準推進協会

共同研究：国立研究開発法人建築研究所

国立研究開発法人森林研究・整備機構

森林総合研究所

## 背景・目的

- 建築基準法第21条第1項及び第27条第1項において、耐火構造とする代わりに通常火災終了時間又は特定避難時間までは倒壊しない構造方法が規定され、木造中層建築物の設計が可能となったが、通常火災終了時間が長時間となった場合の防火区画貫通部の仕様や、区画を貫通させて設ける風道の仕様が定められておらず、設計ができないものとなっている。
- 燃えしろ設計の際に最小断面寸法を、火災加熱の状況、火災時の残存耐力によらず20センチメートルと一律で規定しており、設計の自由度が制約されている。
- 通常火災終了時間や特定避難時間が長時間となるような一定規模以上の木造建築物の設計を可能とし、又は容易にするため、性能確保のための方策の検討や性能を有する仕様の特定のための検討、実験等を行う。

## 調査体制

- 一般社団法人建築性能基準推進協会と国立研究開発法人建築研究所、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所の共同研究。
- 「中規模木造建築の区画貫通部の仕様及び燃えしろ設計法の合理化検討委員会(委員長：菅原進一東京大学名誉教授)」
- ダクトWG(主査：森山修治 日本大学 工学部建築学科 教授)
- 区画貫通部WG(主査：野秋政希 (国研)建築研究所 防火研究グループ 主任研究員)
- 燃えしろWG(主査：河野 守 東京理科大学 工学部第二部学部長 建築学科 教授)

# 調査の内容

## (イ) ニーズ等の調査、仕様案の検討

区画貫通部の仕様に関して、建材メーカー等の関係団体等に対して、ヒアリング調査等を実施するとともに、長時間の準耐火構造に対応した試験体仕様等の整理、検討を行う。

## (ロ) 耐火試験、加熱試験等の実施

(i) (イ)に基づく仕様の試験体に対して、耐火試験、加熱試験等を実施し、必要な性能を有する区画貫通部及び区画貫通部の風道の性能を検証し、基準案を特定する。また、試験体製作等において一般的な施工方法や取り合い部の防火措置の検討を行う。

(ii) 耐火試験、加熱試験等を実施し、加熱面の数等に応じた燃えしろ型部材の必要残存断面を把握する。また、高温時強度等の材料特性に関する情報を蓄積し、必要残存断面に関する評価手法等を検討する。

## (ハ) 基準化の検討

(イ)、(ロ)において実施された試験及びその結果の分析に基づき、区画貫通部及び燃えしろ設計型の主要構造部の一般的な施工方法及び評価手法に係る一般的な基準案を提案する。

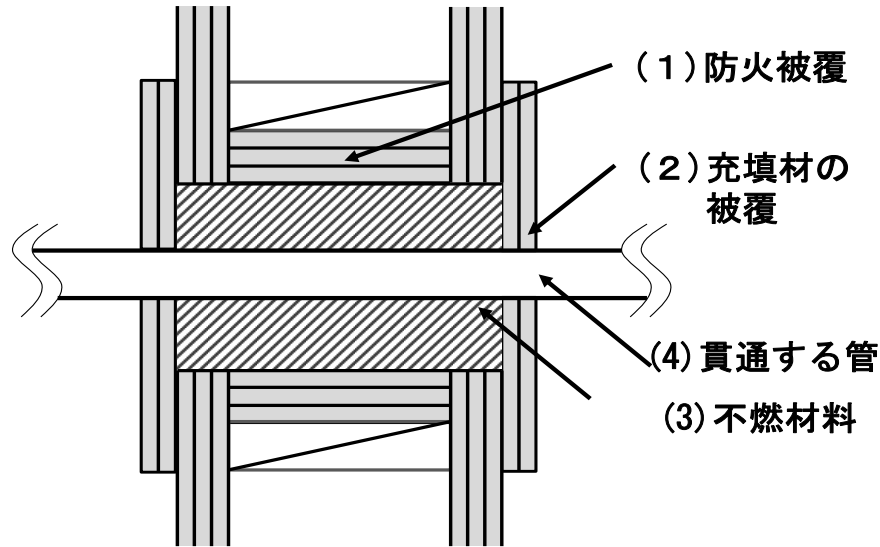
## 区画貫通部・風道の構造方法の検討

### 区画貫通部・風道の検討範囲

| 部位/管ダクトの種類 |          | あて板/充填材の種類                | 120分 | 150分 | 180分 |
|------------|----------|---------------------------|------|------|------|
| 壁・床        | 鋼管       | あて板：技術的助言を援用<br>充填材：不燃性材料 | —    | ○    |      |
|            | 耐火二層管    |                           | —    | ○    |      |
|            | 鋼製風道     |                           |      | ○    |      |
|            | 鋼製防火ダンパー |                           |      | ○    |      |

壁及び床の構造：木製下地とし、防火被覆は建築基準整備促進事業F17の成果を参考とする。

## 区画貫通部風道の構造方法



### 各被覆材料の役割

- (1) 被覆による躯体の保護
- (2) 充填剤及び管・風道への熱影響の軽減
- (3) 長時間遮炎性の確保

### 技術的助言における区画貫通部の措置方法の概要(鉛直断面図)

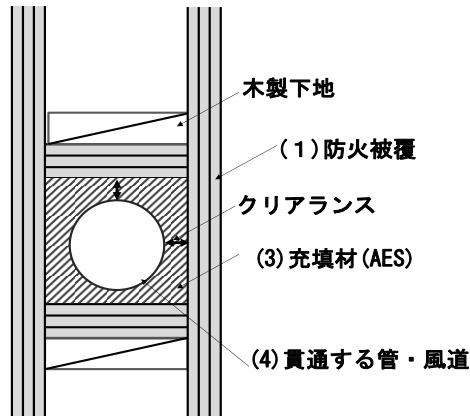
#### 耐火試験で用いた試験体の仕様

- (1) 総厚55mmの被覆(下張り：強化せっこうボード GB-F(V) 15mm、中張り：GB-F(V) 25mm、上張り：けい酸カルシウム板0.5TK 15mm)
- (2) あて板総厚27.5mm(下張りGB-F(V) 12.5mm、上張りけい酸カルシウム板0.5TK 15mm)
- (3) 充填材としてアルカリアースシリケート(以下、AES) (128kg/m<sup>3</sup>)

# 区画貫通部・風道試験体の概要

## 区画貫通部試験体の仕様一覧

| No. | 部位                           | 管               | クリアランス<br>mm | 1 防火被覆<br>2: あて板                                      | 充填<br>厚さ<br>mm | 充填材                                    |
|-----|------------------------------|-----------------|--------------|---|----------------|--|
| 1   | 床・壁<br>木造中空                  | 鋼管Φ200<br>厚さ1.5 | 20           | 1: GB-F(V)25+15, +0.5TK 15<br>2: GB-F(V)12.5 +0.5TK15 | 163            | AES<br>(128kg/ m3)<br>充填幅の寸法:<br>+10mm |
| 2   |                              |                 | 50           |   |                |  |
| 3   | 下地:<br>スギ、<br>45x45<br>合板4mm | 耐火二層管<br>φ 150  | 20           |   |                |  |
| 4   |                              |                 | 50           |   |                |  |



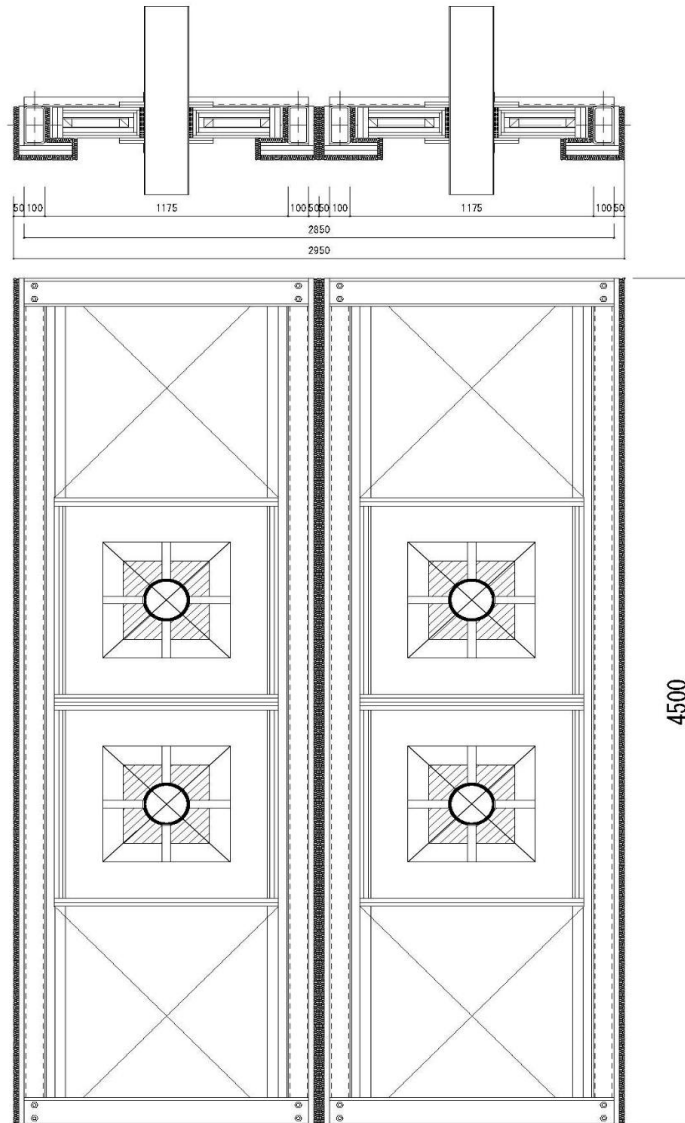
区画貫通部におけるクリアランス(水平断面図)

## 区画貫通部・風道試験体の概要 2

### 風道試験体の仕様一覧

| No. | 部位  | 管  | クリアランス<br>(mm)<br>ダンパーの<br>位置 | 1 防火被覆<br>2: あて板  | 充填<br>厚さmm | 充填材                                    |
|-----|---|--|-------------------------------|---|------------|--|
| 1   | 床・壁<br>木造中空<br><br>下地:<br>スギ、<br>45x45<br>合板4mm | 鋼製丸形<br>ダクトΦ350<br>厚さ1.5                 | 50                            | 1: GB-<br>F(V)25+15<br>+0.5TK 15<br>2: GB-F(V)12.5<br>+ 0.5TK15 | 163        | AES<br>(128kg/ m3)<br>充填幅の寸法:<br>+10mm |
| 2   |   |  | 100                           |   |            |  |
| 3   |   | 鋼製丸形<br>防火ダンパー<br>Φ350厚さ1.5<br>(壁貫通のみ実施) | 50/炉側                         |   |            |  |
| 4   |   |  | 50/非加熱側                       |   |            |  |
| 5   |   | 鋼製矩形ダクト<br>800x800厚さ1.5                  | 100                           |   |            |  |
| 6   |   | 鋼製矩形防火ダンパー<br>800x800厚さ1.5               | 100/炉側                        |   |            |  |
| 7   |   |  | 100/非加熱側                      |   |            |  |

## 加熱実験方法



耐火試験は、国立研究開発法人 建築研究所の壁炉、水平炉（図2-4）を使用し、JIS A 1304:2017 「建築構造部分の耐火試験方法」及びIS0834シリーズを参考に実施した。

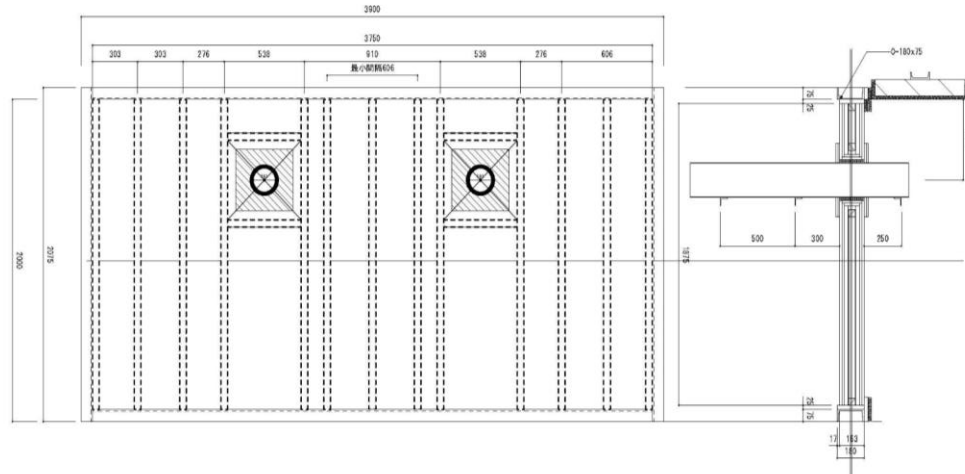
試験体を耐火炉に配置して、IS0834-1に規定される標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。150分準耐火性能を超える性能の確認と限界性能を把握するため、加熱時間は、216分(180分 $\times$ 1.2)以上とし、中空層の木材の燃焼状況を確認しながら、4時間の加熱を上限とした。

加熱実験時には、炉内温度、試験体各部の温度を測定するとともに、非加熱側の状況をインターバルカメラ及び熱映像により撮影した。

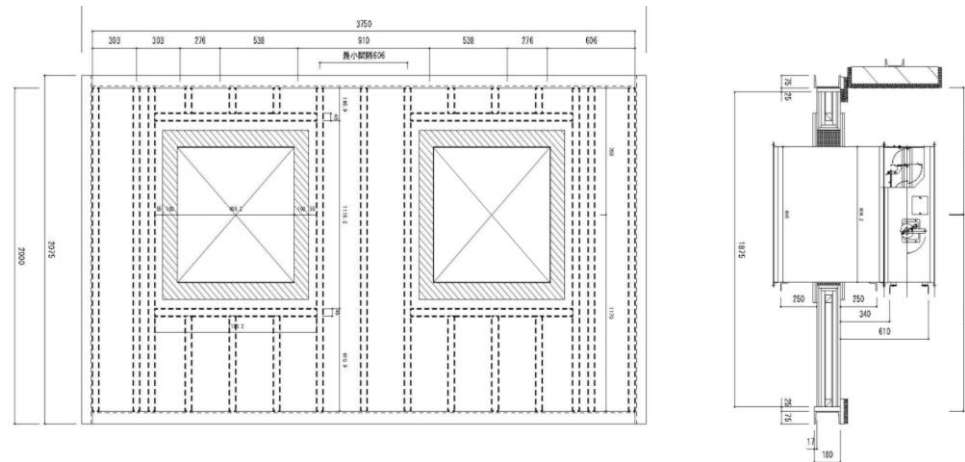
床試験体の水平炉の配置例



## 試験体の設置方法 2



壁試験体(小径風道・ダンパー)の水平炉への配置例



壁試験体(大径風道・ダンパー)の水平炉への配置例

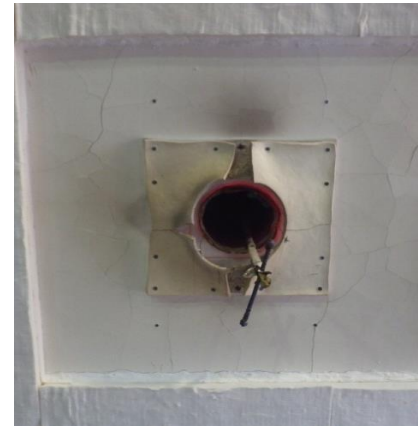
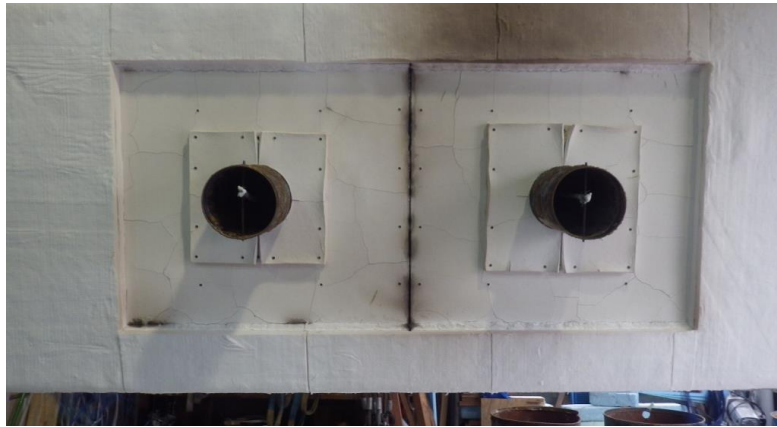
## 貫通部試験体の実験結果

- 全ての試験体において216分間(180分×1.2倍)の加熱でも遮炎性が失われることはなかった。鋼管を用いた壁貫通部試験体に関しては、240分間の加熱を行い、遮炎性能を失うことはなかった。
- 鋼管は、加熱時に管が膨張することで、充填材やあて板の隙間を塞ぐように作用する。そのため、密閉性が高まり高温ガスの噴出は発生しにくいことが確認された。
- 耐火二層管は、120分頃に加熱側の管が脱落した後、塩ビ管の閉塞と焼失を徐々に繰り返していき、非加熱側に入熱していく状況が管内部の温度上昇の経過よりわかる。しかしながら、非加熱側状況をみると、210分頃にあて板周囲に変色や煙が発生する程度で遮炎性が失われる兆候はなかった。
- あて板は、貫通部への高温ガスの熱侵入を抑制する効果が高いことが温度の推移よりわかる。床試験体では、壁試験体よりもあて板の保持力が失われやすい。また、耐火二層管では管の脱落により、あて板が両面から加熱を受けるため、熱劣化が促進し、脱落しやすくなる。あて板の下張りに用いた強化せっこうボードは、熱分解しており、加熱後にはあて板としての機能を喪失していた。けい酸カルシウム板のみを用いた方が、より耐火性能を向上できる。

## 貫通部試験体の実験結果 2

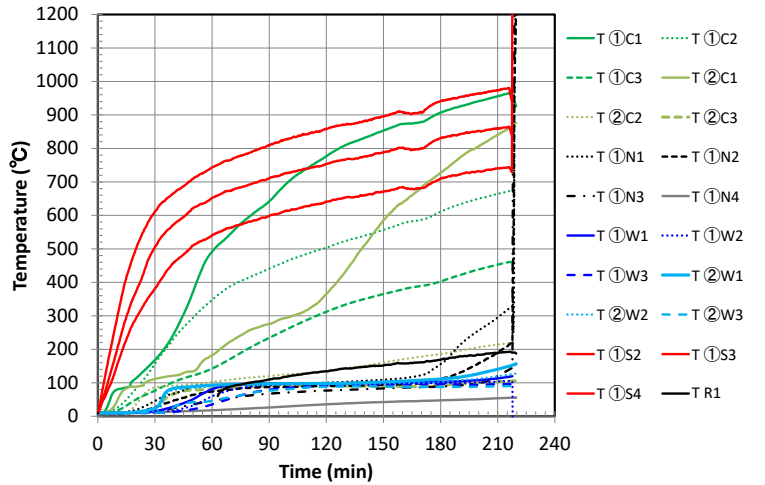


床貫通部試験体の状況 (No. 1~4、試験前)

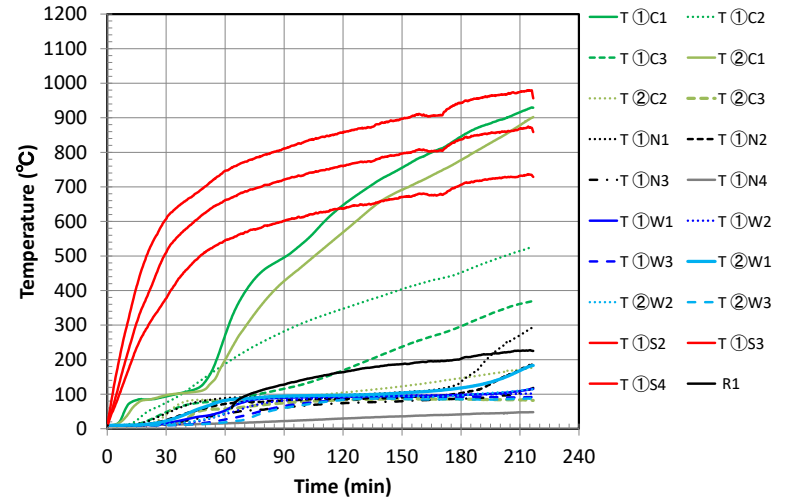


床貫通部試験体の状況 (No. 1~4、試験後・加熱側)  
あて板の一部が脱落

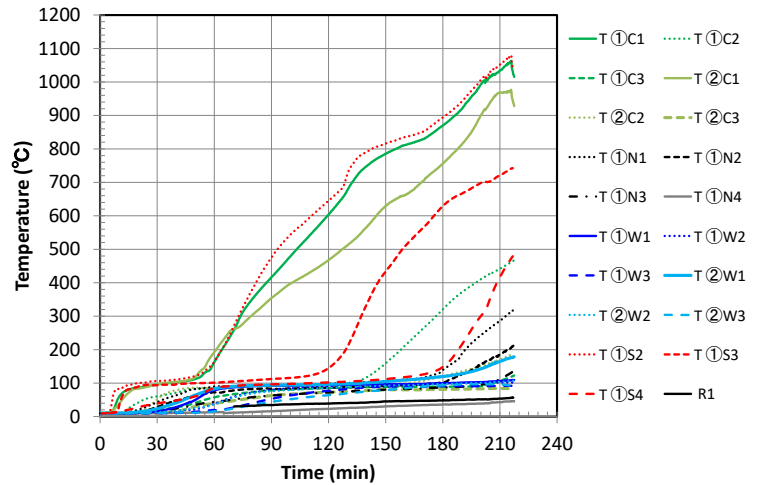
# 貫通部試験体の実験結果



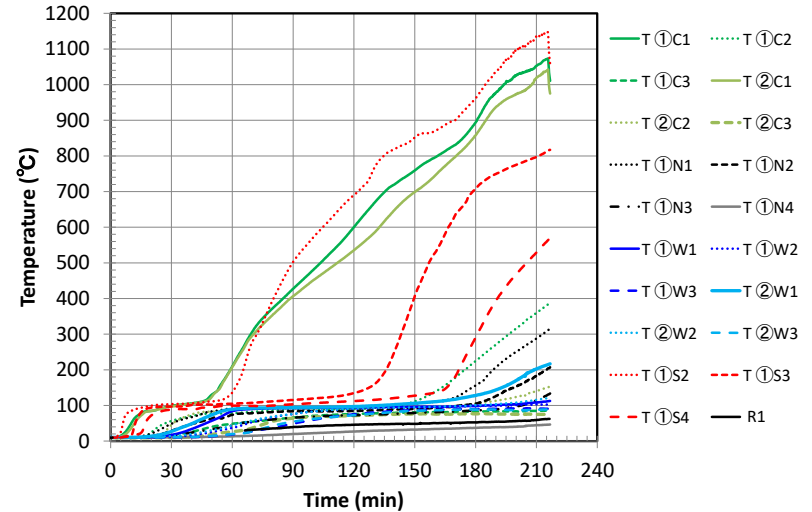
a) No.1 鋼管・クリアランス20mm



b) No. 2 鋼管・クリアランス50mm



a) No. 3 耐火二層管・クリアランス20mm



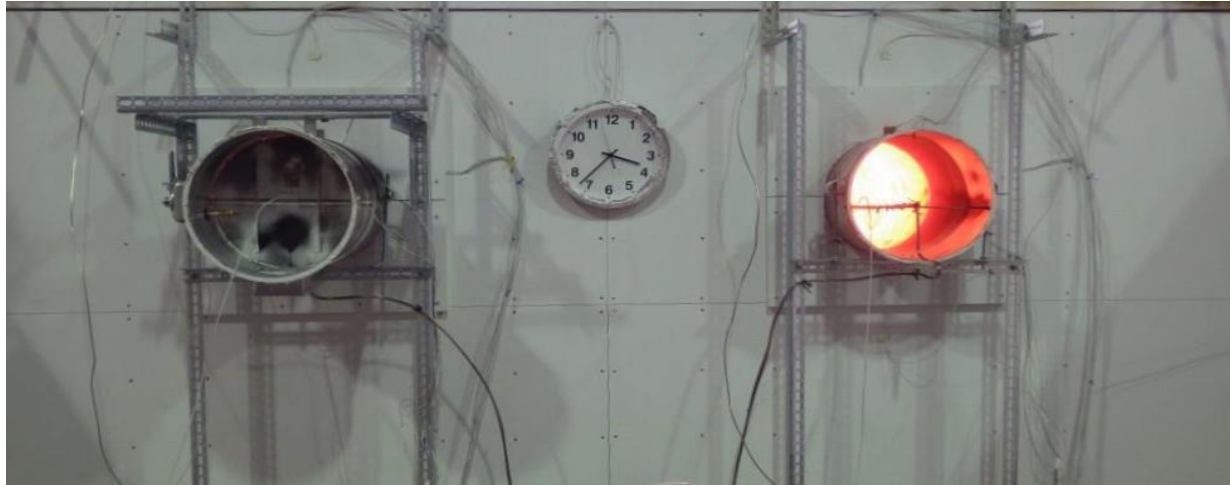
b) No. 4 耐火二層管・クリアランス50mm

## 風道・ダンパーの実験結果

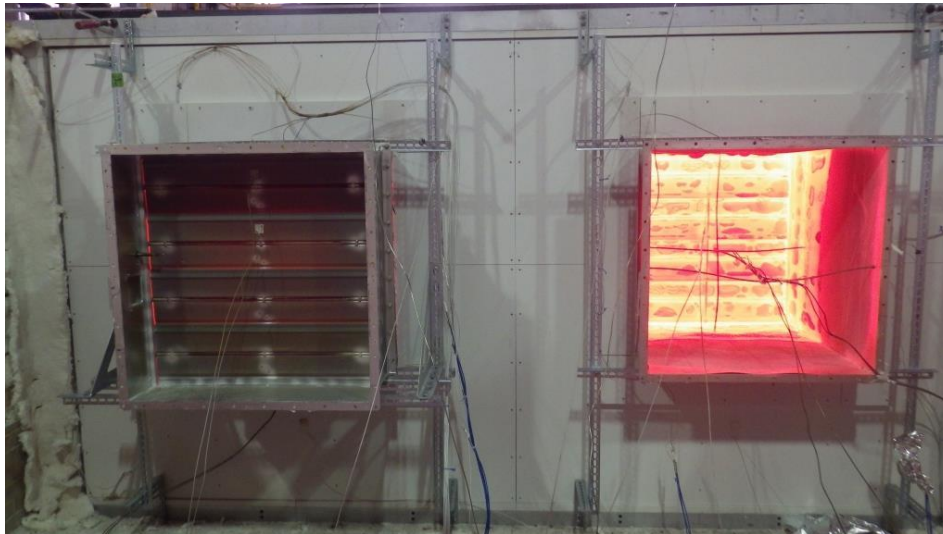
- 丸形風道・防火ダンパー試験体は、216分間(180分×1.2倍)の加熱でも遮炎性が失われることはなかった。これは加熱時の熱膨張により管が膨張することが要因である。
- 矩形風道・防火ダンパー試験体では、ダクトに元々たわみがあり、内側に8mm程度変形していた。さらに、熱膨張により各辺の鋼板が風道内部にたわんで変形した。当該部にはAESを充填していたが、20分頃から風道とあて板・充填材との隙間が拡大し、高温ガスが非加熱側に噴出する状況が確認された。40分程度になると、充填材が高温ガスで外れ、より漏気が大きくなった。炉内に貫通する隙間や炎の発生は確認してないが、延焼防止上は課題がある。
- 隙間の発生は、矩形形状において確認されたが、拘束条件によっては、丸形の鋼製管でも発生する可能性はある。隙間の発生を防止するには、風道・管自体に充填材を無機系接着剤で固定し、加熱時の熱変形に追従することが重要である。
- あて板は、風道・ダンパーにおいても貫通部への高温ガスの熱侵入を抑制する効果が高いことが温度の推移よりわかる。壁試験体においては、クリアランス100mm程度であっても、大きな変形は発生しておらず、十分に保持力を期待できるといえる。床試験体では、壁試験体よりもあて板の保持力が失われやすいが、十分な保持性能が確認された。



## 風道・ダンパーの実験結果 2



壁 防火ダンパー 実験実施状況 (加熱217分時点 No. 3, 4)



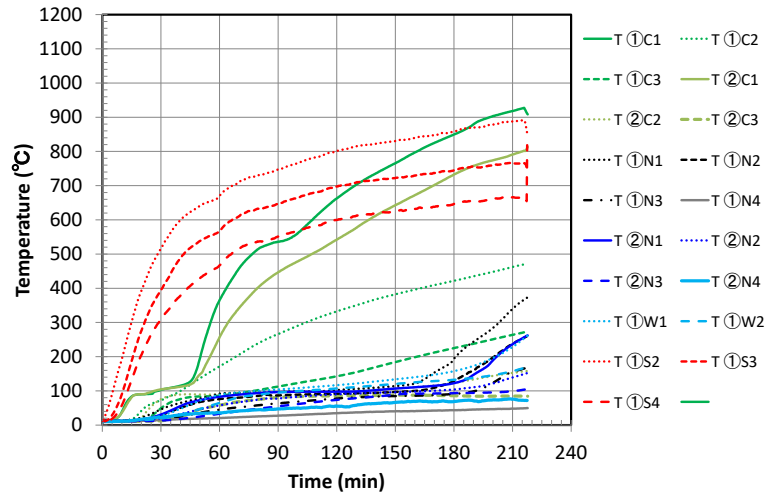
壁 防火ダンパー 実験実施状況 (加熱終了直後 No. 6, 7)

## 風道・ダンパーの実験結果 3

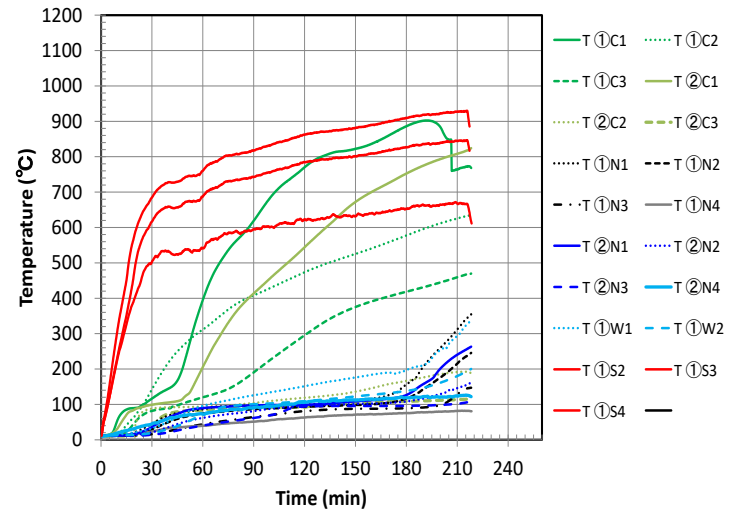


壁 防火ダンパー試験体の状況No. 6, 7、・内部)

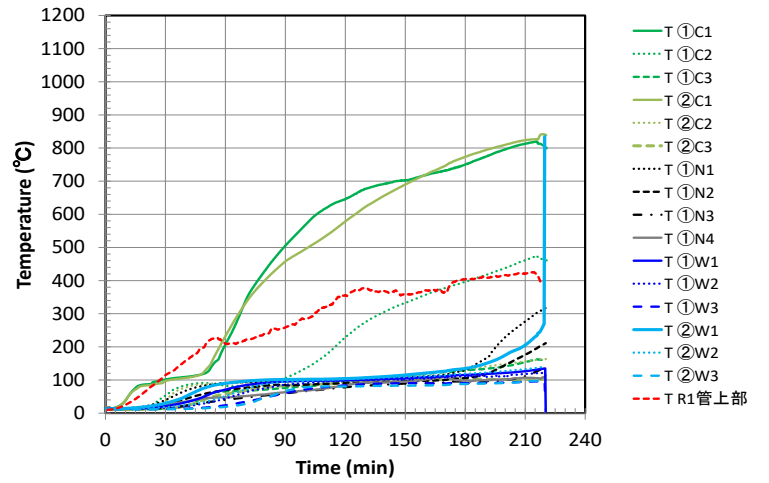
# 風道・ダンパーの実験結果 4



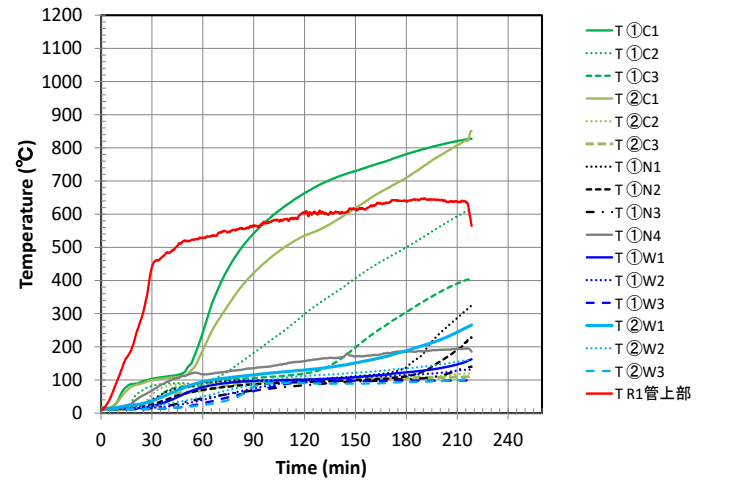
a) No. 3



b) No. 4



c) No. 6



d) No. 7

壁防火ダンパー試験体各部の温度



## まとめと今後の課題

### ・まとめ

一連の加熱実験により、180分間の遮炎性能を有する仕様と貫通部の施工性などを確認した。貫通部・風道及び防火ダンパーにあっては、次ページの仕様を180分間準耐火構造として性能を維持しており、告示仕様(案)として提案できる。

### ・今後の課題

区画貫通部等に関しては、施工上の留意点についての検討と、風道・ダンパー試験体では、吊りボルトの保持力については確認していないため、長時間加熱時の性能については、別途検討する必要がある

## 区画貫通部・風道の告示仕様（案）

| 部位/管ダクトの種類   |   | 貫通孔内の被覆<br>あて板/充填材の種類   | 準耐火<br>構造<br>180分間   |
|--|---|---|--|
| 床・壁<br>厚さ163mm以上<br><br>木製下地の防火<br>被覆の種類と厚<br>さ<br>強化せっこう<br>ボード総厚40mm<br>以上<br>けい酸カルシウ<br>ム板0.5TK15mm以<br>上<br>を両面張りとし<br>てる。 | 鋼管 φ200以下<br>厚さ 1.5mm以上                   | あて板：<br>①強化せっこうボード12.5mm以上に<br>けい酸カルシウム板0.5TK15mm以上を上張りしたもの<br>②けい酸カルシウム板0.5TKで総厚27.5mm以上<br>*あて板と貫通管、風道・ダンパー等との間は隙間無<br>く施工すること。やむを得ず2mmを超える隙間が生じ<br>た場合は、AESを隙間に充填し、不燃性の接着材で固<br>定すること。   | ○  |
|  | 耐火二層管<br>φ150以下                           |   | ○  |
|  | 丸形鋼製風道・<br>防火ダンパー<br>φ350以下<br>厚さ 1.5mm以上 | 貫通孔内の被覆：<br>壁と同じ防火被覆<br><br>充填材：AES(128kg/m <sup>3</sup> 以上)とし、充填材は、あて板が<br>無くとも脱落しないこと。<br>*不燃性接着材により、貫通する管、風道により接着<br>させることにより、十分な変形追従性を確保するこ<br>と。<br>充填材の圧縮率は、幅・厚さ方向ともに、10%以上確<br>保する。<br>貫通する管とのクリアランス：<br>20mm～100mm以下<br>*充填不良を防止するため、隙間は20mm以下としない。 | △<br><br>ダクトの熱<br>変形影響を<br>考慮した充<br>填材の施工<br>方法の標準<br>化が必要 |
| 矩形鋼製風道・<br>防火ダンパー<br>800×800以下<br>厚さ 1.5mm以上   |   |   |  |

## 燃えしろ設計法の合理化に関する検討

### 調査実施計画

- ・ 燃えしろ型部材に関しては、火災時・避難時倒壊防止構造における燃えしろ設計の合理化のため、
  - ①高温時における木材の力学的特性の把握のための材料試験
  - ②消火時を想定した加熱条件による小規模試験等により最小断面に関する基準の改善方針について検討する。

# 検討方針

## 1) 令和2年度・3年度の検討方針

- ・令和2年度は、材料試験、加熱条件を変更した小規模試験等により最小断面に関する基準の改善方針について検討する。
- ・令和3年度は、令和2年度の検討を引き続き実施するとともに、実大試験等により評価方法の構築に向けた検討を行う。

## 2) 令和2年度の実施内容

- ・令和2年度は、耐火試験、加熱試験等を実施し、加熱面の数等に応じた燃えしろ型部材の必要残存断面を把握する。断面厚さをパラメータとした、木質部材の加熱実験を行い、火災終了までの断面内温度の上昇特性を把握する。

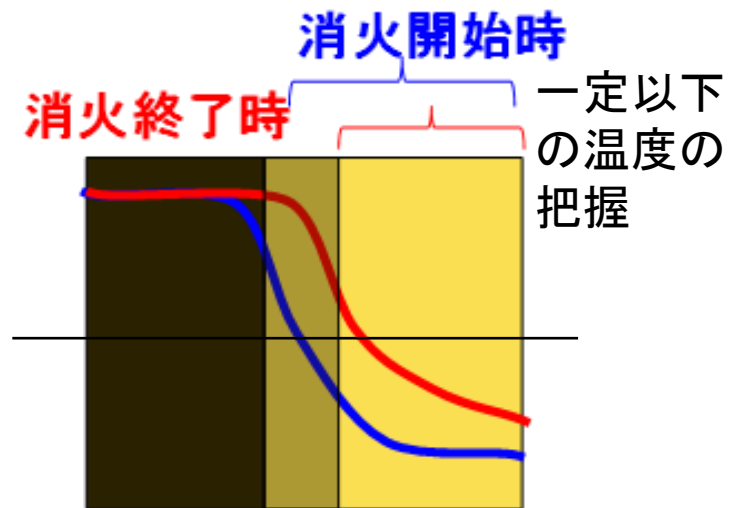
## 検討内容

- ・ 火災時倒壊防止構造等における木材の残存厚さの合理化に関する検討

### 火災時における木質部材の内部温度

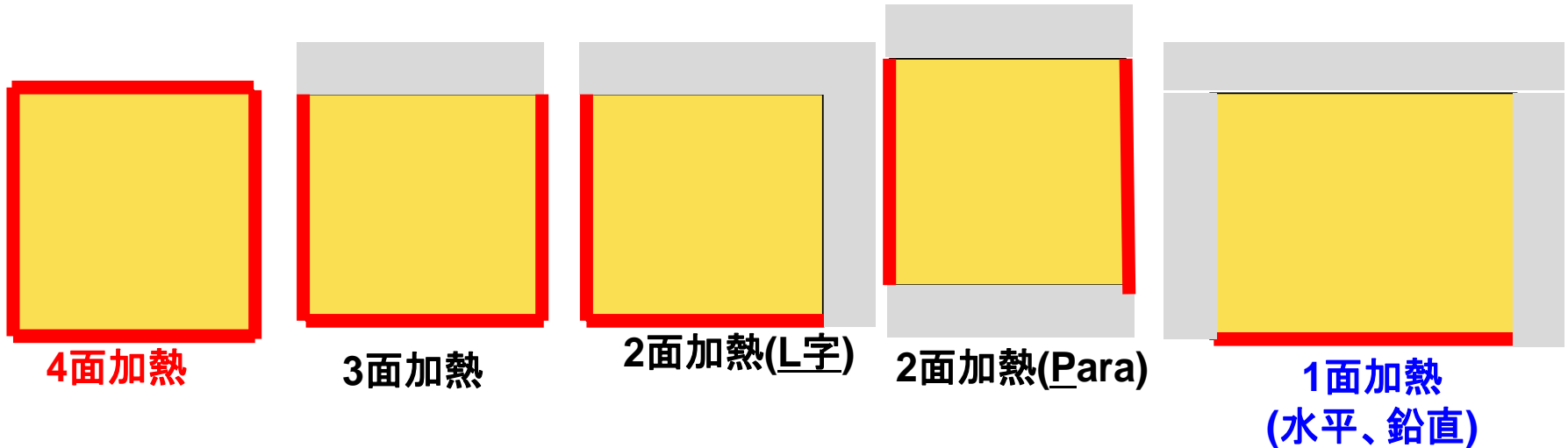
加熱条件として、75分間準耐火構造における燃えしる設計を対象として、消火相当時間(放冷120分)をみこんだ標準加熱後の消火時間に必要となる残存断面を把握する。

炭化深さは75分： $75\text{min} \times 0.75 \times 1.1$ となることを想定し、それと等価な炭化速度として、耐火性能検証法の検証式：**60.45分の標準火災+120分の消火時間**として設定した。



### 火災時内部温度、昇温のイメージ

## 部材の加熱条件



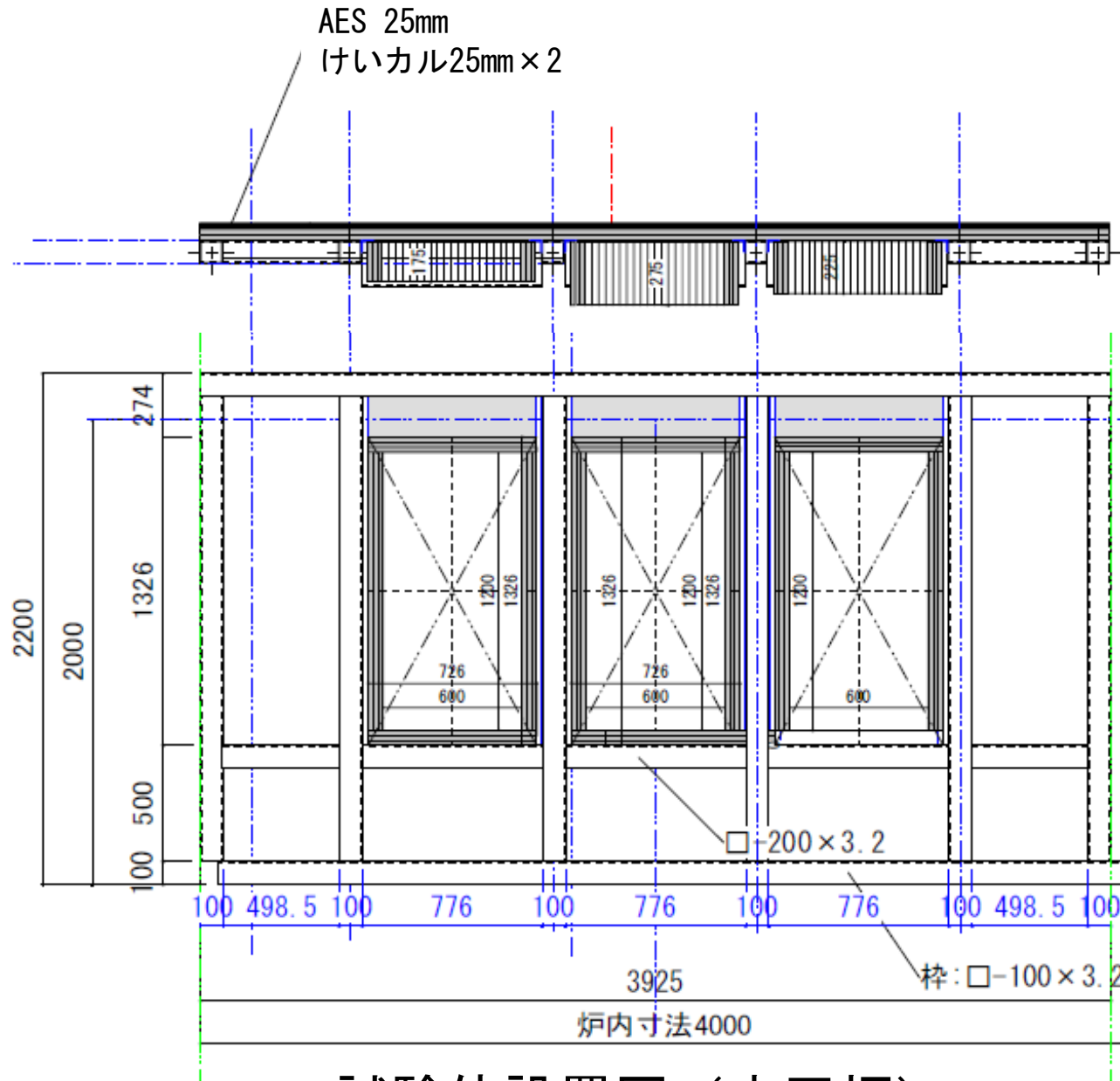
- ① 基も合理化の可能性が高い1面加熱から進める。
- ② 加熱終了後の冷却時の熱侵入深さを把握する。
- ③ 壁及び床を対象とする。
- ④ 試験体は、レゾルシノール樹脂接着剤を用いたスギ集成材パネルとする。

# 試験体条件（壁試験体）

| 番号 | 加熱面  | 加熱条件        | 裏面断熱<br>(後施工) | 寸法 (mm)   |     | 炭化深さ (mm) |    | 残存厚さ<br>(mm) |
|----|------|-------------|---------------|-----------|-----|-----------|----|--------------|
|    |      |             |               | 幅×長さ      | 厚さ  | 1面        | 1面 |              |
| 1  | 片面加熱 | 加熱61分放冷120分 | なし            | 1,200×600 | 125 | 75        | 0  | 50           |
| 2  | 片面加熱 | 加熱61分放冷120分 | あり            | 1,200×600 | 125 | 75        | 0  | 50           |
| 3  | 片面加熱 | 加熱61分放冷120分 | なし            | 1,200×600 | 175 | 75        | 0  | 100          |
| 4  | 片面加熱 | 加熱61分放冷120分 | あり            | 1,200×600 | 175 | 75        | 0  | 100          |
| 5  | 片面加熱 | 連続加熱        | なし            | 1,200×600 | 175 | 75        | 0  | 100          |
| 6  | 片面加熱 | 連続加熱        | あり            | 1,200×600 | 175 | 75        | 0  | 100          |
| 7  | 片面加熱 | 加熱61分放冷120分 | なし            | 1,200×600 | 225 | 75        | 0  | 150          |
| 8  | 片面加熱 | 加熱61分放冷120分 | あり            | 1,200×600 | 225 | 75        | 0  | 150          |
| 9  | 片面加熱 | 加熱61分放冷120分 | なし            | 1,200×600 | 275 | 75        | 0  | 200          |
| 10 | 片面加熱 | 加熱61分放冷120分 | あり            | 1,200×600 | 275 | 75        | 0  | 200          |
| 11 | 両面加熱 | 加熱61分放冷120分 | —             | 1,200×600 | 250 | 75        | 75 | 100          |
| 12 | 両面加熱 | 連続加熱        | —             | 1,200×600 | 250 | 75        | 75 | 100          |
| 13 | 両面加熱 | 加熱61分放冷120分 | —             | 1,200×600 | 300 | 75        | 75 | 150          |
| 14 | 両面加熱 | 連続加熱        | —             | 1,200×600 | 300 | 75        | 75 | 150          |
| 15 | 両面加熱 | 加熱61分放冷120分 | —             | 1,200×600 | 350 | 75        | 75 | 200          |
| 16 | 両面加熱 | 連続加熱        | —             | 1,200×600 | 350 | 75        | 75 | 200          |







上面図

立面図  
【非加熱面】

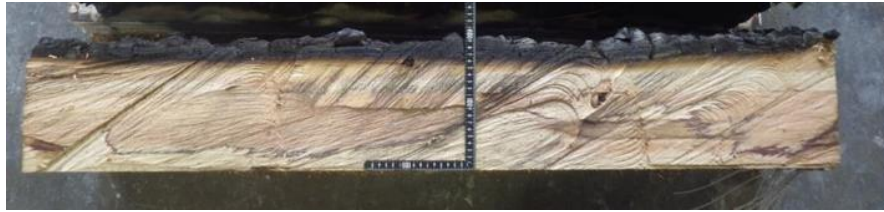
試験体設置図 (水平炉)



a) 厚さ175mm、大気開放



d) 厚さ175mm、裏面断熱



b) 厚さ225mm、大気開放



e) 厚さ225mm、裏面断熱

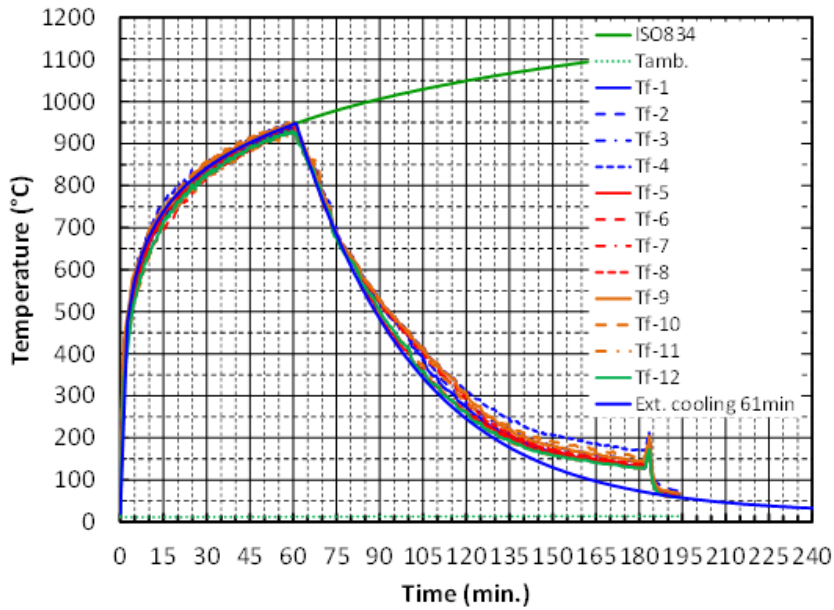


c) 厚さ275mm、大気開放

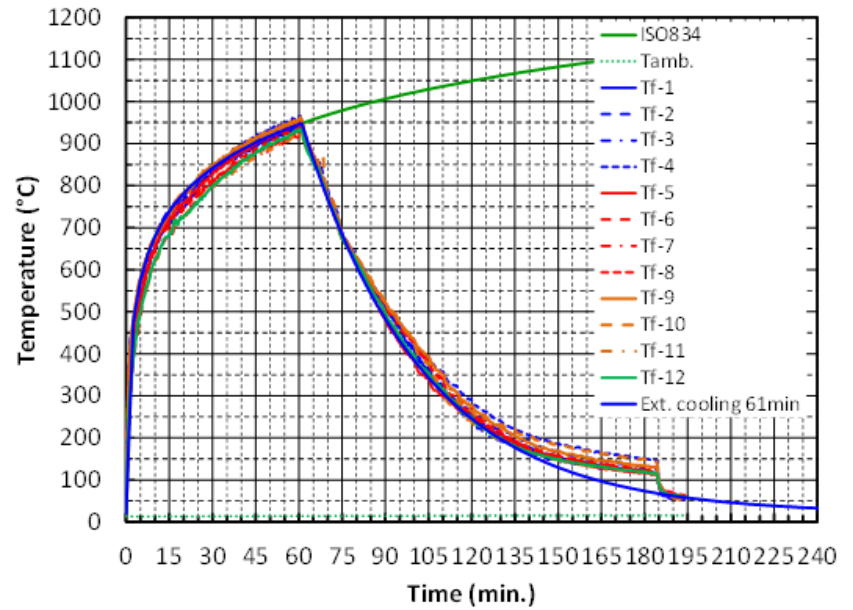


f) 厚さ275mm、裏面断熱

各厚さ、裏面断熱有り無し、試験体の炭化状況



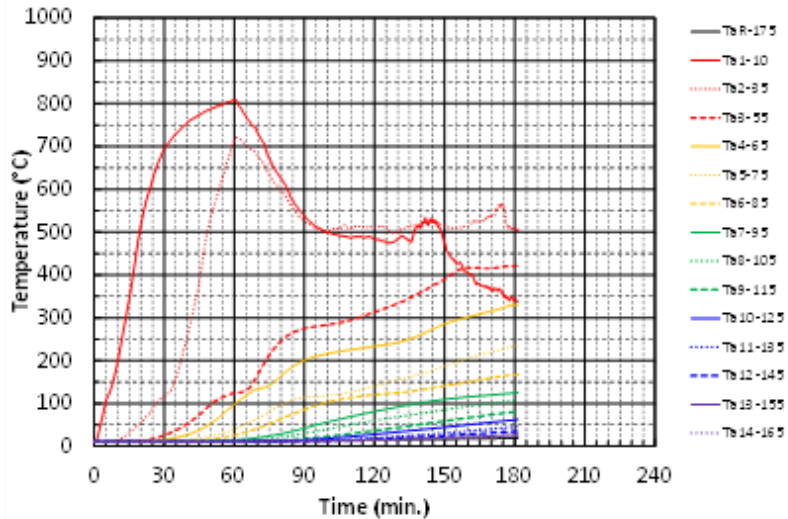
炉内温度の推移(大気開放)



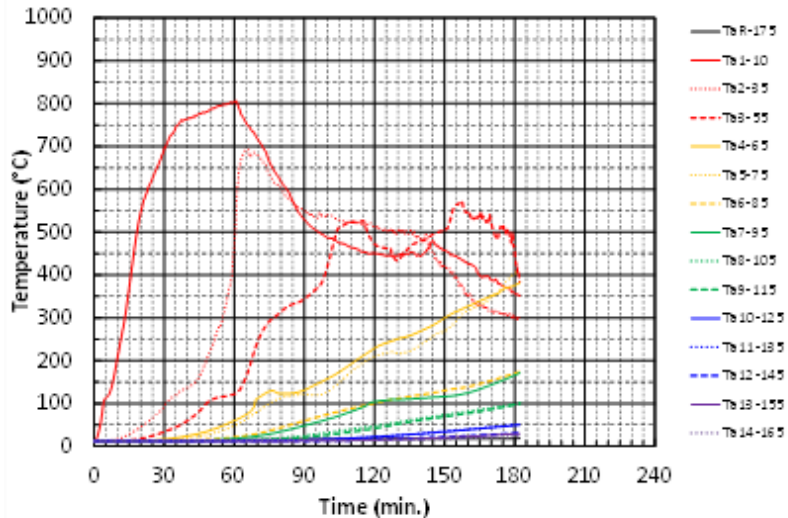
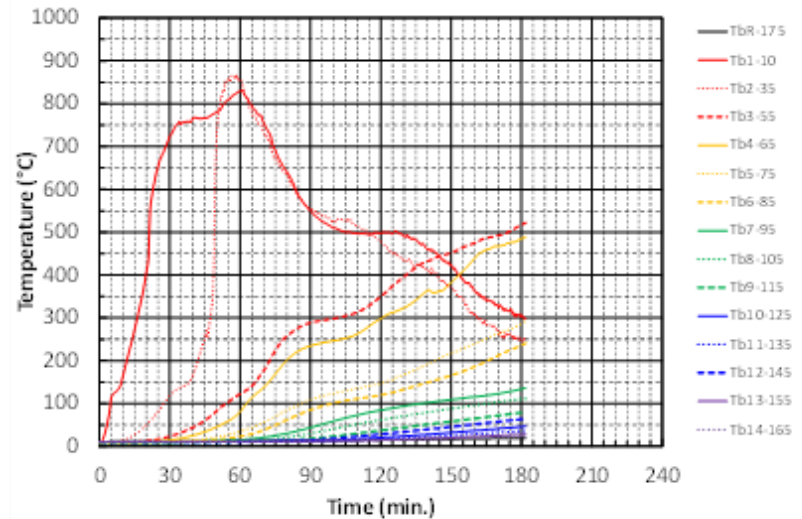
炉内温度の推移(裏面断熱)

## 炉内温度測定結果 (加熱終了後の温度低下推移)

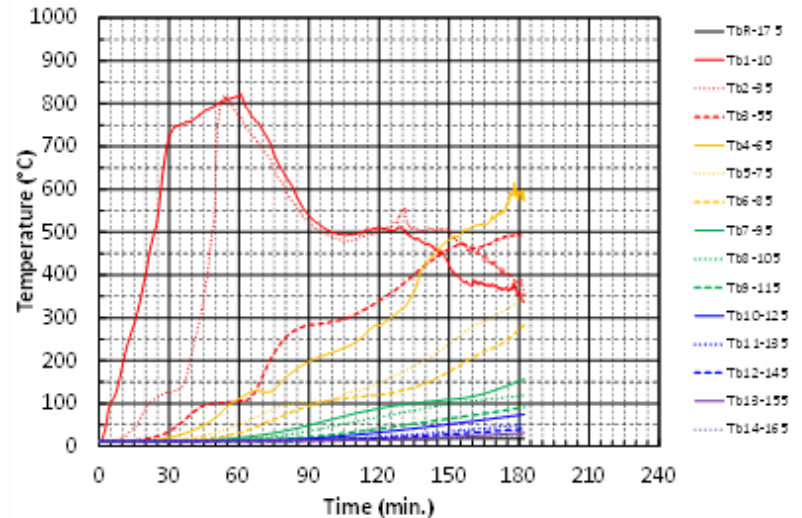
# 温度測定結果例（裏面開放・裏面断熱）



厚さ175mm パネル温度推移（裏面開放）



厚さ175mm パネル温度推移（裏面断熱）





# 火災時における木材の残存強度に関する検討

## ■ 素材試験

- 所定の温度・含水率条件下の圧縮強度、弾性係数を把握、定式化
- 実験パラメータ、条件等
  - 樹種：スギ(最優先)、カラマツ(第二優先)、(ヒノキ)
- 温度水準：20、50、95°C(含水考慮)  
105、150、200、230、250°C(含水非考慮)
- 含水率：5%以下(A群 ベースライン)、  
5~15%(B群 標準)  
15%超(C群)
- 試験体数：N20
- 含水非考慮 A群：温度8水準（スギは250°Cを除く。）
- 含水考慮 B, C群：温度3水準、 含水 2水準

## 素材試験、試験条件と試験体数

| 樹種 | 温度 (°C) | 試験体群 | 試験体数 | 樹種   | 温度 (°C) | 試験体群 | 試験体数 |
|----|---------|------|------|------|---------|------|------|
| スギ | 20      | A    | 20   | カラマツ | 20      | A    | 20   |
|    |         | B    | 20   |      |         | B    | 20   |
|    |         | C    | 20   |      |         | C    | 20   |
|    | 50      | A    | 20   |      | 50      | A    | 20   |
|    |         | B    | 20   |      |         | B    | 20   |
|    |         | C    | 20   |      |         | C    | 20   |
|    | 95      | A    | 20   |      | 95      | A    | 20   |
|    |         | B    | 20   |      |         | B    | 20   |
|    |         | C    | 20   |      |         | C    | 20   |
|    | 105     | A    | 20   |      | 105     | A    | 20   |
|    | 150     | A    | 20   |      | 150     | A    | 20   |
|    | 200     | A    | 20   |      | 200     | A    | 20   |
|    | 230     | A    | 20   |      | 230     | A    | 20   |
|    |         |      |      |      | 250     | A    | 20   |

- ・ 圧縮試験方法： JIS Z 2101 「木材の縦圧縮試験方法」 に準拠
- ・ 試験体寸法： 20×20× (40～80) mm
- ・ 最適な条件を選定するために**予備試験実施中**。

# 実験結果

## ・加熱試験体：実験結果概要

木材パネルは、脱炉後の確認時には、およそ70～75m程度炭化していた。耐火炉における放冷中には、ガスバーナーから空気を供給することで、放冷温度が低下するように調整したが、空気供給に伴い炉内の流速が高く、また気流の乱れが大きく木材の表面が激しく赤熱する状況が確認された。そのため、放水等を考慮した冷却よりも炭化深さが大きくなったと考えられる。

## ・素材試験

火災時における木材の残存強度に関する検討では、木構造材の含水率、温度変化および樹種による構造的特性の把握を目的とし、実大実験を行うための基礎的なデータ収集のための試験体選定や試験方法等を検討し、予備実験を行った。

# まとめと今後の課題

## ・まとめ

火災時倒壊防止構造等における木材の残存厚さの合理化に関する検討に関して、木質パネルの片面加熱実験を行い、部材内部温度の測定を行った。また、火災時における木材の残存強度に関する検討では、木構造材の含水率、温度変化および樹種による構造的特性の把握を目的とし、実大実験を行うための基礎的なデータ収集のための予備検討を行った。

## ・今後の課題

・木質パネルの加熱実験では、更に連続加熱や両面加熱部材等を含めて部材内部温度の上昇特性を取得し、消火過程を含む燃えしろ設計の評価手法の構築のための知見を取得する。また、火災時における木材の残存強度に関する検討に関しては、次年度も引き続き検討するための試験方法の整理および予備試験を行うことで本試験時に留意する事項について知見を得る。