

試験研究センター 耐火部 防耐火構造・材料試験室 兼 耐火構造試験室 小宮 祐人
 京都大学 工学研究科 原田 和典・仁井 大策

1. はじめに

内装材料の防火性の評価には、コーンカロリメータ試験¹⁾(以下、CCM試験)や側方火炎伝播試験(LIFT試験²⁾)などが用いられています。CCM試験で得られる着火時間や、LIFT試験で得られる燃え拡がり速度の結果の整理では、多くの場合裏面まで温度上昇せず半無限体近似が成り立つ「熱的厚壁」を仮定します。しかし、表面材の裏面温度が上昇すれば、熱伝導により裏打材の影響を受け、その影響について検討した例はごく限られています。

そこで本稿では、裏打材を物性値の差の大きなAESブラケットとコンクリート板の2種類とし、鉛直CCM試験による着火時間と、CCM装置を利用した燃え拡がり測定「縮小LIFT試験」による燃え拡がり速度および両試験における発熱速度を比較します。

2. 実験方法

2.1 鉛直CCM試験

鉛直CCM試験の概要を図-1に示します。CCM試験は、99mm四方の試験体を円錐形の伝熱ヒーターで加熱し、着火時間や発熱速度を測定する試験方法です。試験体は水平に設置されることが多いですが、縮小LIFT試験は壁面での燃え拡がりを対象としているので、CCM試験も鉛直設置として表面に生じる気流の向きを壁と合わせました。装置レイアウトや口火位置などはISO 5660-1¹⁾のAnnex Eに従いました。加熱強度は、

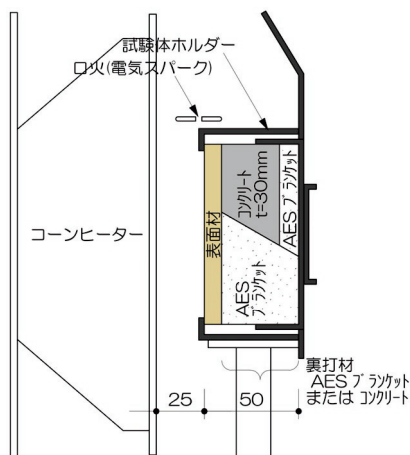


図-1 鉛直CCM試験の概要

50kW/m²を上限とし、着火限界付近まで種々の加熱強度を設定して繰り返し測定しました。着火限界付近では、着火する最小の加熱強度と着火しない最大の加熱強度の差が1kW/m²以下になるまで繰り返し測定を行い、着火限界熱流束はこれらの平均から求めました。

2.2 縮小LIFT試験

試験装置を図-2に示します。試験体左端から50mmの位置がヒーターの中心となるように配置し、左端から10mmの位置に口火のメッセルバーナーを設置しました。ヒーター温度はヒーター正面の加熱強度がおおよそ30kW/m²となるように設定しました。加熱強度の分布を図-3に示します。測定項目は、火炎到達時間および発熱速度としました。火炎到達時間は、試験体および試験体ホルダーに25mm間隔で描いた目盛を基準とし、試験体中心線上で記録しました。また、燃え拡がり最小熱流束を燃え拡がりが停止した位置の加熱強度から求めました。口火の発熱速度は0.27kW/m²であり、発熱速度の測定結果から差し引きました。

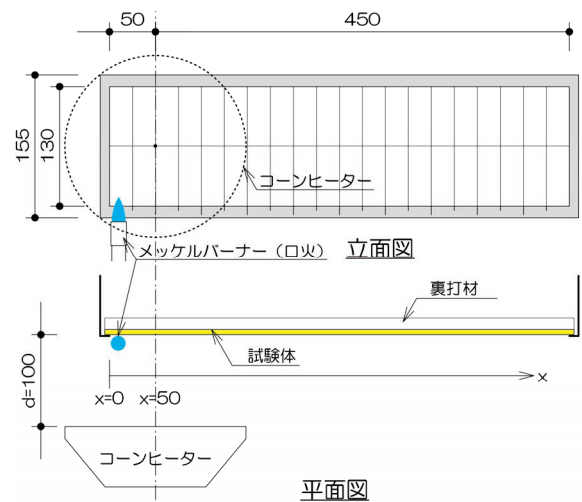


図-2 縮小LIFT試験装置(寸法単位:mm)

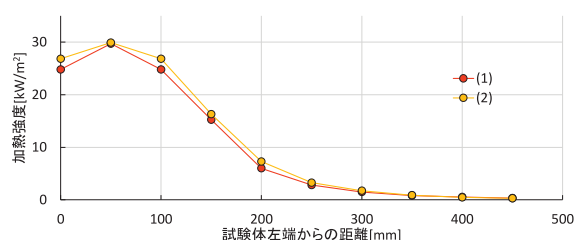


図-3 加熱強度の分布

2.3 裏打材

裏打材は熱慣性の小さなAESブランケット (64kg/m³, 厚さは表面材と合わせて50mm) と熱慣性の大きなコンクリート板 (30mm, 1704kg/m³) としました。コンクリート板は水分の影響を排除するため、105℃で予め乾燥させました。鉛直CCM試験では、図-1に示すように試験体ホルダーの内寸が深さ50mmなので、コンクリート板を用いる際も厚さ調整のため裏面にAESブランケットを設けました。

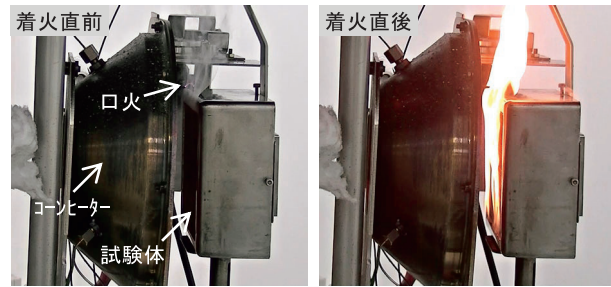


写真-1 鉛直CCM試験の実施状況

3. 表面材

表面材はラワン合板としました。厚さは5.5, 9mm (以下、それぞれPW5.5, PW9) としました。鉛直CCM試験の表面材の物性値を表-1に、縮小LIFT試験の表面材の物性値と実験条件を表-2に示します。含水率は高周波容量式含水率計により測定しました。

表-1 鉛直CCM試験の試験体の物性値

| 記号 | 密度 (kg/m ³) | 含水率 (%) |
|-------|-------------------------|----------|
| PW5.5 | 447~506 | 5.6~7.6 |
| PW9 | 525~566 | 8.8~12.1 |

表-2 縮小LIFT試験の試験体の物性値と実験条件

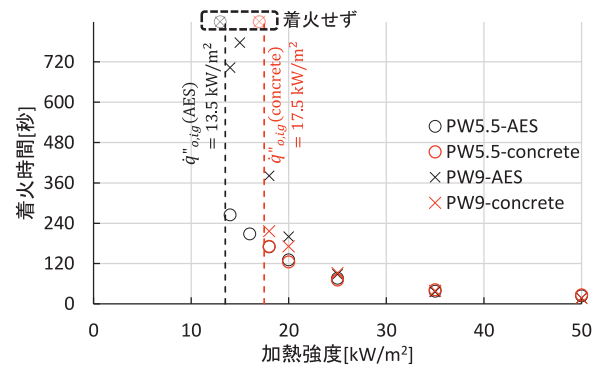
| 記号 | No | 加熱強度 | 裏打材 | 密度 (kg/m ³) | 含水率 (%) |
|-------|----|------|-----------|-------------------------|---------|
| PW5.5 | 1 | (1) | AESブランケット | 596 | 7.0 |
| | 2 | (2) | コンクリート板 | 511 | 7.6 |
| | 3 | (2) | コンクリート板 | 616 | 9.3 |
| PW9 | 1 | (2) | AESブランケット | 530 | 9.9 |
| | 2 | (2) | コンクリート板 | 564 | 11.1 |

4. 実験結果

4.1 鉛直CCM試験

・着火時間と着火限界熱流束

鉛直CCM試験の実施状況を写真-1に、加熱強度と着火時間の関係を図-4に示します。PW5.5は着火した加熱強度においては裏打材によらず着火時間はほぼ一致しました。PW9は加熱強度20kW/m²以上では裏打材によらず着火時間はほぼ一致し、20kW/m²以下では裏打材がAESブランケットの場合のほうが着火時間が長くなりました。裏打材をコンクリート板としたほうが温度上昇が抑制され、着火時間が長くなると予想されましたが、予想に反する結果でした。着火限界熱流束は、PW5.5とPW9いずれも裏打材がAESブランケットの場合13.5kW/m²、裏打材がコンクリート板の場合17.5kW/m²となり、裏打材がコンクリート板のほうが大きくなりました。加熱強度が小さく長時間加熱される条件では、コンクリート板への吸熱により温度上昇が抑制され、可燃ガスの発生量が少なくなり着火に至らなかったと考えられます。



※ $\dot{q}''_{o,ig}$: 着火限界熱流束

図-4 加熱強度と着火時間の関係

・発熱速度

加熱強度18, 25, 50kW/m²について、発熱速度の推移を図-5 (PW5.5) と図-6 (PW9) に示します。着火直後の発熱速度の増大から第1ピーク発現までの推移は裏打材によらず近い結果となっています。第1ピーク発現後、裏打材がAESブランケットの場合は再度増大し第2ピークが発現していますが、これは裏面の燃焼に起因すると考えられます。裏打材がコンクリート板の場合、第1ピーク発現後は増大することなく発熱速度は減少しました。PW5.5の加熱強度18kW/m²について、試験

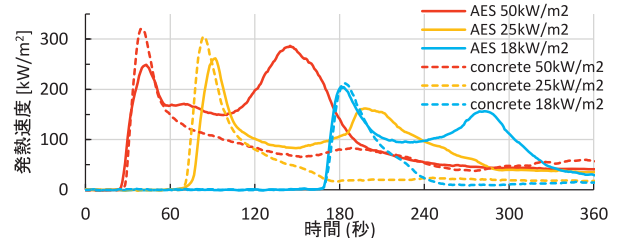


図-5 発熱速度の推移 (鉛直CCM試験・PW5.5)

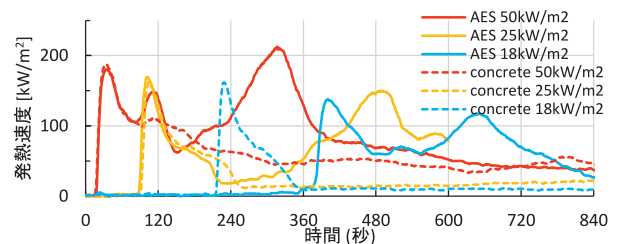


図-6 発熱速度の推移 (鉛直CCM試験・PW9)

後の試験体裏面の状況を写真-2に示します。裏打材がAESブランケットの場合は裏面まで燃焼しているのに対し、コンクリート板の場合はわずかに変色している程度であり、吸熱により裏面の燃焼が抑制されていることがわかります。

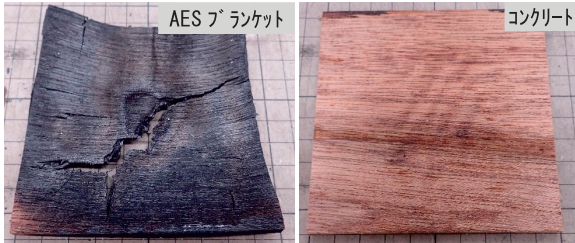


写真-2 試験後の試験体裏面の状況 (PW5.5, 18kW/m²)

4.2 縮小LIFT試験

・火炎到達時間・燃え拡がり最小熱流束

縮小LIFT試験の実施状況を写真-3に、各観測点への火炎到達時間を図-7に示します。火炎到達時間および燃え拡がり速度には裏打材に起因する明確な差は認められませんでした。燃え拡がり最小熱流束は、PW5.5では6.1~6.9kW/m²と大きな差はなく、PW9ではNo.1(裏打材: AESブランケット)で10.9kW/m²、No.2(裏打材: コンクリート)で8.2kW/m²とコンクリートの場合のほうが小さくなりました。コンクリートを下地にしたほうが燃え拡がり最小熱流束は大きくなると予想されましたが、その逆の傾向でした。



写真-3 縮小LIFT試験の実施状況

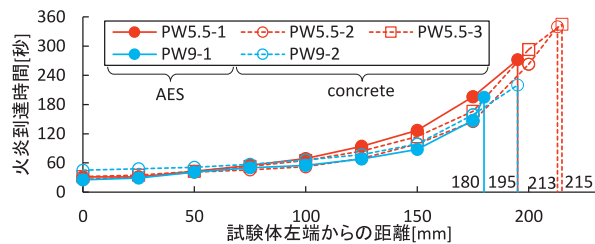


図-7 火炎到達時間

・発熱速度

発熱速度の推移を図-8に示します。鉛直CCM試験と同様、着火直後の発熱速度の推移は裏打材によらず同様

でした。その後は、裏打材がAESブランケットの場合、PW5.5では着火後およそ3分、PW9では着火後およそ6分でピークが発現しているのに対し、コンクリート板の場合はほぼ単調に減少しました。コンクリート板への吸熱により裏面側の燃焼が抑制されたためと考えられます。

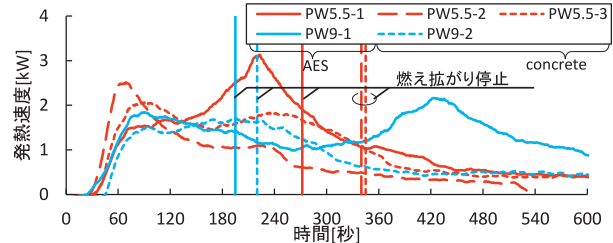


図-8 発熱速度の推移 (縮小LIFT試験)

5. まとめ

ラワン合板を対象に厚さと裏打材 (AESブランケットおよびコンクリート板) を変えて鉛直CCM試験および縮小LIFT試験を行い、以下の知見が得られました。

- ・着火する加熱強度において、着火時間には裏打材に起因する明確な差は認められませんでした。
- ・着火限界熱流束は、裏打材がAESブランケットの場合よりもコンクリート板の場合のほうが大きくなりました。
- ・燃え拡がり速度には裏打材に起因する明確な差は認められませんでした。
- ・発熱速度と試験後の試験体の状態から、裏打材がコンクリート板のほうがAESブランケットよりも裏面の燃焼が抑制されることが示されました。

【付記】

本稿は、2022年度火災学会研究発表会の梗概³⁾を再構成したものです。

【参考文献】

- 1) ISO 5660-1 Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)
- 2) American Society for Testing Materials, ASTM E 1321 Standard test method for determining material ignition and flame spread properties, 2002
- 3) 小宮祐人ほか, 裏打材が表面材の燃焼性状に及ぼす影響, 日本火災学会研究発表会梗概集, pp. 101-102, 2022