

京都大学	博士 (工学)	氏名	池 正熏
論文題目	周壁の影響を考慮した可燃物の燃焼性状と火炎伝播速度に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、壁際または隅角部に置かれたポリウレタンフォームブロックの燃焼実験を行って壁と可燃物の位置関係による燃焼性状の変化を調べ、壁際および隅角部における燃焼が自由空間より激しくなることを実験的に明らかにし、その要因を分析するため、火炎の形状、燃焼面の性状、放射熱などを定量化したものである。</p> <p>第1章は序論であり、この分野における研究の現況を概説し、本論文の目的を述べている。</p> <p>第2章では、壁際、隅角部でのポリウレタンフォームブロック(500×500×500mm)の燃焼実験を行って、自由空間での燃焼性状と比較した。発熱速度、火炎からの放射熱、火炎傾斜角等を測定して、燃焼面の等時線図を作成して燃焼面積、単位面積当たりの発熱速度、火炎伝播速度等を求めた。</p> <p>発熱速度については、壁際と隅角部では壁の効果によって自由空間よりも燃焼が激しくなることを示した。発熱速度の最大値と離隔距離との関係では、壁際では離隔距離 0.05 m、隅角部では離隔距離 0.1 m でピーク値になり、離隔距離が約 0.5 m になるとほぼ壁の効果は消滅した。</p> <p>放射熱流束に関しては、火源から水平に 1 m の距離への入射熱流束の最大値は 11 kW/m² になり、自由空間での燃焼による同位置での熱流束よりも約 2 倍に増加した。</p> <p>燃焼面の等時線図を作成して燃焼挙動を調べたところ、壁際では壁と向き合う鉛直面の燃え下がり速度は離隔距離 0.05m の場合に最も大きくなった。離隔距離 0.075～0.1 m ではほぼ一定で、これ以上では次第に遅くなった。壁と向き合う面以外の鉛直面では離隔距離が 0.05 m の時に燃え下がり速度が最も大きく、0.15 m 以上では離隔距離が増えるに従って次第に速度が小さくなった。隅角部の場合、壁と向き合う鉛直面での燃え下がり速度は離隔距離 0.1m で最も大きく、0.3 m 以上で離隔距離が増えるに従って次第に速度が小さくなった。それ以外の鉛直面では、燃え下がり速度は離隔距離 0.1 m で最も大きく、0.15 m 以上で減少し 0.2 m 以上ではほぼ一定値になった。</p> <p>燃え拡がり面積と燃え尽き面積の差から燃焼面積の時間変化を求め、同じ時刻での発熱速度を燃焼面積で割って単位面積当たりの発熱速度を求めた。鉛直面のうち、壁からの放射熱を受ける部分での単位面積当たりの発熱速度は、離隔距離が 0.15 m では、壁際で自由空間の約 2 倍、隅角部で約 4 倍になった。</p> <p>上面での水平火炎伝播速度、鉛直面での下方および側方火炎伝播速度では、壁からの熱流束を受ける部分と受けない部分の差が明確に生じた。壁からの熱流束を受ける部分の水平火炎伝播速度は 4.5 mm/s になった。下方火炎伝播速度は、壁際では約 3.8 mm/s、隅角部の場合は 4.5 mm/s になった。側方火炎伝播速度は、壁際で 1 mm/s、隅角部で 1.2 mm/s になった。それ以外の部分では、水平火炎伝播速度は 3 mm/s、下方火炎伝播速度は 2 mm/s、側方火炎伝播速度は 0.3 mm/s になった。</p> <p>壁際の実験では、火炎傾斜角と壁への接触率を調べた。離隔距離 0.01～0.2m では離隔距離が増加するほど火炎傾斜角も増加した。接触率は、火炎と壁表面との付着効果</p>			

によって、火炎の無次元水平投影距離（火炎の水平投影距離／離隔距離）が 1 のとき、約 0.8 になった。

第 3 章では、プルームへの流入気流の運動量流束を積分して求めた慣性力と、浮力との比から火炎傾射角をモデル化した。このとき、壁の影響を受ける限界距離を半径とする円筒を仮定して、円筒側面から流入する気流の慣性力を考慮した。また、火炎が傾斜して壁に衝突する場合には、衝突点で上方に折れ曲がるとして幾何的に火炎形状を想定して傾斜角を計算した。

このモデルと第 2 章の実験値とを比較して、壁の影響を受ける限界距離を火源直径の 0.9 倍とした。その結果、火炎が壁に衝突しない場合、ちょうど衝突する場合、衝突して折れ曲がる場合の状況を考慮して離隔距離に応じて火炎傾射角の変化を予測することが可能となった。予測結果は、既往の火炎傾射角モデルを壁際の条件に拡張したものよりも大幅に改善された。

第 4 章では、壁際での火炎からの放射熱と壁表面からの放射熱を合算して、第 2 章の壁際の燃焼実験で測定した入射熱流束との比較を行った。火炎からの放射熱は、直接放射と、壁表面で反射および射出された間接放射に分けてそれぞれ計算した。そのうち、壁表面からの間接放射は火炎に正対する壁表面からの反射および射出と、その周辺の壁表面からの射出を考慮した。火炎に正対する壁表面からの反射および射出は、表面での定常状態を仮定して与えた。また、周辺の壁表面からの射出は、第 2 章で測定した壁表面の温度分布から、各等温線に対応する形態係数を設定して計算した。以上の方法により、実験値の $\pm 10\%$ の範囲で予測計算が可能となった。

第 5 章では、 $500 \times 500 \times 50 \text{mm}$ のポリウレタンフォーム平板を用いて、水平面中央着火、鉛直面上端着火、鉛直面下端着火の 3 種類の実験を行った。その結果、燃え拡がり速度は、水平面と鉛直面側方は等しく、鉛直面下方はその $2/3$ であることを示した。単位面積当たりの発熱速度は、水平面、鉛直面で上端着火、鉛直面で下端着火の場合とでその差は比較的小さいことを示した。

第 6 章では、外部放射を受けるポリウレタンフォームの火炎伝播速度と発熱速度を同時に測定した。既往の縮小 LIFT 試験よりも長い試験体（高さ 215mm × 長さ 500mm × 厚さ 50mm ）を用いて、加熱強度を着火限界熱流束よりも少し大きくして、実験を行った。その結果、種々の加熱強度で定常状態まで予熱してから点火する実験を数回に分けて実施すれば、実大 LIFT 装置と同等のデータを取得できることを示した。このことを利用して火炎伝播パラメータを求めた。また、発熱速度の最大値は加熱強度が着火限界に近くなると大きくなる傾向が見られた。単位面積当たりの発熱速度は、コーンカロリメータでの測定値とおおむね一致し、火炎伝播速度と発熱速度の同時測定が可能であることを示した。

第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

氏名

池 正熏

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、壁際または隅角部に置かれたポリウレタンフォームブロックの燃焼実験を行って壁と可燃物の位置関係による燃焼性状の変化を調べ、壁際および隅角部における燃焼が自由空間より激しくなることを実験的に明らかにし、その要因を分析するため、火炎の形状、燃焼面の性状、放射熱などを定量化したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 壁際および隅角部でのポリウレタンフォームの燃焼実験を行ない、可燃物の燃焼挙動に及ぼす周壁の効果を定量化した。壁際および隅角部での燃焼は、周囲に障害物がない自由空間に比べて激しくなると定性的には言われてきた。当該論文においては、壁との離隔距離が適度な値の時に発熱速度が最大になり離隔距離が火源直径ほどで壁の影響が小さくなること、壁に対向する鉛直面の燃え下がり速度は自由空間の2倍から4倍になること等の知見を定量的に示すことができた。

2. 壁際の火源から生じる火炎が壁に付着する性状を慣性力と浮力の釣り合いからモデル化し、実験と比較してモデルに登場するパラメータを決定した。これにより、従来は計算が難しかった火炎傾斜角を簡易な計算で求められるようになった。この結果を用いて、火炎の接触率の予測も可能としており、内装材料に沿った燃え広がり予測等の分野への応用が期待される。

3. 火炎からの放射熱に関しては、壁の影響を簡易に考慮するモデルを提案し、実験値と比較してその精度を確かめている。これにより、火炎からの放射熱の計算方法が合理化され、避難者および構造体への熱暴露量の予測精度とその制御技術が向上することが期待できる。

4. ポリウレタンフォーム平板の燃焼実験より、面の向きによる燃え広がり速度の関係や、外部放射の影響を調べた。これは、可燃物の燃焼拡大シミュレーションに用いることができる知見であり、建築物の火災安全設計技術の向上に資するものである。縮小LIFT試験では、種々の加熱強度で数回の実験を行えば、実大LIFT装置と同等のデータを取得できることを示し、燃焼拡大シミュレーションに用いるパラメータの実用的な測定方法を提案した。

以上のように、本論文は、建築空間における火災に大きな割合を占めるポリウレタンフォームの燃焼性状とそれに関連する火災物理現象を、壁際および隅角部において定量化したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年8月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日：平成29年9月25日以降