

建築研究報告

REPORT OF THE BUILDING RESEARCH INSTITUTE

No. 149

February 2021

.....

内装材の燃焼拡大を含めた
多層ゾーン建物内煙流動予測モデル

A multi-layer zone smoke transport model
including fire growth on combustible linings

西野 智研、鍵屋 浩司

Tomoaki NISHINO, Koji KAGIYA

.....

国立研究開発法人 建築研究所

Published by

Building Research Institute

National Research and Development Agency, Japan

国立研究開発法人建築研究所、関係機関及び著者は、読者の皆様が本資料の内容を利用することで生じたいかなる損害に対しても、一切の責任を負うものではありません。

はしがき

建築基準法に性能規定が導入され20年が経過した。その間、性能設計が浸透して建築物に新たな空間や機能が実現されてきた。

また、公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律が施行され、近年の木造耐火技術の整備を背景に、公共建築物をはじめとして木造建築物の更なる需要拡大が期待されているところである。

木材利用促進の流れの中で、現行の建築基準法の内装制限では、可燃物である木材の使用が厳しく制限されている。これは出火の防止や、出火しても建築物の中にいる人が居室や階、建築物から避難するまでの間に、火熱や煙によって避難に支障が生じないようにするためである。

その一方、視覚的にも暖かみを感じる木材を目に見えるかたちで室内の壁や天井などの仕上げ材料として利用したい、という強い需要がある。

そこで、建築研究所では、平成28年度から平成30年度にわたって指定課題「木質等の内装を有する建築物の避難安全設計技術の開発」を行い、火災安全性を損なわずに木質内装材をより柔軟に活用するための火災安全設計手法について研究開発を行ってきた。

その研究成果のひとつである本予測モデルが、今後の火災安全設計の実務において内装木質化の検討に大いに活用されることを期待する。

令和3年2月

国立研究開発法人建築研究所
理事長 緑川 光正

内装材の燃焼拡大を含めた多層ゾーン建物内煙流動予測モデル

西野智研*1, 鍵屋浩司*2

<概要>

中高層建築物を木造で設計する事例が増加する中、内装にも木材を活用することへの関心が高まっている。一般的に、壁や天井の内装に可燃性材料を用いることは、火災の成長を著しく早め、在館者の避難を困難なものにすると考えられてきた。しかし、近年に国内外で実施された実大火災実験は、内装の一部にしか木材を使用しない場合や大きな空間の内装に木材を使用する場合には、火災の成長がそうでない場合に比べて緩やかになることを示した。これに対し、我が国の性能的火災安全設計の実務では、木材を貼る部分の位置・面積や空間の大きさによらず、一律に厳しい設計火源の下で避難安全性を検証することが多い。こうした扱いは内装の木質化に対する過剰な制約となっている。

本予測モデルは、木質内装空間で火災が発生した時の避難安全性を合理的に評価するために開発されたもので、内装材の燃え拡がりによる火災成長と非火災室を含む複数室間の煙流動を一体的に解析可能な非定常の火災モデルである。本モデルが設計実務で利用されてきた従来のものと異なる点として、①内装材の熱物性と表面温度から計算される上方、側方、下方への燃え拡がり速度に基づいて、時々刻々と変化する内装材の燃焼領域を追跡すること、②多層ゾーンの概念に基づいて、建物内の各空間の温度等の変化を予測すること、すなわち、建物内のいずれの空間も、気体の状態が一様で水平な境界面により明確に分離された多数の層により満たされると仮定すること、等があげられる。本モデルでは、火源条件の他に、火災室の可燃性内装材を貼る範囲の形状、可燃性内装材の厚さや熱物性および単位面積あたりの発熱速度の時刻歴を指定することによって、火災室内全体の発熱速度や各空間の気体温度等の鉛直分布を時系列に予測することができる。また、避難安全検証に用いるための煙層高さと煙層温度を各空間の気体温度の鉛直分布から決定する。

本報告では、まず、開発した予測モデルの概念を述べる。次に、過去に実施された複数の実大火災実験の再現計算を行い、計算結果を実験結果と比較しモデルの予測性能を検証した内容を述べる。再現計算は、内装を部分的に木質化した区画の燃焼拡大実験を始め、多層ゾーンモデルの基本的な予測性能を調べるため、大規模吹き抜け空間の煙降下実験や複数室間の煙流動実験についても行っている。さらに、本モデルを設計実務に用いるための参考として、木質内装空間の仮想プランに適用した内容を述べる。付録として、本モデルに基づいて解析を行うために作成した計算プログラムの入出力マニュアルを添える。

*1 建築研究所 防火研究グループ 客員研究員 (京都大学防災研究所 准教授)

*2 建築研究所 防火研究グループ 上席研究員

A Multi-Layer Zone Smoke Transport Model Including Fire Growth on Combustible Linings

Tomoaki NISHINO^{*1}, Koji KAGIYA^{*2}

ABSTRACT

Timber is increasingly used as interior linings in large buildings as well as structural members. In general, using combustible materials as interior wall and ceiling linings has been considered to remarkably enhance fire growth and pose a threat to occupants' lives. However, full-scale fire experiments conducted in recent years have demonstrated that it is not necessarily true for a room partially lined with timber and a large room. In contrast, performance-based design in Japan has uniformly used a very severe design fire in verifying the evacuation safety of buildings regardless of the location of a timber lining and the size of a room. This is an excessive restriction of using timber as interior linings.

A new computational model for pre-flashover fires in timber-lined spaces was developed for use in evacuation safety verification. The developed model simultaneously simulates fire growth on combustible linings and smoke transport in multiple spaces. Key differences from conventional models used in practice such as BRI2002 are that (1) the new model predicts the burning area and heat release rate of combustible linings as a function of time using upward, lateral and downward flame spread equations and cone calorimeter data on time history of heat release rate of materials, and (2) the new model is based on a multi-layer zone concept; that is, the new model predicts the vertical profiles of physical quantities such as temperature in each space of a building as a function of time by dividing each space into multiple layers by horizontal boundary planes and assuming each layer as a control volume in which physical properties are uniform. The smoke layer height and temperature used in evacuation safety verification are determined from the vertical profile of gas temperature in each space.

This report describes the mathematical formulation and the performance of the model. To validate the performance, model predictions for gas temperatures and heat release rates were compared with data from five series of full-scale fire experiments previously reported in the literature, which includes experiments on smoke filling in an atrium and smoke transport in multiple rooms as well as experiments on fire growth in rooms partially lined with timber.

^{*1} Visiting Research Fellow, Department of Fire Engineering, Building Research Institute
(Associate Professor, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

^{*2} Chief Research Engineer, Department of Fire Engineering, Building Research Institute

<目次>

第1章	はじめに	1
第2章	多層ゾーンモデル.....	4
2.1	ゾーンの基礎方程式.....	5
2.2	気体温度と化学種濃度の予測方程式.....	7
2.3	可燃物の燃焼に伴う室内の発熱速度.....	8
2.4	化学種（酸素）の生成速度.....	9
2.5	火災プルームの巻き込み量.....	9
2.6	開口噴流プルームの巻き込み量.....	10
2.7	開口を經由して移動する気体の質量流量.....	11
2.8	火災プルームの外で層の境界面を越えて移動する気体の質量流量.....	13
2.9	内装材に伝達される熱量.....	13
2.10	放射により層の境界面を越えて伝達される熱量.....	15
2.11	煙層高さや煙層温度.....	15
第3章	可燃性内装材の燃焼拡大モデル.....	17
3.1	熱分解領域先端の進行速度.....	18
3.2	壁面や天井面に沿って形成される火炎.....	19
3.3	可燃性内装材の着火時間.....	20
3.4	可燃性内装材の燃焼に伴う発熱速度.....	21
第4章	モデルの予測性能の検証.....	23
4.1	大規模吹き抜け空間の煙降下実験の再現計算.....	23
4.2	単室隅角部火災の自然排煙実験の再現計算.....	25
4.3	複数室間の煙流動実験の再現計算.....	27
4.4	内装を部分的に木質化した小規模区画の燃焼拡大実験の再現計算.....	30
4.5	内装を部分的に木質化した大規模区画の燃焼拡大実験の再現計算.....	34
第5章	木質内装空間の仮想プランへの適用.....	38
5.1	プランと計算条件.....	38
5.2	計算結果	40
第6章	おわりに	43
6.1	まとめと今後の課題.....	43
6.2	モデルの機能と使用上の注意点.....	43
	注釈.....	45
	謝辞.....	47
	参考文献	48
	記号	51
	付録：計算プログラムの入出力マニュアル	