

多層ゾーン煙流動予測モデルのトンネル火災への適用に関する研究

清水建設 正会員 ○鈴木 圭一
 京都大学 田中 哮義
 ニュージェック 水口 尚司
 ニュージェック 中園 康平

1. はじめに

多層ゾーン煙流動予測モデル¹⁾ (以下、MLZモデル) とは、建築火災の煙流動予測で一般的に用いられてきた2層ゾーンモデルを2次元に拡張し、鉛直方向および軸方向の温度分布やガス濃度分布が予測できるようにしたものである。その特徴は、設定項目が比較的少ないため利用者には容易であり、また計算速度は一般的なCFDに比べてはるかに高速である。本研究ではMLZモデルをトンネル火災予測に適用し、避難計画や排煙設計に役立てることを前提とし、モデルの概要と、トンネル模型による火災実験(自然換気・強制換気)との比較結果について述べる。

2. モデルの概要

計算領域は図1のように、トンネル軸に垂直な境界面でエリアに分割し、つぎに軸に平行な境界面により各エリアを多数の薄い「層」に分割する。それぞれの層内は、圧力、温度やガス濃度が一様と仮定する。

層間の気流は水平な境界面と、垂直な境界面を移動する流量として計算され、図1に矢印で示す。火源が存在するエリアでは火災プルームが火源面より上昇気流として周囲の気体を連行しながら最上層に達する。最上層の気体は、一部は下向きに押し出されることとなる。さらにその下方の層の気体も押し出され、下向きの気流、開口流、火災プルームへの連行流などになる。また仮想境界面で接する隣接エリアに向かい、静圧と動圧から求まる圧力差により水平流が生じる。一方、火災エリアの下部では、火災プルームが周囲空気を連行するため、隣のエリアから低温の気流が吸引される。これらの気流は、対象空間の各層における質量保存式、火災エリアの火災プルーム、各エリアの仮想境界面での流入の計算式を連成して求める。

各層で温度の時間微分方程式(ゾーン方程式)により、各時間における対流、伝導、放射による熱の輸送量を与えて各層の気体温度を求める。対流として層の境界面からの気流に伴う熱の流入と流出および接する壁面との対流熱伝達、放射として層を通過する放射の吸収と層からの放出、さらに壁体内の熱伝導を求めている。対流および拡散に関して、気流同様、乱流拡散などによる熱の両方向の移動は考慮されていない。ただし放射に関しては、上下両方向の放射流束を考慮している。またCO₂などの燃焼ガス成分は火源から火災プルームにより最上層まで輸送されるとし、そこからは気流に伴って各層に輸送されるものとする。化学種濃度のゾーン方程式を解くことにより化学種濃度の質量流量を求める。

3. 実験との比較

(1) 実験概要と比較ケース

火災実験に用いたトンネル模型は高さ1.8m、幅1.8m、長さ27.7mの正方形断面の空間であり、内部写真を図2、概略図と測定点を図3に示す。壁と天井は材厚9.1mmの合板で、火源付近の天井はプラスターボードで覆っている。模型両端部は屋外の自然風が入り込まないようにシートで緩く覆っている。また強制換気のケースでは1.2mの高さに設置した送風機を用いる。火源はステンレス容器に入れたメタノールを燃焼させたが、事前の実測から発熱速度は約60kWであった。ここではcase A(自然換気)およびcase B(強制換気0.5m/s)について記載する。発熱速度がほぼピークとなる150秒後の計算値を実験値と比較した。

(2) おもな計算設定

- ・層分割：図3のように水平方向に1.84mごとに15分割、鉛直方向には0.2mごとに9分割した。
- ・火源：領域8の最下層に0.5mの火源径を設定。発熱速度の入力値は事前に実測したデータを外挿し、その0.9倍を対流、0.1倍を放射による輸送量とした。

キーワード トンネル火災、煙流動予測、多層ゾーン、火災実験

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設技術研究所 応用工学グループ keichi@shimz.co.jp

- ・壁体：壁・床・天井は合板（厚さ 10mm、熱伝導率:0.128kW/mK、密度:550kg/m³、比熱 2.02kJ/kgK）、領域 7・8・9 の天井は石膏ボード（厚さ 10mm、熱伝導率:0.219kW/mK、密度:860kg/m³、比熱 0.993kJ/kgK）。
- ・強制換気の圧力設定：実験では送気ファンを模型内部に置いているが、計算では両端の外側に圧力差を与えることで換気風速を生じさせた。発熱なしで想定 of 換気流速となるように片側端部外の圧力値を調整し、それを境界条件とする。端部の開口流量係数は流入側は 0.65、流出側は 1（圧損なし）とした。

(3) 比較結果および考察

case A（自然換気）の温度分布の比較結果を図 4 に、case B（強制換気 0.5m/s）を図 5 に示す。自然換気、強制換気ともよく一致し、実用に十分耐えうるものであると考えられる。ただし case B の B 列では上部の温度が低く計算されており、風上側の遡上が少なく予測されることが分かった。

参考文献

1) 鈴木圭一ら：火災空間における垂直温度分布の非定常予測モデルの検証, 日本建築学会環境系論文集, 2005.4

謝辞 科学研究費補助金「トンネル・地下鉄火災を対象とした多層ゾーン煙流動予測コンピュータモデルの展開（基盤研究(A)(一般) H17～20年度）」を受けた。ここに感謝の意を表します。

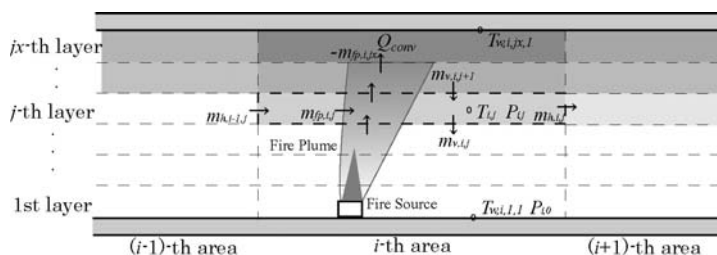


図 1 MLZ モデルのイメージ図



図 2 模型内部の写真(手前:火源,奥:送気ファン)

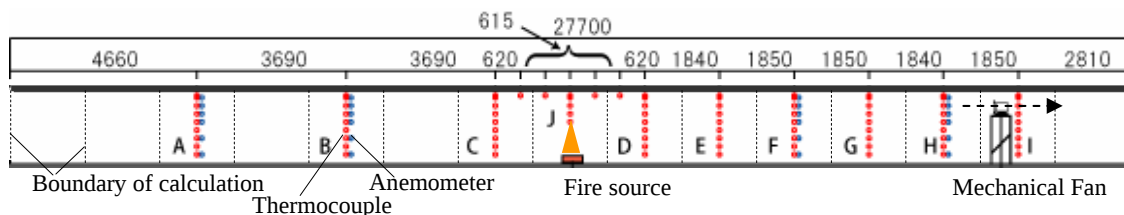


図 3 模型の概略図と測定点（点線は計算の水平方向の分割、左よりエリア 1,2,・・・）

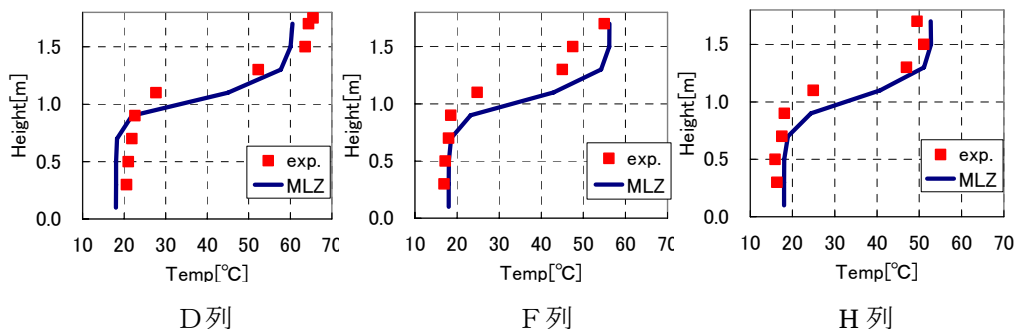


図 4 鉛直方向の温度分布の実験と計算値の比較（case A：自然換気）

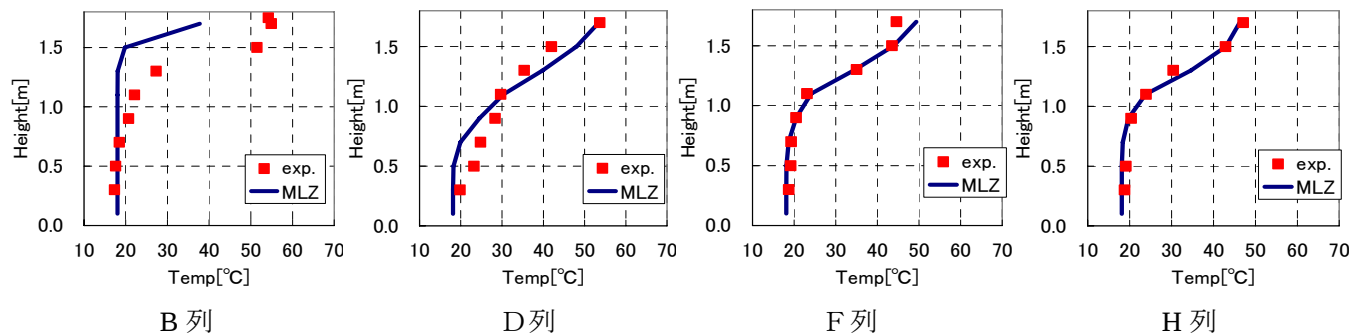


図 5 鉛直方向の温度分布の実験と計算値の比較（case B：強制換気 0.5m/s）