

1. 序論

近年乱流シュミレーション法は大きく進歩し、色々な分野で応用されている。特に大規模運動を数値的に解くラーズ・エディー・シミュレーション(LES)法は乱流モデルの依存性が小さいなどの利点があり、今後の発展が期待されている。火災時の熱対流の予測は防災対策に重要となるが、本研究ではこのLES法を用いて、火災の発生した室内における熱対流の予測計算を行った。

2. 解析手法

基礎となる支配式は運動方程式、質量保存式および熱輸送の式である。これらを Boussinesq 近似を用いて重力項を導出し、空間平均操作を行いLES基礎方程式を求めた。また、サブグリッド応力、サブグリッド熱流束には標準 Smagorinsky モデルを用いてモデル化した。空間差分項には3次精度風上差分、粘性項には2次精度中心差分、時間進行法には2次精度 Adams-Bashforth 法、圧力解法は HSMAC 法を、計算格子はスタッガードメッシュ系を用い、不等間隔の直行格子を用いた。

3. 計算条件

図-1 に示すような開放口を持つ室内でコーナー部分に火災が発生したときの、室内での熱対流を数値解析する。このケースは精密模型を用いて得られた実験結果¹⁾が既に報告されており、本解析結果との比較が行なえる。

図-1 を数値計算するにあたって、本計算では部屋の高さ $H=1.2\text{m}$ 、動粘性係数 $\nu=1.6\times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ 、熱拡散係数 $\alpha=2.25\times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ 、火源部の相対温度 $T_h - T_c = 500^\circ\text{C}$ 、重力加速度 $g=9.8\text{m}/\text{s}^2$ を用いた。プラントル数、グラスホフ数はそれぞれ $Pr=0.71$ 、 $Gr=1.78\times 10^{11}$ である。

境界条件は、壁面では速度はすべり条件で断熱、発熱面では速度はすべり条件で温度は一定値、開放口は圧力、温度ともに一定値とした。 x,y,z 座標は図-1 に示すように設定し、 $33\times 31\times 31$ である。

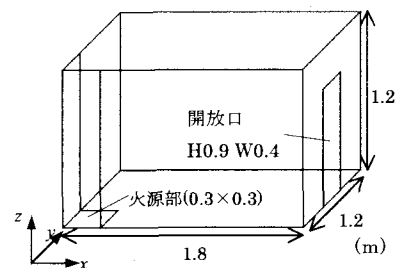


図-1 モデル火災室

4. 計算結果

$y=0.42\text{m}$ での $x-z$ 断面における、本解析結果と、既存の精密模型実験の結果を図-2～図-4 に示す。

平均流速ベクトル図(図-2)での比較では解析結果、実験結果ともに開放口下部から流入した気流

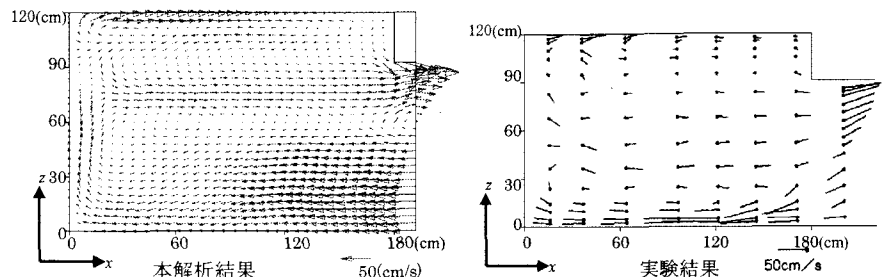


図-2 平均流速ベクトル図

が、奥の壁まで進んだ後上昇するが、強い温度成層により上昇が妨げられ、天井まで到着することなく開放口まで戻ってきている。また、天井付近では開放口に向かって流れが起こっているが、 $z=110\text{cm}$ あたりでは、開放口とは逆方向に流れる弱い流れは解析、実験結果ともに見られる。しかし、開放口下部から流入した気流が奥の壁で上昇した後、その上昇が妨げられる高さは実験結果で $z=40(\text{cm})$ あたりであるのに対し、解析結果では $z=70\text{cm}$ あたりである。

平均等温線図(図-3)の比較では、本解析、精密模型実験ともに水平方向にほぼ様な温度分布となってい

る。しかし、開放口より少し低い高さ $z=50\text{cm}$ あたりから天井にかけての温度勾配は解析結果、実験結果ともに類似しているのに対し、床から $z=50\text{cm}$ あたりまでは、解析結果がほぼ一定値を取っているのに対し、実験結果では、少なからず温度勾配が存在する。

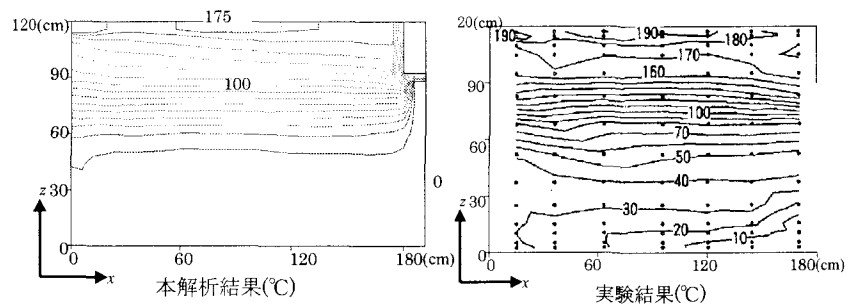


図-3 平均等温線図

この誤差は開放口で温度を一定値とした為に生じたと思われる、また、この温度勾配の不一致により先ほど述べた、流入気流の吹き返しが起こる高さの実験結果と解析結果との差を生み出したと思われる。

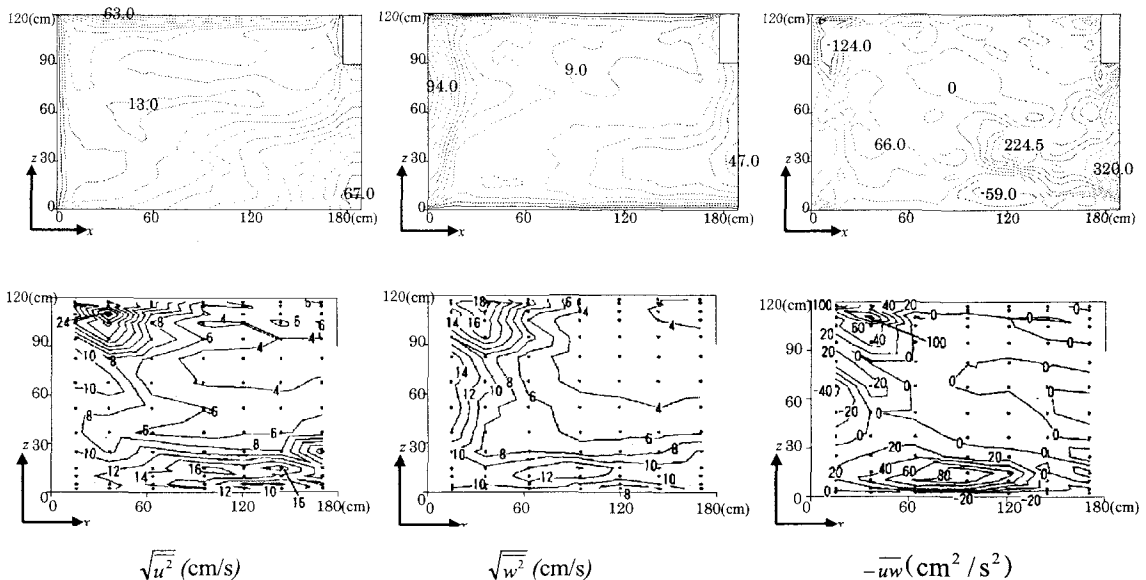


図-4 乱流量の等値図(上段:本解析結果 下段:精密模型実験結果)

乱流量の等値線図(図-4)を比較すると、床近傍及び天井近傍では $\sqrt{u^2}$ のほうが $\sqrt{w^2}$ よりも大きく、温度成層領域を除き、速度勾配の小さい領域では双方共に殆ど同じ値を示し、また、室中央では温度成層により鉛直方向のレイノルズストレスは減衰され流れが層流化している特徴は、両結果においても認められる。しかし解析値と実験値との差は大きく、解析結果は実験結果の2倍から3倍全体的に大きく評価されている。これは解析結果における温度分布の違いによる乱れの生成量の違いと、乱流モデルに問題があると考えられる。

5. まとめ

今回、LESにより室内火災流の予測計算を行ったのであるが、平均温度分布、平均速度分布に関しては、多少の誤差は認められたが、乱れを含む流れ場の特徴を捉え、ある程度の予測性を見出すことができた。乱流量の予測に関しては分布傾向に相似性は見られるものの、その値は実験値よりも大きいという結果となり、疑問の残る結果となった。これらは主に、開放口での温度を一定値としたことによる温度分布の違いが大きく影響していると考えられる。開放口での境界条件を改良すれば予測結果は向上すると考えられ、今後、防災対策のための火災流予測に役立つと期待される。

1) 義江 龍一郎, 村上 周三, 加藤 信介: モデル火災室における高温自然対流に関する実験—乱流量の測定結果—, 日本建築学会計画系論文集 第521号, pp.55-62.1999.