

非定常 CFD 解析における熱容量を考慮した厚み無し部材の改良提案

1. 背景・目的

CFD 解析で部材の熱容量を考慮した解析をする場合、部材厚み内を細かく分割する必要がある。CFD 解析用の形状モデルを厚みの無い面で再現することができれば、モデル作成に要する時間を減らすことができ、厚み方向を分割する格子線が削減されるため計算時間も短くなると考えられる。

既報¹⁾で厚みを有する部材(温度分布はコントロールボリュームに分割した上、熱伝導方程式で算出。)と、厚みは無いが熱容量を考慮した部材(熱伝導方程式は解かず、内部の温度分布は二次関数近似²⁾)。FlowDesigner に実装。)について比較したところ、条件によっては両者の表面温度に差が見られ、部材表面層の温度勾配が大きくなる場合の表面温度の近似精度に課題が見られた。

本卒業研究では、厚み無しとした部材の実用化をねらいとして、以下の点について検討する。

- 1) 厚み無し部材の表面温度算出方法の改良提案
- 2) 提案方法を組み込んだ CFD 非定常解析の実施

2. 解析概要

本研究では、(株)アドバンスナレッジ研究所の CFD ソフト FlowDesigner13 を使用。解析条件を表 1 に示す。

表 1 CFD 解析条件

乱流モデル	標準 k-ε モデル	流入境界	一様流
離散化	有限体積法	流出境界	自由流出
アルゴリズム	SIMPLEC 法	天空面、側面	Free Slip
移流項差分スキーム	一次風上	地物表面	一般化対数則
メッシュ	構造格子	解析領域	x:30m y:30m z:30m
風速	0.1m/s	時間刻み	1分
空気温度	上部：ピーク温度を 0℃、112℃としたサイクリック条件。この間の空気温度を線形的に変化させる。 下部：0℃一定とする。		

本報では、熱容量を持つ厚み無し部材を「パネルモデル」と記載する。パネルモデルの内、既報¹⁾で使用した FlowDesigner に実装されているモデルを「従来型」、本報の提案を組み込んだモデルを「改良型」とする。一方、検証用として扱う通常の熱物性体としての厚みを有する部材を「ブロックモデル」と記載する。

解析モデルを図 1、図 2 に示す。検証用のブロックモデルは厚み方向を 13 分割とし、部材は杉を想定する(表 2 参照)。解析は 2 日間とし、初めの 1 日を助走計算とする。本報の結果は全て、2 日目の値を記す。なお、解析モデルのメッシュ数はブロックモデル：168,200、パネルモデル：127,832 である。

本報では日射および放射解析は検討外とするが、日射のように強烈な熱量が作用した場合を想定して、部材上下の空気温度が最大 112℃生じ得る解析としている。

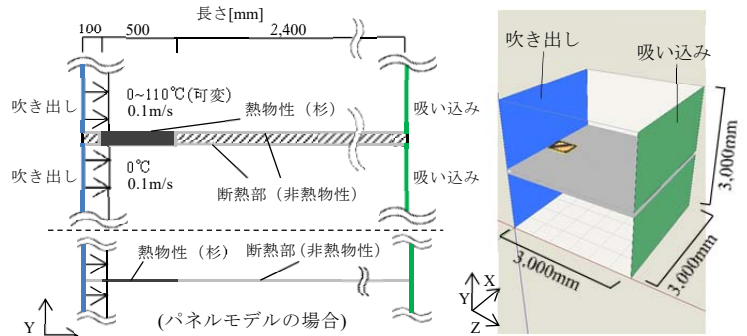


図 1 解析モデルの模式図

図 2 解析モデル

表 2 杉の物性値

密度[kg/m ³]	比熱[J/(kg・K)]	熱伝導率[W/(m・K)]
300	1,300	0.06

3. パネルモデルの改良提案

3.1 提案概要

改良案のイメージを図 3 に示す。現状、パネルモデルの表面温度は二次関数近似²⁾によって算出される。しかし、部材内部の温度勾配を両表面近傍共に精度よく近似することは難しく、表面温度に差異が見られていると考える。そこで、二次関数を 2 つ使用することで、両表面の温度勾配を現状よりも正しく再現させる方法について検討する。

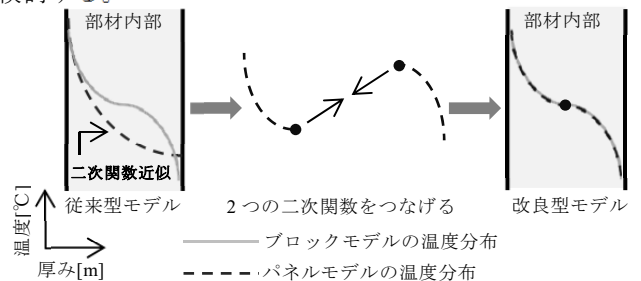


図 3 パネルモデル改良案のイメージ

3.2 Excel を用いた従来型パネルと改良型パネルの比較

本検討では、表面温度および内部の温度分布について、従来から CFD ソフトに使用されているロジックを Excel 上に再現して、従来型と改良型を比較する。本節のパネルモデルはいずれも Excel のみで計算し、部材表面近傍の空気温度はブロックモデルで予め計算した空気側第一セルの値を用いる。解析結果を図 4、図 5 に示す。

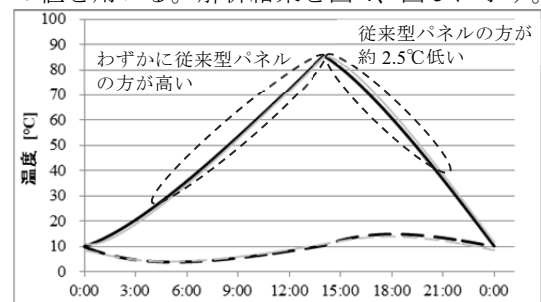


図 4 従来型パネルとブロックモデルの表面温度の比較

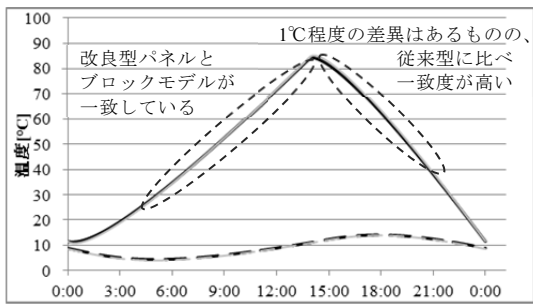


図5 改良型パネルとブロックモデルの表面温度の比較

温度上昇時、下降時共に従来型パネルはブロックモデルよりも温度変化がはやく見られ、特に15:00~18:00付近では上面においてブロックモデルを約2.5°C下回った。これに対し改良型モデルでは少しのズレはあるものの15:00~18:00の温度差は1°C程度に収まった。結果より、改良提案方法に一定の有効性が見られる。

次に最も上下の表面温度に差が見られた時刻(15:00)の部材内部の温度分布を比較する。図6に部材内部の温度分布を示す。上側表面近くで従来型ではブロックモデルよりも2°C程度上回ったが、改良型ではほぼ一致した。

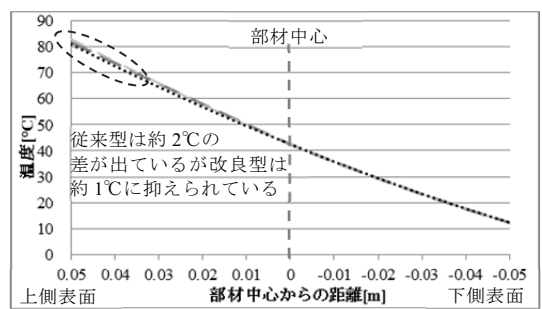


図6 2日目15時の内部温度分布

4. Excel との外部連携を用いた改良型パネルの非定常 CFD 解析への適用

外部連携を使用して改良型パネルのロジックを CFD 解析上で再現する。CFD 解析で算出された隣接空気温度を元に、Excel(VBA)で次の時刻の表面温度を算出し、この表面温度を CFD 解析に反映させる。この際の CFD 解析での改良型パネルモデルの再現は、図1のモデルにおける熱物性のブロックを、断熱のブロックに変え、上下の表面温度を固定条件(第1種境界)とする。

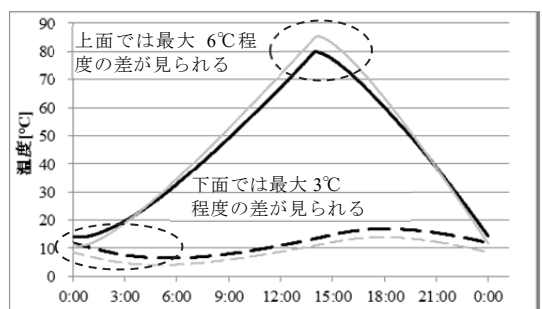


図7 外部連携とブロックモデルの表面温度比較

結果、上面で最大6°C、下面で最大3°C程度の差が生じた。(図7参照) 差の要因として、隣接空気温度の違いが挙げられる。熱物性体ブロックと流体の境は第2種境界であり、コントロールボリュームにおける熱流収支から隣接空気温度が決定するが、パネルモデルの場合は仮定した熱伝達率を達成するように隣接空気温度が算出されている。両者の隣接空気温度の差を調べたところ、やはり原因の過半はここにあると見られた。3節の改良提案そのものは有効と考えるが、今後は外部連携の使用に改善を加え、実用化を進めたい。

5. ロジックの改善に関する考察

3節で示した通り、改良型パネルにおいて、15時の内部温度分布は比較的一致していたが、18時は従来型よりは良いものの、ブロックモデルと差異が見られた。パネルモデルとブロックモデルの中心温度が一致していない事に原因がみられる。仮に中心温度が正しく補正された場合を考えて、ブロックモデルの中心温度の値をその時刻の改良型パネルの中心温度にあてはめて、Excel で部材内部温度を計算した。図8に結果を示す。

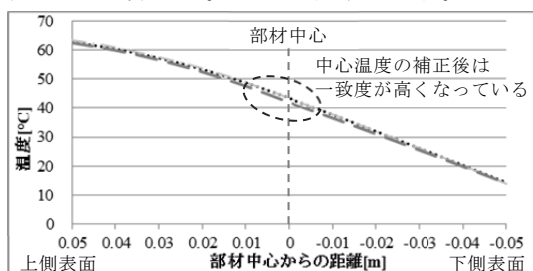


図8 2日目18時の内部温度分布(補正前後)

補正後は少しではあるが一致度が高くなり、内部温度分布に改善が見られた。ここで加えた中心温度の補正値を調べたところ、温度上昇時と下降時で補正方向が変わる一定の法則性のもと傾向が見られた(図9参照)。

今後、熱容量の異なる部材での検討を予定するが、建築部材に適用可能な中心温度の補正方法を探りたい。

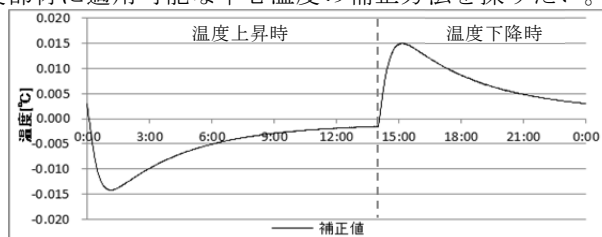


図9 中心温度の補正値の時間推移

6. まとめ

従来のパネルモデルの改善に、二次関数近似を2つ組み合わせた改良型パネルの有効性が伺えた。今後、日射解析の適用を視野に入れて検討する。

参考文献

- 1) 杉山侑司,河野良坪,中川純:強制対流時における住宅用CFD非定常解析の計算負荷削減に関する検討,日本建築学会学術講演梗概集,NO.40508,2016.7
- 2) 厚み・熱容量を考慮した熱発生パネル(非定常-2次精度),株式会社アドバンスドナレッジ研究所(内部資料)