

逆解析を用いた建物断熱性能の同定法の提案

1. 背景・目的

建物室内の温熱環境を測定した際に、実測に対応したCFD解析・熱負荷計算等のシミュレーションが実施されることは多い。しかし、設計図面から読み取った断熱仕様をシミュレーション上で再現しても、実際に測定された結果と合致しないことも多い。その原因の一つとして、設計図面から読み取れる断熱性能は、建物が改修されたり老朽化を重ねることで、実際の状態は異なっている可能性が考えられる。そこで、実測値に合わせて熱貫流率や熱伝導率に適切な補正を行うことで、実現象とシミュレーションとの乖離を少なくできるのではとの考えに至った次第である。

本研究では、建物躯体の断熱性能の同定を目的とした逆解析について適用可能性を探ることを目的とする。

本卒業研究では、定常解析を対象に以下の2つの提案について検討する。

- 1) 逆解析を用いた熱貫流率の同定法の提案
- 2) 逆解析を用いた熱伝導率の同定法の提案

2. 共通解析条件

本研究では、CFD解析及び逆解析には(株)アドバンスドナレッジ研究所のFlowDesignerを使用。3節の検討ではFlowDesigner2017の標準機能、4節の検討ではFlowDesigner13と外部連携(VBA)を使用する。

共通解析条件を表1に示す。

表1 CFD解析条件 (全ケース共通)

乱流モデル	アルゴリズム	移流項差分スキーム	メッシュ
標準 k-ε	SIMPLEC 法	一次風上	構造格子

3. 熱貫流率の同定法の検討

3.1 解析概要

図1に示す室内モデルを対象に、熱貫流率を設定し、CFD解析を行い、各評価領域の温度値について算出する。この値は実測値に相当すると考えて、この評価領域の温度を、逆解析時の各評価領域毎の目標温度とする。また、熱貫流率を設計変数と考える。故意に熱貫流率の値をずらした値(背景で述べた「設計図面から読み取れる断熱性能」に相当。)を初期値として、評価領域の温度を目標温度に近づけるには、設計変数である各壁体の熱貫流率をいくらに修正すればよいかを、逆解析で熱貫流率に関する感度を算出して同定する。同定にはCFD解析と逆解析を繰り返す。

本節で解析に用いた解析条件およびエアコン設定を表2に示す。なお、エアコン位置前面の評価領域(図1の「2」)

はエアコンの吹き出し温度がそのまま算出されてしまうおそれがあるため、目標温度には使用しない。

表2 解析条件

格子数	
326,400(102×64×50)	
エアコン条件	
風量	15m ³ /min
吹き出し角度	45°
投入熱量	3.2節 4.6kW
	3.3節 1.3kW

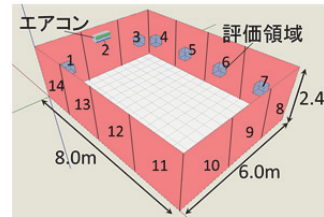


図1 室内モデル

3.2 窓と間仕切り壁を想定した室空間への適用

表3に示す、窓と間仕切り壁を想定した熱貫流率の下で解析を行う。壁体1~3部分は隣室(間仕切り壁)、壁体4~7部分を廊下側(間仕切り壁)、壁体8~14部分を外気側(窓面)とし熱貫流率を設定した。表3における「熱貫流率(真値)」とは予め仮定した真に同定したい実際の熱貫流率である。エアコンの投入熱量(表2)は室温が20℃となるように「面積×熱貫流率(真値)×室内外の温度差」で算出した値4.6kWとする。一方、「熱貫流率(初期値)」は真値から10%下げた値とする。

表3 壁体の熱貫流率[W/(m²·K)]

	熱貫流率(真値)	熱貫流率(初期値)	外気 or 隣室温度[℃]
間仕切り壁 1~3	3.0	2.7	20℃
間仕切り壁 4~7	3.0	2.7	10℃
窓面 8~14	6.0	5.4	0℃

3.2.1 解析結果

表4に解析結果を示す。同定した熱貫流率を使用した際の各評価領域の平均温度を表5に示す。窓を想定した熱貫流率の大きい壁体(壁体8~14)では、同定値は真値に近づいたものの、相対的に断熱性能の高い壁体(壁体1~7)は同定値に合わせ難い傾向がみられた。断熱性能が高い壁体ほど、多少、熱貫流率が変わっても評価領域温度に与える影響が小さいためと推測する。同定後の空気温度の目標温度との差はほとんどない。

表4 熱貫流率[W/m²·K]

	真値	初期値	同定値	真値との差	誤差[%]
壁体1	3.0	2.7	2.81	-0.19	-6.25
壁体2	3.0	2.7	2.81	-0.19	-6.25
壁体3	3.0	2.7	2.85	-0.15	-5.14
壁体4	3.0	2.7	3.17	0.17	5.64
壁体5	3.0	2.7	3.01	0.01	0.30
壁体6	3.0	2.7	3.06	0.06	1.99
壁体7	3.0	2.7	3.22	0.22	7.29
壁体8	6.0	5.4	6.04	0.04	0.62
壁体9	6.0	5.4	6.01	0.01	0.19
壁体10	6.0	5.4	5.94	-0.06	-0.93
壁体11	6.0	5.4	5.95	-0.05	-0.90
壁体12	6.0	5.4	5.97	-0.03	-0.58
壁体13	6.0	5.4	6.01	0.01	0.14
壁体14	6.0	5.4	6.00	0.00	0.02

表5 評価領域内の平均温度[°C]

	真値	同定値	真値との差		真値	同定値	真値との差
壁体1	23.33	23.28	-0.05	壁体8	24.66	24.60	-0.06
壁体2	23.74	23.68	-0.05	壁体9	23.45	23.39	-0.07
壁体3	23.74	23.68	-0.05	壁体10	23.37	23.30	-0.07
壁体4	24.32	24.26	-0.06	壁体11	23.60	23.54	-0.07
壁体5	25.45	25.39	-0.06	壁体12	23.34	23.27	-0.06
壁体6	25.54	25.48	-0.06	壁体13	23.11	23.05	-0.05
壁体7	25.30	25.25	-0.05	壁体14	23.33	23.28	-0.05

3.3 外壁のみを想定した室空間への適用

3.2節の室空間について周囲全てを外壁のみで構成された室空間を想定し、解析を行う。外壁の熱貫流率の真値は1.0 W/(m²·K)、熱貫流率の初期値は真値から10%下げた0.9 W/(m²·K)とした。外気温は0°Cとし、3.2節と同様に室温が20°Cとなるようにエアコンの投入熱量を算出(1.3kW)して解析を行う。なお、その他の解析条件は表2に準ずる。

3.3.1 解析結果

表6に解析結果を示す。また、同定した熱貫流率を使用した際の各評価領域の平均温度を表7に示す。解析の結果、同定値はエアコン位置から遠いほど(壁体7,8,9)真値との差が大きく出る傾向があった。3.2節と比べ、断熱性能も高い

表6 壁体の熱貫流率[W/m²·K]

	真値	初期値	同定値	真値との差	誤差[%]
壁体1	1.0	0.9	1.06	0.06	6.36
壁体2	1.0	0.9	1.00	0.00	0.22
壁体3	1.0	0.9	1.01	0.01	1.03
壁体4	1.0	0.9	1.01	0.01	0.87
壁体5	1.0	0.9	0.98	-0.02	-2.47
壁体6	1.0	0.9	1.01	0.01	0.64
壁体7	1.0	0.9	1.08	0.08	7.54
壁体8	1.0	0.9	1.08	0.08	7.73
壁体9	1.0	0.9	1.07	0.07	7.15
壁体10	1.0	0.9	1.03	0.03	3.10
壁体11	1.0	0.9	0.99	-0.01	-0.88
壁体12	1.0	0.9	0.96	-0.04	-3.71
壁体13	1.0	0.9	0.96	-0.04	-3.66
壁体14	1.0	0.9	1.03	0.03	2.70

表7 評価領域内の平均温度[°C]

	真値	同定値	真値との差		真値	同定値	真値との差
壁体1	22.08	21.65	-0.43	壁体8	22.29	21.91	-0.37
壁体2	22.07	21.70	-0.37	壁体9	22.25	21.47	-0.78
壁体3	22.07	21.70	-0.37	壁体10	22.62	22.55	-0.08
壁体4	21.75	21.44	-0.31	壁体11	22.88	22.63	-0.25
壁体5	22.95	22.57	-0.38	壁体12	22.98	22.65	-0.32
壁体6	22.97	22.54	-0.43	壁体13	22.94	22.51	-0.43
壁体7	22.57	21.62	-0.96	壁体14	21.78	21.43	-0.35

4. 外部連携を用いた熱伝導率の同定法の検討

4.1 解析概要

図2に示す室内モデルを対象に、3.3節の室内モデルの壁体と熱貫流率が等しくなる熱伝導率(0.118W/(m·K))を(式1)から算出しこれを真値とする。壁の厚みは0.1mとする。3節同様、この真値から10%下げた熱伝導率を初期値とし、評価領域の温度を目標温度(実測値に相当)に近づけるように各壁体の熱伝導率を逆解析で同定する。CFD解析で現状の温度分布を算出し、逆解析では、評価領域内を目標温度にするための各壁体の熱伝導率の感度を算出する。この感度の大小をもとに熱伝導率を修正する。この際、逆解析で算出した熱伝導率感度を外部連携を用いて Excel(VBA)上に作成し最急降下法で新たな熱伝導率を決定し、次の回のCFD解析に用いる。

表8 解析条件

格子数	
594,880(110×104×52)	
エアコン条件	
風量	15m ³ /min
吹出し角度	45°
投入熱量	1.3kW

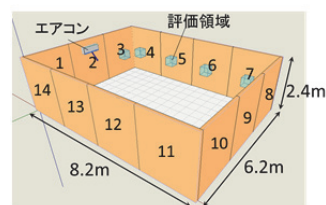


図2 室内モデル

4.3 解析条件

解析条件を表8に示す。また、本節では、吹出し口を階段形状としたエアコンに変更している。投入熱量については3.3節と同じく1.3kWとする。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad (式1)$$

K :熱貫流率 [W/(m²·K)] α_i :室内側熱伝達率 9 [W/(m²·K)]
 α_o :室外側熱伝達率 23 [W/(m²·K)] λ :熱伝導率 [W/(m·K)]
 δ :壁体の厚さ 0.1 [m]

熱伝導率は、真値(0.118W/m·K)から、10%下げた値を初期値(0.106W/m·K)とする。

逆解析では目的関数を扱うが局所的にこれ以上熱伝導率を変化させても目標温度から遠ざかる結果が算出されると、これ以上変数を動かしても目的関数の改善にあまり効かず、感度値が小さく算出されることが考えられる。この場合、無理に改善させようとして設計変数を大きく変化させることもある。そのため、感度の下限値を(本節では[0.05/熱伝導率感度])を設定し、下限値以下の感度が算出された場合、熱伝導率を変えないものとする。

4.4 解析結果

解析結果を

表9 壁体の熱伝導率[W/m·K]

	真値	初期値	同定値	真値との差	誤差[%]
壁体1	0.12	0.11	0.13	0.01	5.76
壁体2	0.12	0.11	0.12	0.01	5.00
壁体3	0.12	0.11	0.13	0.01	10.34
壁体4	0.12	0.11	0.13	0.01	9.78
壁体5	0.12	0.11	0.13	0.01	8.72
壁体6	0.12	0.11	0.12	0.00	-2.66
壁体7	0.12	0.11	0.12	0.00	0.36
壁体8	0.12	0.11	0.11	-0.01	-6.84
壁体9	0.12	0.11	0.11	-0.01	-9.36
壁体10	0.12	0.11	0.11	-0.01	-8.42
壁体11	0.12	0.11	0.11	-0.01	-5.89
壁体12	0.12	0.11	0.11	-0.01	-5.04
壁体13	0.12	0.11	0.12	0.00	1.43
壁体14	0.12	0.11	0.12	0.01	5.63

表9に示す。また、同定した熱貫流率を使用した際の各評価領域の平均温度を表10に示す。

3.4節同様に

壁体の位置に

よって同定値は大きく異なる傾向があった。

表10 評価領域内の平均温度[°C]

	真値	同定値	真値との差		真値	同定値	真値との差
壁体1	20.19	20.06	-0.14	壁体8	20.22	20.07	-0.15
壁体2	19.92	19.73	-0.19	壁体9	20.72	20.61	-0.11
壁体3	19.87	19.69	-0.18	壁体10	20.54	20.38	-0.15
壁体4	19.87	19.69	-0.18	壁体11	20.06	19.88	-0.18
壁体5	19.82	19.67	-0.16	壁体12	19.77	19.69	-0.08
壁体6	19.68	19.56	-0.12	壁体13	20.04	19.92	-0.13
壁体7	19.82	19.70	-0.12	壁体14	20.14	20.01	-0.13

5. まとめ

CFD解析と逆解析を用いて、①熱貫流率を同定する手法を考案し、具体例を提示した。②外部連携を用いた熱伝導率を同定する手法を考案し、今後は、断熱性能のより高精度な同定や、放射を加味した解析について検討する予定である。

謝辞 本研究にあたり、尾崎 祐司 氏らパナソニック(株)エコソリューションズ社の方々のご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1)長谷川翔也,河野良坪等:逆解析を用いた空調吹き出し口の最適風向決定法の確立,日本建築学会学術講演梗概集, NO.40509, 2016.7