

6. 気密性能の違いによる室内環境 CFD 解析

6.1 換気回路網計算による各部の通気量

6.1.1 換気回路網計算の概要

換気回路網計算（以下換気計算）では、流量は式(6-1),(6-2)により求まるものとした。開口両側の差圧は式(6-3)により求める。計算対象空間の全てで換気量収支が 0（式(6-4)）になるように床面高さにおける大気基準の室内圧 P_i （以下、大気基準室内圧とする）をニュートン・ラフソン法を用いて決定する。

住宅モデルは建築学会標準モデルに LD 吹抜けを設け、窓の呼称寸法を現在の寸法に変更したモデルを用いた。表 6-1 にモデルの開口（隙間）の設定値、図 6-1 に各部空間の温度設定値を示す。なお、外部風については考慮していない（無風状態）。

換気回路網計算

単純開口の場合の場合

$$Q_{ij} = \text{sign}(\Delta p_{ij}) \cdot \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} |\Delta p_{ij}|} \quad \dots(6-1)$$

隙間の場合の場合

$$Q_{ij} = \text{sign}(\Delta p_{ij}) \cdot a l \cdot \Delta p_{ij}^{1/n} \quad \dots(6-2)$$

$$\Delta p_{ij} = (p_j - g \rho_j h_j) - (p_i - g \rho_i h_i) \quad \dots(6-3)$$

$$\sum Q = 0 \quad \dots(6-4)$$

Q : 通気量 (m^3/s) αA : 相当開口面積 (m^2) Δp : 開口両側の差圧 (Pa) ρ : 空気密度 (kg/m^3)
 $a l$: 通気率 [$\text{m}^3/\text{s}/\text{Pa}^{1/n}$] n : 隙間特性値 [-] P : 床面高さ室内圧 (Pa) g : 重力加速度 (m/s^2)
 h : 開口の床面からの高さ (m)

表 6-1 各部の隙間・開口設定値

I	J	RVS(KAP)	LO	NV	NOP	ALP	H1	H2	W	PT	備考
1	2	1	0	1	1.8	0.0025	0	1.97	0	6	内部ドア(閉)2カ所垂直2本
1	2	1	0	0	1.9	0.01	0	0	0.70	3	内部ドア(UC)水平1本
1	2	1	0	0	1.8	0.0025	2.0	0	0.70	3	内部ドア(上部)水平1本
1	3	1	0	0	1.16	0.00012	0	0	15.47	1	間仕切幅木下全長
1	3	1	0	0	1.41	0.00020	0.2	0	1	3	コンセント
1	3	1	0	0	1.41	0.00020	1.2	0	1	3	スイッチ
1	4	1	1	0	1.16	0.00012	2.4	0	38.22	1	天井全周長
1	4	1	1	0	1.3	0.0001	2.4	0	1	7	照明器具
1	5	1	1	0	2	0.8	2.9	0	3.31	1	吹抜け
1	23	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	8.645	1	外壁幅木(南)
1	23	1	0	1	1.9	0.0002	0	2.0	0	9	南窓18520垂直3カ所
1	23	1	0	0	1.9	0.0002	0	0	1.65	6	南窓18520下水平3カ所
1	23	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	1.65	6	南窓18520上水平3カ所
1	23	1	0	0	2	0.001	2.2	0	1	2	給気口2カ所
1	25	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	4.095	1	外壁幅木(西)
1	25	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2.0	0	4	西窓08009垂直2カ所
1	25	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	0.60	2	西窓08009下水平2カ所
1	25	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	0.60	2	西窓08009上水平2カ所
1	29	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	3.84	1	外壁幅木(東)
2	1	-1									
2	3	1	0	0	1.16	0.00012	0	0	27.75	1	間仕切幅木下全長
2	3	1	0	0	1.41	0.00020	0.2	0	1	5	コンセント
2	3	1	0	0	1.41	0.00020	1.2	0	1	5	スイッチ
2	4	1	1	0	1.16	0.00012	2.4	0	53.23	1	天井全周長
2	4	1	1	0	1.3	0.0001	2.4	0	1	6	照明器具
2	6	1	1	0	2	0.8	2.9	0	3.31	1	階段吹抜け
2	9	1	-1	0	1.4	0.0004	0	0	1	2	床下収納2カ所
2	9	1	-1	0	2	0.0354	0	0	1	1	浴室床隙間
2	25	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	3.185	1	外壁幅木(西)
2	25	1	0	1	1.9	0.0002	1.3	2.0	0	3	西窓16507垂直
2	25	1	0	0	1.9	0.0002	1.3	0	1.65	1	西窓16507下水平
2	25	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	1.65	1	西窓16507上水平
2	27	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	8.645	1	外壁幅木(北)
2	27	1	0	1	1.9	0.0002	0	2.4	0	2	玄関ドア 垂直2本
2	27	1	0	0	1.9	0.0002	2.4	0	0.90	1	玄関ドア 上水平
2	27	1	0	0	1.9	0.0006	0	0	0.90	1	玄関ドア 下水平
2	27	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2	0	4	北窓06009垂直2カ所
2	27	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	0.60	2	北窓06009下水平2カ所
2	27	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	0.60	2	北窓06009上水平2カ所
2	27	1	0	1	1.9	0.0002	0	2.0	0	2	北窓08920(キッチンア)
2	27	1	0	0	1.9	0.0002	0	0	0.69	1	北窓08920(キッチンア)
2	27	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	0.69	1	北窓08920(キッチンア)
2	29	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	3.64	1	外壁幅木(東)
2	29	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2.0	0	2	東窓06009
2	29	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	0.6	1	東窓06009
2	29	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	0.6	1	東窓06009
3	1	-1									
3	2	-1									
3	4	1	1	0	2	0.06	2.4	0	27.98	1	間仕切内上部(開放)
3	8	1	-1	0	1.74	0.00019	0	0	15.47	1	間仕切内下部(土台片側)
3	9	1	-1	0	1.74	0.00019	0	0	27.75	1	間仕切内下部(土台片側)
4	1	-1									
4	2	-1									
4	3	-1									
4	7	1	1	0	1.74	0.00037	0.5	0	28.665	1	2階間仕切下(両側)
4	15	1	0	0	1.29	0.00010	0.22	0	8.645	1	階間南 胴差下
4	15	1	0	0	1.24	0.00006	0.46	0	8.645	1	階間南 胴差上
4	17	1	0	0	1.29	0.00010	0.22	0	7.28	1	階間西 胴差下
4	17	1	0	0	1.24	0.00006	0.46	0	7.28	1	階間西 胴差上
4	19	1	0	0	1.29	0.00010	0.22	0	8.645	1	階間北 胴差下
4	19	1	0	0	1.24	0.00006	0.46	0	8.645	1	階間北 胴差上
4	21	1	0	0	1.29	0.00010	0.22	0	7.28	1	階間東 胴差下
4	21	1	0	0	1.24	0.00006	0.46	0	7.28	1	階間東 胴差上
5	1	-1									
5	6	1	0	1	1.8	0.0025	0	1.97	0	4	内部ドア(閉)2カ所垂直2本
5	6	1	0	0	1.9	0.010	0	0	0.70	2	内部ドア(UC)水平1本
5	6	1	0	0	1.8	0.0025	2.0	0	0.70	2	内部ドア(上部)水平1本
5	7	1	0	0	1.16	0.00012	0	0	23.66	1	間仕切幅木下全長
5	7	1	0	0	1.41	0.00020	0.2	0	1	3	コンセント
5	7	1	0	0	1.41	0.00020	1.2	0	1	3	スイッチ
5	10	1	1	0	1.16	0.00012	2.4	0	52.78	1	天井全周長
5	10	1	1	0	1.3	0.0001	2.4	0	1	6	照明器具
5	15	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	8.645	1	外壁幅木下(南)
5	17	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	4.095	1	外壁幅木下(西)
5	21	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	3.64	1	外壁幅木下(東)
5	24	1	0	1	1.9	0.0002	0.2	2.0	0	6	南窓18518 2カ所
5	24	1	0	0	1.9	0.0002	0.2	0	1.65	2	南窓18518 2カ所
5	24	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	1.65	2	南窓18518 2カ所

5	24	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2.0	0	2	南窓16509
5	24	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	1.65	1	南窓16509
5	24	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	1.65	1	南窓16509
5	24	1	0	0	2	0.001	2.2	0	1	2	給気口 2カ所
5	26	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2.0	0	2	西窓06009
5	26	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	0.6	1	西窓06009
5	26	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	0.6	1	西窓06009
5	30	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2.0	0	2	東窓06009
5	30	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	0.6	1	東窓06009
5	30	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	0.6	1	東窓06009
6	2	-1									
6	5	-1									
6	7	1	0	0	1.16	0.00012	0	0	22.75	1	間仕切幅木下全長
6	7	1	0	0	1.41	0.00020	0.2	0	1	4	コンセント
6	7	1	0	0	1.41	0.00020	1.2	0	1	4	スイッチ
6	10	1	1	0	1.16	0.00012	2.4	0	47.32	1	天井周長
6	10	1	1	0	1.3	0.0001	2.4	0	1	5	照明器具
6	17	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	3.185	1	外壁幅木下(西)
6	19	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	8.645	1	外壁幅木下(北)
6	21	1	0	0	1.16	0.00007	0	0	3.64	1	外壁幅木下(東)
6	28	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2.00	0	6	北窓16509 2カ所
6	28	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	1.65	2	北窓16509 2カ所
6	28	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	1.65	2	北窓16509 2カ所
6	28	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2.00	0	2	北窓06009
6	28	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	0.60	1	北窓06009
6	28	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	0.60	1	北窓06009
6	28	1	0	1	1.9	0.0002	0	0.9	0	2	北窓06009(階段部)
6	28	1	0	0	1.9	0.0002	0	0	0.60	1	北窓06009(階段部)
6	28	1	0	0	1.9	0.0002	0.9	0	0.60	1	北窓06009(階段部)
6	30	1	0	1	1.9	0.0002	1.1	2.0	0	2	東窓06009
6	30	1	0	0	1.9	0.0002	1.1	0	0.6	1	東窓06009
6	30	1	0	0	1.9	0.0002	2.0	0	0.6	1	東窓06009
7	4	-1									
7	5	-1									
7	6	-1									
7	10	1	1	0	1.21	0.00018	2.4	0	28.67	1	間仕切内上(気流止め)
8	3	-1									
8	9	1	0	0	2	0.008	0.3	0	9.1	1	基礎パッキン(内部)
8	9	1	0	1	2	0.6	0	0.3	0.6	3	基礎 人通り 3カ所
8	23	1	0	0	2	0.004	0.3	0	8.645	1	基礎パッキン(南)
8	25	1	0	0	2	0.004	0.3	0	4.095	1	基礎パッキン(西)
8	29	1	0	0	2	0.004	0.3	0	3.64	1	基礎パッキン(東)
9	2	-1									
9	3	-1									
9	8	-1									
9	25	1	0	0	2	0.004	0.3	0	3.185	1	基礎パッキン(西)
9	27	1	0	0	2	0.004	0.3	0	8.645	1	基礎パッキン(北)
9	29	1	0	0	2	0.004	0.3	0	3.64	1	基礎パッキン(東)
10	5	-1									
10	6	-1									
10	7	-1									
10	11	1	0	0	2	0.03	0.35	0	8.645	1	桁上垂木高(南)
10	12	1	0	0	2	0.03	0.35	0	7.28	1	桁上垂木高(西)
10	13	1	0	0	2	0.03	0.35	0	8.645	1	桁上垂木高(北)
10	14	1	0	0	2	0.03	0.35	0	7.28	1	桁上垂木高(東)
11	10	-1									
11	16	1	-1	0	2	0.0036	0	0	3.185	1	通気層上(南)窓除く
11	24	1	-1	0	2	0.0123	0	0	1	5	軒裏換気口(南)
12	10	-1									
12	18	1	-1	0	2	0.0036	0	0	3.64	1	通気層上(西)窓除く
12	26	1	-1	0	2	0.0123	0	0	1	4	軒裏換気口(西)
13	10	-1									
13	20	1	-1	0	2	0.0036	0	0	3.185	1	通気層上(北)窓除く
13	28	1	-1	0	2	0.0123	0	0	1	5	軒裏換気口(北)
14	10	-1									
14	22	1	-1	0	2	0.0036	0	0	5.46	1	通気層上(東)窓除く
14	30	1	-1	0	2	0.0123	0	0	1	4	軒裏換気口(東)
15	4	-1									
15	5	-1									
15	16	1	1	0	2	0.0036	3.06	0	3.185	1	通気層上(南)窓除く
15	23	1	0	0	2	0.0036	0	0	3.185	1	通気層下部(水切り部)
16	11	-1									
16	15	-1									
17	4	-1									
17	5	-1									
17	6	-1									
17	18	1	1	0	2	0.0036	3.06	0	3.64	1	通気層上(西)窓除く
17	25	1	0	0	2	0.0036	0	0	3.64	1	通気層下部(水切り部)
18	12	-1									
18	17	-1									
19	4	-1									
19	6	-1									
19	20	1	1	0	2	0.0036	3.06	0	3.185	1	通気層上(北)窓除く
19	27	1	0	0	2	0.0036	0	0	3.185	1	通気層下部(水切り部)
20	13	-1									
20	19	-1									
21	4	-1									
21	5	-1									
21	6	-1									
21	22	1	1	0	2	0.0036	3.06	0	5.46	1	通気層上(東)窓除く
21	29	1	0	0	2	0.0036	0	0	5.46	1	通気層下部(水切り部)
22	14	-1									
22	21	-1									

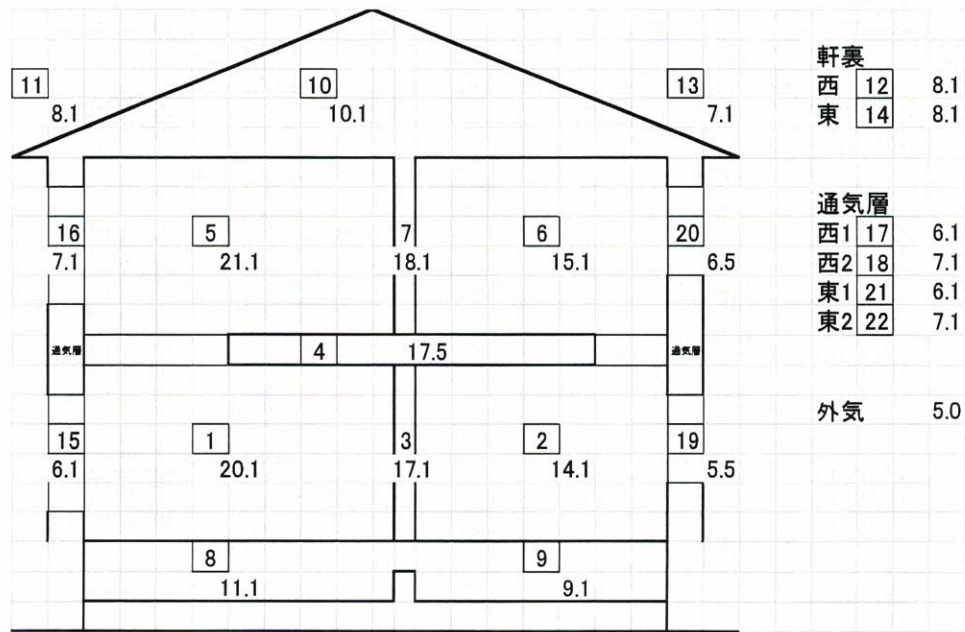


図 6-1 各部空間の温度設定値

6.1.2 換気回路網計算結果

換気回路網計算の結果を図 6-2 に示す。図中の数値は流量 [m³/h] である。

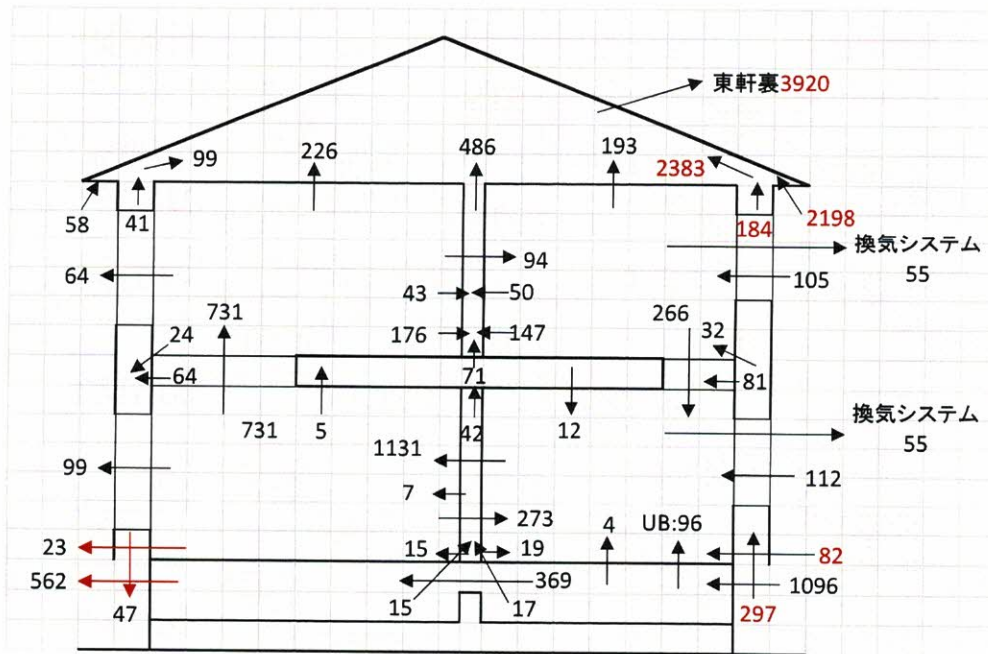


図 6-2 各部の通気量[m³/h]

6.2 CFD 解析

6.2.1 解析対象モデル

モデルを図 6-3 に示す。以下に主要な要素と解析条件を示す。

延床面積：66.2 m² (1 階 33.1 m²、2 階 33.1 m²)

熱損失係数：1.6W/(m²・K) 断熱材 (屋根・壁・床)・・・XPS3 種 100mm

開口部・・・樹脂サッシ、Low-E 複層ガラス 相当隙間面積：0.5、5.0cm²/m²

暖房方式：電気パネルヒータ、1200W×2 台を各室 (窓際) に設置

室中央の温度が 23℃になるように ON/OFF を制御

換気方式：第 3 種、排気セントラル (2 階ホールに排気口、各居室に自然換気口を設置)

室内ドアはすべて開放する

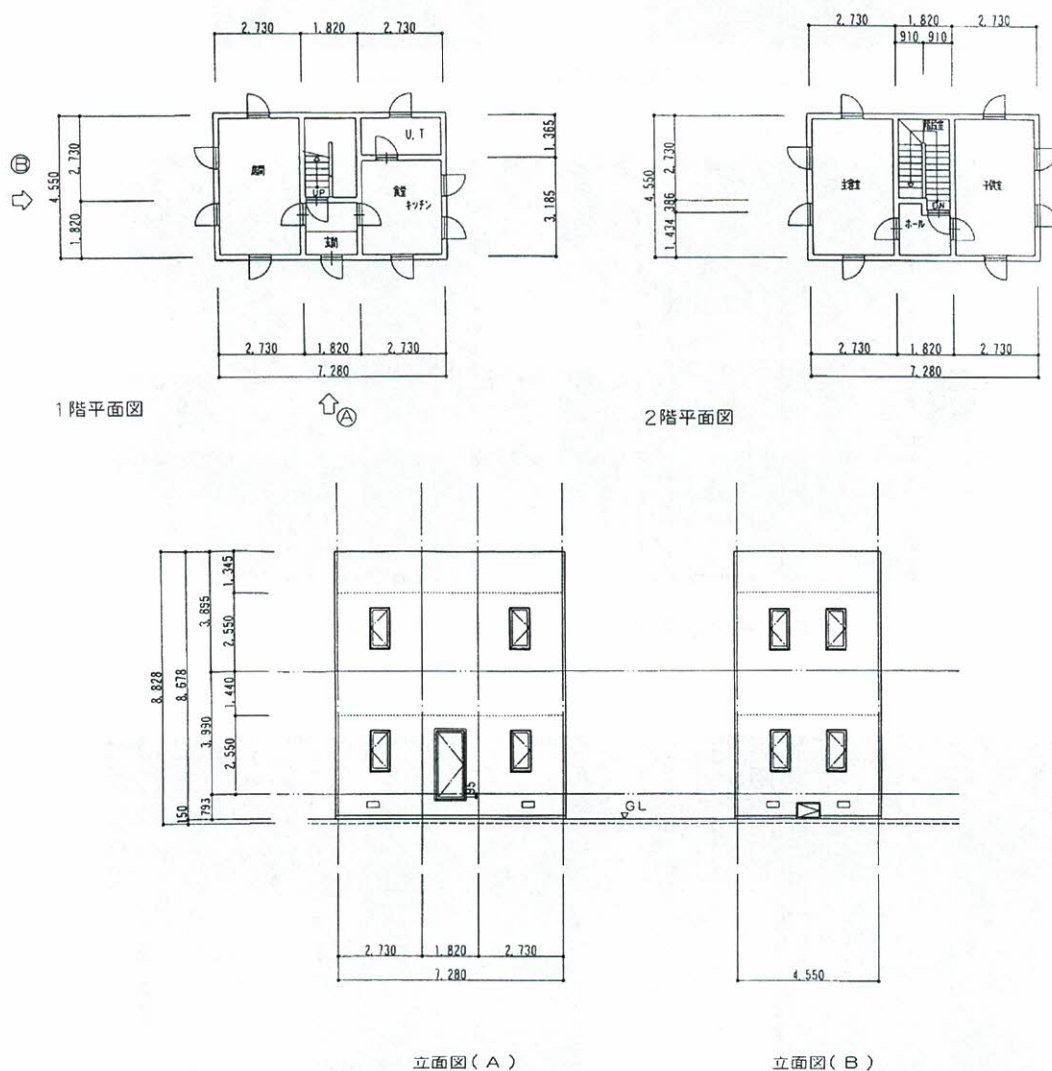


図 6-3 解析モデル

6.2.2 CFD 解析結果

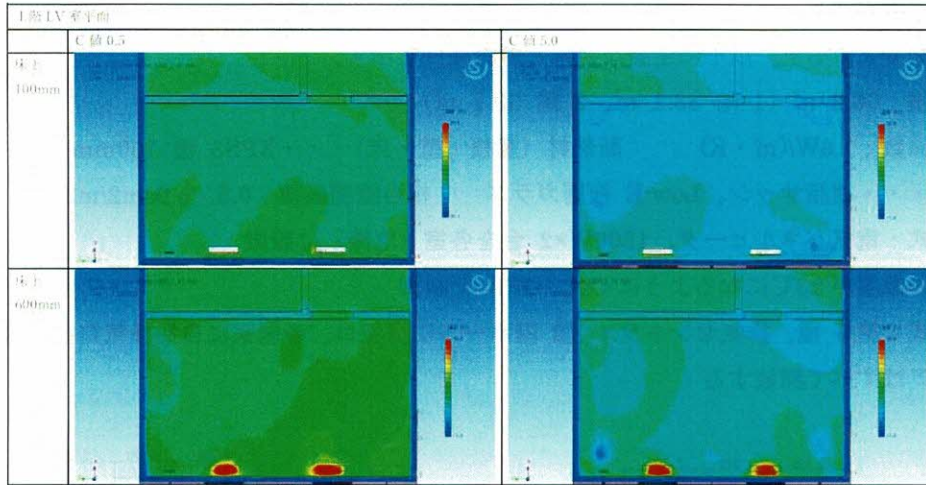


図 6-4 平面温度分布(床上 100mm,600mm)

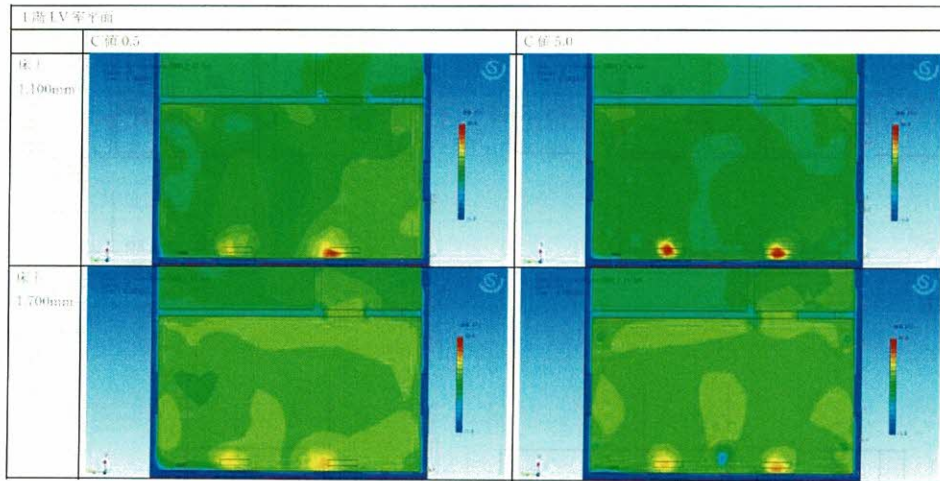


図 6-5 平面温度分布(床上 1,100mm,1700mm)

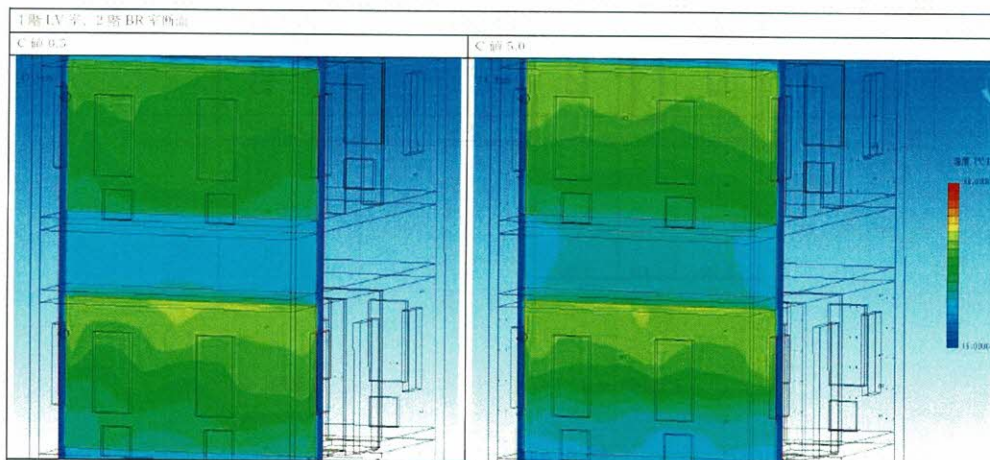


図 6-6 鉛直面温度分布(1階LV,2階BR室)

7. まとめと今後の課題

本研究ではまず、欧米における気密性能基準に関する調査を行い、多くの国が 50Pa 時の換気回数で規定していることを把握した。建物の気積が基本になっていることは、推奨水準に活かしていきたい。次に設計要素と気密性能分析を行い、高气密になると窓面積や窓種類が住宅全体の気密性能への影響が大きくなることが分かった。各部の試験体測定では、各部の隙間特性を把握した。これを今後のシミュレーションに活かしていく。これまでも実施してきた実状の内外差圧測定では、今回初めて気密性能が 1.0 [cm²/m²] を切るような物件を測定し、簡易計算も行ったところ、高气密の住宅では換気システムの収支によって、内外差圧は大きく影響を受けることが分かった。

気密性能の違いによる室内環境 CFD 解析については、換気回路網計算で若干不適切な数値が算出され、まだ計算方法の工夫が必要であり、また CFD 解析についても諸条件を検討する必要がある結果となった。今後も検討を続けていく。

また、本研究助成の応募時の実験計画で示した施工のポイントについては、作業を進めているものの提示には至らなかった。しかしながら、今年度中に HEAT20 設計 WG にて設計ガイドブックの出版を予定しており、ここには本研究の成果である、推奨気密性能とエビデンス、施工のポイントを掲載する予定である。

なお、これまでの成果として、試験体による気密性能の把握と実態調査結果を 2020 年日本建築学会大会に投稿した。APPENDIX-1 に添付する。また、本研究テーマについて検討してきた HEAT20 の体制と気密 TG の議事録も参考として APPENDIX-2 に添付する。

APPENDIX-1

日本建築学会大会（2020年）投稿論文

木造戸建住宅の気密性能に関する研究

その1 試験体による各種取合い部の隙間特性

戸建住宅 気密性能 隙間風

準会員 ○上村 比呂風*1
 正会員 松岡 大介*2
 正会員 金子 友昭*3

1. はじめに

近年、住宅における断熱と健康の関係が明らかになってきたことから、超高断熱な住宅の普及が進んでいる。同時に、それらの建設会社においては、気密性能に対する関心が高まってきている。この理由は、高断熱化により、石油ファンヒーターのように大量の熱量を投入する暖房から、ルームエアコンなどによるマイルドな熱の投入で室温の維持が可能となり、住宅内温度が均一に近づくことで、僅かな隙間風も気になるようになるためと推察される。このような室内環境を評価する場合の隙間からの通気量の推定は、住宅全体や居室の換気量を推定する場合より、その場所や通気量（漏気量）に高い精度が要求される。そこで本研究では、住宅各部の精度の高い通気量を計算できるようにするため、試験体による各種取合い部の隙間特性（通気率と隙間特性値）の把握を行った。これらの数値はこれまでもいくつか報告されているが¹⁾²⁾、1つの取合い部での断面形状が単一のものが多い。しかし実際には、例えば床合板であれば、柱部で欠き込まれ、そこに隙間が生じる。服部ら³⁾の研究はこれを考慮しているが、外壁面材部を気密面と想定しており、断熱材と内装下地材を含めた部位の気密性能は把握していない。そこで本報では、試験体の長手方向を1.82(m)とし、柱や梁などによる面材の欠き込みを考慮した試験体を作製した。

2. 測定概要と取合い部

2.1 測定概要

測定装置の概要を図1に示す。図中の矢印はファンの流れ方向を示している。気密箱の寸法は0.91×0.91×1.82(m)で、図1の試験体の奥行方向は図2に示すように柱、間柱を設けている。試験体は冬期の隙間気流の方向に設置し、測定対象部以外を気密テープで密閉した。ファンの回転数を制御し任意の点で、通気量、箱内外差圧、温度を測定した。得られた差圧と通気量から別途測定した気密箱の通気量を差し引き、最小二乗法によって近似曲線を求め、通気率と隙間特性値を求めた。

2.2 取合い部の概要

今回の住宅における対象部位を図3に、取合い部名称と仕様を表1に、詳細図を図4~7に示す。なお、それぞれの表と図において、グラスウールはGWと表記する。図4(2)は図4(1)の、図6(2)、6(3)は図6(1)の丸で囲んだ箇所の詳

細である。外壁と1階床(図4)については、断熱材付属のポリエチレンフィルムまたは別張り防湿フィルムを床合板に折り込みフローリングで押さえた。土台と床合板の間を目張りし、外気と室内の通気経路に限定した。胴差下部(図5)については、外気から階間空間への通気経路を測定対象とした。断熱材のフィルムは胴差にステーブルで止め、せっこうボードで押さえつけている。壁と最上階天井の取合い部(図6)、間仕切壁内上部(図6(2)、6(3))は同一の試験体で目張り箇所を変えてそれぞれ測定した。各仕様で試験体は大工2名にそれぞれ作製してもらった。ただ防湿材付きグラスウール気流止め(試験体E-1)は2体ずつ作製し、C-1も壁内の条件が同様であるため、防湿材付きグラスウール気流止めを施工し、6体分の測定を行った。



図1 測定装置

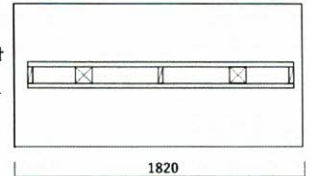


図2 試験体奥行方向

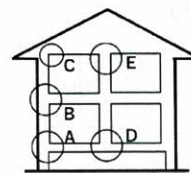


図3 試験対象部位

表1 取合い部名称と仕様

取合い部位	仕様
A.外壁と1階床	1 防湿材付き断熱材有・普通幅木
	2 防湿材付き断熱材有・気密幅木
	3 標GW・別張り防湿フィルム
B.胴差下部	1 防湿材付きGW有
	2 防湿材付きGW無
C.壁と最上階天井	1 天井突付け
	2 先張り防湿フィルム
D.間仕切壁と1階床	1 気密幅木
	2 普通幅木
E.間仕切壁内上部	1 防湿材付きGW気流止め
	2 内壁せっこうボード張り上げ
	3 木材気流止め
	4 木材気流止め・先張り防湿フィルム



図4(1) 外壁と1階床

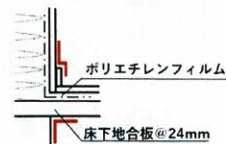


図4(2) 外壁と1階床詳細図

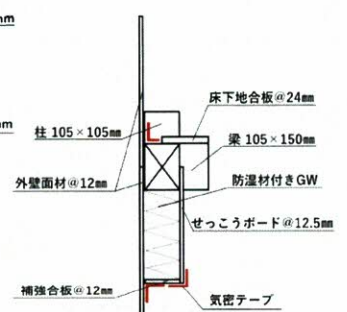


図5 外壁と1階天井

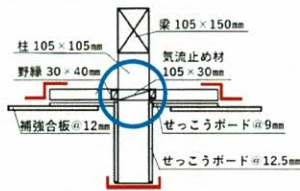


図 6(1) 壁と最上階天井

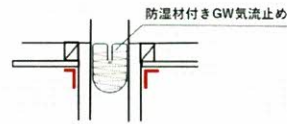


図 6(2) 間仕切壁内上部(E-1)

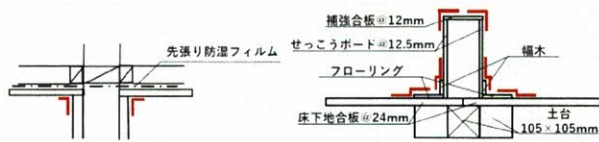


図 6(3) 間仕切壁内上部(E-4)

図 7 間仕切壁と1階床

3. 測定結果

測定結果を図 8～図 13 に示す。凡例の試験体ナンバーの後の括弧内の番号は大工の違いを表している。なお、図 12 の E-1 は施工大工は 2 名のため、番号の後にダッシュをつけて示した。図には試験体毎の近似曲線を点線で示し、それらの中央を通る近似曲線を実線で示し、近似式を記載した。この近似式をその仕様の隙間特性とした。

外壁と 1 階床の取合い部 (図 8) は、どの仕様も施工のばらつきが小さくなった。胴差下部 (図 9) においては、防湿材付きグラスウールが有る場合と無い場合の差が大きく、無しの場合は施工のばらつきが大きくなった。壁面せっこうボードと天井せっこうボードの取合い部 (図 10) は、突付けの場合と先張り防湿フィルムとの通気量の差は約 3 倍あった (30Pa 時)。また、突付けの場合は施工のばらつきが大きくなった。間仕切壁内の防湿材付きグラスウール気流止め (図 12) は、施工によるばらつきは今回の仕様の中で一番大きくなった。一方、木材気流止め・先張り防湿フィルム (図 13) は、通気量、施工のばらつきともに極小であった。木材による気流止めは内壁せっこうボード張り上げより通気量は小さいが施工のばらつきが大きくなった。

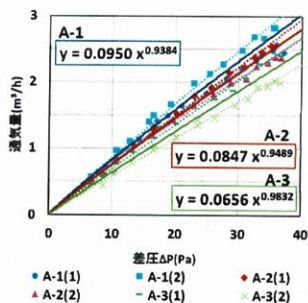


図 8 外壁と1階床

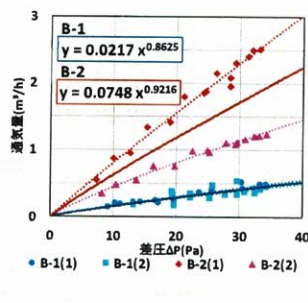


図 9 胴差下部

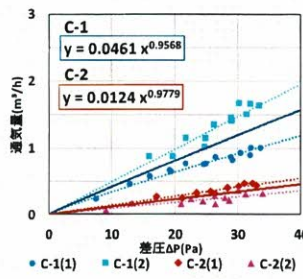


図 10 壁と最上階天井

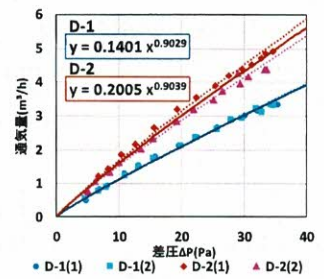


図 11 間仕切壁と1階床

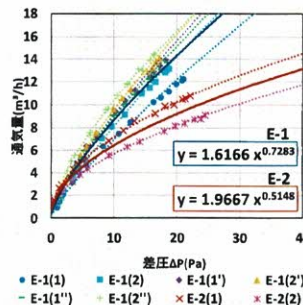


図 12 間仕切壁内上部 1

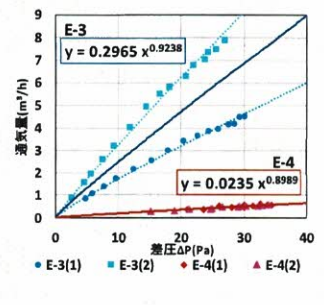


図 13 間仕切壁内上部 2

4. まとめ

以上で得られた通気率 (a 値)、隙間特性値 (n 値)、単位長さ当りの相当隙間面積 αA 、および施工による単位長さ当りの αA の範囲を表 2 にまとめる。今後は床根太工法などの築古住宅の取合い部についても実施していく予定である。

表 2 実験結果

試験体No.	a 値	n 値	αA [cm ² /m]	$\Delta \alpha A$ [cm ² /m]
A-1	0.0950	1.07	0.331	±0.023
A-2	0.0847	1.05	0.302	±0.001
A-3	0.0656	1.02	0.253	±0.045
B-1	0.0217	1.16	0.063	±0.004
B-2	0.0748	1.09	0.248	±0.142
C-1	0.0461	1.05	0.166	±0.060
C-2	0.0124	1.02	0.047	±0.020
D-1	0.1401	1.11	0.449	±0.009
D-2	0.2005	1.11	0.644	±0.057
E-1	1.6166	1.37	3.463	±1.392
E-2	1.9667	1.94	2.583	±0.612
E-3	0.2965	1.08	0.989	±0.613
E-4	0.0235	1.11	0.074	±0.000

【使用測定器】

クランプオン式気体流量計: キーエンス FD-G25 測定範囲: 0~32 (m³/h)
デジタル微差圧計: 長野計器 GC32 測定範囲: ±50 (Pa)
サーモレコーダー: エスベックミック RS-14

【謝辞】

本研究の一部は、(一財)住環境財団の助成を受け「2020 年を見据えた住宅の高断熱化技術開発委員会 (HEAT20) (委員長: 坂本雄三、東京大学名誉教授) 気密 TG でも検討された。関係各位に謝意を表する。

【参考文献】

- 布井, 鈴木, 本間, 他: 住宅における各種気密ジョイント部の気密性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp3-4, 2000 年 9 月
- 坂部, 鈴木, 伊庭, 他: 枠組壁工法住宅の躯体を構成する部位の隙間特性の把握と気密性能の研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp353-356, 2005 年 8 月
- 服部, 坂本: 木造軸組住宅の納まり別気密性能と高気密化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp325-326, 2004 年 8 月

*1 ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 学部長
*2 ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 准教授 博士 (工学)
*3 ものつくり大学 ものつくり学研究所 大学院生

*1 Student, Institute of Technologists
*2 Assoc. Prof., Institute of Technologists, Dr. Eng.
*3 Graduated Student, Institute of Technologists

木造戸建住宅の気密性能に関する研究

その2 高気密住宅の冬期の内外差圧の実状

正会員 ○金子 友昭*1
正会員 松岡 大介*2

戸建住宅 気密性能 内外差圧

1. はじめに

近年、住宅における断熱性能と健康の関係が明らかになってきたことから、超高断熱な住宅の普及が進んでいる。同時にそれらの建設会社においては、気密性能に対する関心が高まってきている。一方で、居室内の CFD による温度分布や快適性に関する評価も多くなってきている。しかし各取合い部、例えば1階床と外壁の取合い部からの外気流入量や風速に関しては、明確な根拠がない。そこで、実状の特に暖房時の夜間における住宅各部の通気量（漏気量）を把握することを目的として、これまで埼玉県さいたま市に建つ木造2階建て住宅のM邸〔気密性能C値（以下C値） $2.4\text{cm}^2/\text{m}^2$ 〕およびN邸〔C値 $3.65\text{cm}^2/\text{m}^2$ 〕の2棟について冬期の内外差圧の測定を行ってきた^{1) 2)}。本報では、さらにC値が1.0を切るような超高気密住宅において測定のお機会を得たので、その結果を報告する。加えて、これまでの測定結果を基に気密性能と内外差圧の関係について、簡易住宅モデルの換気計算により検討した。

2. 内外差圧実測

2.1 実測概要

実測は埼玉県秩父市にある、木造軸組み工法の2階建て住宅Y邸で行った（築半年C値 $0.2\text{cm}^2/\text{m}^2$ ）。平面図を図1に、断熱仕様を表1に示す。24h換気は第一種の集中換気システムであるが、浴室のみ局所の24h排気ファンが設けられている。なお、実測終了後に各換気扇の通気量を測定した。結果を表2に示す。住宅全体の収支は $-16(\text{m}^3/\text{h})$ であった。Y邸の周辺状況は南西側に平屋の倉庫（写真1の左奥）があるが、それ以外は開けている状況であった。

測定については、差圧計は2階の子供部屋①に設置、低圧側を開放し、高圧側を導圧チューブで東側地表面（図1●）とリビング床面（図1■）に設置した。温度計は東面外気の導圧チューブ近くに地表から高さ1.0(m)、リビングは床面から1.8(m)、2階子供部屋①に床から高さ0.9(m)に設置した。実測期間は2020/1/30から2/4で測定インターバルは差圧計は2秒、温度計は5分とした。

2.2 実測結果

差圧は測定された温度で導圧チューブ内の空気重量の

影響を除去し、1階床高さ、2階天井高さの内外差圧（流入側を正とする）を求め、当刻時刻を中心とする5分間の平均を解析に用いた。測定期間中の温度変動を図2に、差圧の変動を図3に示す。また図4に、気象庁の風向風速観測値を示す。

1階床高さにおける差圧変動は12~16(Pa)、2階天井高さにおいては7~13(Pa)の変動であった。日中は変動が激しく1階床高さは8(Pa)~20(Pa)、2階天井高さは6(Pa)~16(Pa)であり、両者ともに突発的に50(Pa)以上になることもあった。夜間は安定した差圧変動で1階床高さは12~14(Pa)、2階天井高さは8~10(Pa)であった。



図1 Y邸平面図（左1F 右2F）

表1 Y邸の断熱仕様

延べ床面積(m ²)	192.0	気密性能C値(cm ² /m ²)	0.20
断熱仕様	屋根	吹付硬質ウレタンフォーム t=250mm	
	外壁	室外側 A種フェノールフォーム保温板1種2号 t=90mm 室内側 吹付硬質ウレタンフォーム t=80mm	
	基礎	室外側 ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板特号 t=75mm 室内側 A種フェノールフォーム保温板1種2号 t=45mm	
	窓	樹脂サッシ 断熱複層Low-Eガラス（一部真空ガラス）	

表2 Y邸各所の通気量

場所	給排気	通気量(m ³ /h)
LDK	給気	150
浴室	排気	8
玄関収納	排気	22
1Fトイレ	排気	22
2Fトイレ	排気	22
子供室①	排気	23
子供室②	排気	23
子供室③	排気	23
主寝室	排気	23



写真1 Y邸外観（南東方向より）

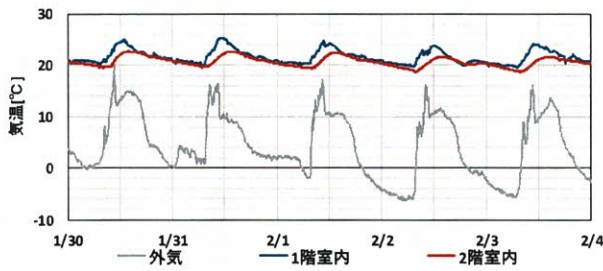


図2 温度変動

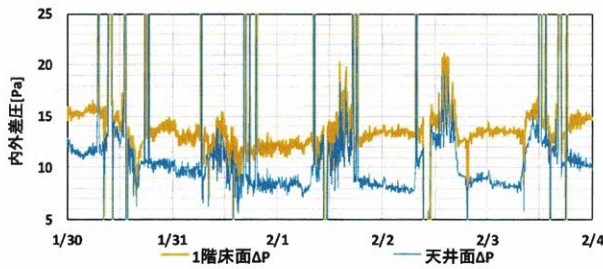


図3 内外差圧変動

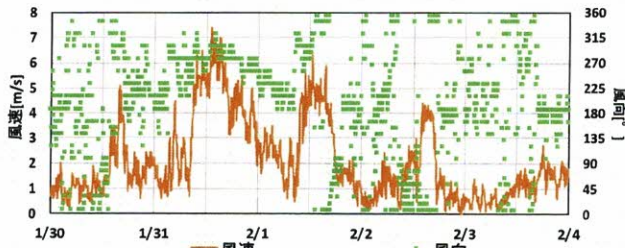


図4 風向風速変動 (気象庁観測値)

3. 簡易住宅モデルによる換気計算

3.1 計算概要

簡易住宅モデルにおいて換気計算を行い、気密性能 C 値と内外差圧の関係について検討した。住宅モデルは学会標準問題を参考に居室を1室としたモデルで、隙間は窓のサッシ枠および召し合わせ部分とした。その隙間特性値を1.9として、設定C値となるようにした単位長さ当りの通気率を適用した。図5にモデルの立面図を示す。24h換気の換気量は第3種換気についてはこれまで測定してきた住宅を参考に、M邸、N邸の排気ファンの測定流量から求めた64(m³/h)の排気量を与えた。第1種換気については本報のY邸を参考に23(m³/h)の排気量を与えた。計算C値は第3種換気は0.5~3.5まで0.5刻みで、第1種は0.2、0.5、1.0を実施した。設定した窓枠の通気率と排気量を表3に示す。温度は外気5(°C)室内20(°C)とした。

3.2 計算結果

1階床高さとして2階天井高さにおける、C値と外壁の内外差圧の関係を図6、7に示す。これまで測定した各邸の夜間の差圧幅も図中に示した。計算の結果はこれまでに測定した各邸の実測値と近い値を示している。ただし、図6、

7から換気システムの流入出の収支によって大きく影響を受けることがわかる。Y邸レベルの場合、この結果に外部風3.0(m/s)、風圧係数を0.4とした動圧を加えると外壁内外差圧は、1階床高さにおいて、16.4(Pa)、2階天井高さでは13.1(Pa)となる。

4. まとめ

埼玉県秩父市の超高気密住宅の内外差圧測定結果と気密性能に応じた推定外壁内外差圧を示した。C値0.2(cm²/m²)レベルでは1階床高さにおける静圧変動は12~16(Pa)で2階天井高さにおいては7~13(Pa)であった。

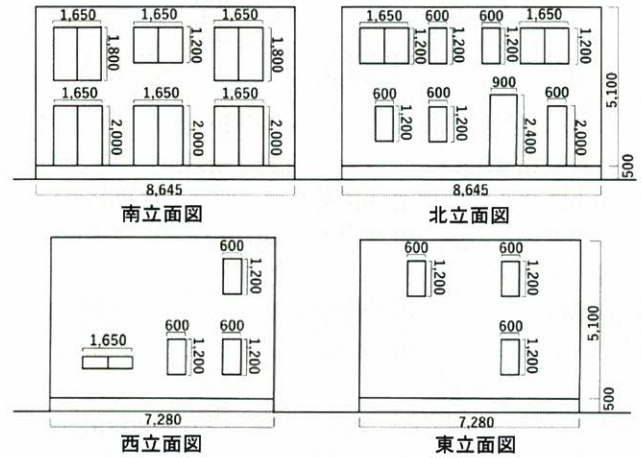


図5 換気計算モデルの立面

表3 窓枠の通気率と居室の排気量

設定C値 [cm ² /m ²]	通気率 [(m ³ /s)/m]	排気量 [m ³ /h]	備考
0.2	2.53E-05	23	Y邸
0.5	6.32E-05	23 / 64	
1.0	1.26E-04	23 / 64	
1.5	1.90E-04	64	
2.0	2.53E-04	64	
2.5	3.16E-04	64	M邸
3.0	3.79E-04	64	
3.5	4.42E-04	64	N邸

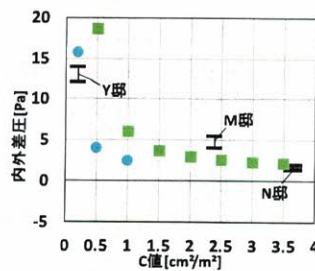


図6 C値と外壁内外差圧(1階床高さ)

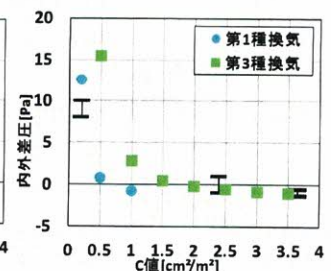


図7 C値と外壁内外差圧(2階天井高さ)

【使用測定器】

風量計:KANOMAX MODEL6750 測定範囲:±8~600 m³/h
微差圧計:長野計器 GC30 測定範囲:±50Pa
サーモレコーダー:エスベックミック RS-14

【参考文献】

- 1)松岡:戸建て住宅における冬の外壁内外差圧の実状, その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学II, pp103-104, 2018年9月
- 2)金子, 松岡:戸建て住宅における冬の外壁内外差圧の実状, その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学II, pp355-356, 2019年9月

*1 ものつくり大学 ものつくり学研究所 大学院生

*2 ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 准教授 博士 (工学)

*1 Graduate Student, Institute of Technologists

*2 Assoc.Prof., Institute of Technologists, Dr. Eng.