

4. 各取り合い部の気密試験

4.1 測定概要

4.1.1 測定方法

測定装置の概要を図 4-1 に、測定時の様子を写真 4-1 に示す。図 4-1 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 910×1820×910 (mm) であり骨組みとなる、30×40 (mm) の角材と構造用合板によって構成される。気密箱の一面を試験体設置箇所として、試験体の脱着により、数種類の試験体測定を行った。試験体設置面の対面を測定器の設置面として、φ100 (mm) の穴を開け、換気ファンを設置した。開けた穴の前には、空気の流れが整流になるよう拡散板を設けた。また測定器同一面に、差圧計チューブを通せる穴を開けた。測定器の接合部、箱の出隅は目張りをし、空気の漏れがないよう確実に密閉した状態で実験を行った (図 4-1、写真 4-1)。試験体は冬期の隙間気流を想定した流れ方向になるよう設置した。測定は電圧変換器でファンの流量を調整し (任意の点)、超音波流量計により通気量を、微差圧計により気密箱内外差圧を測定した。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。測定に使用したセンサーの概要を表 4-1 に示す。

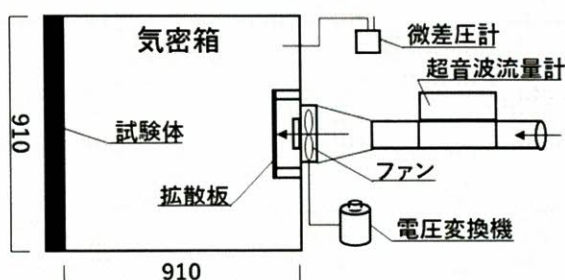


図 4-1 測定装置



写真 4-1 測定風景

表 4-1 使用センサー表

| 測定器 | 測定タイプ・メーカー | 応答速度・精度など |
|-----|--------------------------------|----------------------------------|
| 温度計 | サーモレコーダー エスベックミック社製 RT-14 | 精度：±0.3°C[-20~80°C] 応答時間：1min |
| 差圧計 | デジタル微差圧計 長野計器社製 GC-32 | 精度±1.5% 応答速度：100ms以下 |
| 流量計 | クランプオン式気体流量計 キーエンス社製 FD-G25 | 精度：±2.0% 応答時間：1s |

4.1.2 試験体概要

住宅における測定対象部位を図 4-2 に、測定を行った試験体の仕様表を表 4-2 に、試験体作製風景を写真 2 に、試験体 A、B、C、D の断面図また測定時の目張り箇所を図 4-3~4-6 に示す。試験体は測定装置である気密箱に設置できるように 1820×910(mm)サイズとし、試験体数は大工による施工のばらつきを見るため各 2 体ずつとした。試験体ナンバー A-1 および C-2 は取り付けたコンセントを気密カバー有りのものとし、計 4 体ずつとなっている。各試験体の取り合いや使用部材は住宅金融支援機構の木造住宅工事仕様書¹⁾を参考に行った。試験体 F については 1 枚の合板を壁面とし、各コンセントを気密カバー有り、無しで各 1 個ずつ取り付けられたものである。写真 4-2 に示すように試験体 A~D はすべて現役大工 2 名に施工を依頼した。また、試験体 E のサッシについてもサッシ施工経験のある技能者に作製を依頼した。

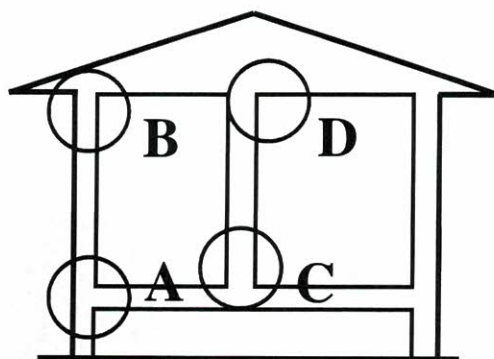


図 4-2 測定対象部位

表 4-2 試験体仕様表

| 取合い部位 | 仕様 | No | 数量 |
|---------------|--------------------|-----|----|
| A.外壁と1階床 | ①袋入り断熱材有・普通巾木 | A-1 | 4 |
| | ②断熱材無・普通巾木 | A-2 | 2 |
| | ③袋入り断熱材有・気密巾木 | A-3 | 2 |
| | ④裸GW・別張り気密シート | A-4 | 2 |
| B.外壁と最上階天井 | ①別張り気密シート有 | B-1 | 2 |
| | ②別張り気密シート無 | B-2 | 2 |
| C.間仕切り壁と1階床 | ①気密巾木 | C-1 | 2 |
| | ②普通巾木 | C-2 | 4 |
| D.間仕切り壁と最上階天井 | ①気流止め断熱材有 | D-1 | 2 |
| | ②気流止め断熱材有・先張り気密シート | D-2 | 2 |
| | ③気流止め断熱材有・見切り材 | D-3 | 2 |
| | ④気流止め断熱材有・廻り縁 | D-4 | 2 |
| E.サッシ | | E | 1 |
| F.スイッチ・コンセント | ①二口スイッチ | F-1 | 2 |
| | ②TV・LAN付コンセント | F-2 | 2 |
| | ③二口コンセント | F-3 | 2 |
| | ④TV付二口コンセント | F-4 | 2 |



写真 4-2 試験体作製

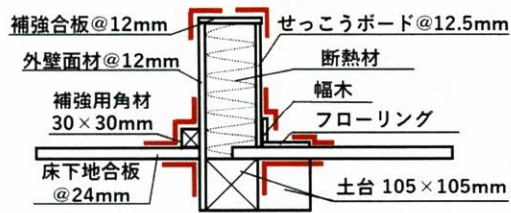


図 4-3 外壁と1階床

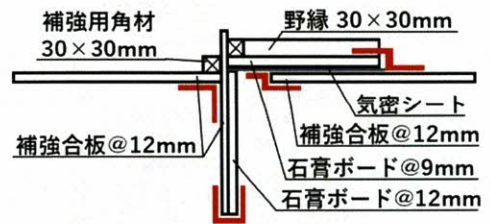


図 4-4 外壁と最上階天井

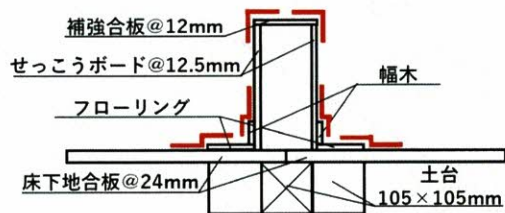


図 4-5 間仕切り壁と1階床

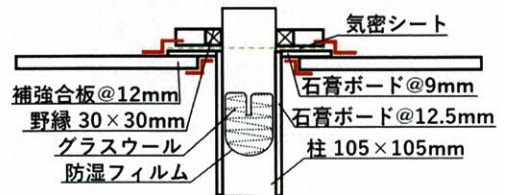


図 4-6 間仕切り壁と最上階天井

4.2 測定結果

A.外壁と1階床

外壁と1階床試験体の測定風景を写真4-3に、測定結果として試験体A-1~4の外気-室内の内外差圧と通気量の関係（以降、PQ線図）を図4-7~4-10に、壁内-室内のPQ線図を図4-11~4-14に示す。PQ線図は試験体毎の近似線を点線で示し、仕様毎の近似線を実線で示す。PQ線図の凡例において、試験体ナンバーの後につく小文字アルファベットは施工大工の違いを示す。図4-7~4-10の外気-室内では試験体A-4（裸GW別張り気密シート）が内外差圧30(Pa)時の流量が約3.0(m³/h)で一番小さく、気密性能が高いことがわかった。一方、1番気密性能が低かった試験体は断熱材無し・普通幅木のA-2で内外差圧30(Pa)時、通気量が3.8(m³/h)であった。断熱材有り・普通幅木のA-1と断熱材有り・気密幅木のA-3が差圧30(Pa)時、約0.3(m³/h)の差があり、気密幅木の効果を確認できた。また、図4-11~4-14の壁内-室内では各近似線のばらつきを見ると、同じ通気量の時でも柱、間柱間の空間ごとに内外差圧が異なることが分かった。



写真 4-3 外壁と1階床

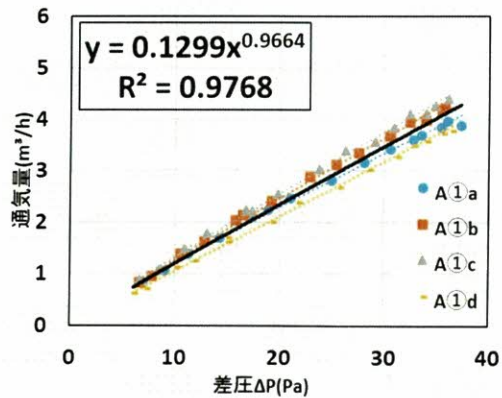


図 4-7 外壁と1階床 A-1 外気-室内

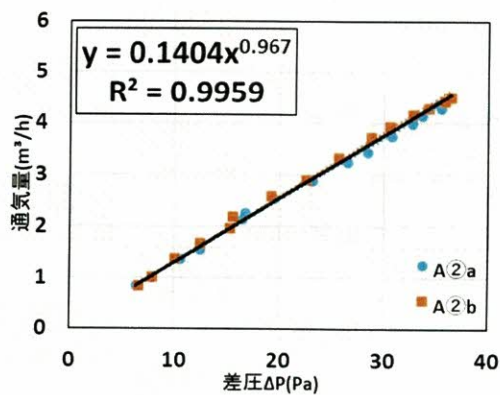


図 4-8 外壁と1階床 A-2 外気-室内

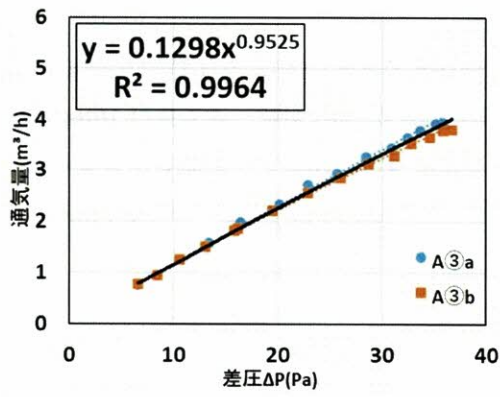


図 4-9 外壁と1階床 A-3
外気-室内

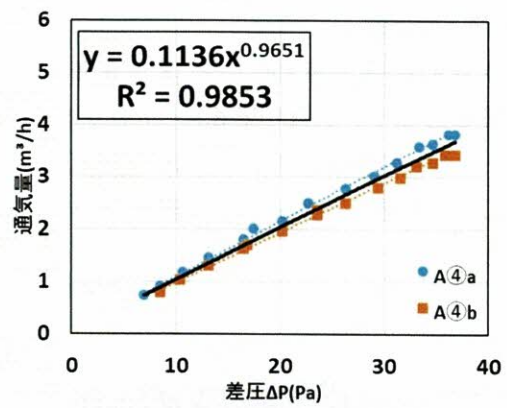


図 4-10 外壁と1階床 A-4
外気-室内

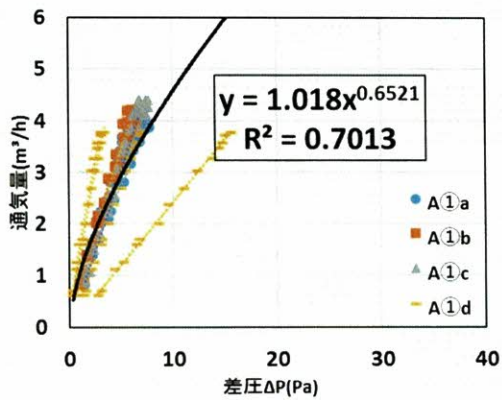


図 4-11 外壁と1階床 A-1
壁内-室内

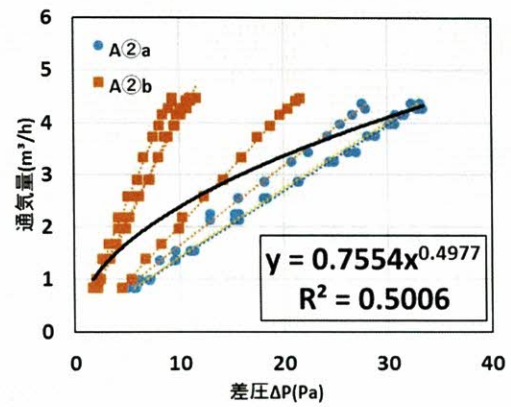


図 4-12 外壁と1階床 A-2
壁内-室内

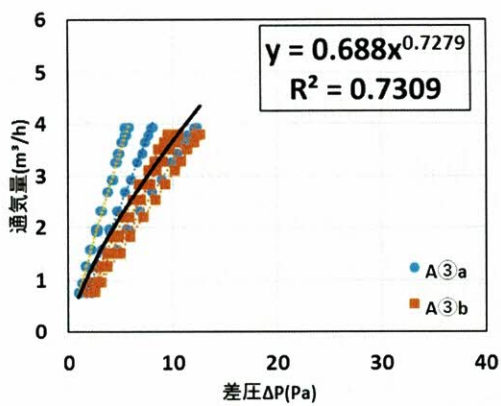


図 4-13 外壁と1階床 A-3
壁内-室内

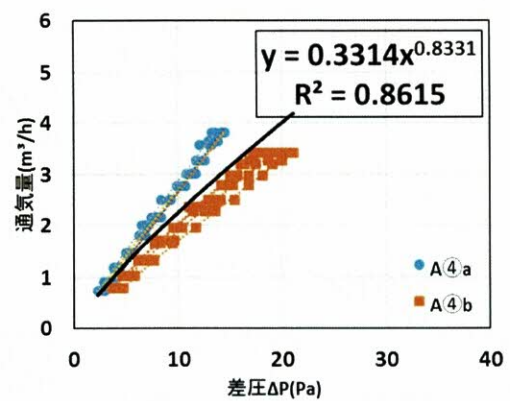


図 4-14 外壁と1階床 A-4
壁内-室内

B.外壁と最上階天井

試験体 B-2（外壁と最上階天井）を写真 4-4 に、試験体 B-1~2 の外気-室内の PQ 線図を図 4-15 に示す。図 4-15 より、別張り気密シート有りの B-1 は外気-室内差圧が 20(Pa)時、通気量が 10(m³/h)で気密シート無しの B-2 は約 16(m³/h)で大きく差があることが分かった。気密シート無しの B-2 においては大工による施工のばらつきも顕著であった。それに対し、気密シート有りの B-1 は施工のばらつきも B-2 に比べ小さい。



写真 4-4 外壁と最上階天井

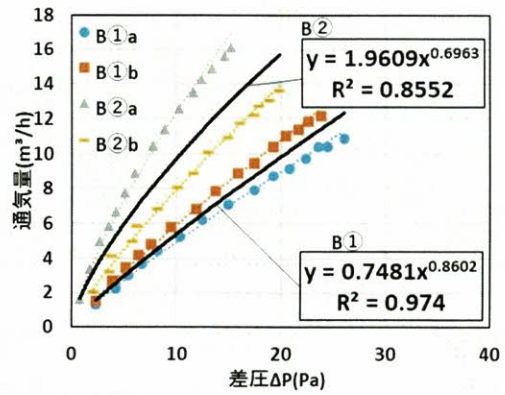


図 4-15 外壁と最上階天井 B1,2
外気-室内

C.間仕切り壁と1階床

間仕切り壁と1階床の試験体 C-2 の測定時の写真を写真 4-5 に、試験体 C-1,2 の床下・室内の PQ 線図を図 4-16 に、C-1 の壁内・室内の PQ 線図を図 4-17 に、C-2 の壁内・室内の PQ 線図を図 4-18 に示す。図 4-16 の各近似曲線を見ると、気密幅木(C-1)が床下・室内差圧が 30(Pa)時、通気量が約 4(m³/h)であるのに対し、普通幅木(C-2)は約(6m³/h)であり、試験体 A の外壁と1階床の普通幅木と気密幅木の差よりこちらの方が6倍近く大きかった。間仕切り壁と1階床は気密幅木の効果が大きいことが分かった。施工のばらつきは C-1 においてはほぼ無く、C-2 では1体だけ大きく他と乖離し、C-1 と比べるとばらつきが大きかった。



写真 4-5 間仕切り壁と1階床

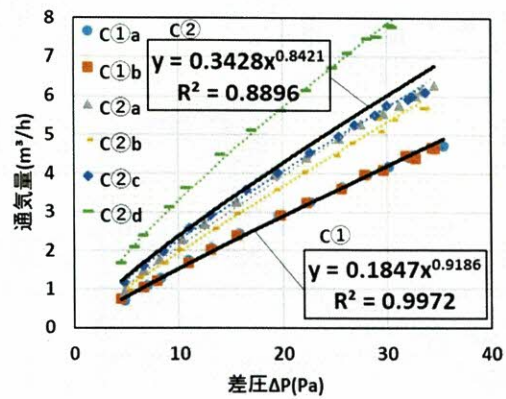


図 4-16 間仕切り壁と1階床 C-1,2
床下・室内

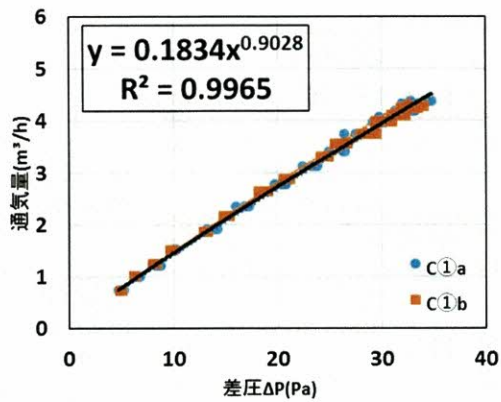


図 4-17 間仕切り壁と1階床 C-1
壁内・室内

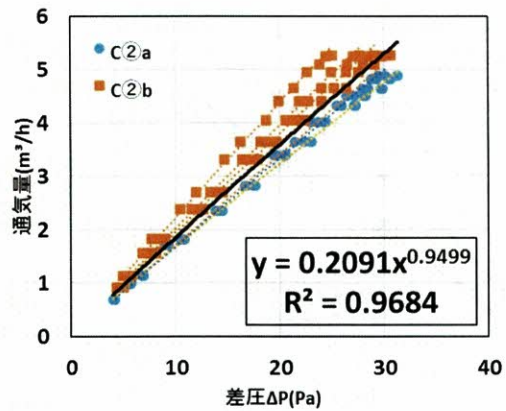


図 4-18 間仕切り壁と1階床 C-2
壁内・室内

D.間仕切り壁と最上階天井

試験体 D の間仕切り壁と最上階天井を写真 4-6 に、試験体 D-1, 2 の室内-天井裏の PQ 線図を図 4-19 に、D-3 を図 4-20 に、D-4 を図 4-21 に、断熱材気流止め部の PQ 線図を図 4-22 に示す。図 4-19 より D②a は他の試験体より PQ 線図が大きく離れているが、測定時に野縁と天井ボードの取合い部より、手の感触でわかるほど多量の漏気を確認しており、そのためであると考えられる。図 4-20、4-21 より見切り材の D③は 30(Pa)時、約 5.5(m³/h)で廻り縁の D④は約 5.3(m³/h)なので廻り縁の方が見切り材より若干気密性能が高いことが分かった。図 4-22 のように袋入り断熱材の通気特性が得られたが、ばらつきが大きく断熱材の施工によって気密性能が異なる結果となった。



写真 4-6 間仕切り壁と最上階天井

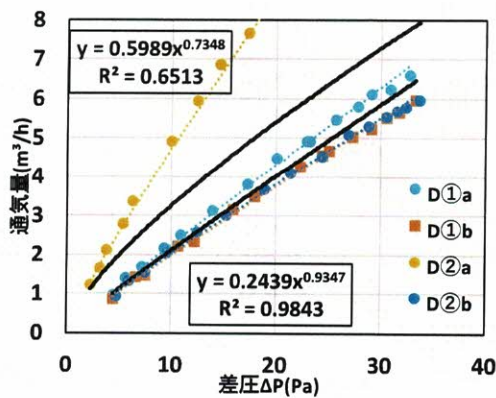


図 4-19 間仕切り壁と最上階天井 D-1,2
室内-天井裏

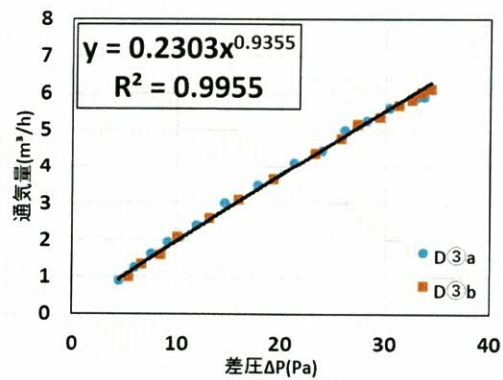


図 4-20 間仕切り壁と最上階天井 D-3
室内-天井裏

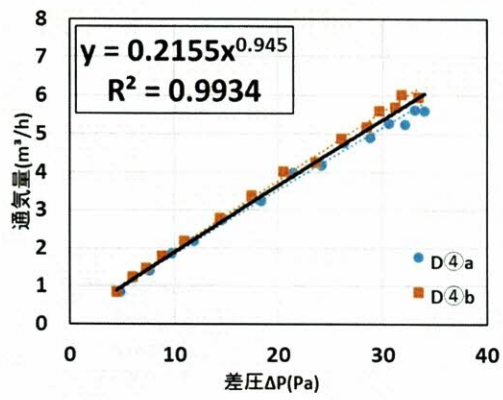


図 4-21 間仕切り壁と最上階天井 D-4
室内-天井裏

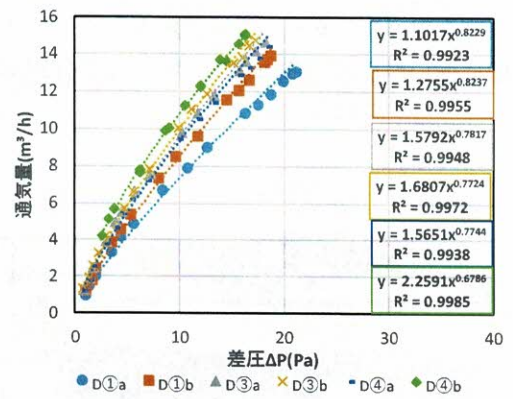


図 4-22 間仕切り壁と最上階天井 壁内-天井裏

E.サッシ

試験体 E サッシを写真 4-7 に、PQ 線図を図 4-23 に示す。サッシ枠の部分は気密テープで処理し、測定を行った。参考までに開錠でも測定したが施錠時と測定値は大きな差は無かった。しかし、近似曲線に違いが出た。他の各取り合い部の試験体に比べ、サッシは比較的漏気が大きいことが分かった。



写真 4-7 サッシ

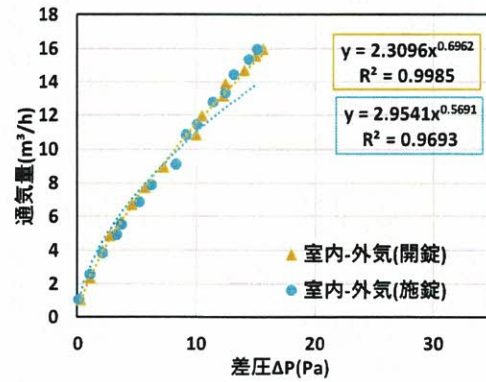


図 4-23 サッシ E 室内-外気

F.コンセント

試験体 F コンセントを写真 4-8, 4-9 に、各種の PQ 線図を図 4-24、4-25 に示す。図 4-24、4-25 より各コンセントスイッチにおいて気密カバーは気密性を高めていることが分かった。気密カバー有無で大きく差が出たものは二口スイッチと TV・LAN 付コンセントであった。



写真 4-8 コンセント



写真 4-9 コンセント裏側

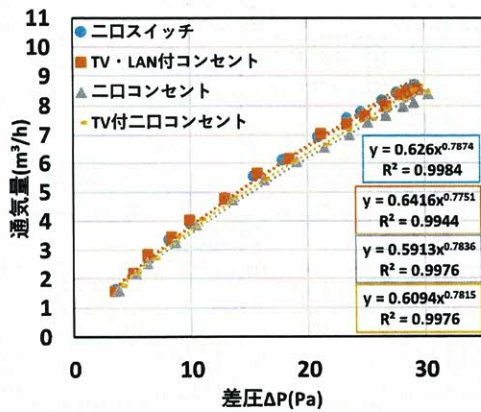


図 4-24 コンセント F(気密カバー有)

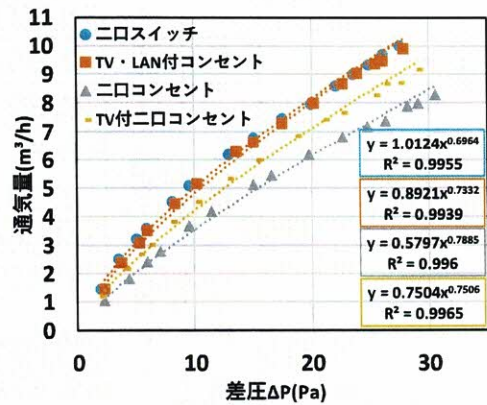


図 4-25 コンセント F(気密カバー無)

4.3 まとめ

各試験体の測定値(a 値、n 値)、 αA 、試験体毎の施工のばらつきを表す αA 差を表 4-3 に示す。今回の測定によって、各取合い部の通気特性、大工による施工のばらつきを確認できた。

表 4-3 測定値一覧

| 試験体名 | | a値 | n値 | αA | αA 差 |
|--------|---|-------|------|------------|--------------|
| A | ① | 0.130 | 1.03 | 0.82 | ±0.07 |
| | ② | 0.140 | 1.03 | 0.89 | ±0.01 |
| | ③ | 0.130 | 1.05 | 0.79 | ±0.00 |
| | ④ | 0.114 | 1.04 | 0.72 | ±0.04 |
| B | ① | 0.748 | 1.16 | 3.70 | ±0.34 |
| | ② | 1.961 | 1.44 | 6.66 | ±1.51 |
| C | ① | 0.185 | 1.09 | 1.04 | ±0.01 |
| | ② | 0.343 | 1.19 | 1.63 | ±0.30 |
| D | ① | 0.244 | 1.07 | 1.43 | ±0.09 |
| | ② | 0.295 | 1.19 | 1.39 | ±0.00 |
| | ③ | 0.230 | 1.07 | 1.36 | ±0.03 |
| | ④ | 0.216 | 1.06 | 1.30 | ±0.04 |
| F | ① | 2.954 | 1.76 | 7.54 | |
| E 有 | ① | 0.626 | 1.27 | 2.63 | |
| | ② | 0.642 | 1.29 | 2.62 | |
| | ③ | 0.591 | 1.28 | 2.47 | |
| | ④ | 0.609 | 1.28 | 2.53 | |
| E 無 | ① | 1.012 | 1.44 | 3.46 | |
| | ② | 0.892 | 1.36 | 3.32 | |
| | ③ | 0.580 | 1.27 | 2.44 | |
| | ④ | 0.750 | 1.33 | 2.90 | |

参考文献

4-1) 住宅金融支援機構：フラット 35 対応 木造住宅工事仕様書 平成 28 年度版, 2016. 10

5. 冬期の内外差圧の実住宅測定 (HEAT20 レベル住宅)

5.1 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^{5.1) 5.2)}。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。

5.2 内外差圧実測

5.2.1 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 5-1 に、断熱仕様を表 5-1 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 5-2 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 5-1 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。



図 5-1 Y 邸平面図(左 1F 右 2F)

表 5-1 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 5-2 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 5-1 Y 邸外観(南東方向より)

5.2.2 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5-2に、差圧の変動を図5-3に示す。また図5-4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。

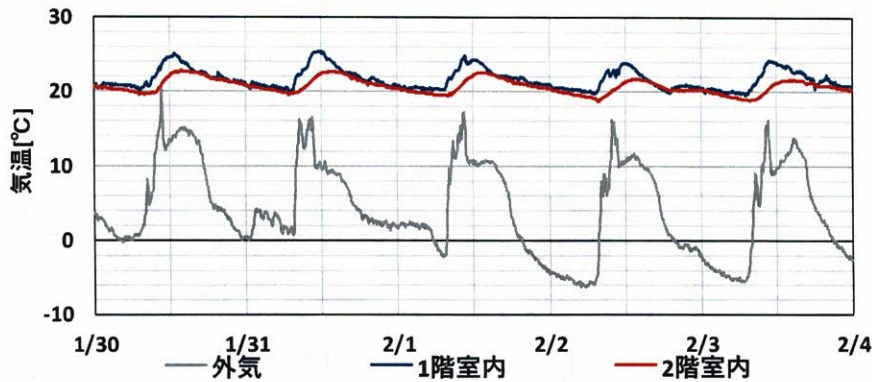


図 5-2 温度変動

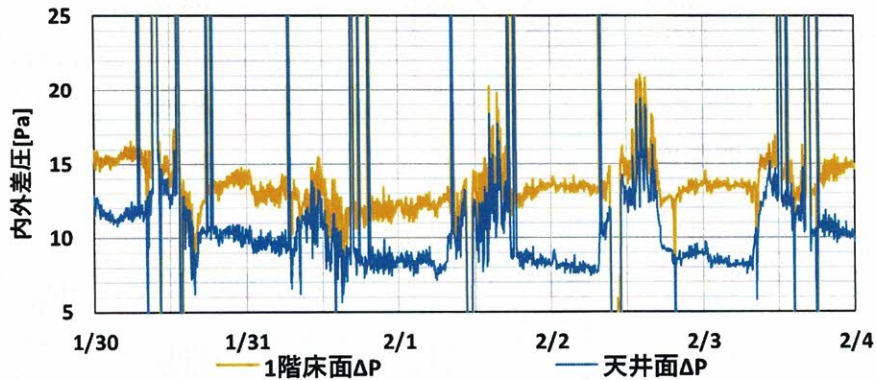


図 5-3 内外差圧変動 1階床・天

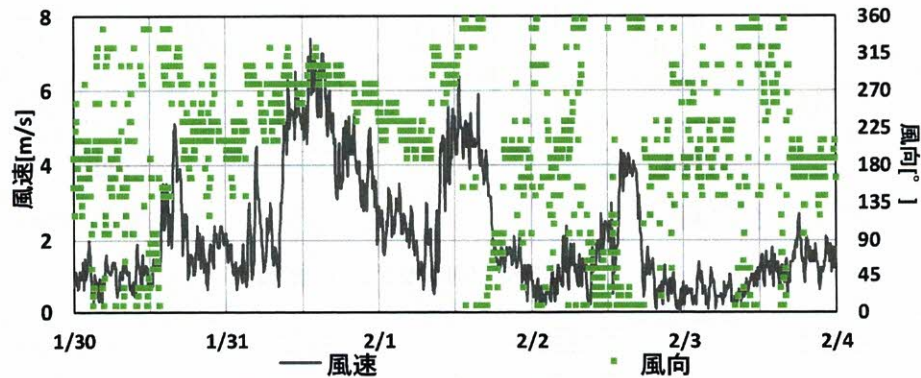


図 5-4 風向風速変動(気象庁観測値)

5.3 簡易住宅モデルによる換気計算

5.3.1 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 5-5 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 $64(\text{m}^3/\text{h})$ 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 $23(\text{m}^3/\text{h})$ 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 5-3 に示す。温度は外気 $5(^{\circ}\text{C})$ 室内 $20(^{\circ}\text{C})$ とした。

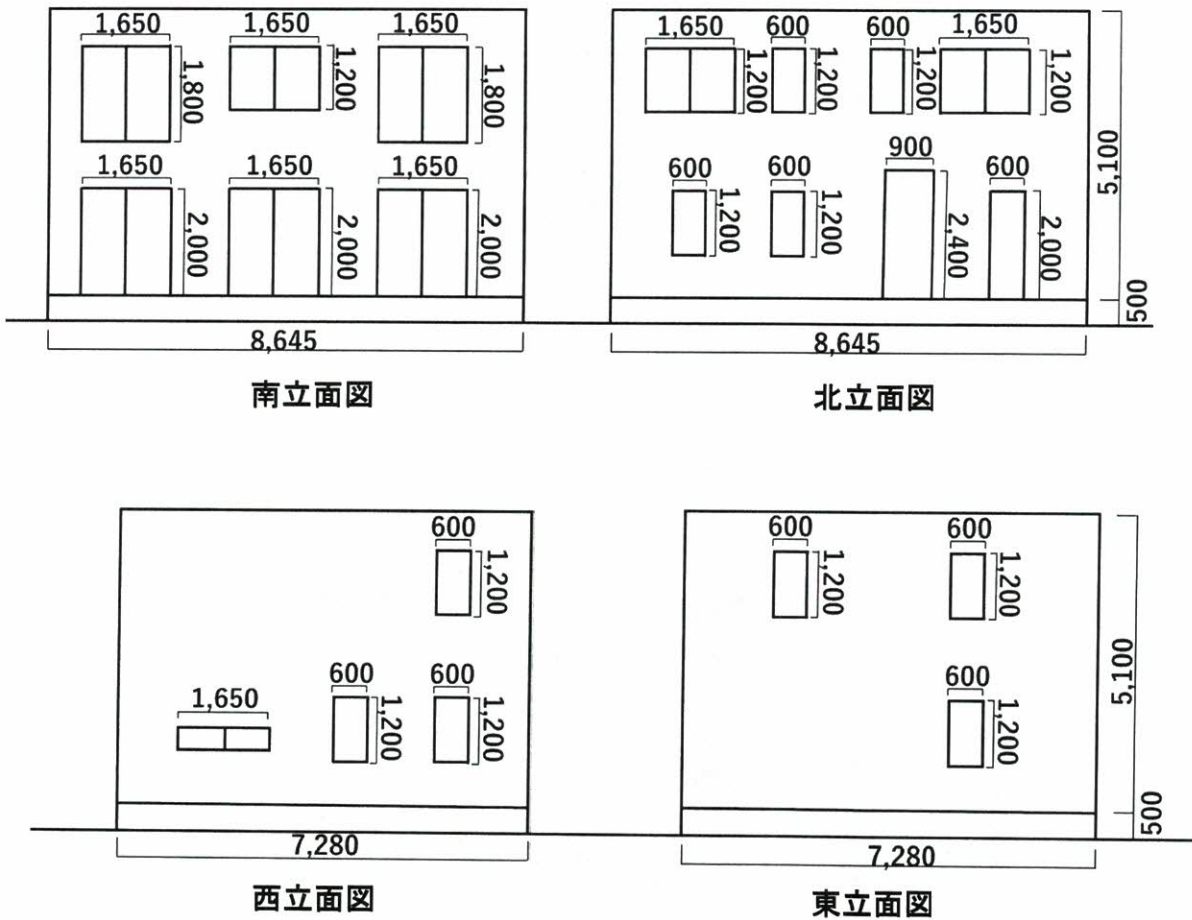


図 5-5 計算モデル立面図

表 5-3 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 |

5.3.2 計算結果

1階床高さと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5-6、5-7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5-6、5-7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。

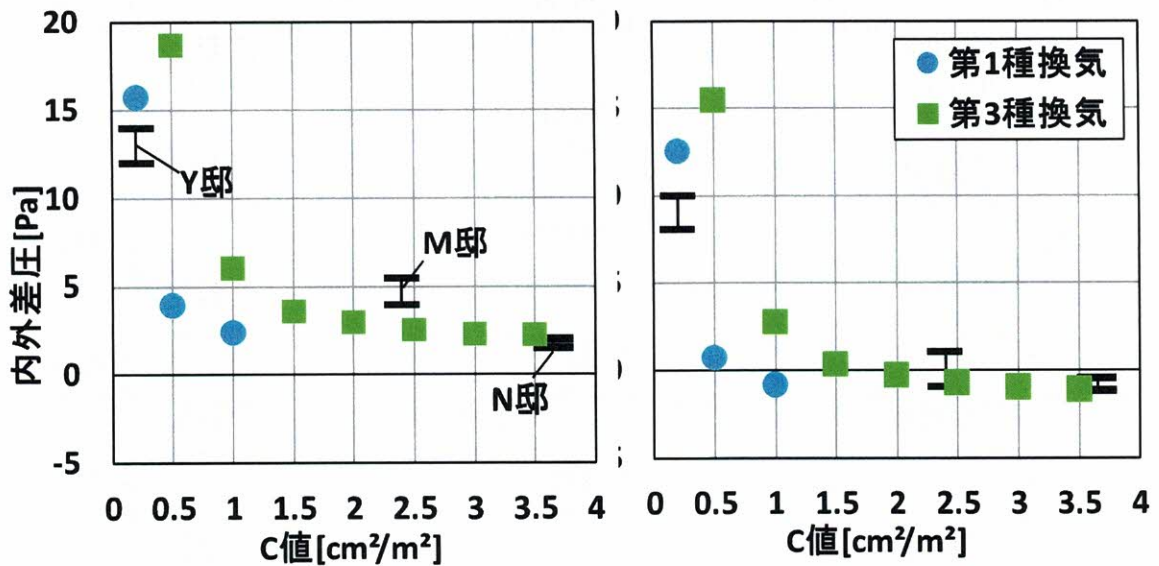


図 5-6 C 値と外壁内外差圧(1階床高さ) 図 5-7 C 値と外壁内外差圧(2階天井高さ)

5.4 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 $0.2(\text{cm}^2/\text{m}^2)$ レベルでは1階床高さにおける静圧変動は $12\sim 16(\text{Pa})$ で2階天井高さにおいては $7\sim 13(\text{Pa})$ であった。

【使用測定器】

風量計：KANOMAX MODEL6750 測定範囲： $\pm 8\sim 600 \text{ m}^3/\text{h}$

微差圧計：長野計器 GC30 測定範囲： $\pm 50\text{Pa}$

サーモレコーダー：エスペックミック RS-14

【参考文献】

- 5-1) 松岡：戸建て住宅における冬期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
- 5-2) 金子，松岡：戸建て住宅における冬期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