

# 中高層の木造建築物における通気層の 換気効率に関する研究

## Study on Ventilation Effectiveness of Drainage Cavity in Mid-to-high-rise Wooden Buildings

遠藤 卓<sup>1)</sup>、糸毛 治<sup>2)</sup>、村田 さやか<sup>3)</sup>、金澤 光明<sup>4)</sup>、栗原 一裕<sup>4)</sup>  
Suguru Endo<sup>1)</sup>, Osamu Itoge<sup>2)</sup>, Sayaka Murata<sup>3)</sup>, Mitsuaki Kanazawa<sup>4)</sup>, Kazuhiro Kurihara<sup>4)</sup>

地方独立行政法人北海道立総合研究機構

建築研究本部

北方建築総合研究所

Northern Regional Building Research Institute

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

1) 建築研究部建築システムグループ 研究主任 2) 同研究主幹 3) 建築研究部環境システムグループ 主査

4) 一般社団法人日本窯業外装材協会

1) Researcher of Building Engineering System Group 2) Senior Research Manager of Building Engineering System Group

3) Chief for Environment System Group 4) Japan Fiber Reinforced Cement Siding Manufacturers Association

## 目 次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1. 研究の背景と目的 .....             | 1  |
| 1.1 研究の背景.....                | 1  |
| 1.2 研究の着眼点.....               | 1  |
| 1.3 研究の目的.....                | 2  |
| 1.4 研究の構成.....                | 3  |
| 2. 通気層の仕様の整理 .....            | 4  |
| 2.1 目的.....                   | 4  |
| 2.2 通気層の種類.....               | 4  |
| 2.3 通気層の構成部材の種類.....          | 6  |
| 2.4 通気層の構成部材の開口面積.....        | 7  |
| 3. 通気層の構成部材の有効開口面積の測定.....    | 10 |
| 3.1 目的.....                   | 10 |
| 3.2 試験体.....                  | 10 |
| 3.3 測定方法.....                 | 15 |
| 3.4 測定結果.....                 | 17 |
| 3.5 測定のまとめ.....               | 19 |
| 4. 一般部及び窓上・窓下部の空気齢に関する実験..... | 20 |
| 4.1 目的.....                   | 20 |
| 4.2 試験体.....                  | 20 |
| 4.3 実験方法.....                 | 23 |
| 4.4 実験結果.....                 | 26 |
| 4.4.1 一般部 .....               | 26 |
| 4.4.2 窓上・窓下部 .....            | 26 |
| 4.5 実験のまとめ.....               | 30 |
| 5. 通気層の換気効率に関する計算方法の検討.....   | 31 |
| 5.1 目的.....                   | 31 |
| 5.2 計算手法.....                 | 31 |
| 5.3 計算モデル.....                | 32 |
| 5.4 検討結果.....                 | 34 |
| 5.4.1 一般部 .....               | 34 |
| 5.4.2 窓上・窓下部 .....            | 34 |

|       |                            |    |
|-------|----------------------------|----|
| 5.5   | 考察.....                    | 36 |
| 6.    | 中高層建築物の通気層の換気効率に関する計算..... | 37 |
| 6.1   | 目的.....                    | 37 |
| 6.2   | 計算手法.....                  | 37 |
| 6.3   | 計算モデル.....                 | 37 |
| 6.3.1 | 建物条件 .....                 | 37 |
| 6.3.2 | 外部条件 .....                 | 39 |
| 6.3.3 | 検討ケース .....                | 42 |
| 6.4   | 計算結果.....                  | 44 |
| 6.4.1 | 一般部 .....                  | 44 |
| 6.4.2 | 窓上・窓下部 .....               | 48 |
| 6.5   | まとめ：換気効率確保のための提案.....      | 50 |
| 7.    | まとめと今後の課題 .....            | 52 |
| 7.1   | まとめ.....                   | 52 |
| 7.2   | 今後の課題.....                 | 52 |

## 概 要 Abstract

### 中高層の木造建築物における通気層の換気効率に関する研究 Study on Ventilation Effectiveness of Drainage Cavity in Mid-to-high-rise Wooden Buildings

遠藤 卓<sup>1)</sup>、糸毛 治<sup>2)</sup>、村田 さやか<sup>3)</sup>、金澤 光明<sup>4)</sup>、栗原 一裕<sup>4)</sup>  
Suguru Endo<sup>1)</sup>, Osamu Itoge<sup>2)</sup>, Sayaka Murata<sup>3)</sup>, Mitsuaki Kanazawa<sup>4)</sup>, Kazuhiro Kurihara<sup>4)</sup>

**キーワード**：木造、通気層、湿害、劣化対策、通気抵抗  
**Keywords** : *Wooden Buildings, Drainage cavity, Moisture damage,  
Counter against deterioration, Airflow resistance*

#### 1. 研究概要

##### 1) 研究の背景

- ・建築基準法等の防火規定が見直される等、中高層の木造建築物が促進されている。
- ・通気層は、木造建築物における耐久性向上のための技術として低層住宅で広く用いられており、近年、中高層建築物でも採用が進んでいる。
- ・役物等の通気層の構成部材は、外装材メーカー等から販売されているが、通気抵抗に関するデータが十分に整備されていない。
- ・中高層建築物における通気層は、通気経路の長さ、出入口部の差圧等の条件が低層と異なるが、建築物の中高層化が通気層の換気効率に及ぼす影響についてはこれまで明らかにされていない。
- ・共同研究先である日本窯業外装材協会は、窯業系サイディングを用いた通気層の標準施工方法を住宅事業者向けに発行しており、今後、普及が進む中高層の木造建築物へ対象を拡大したいと考えている。
- ・通気層は室内外からの透湿・材料の吸放湿と雨水などに対する壁体乾燥機能があるが、本研究では中高層建築物の通気層の換気効率に着目し研究を実施する。

##### 2) 研究の目的

- ・3～6 階建ての木造建築物を対象に、通気層の換気効率を確保するための要件を明らかにする。

#### 2. 研究内容

##### 1) 通気層仕様及び外部条件に関する検討 (R3 年度)

- ・ねらい：各種壁体における通気層の構成方法や構成部材に関する情報収集を行い、2)及び 3)の検討対象とする通気層仕様を設定する。3)の計算の入力条件として、中高層建築物の通気層出入口部の風圧係数等の外部条件を整理する。
- ・試験項目等：国内及び海外の文献調査、仕様調査

##### 2) 通気層の通気量及び圧力分布の把握 (R3～R4 年度)

- ・ねらい：1)で設定した通気層の構成部材の有効開口面積を測定し、通気抵抗を把握する。通気層の気流・圧力分布を実験により測定する。
- ・試験項目等：通気層の構成部材の有効開口面積に関する実験、通気層の通気量及び換気効率の分布に

---

1) 建築研究部建築システムグループ 研究主任 2) 同主幹 3) 建築研究部環境システムグループ 主査

4) 一般社団法人日本窯業外装材協会

1) Researcher of Building Engineering System Group 2) Senior Research Manager of Building Engineering System Group

3) Chief for Environment System Group 4) Japan Fiber Reinforced Cement Siding Manufacturers Association

## 関する実験

### 3) 通気層の換気効率を確保するための要件の検討 (R4 年度)

- ・ねらい：実験結果を基に、通気層の換気効率を把握するための計算モデルを構築する。計算により、建築物の中高層化が通気層の換気効率に及ぼす影響を把握し、中高層の木造建築物における通気層の換気効率を確保するための通気経路の取り方、通気層の断面形状、構成部材の有効開口面積等に関する要件を明らかにする。
- ・試験項目等：通気層の換気効率に関する数値計算

## 3. 研究成果

### 1) 通気層仕様及び外部条件に関する検討 (R3 年度)

- ・通気層を、通気胴縁（縦胴縁、横胴縁、胴縁なし）、外装材の張り方（縦張り、横張り）及び留付方法（釘・ねじ留め、金具留め、通気金具留め）の観点で 6 種類に分けた。それぞれの種類に用いられる通気層の構成部材の組合せを調査した。
- ・中高層及び低層建築物の通気層出入口部の風圧係数、外部風速及び日射量について既往文献を調査し、計算の入力条件を設定した。

### 2) 通気層の通気量及び圧力分布の把握 (R3～R4 年度)

- ・通気層の種類ごとに、最大及び最小となる通気層の構成部材の有効開口面積を測定した（表 1）。
- ・測定の結果、建築物の一般部（通気層の入口から出口まで直線上の通気経路となる部分）における通気障害の主な要因として、横胴縁の釘・ねじ留めと一部の中間目地部材があることがわかった。

表 1. 通気層の構成部材の有効開口面積

| 通気層を<br>設けた構造の<br>種類 | 縦胴縁        |           | 横胴縁        |           | 外装横張り     | 外装縦張り     |
|----------------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
|                      | 釘・ねじ<br>留め | 金具<br>留め  | 釘・ねじ<br>留め | 金具<br>留め  | 通気金具留め    |           |
| 通気見切り                | 10.7～42.8  | 10.0～44.0 | 2.1～2.3    | 10.6～27.2 | 25.1～44.9 | 10.0～42.8 |
| 横胴縁                  | -          | -         | 2.3        | 38.7      | -         | -         |
| ファイヤー<br>ストップ材       | 6.6        | 6.1       | -          | 6.1       | 6.8       | 6.8       |
| 中間目地部材               | -          | -         | -          | -         | 1.2       | 5.4       |
| 防虫部材                 | 106        | 94.0      | 107        | 94.4      | 105       | 105       |
| スターター                | -          | -         | -          | -         | 14.0～17.0 | 5.3～17.0  |
| 土台水切り                | 81.1       | 85.3      | 2.2～2.3    | 27.9      |           |           |
| バラベツト                | 97.5～101   |           | 2.3～2.4    | 31.2～33.2 |           |           |

### 3) 通気層の換気効率を確保するための要件の検討 (R4 年度)

- ・通気層の換気効率を比較する指標として、通気量及び室内空気質評価に用いられる空気齢を用いた。
- ・実験により一般部と窓上・窓下部の空気齢を測定した。横胴縁 釘・ねじ留めの一般部や縦胴縁 釘・ねじ留めの窓上・窓下部で滞留が生じることを確認した。
- ・中高層建築物の通気層の通気量や空気齢を求めるための計算モデルを組み、計算結果が実験結果を概ね推定できることを確認した。
- ・通気層の通気量及び空気齢を数値計算により求めた。通気量及び空気齢の評価は、2 層の建築物において通気量が少なく空気齢が長くなる横胴縁の釘・ねじ留めに対し、6 層の建築物で同等以上となることを判断指標とした。この結果、6 層の建築物では通気層出入口部の圧力差が大きいため通気量を得やすいが、通気経路が長いため空気齢は長くなった（図 1）。このため、以降の比較は 6 層の建築物にとって厳しい指標である空気齢で行った。
- ・6 層の通気層直流部において、通気障害となる横胴縁の釘・ねじ留め及び一部の中間目地部材を避けることで、空気齢を短くできることがわかった（図 1）。
- ・窓上下部において、縦胴縁の釘・ねじ留めの場合は空気齢が長い傾向となるが、階間に設置されるファ

イヤーストップにより通気層内における空気齢の長短の差を小さくする効果が得られ、最長の空気齢を短くできることがわかった。

- ・上記の検討結果を踏まえ、6層の建築物における空気齢を短くするための要件を明らかにした。

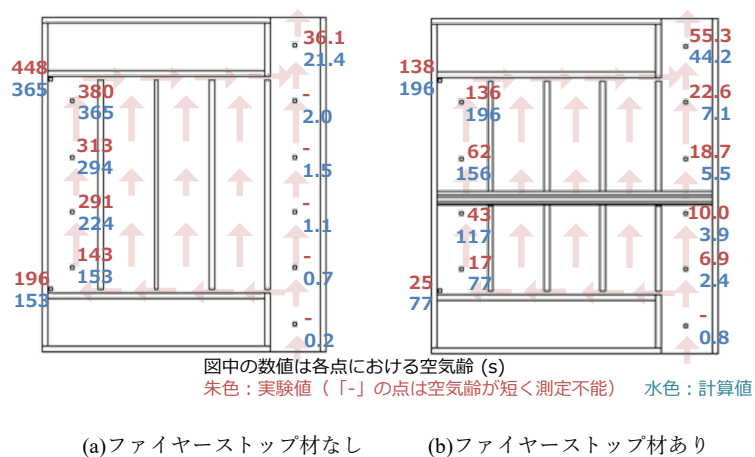
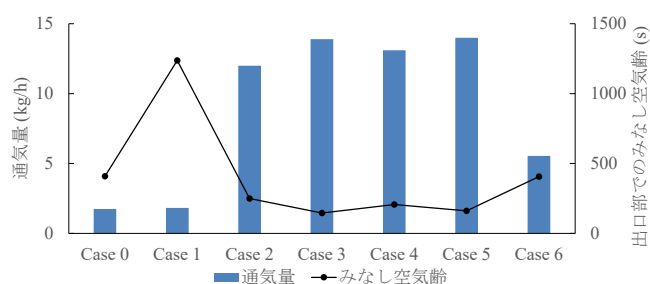


図 1. 窓上下部における空気齢の比較（縦胴縁 釘・ねじ留め）



| ケース名       | Case 0 | Case 1 | Case 2 | Case 3 | Case 4    | Case 5 | Case 6  |
|------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|---------|
| 階数         | 2      | 6      |        |        |           |        |         |
| 胴縁         | 横      | 横      | 縦      |        | なし（外装横張り） |        |         |
| 留付方法       | 釘・ねじ   | 釘・ねじ   | 金具     | 釘・ねじ   | 金具        | 通気金具   |         |
| ファイヤーストップ材 | なし     | なし     | あり     | あり     |           | あり     | あり+中間目地 |

図 2. 通気層直流部における換気効率の比較（計算値）

#### 4. 今後の見通し

- ・本研究成果は、日本窯業外装材協会が発行する通気層の設計・施工に関する技術資料に反映される予定である。

## 1. 研究の背景と目的

### 1.1 研究の背景

森林資源の循環利用の実現に向け、建築分野において木材の利用拡大が推進されている。

近年、建築基準法の防火規定の見直し等が進み、中高層建築物に木造を適用しやすくなり、採用事例が増えている（図 1.1<sup>1)</sup>）。今後もこの傾向は続くと想定される。

多くの木造建築物の外壁には、耐久性を向上させる目的で通気層が設置される。通気層は、壁体内に侵入した雨水や湿気を排出することで木材の腐朽を防ぐ。

通気層を中高層建築物に適用した場合、通気層の内外温度差や外部風により通気が促進される一方で、通気経路が長くなり、胴縁や金物等の構成部材が多く配置されるため、通気経路の抵抗は大きくなる。そのため、中高層建築物において通気層が十分な通気量を確保し、機能しているかは確認できていない。

また、中高層建築物で非住宅用途の場合、設計上、より幅の広い窓の設置が想定される。幅の広い窓の窓上・窓下部は、通気層内空気が滞留し、湿害発生のリスクが高くなることが想定されるが、通気層内空気の滞留に着目した検討はほぼなされていない。

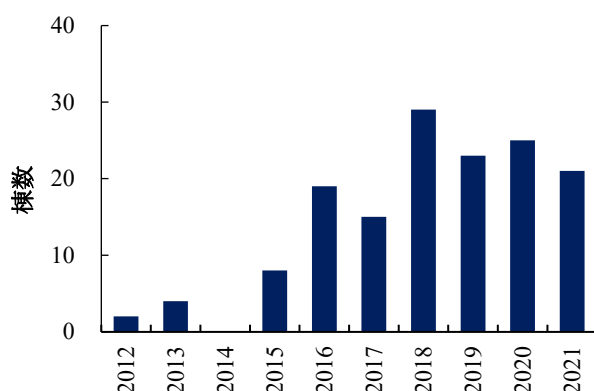


図 1.1 国内の4階以上の木造建築物の新築着工棟数  
(建築着工統計調査<sup>1)</sup> 結果を基に図を作成)

### 1.2 研究の着眼点

通気層の役割は、雨水の侵入防止と壁体内の湿気の外部への排出である。雨水の侵入防止は、外装材と透湿防水シート等による二重の防水層を設けるとともに、外装材から侵入した雨水を通気層で排水することにより性能が確保される。湿気の外部への排出は、壁体内に侵入した水分を通気層に放湿するとともに通気層を通気することにより可能となる。雨水の侵入防止と壁体内の湿気の外部への排出により、構造材の含水率は一定以下に抑えられ、腐朽等の湿害を防止できる。

日本住宅性能表示基準の評価方法基準では、劣化対策の一つとして通気層の設置が定められているものの、通気層の工法上の要件は明確化されていない。劣化対策として有効か





## 1.4 研究の構成

本研究の構成を図 1.3 に示す。

第 2 章では、換気効率に関する検討を進めていく前段として、通気層と構成部材の種類を分類し、製造業者の技術資料から各構成部材の開口面積を調査した。

第 3 章では、通気層の構成部材の有効開口面積を測定した。

第 4 章では、通気層の一般部、窓上・窓下部を再現した試験体を用いて、実験により通気層の仕様ごとに通気層内の空気齢の分布を把握した。

第 5 章では、換気回路網計算法により通気層内各点の間の流量や空気齢を求める計算モデルを組み、計算結果を第 4 章の実験で得られた空気齢分布と比較し、その妥当性を検証した。

第 6 章では、第 5 章で検討した計算方法を用い、低層建築物と中高層建築物における通気層の換気効率を求めて比較し、中高層建築物の通気層で換気効率を確保するための方策を提案した。

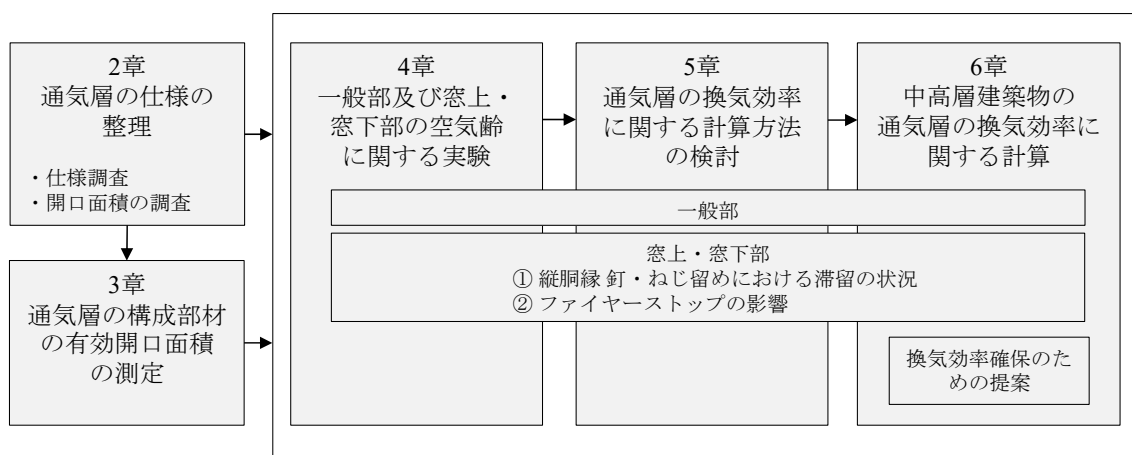


図 1.3 本研究の構成

## 2. 通気層の仕様の整理

### 2.1 目的

本章では、通気層と構成部材の種類を分類し、製造業者の技術資料から各構成部材の開口面積を調査し、通気層の仕様の整理する。

### 2.2 通気層の種類

外装材製造業者及び(一社)日本窯業外装材協会の技術資料をもとに、通気層を、胴縁、外装材の張り方及び留付方法から表 2.1 の 6 種類に分類した。それぞれの通気層を設けた構造の概念図を図 2.1 に示す。

#### ① 胴縁

胴縁の設置方法には、外装材を横張りする場合に縦方向（上下方向）に胴縁を設置する方法（以下、「縦胴縁」という。）、外装材を縦張りする場合に横方向（水平方向）に胴縁を設置する方法（以下、「横胴縁」という。）がある。その他に、胴縁を用いずに留付金具のみで通気層の厚さを確保する方法（以下、「通気金具留め」という。）がある。

横胴縁では高さ方向に通気を得るため、1,820 mm 以内ごとに幅 30 mm の空隙を設け、通気経路が直線状になるように胴縁が配置される（図 2.1 の中段左の図）。

#### ② 外装材の留付方法

縦胴縁、横胴縁では釘・ねじ又は金具により外装材を留め付け、通気金具留めでは通気留付金具と呼ばれる部材により外装材を留め付ける。

縦胴縁、横胴縁の場合、釘・ねじ留めでは胴縁間の空隙のみが通気経路となるが、金具留めでは胴縁と外装材の間に生じる 5 mm 程度の空隙もある分、通気経路の断面積が大きくなる。横胴縁における釘・ねじ留めと金具留めの違いを図 2.2 に示す。

表 2.1 通気層を設けた構造の種類

| 通気層の種類<br>(本報での呼称) | 胴縁                         | 外装材の<br>張り方 | 外装材の<br>留付方法        | 通気層の厚さ     |
|--------------------|----------------------------|-------------|---------------------|------------|
| 縦胴縁 釘・ねじ留め         | 縦胴縁<br>(厚さ 15 又は<br>18 mm) | 横張り         | 釘・ねじ                | 15 又は 18mm |
| 縦胴縁 金具留め           |                            |             | 金具<br>(厚さ 5mm)      | 20 又は 23mm |
| 横胴縁 釘・ねじ留め         | 横胴縁<br>(厚さ 15 又は<br>18 mm) | 縦張り         | 釘・ねじ                | 15 又は 18mm |
| 横胴縁 金具留め           |                            |             | 金具<br>(厚さ 5mm)      | 20 又は 23mm |
| 通気金具留め 外装縦張り       | 胴縁なし                       | 縦張り         | 通気留付金具<br>(厚さ 15mm) | 15mm       |
| 通気金具留め 外装横張り       |                            | 横張り         |                     | 15mm       |

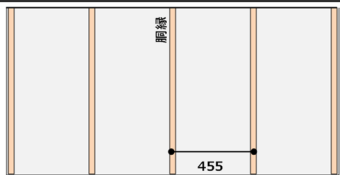
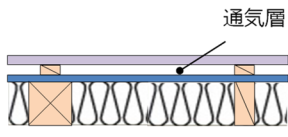
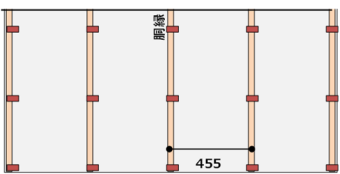
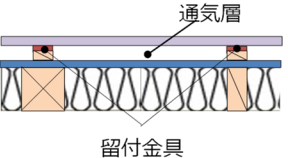
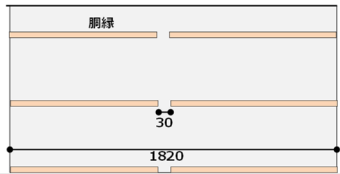
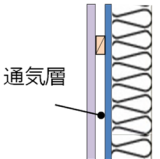
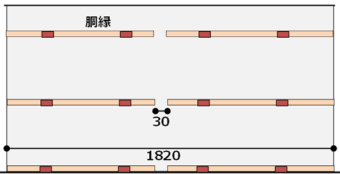
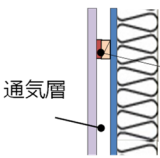
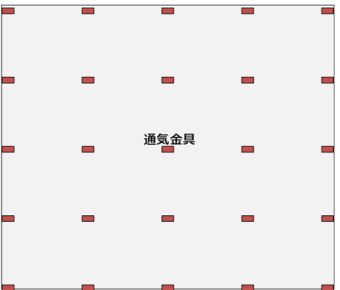
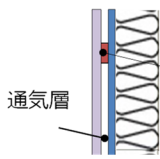
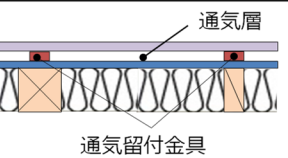
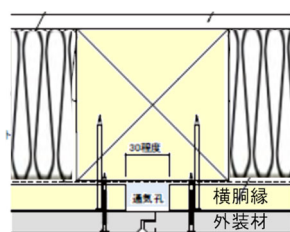
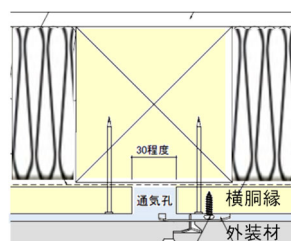
| 通気層の種類          | 胴縁と留付金具の配置                                                                          | 断面                                                                                   | 外装材裏面と接する面 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 縦胴縁<br>釘・ねじ留め   |    |    | 胴縁表面       |
| 縦胴縁<br>金具留め     |    |    | 留付金具       |
| 横胴縁<br>釘・ねじ留め   |    |    | 胴縁表面       |
| 横胴縁<br>金具留め     |   |   | 留付金具       |
| 通気金具留め<br>外装縦張り |  |  | 通気留付金具     |
| 通気金具留め<br>外装横張り |                                                                                     |  | 通気留付金具     |

図 2.1 通気層の種類



(a) 横胴縁 釘・ねじ留め



(b) 横胴縁 金具留め

図 2.2 横胴縁 釘・ねじ留めと横胴縁 金具留め

### 2.3 通気層の構成部材の種類

通気層内に設置される構成部材の種類を表 2.2 に示す。

これらのうち、通気見切り材、ファイヤーストップ、中間目地部材、防虫部材、スターター部材、土台水切り、胴縁を標準の構成部材とする。それぞれの構成部材には多数の製品があり、外装材製造業者の施工マニュアルにより、外装材の仕様や建物条件に対応した構成部材が指定されている。

通気層上端部は、低層建築物の場合は通気見切り材が用いられる事が多く、中高層建築物の場合はパラペットが用いられることが多い。低層建築物を対象にした現行の日本窯業外装材協会の標準施工方法<sup>3)</sup>にはパラペットの記載はないが、本研究では中高層建築物を対象とするため、通気層上端部に設置されるパラペットも検討対象に加えた。

表 2.2 通気層の構成部材の種類

| 部材名           | 設置場所      |                        | 製品写真※                  | 用途               |
|---------------|-----------|------------------------|------------------------|------------------|
| 標準施工で使用する構成部材 | 通気見切り材    | 外壁通気層と軒天の取合部           |                        | 雨水侵入防止<br>通気経路確保 |
|               | ファイヤーストップ | 階間（準耐火建築物に限る）          |                        | 上階延焼防止           |
|               | 中間目地部材    | 中間階の階間（一部外装材に限る）       | ロング部材<br>（線状に連続して設置）   | 目地の確保、<br>外装材の支持 |
|               |           | ショート部材<br>（一定間隔で点状に設置） |                        |                  |
|               | 防虫部材      | 外壁通気層の下部               |                        | 通気層内への虫の侵入防止     |
|               | スターター留付金具 | 外壁通気層の下端部              | ロング部材<br>（線状に連続して設置）   | 外装材の支持           |
|               |           |                        | ショート部材<br>（一定間隔で点状に設置） |                  |
|               | 土台水切り     | 外壁通気層の下端部              |                        | 水切り              |
| 胴縁            |           | 外壁面全体                  | —                      | 通気層の構成           |
| パラペット         |           | 外壁頂部（陸屋根に限る）           | —                      | 雨水侵入防止           |

※製品写真は(一社)日本窯業外装材協会会員会社の技術資料による

## 2.4 通気層の構成部材の開口面積

各構成部材には通気用の孔等が設けられる。構成部材の通気に関する特性は有効開口面積<sup>註1)</sup>と隙間特性値で表すことができる。しかし、現状ではこれらのデータが整備されていなかった。ここでは、各構成部材の通気の特性を大まかに把握するため、まずは開口面積<sup>註2)</sup>を求めた。

註1 有効開口面積：圧力差 9.8 Pa 時の通気量を基に求められる通気上有効な部材の開口面積

註2 開口面積：通気用の孔等から幾何学的に求められる面積

開口面積は次の方法により求めた。

- ・ (一社)日本窯業外装材協会の会員会社の製品を対象とし、各社の技術資料から調査した構成部材の形状を基に、長さ 1 m あたりの値を算定した。
- ・ 折り返した形状のものは、最も開口面積が小さくなる断面で面積を求めた。

通気層の種類ごと、製造業者ごとに構成部材の開口面積を整理した結果を表 2.3 に示す。なお、ショート部材は通気層断面を閉塞する面積が小さいため、表から除外した。

複数の構成部材で構成される通気経路においては、最も開口面積の小さい構成部材が通気量等に大きな影響を与える。表 2.3 では、構成部材が用いられる組合せを整理し、最も小さい開口面積の構成部材が用いられる組合せを赤字で、開口面積が最も大きい組合せを青字で示した。

表 2.3 通気層の構成部材の開口面積（その 1）

| 部材            |           | A 社           | B 社                              | C 社                                       | D 社  | E 社  |   |
|---------------|-----------|---------------|----------------------------------|-------------------------------------------|------|------|---|
| 縦胴縁<br>釘・ねじ留め | 通気見切り材    | 37.2          | ①12.6<br>②16.7<br>③32.7          | ①20.5<br>②28.9                            | 87.5 | -    |   |
|               | ファイヤーストップ | 12.6          | 12.6                             | 12.6                                      | 12.6 |      |   |
|               | 中間目地部材    | -             | -                                | -                                         | -    |      |   |
|               | 防虫部材      | 105（製造業者：F 社） |                                  |                                           |      |      |   |
|               | スターター部材   | -             | -                                | -                                         | -    |      |   |
|               | 土台水切り     | ①31.9<br>②100 | 34.9                             | ①38.5<br>②100                             | 95.4 |      |   |
| 縦胴縁<br>金具留め   | 通気見切り材    | 37.2          | ①12.6<br>②16.7<br>③32.7<br>④32.7 | ①20.5<br>②20.5<br>③28.9<br>④28.9<br>⑤29.0 | 87.5 | 11.2 |   |
|               | ファイヤーストップ | 12.6          | 12.6                             | 12.6                                      | 12.6 | 12.6 |   |
|               | 中間目地部材    | -             | -                                | -                                         | -    | -    |   |
|               | 防虫部材      | 149（製造業者：F 社） |                                  |                                           |      |      |   |
|               | スターター部材   | ショート部材のみ      |                                  |                                           |      |      |   |
|               | 土台水切り     | 100           | 100                              | 38.5                                      | 100  | 100  |   |
| 横胴縁<br>釘・ねじ留め | 通気見切り材    | 37.2          | ①12.6<br>②16.7<br>③32.7          | ①20.5<br>②28.9                            | -    | -    |   |
|               | ファイヤーストップ | -             | -                                | -                                         | -    | -    |   |
|               | 中間目地部材    | ショート<br>部材のみ  | -                                | ショート<br>部材のみ                              | -    | -    |   |
|               | 防虫部材      | 105（製造業者：F 社） |                                  |                                           |      | -    | - |
|               | スターター部材   | ショート<br>部材のみ  | -                                | ショート<br>部材のみ                              | -    | -    |   |
|               | 土台水切り     | ①32.9<br>②100 | 34.9                             | ①38.5<br>②100                             | -    | -    |   |

表 2.3 通気層の構成部材の開口面積（その 2）

| 部材                  |           | A 社           | B 社                              | C 社                                       | D 社            | E 社                    |
|---------------------|-----------|---------------|----------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------------|
| 横胴縁<br>釘・ねじ留め       | 通気見切り材    | 37.2          | ①12.6<br>②16.7<br>③32.7          | ①20.5<br>②28.9                            | -              | -                      |
|                     | ファイヤーストップ | -             | -                                | -                                         | -              | -                      |
|                     | 中間目地部材    | ショート<br>部材のみ  | -                                | ショート<br>部材のみ                              | -              | -                      |
|                     | 防虫部材      | 105（製造業者：F 社） |                                  |                                           | -              | -                      |
|                     | スターター部材   | ショート<br>部材のみ  | -                                | ショート<br>部材のみ                              | -              | -                      |
|                     | 土台水切り     | ③32.9<br>②100 | 34.9                             | ③38.5<br>②100                             | -              | -                      |
| 横胴縁<br>金具留め         | 通気見切り材    | 37.2          | ①12.6<br>②16.7<br>③32.7<br>④32.7 | ①20.5<br>②20.5<br>③28.9<br>④28.9<br>⑤29.0 | 87.5           | -                      |
|                     | ファイヤーストップ | 12.6          | 12.6                             | 12.6                                      | 12.6           | 12.6                   |
|                     | 中間目地部材    | ショート部材のみ      |                                  |                                           |                |                        |
|                     | 防虫部材      | 149（製造業者：F 社） |                                  |                                           |                |                        |
|                     | スターター部材   | ショート部材のみ      |                                  |                                           |                |                        |
|                     | 土台水切り     | 100           | ③34.9<br>②100                    | ③38.5<br>②100                             | 100            | 100                    |
| 通気金具留<br>め<br>外装縦張り | 通気見切り材    | 37.2          | ①12.6<br>②16.7<br>③32.7<br>④32.7 | ①20.5<br>②20.5<br>③28.9<br>④28.9<br>⑤29.0 | 87.5           | ①10.0<br>②11.2         |
|                     | ファイヤーストップ | 12.6          | 12.6                             | 12.6                                      | 12.6           | 12.6                   |
|                     | 中間目地部材    | ショート部材のみ      |                                  | 2.7                                       | 1.5            | ショート<br>部材のみ           |
|                     | 防虫部材      | 105（製造業者：F 社） |                                  |                                           |                |                        |
|                     | スターター部材   | 18.4          | 14.3                             | 10.1                                      | 15.4           | ショート<br>部材のみ           |
|                     | 土台水切り     | 100           | 100                              | ③38.5<br>②100                             | 100            | 100                    |
| 通気金具留<br>め<br>外装横張り | 通気見切り材    | 37.2          | ①12.6<br>②32.7<br>③32.7          | ①20.5<br>②20.5<br>③28.9<br>④28.9<br>⑤29.0 | ①87.5<br>②87.5 | ①10.0<br>②11.2<br>③100 |
|                     | ファイヤーストップ | 12.6          | 12.6                             | 12.6                                      | 12.6           | 12.6                   |
|                     | 中間目地部材    | ショート部<br>材のみ  | 9.5                              | 5.6                                       | ショート部<br>材のみ   | 6.4                    |
|                     | 防虫部材      | 105（製造業者：F 社） |                                  |                                           |                |                        |
|                     | スターター部材   | 18.2          | 12.5                             | 10.1                                      | ①18.5<br>②18.5 | 4.5                    |
|                     | 土台水切り     | 100           | 100                              | ③38.5<br>②100                             | 100            | 100                    |

### 3. 通気層の構成部材の有効開口面積の測定

#### 3.1 目的

本章では、どのような構成部材が通気の阻害となるかを把握するため、構成部材の有効開口面積を測定した。

#### 3.2 試験体

試験体は、①標準の構成部材、②パラペット、③窓周囲の通気経路の3種類とした。

①~③の試験体各部の納まりは、(一社)日本窯業外装材協会の標準施工方法<sup>3)</sup>と各メーカーの施工要領に基づいた。試験体は、構造用面材の上に透湿防水シートを張り、さらにその上に胴縁、構成部材に対応したサイディングを設置した。胴縁の厚さは15mmとした。

##### ① 標準の構成部材

試験体を図3.1に示す。試験体は縦胴縁及び横胴縁の2種類とし、これらに、標準の構成部材を設置した。

設置した構成部材は、表2.3に示した構成部材の組合せで、開口面積が最も小さいもの(赤字)と最も大きいもの(青字)とした。

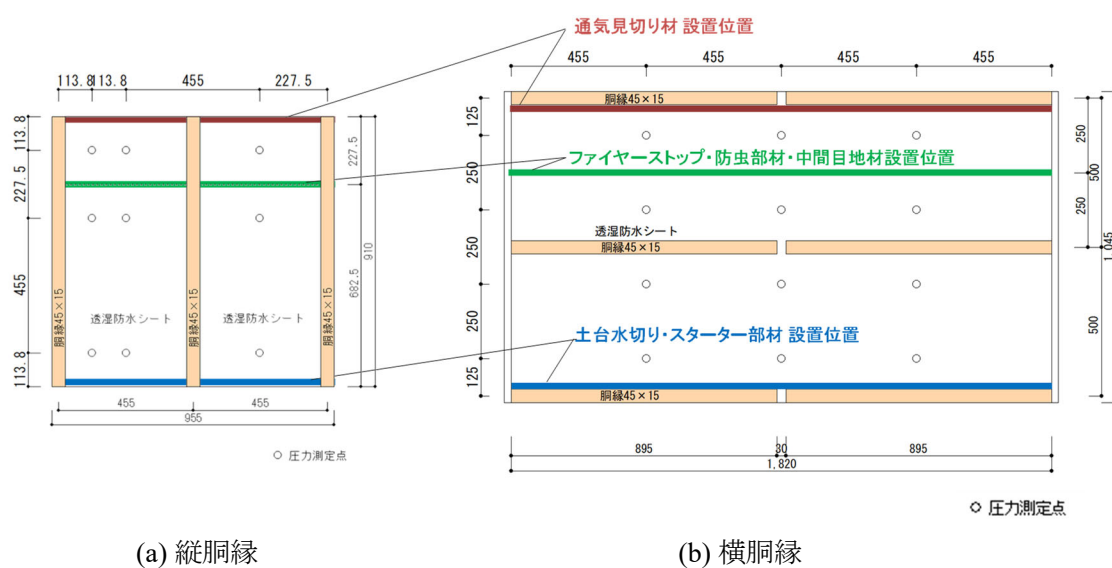


図 3.1 試験体図



## ② パラペット

パラペット部の通気層から外部への通気経路は、図 3.2 に示すように、(a) 屋上側のみ、(b)外壁側のみ、(c)両側、の 3 つの方法が考えられる。最も通気抵抗が大きくなると考えられる(a)を測定対象とした。

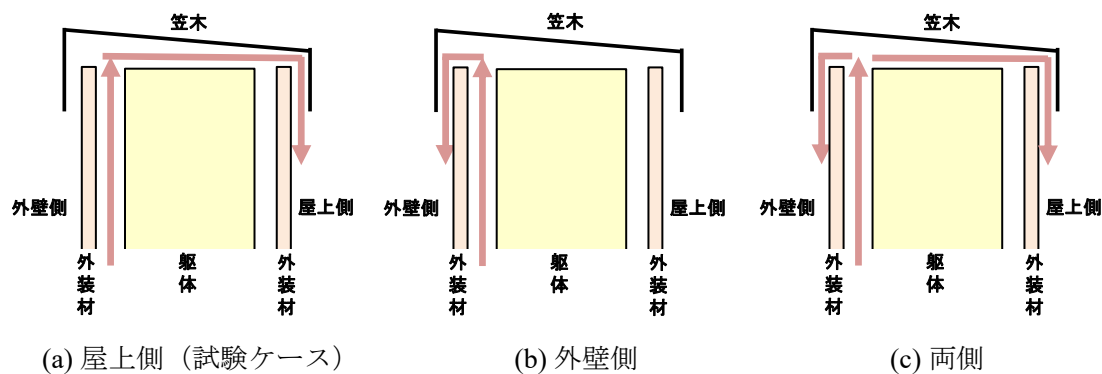
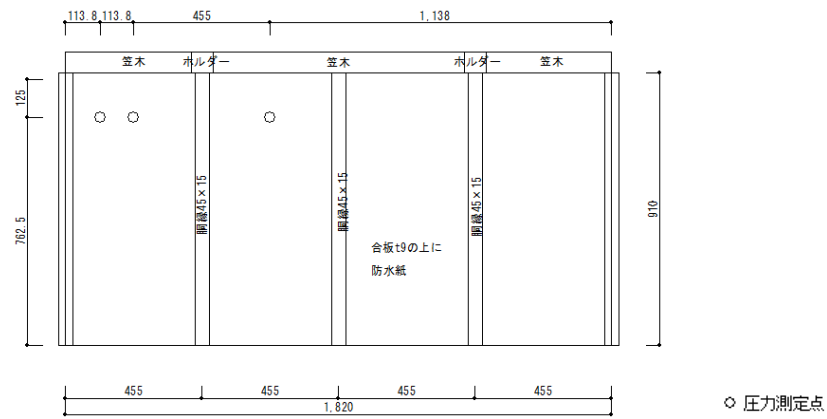


図 3.2 パラペット部の通気層から外部への通気経路

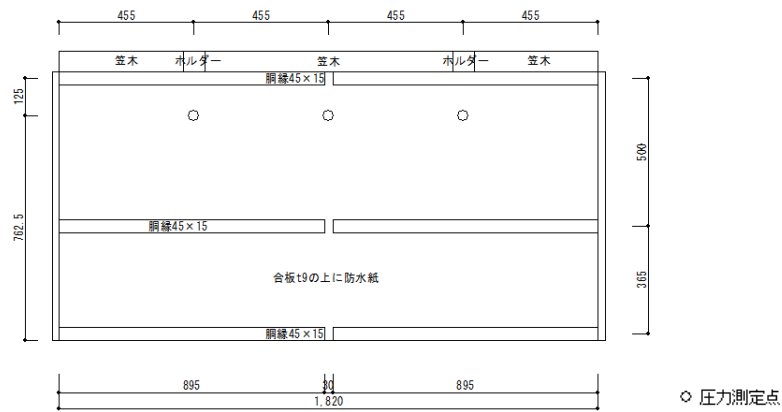
試験体を図 3.3 に、測定状況を写真 3.1 及び写真 3.2 に示す。

標準施工方法<sup>3)</sup>に示されるバルコニー天端の納まりを参考に、躯体天端に直接ホルダーを留め付ける方法 (A タイプ) と躯体天端に胴縁とサイディングを設置した上にホルダーを留め付ける方法 (B タイプ)、それぞれを作成した。試験体の笠木及び付属部材であるホルダーと留付け金具は既製品を使用した。

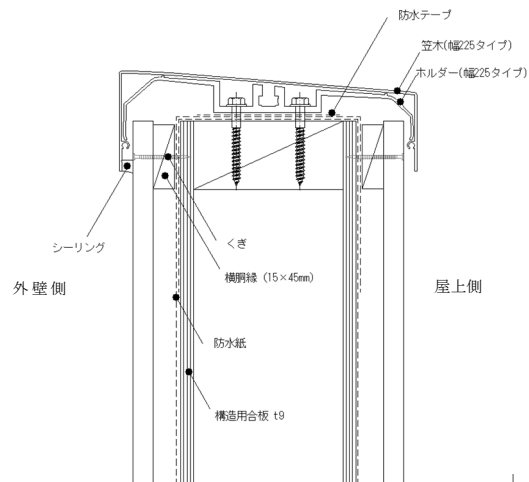
対象とする通気経路のみの有効開口面積を求めるため、外壁側の外部への通気経路等はシーリングにより塞いだ。



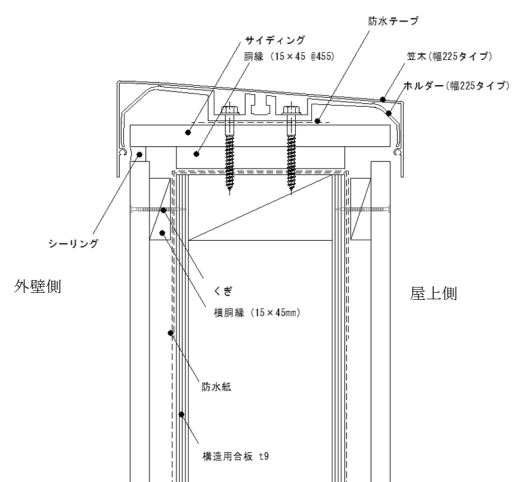
(a) 胴縁配置図 (縦胴縁)



(b) 胴縁配置図 (横胴縁)



(c) パラペット断面 (A タイプ)



(d) パラペット断面 (B タイプ)

図 3.3 試験体図 (パラペット)

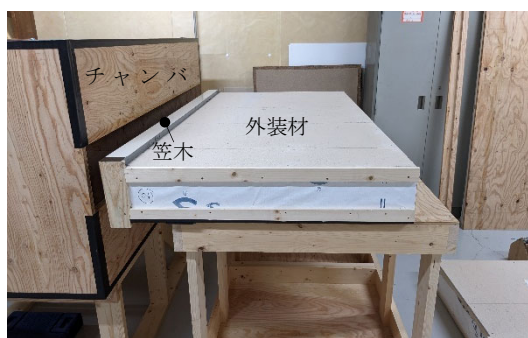


写真 3.1 測定状況（パラペット頂部）



写真 3.2 パラペット頂部の断面

### ③ 窓周囲の通気経路

試験体を図 3.4 に示す。試験体は図 3.5 の窓周囲の通気経路を再現した。通気抵抗の測定は、窓の角部（図 3.4 中の A 部分）及び窓の辺部（図 3.4 中の B 部分）を対象とした。

窓周囲の空隙の幅が有効開口面積に及ぼす影響を確認するため、空隙の幅（図 3.4 中の X 部分）を標準施工方法<sup>3)</sup>で示されている 30 mm のほか、50 mm 又は 100 mm とした。金具留め試験体の胴縁部分の長さ（図 3.4 中の Y 部分）は、500 mm 又は 1,000 mm とした。

なお、空隙の幅を 50 mm 又は 100 mm とする場合、サイディング設置のために窓周囲に別途スペーサーを設置するなどの対応が必要となることから、施工手間が増すと考えられる。

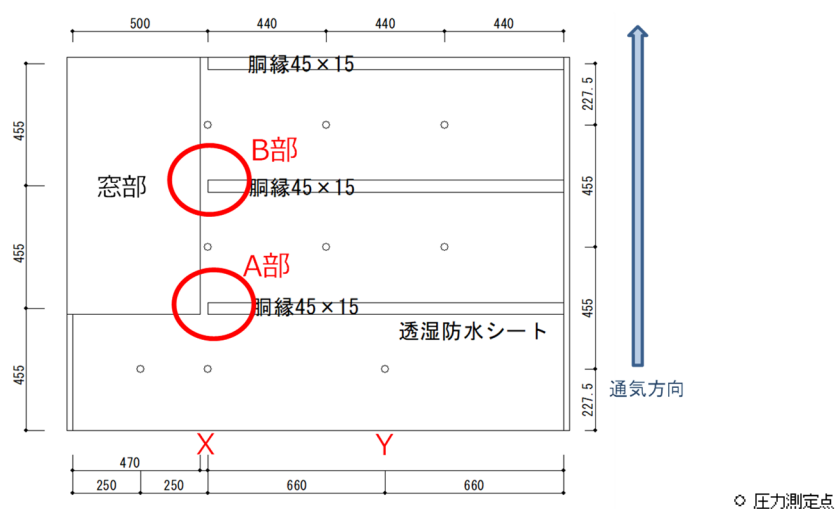


図 3.4 試験体図（窓周囲）

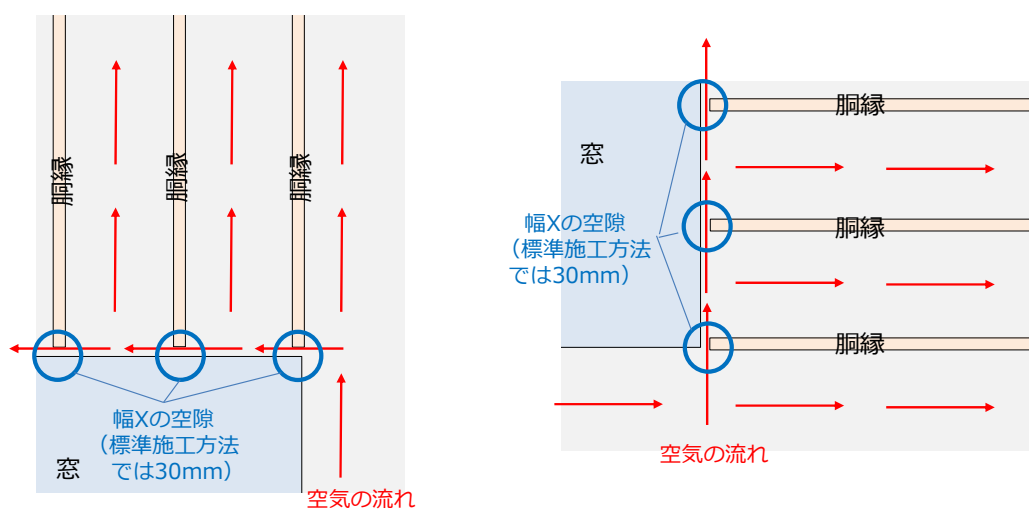


図 3.5 窓周囲の通気経路

### 3.3 測定方法

住宅の省エネルギー基準解説の通気特性試験方法<sup>5)</sup>に従い、測定を行った。

試験体の壁面は本来鉛直に設置されるものであるが、図 3.6 の風量測定装置に接続するため試験体は水平に設置し、ファンで空気を引くことにより通気層で生じる気流を再現した。気流は壁面を上昇する方向とした。サイディング嵌合部や試験体周囲は粘土で塞ぎ、これらの部分から漏気が生じないようにした。

測定状況を写真 3.3 に示す。通気量を 5 段階に変化させ、通気量と対象構成部材前後の圧力差を計測した。圧力差は、構成部材前後それぞれ 3 か所の測定結果を平均した。圧力測定点は図 3.1、図 3.3、図 3.4 に示す位置とした。測定結果をもとに説明変数を圧力差とする通気量の回帰式を作成し、回帰式から圧力差 9.8 Pa 時の通気量  $Q_{9.8}$  を求め、次の式から有効開口面積  $\alpha A$  を算定した。

$$\alpha A = Q_{9.8} \sqrt{\frac{\rho}{2 \times 9.8}} \quad (3-1)$$

$$\rho = \frac{353.25}{273.15 + T} \quad (3-2)$$

ここで、 $\alpha A$ ：有効開口面積 ( $\text{m}^2$ )

$Q_{9.8}$ ：圧力差 9.8 Pa 時の通気量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$ ：空気の密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$T$ ：空気の温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

スターター部材は土台水切りと併せて設置されるため、スターター部材と土台水切りを一体として計測を行った。横胴縁の通気見切り部材、スターター部材、土台水切りについては、横胴縁と併せて設置されるため、測定対象の構成部材と横胴縁を一体として計測を行った（表 3.1）。

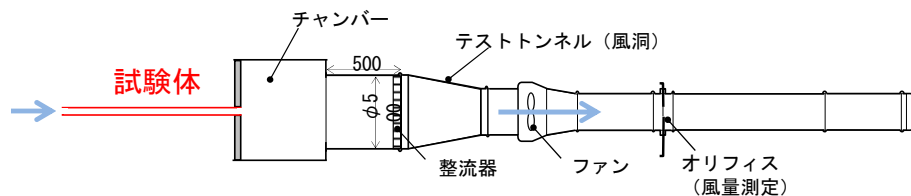


図 3.6 試験装置

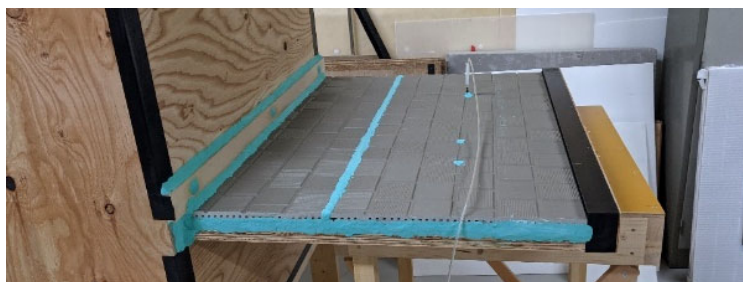


写真 3.3 測定状況（縦胴縁の試験体）

表 3.1 標準部材の設置の組合せ

| 通気層の種類        | 測定対象の構成部材 | 測定対象の構成部材と併せて設置した構成部材 |
|---------------|-----------|-----------------------|
| 縦胴縁及び<br>胴縁なし | 通気見切り部材   | -                     |
|               | ファイヤーストップ | -                     |
|               | 中間目地部材    | -                     |
|               | 防虫部材      | -                     |
|               | スターター留付金具 | 土台水切り                 |
|               | 土台水切り     | -                     |
| 横胴縁           | 通気見切り部材   | 横胴縁                   |
|               | 胴縁間の空隙    | -                     |
|               | ファイヤーストップ | -                     |
|               | 中間目地部材    | -                     |
|               | 防虫部材      | -                     |
|               | スターター留付金具 | 土台水切り及び横胴縁            |
|               | 土台水切り     | 横胴縁                   |

### 3.4 測定結果

#### ① 標準施工で使用する構成部材

実験により得られた有効開口面積及び隙間特性値を表 3.2 に示す。有効開口面積は長さ 1 m あたりの値に換算した。複数の構成部材が直列に設置される通気層においては、有効開口面積が最も小さい構成部材が通気経路上のボトルネックとなり、その構成部材の有効開口面積が通気量等にとりわけ大きな影響を与える。以下では、通気層の各種類において、有効開口面積が小さかった部材に特に着目して、測定結果を述べる。

##### A. 縦胴縁の構成部材

最も有効開口面積が小さい部材は、ファイヤーストップ（写真 3.4）であり、 $6\sim7\text{ cm}^2/\text{m}$  であった。

##### B. 横胴縁の構成部材

釘・ねじ留めの構成部材において、有効開口面積が小さい部材は、胴縁間の空隙、土台水切り・スターター部材、通気見切り材であり、 $2\sim3\text{ cm}^2/\text{m}$  であった。

横胴縁と一体として計測した土台水切り・スターター部材、通気見切り材は、胴縁間の空隙を計測した有効開口面積と同程度になった。そのため土台水切り・スターター部材、通気見切り材は、横胴縁に比べ有効開口面積が大きかったと考えられる。

金具留めの構成部材は、金具により胴縁と外装材の隙間に 5 mm の空隙ができるため、釘・ねじ留めよりも有効開口面積が大きくなった。

##### C. 通気金具留めの構成部材

有効開口面積が小さい部材は、中間目地部材及びスターター部材（写真 3.5）・土台水切りであり、 $1\sim6\text{ cm}^2/\text{m}$  のものがあつた。

土台水切りは単体で特に有効開口面積の小さいものがないが、土台水切りとスターター部材を一体として測定すると有効開口面積が小さくなるため、一部のスターター部材の有効開口面積が小さかったと考えられる。

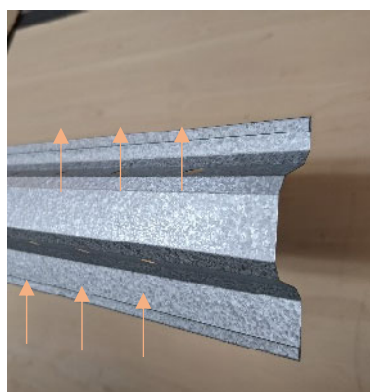


写真 3.4 ファイヤーストップ材



写真 3.5 スターター部材

## ② パラペット

実験により得られた有効開口面積及び隙間特性値を表 3.2 の最下行に示す。有効開口面積は長さ 1 m あたりの値に換算した。

A タイプと B タイプ (図 3.3 参照) の測定を行ったが、有効開口面積の差は小さかった。横胴縁 釘・ねじ留めの場合のパラペットの有効開口面積は小さく、2~3 cm<sup>2</sup>/m であった。

表 3.2 それぞれの通気層の構成方法における構成部材の有効開口面積と隙間特性値

| 試験<br>体図 | 部材の種類             |                                              | 縦胴縁                      |                         |                |                | 横胴縁                     |                         |                          |                          | 外装横張り          |                | 外装縦張り          |                |
|----------|-------------------|----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          |                   |                                              | 釘・ねじ留め                   |                         | 金具留め           |                | 釘・ねじ留め                  |                         | 金具留め                     |                          | 通気金具留め         |                |                |                |
|          |                   |                                              | 開口<br>面積<br>最小           | 開口<br>面積<br>最大          | 開口<br>面積<br>最小 | 開口<br>面積<br>最大 | 開口<br>面積<br>最小          | 開口<br>面積<br>最大          | 開口<br>面積<br>最小           | 開口<br>面積<br>最大           | 開口<br>面積<br>最小 | 開口<br>面積<br>最大 | 開口<br>面積<br>最小 | 開口<br>面積<br>最大 |
| 図 3.1    | 通気見<br>切り部<br>材   | 有効開口面積<br>(cm <sup>2</sup> /m)<br>(隙間特性値(-)) | 10.7<br>(2.0)            | 42.8<br>(1.9)           | 10.0<br>(1.9)  | 44.0<br>(1.9)  | 2.1<br>(1.7)            | 2.3<br>(1.7)            | 10.6<br>(1.9)            | 27.2<br>(1.9)            | 25.1<br>(1.9)  | 44.9<br>(1.9)  | 10.0<br>(1.9)  | 42.8<br>(1.9)  |
|          | 横胴縁               | 有効開口面積<br>(cm <sup>2</sup> /m)<br>(隙間特性値(-)) | -                        | -                       | -              | -              | 2.3<br>(1.7)            | 2.3<br>(1.7)            | 38.7<br>(1.8)            | 38.7<br>(1.8)            | -              | -              | -              | -              |
|          | ファイ<br>ヤース<br>トップ | 有効開口面積<br>(cm <sup>2</sup> /m)<br>(隙間特性値(-)) | 6.6<br>(1.9)             | -                       | 6.1<br>(1.9)   | -              | -                       | -                       | 6.1<br>(1.9)             | -                        | 6.8<br>(1.9)   | -              | 6.8<br>(1.9)   | -              |
|          | 中間目<br>地部材        | 有効開口面積<br>(cm <sup>2</sup> /m)<br>(隙間特性値(-)) | -                        | -                       | -              | -              | -                       | -                       | -                        | -                        | 1.2<br>(1.9)   | -              | 5.4<br>(1.9)   | -              |
|          | 防虫部<br>材          | 有効開口面積<br>(cm <sup>2</sup> /m)<br>(隙間特性値(-)) | 106<br>(1.4)             | -                       | 94.0<br>(1.3)  | -              | 107<br>(1.4)            | -                       | 94.4<br>(1.4)            | -                        | 105<br>(1.3)   | -              | 105<br>(1.3)   | -              |
|          | スター<br>ター留<br>付金具 | 有効開口面積<br>(cm <sup>2</sup> /m)<br>(隙間特性値(-)) | -                        | -                       | -              | -              | -                       | 2.3<br>(1.7)            | -                        | -                        | 14.0<br>(2.0)  | 17.0<br>(2.0)  | 5.3<br>(1.8)   | 17.0<br>(2.0)  |
|          | 土台水<br>切り         | 有効開口面積<br>(cm <sup>2</sup> /m)<br>(隙間特性値(-)) | 81.1<br>(1.7)            | 81.1<br>(1.7)           | 85.3<br>(1.7)  | 85.3<br>(1.7)  | 2.2<br>(1.8)            |                         | 27.9<br>(1.7)            | 27.9<br>(1.7)            |                |                |                |                |
| 図 3.3    | パラペ<br>ット         | 有効開口面積<br>(cm <sup>2</sup> /m)<br>(隙間特性値(-)) | 97.5<br>(1.7)<br>(タイプ B) | 101<br>(1.7)<br>(タイプ A) | -              | -              | 2.3<br>(1.7)<br>(タイプ B) | 2.4<br>(1.7)<br>(タイプ A) | 31.2<br>(1.7)<br>(タイプ B) | 33.2<br>(1.7)<br>(タイプ A) | -              | -              | -              | -              |



### ③ 窓周囲の通気経路

有効開口面積及び隙間特性値を表 3.3 に示す。

窓の角部と辺部の測定結果には大きな差異が見られなかった。

釘・ねじ留めの測定結果より通気経路の有効開口面積は、窓周囲の空隙の幅に概ね比例することが確認できた。

釘・ねじ留めで窓周囲の空隙の幅を 100 mm とするよりも、窓周囲の空隙の幅を標準の 30 mm とした上で金具留めとした方が、有効開口面積が大きくなった。窓周囲の通気を改善するためには、窓周囲の空隙の幅を広げるより、釘・ねじ留めを用いずに金具留めを用いる方が効果的であることがわかった。

表 3.3 窓周囲の通気経路の有効開口面積と隙間特性値

| 外装材の留付方法 | 図 3.4 との対応 |         | 図 3.4 の A 部               |           | 図 3.4 の B 部               |           |
|----------|------------|---------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
|          | 空隙の幅 X     | 長さ Y    | 有効開口面積 (cm <sup>2</sup> ) | 隙間特性値 (-) | 有効開口面積 (cm <sup>2</sup> ) | 隙間特性値 (-) |
| 釘・ねじ留め   | 30 mm (標準) | 500 mm  | 4.16                      | 1.7       | 4.25                      | 1.7       |
|          | 50 mm      | 500 mm  | 6.85                      | 1.7       | 7.00                      | 1.7       |
|          | 100 mm     | 500 mm  | 12.9                      | 1.7       | 13.2                      | 1.7       |
| 金具留め     | 30 mm (標準) | 500 mm  | 20.3                      | 1.8       | 20.3                      | 1.8       |
|          | 30 mm (標準) | 1000 mm | 37.4                      | 1.8       | 37.7                      | 1.8       |

### 3.5 測定のまとめ

通気層の構成部材の有効開口面積を測定し、以下の知見が得られた。

- ・ 縦胴縁の構成部材において、最も有効開口面積が小さい部材は、ファイヤーストップであり、6～7 cm<sup>2</sup>/m であった。
- ・ 横胴縁 釘・ねじ留めにおいて、有効開口面積が小さい部材は、胴縁間の空隙、スターター部材、通気見切りで、2～3 cm<sup>2</sup>/m であったが、横胴縁 金具留めでは、金具により胴縁と外装材の隙間に 5 mm の空隙ができ、有効開口面積を大きくできることが確認できた。これはパラペットにおいても同様の傾向が確認された。
- ・ 通気金具留めは、中間目地部材、スターター部材の仕様によっては、有効開口面積が小さくなることがわかった。
- ・ 窓周辺の通気を改善するためには、窓周囲の空隙の幅を広げるより、釘・ねじ留めを用いずに金具留めを用いるほうが効果的であることがわかった。

## 4. 一般部及び窓上・窓下部の空気齢に関する実験

### 4.1 目的

本章では、通気層の空気齢の測定方法を検討し、通気層内の空気が滞留しやすい部位と考えられる横胴縁を使用した場合の一般部及び各種の通気層とした場合の窓上・窓下部について、空気齢の分布を実験により把握する。

### 4.2 試験体

実験を実施したケースを表 4.1 に示す。通気層内の空気が滞留しやすい部位として、横胴縁を使用した場合の一般部、各種の通気層とした場合の窓上・窓下部（図 4.1）を選定した。窓上・窓下部については、ファイヤーストップを設置したケースを加えた。

表 4.1 実験ケース

| 部位     | 通気層の種類       | ファイヤーストップ | ケース            |
|--------|--------------|-----------|----------------|
| 一般部    | 横胴縁 釘・ねじ留め   | なし        | Case G1        |
|        | 横胴縁 金具留め     | なし        | Case G2        |
| 窓上・窓下部 | 縦胴縁 釘・ねじ留め   | なし        | Case W1（基本ケース） |
|        |              | あり        | Case W2        |
|        | 縦胴縁 金具留め     | あり        | Case W3        |
|        | 横胴縁 釘・ねじ留め   | あり        | Case W4        |
|        | 通気金具留め 外装横張り | あり        | Case W5        |

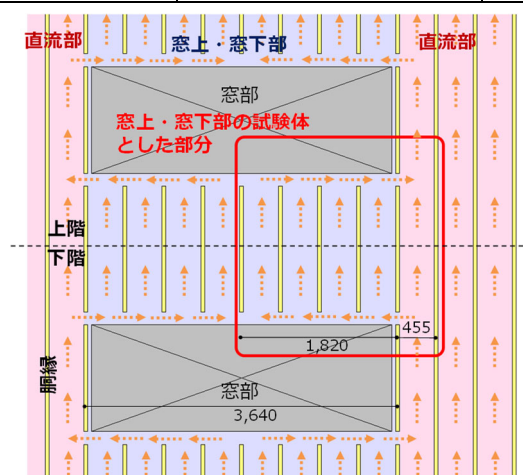


図 4.1 試験の対象とした窓上・窓下部

#### ① 一般部

横胴縁の釘・ねじ留め（Case G1）、金具留め（Case G2）の 2 種類とした。

試験体の胴縁割付図、サイディング割付図（Case G1 と Case G2 で共通）を図 4.2 (a1)、(b1)に示す。試験体幅を 1,820 mm とし、その中央に幅 30 mm の空隙を設けて通気経路とした。

空気齢の測定点を図 4.2(b1)に示す。測定点は次のように配置した。

- ・ 流入部からの距離に応じた空気齢の変化を確認するため、試験体の幅方向の中央かつ各胴縁間の中央に配置した。(測定点 a～f)
- ・ 胴縁で囲まれた領域内の分布を把握するため、図 4.2(b1)の左側に着目し、測定点を配置した。(測定点 g～l)

## ② 窓上・窓下部

窓上・窓下部の試験体は 5 種類とした。

縦胴縁 釘・ねじ留めを基本ケース (Case W1) とした。階間のファイヤーストップの影響を確認するため、ファイヤーストップなし (Case W1)、ファイヤーストップあり (Case W2) を設定した。通気層の種類の影響を比較するため、縦胴縁 金具留め (Case W3)、横胴縁 釘・ねじ留め (Case W4)、通気金具留め 外装横張り (Case W5) を設定した。

窓の幅は標準規格寸法の最大幅 3,640 mm を想定し、試験体の幅は窓上・窓下部として窓の幅の半分 1,820 mm に、直流部として縦胴縁 1 スパン分 455 mm を加えた寸法とした。

試験体の胴縁割付図を図 4.2(a2)～(a5)、サイディング割付を図 4.2(b2)～(b3)に示す。各部仕様は、窯業系サイディングの標準施工法<sup>3)</sup>に従った。試験体の水平断面図を図 4.2(c)に示す。窓周囲には幅 30 mm の空隙を設けて通気経路とした。通気経路を写真 4.1 に示す。試験体の通気の入口は直流部の下部、通気の出口は直流部の上部とした。横胴縁の試験体においては、直流部と窓上・窓下部の境界線上に幅 30 mm の空隙、試験体左端に幅 15 mm の空隙を設け通気経路とした。窓にあたる部分は、空気が流れ込まないように、窓の外周にあたる部分を胴縁で囲んだ。

ファイヤーストップの施工状況を写真 4.2 に示す。ファイヤーストップは、第 3 章で測定したものを使用し、階間でサイディング嵌合部に干渉しないよう配置した (図 4.2(d))。ファイヤーストップの製造業者の標準施工方法に従い、上端が胴縁に接し、下端が胴縁と 10 mm 離れるように設置した (図 4.2 (d)、写真 4.2)。

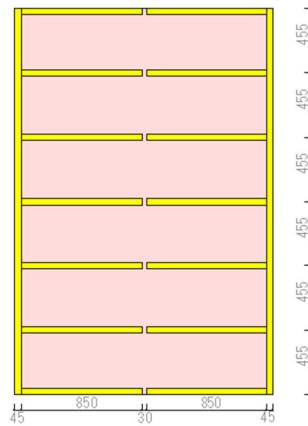
空気齢の測定点を図 4.2(b1)に示す。測定点は次のように配置した。

- ・ 直流部で流入部からの距離に応じた空気齢の変化を確認するため、直流部に等間隔に配置した。(測定点 a～f)
- ・ 窓上・窓下部の空気齢の分布を把握するため、図 4.2(b2)、(b3)の左側に着目し、測定点を配置した。(測定点 g～l)

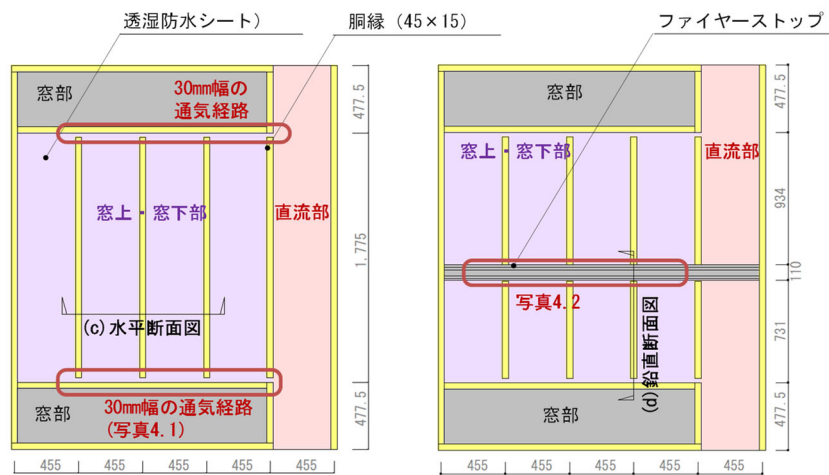
## ③ 試験体の共通事項

試験体に用いる胴縁の厚さは、標準施工方法で最も薄い 15 mm とした。サイディングは、釘・ねじ留めの場合は厚さ 14 mm、金具留め又は通気金具留めの場合は厚さ 16 mm のものを使用した。サイディング嵌合部から漏気が生じないよう、嵌合部を粘土で塞いだ。

各測定点のガス濃度を測定するため、サイディングに孔を開け、測定時以外は粘土で孔を塞いだ。

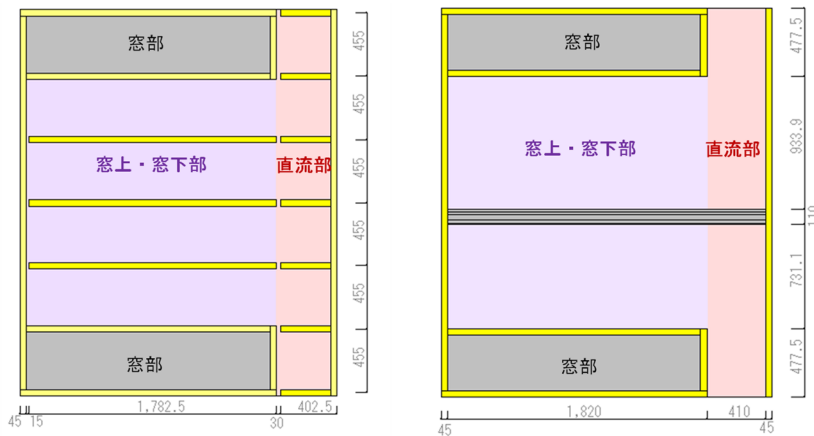


(a1) 一般部 横胴縁



(a2) 窓上・窓下部 縦胴縁  
ファイヤーストップなし

(a3) 窓上・窓下部 縦胴縁  
ファイヤーストップあり

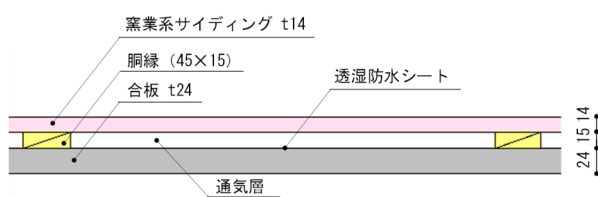
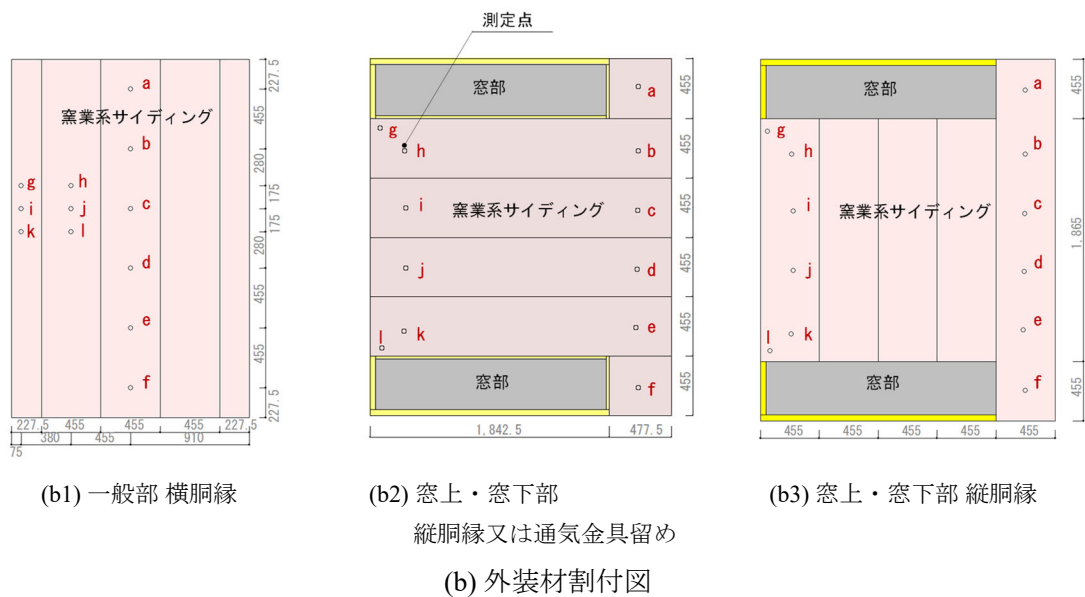


(a4) 窓上・窓下部 横胴縁  
ファイヤーストップなし

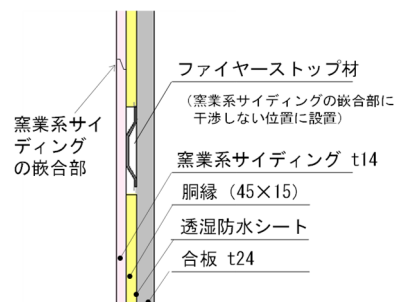
(a5) 窓上・窓下部 胴縁なし  
ファイヤーストップあり

(a) 胴縁割付図

図 4.2 試験体図 (その 1)



(c)水平断面図



(d)鉛直断面図

図 4.2 試験体図 (その 2)



写真 4.1 窓周囲の通気経路

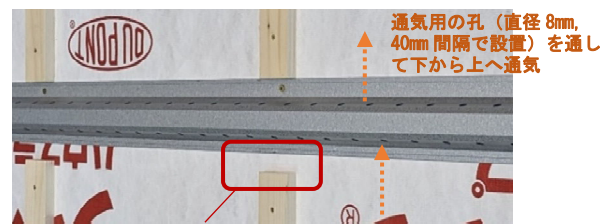


写真 4.2 ファイヤーストップの施工状況

### 4.3 実験方法

空気齢の測定は、トレーサガス法のステップダウン法<sup>6)</sup>を用いた。試験体のサイディングに設けた孔から補気用チューブを挿入し、通気層内のガス濃度を測定した。試験装置の概要を図 4.3 に示す。トレーサガスは二酸化炭素とし、ガス濃度測定器はコーナー札幌㈱ KNS-CO2、微差圧計は㈱岡野製作所 DPC-201N12 を用いた。各測定点において①～③の手

順で計測した。試験はすべて試験体を水平にした状態で行った。なお、計測前に次章の計算を行い、通気層内の空気齢が最大 448 秒と推測されたため、計測時間はその 4 倍の 1800 秒以上とした。

- ① 内部の空気を攪拌したチャンバーを介して試験体内にガスを充填し、試験体内のガス濃度が各部で±10%以内で一定になるようにした（図 4.3(a)）。
- ② ガスの発生を止め、通気層出口部の静圧が試験室に対して 5.0 Pa の負圧となるようファンを制御した（図 4.3(b)）（写真 4.3）。
- ③ 各測定点におけるガス濃度の推移を 10 秒間隔で計測した。計測は、サイディングに設けた孔から補気用チューブを挿入し（写真 4.4）、通気層の厚さ方向の中心から空気を捕集した。計測結果から(4-1)式により空気齢 $\tau_p$  (s)を算定した。

$$\tau_p = \frac{T_m \bar{C}_p}{C(0)} \quad (4-1)$$

ここで、 $C(0)$ ：試験開始時の試験体内と試験室のガス濃度差(ppm)

$T_m$ ：試験開始から終了までの時間 (s)

$\bar{C}_p$ ：試験開始から終了までの試験体内と試験室のガス濃度差の算術平均(ppm)

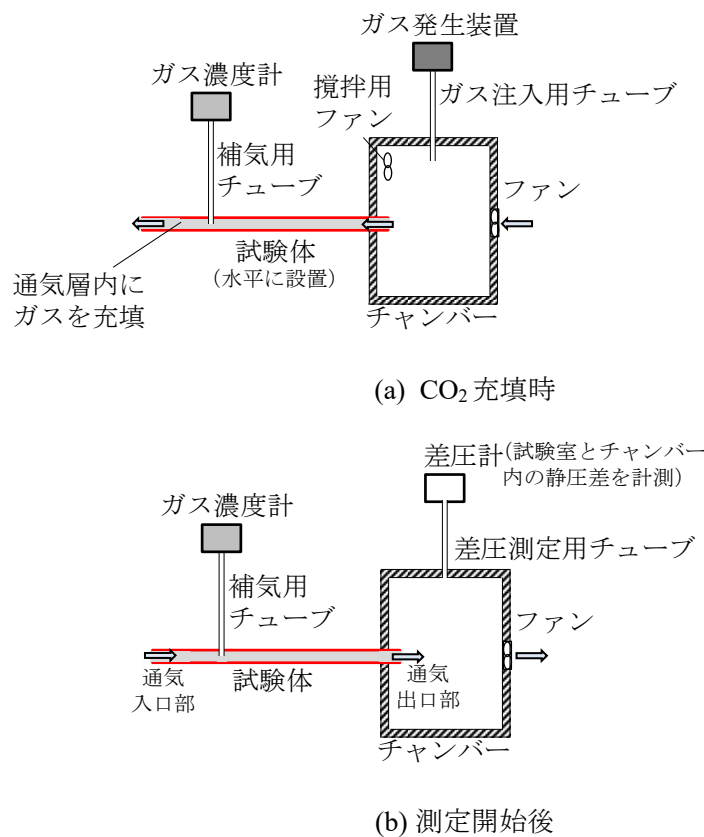


図 4.3 試験装置の概要

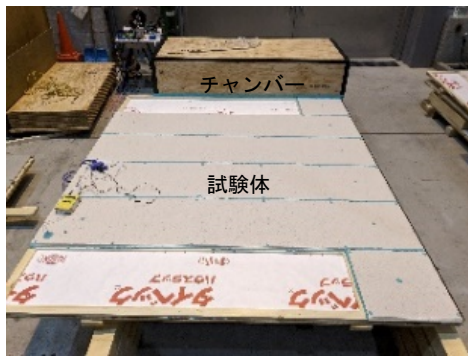


写真 4.3 試験状況

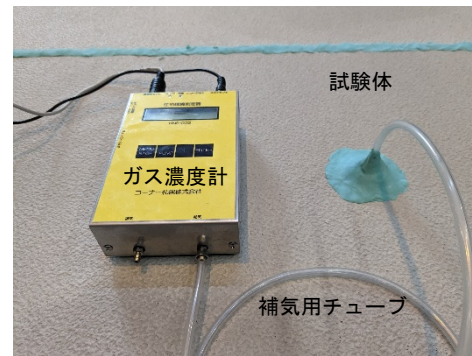


写真 4.4 各測定点のガス濃度測定状況

## 4.4 実験結果

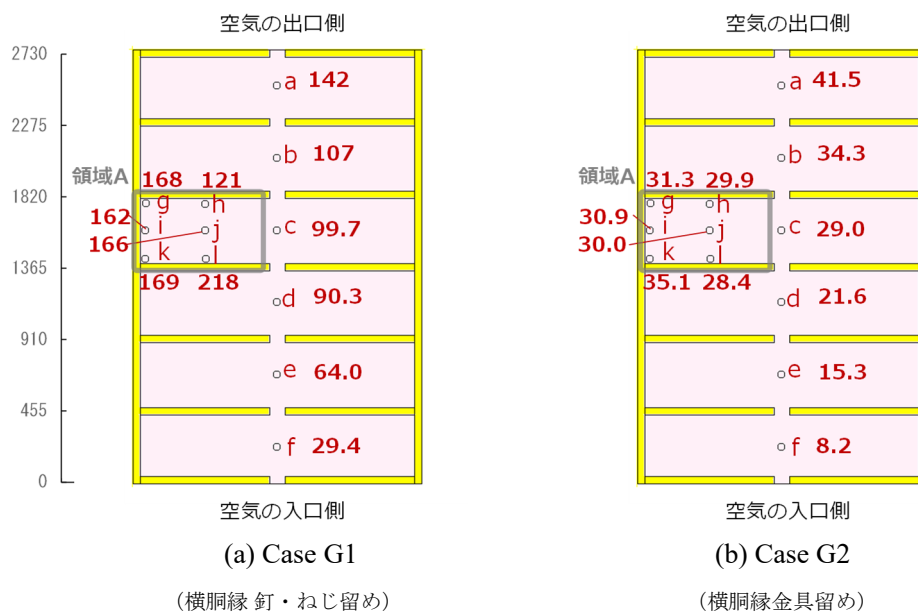
### 4.4.1 一般部

横胴縁 釘・ねじ留め (Case G1) と横胴縁 金具留め (Case G2) の各測定点の空気齢を図 4.4 に示す。

通気経路を通る線上の測定点 a～f においては、空気齢は空気の入口からの距離にほぼ比例した。金具留めとした Case G2 は、釘・ねじ留めとした Case G1 よりもすべての測定点において空気齢が短くなった。

横胴縁 釘・ねじ留め (Case G1) においては、測定点 c と領域 A (測定点 g～l) 内で空気齢が 99.7～218 秒であり、差が大きかった。

横胴縁 金具留め (Case G2) においては、測定点 c と領域 A の空気齢が 28.4～35.1 秒であり、差が小さかった。これは、横胴縁 釘・ねじ留め (Case G1) においては、1,820 mm 間隔で幅 30 mm の空隙のみが通気経路であるが、横胴縁 金具留め (Case G2) では厚さ 5 mm の空隙が連続して設けられたためと考えられる。



図中の数値は各点における空気齢 (s)

図 4.4 各測定点の空気齢 (横胴縁一般部)

### 4.4.2 窓上・窓下部

#### ① 縦胴縁 釘・ねじ留めにおける滞留の状況

基本ケース (Case W1・縦胴縁 釘・ねじ留めのファイヤーストップなし) の各測定点の空気齢を図 4.5(a)に示す。測定点 b～f は、測定開始後 1 回目 (10 秒後) の計測で測定点の濃度が試験室内と同程度まで低下しており、空気齢は 10 秒に達していなかった。それ以外の測定点においては空気齢の測定結果を得られた。

空気齢は、直流部 (測定点 a) の 36.1 秒に対し、窓上・窓下部で 143～448 秒となった。



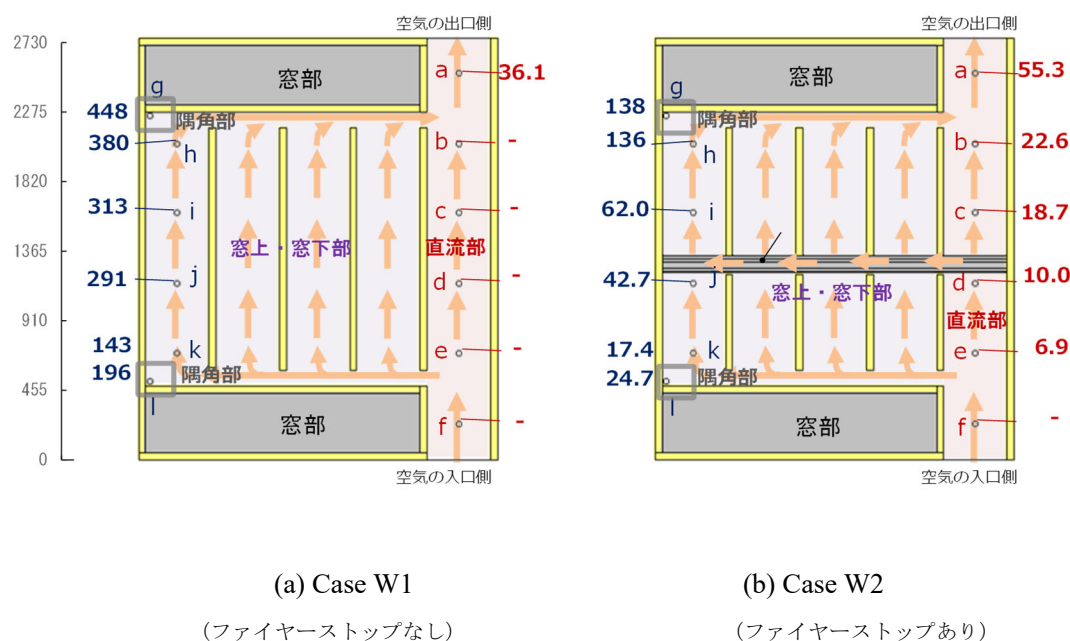
窓上・窓下部は、直流部よりも空気齢が長く、空気の入口から遠い測定点ほど空気齢が長い傾向があることを確認できた。

また、通気経路の隅角部（図 4.5）をみると、測定点 g と l は、近接する測定点の h と k よりも空気齢が 60 秒程度長くなった。隅角部においても滞留が生じることを測定結果から把握できた。

## ② ファイヤーストップの影響

窓上・窓下部における縦胴縁 釘・ねじ留めのファイヤーストップあり（Case W2）の各測定点の空気齢を図 4.5 (b) に示す。また、ファイヤーストップなし（Case W1）及びあり（Case W2）の試験体における高さ方向の空気齢の分布を図 4.6 に示す。直流部の測定点 a における空気齢は、ファイヤーストップありが 55.3 秒となり、ファイヤーストップなしの 36.1 秒よりも長くなった。また、窓上・窓下部における空気齢は、ファイヤーストップありが 17.4～138 秒となり、ファイヤーストップなしの 143～448 秒よりも短くなった。

これは、ファイヤーストップが直流部の通気抵抗となり通気量を減少させるが、ファイヤーストップの内部や周囲の空間を通して横方向に空気が移動できたためと考えられる。本実験の条件では、ファイヤーストップの設置により、ファイヤーストップ長手方向の空気移動が可能となり、窓上・窓下部の局所的な滞留が緩和され、最長の空気齢が短くなることがわかった。



図中の数値は各点における空気齢 (s) (「-」は空気齢が短く計測不能。気流の方向は推定)

図 4.5 各測定点の空気齢（縦胴縁 釘・ねじ留め）

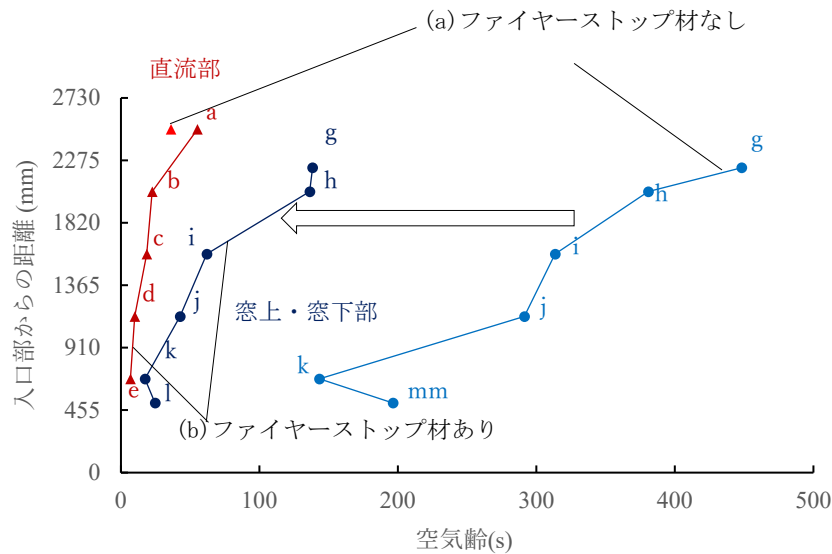


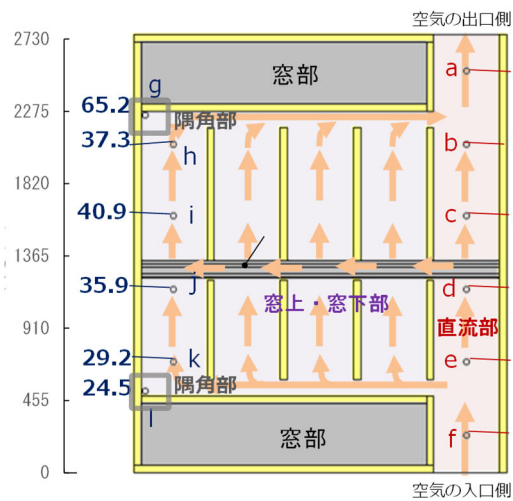
図 4.6 窓上・窓下部における縦胴縁の試験体の高さ方向の空気齢分布

### ③ 胴縁と外装材の留め付け方法の影響

縦胴縁 金具留め (Case W3)、横胴縁 釘・ねじ留め (Case W4) 及び通気金具留め (Case W5) の各測定点の空気齢を図 4.7(a)～(c)に示す。基本ケース (縦胴縁 釘・ねじ留め Case W1) と同様に、直流部と窓上・窓下部それぞれにおいて、空気の入り口から遠い測定点ほど空気齢が長い傾向があることが確認でき、通気層内の空気の動きを把握できた。

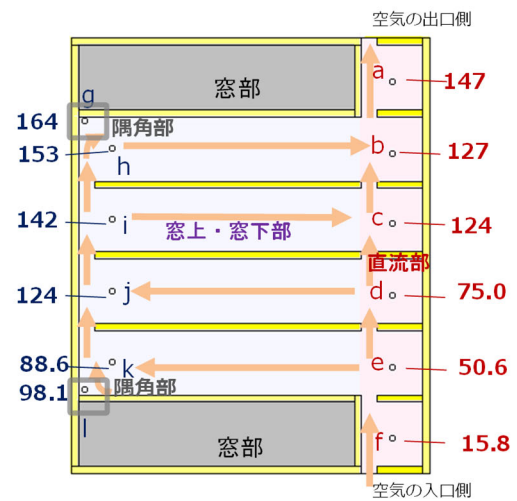
縦胴縁 釘・ねじ留め (Case W2) と縦胴縁 金具留め (Case W3) を比較するとすべての測定点で Case W3 の空気齢が短かった。金具留めとすることで、高さ方向と横方向ともに通気されやすくなったと言える。

Case W3～W5 における直流部と窓上・窓下部の最長の空気齢は、Case W3 で直流部 32.5 秒に対し窓上・窓下部 65.2 秒、Case W4 で直流部 147 秒に対し窓上・窓下部 164 秒、Case W5 で直流部 38.8 秒に対し窓上・窓下部 50.8 秒であり、基本ケース (縦胴縁 釘・ねじ留め Case W1、直流部 36.1 秒に対し窓上・窓下部 448 秒) よりも差が小さくなった。このことから、縦胴縁 金具留め、横胴縁や胴縁なしの場合、縦胴縁 釘・ねじ留めより窓上・窓下部の滞留が生じにくいことがわかった。



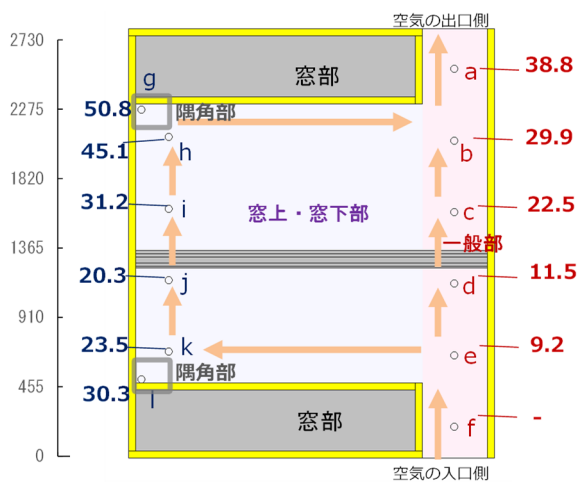
(a) Case W3

(縦胴縁金具留め ファイヤーストップあり)



(b) Case W4

(横胴縁釘・ねじ留め ファイヤーストップなし)



(c) Case W5

(通気金具留め ファイヤーストップあり)

図中の数値は各点における空気齢 (s) (「-」は空気齢が短く計測不能。気流の方向は推定)

図 4.7 各測定点の空気齢

#### 4.5 実験のまとめ

本章では、通気層滞留部の空気齢を、トレーサガス法のステップダウン法により測定し、次の知見を得た。

- ・横胴縁一般部では、釘・ねじ留めの場合、通気経路から離れた測定点で空気齢が長くなった。金具留めの場合、釘・ねじ留めよりも全体として空気齢が短くなり、測定点ごとの空気齢の差が小さくなった。
- ・窓上・窓下部では、縦胴縁 釘・ねじ留めで空気齢が最も長くなった。通気経路の隅角部で特に空気齢が長くなった。
- ・縦胴縁 釘・ねじ留めで窓上・窓下部において、階間に設置されるファイヤーストップにより滞留が緩和されることがわかった。

## 5. 通気層の換気効率に関する計算方法の検討

### 5.1 目的

本章では、次章で中高層建築物の換気効率の検討を行うため、換気回路網計算法により通気層内各点の間の流量や空気齢を求める計算モデルを組み、計算結果を前章の実験で得られた空気齢分布と比較し、その妥当性を検証する。

### 5.2 計算手法

換気回路網計算法の概念図を図 5.1 に示す。節点は、通気層の構成部材を通過する前後に設け、横胴縁の場合は胴縁で囲われた空間ごとに設けた。節点間の通気抵抗は、通気層の構成部材については 3 章の実験で取得した値を用い、摩擦抵抗については(5.1)式による計算値とした。通気層は流路が狭く、風速が小さく層流とみなせることから、摩擦抵抗係数 $\lambda$ は、縦胴縁についてはムーディ線図による層流域の計算式 ((5.2)式)、通気金具留めについては長村ら<sup>7)</sup>により通気金具留めの通気層を計測した値 ((5.3)式)を用いた。

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{D} \frac{\rho}{2} v^2 \quad (5.1)$$

$$\lambda = 64 / Re \quad (\text{縦胴縁の場合}) \quad (5.2)$$

$$\lambda = 76 / Re \quad (\text{通気金具留めの場合}) \quad (5.3)$$

ここで、 $\Delta P$  : 圧力差 (Pa)

$\lambda$  : 摩擦抵抗係数

$D$  : 等価直径 (m) (=2d) (d は通気層の厚さ)

$\rho$  : 空気密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  : 通気層の風速 (m/s)

$l$  : 通気層の節点間の長さ (m)

$Re$  : レイノルズ数 (-)

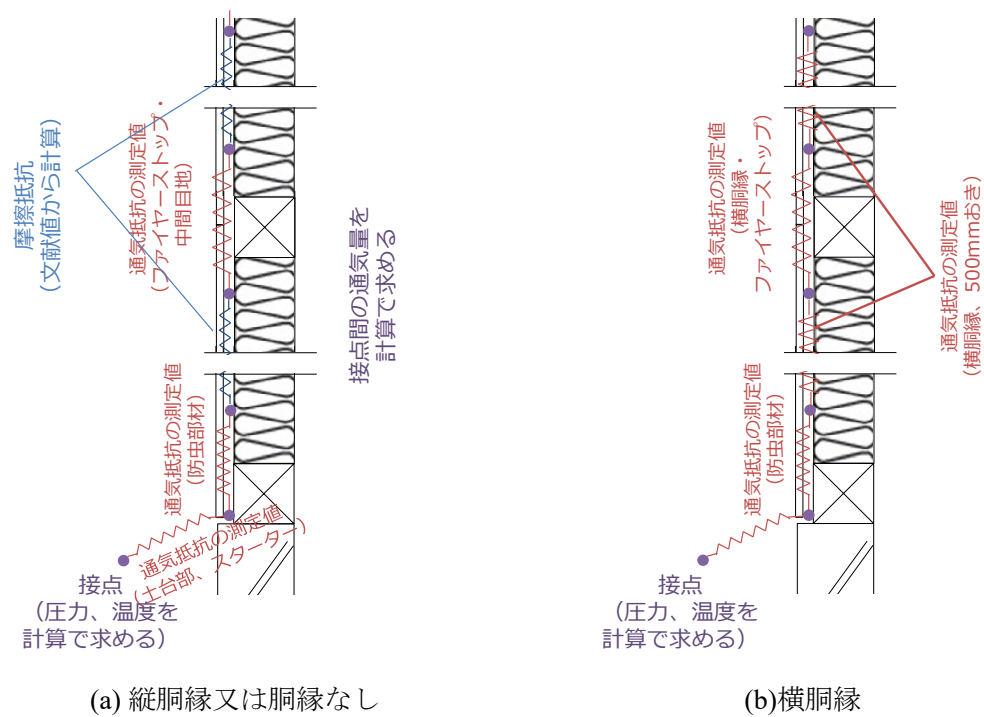


図 5.1 計算手法の概念図

### 5.3 計算モデル

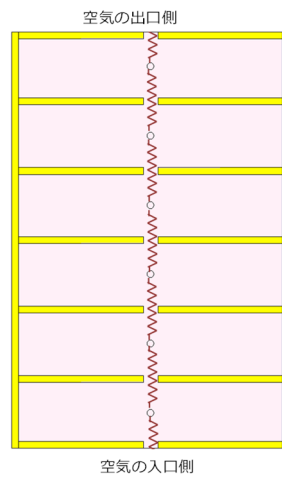
前章で実験を行ったケースから空気齢の分布が特徴的な表 5.1 の 3 ケースを抽出し、計算モデルを作成した。

- ・ 一般部で滞留が見られた横胴縁 釘・ねじ留め (Case G1)
- ・ 窓上・窓下部で滞留が顕著に見られた縦胴縁 釘・ねじ留めのファイヤーストップ設置なし (Case W1)
- ・ Case W1 に対して滞留の改善が確認されたファイヤーストップ設置あり (Case W2)

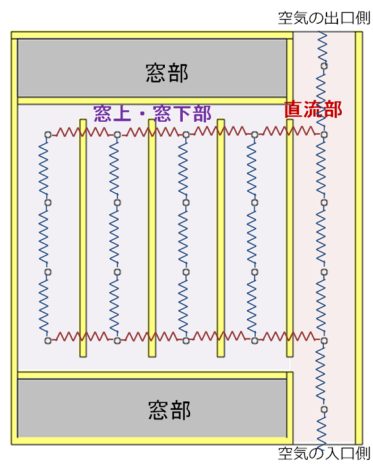
計算モデルの概要を図 5.2 に示す。計算では、実験と同様に通気層内空気の入口と出口に 5 Pa の圧力差を与えた。

表 5.1 検討ケース

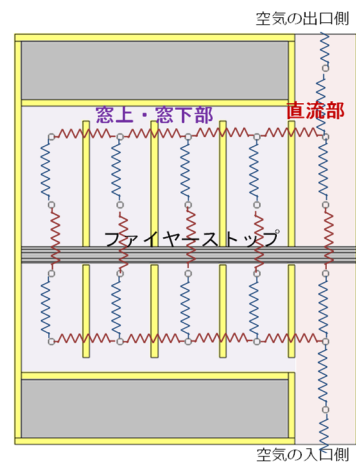
| 部位         | 通気層の種類     | ファイヤーストップ | ケース     |
|------------|------------|-----------|---------|
| 一般部        | 横胴縁 釘・ねじ留め | なし        | Case G1 |
| 窓上・<br>窓下部 | 縦胴縁 釘・ねじ留め | なし        | Case W1 |
|            |            | あり        | Case W2 |



(a) Case G1



(b) Case G1



(b) Case G2

○ は計算の節点

~~~~~ 節点間の摩擦による通気抵抗

~~~~~ 節点間の部材による通気抵抗

図 5.2 計算モデルの概要

## 5.4 検討結果

以下、検討結果を示す。なお、今回の計算では一般部での領域 A 内（図 5.3）及び窓上・窓下部の隅角部については節点を細かく設定できなかったため比較対象から除外した。

### 5.4.1 一般部

実験結果を図 5.3(a)、計算結果を図 5.3(b)に示す。

計算では、幅 30 mm の通気経路を通る線上の点（実験の測定点 a～f）において高さ方向の空気齢の分布を概ね推定できることがわかった。

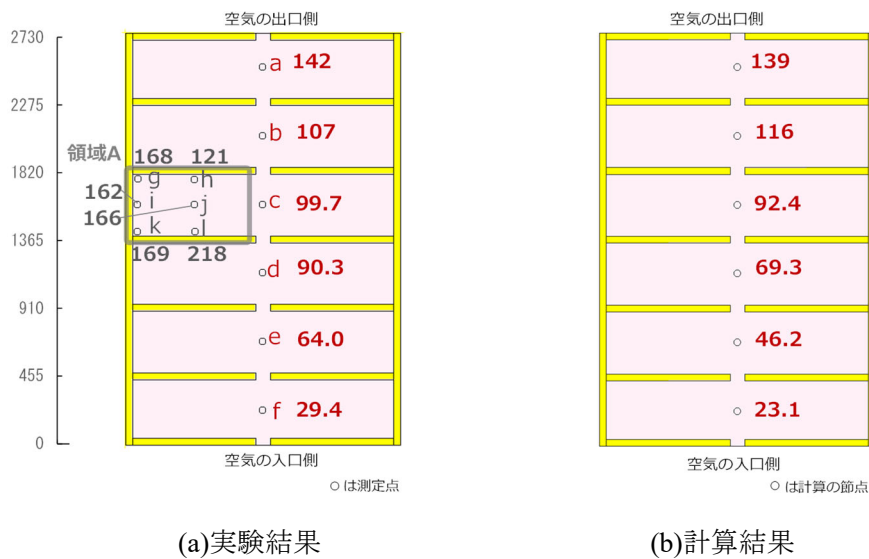


図 5.3 計算と実験による空気齢の比較（Case G1）

### 5.4.2 窓上・窓下部

#### ① 縦胴縁 釘・ねじ留めにおける滞留の状況

実験結果を図 5.4(a)、計算結果を図 5.4 (b)に示す。

測定点 b～f の空気齢は、実験では測定開始後 1 回目（10 秒後）でガス濃度が試験室内と同程度まで低下していたため 10 秒以下と考えられたが、計算では 0.2～2.0 秒であった。

隅角部を除く空気齢は、実験結果が 143～380 秒であったのに対し、計算結果が 153～365 秒であり、窓上・窓下部における空気齢を概ね推定できることがわかった。



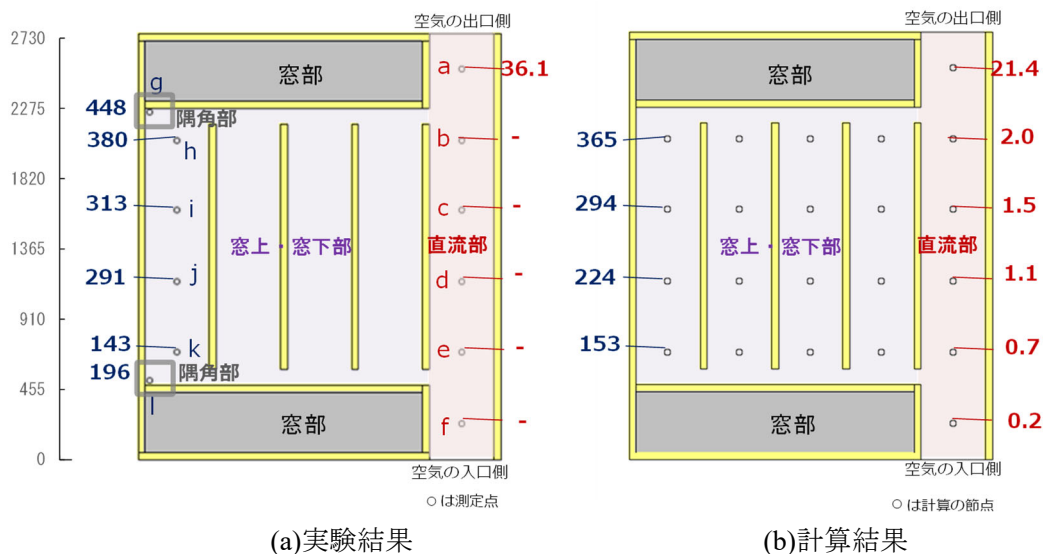


図 5.4 計算と実験による空気齢の比較 (Case W1)

## ② ファイヤーストップの影響

縦胴縁 釘・ねじ留めでファイヤーストップを設置した場合の実験結果を図 5.5(a)、計算結果を図 5.5 (b)に示す。

計算結果は実験結果と同様に、図 5.4 で示したファイヤーストップを設置しないケースと比べ、直流部では空気齢が長く、窓上・窓下部では空気齢が短くなった。窓上・窓下部の空気齢については、実験結果が 17~138 秒であったのに対し、計算結果が 77~196 秒であった。計算では、ファイヤーストップ設置による滞留の緩和効果が小さく算定される傾向があるものの、窓上・窓下部における滞留の緩和を概ね推定できることがわかった。

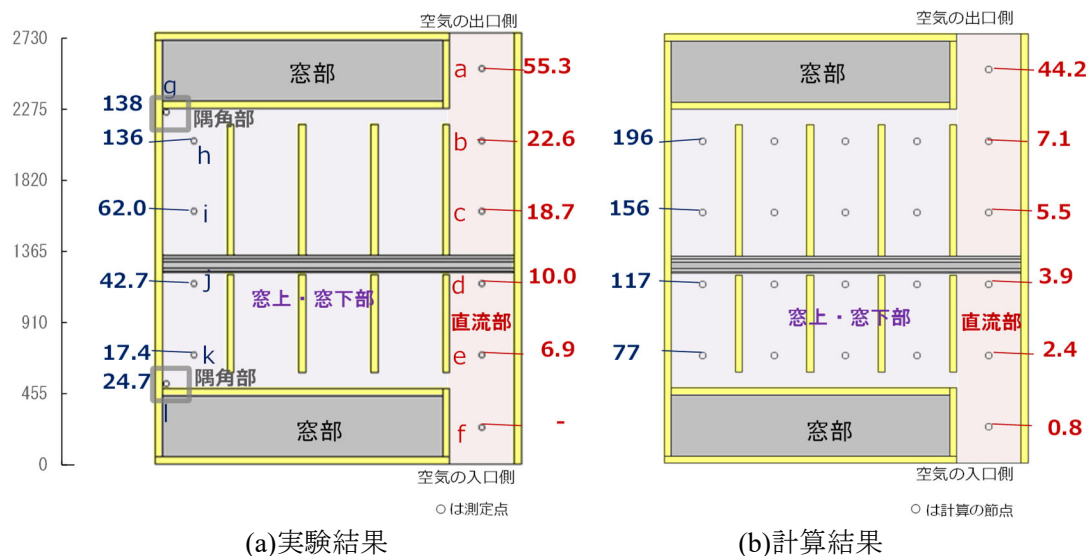


図 5.5 計算と実験による空気齢の比較 (Case W2)

## 5.5 考察

本章では、次章で中高層建築物の換気効率の検討を行うため、換気回路網計算法により節点間の流量や空気齢を求める計算モデルを組んだ。計算モデルの妥当性検証のため、計算結果と前章の実験で得られた空気齢分布を比較し、次のことを確認した。

- ・ 横胴縁の一般部において、胴縁で囲われた空間を 1 つの節点としたため、幅 30 mm の通気経路の線上から遠い位置の分布を検討できていないが、高さ方向の空気齢の分布を概ね推定できることがわかった。
- ・ 窓上・窓下部において、通気経路の角部を 1 つの節点としたため、隅角部の空気齢は検討できていないが、隅角部を除く空気齢は概ね推定できることがわかった。
- ・ ファイヤーストップ設置による窓上・窓下部の滞留の緩和効果が小さく算定される傾向があるが、滞留の緩和を概ね推定できることがわかった。

本章の計算方法により通気層の空気齢分布の傾向を概ね推定できたため、この計算方法を次章の計算に用いることとした。

## 6. 中高層建築物の通気層の換気効率に関する計算

### 6.1 目的

前章の計算手法を用い、通気層を 6 層の中高層建築物（以下、「6 層」という。）に適用した場合と、2 層の低層建築物（以下、「2 層」という。）に適用した場合について、外部条件をそろえた上で換気効率を比較し、中高層化の影響及び 6 層の換気効率を確保するための方策を明らかにする。

### 6.2 計算手法

5.1 節に示す換気回路網計算法を用いた。

### 6.3 計算モデル

#### 6.3.1 建物条件

2 層及び 6 層の計算モデルを図 6.1 に示す。

通気層最下部は地上高さ 0.45 m とした。通気層最上部については、2 層は外壁と軒の取合部における通気見切り材、6 層はパラペットと設定した。階高は 3.0 m とし、最上階床レベルからパラペット頂部は 3.5 m と設定した。パラペット部の通気層から外部への通気経路は、屋上側又は外壁側とした（図 6.2）。

いずれの外壁においても、中間水切り等により通気層が上下に区画されないこととし、最下階の通気層入口から最上階の通気層出口まで、通気層が連続することとした。

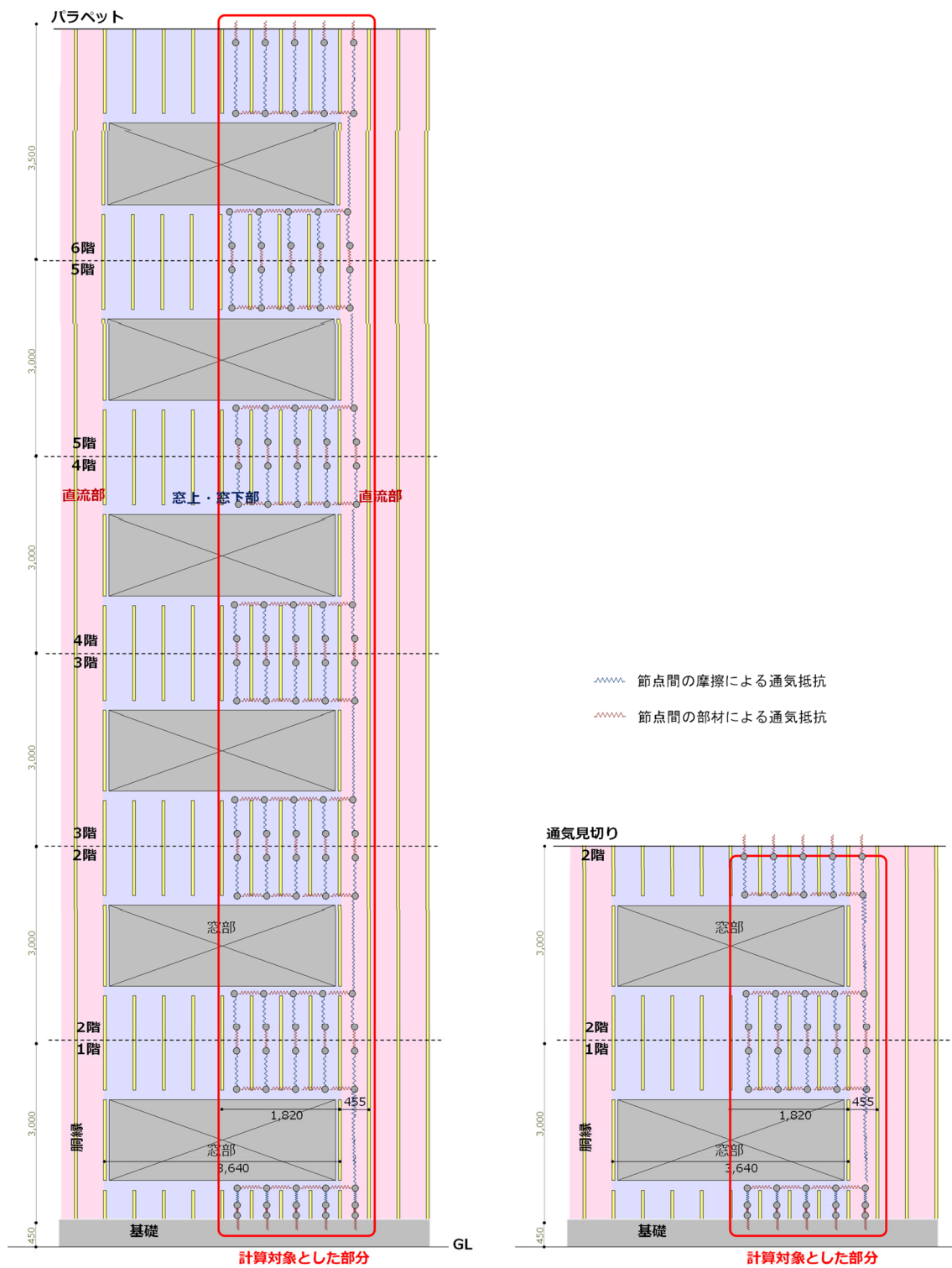


図 6.1 計算対象とした部分

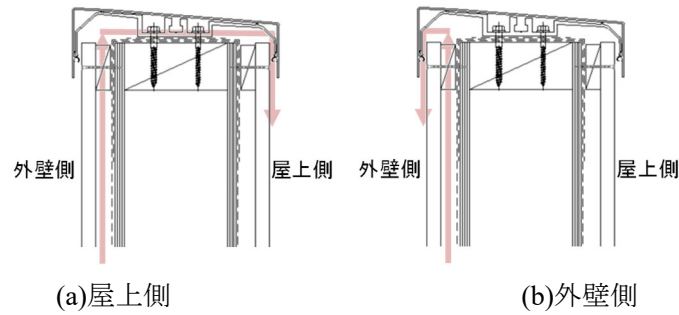


図 6.2 パラペット頂部における通気層の開口

### 6.3.2 外部条件

梅野ら<sup>2)</sup>は実測調査により、外壁通気層の風速は、通気層内と外気の温度差、外部風速に影響を受けることを示している。通気層内と外気の温度差は日射量の影響を大きく受けると考えられることから、本研究では外部条件として日射量と風速の条件を与えた。各条件の影響を明確にするため、壁面に日射量又は外部風速を同条件でそれぞれ与えた。

#### ① 日射条件

日射量は、鉛直面の日射量として年間最大レベルの  $1,000 \text{ (W/m}^2\text{)}$  を与えた。外装材は窯業系サイディングを想定し、表 6.1 の物性値とした。外装材の外気側は総合熱伝達率  $23 \text{ (W/(m}^2\cdot\text{K))}$  を与えた。躯体側への熱移動は無いと仮定し、また、通気層内面は両面とも放射率 1、形態係数 1 とした。

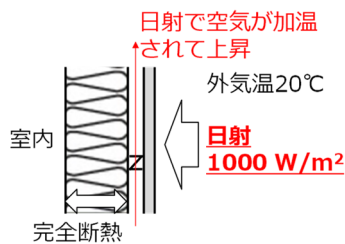


図 6.3 日射条件

表 6.1 外装材の物性値

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| 厚さ    | 15 mm                               |
| 熱伝導率  | $0.15 \text{ (W/(m}\cdot\text{K))}$ |
| 日射吸収率 | 0.9                                 |

通気層内面の対流熱伝達率  $\alpha_{cv}$  は、文献<sup>8)9)</sup>の計算法を基に次の式で与えた。

$$\alpha_{cv} = 2\alpha_{base} + c_v v \quad (5.4)$$

$$\alpha_{base} = Nu \frac{\lambda_a}{d} \quad (5.5)$$

ここで、 $c_v$ ：風速係数  $4 \text{ [(W}\cdot\text{s)/(m}^3\cdot\text{K)]}$

$Nu$  : ヌッセルト数 (-) (通気層内面が両面等温の場合 1)

$v$  : 通気層の風速 (m/s)

$\lambda_a$  : 空気の熱伝導率 0.026 (W/(m・K))

$d$  : 通気層の厚さ 0.015(m)

なお、日射を与えた条件で比較をする際は、外部風は 0 (m/s)とした。

## ② 外部風条件

梅野ら<sup>2)</sup>は、外部風と外壁通気層の風速及び風向の関係を実測調査し、風上側以外の壁面では通気層内の風速と風向が安定しないが、風上側壁面では通気層内の風速と風向が安定して得られることを示している。本研究では、壁面は安定した風向となる風上側とした。

外部風速は地上高さ 10 m における風速を 5 m/s とし、通気層の最下部及び最上部における風圧力 $P_w$ を(6.1)式により算定した。基準高さにおける風速 $V_H$ は(6.2)式により求めた。

$$P_w = C_p \frac{1}{2} \rho V_H^2 \quad (6.1)$$

ここで、 $C_p$  : 風圧係数 (-)

$\rho$  : 空気密度 (20℃で 1.21 kg/m<sup>3</sup>)

$V_H$  : 基準高さにおける風速 (kg/m)

$$V_H = V_{10}(H/10)^\alpha \quad (6.2)$$

ここで、 $V_{10}$  : 地上高さ 10m における外部風速(5 m/s とした)

$H$  : 各モデルの基準高さ (m)

$\alpha$  : 地表粗度に応じた値 (地表粗度区分Ⅳとし 0.27 とした)

風圧係数 $C_p$ は「風圧係数データベース+風圧係数データ管理プログラム CP-X」<sup>10)</sup>より、2 層の建築物は最高高さ 7.2 m で軒の出が 900 mm の建物 (図 6.3(a))、6 層の建築物はデータベース中で 6 層に近かった高さ 15 m で陸屋根の建物 (図 6.3(b)) のデータを用いた。風圧係数は、データベース中の壁面中央の値とした。計算に用いた風圧係数の値を表 6.3 に、各建物の風圧力の分布を図 6.4 に示す。

なお、外部風を与えた条件で比較をする際は、日射は無く等温とした。

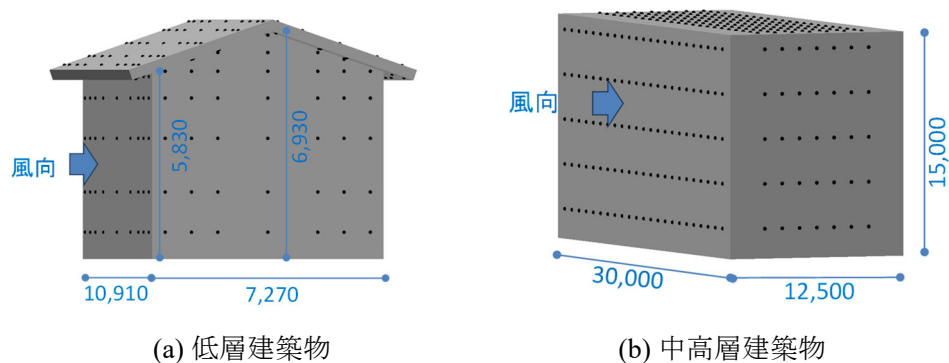


図 6.4 風圧係数の取得した建物形状<sup>10)</sup>

表 6.2 風圧係数の設定値

| 建築物の<br>層数 | 基準高さ<br>(m) | 部位          | 風圧係数 (-) |
|------------|-------------|-------------|----------|
| 2 層        | 5.85        | 通気層最下部      | 0.68     |
|            |             | 通気層最上部 (軒天) | 0.82     |
| 6 層        | 15          | 通気層最下部      | 0.56     |
|            |             | 通気層最上部      | 通気経路を屋上側 |
|            |             |             | 通気経路を外壁側 |
|            |             |             | 0.60     |

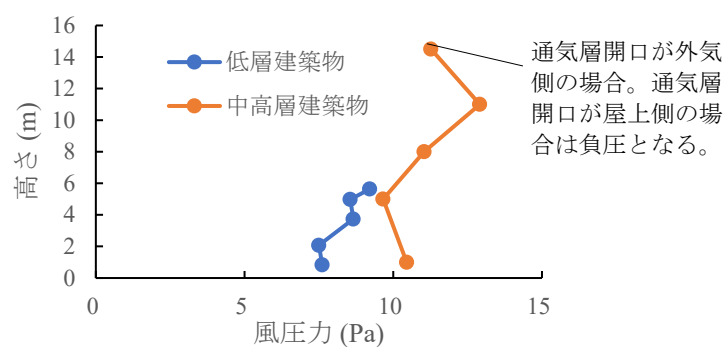


図 6.5 風圧力の分布

### 6.3.3 検討ケース

#### ① 一般部

検討ケースを表 6.3 に示す。

一般部では2層の横胴縁 釘・ねじ留めと6層の各種類の通気層を比較した。

各種類の通気層に用いる構成部材は、前出の表 3.2 に示した「開口面積最小」の組合せとした。通気金具留め 外装横張りでは、中間目地部材を有効開口面積 1.2 (cm<sup>2</sup>/m)とした仕様と 5.4 (cm<sup>2</sup>/m)とした仕様について検討した。

表 6.3 一般部の検討ケース

| ケース名                                         |               | Case 0        | Case 1        | Case 2         | Case 3         | Case 4         | Case 5                 | Case 6                 |
|----------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|------------------------|
| 階数                                           |               | 2             | 6             |                |                |                |                        |                        |
| 通気層の種類                                       | 胴縁            | 横             | 横             |                | 縦              |                | なし（外装横張り）              |                        |
|                                              | 外装材留付け        | 釘・ねじ          | 釘・ねじ          | 金具             | 釘・ねじ           | 金具             | 通気金具                   |                        |
| 構成部材<br>(括弧内の数字は有効開口面積 (cm <sup>2</sup> /m)) | 最上部           | 通気見切り材 (2.1)  | パラペット (2.3)   | パラペット (31.2)   | パラペット (97.5)   | パラペット (97.5)   | パラペット (97.5)           | パラペット (97.5)           |
|                                              | ファイヤーストップ     | なし            | なし            | あり (6.1)       | あり (6.6)       | あり (6.1)       | あり (3階4階の階間なし) (6.8)   | あり (3階4階の階間なし) (6.8)   |
|                                              | 中間目地部材        | なし            | なし            | なし             | なし             | なし             | 3階4階の階間にあり (5.4)       | 3階4階の階間にあり (1.2)       |
|                                              | 防虫部材          | あり (107)      | あり (107)      | あり (94.4)      | あり (106)       | あり (94.0)      | あり (105)               | あり (105)               |
|                                              | スターター部材・土台水切り | 土台水切り設置 (2.2) | 土台水切り設置 (2.2) | 土台水切り設置 (27.9) | 土台水切り設置 (81.1) | 土台水切り設置 (85.3) | スターター部材・土台水切り設置 (14.0) | スターター部材・土台水切り設置 (14.0) |

#### ② 窓上・窓下部

検討ケースを表 6.4 に示す。

窓上・窓下部で滞留が生じやすい縦胴縁 釘・ねじ留めについて、第4章で試験体とした部分を2層分及び6層分にしたもの（図 6.1）を比較した。

第4章の実験により、ファイヤーストップの設置が滞留を緩和させることがわかったため、6層の縦胴縁 釘・ねじ留めについてはファイヤーストップ有り及び無しのケースを設定した。ファイヤーストップを設置するケースにおいては、すべての階間に設置すること



とした。

また一般部の検討において、外部風よりも日射の方が 6 層の通気層にとって不利な条件であったため、ここでは同条件の日射受熱時について検討を行った。

表 6.4 窓上・窓下部の検討ケース

| ケース名     | 層数  | 通気層を設けた構造の種類 | ファイヤーストップ |
|----------|-----|--------------|-----------|
| Case 2-1 | 2 層 | 横胴縁 釘・ねじ留め   | なし        |
| Case 6-1 | 6 層 | 横胴縁 釘・ねじ留め   | なし        |
| Case 6-2 | 6 層 | 横胴縁 釘・ねじ留め   | あり        |

## 6.4 計算結果

### 6.4.1 一般部

#### ① 日射による通気

日射受熱時の通気層内温度の高さ方向の分布を図 6.6 に示す。通気層内温度は、通気層最下部で外気温度に等しいが、空気の上昇にしたがって温度が上昇する様子が確認された。通気層上部では温度がほぼ定常となった。

各ケースの通気量と空気齢が最も長くなる通気層最上部での空気齢を図 6.7 に示す。

横胴縁 釘・ねじ留めの 2 層 (Case 0) と 6 層 (Case 1) は同程度の通気量であった。6 層は 2 層に比べ、通気経路全体での通気抵抗が大きくなるが、通気層内外の温度差により通気層の入口と出口の差圧が大きくなるため、双方の影響が相殺され、通気量が同程度となった。従って 6 層は、通気経路が長いため、通気層最上部での空気齢が 2 層の 3 倍程度となった。

このように、通気量よりも空気齢で比較する方が 6 層にとって厳しいため、以下は主に空気齢に着目して結果を考察した。

Case 6 は Case 0 と同程度の空気齢となった。中間目地部材の有効開口面積  $1.2 \text{ cm}^2/\text{m}$  は、他の構成部材と比較し有効開口面積が特に小さいので、通気経路全体の通気抵抗に及ぼす影響が特に大きかったと考えられる。Case 6 を除く Case 2～Case 5 では、Case 0 よりも出口部での空気齢が短くなった。

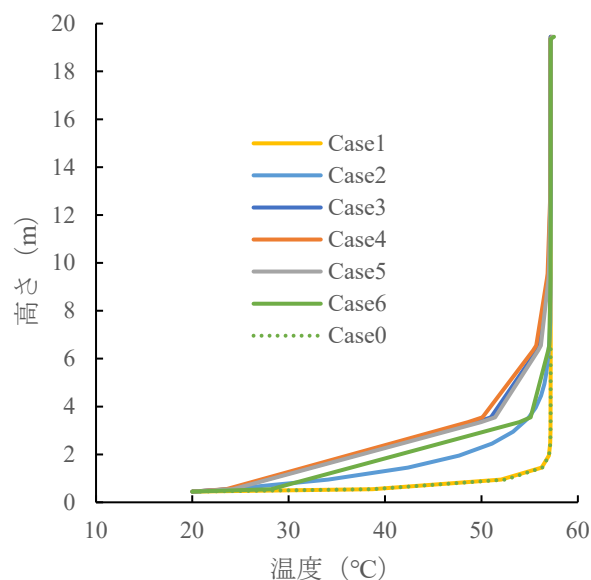
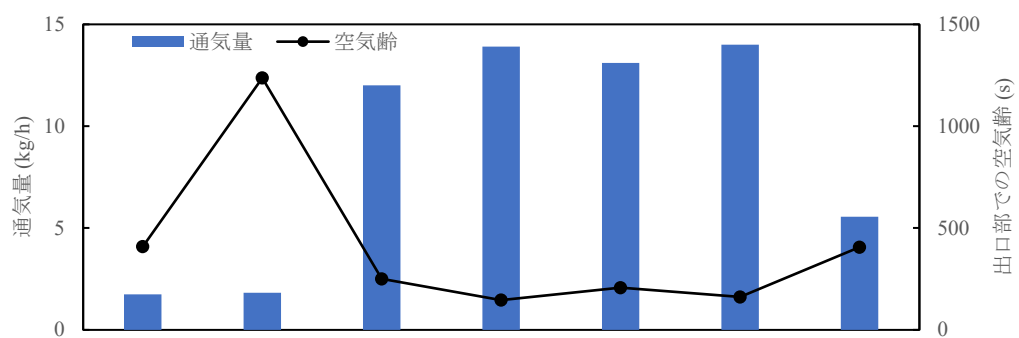


図 6.6 各ケースの通気層内温度の分布



| ケース名           | Case 0 | Case 1 | Case 2 | Case 3 | Case 4 | Case 5    | Case 6      |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------------|
| 階数             | 2      | 6      |        |        |        |           |             |
| 胴縁             | 横      | 横      |        | 縦      |        | なし（外装横張り） |             |
| 留付方法           | 釘・ねじ   | 釘・ねじ   | 金具     | 釘・ねじ   | 金具     | 通気金具      |             |
| ファイヤー<br>ストップ材 | なし     | なし     | あり     | あり     |        | あり        | あり+<br>中間目地 |

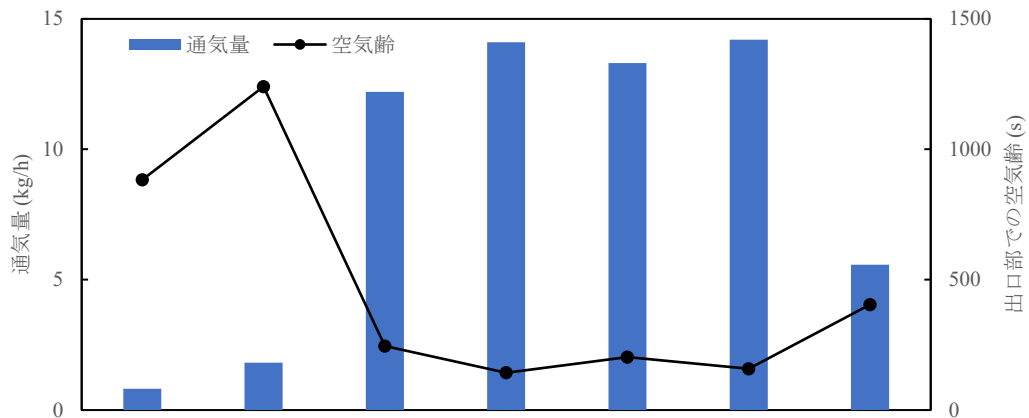
図 6.7 通気層一般部における日射受熱時の換気効率の比較

## ② 外部風による通気（パラペット部の通気層から外部への通気経路が屋上側）

パラペット部の通気層から外部への通気経路を屋上側としたときの、各ケースの通気量と空気齢が最も長くなる通気層最上部の空気齢を図 6.8 に示す。

横胴縁 釘・ねじ留めで比較すると、6 層（Case 1）は 2 層（Case 0）の建築物よりも出口部の空気齢が長くなった。

6 層の他のケース（Case 2～Case 6）は、Case 0 よりも出口部の空気齢が短くなった。特に Case 6 は、先述の日射受熱時の比較（図 6.7）で Case 0 と同程度の空気齢であったが、この比較においては Case 0 よりも空気齢が短くなった。



| ケース名           | Case 0 | Case 1 | Case 2 | Case 3 | Case 4 | Case 5    | Case 6      |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------------|
| 階数             | 2      | 6      |        |        |        |           |             |
| 胴縁             | 横      | 横      |        | 縦      |        | なし（外装横張り） |             |
| 留付方法           | 釘・ねじ   | 釘・ねじ   | 金具     | 釘・ねじ   | 金具     | 通気金具      |             |
| ファイヤー<br>ストップ材 | なし     | なし     | あり     | あり     |        | あり        | あり+<br>中間目地 |

図 6.8 通気層一般部における外部風による換気効率の比較  
(パラペット部の通気層から外部への通気経路が屋上側)

### ③ 外部風による通気（パラペット部の通気層から外部への通気経路が外壁側）

パラペット部の通気層から外部への通気経路を外壁側としたときの、各ケースの通気量と通気層出口部での空気齢を図 6.9 に示す。通気層の最下部よりも最上部の風圧力が高く、通気層内は下降気流が生じるため、空気齢は通気層最下部（土台水切り部）の値を示した。

パラペット部の通気層から外部への通気経路を外壁側とすると、通気層最下部と最上部の風圧力の差が小さいため、いずれのケースにおいても図 6.8 よりも通気量が少ない上に空気齢が長く、通気層出口部における空気齢が長くなることが確認できた。

また、外壁が日射と外部風を同時に受けるとき、パラペット部の通気層から外部への通気経路を屋上側とした場合は、日射または外部風のみがあるときよりも通気層出入口の差圧が大きくなり、通気量が多く空気齢が短くなる。一方で、パラペット部の通気層から外部への通気経路を外壁側とした場合は、日射と外部風により生じる差圧が相殺され、通気量が少なく空気齢が長くなる（図 6.10）。

そのため、パラペット頂部における通気層の開口は、屋上側に設けることが通気上望ましいと言える。

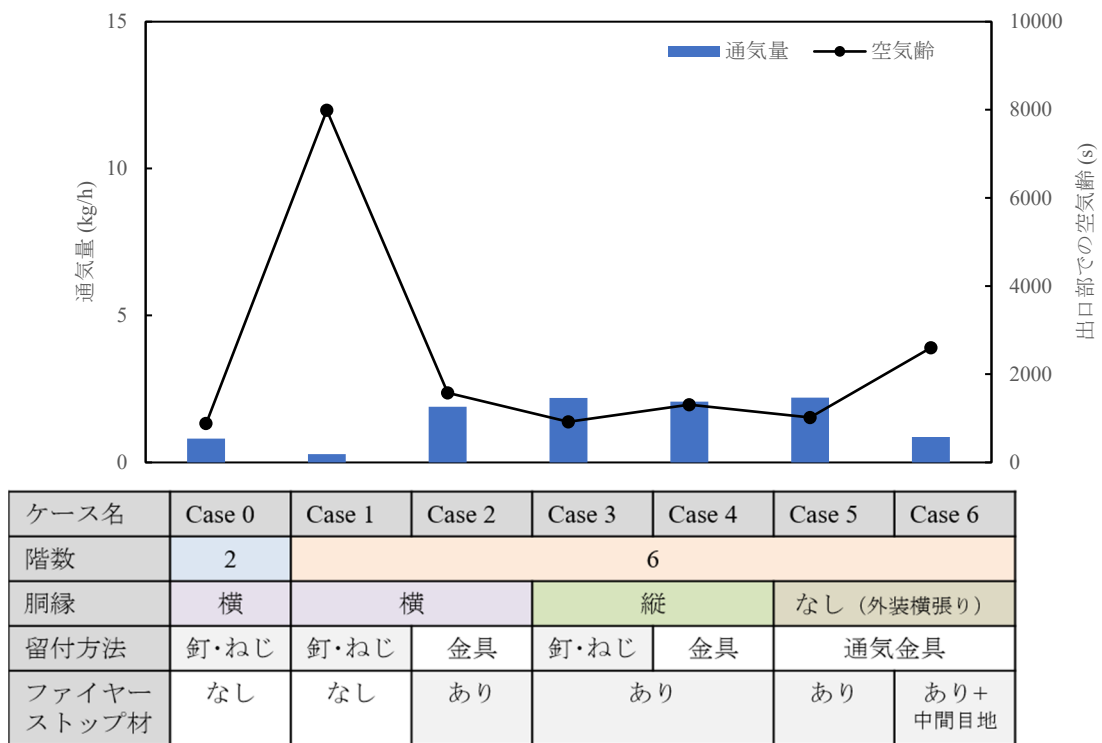


図 6.9 通気層一般部における外部風による換気効率の比較  
(パラペット部の通気層から外部への通気経路が外壁側)

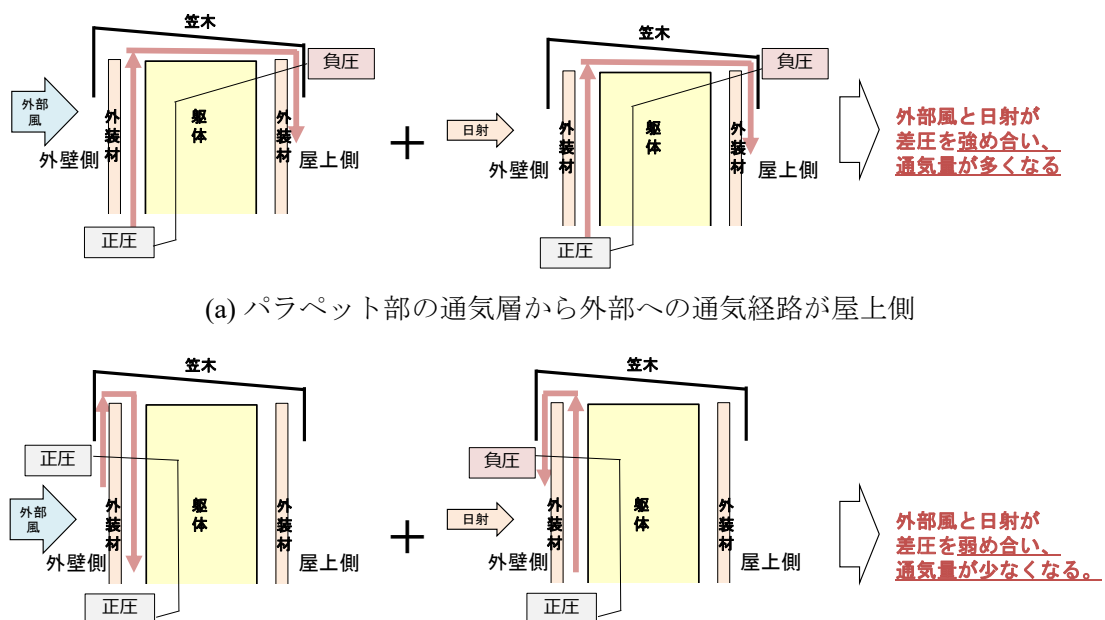


図 6.10 日射と外部風を同時に受ける際の通気

## 6.4.2 窓上・窓下部

### ① 縦胴縁 釘・ねじ留めにおける滞留の状況

縦胴縁 釘・ねじ留めにおける窓上・窓下部の空気齢の分布と流量について、2 層（Case 2-1）を図 6.11、6 層（Case 2-2）を図 6.12 に示す。最上階において空気齢が最も長くなるため、2 層のケースは 1 階と 2 階の階間、6 層のケースは 5 階と 6 階の階間における結果を図示した。

両ケースとも、空気齢が最も長くなるのは上階の窓直下で直流部から最も遠い点（各図の左上）であった。また、それぞれの図の流量とその方向をみると、窓上・窓下部の流量は直流部から離れるほど少なくなることから、下階の直流部から取り入れられる空気の大部分が直流部を進み、残りが窓上・窓下部に進むことが計算により確認できた。

各部の流量は、2 層（Case 2-1、図 6.11）よりも 6 層（Case 2-2、図 6.12）の方がわずかに少ない傾向があった。縦胴縁 釘・ねじ留めにおいては、2 層から 6 層になることで、通気層内外の温度差による通気層の入口と出口の差圧の増大よりも通気経路全体での通気抵抗が大きくなることの影響が大きかったと考えられる。

2 層（Case 2-1、図 6.11）においては、流入部分の空気齢が 12 秒に対し最も長い空気齢は 231 秒、6 層（Case 2-2、図 6.12）においては、流入部分の空気齢が 118 秒に対し最も長い空気齢は 510 秒となり、6 層（Case 2-2、図 6.12）の方が滞留が顕著となった。

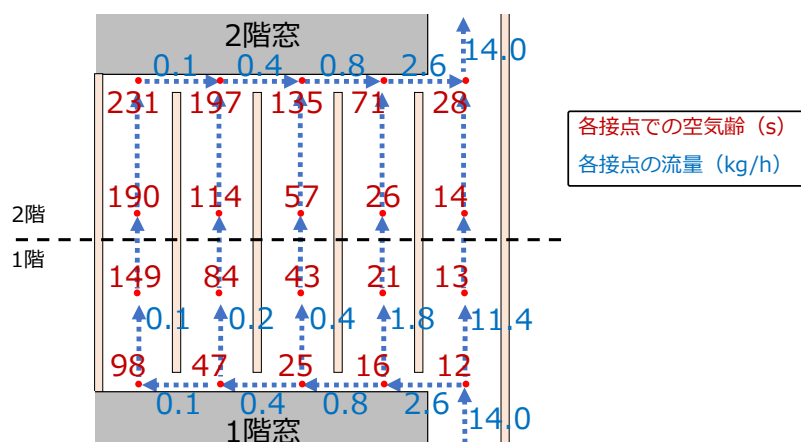


図 6.11 Case 2-1 (2 層・縦胴縁 釘・ねじ留め ファイヤーストップなし) の空気齢と流量

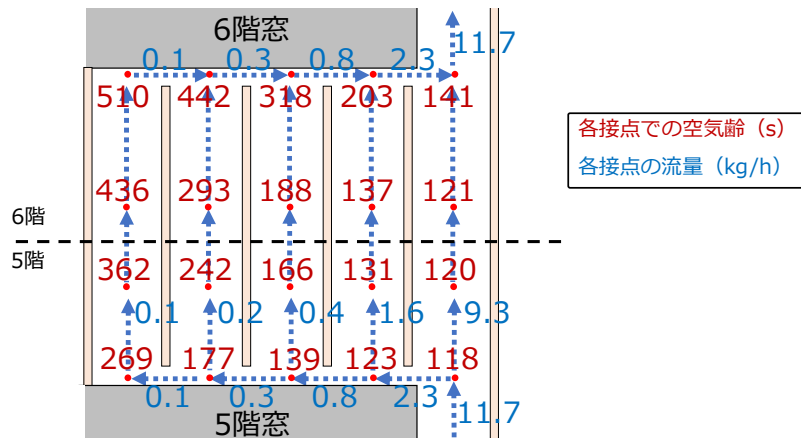


図 6.12 Case 6-1（6層・縦胴縁釘・ねじ留め ファイヤーストップなし）の空気齢と流量

## ② ファイヤーストップの影響

6層で縦胴縁釘・ねじ留めとし、ファイヤーストップを設置した場合の空気齢の分布と流量を図 6.13 に示す。ファイヤーストップの設置により、直流部の空気齢は 239～286 秒となり、ファイヤーストップを設置しない場合（図 6.12）に比べて 118～141 秒よりも長くなった。窓上・窓下部の空気齢は、ファイヤーストップを設置する場合（図 6.13）では 243～432 秒となり、ファイヤーストップを設置しない場合（図 6.12）では 123～510 秒となった。ファイヤーストップの設置により、高さ方向の通気の通気抵抗となり滞留が緩和され、6層の建築物の通気層における最長の空気齢が短くなることがわかった。

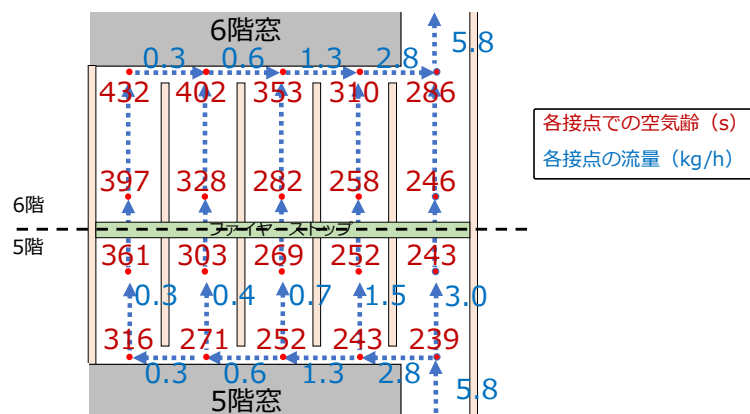


図 6.13 Case 6-2（6層・縦胴縁釘・ねじ留め ファイヤーストップあり）の空気齢と流量

## 6.5 まとめ：換気効率確保のための提案

本章では通気層を6層と2層に適用した場合の換気効率を比較した。

通気層の換気効率の指標として通気量と空気齢を用いたが、6層の建築物では通気経路が長いため空気齢が長くなりやすかったことから、6層の建築物にとって厳しい指標である空気齢に主に着目して比較した。

比較の結果、6層の一般部では、横胴縁 釘・ねじ留め、外装横張り通気金具留めの一部の仕様で空気齢が長くなることがわかった。縦胴縁 釘・ねじ留めでは窓上・窓下部で滞留が生じやすいことがわかった。

また、6層の建築物において、2層の建築物よりも通気層の通気量を大きくし、空気齢を短くするための工法上の要件を検討した。

その結果、低層建築物で用いられてきた通気層は、表 6.5 の事項に留意することで、6層の建築物においても、2層の建築物よりも通気層の通気量を大きくし、空気齢を短くできると考えられる。

表 6.5 6層以下の建築物において換気効率を確保するための工法上の要件

- ① 横胴縁とする場合は、外装材を金具留めすること
- ② 中間目地部材の有効開口面積を  $6\text{ cm}^2/\text{m}$  以上とすること
- ③ パラペット部の通気層から外部への通気経路を屋上側に設けること
- ④ 縦胴縁に外装材を釘・ねじ留めする場合は、局所的な滞留を防ぐため、ファイヤーストップを設置すること

※ なお、上記に記載する以外のことは、現行の標準施工方法<sup>3)</sup>により、適切に施工された状態を前提とする。

### ① 横胴縁とする場合は、外装材を金具留めすること

6層で横胴縁を釘・ねじ留めすると、胴縁の通気抵抗が大きく、空気齢が長くなることから、金具留めにすることで通気抵抗を低減する、もしくは横胴縁以外とする必要がある。

### ② 中間目地部材の有効開口面積を $6\text{ cm}^2/\text{m}$ 以上とすること

中間目地部材の有効開口面積を  $1.2\text{ cm}^2/\text{m}$  とした場合に空気齢が長くなることを確認した。現状では有効開口面積がこのように小さい仕様は一部であるが、有効開口面積を他の部材と同程度 ( $6\text{ cm}^2/\text{m}$ ) 以上とし通気の妨げにならないよう、通気用孔の断面積が確保された部材やショート部材を使用することが求められる。

### ③ パラペット部の通気層から外部への通気経路を屋上側に設けること

パラペットにおける通気層の開口を外壁側のみとした場合、外部風があっても通気層最下部と最上部の圧力が近くなり、通気量が得づらい。

### ④ 縦胴縁に外装材を釘・ねじ留めする場合は、局所的な滞留を防ぐため、ファイヤーストップを設置すること



縦胴縁 釘・ねじ留めの場合には窓上・窓下部で滞留が生じやすいが、ファイヤーストップの設置により滞留が緩和され、通気層内の最長の空気齢を短くすることができる。

なお、準耐火建築物では上階への延焼防止のため、ファイヤーストップの設置が必要となる。

## 7. まとめと今後の課題

### 7.1 まとめ

本研究では、木造建築物の中高層化による通気層の換気効率への影響を明らかにするとともに、中高層の木造建築物において通気層の換気効率を確保するための工法上の要件を明らかにするための検討を行った。

第2章では、通気層を、胴縁、外装材の張り方の方向及び留付方法の観点から6種類に分類した。その上で、それぞれの通気層に用いられる構成部材を整理し、開口面積の範囲を明らかにした。

第3章では、通気層の各構成部材の有効開口面積を実験により把握した。その結果、縦胴縁の構成部材において、最も有効開口面積が小さい部材は、ファイヤーストップであった。横胴縁において、有効開口面積が小さい部材は、釘・ねじ留めの際の横胴縁であった。通気金具留めにおいては、中間目地部材、スターター部材の仕様によっては、有効開口面積が小さいものがあった。

第4章では、通気層内の空気齢をトレーサガス法のステップダウン法により測定した。空気齢分布から、窓上・窓下部で滞留が生じることを把握できた。縦胴縁 釘・ねじ留めでは、窓上・窓下部の滞留が特に顕著であったが、階間に設置されるファイヤーストップにより滞留が緩和される傾向がみられた。

第5章では、中高層建築物の換気効率の検討を計算で行うため、換気回路網計算法を用いて、前章の実験で得られた空気齢分布の傾向を再現する計算モデルを構築した。計算の妥当性検証のために計算と前章の実験を比較し、計算は実験で得られる空気齢の分布を概ね再現できることを確認した。

第6章では、6層の建築物における通気層の通気量と空気齢を計算し、2層の建築物と比較した。通気層一般部及び窓上・窓下部の計算を行い、6層の建築物において、2層の建築物よりも通気層の通気量を大きくし、空気齢を短くするための工法上の要件として、次の4点があることがわかった。

- ・ 横胴縁とする場合は、外装材を金具留めすること
- ・ 中間目地部材の有効開口面積を  $6 \text{ cm}^2/\text{m}$  以上とすること
- ・ パラペットにおける通気層の開口を屋上側に設けること
- ・ 縦胴縁に外装材を釘・ねじ留めする場合は、局所的な滞留を防ぐため、ファイヤーストップを設置すること

### 7.2 今後の課題

第5章において、計算は実験で得られる空気齢の分布を概ね再現できることを確認したものの、節点を粗く配置したため、胴縁で囲われた空間内や通気経路の角を検討できなかった。今後はさらなる詳細な空気齢の測定を基に、計算を精緻化する余地がある。

また、本研究においては、低層と中高層の建築物の通気量や空気齢を比較することで、中高層の通気を確保する上での工法上の要件を明らかにした。今後は、各種の通気層を設けた外壁に湿害が生じうるか直接評価できる手法の構築が望まれる。

#### 【参考文献】

- 1) 国土交通省：建築着工統計調査, [https://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku\\_list.html](https://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku_list.html)
- 2) 梅野徹也, 銚井修一, 齋藤宏昭, 本間義規：壁体内通気層における防露性能の実態に関する研究 実験住宅における通気量の実態把握, 日本建築学会環境系論文集, 第 694 号, pp.909-916, 2013.12
- 3) 一般社団法人 日本窯業外装材：窯業系サイディングと標準施工 第 4 版, 一般社団法人 日本窯業外装材発行, 2022.7
- 4) 田中俊六, 武田仁, 土屋喬雄, 岩田利枝, 寺尾道仁, 秋元孝之：最新建築環境工学, 井上書院, 2014.2
- 5) 財団法人建築環境・省エネルギー機構：住宅の省エネルギー基準の解説 第 3 版, 財団法人建築環境・省エネルギー機構発行, 2010
- 6) 空気調和・衛生工学会 (HASS)：HASS 115 室内換気効率の現場測定法・同解説, 2002
- 7) 長村貞治, 齋藤宏昭, 中島正夫：雨掛かりを考慮した外壁通気構法の水分挙動に関する研究 (その 2)：通気層の構成部材による排水及び通気特性への影響, 日本建築学会環境系論文集, 第 797 号, pp.428-438, 2022.7
- 8) 赤坂裕, 武田和大：通気層を有する外壁、屋根の遮熱・断熱効果の計算法, 日本建築学会環境系論文集 No.595, pp.33-40, 2005.9
- 9) 日本建築学会：伝熱工学資料改訂第 5 版, 丸善出版, 2009
- 10) 丸田榮藏, 澤地孝男, 佐藤健一, 高橋泰雄, 西澤繁毅：建築物の自然換気設計のための風圧係数データベース, 建築研究資料, No.189 号, 2018.8
- 11) 鈴木大隆, 廣田誠一, 福島明：シート状防風材を用いた木造断熱壁における通気層空隙の確保に関する 実験的研究, 日本建築学会計画系論文集 No.480, pp.123-128, 1996.2
- 12) 鎌田紀彦, 鈴木大隆, 廣田誠一：寒冷地における繊維形断熱材を充填した木造壁体の内部結露の防止構法に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集 No.513, pp.39-45, 1998.11