

湿式外張断熱工法の劣化対策性能の 評価手法開発

A Study on Evaluation Method of Deterioration Measures on Plaster on Insulation System

遠藤 卓¹⁾、糸毛 治²⁾、小松 幸雄³⁾、阿部 泰之⁴⁾、上林 英文⁴⁾、福島 明⁵⁾、千葉 隆弘⁵⁾
Suguru Endo¹⁾, Osamu Itoge²⁾, Yukio Komatsu³⁾, Yasuyuki Abe⁴⁾, Hidefumi Kamibayashi⁴⁾,
Akira Fukushima⁵⁾, Takahiro Chiba⁵⁾

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

¹⁾ 建築性能試験センター安全性能部評価試験課 ²⁾ 北方建築総合研究所建築研究部建築システムグループ ³⁾ あいもり株式会社 ⁴⁾ 岩倉化学工業株式会社 ⁵⁾ 北海道科学大学

¹⁾ Researcher of Structural Safety Judgment Section, Building Performance Testing Center ²⁾ Chief of Building Research Division, Northern Regional Building Research Institute ³⁾ Aimori Ltd. ⁴⁾ Iwakura Chemical Industry Co., Ltd. ⁵⁾ Hokkaido University of Science

目 次

1.	はじめに	1
(1)	研究の背景	1
(2)	研究の目的	1
(3)	本研究の構成	1
2.	劣化対策性能の評価手法の検討	2
(1)	劣化対策性能の評価指標	2
(2)	見かけの透湿抵抗の計算手法	3
(3)	劣化対策等級3の要求性能	3
(4)	まとめ	4
3.	劣化対策等級3の評価基準に関する技術的根拠の整備	4
(1)	目的	4
(2)	試験及び計算の考え方	4
(3)	モデル壁体の有効開口面積に関する試験	4
(4)	実大壁の有効開口面積に関する計算	7
(5)	実大壁の見かけの透湿抵抗	8
(6)	まとめ	8
4.	湿式外張断熱工法に対する劣化対策評価手法の試行検証	9
(1)	目的	9
(2)	試行対象とした湿式外張断熱工法の概要	9
(3)	劣化対策性能の評価手法の試行	9
(4)	劣化対策以外の壁体性能の検証	11
(5)	劣化対策向上のための工法改良の検討	15
(6)	まとめ	18
5.	おわりに	19
(1)	まとめ	19
(2)	今後の展開	19

1. はじめに

(1) 研究の背景

近年、断熱性能やコストの面から、湿式外張断熱工法（木造軸組の構造用合板の外側に溝付き EPS を貼り、湿式仕上げを行う工法）のような通気層を設置しない外壁工法が普及してきた。湿式外張断熱工法の一つとして、当研究所は、「道内資源の使用量拡大を目指した建材開発と利用法に関する研究」（H21-23 重点研究）において、あいもり株式会社と岩倉化学工業株式会社による、ホタテ貝殻材を外装材に用いた木造湿式外張断熱工法の開発を支援してきた。湿式外張断熱工法では、図 1 に示すように外張断熱層の室内側に排水溝が設けられ、二次防水及び湿気排出の役割が期待されている。

あいもり株式会社と岩倉化学工業株式会社は、これまで道内で湿式外張断熱工法を普及してきたものの、毎年 20 万トン以上排出されるホタテ貝殻はまだ資源が豊富にあり、本州以南に普及拡大を企図している。あいもり株式会社と岩倉化学工業株式会社は、本州以南への普及拡大にあたって、高温多湿な気候への適応性を示すため、長期優良住宅の認定を目指しているところであるが、認定基準の一つである劣化対策等級 3 の取得が課題となっている。

「住宅の品質確保の促進等に関する法律」

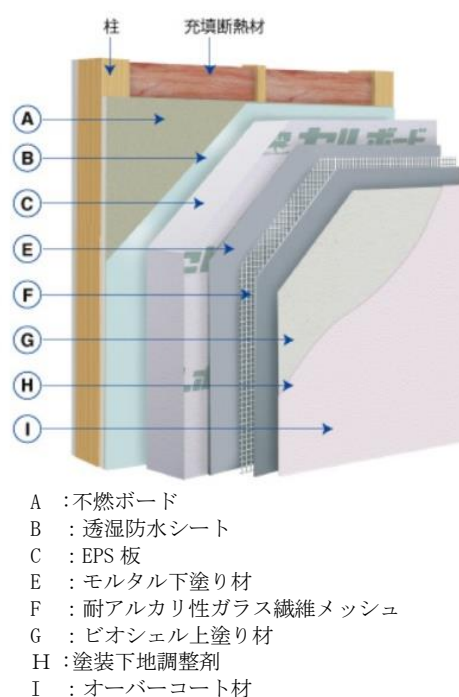
（平成 11 年法律第 81 号。以下「品確法」という。）に係る平成 13 年 8 月 14 日国土交通省告示第 1347 号（以下、「告示」という。）の 3-1(3)イ①a において、劣化対策等級 3 では、木造外壁の腐朽対策として、次の (i) ~ (iii) いずれかの対策が求められている¹⁾。

- | |
|--|
| (i) 通気構造等+(イ)~(ニ)のいずれか
(イ)製材、集成材等又は構造用合板等を使用+薬剤処理（現場処理可）
(ロ)製材、集成材等を使用+小径 13.5cm 以上
(ハ)製材、集成材等を使用+耐久性区分 D ₁ の樹種+小径 12.0cm 以上
(ニ)その他同等のもの
(ii) K3 以上の薬剤処理（工場処理に限る。）
(iii) その他同等のもの |
|--|

(ii) の対策は高コストになること等から、多くの事業者にとって劣化対策は (i) の「通気構造等」が現実解となっている。現状、

(i) では、一定仕様の通気層の設置が要件となっている。

湿式外張断熱工法のような通気層を設置しない外壁工法が、劣化対策に有効な「通気構造等」として認められるには、住宅型式性能認定の取得が必要である。民間事業者からの住宅型式性能認定の要望はこれまでもあったが、通気構造等に関する性能評価手法がこれまでになかったため、一般社団法人住宅性能評価・表示協会等の評価機関は対応できていなかった。また、民間事業者にとっては、劣化対策の評価軸がないために、工法開発が進んでこなかった。



- A : 不燃ボード
- B : 透湿防水シート
- C : EPS 板
- E : モルタル下塗り材
- F : 耐アルカリ性ガラス繊維メッシュ
- G : ビオシエル上塗り材
- H : 塗装下地調整剤
- I : オーバーコート材

図 1 湿式外張断熱工法の壁体構成の例
(あいもり株式会社提供)

(2) 研究の目的

本研究は、湿式外張断熱工法の劣化対策性能を評価するための手法開発を目的とする。

(3) 本研究の構成

第 2 章では、劣化対策性能の評価に求められる基本性能を整理した上で、評価指標として「見かけの透湿抵抗」を提案する。さらに同指標の計算手法を提案する。

第 3 章では、劣化対策等級 3 に求められる見かけの透湿抵抗の基準値を、通気層を設置する

外壁の見かけの透湿抵抗を測定する試験結果から求める。

第4章では、湿式外張断熱工法を対象として見かけの透湿抵抗を測定する試験を行い、前章までで提案した評価手法を試行検証する。また、防水性能と断熱性能の検証を行うとともに、湿式外張断熱工法の劣化対策性能を向上させる方策について検討を行う。

本研究の構成を図2に示す。

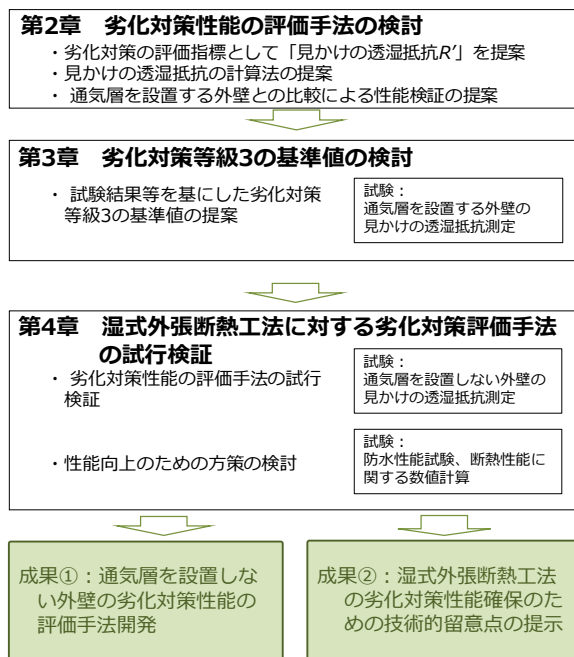


図2 本研究の構成

2. 劣化対策性能の評価手法の検討

(1) 劣化対策性能の評価指標

1) これまでの見かけの透湿抵抗

住宅性能表示の技術解説書¹⁾によると、劣化対策等級3の条件である通気構造等の要求性能は「壁体内に水分が侵入しないよう、外装仕上げ等の防水措置が重要であるとともに、壁体内に侵入した湿気（水蒸気等）を壁体外へ放出するための通気措置を講ずる」とされている。

すなわち通気構造等には「壁体内に侵入した湿気（水蒸気等）を壁体外へ放出する」性能（以下、「湿気排出性能」という。）が求められると言える。

一方、平成11年省エネ基準²⁾では、通気層を設置する外壁の防露評価に「見かけの透湿抵抗」が指標として用いられていた。既往の見かけの透湿抵抗の概念を図3に示す。見かけの透

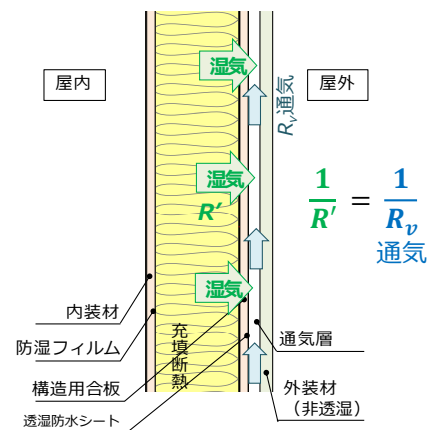


図3 既往の見かけの透湿抵抗の考え方

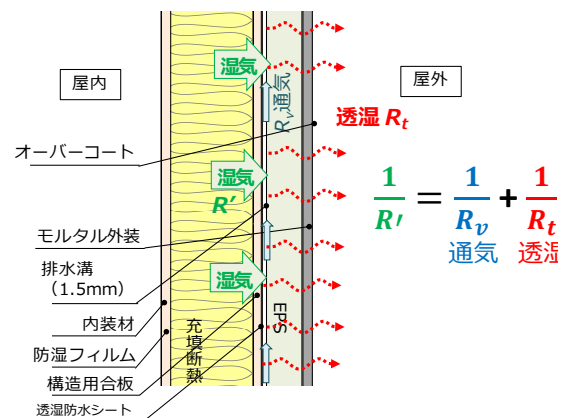


図4 拡張した見かけの透湿抵抗の考え方

湿抵抗は、壁体内に侵入した湿気（水蒸気等）を、通気層の通気により排出する作用を透湿抵抗の次元で示したものであり、湿気排出性能を表現する指標としても有用と考えられる。

2) 通気層を設置しない外壁の見かけの透湿抵抗

湿式外張断熱工法のような通気層を設置しない外壁では、排水溝の通気に加え、外装一般部からの透湿により湿気排出される場合がある。このような外壁の「見かけの透湿抵抗」においては、通気の成分に加え、一般部の透湿を加味できると考えられる。

(2) 見かけの透湿抵抗の計算手法

1) 見かけの透湿抵抗 R' の求め方

見かけの透湿抵抗 R' は、次式のように見かけの透湿抵抗の通気成分 R_v と透湿成分 R_t を合成することで得られる。この考え方を図 4 に示す。

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_t} \quad (1)$$

見かけの透湿抵抗の通気成分 R_v と透湿成分 R_t の求め方は 2) 項、3) 項による。

2) 見かけの透湿抵抗の通気成分 R_v の求め方

見かけの透湿抵抗の通気成分 R_v （平成 11 年省エネ基準では単に見かけの透湿抵抗とされていた）の求め方は、平成 11 年省エネ基準²⁾により、表 1 の通りである。

3) 見かけの透湿抵抗の透湿成分 R_t の求め方

見かけの透湿抵抗の透湿成分 R_t の求め方は、一般の壁体の透湿抵抗の求め方と同様で、表 2 の通りである。

通気層を設置する外壁では、外装に金属サイディング等の透湿が期待できない材料が用いられる場合があるため、見かけの透湿抵抗の透湿成分 R_t は ∞ とし、 $1/R_t$ の項は無視する。

(3) 劣化対策等級 3 の要求性能

現状、仕様規定では、外壁に通気層を設置することで劣化対策等級 3 が認められている。ここで、通気層を設置する外壁と設置しない外壁

表 1 見かけの透湿抵抗の通気成分 R_v の求め方

見かけの透湿抵抗の通気成分 R_v は次式で求められる。
$R_v = \frac{1}{\rho_a n d} \times 162,902 \quad (2)$
ρ_a : 対象通気層の空気密度 (1.2 kg/m ³ とする)
n : 対象通気層の換気回数 (-/s)
d : 通気層の厚さ (m)
通気層の換気回数 n は次式で求められる。
$n = \frac{Q}{V} \quad (3)$
V : 単位外壁幅当たりの対象通気層の容積 (m ³ /m)
通気層の換気回数 n は次式で求められる。
$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho_a} \Delta P} \quad (4)$
αA : 対象通気層入口部の有効開口面積 (m ² /m)
ρ_a : 対象通気層の空気密度 (1.2 kg/m ³ とする)
ΔP : 対象通気層の内外圧力差 (0.55 (Pa) とする。)
有効開口面積 αA は、第 3 章で述べる試験により得られる。

表 2 見かけの透湿抵抗の透湿成分 R_t の求め方

見かけの透湿抵抗の透湿成分 R_t は次式で求められる。
$R_t = \sum_i R_i + R_{sv} + R_{so} \quad (5)$
$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda'_i} \quad (6)$
ただし、
R_i : 外装材料 i の透湿抵抗 (m ² ・s・Pa/kg)
δ_i : 外装材料 i の厚さ (m)
λ'_i : 外装材料 i の透湿係数 (kg/(m・s・Pa))
R_{sv} : 通気層の湿気伝達抵抗 (m ² ・s・Pa/kg)
R_{so} : 外気の湿気伝達抵抗 (m ² ・s・Pa/kg)
ここで「外装材料」とは、排水溝より外気側にある構成材料すべてを指す。外装材料の透湿係数は、JIS A 1324「建築材料の透湿性測定方法」により得られる。

の要求性能が同等と考える場合、通気層を設置しない外壁の見かけの透湿抵抗は、通気層を設

置する外壁の見かけの透湿抵抗以下とすることが妥当と考えられる。

$$R'_o \leq R'_v \quad (7)$$

ここで、見かけの透湿抵抗の値は、小さいほど湿気排出が促進され、劣化対策としては良好であることに注意されたい（図 5）。

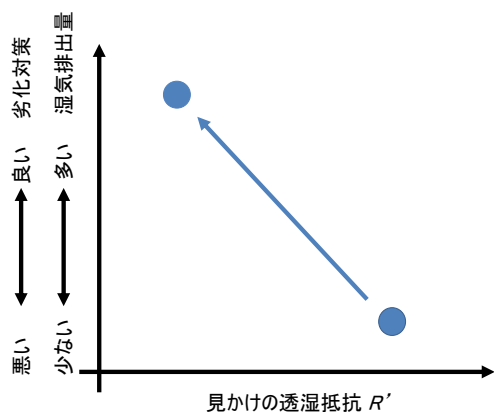


図 5 見かけの透湿抵抗の大小と劣化対策の良し悪し

(4) まとめ

本章では、劣化対策の指標として、これまで通気層を設置する外壁の防露評価に用いられていた、見かけの透湿抵抗を用いることができることを示した。

また、平成 11 年省エネ基準で防露評価の指標として用いられていた見かけの透湿抵抗を、通気層を設置しない外壁に適用するにあたり、外装からの透湿による湿気排出を加味する手法を示した。

さらに、通気層を設置する外壁との比較により、通気層を設置する外壁の劣化対策を検証する手法を示した。

3. 劣化対策性能の評価基準に関する技術的根拠の整備

(1) 目的

劣化対策性能の評価基準の技術的根拠を整備するため、仕様規定で認められる通気層を設置する外壁の見かけの透湿抵抗を把握するための試験及び計算を行った。

(2) 試験及び計算の考え方

通気層を設置する外壁の見かけの透湿抵抗においては、透湿成分 R_t は ∞ と考えるため、本章では通気成分 R_v を求める。通気層の有効開口面積が把握できれば、前章表 1 の手法で見かけの透湿抵抗の通気成分 R_v を計算できることから、本章では主に通気層の有効開口面積の取得に関する試験及び計算を行う。

仕様規定で劣化対策等級3が認められる通気層を設置する外壁としては、図 6 に示す木造住宅工事仕様書³⁾を参考にした。

本研究で提案する評価手法は、通気層を設置する外壁と設置しない外壁の比較によるものである。そのため、通気層の入口及び出口部に設置される役物は検討の対象外とし、開口部の存在により通気経路が曲がらない単純な通気層を想定した。

また、実大の通気層の試験で有効開口面積を取得する試験の実施は困難なため、小型の壁体で試験を行い、試験結果を基に実大壁体の有効開口面積を計算で求める。

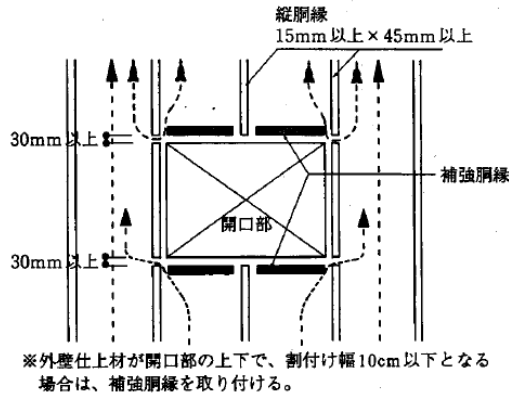
(3) モデル壁体の有効開口面積に関する試験

1) 試験方法

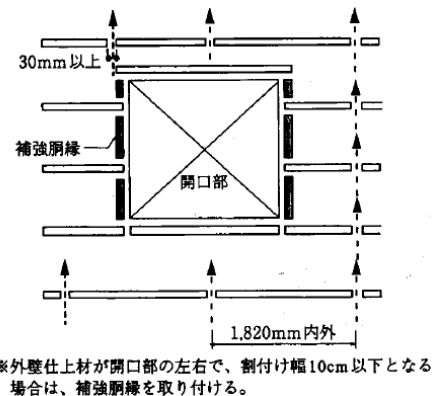
試験方法は、平成 11 年省エネ基準解説書¹⁾ 7.3.1(2)に記載の通気層の通気特性試験によった。試験方法の概念を図 7 に示す。有効開口面積の求め方は、JIS A 2201「送風機による住宅等の気密性能試験方法」によった。

試験室空気、通気層の入口付近、通気層の出口付近、測定チャンバー内の各測定点で、5 組の静圧 P と風量 Q の関係を計測し、通気層の入口部の有効開口面積 $\alpha_1 A_1$ 、一般部の有効開口面積 $\alpha_L A_L$ 、出口部の有効開口面積 $\alpha_2 A_2$ 、全体の裕子開口面積入口部の有効開口面積 αA をそれぞれ求めた。

測定用のチャンバーの内観、外観を写真 1、写真 2 に、圧力測定点の様子を写真 3 に示す。



(a) 縦胴縁の通気層



(b) 横胴縁の通気層

図 6 通気層を設置する外壁の例³⁾

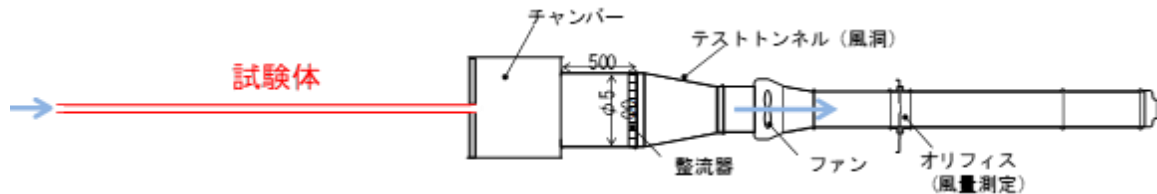


図 7 通気層の有効開口面積試験の概念図

表 3 有効開口面積の試験ケース

試験シリーズ	試験ケース	胴縁の配置	試験体高さ (mm)	横胴縁の幅胴縁隙間の数 (試験体 1,820mm あたり)
1	V01	縦胴縁	2,045	-
	V11		1,045	-
	H01	横胴縁	2,045	1
	H02			2
	H04			4
	H05			5
	H11			1
2	V01'	縦胴縁	2,045	-
	H01'	横胴縁	2,045	1

【共通事項】

- ・通気層の厚みは 15 mm、試験体の横幅は 1820 mm とした。・外装材の代わりに合板を使用した。
- ・外装材留め付け方法は釘留めを想定し、留付け金具は使用しなかった。
- ・スターター等の通気層の障害物になるものは使用しなかった。

2) 試験ケース

試験は、通気層内側の表面が異なる 2 シリーズ実施した。各シリーズの試験概要を記す。

シリーズ 1

実際の通気層は防水シートのたわみや外装材の継ぎ合わせにより単純な長方形断面とならず粗面に囲まれるが、シリーズ 1 では可能な限り

単純化し、面が平滑になるよう胴縁を塗装合板（塗装面が通気層に面する）が挟む構成とした。また、合板の継ぎ目は気密テープで留め、隙間が生じないように留意した。

シリーズ 2

一般的な通気層を模擬し、通気層の室内側を透湿防水シート、通気層の室外側を窯業系サイディングとした。

シリーズ 1 では V01~H11 までの 7 ケース、シリーズ 2 では V01' と H01' の 2 ケースとした。試験ケースを表 3 に整理する。

3) 試験結果

試験結果から得られた有効開口面積を表 4 に示す。横胴縁の方が縦胴縁の有効開口面積よりも小さかった。縦胴縁、横胴縁とも外壁高さが増すにつれ、有効開口面積が減少する傾向があった。

また相対的に、縦胴縁では入口部と出口部における有効開口面積が小さく（通気抵抗が大き）、横胴縁では一般部の有効開口面積が小さい（通気抵抗が大き）ことが確認できた。

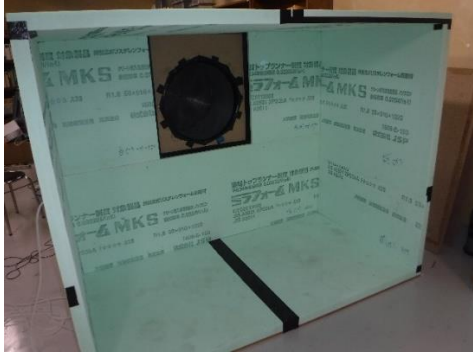


写真 1 チャンバー内観



写真 2 チャンバー外観



写真 3 圧力測定点の様子



写真 4 試験体外観 (通気層面平滑)



写真 5 試験体側面 (通気層面平滑)



写真 6 通気層内観 (通気層面平滑)

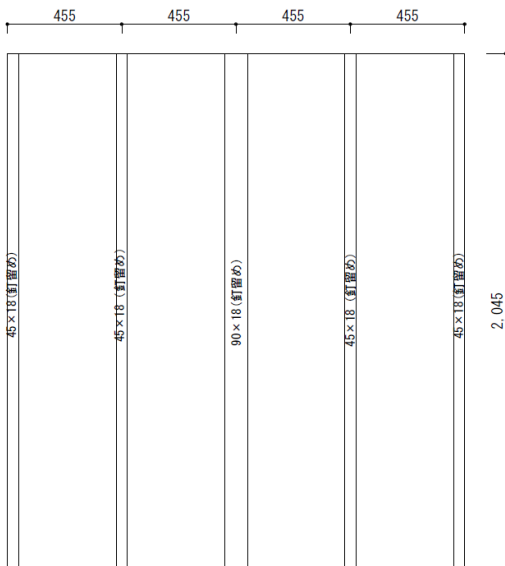


図 8 V01 (縦胴縁) 試験体 胴縁の配置

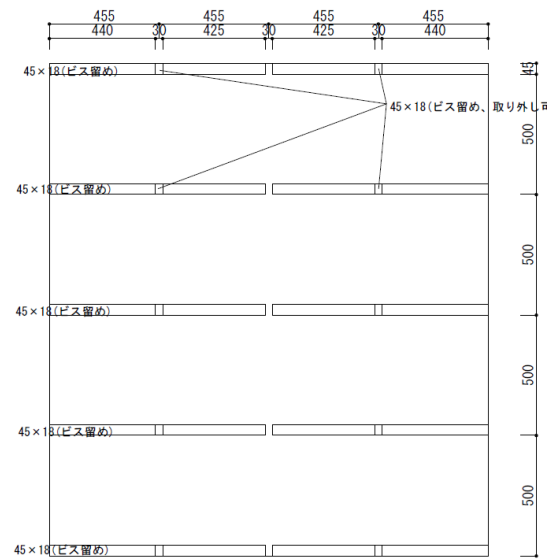


図 9 H01 (横胴縁) 試験体 胴縁の配置

表 4 有効開口面積の試験結果

試験条件				試験結果 (有効開口面積(10 ⁻³ m ² /m))			
試験体 No.	胴縁の配置	試験体外壁高さ	横胴縁の幅胴縁隙間の数 (試験体 1, 820mm あたり)	入口部	出口部	一般部	全体
V01	縦胴縁	2,045 mm	-	14.6	14.1	5.4	4.8
V11		1,045 mm	-	14.8	13.0	9.8	6.9
H01	横胴縁	2,045 mm	1	0.20	0.18	0.12	0.09
H02			2	0.39	0.37	0.25	0.18
H04			3	0.52	0.50	0.32	0.24
H05			5	0.97	0.94	0.58	0.43
H11			1,045 mm	1	0.21	0.21	0.22
V01'		縦胴縁	2,045 mm	-	14.2	14.0	5.3
H01'	横胴縁	2,045 mm	1	0.18	0.20	0.13	0.09

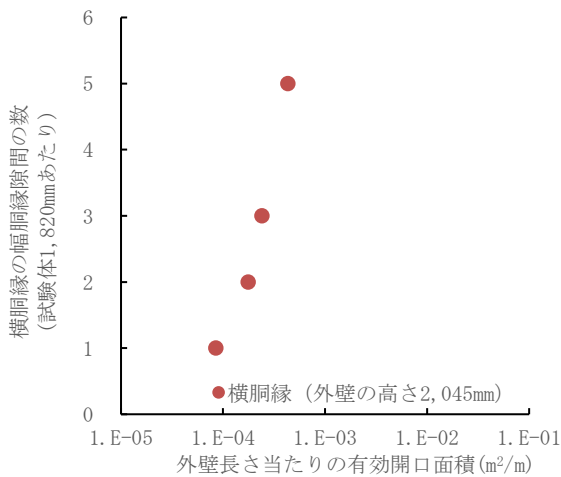


図 10 横胴縁の隙間の数と有効開口面積の関係

(4) 実大壁の有効開口面積に関する計算

1) 計算方法

実大の通気層で前節までの試験を実施することは困難である。そこで本節では、外壁高さ L_0 の有効開口面積の試験結果から、任意の外壁高さ L の通気層の有効開口面積を求める方法を示す。

外壁高さを L としたときの圧力損失 ΔP は次式で得られることが知られている。

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{d} \rho_a v^2 \quad (8)$$

ただし、

ρ_a : 外気の密度 (1.2 (kg/m³)とする)

d : 通気層の厚さ (m)

λ : 摩擦抵抗係数(= $Re/64$ (層流の場合))

Re : レイノルズ数 (= $\rho_a v d / \mu$)

また、差圧 ΔP としたときの流量 Q は次式の通りである。

$$Q = Av = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho_a} \Delta P} \quad (9)$$

(8)式、(9)式の関係により、外壁高さ L_0 の一般部有効開口面積の試験結果 $\alpha_{L_0} A_{L_0}$ から算出する、外壁高さ L の通気層の一般部の有効開口面積 $\alpha_L A_L$ は次式の通りとなる。

$$\alpha_L A_L = \alpha_{L_0} A_{L_0} \frac{L_0}{L} \quad (10)$$

さらに通気層全体の有効開口面積 αA は次式による。

$$\alpha A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1 A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_L A_L}\right)^2 + \left(\frac{1}{\alpha_2 A_2}\right)^2}} \quad (11)$$

ただし、

$\alpha_1 A_1$: 対象通気層入口部の有効開口面積 (m²/m)

$\alpha_L A_L$: 対象通気層一般部の有効開口面積 (m²/m)

$\alpha_2 A_2$: 対象通気層入口部の有効開口面積 (m²/m)

2) 計算結果

前節の試験結果から、任意の外壁高さ L の通気層の有効開口面積を求めた結果を図 11 に示す。外壁高さが高くなると、通気経路が長くなり圧力損失が大きくなることで、有効開口面積が小さくなっていくことが確認できた。

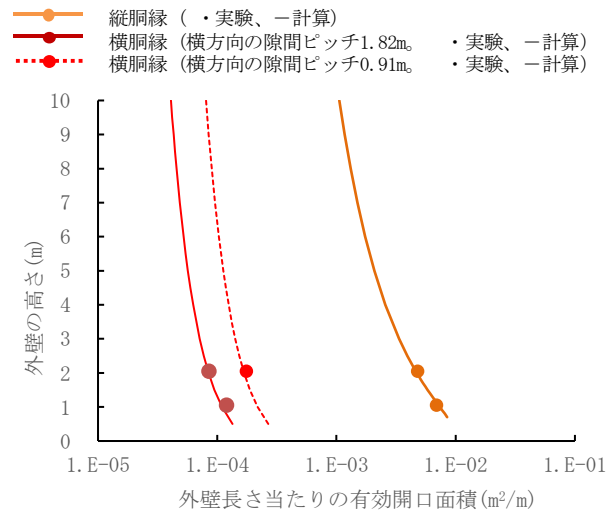


図 11 外壁高さと同気層の有効開口面積の関係

(5) 実大壁の見かけの透湿抵抗

得られた有効開口面積を基に、前章で示した計算法で、通気層を設置する外壁の見かけの透湿抵抗 R' を計算した。

各通気層仕様における外壁高さと同気層の有効開口面積の関係を図 12 に示す。縦洞縁と同気層の見かけの透湿抵抗の差は非常に大きかった。

木造住宅で最も多い2層を想定し、外壁高さを6 (m)とすると、各仕様の見かけの透湿抵抗は図 13 のとおりであった。縦洞縁では0.0004 (m²・s・Pa/ng)、同気層 (横方向の隙間ピッチが1.82 m) では0.016 (m²・s・Pa/ng)であった。これらの中間値が0.008 (m²・s・Pa/ng)であり、同気層の横方向の隙間ピッチが0.91 mの仕様の値程度であった。

通気層を設置しない外壁の見かけの透湿抵抗の基準値は、これらの値を基に設定することとなると考えられる。

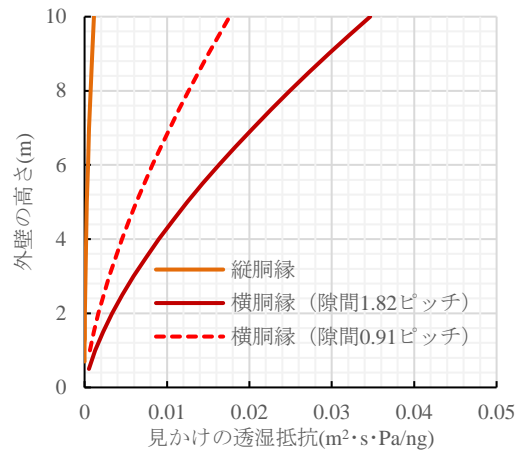


図 12 外壁高さと同気層の見かけの透湿抵抗の関係

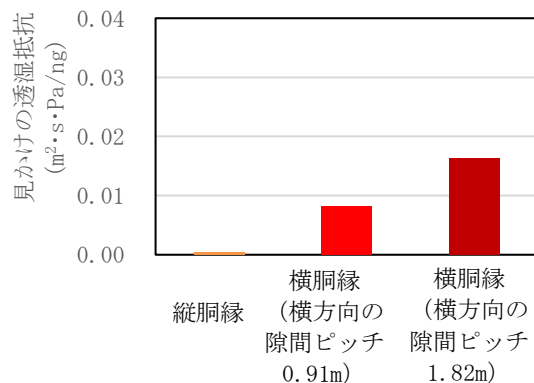


図 13 外壁高さ6 (m)の見かけの透湿抵抗

(6) まとめ

通気層を設置する外壁の湿気排出量を明らかにすることで、劣化対策性能の評価基準の技術的根拠を整備した。

具体的には、縦洞縁では0.0004 (m²・s・Pa/ng)、同気層 (横方向の隙間ピッチが1.82 m) では0.016 (m²・s・Pa/ng)であった。

4. 湿式外張断熱工法に対する劣化対策評価手法の試行検証

(1) 目的

実際の湿式外張断熱工法を対象に提案した評価手法を試行し、検証した。また、防水性能と断熱性能の検証を行うとともに、湿式外張断熱工法の劣化対策性能を向上させる方策について検討を行った。

(2) 試行対象とした湿式外張断熱工法の概要

あいもり株式会社と岩倉化学工業株式会社が実用化している、湿式外張断熱工法を使用し、評価を試行した。

本工法では、湿式塗り材で外装を仕上げ、かつ通気層を設けずにビーズ法ポリスチレンフォーム断熱材（以下、「EPS」という。）による外張断熱層を有している。層構成は図 1 (p.1) に示した通りで、外装を一次防水として、透湿防水シート面を二次防水としている。また、EPS の室内側、すなわち、透湿防水シートの屋外側に排水溝を設けることで、防水性能及び湿気排出性能を向上させることを意図している。

排水溝は、1.5 (mm)の幅で図 14 の形状であり、図 15 のようなプレス加工の工程により形成される。

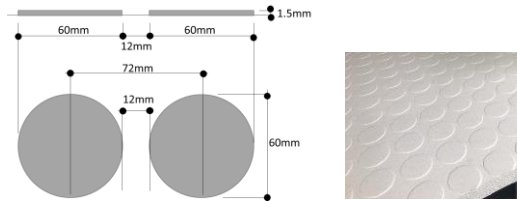


図 14 排水溝の形状

EPS ブロック成形機



図 15 排水溝のプレス加工の工程

(3) 劣化対策性能の評価手法の試行

1) 見かけの透湿抵抗通気成分の把握

排水溝の有効開口面積を試験により把握した。試験方法は前章と同様とした。試験の様子



写真 7 有効開口面積測定の様子

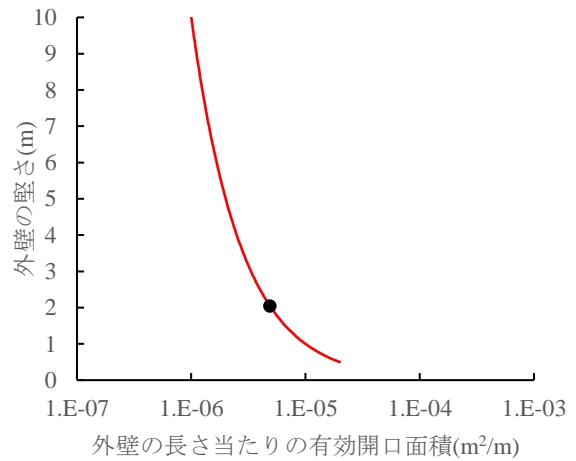


図 16 有効開口面積の試験結果

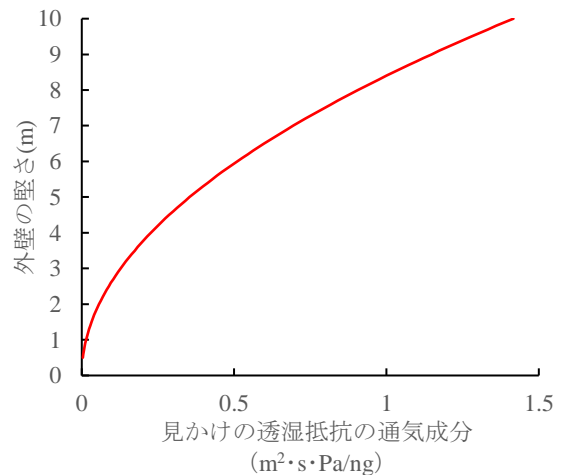


図 17 見かけの透湿抵抗の通気成分の算定結果

を写真7に、試験結果を図16に示す。外壁高さ2.045(m)の試験で得られた排水溝の有効開口面積は 4.89×10^{-6} (m²/m)であった。試験結果を基に、外壁高さ6(m)の有効開口面積を求めると 1.67×10^{-6} (m²/m)であり、見かけの透湿抵抗の通気成分を算定すると、0.63 (m²・s・Pa/ng)であった。

2) 見かけの透湿抵抗透湿成分の把握

試験はJIS A 1324「建築材料の透湿性能測定方法」の5.2カップ法によった。試験方法の概念図を図18に示す。測定環境は23(°C)、相対湿度50(%)とした。試験材料は岩倉化学工業株式会社が提供し、試験体作成及び試験は道総研建築研究本部が行った。各試験は3体と試験体底面に吸湿剤がないブランク試験体1体の試験をした。ブランク試験体には試験期間中の質量変化が見られなかったため、3体の平均値を試験結果とした。

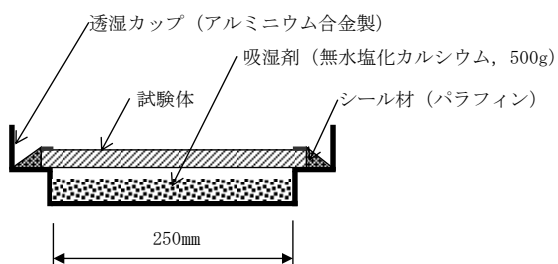


図18 カップ法試験の概要

外張断熱を30(mm)として排水溝より外気側の層構成を製作し、透湿抵抗を試験した。なお、外張断熱が厚くなると見かけの透湿抵抗は増大する。試験体は、ともに実用されているオーバーコート材が異なる2仕様とした。

透湿量が少ないため、試験開始からの質量変化が小さく、試験開始から試験終了まで3週間程度要した。

試験結果を図19に示す。透湿抵抗は艶無しオーバーコート仕上げで0.031 (m²・s・Pa/ng)、艶有りオーバーコート仕上げで0.023 (m²・s・Pa/ng)であった。これらの値は、前項の見かけの透湿抵抗の通気成分の1/10以下であった。オーバーコート材の違いにより、0.08 (m²・s・Pa/ng)の透湿抵抗の違いが見られた。

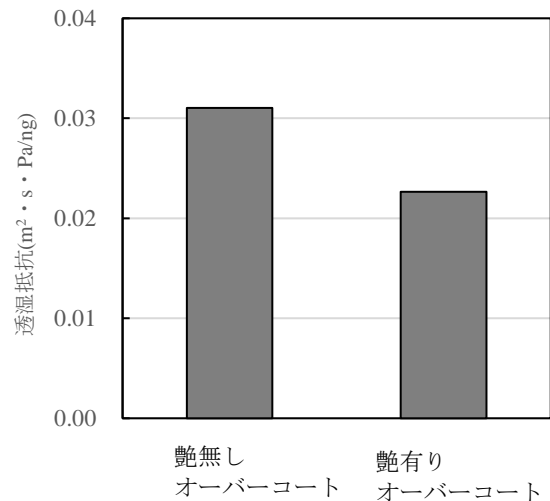


図19 外装の透湿抵抗の試験結果

3) 見かけの透湿抵抗の計算

通気成分と透湿成分の算定結果から、見かけの透湿抵抗を算出すると図20の通りとなった。見かけの透湿抵抗の透湿成分は通気成分の1/10以下であったため、それらを合成した見かけの透湿抵抗の値は、見かけの透湿抵抗の透湿成分に近い値となった。現状、前章で算定した通気層を設置する外壁の見かけの透湿抵抗よりも大きかった。

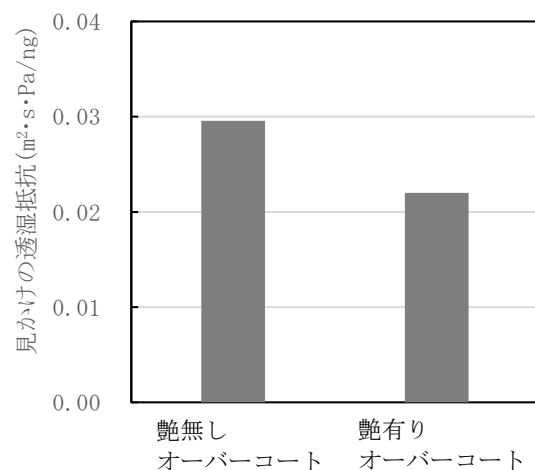


図20 湿式外張り断熱工法の見かけの透湿抵抗

4) 試行結果

本節の検証により、2章で示した手法で湿式外張断熱工法の見かけの透湿抵抗が得られ、通気層を設置する外壁と比較可能であることを確認できた。

(4) 劣化対策以外の壁体性能の検証

1) 防水性能の検証

目的

湿式外張断熱工法の排水溝については、既往の研究⁴⁾により、一次防水層を破った雨水の排水についての有効性が検証された。本研究では、壁体システムとしての防水性能を検証することとした。

試験方法

試験方法は、JIS A 1414-3「建築用パネルの性能試験方法—第3部：温湿度・水分に対する試験」の「5.7 水密性試験」により、以下の通りとした。

- a) 脈動圧に先立ち、予備加圧として、試験体に水密性が保持される期待最大風圧 2,350 (正圧及び負圧) を 5 分間加えた。
- b) 予備加圧が終了した後、試験体の前面に一樣に 4 L/m²の水量を噴霧しながら、表 5 に示す中央値を中心とした周期 2 秒近似正弦波の脈動圧を 10 分間加圧、1 分間除圧しながら順次加えた。なお、中央値までの昇圧速度は、1 秒当たり 20 Pa 程度とした。

降雨時の風速に関する統計値に関する既往の研究⁵⁾より、脈動圧の設定は表 6 のように考えられる。

表 5 試験で与えた脈動圧

中央値	上限値	下限値
50	75	25
150	225	75
250	375	125
400	600	200
550	825	275
750	1,125	375
1,000	1,500	500
1,250	1,875	625
1,600	2,350	850

試験体

試験体図を図 21、試験体外観を写真 7 に示す。試験体はいもり株式会社が作成した。試験 A は、実際の壁体を再現した試験体とした。試験 B では、経年変化により一次防水層の機能が低下している状況を想定し、試験体の外装上部にスリットを設け意図的に排水溝まで雨水を侵入させた。

各試験体の下部は構造用面材を透明アクリル板に替え、試験体の室内側から雨水侵入を観察できるようにした。

透明アクリル板もしくは構造用面材について、室内側から目視により観察された漏水現象を記録していった。

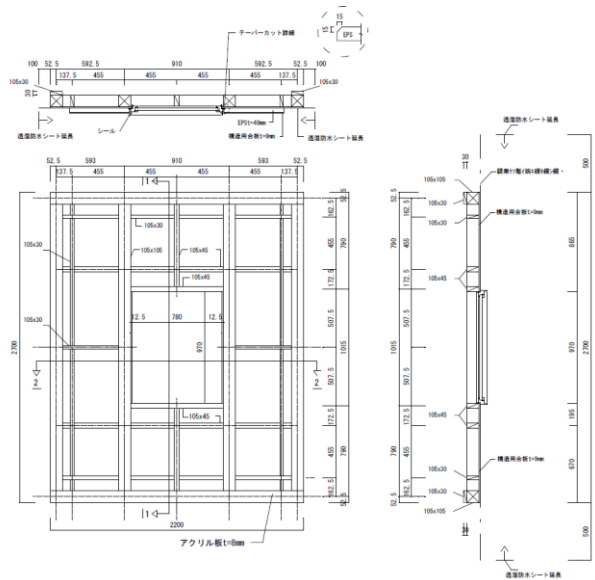
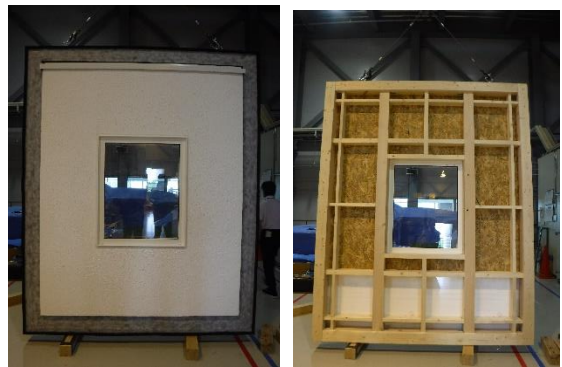


図 21 試験体図



(a) 外気側 (b) 室内側

写真 7 試験体外観

表 6 試験圧力の考え方

脈動圧の中央値	風速換算*	考え方
250 Pa	20 m/s	道内最大級の降雨時の風圧
550 Pa	30 m/s	関東以北最大級の降雨時の風圧
1,000 Pa	40 m/s	国内最大級の降雨時の風圧

* 風圧係数 1 として換算

試験結果及び考察

試験 A では、噴霧開始からすべての圧力段階において漏水が見られなかった。

試験 B では、噴霧開始から中心圧 750 (Pa) まで漏水現象が見られなかった。中心圧 1,000 (Pa) の脈動圧開始から 3.5 分後に① (図 22) から、6.5 分後に② (図 22) からにじみ出しが観察された。

試験 B の終了後に試験体を観察して二次防水層を観察した様子を写真 9 に示す。外装上部に設けたスリットより排水溝への多量の浸水があり、その一部が外張断熱材の留付用ビスで透湿防水シートに空いた微小な穴から構造用面材まで到達したと考えられる。

2) 断熱性能の検証

目的

数値計算により、排水溝を設置することによる断熱性能への影響について検討した。

計算手法

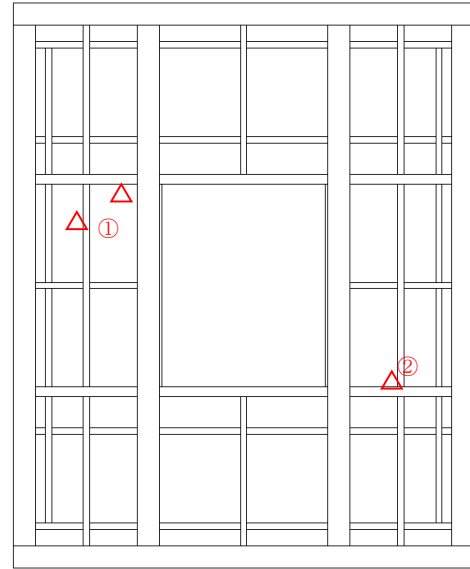
通気層を設置する壁体の伝熱計算手法は、既往研究⁵⁾により、1年間の1時間ごとの逐次定常計算とした。ここで、排水溝の通気の駆動力は通気層内外の空気の温度差とし、外部風は無視した。

伝熱計算結果を基に、既往研究⁶⁾の手法により、壁体の熱流を室内外温度差と日射に起因する成分に分離し、室内外温度差に起因する熱流を室内外温度差で除すことで熱貫流率を求めた。

気象条件は、札幌と東京の2地点で、南面と北面で日射遮蔽物がない想定とした。壁体構成として、充填断熱が 105 (mm)、外張断熱材が 40 (mm) とし、排水溝の有効開口面積は (1) 節の試験結果に基づいた。計算条件を表 7 に整理する。

表 7 計算条件

気象条件		
地点	札幌、東京	
方位	南面、北面	
室温 T_{in}	$T_{in} = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$ (D は1月1日からの日数)	
壁体構成		
材料 (室内側から)	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/(mK))
せつこうボード	12.5	0.221
高性能グラスウール	105	0.038
木材 (熱橋部のみ)	105	0.12
火山性ガラス質複層板	12	0.13

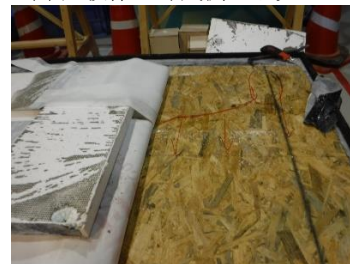


場所	漏水現象	観察された時間
①	にじみ出し	中心圧 1,000 Pa 脈動圧開始から 3.5 分後
②	にじみ出し	中心圧 1,000 Pa 脈動圧開始から 6.5 分後

図 22 試験 B の結果



(a) 試験体の外気側から見て左



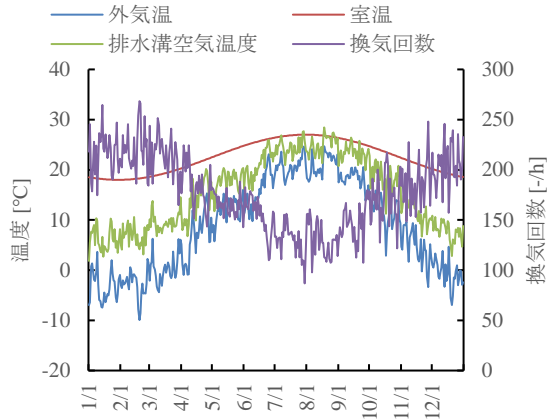
(b) 試験体の外気側から見て右

写真 8 試験終了後の二次防水層 (解体して観察)

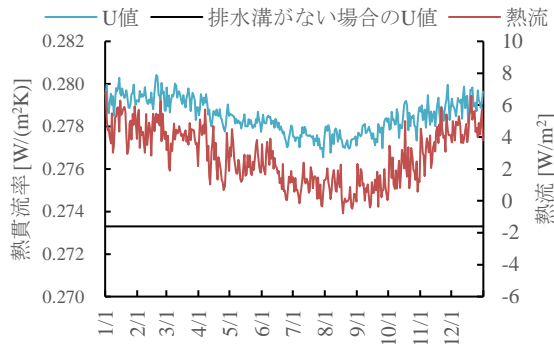
計算結果及び考察

図 23～図 26 に、札幌、東京における南面、北面の計算結果の日平均値の推移を示す。

図 23～図 26 それぞれの (a) で南面と北面を比較すると、日射を受ける南面の方が換気回数

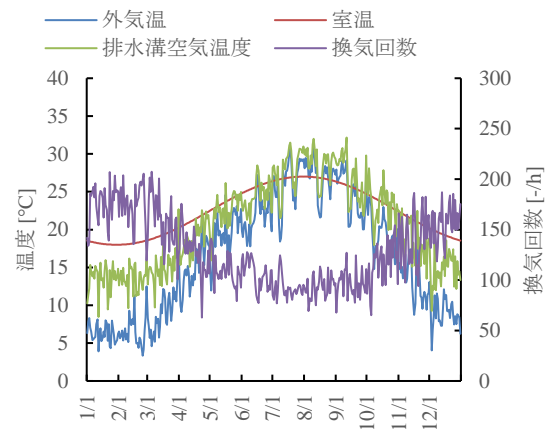


(a) 温度と換気回数

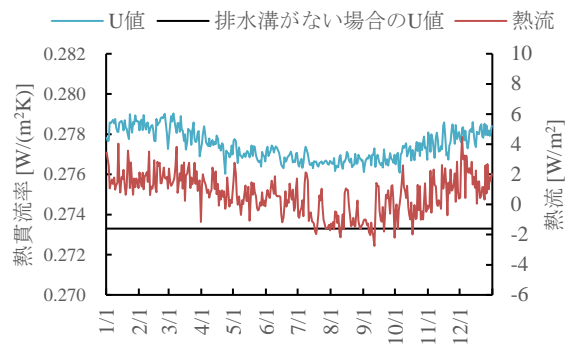


(b) 熱貫流率

図 23 札幌南面の計算結果



(a) 温度と換気回数



(b) 熱貫流率

図 24 札幌北面の計算結果

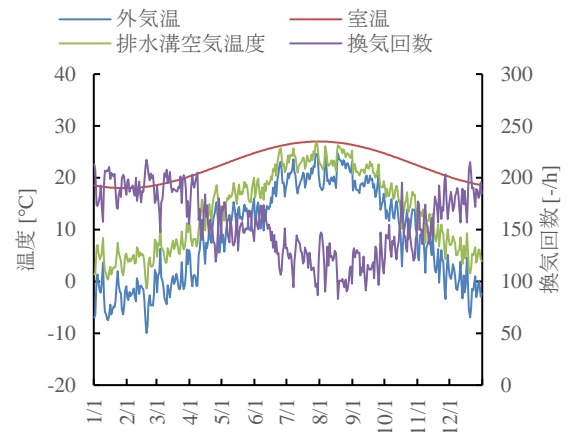
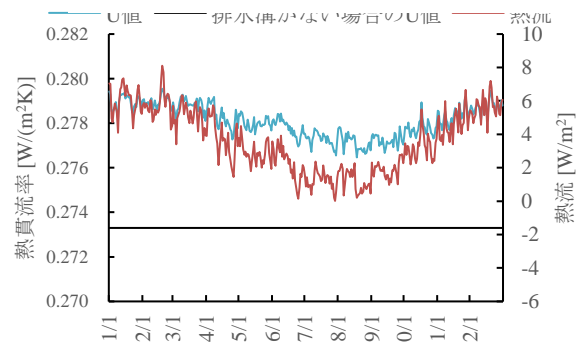


図 24 札幌北面の計算結果



(b) 熱貫流率

図 25 東京南面の計算結果

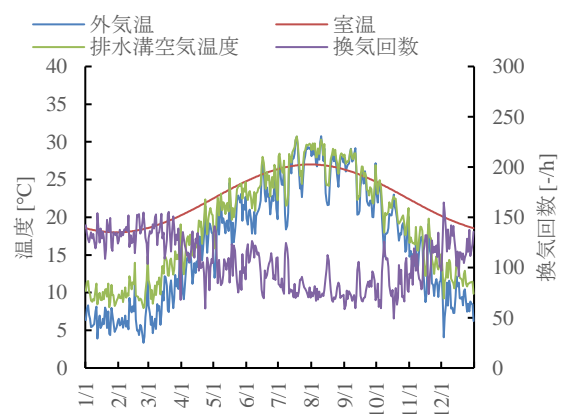


図 25 東京南面の計算結果

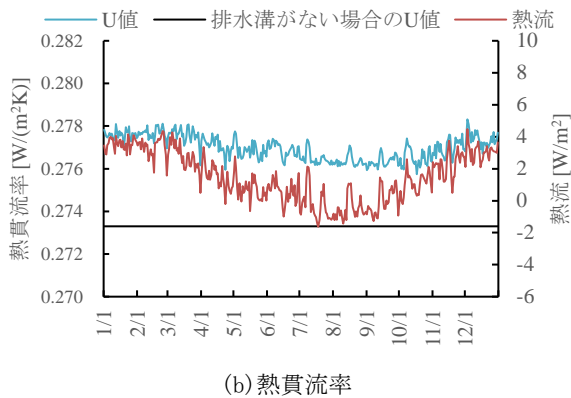


図 26 東京北面の計算結果

を多く得られることが確認できた。札幌と東京を比較すると、冬季に排水溝内空気と外気の温度差が大きくなりやすい札幌の方が換気回数を多く得られることが確認できた。

熱流の計算結果から求めた熱貫流率を、図 23～図 26 それぞれの(b)に示す。いずれのケースも熱貫流率は $0.276 \sim 0.278$ ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$) 程度であり、表 7 の仕様から計算した排水溝がない場合の熱貫流率 (0.273 ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)) との差は 1～2% 程度であった。

このことから、湿式外張断熱工法では、排水溝、すなわち充填断熱と外張断熱の間の空間にわずかに外気が導入されるものの、断熱性能に及ぼす影響が小さいことが確認できた。

3) まとめ

湿式外張断熱工法の壁体性能として次のことを明らかにした。

防水性能を検証し、排水溝に多量の浸水がある状況で国内最大級の暴風を受けると躯体までの浸水が見られたものの、一次防水層が機能する条件ではいずれの風圧条件でも浸水が見られなかった。

数値解析結果の分析から、排水溝が有る場合と無い場合の断熱性能の差は小さいことが確認された。

(5) 劣化対策向上のための工法改良の検討

1) 目的

(1) 節で現状の湿式外張断熱工法の見かけの透湿抵抗を算定したところ、 $0.022 (m^2 \cdot s \cdot Pa/ng) \sim 0.030 (m^2 \cdot s \cdot Pa/ng)$ であった。いずれの仕様とも、通気層を設置する外壁の見かけの透湿抵抗（通気層を設置する外壁のうち最も見かけの透湿抵抗が大きい横胴縁仕様で $0.016 (m^2 \cdot s \cdot Pa/ng)$ ）より大きかった。すなわち湿気排出性能が低かった。そこで本節では、湿式外張断熱工法の見かけの透湿抵抗を低下させるための工法改良について検討する。

2) 改良方針

現状の湿式外張断熱工法について、見かけの透湿抵抗の逆数である見かけの透湿係数で、通気と透湿の成分に分解すると図 27 になる。見かけの透湿係数は値が大きいほど湿気排出性能が高く、劣化対策が良好であることを意味する。

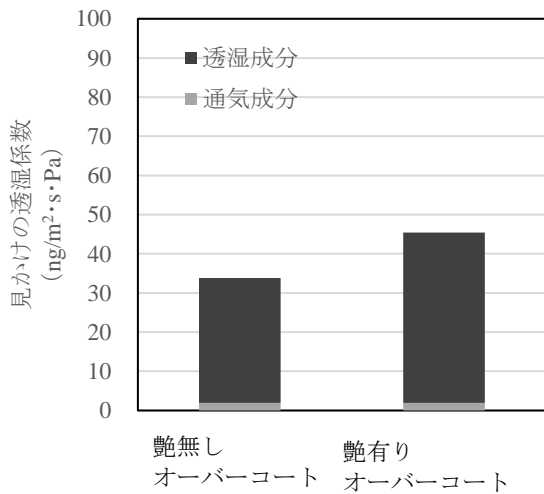


図 27 現状の湿式外張断熱工法のみかけの透湿係数

図 27 を見ると、湿式外張断熱工法の湿気排出は、通気成分よりも透湿成分の方が多いことが分かる。また、湿式外張断熱工法で排水溝の通気量を過度に増加させると、外張断熱層の室内側に外気が流入することで、外張断熱の断熱性能低下を招く恐れがある。

これらのことから、透湿係数の増大は一般部の透湿をターゲットとすることとした。

3) 透湿性の改善が必要な材料の検討

外装の透湿抵抗を明らかにするため、構成材料を 1 層ずつ加えて透湿抵抗を試験した。

試験方法は、4. (3) 2) と同様とした。

試験ケースを表 8 に、試験結果を図 28 に示す。

B、C、D 及び E は透湿抵抗の差がほぼ見られなかった。モルタル層が下塗りと上塗りの合計で 4 (mm) と薄いため、透湿抵抗が小さかったと考えられる。

F と G の結果の比較から、オーバーコート材の種類による透湿抵抗の違いが大きいことが分かった。

また A と B の試験結果から、EPS ボードの透湿抵抗が大きいことが分かった。

これらのことから、EPS とオーバーコート材における透湿抵抗低下について検討することとした。

4) EPS の透湿抵抗に関する検討

EPS の透湿抵抗の低下に関する検討を行った。一般に EPS は密度が低いと、透湿係数が高く（透湿抵抗が小さい）、熱伝導率が高い（断熱性能が低い）。参考に、表 9 に JIS A 9521 「建築用断熱材」を抜粋する。

ここでは、従来の EPS1 号品、低融着で透湿抵抗の向上を図った EPS1 号品、EPS4 号品、透湿性向上が期待されるグラファイト入りで透湿性向上が期待される EPS（断熱性能は 1 号品程度）の透湿性能について試験を行った。

試験方法は 0 項と同様で、厚さ 30 (mm) の排水溝が付いていない試験体を対象にした。試験材料は岩倉化学工業株式会社の提供による。

透湿抵抗の試験結果を図 29 に示す。

1 号品の EPS で通常品と低融着品の透湿抵抗に大きな違いは見られなかった。

表 8 試験ケース

ケース名	試験体
A	EPS ボード 30 (mm) 排水溝無し
B	EPS ボード 30 (mm) 排水溝有り
C	B にモルタル下塗り
D	C にモルタル上塗り (スムーズ仕上げ)
E	C にモルタル上塗り (ウェーブ仕上げ)

表 9 EPS の性能 (JIS A 9521)

種類		密度 (kg/m ³)	熱伝導率 (W/(mK))	透湿係数(厚さ 25(mm)の場合) (ng/(m ² ・s・Pa))
ビーズ法ポリスチレンフォーム	1号	30以上	0.034以下	145以下
	2号	25以上	0.036以下	205以下
	3号	20以上	0.038以下	250以下
	4号	15以上	0.041以下	290以下

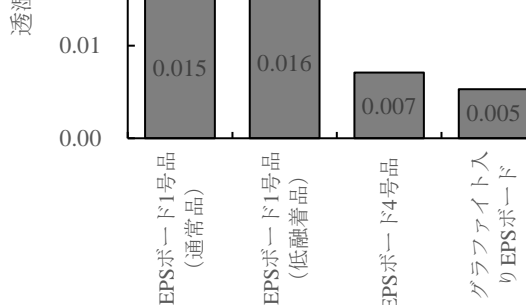


図 29 各種 EPS の透湿抵抗

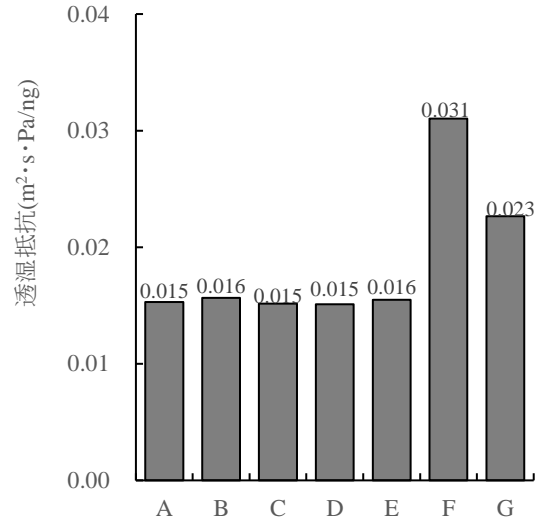


図 28 現状の湿式外張断熱工法のみかけの透湿抵抗

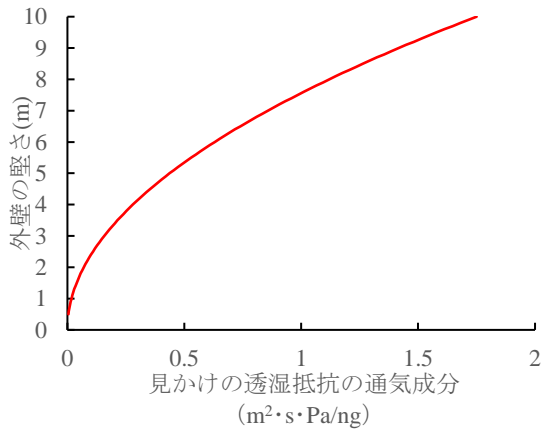


図 30 グラファイト入り EPS を使用した場合の見かけの透湿抵抗の通気成分

F	D にバイオセルオーバーコート (艶消し)
G	D にバイオセルオーバーコート (艶有り)

EPS4号品は、1号品より透湿抵抗が小さいことを確認した。しかし、前述したように、EPS4号品は1号品より断熱性能が低い。

グラファイト入り EPS は1号品よりも大幅に透湿抵抗が低いことを確認できた。そのため、グラファイト入り EPS は劣化対策に有効と考えられる。

また、グラファイト入り EPS を外張断熱材とした仕様で、(1)節と同様の方法で、有効開口面積を試験し、見かけの透湿抵抗の通気成分を計算したところ、図 30 のとおりとなった。外壁高さ 6 (m) における見かけの透湿抵抗の通気成分は、0.63 (m²・s・Pa/ng) となり、通常の EPS による見かけの透湿抵抗の通気成分 (0.51 (m²・s・Pa/ng)) よりも大きかった。グラファイト入り EPS は通常の EPS より柔らかく、成形した際の溝のでき方がわずかに異なったためと考えられる。

5) オーバーコート材の透湿抵抗に関する検討

3) 項の試験結果からオーバーコート材の透湿抵抗を整理すると図 31 になる。

現状の湿式外張断熱工法では、艶が有るオーバーコート材の方が、艶が無いものより透湿抵抗が小さかった。これはオーバーコート材の組成によるものと考えられる。また、透湿性をさらに改善させたオーバーコート材を使用もしくはオーバーコート材不使用であれば、さらに透湿抵抗を小さくできる。

6) 工法改良の方法

外張断熱材が 30 (mm) で、グラファイト入り EPS を採用、オーバーコート無しとする場合の透湿抵抗を図 32 に示す。これら 2 つの対策により見かけの透湿抵抗を大幅に低下できることを確認した。

見かけの透湿抵抗は、外張断熱の厚さにより異なる。断熱厚さに応じた見かけの透湿抵抗を表 10 に示す。また、表中に湿式外張断熱工法と通気層を設置する外壁の見かけの透湿抵抗を比較した結果を網掛けで示す。

グラファイト入り EPS・オーバーコート無し仕様では、断熱厚さが 90 (mm) 以下で横胴縁の通気層を設置する外壁 ($0.016 \text{ (m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/ng)}$) 以下の透湿抵抗となり、断熱厚さが 40 (mm) 以下で縦胴縁と横胴縁の通気層を設置する外壁の中間値 ($0.008 \text{ (m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/ng)}$) 以下の透湿抵抗となることが分かった。

以上のことから、湿式外張断熱工法において見かけの透湿抵抗を低減する方策を図 33 にまとめる。

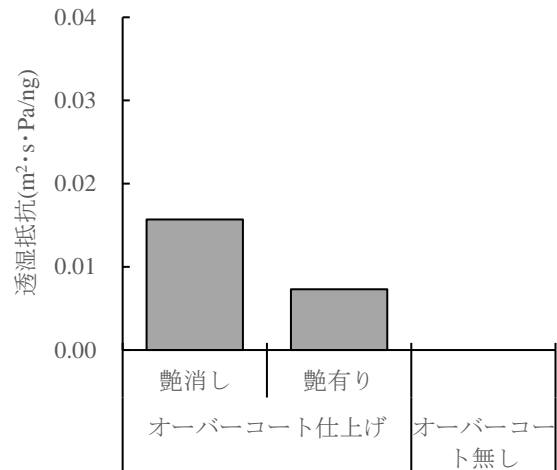


図 31 オーバーコート材の透湿抵抗

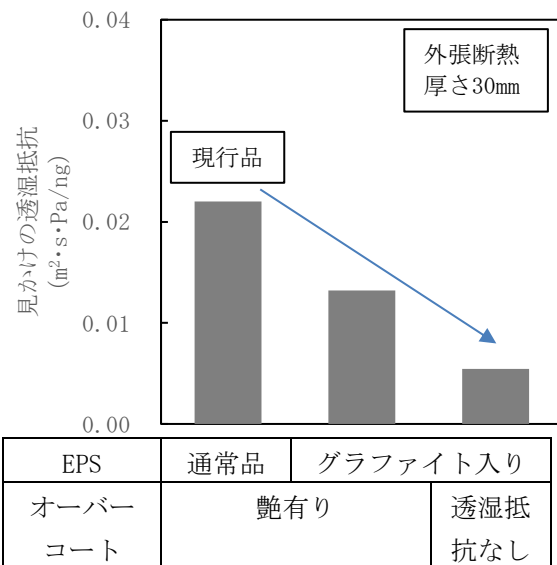
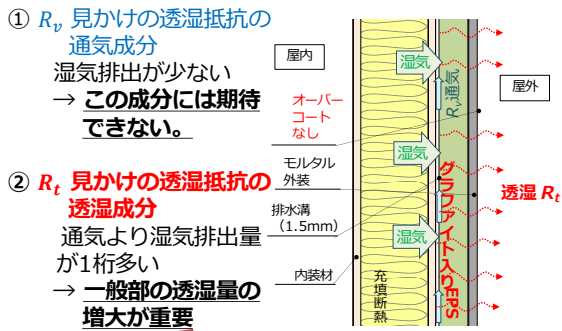


図 32 見かけの透湿抵抗の改善効果



① R_v 見かけの透湿抵抗の通気成分
 湿気排出が少くない
 → **この成分には期待できない。**

② R_t 見かけの透湿抵抗の透湿成分
 通気より湿気排出量が1桁多い
 → **一般部の透湿量の増大が重要**

技術的留意点

- ・ 外張断熱材に透湿性が高いグラファイト入り EPS を使用する
- ・ オーバーコートの透湿性を向上

図 33 見かけの透湿抵抗を低減する方策

また、湿式外張断熱工法の防水性能と断熱性能について検証を行った。防水性能としては、排水溝に多量の浸水がある状況で国内最大級の暴風を受けると躯体までの浸水が見られたものの、一次防水層が機能する条件ではいずれの風圧条件でも浸水が見られなかった。断熱性能としては、排水溝が有ることによる断熱性能の差はほぼ見られないことが確認された。

さらに、湿式外張断熱工法の工法改良について検討を行い、グラファイト入り EPS やオーバーコートの無い仕上げとすることで外装の透湿性の向上させることが劣化対策に有効であることを示した。

7) まとめ

湿式外張断熱工法の工法改良について検討を行った。湿式外張断熱工法の見かけの透湿抵抗を低減するには、排水溝の通気を向上させるより外装の透湿性を向上させる方が有効であり、外装の透湿性向上にはグラファイト入り EPS やオーバーコートの無い仕上げや透湿性能高いオーバーコートを用いることが考えられることが分かった。

(6) まとめ

実際の湿式外張断熱工法を対象として提案した評価手法を試行し、評価手法の妥当性を確認できた。

表 10 断熱材の厚さと見かけの透湿抵抗

断熱材	オーバーコート材	断熱厚さ (mm)	見かけの透湿抵抗 ($m^2 \cdot s \cdot Pa / ng$)		
			①通気成分	②透湿成分	合成
従来 EPS	艶無し	30	0.51	0.031	0.030
	艶有り	30		0.023	0.022
	無し	30		0.015	0.015
グラファイト入り EPS	艶無し	30	0.63	0.022	0.021
	艶有り	30		0.014	0.013
	無し	30		0.006	0.005
		40		0.007	0.007
		50		0.009	0.009
		100		0.018	0.018

網掛けの凡例

- 横胴縁の見かけの透湿抵抗 (0.016) 以上
- 横胴縁と縦胴縁の見かけの透湿抵抗の中間値 (0.008) 以上
- 横胴縁と縦胴縁の見かけの透湿抵抗の中間値 (0.008) 未満

5. おわりに

(1) まとめ

これまで、湿式外張断熱工法のような通気層を設置しない外壁が劣化対策に有効な通気構造等であるか否かは、評価手法がないために判断できなかった。

本研究では、次のように通気層を設置しない外壁の劣化対策の評価手法を提案した。

- ・通気層を設置しない外壁の劣化対策評価に、平成 11 年省エネ基準で防露評価の指標として用いられていた見かけの透湿抵抗を適用し、外装からの透湿による湿気排出を加味するよう計算法を改良した。
- ・通気層を設置しない外壁と設置する外壁との比較により、通気層を設置しない外壁の劣化対策を検証する手法を用いた。
- ・通気層を設置する外壁の湿気排出量を明らかにすることで、劣化対策等級 3 の評価基準の技術的根拠を整備した。

また、現状の湿式外張断熱工法を対象に評価を試行し、上記の提案の妥当性を確認した。

湿式外張断熱工法の工法改良について検討を行い、湿式外張断熱工法の見かけの透湿抵抗を低減するには、排水溝の通気を向上させるより外装の透湿性を向上させる方が有効であり、グラフィイト入り EPS や透湿性の高いオーバーコートを使用するかオーバーコートの無い仕上げとすることが外装の透湿性向上に有効であることが明らかとなった。

また、湿式外張断熱工法の防水性能と断熱性能を検証した。防水性能として、排水溝に多量の浸水がある状況では国内最大級の暴風を受けると躯体までの浸水が見られたものの、一次防水層が機能する条件ではいずれの風圧条件でも浸水がないことが分かった。断熱性能として、数値解析結果による排水溝の有無の場合の熱流の比較から、排水溝の通気による断熱性能の低下はほぼ見られないことが分かった。

(2) 今後の展開

本研究で提案した評価手法を基に、一般社団法人住宅性能評価・表示協会において、次年度、評価部会による審議を行い、通気層を設置

しない外壁の劣化対策の性能認定ガイドラインが策定される予定である。

本ガイドラインの策定により、民間事業者の劣化対策等級の住宅型式性能認定の評価が可能となる。共同研究先であるあいもり株式会社と岩倉化学工業株式会社は、本研究で得られた工法改良の考え方を基に、劣化対策等級の取得、湿式外張断熱工法の道外展開を目指す予定である。

[参考文献]

- 1) 国土交通省住宅局住宅生産課，国土交通省国土技術政策総合研究所及び国立研究開発法人建築研究所監修：日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説（新築住宅）2019，工学図書株式会社発行，2019. 5
- 2) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構発行：住宅の省エネルギー基準の解説 第3版，2010. 12
- 3) 独立行政法人住宅金融支援機構編著：フラット 35 対応木造住宅工事仕様書 2019 年版，井上書院発行，2019. 4
- 4) 小松幸雄，千葉隆弘，福島明，村田さやか，高倉政寛，遠藤卓：湿式外張り断熱外装システムの防水性向上に関する研究，日本建築学会環境系論文集 No. 767，pp. 11-18，2020. 1
- 5) 村上周三，芽野紀子，佐藤秀雄：降雨を伴う風速の再現期待値，日本建築学会計画系論文集 第 434 号，pp. 11-17，1992. 4
- 6) 赤坂裕，武田和大：通気層を有する外壁、屋根の断熱・遮熱効果の計算法，日本建築学会環境系論文集 No. 595，pp. 33-40，2005. 9
- 7) 遠藤卓，三浦尚志，齋藤宏昭，鈴木大隆：壁体内通気層を有する壁体の断熱及び日射遮蔽性能の評価に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 II，pp. 69-70，2013. 8