

# 通気層付き外断熱複合板の外装材の乾燥性状

# ON DESORPTION PERFORMANCES OF AN EXTERIOR FINISHING MATERIAL FOR OUTSIDE THERMAL INSULATION COMPOUND WITH AIR LAYER

森 太郎 ——\*1      塚田佳奈 ——\*2  
 舘脇 英 ——\*3      上林英文 ——\*3  
 絵内正道 ——\*4      羽山広文 ——\*5

Taro MORI ——\*1      Kana TSUKADA ——\*2  
 Suguru TATEWAKI ——\*3      Hidefumi KANBAYASHI ——\*3  
 Masamichi ENAI ——\*4      Hirofumi HAYAMA ——\*5

キーワード：  
 外断熱, 外装材, 通気層, 凍害, 含水率

Keywords:  
 Outside insulation, External facing, Venting space, Frost damage, Watercontent

The construction method of exterior insulated building by the composite wall, which is made of EPS and calcium silicate board, has many benefits. But there have been some troubles by frost damage in the buildings made by the method. It is necessary for protecting the composite wall from the frost damage to dry the exterior finishing. In this paper, we conduct the model experiment, the measurement in the test house and numerical simulation for realizing the desorption performance of the composite wall compound with air layer.

## 1. はじめに

北海道の戸建住宅や公営集合住宅では、外断熱の外壁仕上げに多孔質系外装材が多用されている。これは、外装材と発泡プラスチック系断熱材を工場で複合パネル化した複合板によるところが大きい。この複合板は、そのままコンクリート型枠として使用し、コンクリートを打込む工法や、躯体コンクリートに後張りし、入居したままの断熱改修に利用される。他の工法に比べ、複雑なディテールが少なく、現場作業も単純であるため、工事単価が安いのが特徴で、㎡あたりの工事単価は半値以下である<sup>※1)</sup>。外断熱がこれだけ話題になっても、一方で普及が全く進まないのは、その価格に問題があるからで、その意味では、普及型として他の外断熱工法に比べ優れた工法であるといえる。しかし、この工法を採用した建物では、凍害が多く発生しており、日本建築学会北海道支部では、委員会を組織し、「外断熱複合板の耐久性向上技術の開発研究報告書」<sup>1)</sup>を出版しており、凍害事故の原因として以下のような問題が挙げられている。

- 1) 多孔質系外装材は、材料内部に隙間を多く保有しているため、雨水・融雪水・結露水などの水分を吸水しやすい。そのため、水分が外装材内で凍結し、ひび割れ、塗膜の剥離などの凍害が発生しやすい。
- 2) コンクリート打ち込み時の側圧に耐えるために断熱材と外装材が密着成形されており、通気層を設けることが出来ない。
- 3) 通気層がないため、風圧の逃げ場がなく、小口のシーリングの切れ目等から、材料内に水分が侵入しやすい状況が揃っている。
- 4) 一旦、吸水してしまうと、屋外側に水分を逃がすしか方法がないため、塗剤の選択の幅が狭くなる。(所謂、透湿防水塗料)
- 5) そのような塗剤は高価なため、実際には使用されていない例がほと

んどであり、多くの凍害が発生している。

これらの、欠点を補うために、本研究では、通気層を持った外断熱複合板を開発した。通気層を設置すると上記の3) 4) 5) が緩和され、a) 水分が外装材内に入りづらくなる、と同時に、b) 水分の逃げ道ができる、ことになるため、凍害の発生要因のうち幾つかを除去することができる。本研究では、外断熱複合板に取り付けた通気層の効果について、

- 1) 外装材に強制吸水させた外断熱複合板の乾燥性状を明らかにするための模型実験
- 2) 同材料を、実建物に設置し、気象条件下における通気層の性状の把握を行ったので報告する。

## 2. 蒸発速度把握実験

### 2.1 実験概要

試験体は外装材(両面ガラス繊維混入火山れきサンドアッシュフェ

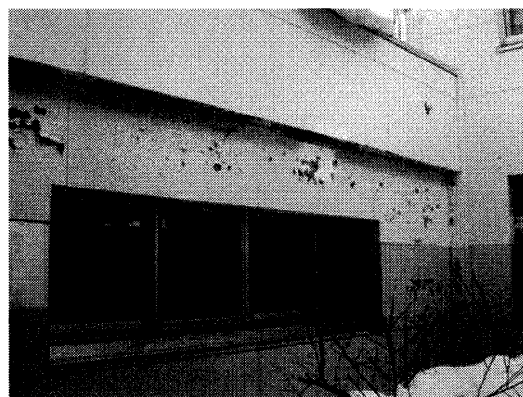


写真-1 外断熱複合板に発生した塗料の剥離

\*1 釧路工業高等専門学校 助教授・博士(工学)  
 (〒084-0916 釧路市大楽毛西2丁目32-1)

\*2 旭化成

\*3 岩倉化学工業

\*4 北海道大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

\*5 北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)

\*1 Asoc. Prof., Kushiro National College of Technology, Dr. Eng.

\*2 Asahi Kasei Corporation

\*3 Iwakura Kagaku Kougyou Co. Ltd.

\*4 Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

\*5 Asoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

ノール樹脂板)と断熱材(フォームポリスチレン)で構成され、部材間に通気層(10mm)を設けた(図-1参照)。外装材は、通気層の効果を明確にするため(通常、外装材は外側になんらかの塗材を塗るため外側への水分の蒸発は期待できない)、外装材の木口4面と外装材の外部側表面をシーリング、真空ポンプによって強制吸水させている。また日射を模擬するため、外装材の外部側には面状発熱体を取付けた。この模型を恒温恒湿器に設置し、重量変化、外装材温度(表面、裏面)、面状発熱体の消費電力量、風速(通気層内風速)<sup>注2)</sup>を測定した。測定データは、面状発熱体・恒温恒湿器作動時より2.5時間後を定常状態とし、この時間を測定開始時として100時間計測した。各パラメーターの測定平均値を表-1に示す。なお多孔型とは、外装材の通気層側に深さ1mmの穴を縦横2cm間隔であけて実験を行ったものである。なお、槽内の温度は、全ての実験を通じ、21℃に固定している。

### 2.2 実験結果と考察

含水率の変化を図-2に示す。Case1, 2とCase5, 6の含水率が低くなる速度が速いのがわかる。これらのCaseは他のCaseよりも発熱量が大きいCaseであり、発熱量の大小、つまり、日射があるかどうかで蒸発速度



写真-2 実験装置

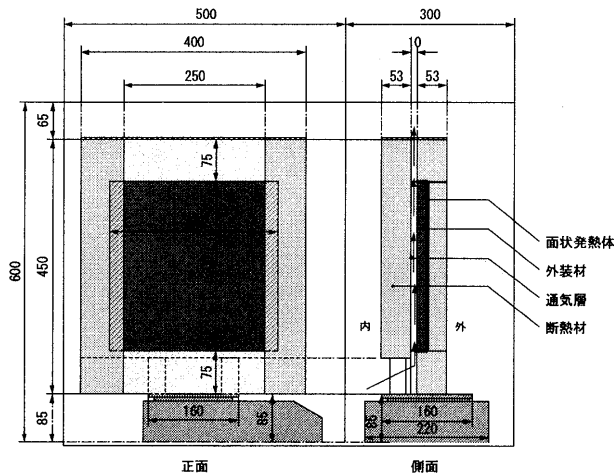


図-1 実験用模型

表-1 各パラメーターの測定値

Case	槽内相対湿度[%]	通気層内風速[m/s]	発熱量[W/m <sup>2</sup> ]	備考
Case1	60	0.74	57.70	
Case2	60	0.17	61.20	
Case3	60	0.68	14.20	
Case4	60	0.19	13.50	
Case5	80	-	49.20	
Case6	80	0.36	78.90	
Case7	80	0.44	14.20	
Case8	80	0.18	12.60	
Case9	80	0.29	14.20	多孔型

に大きな影響を与えようと考えられる。多孔型はCase7, 8の変化率とはほぼ同じという結果がでた。つまり、外装材の通気層側に何らかの加工を施しても大きな影響はないということになる。

### 3. 重回帰分析

各パラメーターが蒸発速度に与える影響を判断するために測定結果に対して以下の式を用いて重回帰分析(パラメーターは初期含水率、外部相対湿度、通気層内風速、発熱量)を行った。目的変数は強制吸水した状態から3, 6, 12, 18, 24時間後の含水率減少量である。

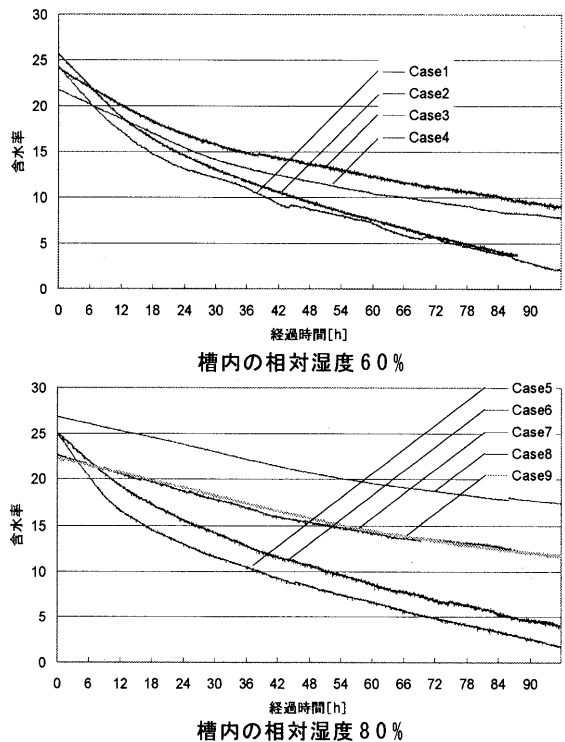


図-2 Rh60%とRh80%時の含水率変化の比較

表-2 解析結果

経過時間	3	6	12	18	24	
初期含水率	a <sub>1</sub>	5.41E-02	1.05E-01	1.87E-01	2.53E-01	3.06E-01
外部相対湿度	a <sub>2</sub>	-1.66E-02	-3.18E-02	-5.72E-02	-7.76E-02	-9.37E-02
通気層内風速	a <sub>3</sub>	8.83E-02	1.48E-01	2.86E-01	3.86E-01	4.34E-01
発熱量	a <sub>4</sub>	9.97E-03	1.91E-02	3.46E-02	4.72E-02	5.79E-02
切片	a <sub>5</sub>	4.96E-01	9.56E-01	1.80E+00	2.56E+00	3.21E+00
相関係数		6.29E-01	7.32E-01	8.02E-01	8.33E-01	8.56E-01

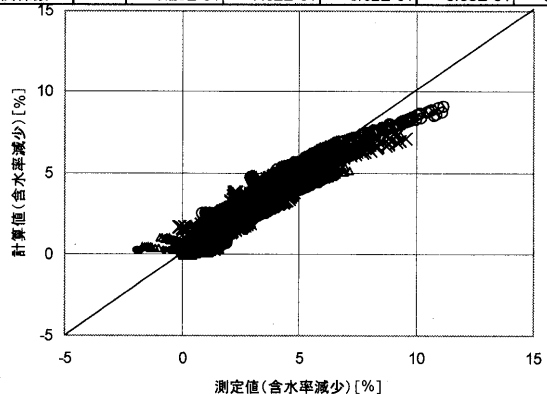


図-3 観測値と予測値の相関

$$\Delta Z = a_1 Z_0 + a_2 H + a_3 V + a_4 Q + a_5 \quad (1)$$

$\Delta Z$ : 含水率減少量[%]  $Z_0$ : 初期含水率[%]

$H$ : 相対湿度[%]  $V$ : 通気層内気流速[m/s]

$Q$ : 発熱量[W/m<sup>2</sup>]

パラメータに外気温を加えなかったのは、外装材は一般に熱容量が小さく、日射さえあれば、通気層内の温度は、冬季でも40℃程度まで上昇する。重回帰分析を行う際のパラメータは相互に独立でなければならないため、通気層内の空気温度は、外気温よりも発熱量（日射量）の影響を強く受けるだろうと考えたからである。表-2に解析結果を示す。

図-3に観測値と予測値の相関を示す。回帰直線は、 $y=x$ の近辺に分布しており、相関係数も高く、経過時間が長ければ、0.85以上となっている。したがって、表-2に示した式は解析を行う際に十分な精度を持っていると考えることができる<sup>注3)</sup>。

## 4 蒸発要因の把握

### 4.1 条件設定

重回帰分析でもとめた予測式を用い、外部相対湿度・通気層内風速・発熱量の蒸発速度に対する影響を把握する数値解析を行った。比較対象とするパラメータのみ模型実験の上限・下限値を入力して差をつけ、その他を同値に設定した。解析条件を表-4に示す。

### 4.2 数値解析の結果と考察

解析結果を図-4に示す。24時間後に一番蒸発したのはCase1の5%であり、水を含んだままなのはCase8の25%と約20%の差がでた。相対湿度が同条件の場合、風速よりも発熱量の大小が、含水率変化に大きく影響することがわかった。またCase1, 3, 5の結果を比較することで、風速が同値の場合、相対湿度が高いことよりも発熱量の低下の方が、蒸発速度が低くなることがわかった。以上の結果をまとめると本実験の設定範囲では、発熱量>相対湿度>通気層内風速の順で蒸発速度に影響を与えることがわかった。

表-4 解析条件

Case	相対湿度[%]	風速[m/s]	発熱量[W/m <sup>2</sup> ]
Case 1	60	1.00	300
Case 2	60	0.01	300
Case 3	60	1.00	10
Case 4	60	0.01	10
Case 5	80	1.00	300
Case 6	80	0.01	300
Case 7	80	1.00	10
Case 8	80	0.01	10

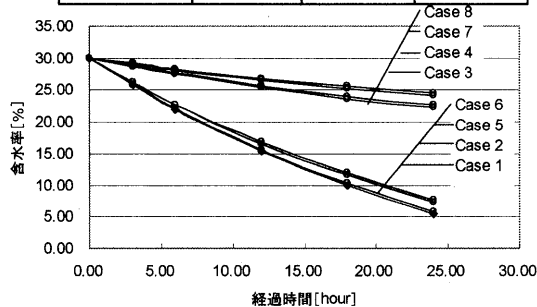
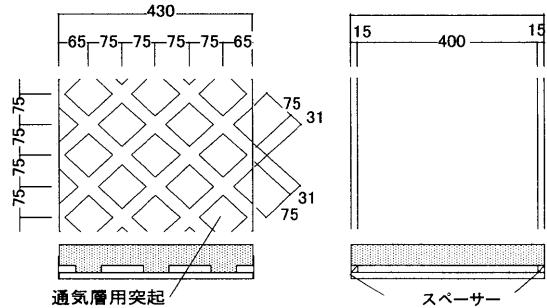
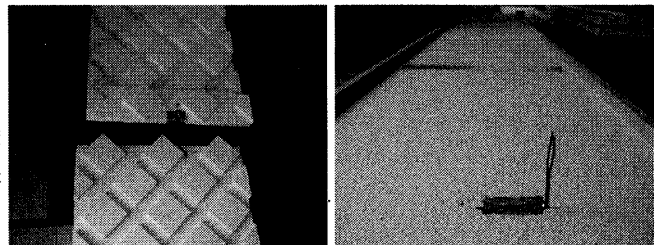


図-4 シミュレーションによる含水率変化



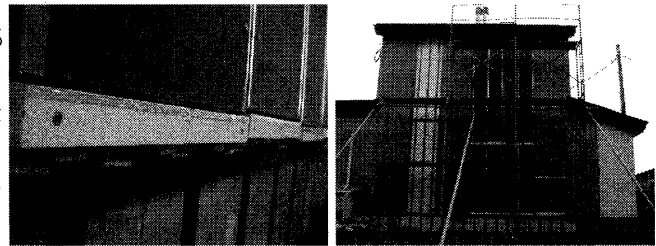
- Case 1: 突起付 厚さ18mm ポリスチレンフォーム
  - Case 2: 突起付 厚さ10mm ポリスチレンフォーム
  - Case 3: 一般 厚さ18mm 木材
  - Case 4: 一般 厚さ10mm 外装材と同材料
- 注) Case 1, 2の突起付とは図中の菱形部分が突起となっている

図-5 通気層形状



通気層 (突起付)

通気層 (一般)



通気層 (入口)

設置状況

図-6 実測の状況

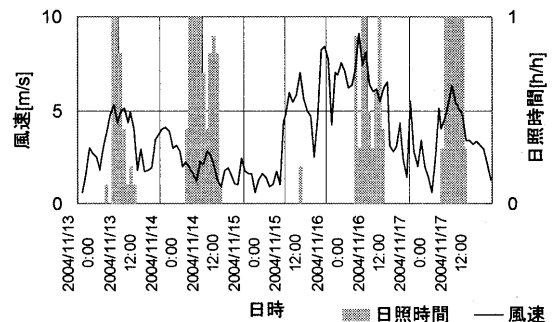
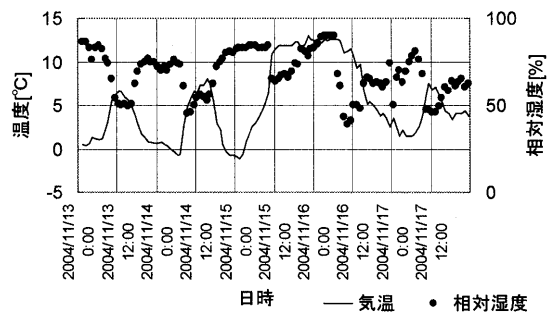


図-7 苫小牧の気象データ (2003年11月13~17日)

5. 気象条件下における含水率変動

5.1 実測調査の概要

外気条件下において、通気層内の温度、気流性状を把握する実測調査を実施した。実測調査の主な目的を以下に示す。

- (1) Case1, 2 (図-5) のような通気抵抗の大きな通気層に、通常気象条件下において通気(通気層内の気流速)が生じるのか。
- (2) 気象条件下では、通気層があることでどの程度の含水率低下が期待できるのか。

実測対象は苫小牧にある木造2階建ての建物(実験用建物)である。この実験用建物に、通気層形状の異なる4種類(図-5)の外壁を設置し、通気層内外の温度・風速<sup>注2)</sup>(外部風速は気象台データ)、通気層側壁温度、室内外の相対湿度、日射量を測定した。本報告では2003年11月13~17日の4日間の実測結果に関して紹介する。4種類の外断熱複合板の通気層形状は、断熱材を突起付き形状に加工し、その間を通気層としたもの(Case1(通気層の厚さは18mm), Case2(同10mm))と、断熱材の両端にスペーサーを取り付けたもの(Case3(同18mm), Case4(同10mm))を使用した。

5.2 実測調査結果

図-7に調査実施時(2003年11月13~17日)の建物内外の気象条件を示す。また、図7は壁面への入射日射量と通気層内風速である。外部相対湿度は日平均で60%~80%、通気層内風速は0~0.8m/sとなり、模型実験の条件設定は適正な範囲だったといえる。但し、日射量の瞬間値については、設定値を遥かに越えた400W/m<sup>2</sup>まで上昇していた。

図-8をみると、風速が入射日射量の増加とともに上昇している。これは日射により通気層内外に温度差が生じ、密度差による換気が起こっているからである。図-9に通気層内風速と日射量の関係を示す。通気層内の風速が日射量の平方根の関数として表されていることがわかる<sup>注4)</sup>。また、通気層の形状別における通気層内風速については

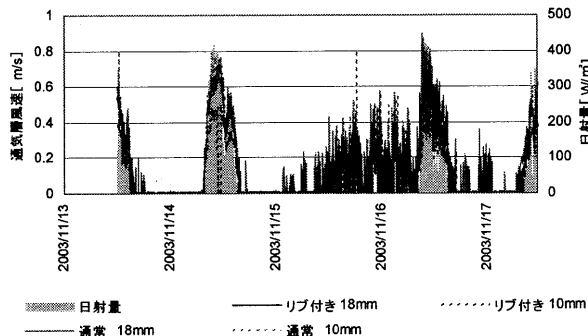


図-8 日射量と通気層内風速

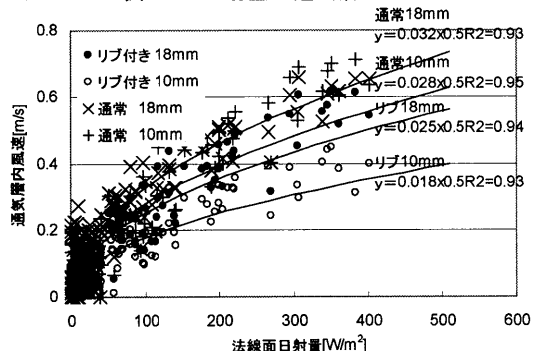


図-9 日射量と通気層内風速の相関

Case3>Case4>Case1>Case2

の順に大きくなっている。Case1とCase2は通気層用の突起により通気抵抗が大きくなるため、Case3やCase4のような一般通気層よりも風速が弱まっていると考えられる。また、通気層の厚みが大きいほど、風速が大きいたことがわかる。但し、突起付通気層でも、日射さえあれば、通気層内は換気されるため、その結果、外装材内の余分な水分は除去されるはずである。

5.3 実測によるシミュレーション

各Caseによって蒸発速度・含水率変化の速度は異なるが、測定開始からおおよそ6~24時間でどれだけ含水率が低下するかということが、乾燥性状を把握する上で重要になってくる。ここでは通気層形状がCase1~4の実測外壁にて、日射量の大きい6時間後・24時間後の蒸発量・含水率変化シミュレーションを式(1)を用いて行った。式(1)への代入データを表-5に示す。設定日は実測期間のうち、晴天日の11月15日と雨天日の11月16日とした。式(1)への代入データは実測で収集した外部相対湿度・通気層内風速・日射量の対象時間の平均値を用いた。なお、Case1,2の蒸発面積は、突起との密着部分を除いた1.072m<sup>2</sup>、Case3,4

表-5 式(1)への入力データ

気象データ	通気層形状	相対湿度 %	風速 m/s	日射量 W/m <sup>2</sup>
11/15日 6時間	CASE1	0.67	0.06	11
	CASE2		0.05	
	CASE3		0.13	
	CASE4		0.08	
雨天	CASE1	0.81	0.05	3
	CASE2		0.04	
	CASE3		0.11	
	CASE4		0.08	
11/16日 6時間	CASE1	0.44	0.42	260
	CASE2		0.31	
	CASE3		0.53	
	CASE4		0.48	
晴天	CASE1	0.68	0.16	69
	CASE2		0.11	
	CASE3		0.23	
	CASE4		0.19	
晴天	CASE1	0.68	0.16	69
	CASE2		0.11	
	CASE3		0.23	
	CASE4		0.19	

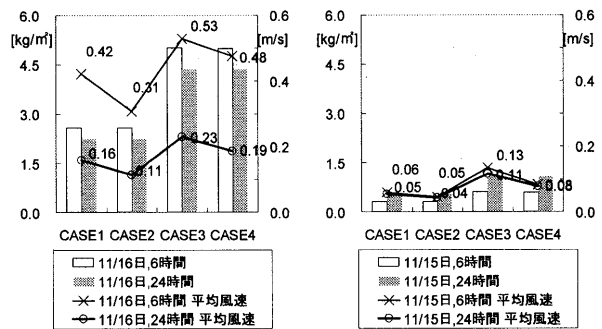


図-10 晴天日(左)と雨天日(右)における蒸発量

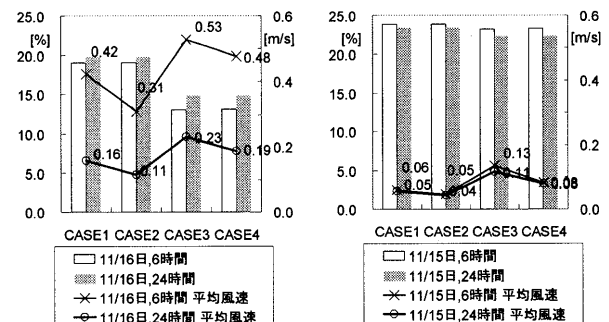


図-11 晴天日(左)と雨天日(右)における含水率

はスパーサー部分を除いた外装材面積2.08㎡で蒸発量を予測する。また初期含水率は模型実験で用いた試験体の平均値24.5%とする。

### 5.4 シミュレーション結果と考察

図-10に晴天日(左)と雨天日(右)における蒸発量(6時間, 24時間)を示す。晴天日の蒸発量においては, Case1, 2とCase3, 4の間の蒸発量に大きな差が生じている。突起付き通気層(Case1, Case2)は突起の部分が外装材と密着している。その部分の面積は蒸発に寄与する面積に算入することができないため, Case3, 4の通気層に比べ蒸発に寄与する面積が半分となっているためである。一方, 雨天日は昼間と夜間の外部環境にあまり差が出ず, 日射のある6時間の予測蒸発量においても, 晴天日のように乾燥させることはできない。蒸発量は晴天日の1割程度しか期待できないことがわかった。

6, 24時間後の含水率を図-11に示す。含水率については, 晴天日にはCase1, 2については, 5%程度, Case3, 4では10%程度, 含水率が低下することがわかった。雨天日では, 通気層形状の違いによる含水率の差はあまり見られず, 初期含水率とほとんど変化はない。

### 6. まとめ

本論文では模型実験と実測調査, シミュレーションより, 以下の結論を得た。

- (1) 乾燥速度は日射量によって大きく変化すること, 次いで外部相対湿度, 通気層内風速の順で乾燥速度に影響を与えることがわかった。
- (2) 時間あたりの蒸発量を, 外部相対湿度, 日射量, 通気層内風速の一次関数として表した。これらの要素のうち, 最も蒸発量に影響を与えるのは, 日射量である。
- (3) 通気層内の風速は, 壁への入射日射量と相関があることがわかった。また外部風速の変動との相関は見られなかった。
- (4) 晴天日は雨天日の約5倍の水分が, 外装材から蒸発することがわかった。また, Case3, 4はCase1, 2の2倍の水分が蒸発することがわかった。

注1) 外断熱工法別の工事単価については, 外断熱工法技術マニュアル<sup>7)</sup>に9工法(A:塗装+断熱パネル, B:塗装+断熱パネル(非通気層), C:タイルパネル, D:タイル, E:タイル+断熱材, F:金属折曲(ノンシール), G:金属折曲(一般), H:レンガ, I:CB化粧素地仕上げ)における概算工事費が掲載されている。本論文の工法はA, Bであり, ㎡あたりの単価は1~2万円となっている。この単価はI:CB化粧素地仕上げに次いで安価となるが, I工法は低層の建物に限られる。

注2) 通気層内の風速の測定にはTOHNIC製デジタル4ch風速計GeY-40DAを用いた。プローブは貼付型風速風温プローブQB-5を用い, プローブの位置が

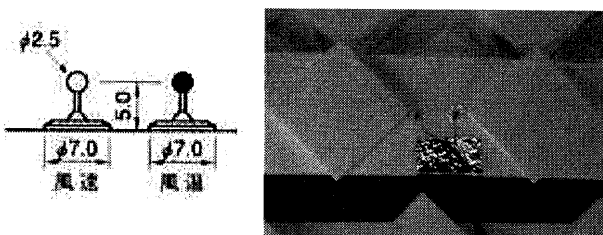


図-12 プローブの詳細と設置状況

通気層の中心に来るように貼り付けシールの厚みを調整した。(図-12)

注3) 重回帰分析時には各変数が適応可能な範囲を調査しなければならない。本論文において, 各変数は, 相対湿度が60~80[%], 風速が0.17~0.74[m/s], 発熱量が14.20~78.90[W/㎡]の範囲で変化しており, 厳密には, 実験式(1)は上記の範囲のみで有効な式である。特に, 日射量は, 5.2節にもあるように, 苫小牧の実測においても瞬間的には400[W/㎡]を超えた値を記録している。しかし, 以下の理由により, 式(1)は本壁体の実験式として, 適用可能とした。(a)この値は壁面に入射した日射量であり, 実際にはこの値に吸収率を乗じた値が式(1)の入力値となる。(b)本実験は長時間の暴露を行っており, 式(1)への入力値は, 瞬間値ではなく, 平均値がふさわしい。上記400[W/㎡]時の24時間平均日射量は約70Wである。(c)通気層は, 式からも明らかのように, 多くの日射が当たっている際には問題なく通気される。確認しなければならないのは, 日射量が少ない時間帯に通気が行われるかどうかである。したがって, 弱い日射に対する実験を多く行う必要があった。

注4) 通気層内の風速は, 通気層内外の温度差換気によって生じていると考えると, 温度差換気の換気量は以下のような手順で計算が出来る。まず, 図-13に示すような解析モデルを考えると, 外装材の表面温度 $\theta_s$ は熱平衡式から次のようになる。

$$\theta_s = (\alpha_o \theta_o + \alpha_i \theta_i + J) / (\alpha_o + \alpha_i) \quad (2)$$

また, 通気層内の温度は, 通気層内の熱平衡式から次のようになる。

$$\theta_i = (A_w \alpha_i \theta_s + \rho C_p Q \theta_o) / (A_w \alpha_i + \rho C_p Q) \quad (3)$$

ここで, (3)式中の換気量Qは次のよう内外の圧力差をもとに次のようになる。

$$Q = A_o \sqrt{2\Delta p / \rho} / \rho, \Delta p = (\rho_o - \rho_i) g \quad (4)^{9)}$$

(4)式中の $\rho_o, \rho_i$ は密度であるため, それぞれの温度の関数となる。(3), (4)式は互いに未知数を含むため, 通気層内の温度や換気量を解くためには収束計算が必要となる。

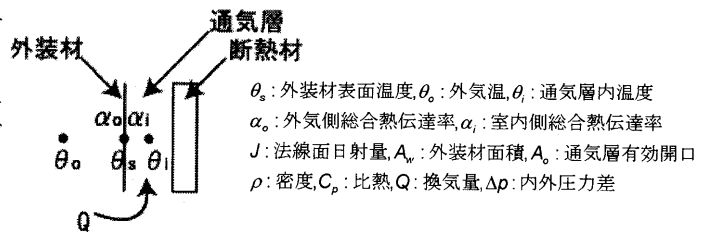


図-13 解析モデルと変数

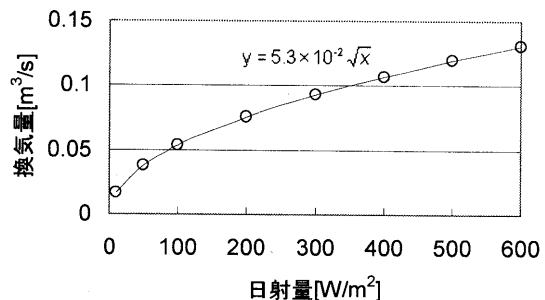


図-14 日射量と換気量の関係

(2)式において、外気温、法線面日射量を与え、 $Q, \theta_i$  をパラメータとして(2), (3), (4)式の残差が最小となるように収束計算を行った結果を図-14に示す。日射量が増えるにしたがって、換気量が増加し、その増加量が日射量の平方根の関数となっていることがわかる。これは、(4)式の $\Delta p$ がほぼ日射量の一次関数となっているため、本論文の通気層はこのようなモデルになっているため、換気量(風速)が日射量の関数となっていると考えられる。

#### 謝辞

本研究は岩倉化学工業株式会社からの研究奨学金によって実施された。記して感謝する。

#### 参考文献

- 1) 外断熱複合板の耐久性向上技術の開発研究報告書:  
日本建築学会北海道支部
- 2) 石原修:「外張断熱通気工法における壁体内通気層の熱・通気特性に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, PP. 29-36 (1997, 12)
- 3) 松本衛: 建築壁体における熱・水分同時移動及び水分蓄積に関する研究, 学位論文 (1978, 11)
- 4) 洪ほか: 建築材料と凍害技術資料, PP. 62-63 (1985)
- 5) 三浦健治ほか: 外装材の含水率変化シミュレーション,  
松下電工技報: No. 40, PP. 31-35 (1990, 03)
- 6) 宮島賢一ほか: 外装材表面の水分蒸発量に関する野外実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 321-322 (1998, 09)
- 7) 北海道建設部建築指導課: 外断熱工法技術マニュアル
- 8) 田中俊六他: 最新建築環境工学, 井上書院

[2005年4月20日原稿受理 2005年7月22日採用決定]