

# 断熱構造と内部結露に関する総合的調査

Synthetic investigation on thermal insulation system and internal vapor condensation

9930109 小野由美子 Yumiko ONO

指導教官 田中辰明 Tatsuaki TANAKA

## 1. はじめに

適切な断熱施工を行わないと熱損失の増大を招き、結露も発生する。壁体内に発生する内部結露は普段目に見えず見落とされがちであるが、結露水が蓄積されると壁や土台を腐敗させたり、シミやカビを発生させる原因にもなる。壁体内部結露防止のために、適切な断熱工法を判断し用いる必要がある。

昨年度の冬型結露試験では、外断熱工法の壁体内部結露防止の有効性と、定常結露計算の壁体内部結露発生の目安としての有効性が実験と計算により確認された。

そこで本研究では、昨年度の冬型結露試験に引き続き、夏型結露に関する試験を実施し、内部結露防止に有効な断熱工法について実測と定常計算を用いて検討する。

## 2. ドイツにおける外断熱工法

ドイツは外断熱が普及している国である。1960年代から省エネルギーの観点ならびに建築物の構造躯体の保護、コンクリートの膨張・収縮を防ぐ為に外断熱が必要だという結論に達し、現在でも地球温暖化の防止、省エネルギー的に外断熱を使用している。そこで、環境先進国であるドイツの外断熱施工会社Brillux社の外断熱仕様書を翻訳した。

## 3. モデル壁実験

### 3-1 方法

3種類のモデル壁を作成し(Table1)、モデル壁構成界面に温度・湿度・結露センサーを取り付け、実験装置に設置した (Fig. 1)。屋外設定を変えた実験を2回行った。設定条件をTable2に示す。

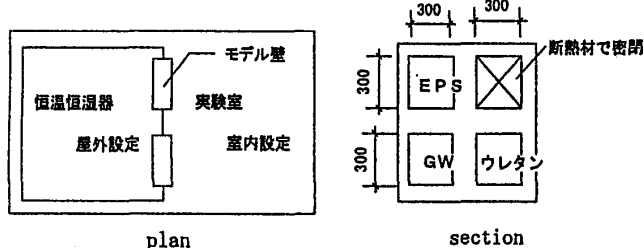


Fig. 1 Test installation of the model walls

(1)EPS-外 (2)GW-外 (3)ウレタン-内

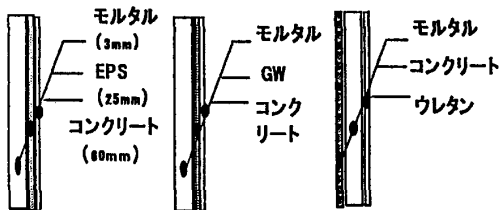


Fig. 2 Structure of the model walls

Table 1 Composition of the model walls

TYPE	種類	熱抵抗 (m <sup>2</sup> ·K/W)	透湿抵抗 (m <sup>2</sup> ·s·Pa/ng)	断熱工法
EPS-外	発泡プラスチック系断熱材 (EPS)	0.641	0.004	外断熱
GW-外	無機繊維系断熱材 (GW)	0.714	0.000275	外断熱
ウレタン-内	発泡プラスチック系断熱材 (ウレタン)	0.781	0.005	内断熱

## 【設定条件】

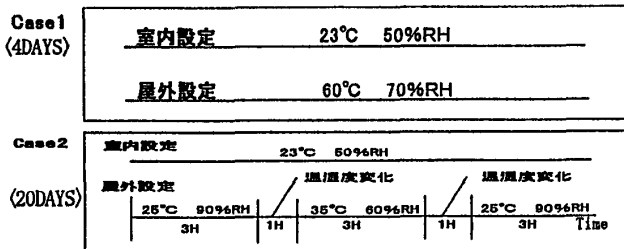


Fig. 3 Setting conditions

※Case 1は、計算結果と測定結果の明確な比較を行えるため、確実に内部結露が発生する条件を設定した。Case 2は、1日のサイクルを8時間に短縮し実験を20日間行うことによって、真夏日が60日間(2ヶ月間)続くと想定し、厳しい夏の環境を設定した。

## 【測定項目】

Table 2 Measurement parameter

測定項目	使用器具	測定場所
温度	銅-コンスタンタン熱電対	室内、外気、モデル壁各界面
相対湿度	湿度センサ	室内、外気、モデル壁各界面
結露	結露センサ	モデル壁各界面
蓄積結露水量	天秤(断熱材、外装材)、量計(コンクリート)	モデル壁各構成材

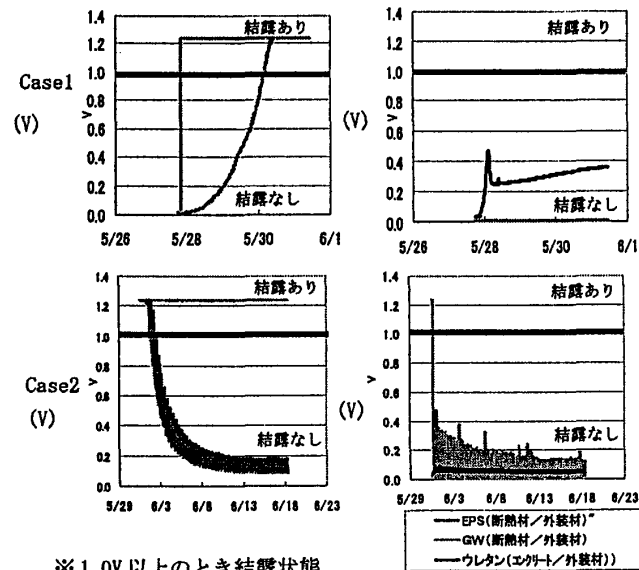
※結露センサ・出力電圧が1Vに達した時点(センサの抵抗値1MΩ)を結露と判定することが出来る。

## 3-2 結果

### ・結露センサを使つての結露判定

Case1ではEPS-外、GW-外の室内側で結露が発生し、ウレタン-内では発生しなかった。EPS-外はゆっくりと結露が発生したが、GW-外はすぐに結露が発生した。

Case2ではGW-外の室内側の結露は残ったが、EPS-外の結露はなくなった。他の界面では結露は発生しなかった。



※1.0V以上のとき結露状態

室内側

屋外側

Fig. 4 Occurrence of condition on interface

・蓄積結露水量

GW-外のコンクリートの重量が著しく増加した。

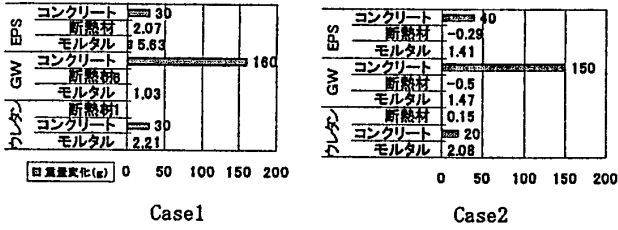


Fig. 5 Mass change of each structure

4. 定常結露計算

4-1 計算方法

①温度 
$$\theta_k = t_i - (t_i - t_o) \frac{R_i + \sum R_n}{R_k}$$

- $\theta_k$  ; 表面及び各境界面温度 (k) (°C)
- $t_i$  ; 室内温度 (K) (°C)
- $t_o$  ; 外気温度 (K) (°C)
- $R_i$  ; 室内側表面熱伝達抵抗 (m<sup>2</sup> · K/W) (m<sup>2</sup> · h · °C/kcal)
- $R_k$  ; 各材料の熱伝達抵抗 (m<sup>2</sup> · K/W) (m<sup>2</sup> · h · °C/kcal)
- $R_k$  ; 熱伝達抵抗 (m<sup>2</sup> · K/W) (m<sup>2</sup> · h · °C/kcal)

②湿度

$$f_k = f_i - (f_i - f_o) \frac{Z_{i1} + \sum Z_k}{Z_k}$$

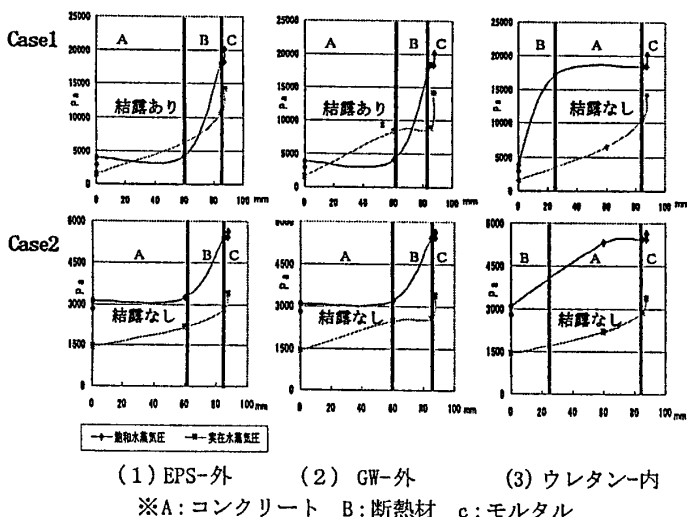
- $f_k$  ; 各境界面水蒸気圧 (Pa) (mmHg)
- $f_i$  ; 室内の水蒸気圧 (Pa) (mmHg)
- $f_o$  ; 外気の水蒸気圧 (Pa) (mmHg)
- $Z_{i1}$  ; 室内側表面透湿抵抗 (m<sup>2</sup> · s · Pa/ng) (m<sup>2</sup> · h · mmHg/g)
- $Z_k$  ; 各材料の透湿抵抗 (m<sup>2</sup> · s · Pa/ng) (m<sup>2</sup> · h · mmHg/g)
- $Z_k$  ; 湿気貫流抵抗 (m<sup>2</sup> · s · Pa/ng) (m<sup>2</sup> · h · mmHg/g)

③結露発生の判定

結露発生の有無を判定するには、各材料境界面の実在水蒸気圧とその温度での飽和水蒸気圧を比較する。

4-2 結果

Case1では、EPS-外、GW-外のコンクリート/断熱材界面で結露が発生すると判定された。Case 2では、すべて結露しないという結果になった。



(1) EPS-外 (2) GW-外 (3) ウレタン-内  
※A: コンクリート B: 断熱材 c: モルタル

Fig. 6 Calculation result of occurrence of condensation

5. 考察

【各モデル壁の結露発生状況の比較】

Case1の実験でGW外断熱工法は結露がすぐに起こり、EPS外断熱工法は時間がかかった。GWは透湿抵抗が小さいため、高温な外気は容易に断熱材を通過しコンクリート界面でせき止められ、境界面での水蒸気圧が高くなり結露が発生する。EPSは熱伝導率が小さく透湿抵抗が大きいため、極端な環境であっても結露が起こりにくい。同じ外断熱工法であっても、透湿抵抗の違いから結露が起こるまでの時間が大きく違った。その結果、蓄積結露水量においてもGW外断熱工法のコンクリートはEPS外断熱工法のコンクリートの約3.7~5.3倍増加し、GW外断熱工法は内部結露が起こりやすいことが実証された。

Table3 experiment result and calculation result

		EPS-外		GW-外		ウレタン-内	
		室内側	屋外側	室内側	屋外側	室内側	屋外側
Case1	実験結果	○	×	○	×	×	×
	計算結果	○	×	○	×	×	×
Case2	実験結果	×	×	○	×	×	×
	計算結果	×	×	×	×	×	×

【実験と計算による結露発生判定結果の比較】

Case1では実験結果と計算結果はすべて一致した。Case2ではGW外断熱工法の室内側が実験では結露し、計算では結露せず、結果は不一致であった。Case2の実験はCase1の実験後すぐ開始し、蓄積結露水が残った状態から実験を行った。そのため、一度結露した結露水はGW外断熱工法では蒸発せずに残ったため、実測と計算に差異が生じたと考えられる。従って、定常結露計算は結露発生の判定には有効だが、一度結露した状態からの変化には対応しないため、実測とのずれが生じる可能性がある。

【まとめ】

ウレタン内断熱工法は冬期条件では結露が発生したが、夏期条件では結露が発生しなかったため、夏期結露防止に効果がある。GWは内部結露が起こりやすく、結露水が残りやすいことから外断熱には適さない。EPS外断熱工法は冬期条件で結露が発生せず、夏の厳しい条件のなかでも結露が起こらないことから、EPS外断熱工法は一年を通して内部結露防止に有効だといえる。

【謝辞】

この実験を実施するにあたりご協力頂きました三菱化学株式会社 新商品研究所 リサーチアソシエイト 鈴木修氏に感謝致します。

【参考文献】

- 1) 建築技術 2月号「外断熱ってしってる」 株式会社建築技術 2001
- 2) 断熱建材協議会編 断熱建材ハンドブック 養賢社 1994
- 3) 杉崎智子 お茶の水女子大学平成13年卒業論文 建築外皮構造の断熱と内部結露 2001
- 4) 日本気象協会 気象年鑑2001 気象庁 2002
- 5) Praxismerkbblatt-HandbuchWDVS Warmedamm-Verbundsysteme Brillux