

# 建物躯体の内部結露に関する評価研究

## Evaluation research on the Internal vapor condensation of building structure

9630108 今泉 静代  
指導教官 田中 辰明

### 1. はじめに

高度経済成長後、世界で地球環境問題や省エネ問題への関心が高まる中、日本の住宅・建築界では建物の断熱化・長寿命化を推奨し、日本の住宅においても、高気密、高断熱の密閉型住宅の需要が高まった。しかし、これによって隙間風などによる換気が減り、結露が発生し、そこから、カビやダニの発生が問題となっている。結露には、目に見えるところで発生し、内装材を汚し、下地材に浸入して劣化させる「表面結露」と、壁内で発生し、構造躯体の外壁などを湿潤し、材料の腐朽や発錆を進行させ、建物の耐久性に悪影響を及ぼす「内部結露」がある。また、最近、国会でも日本で行われている「内断熱」工法と欧米で主流の「外断熱」工法についての質疑が行われた。そして、この「内断熱」工法こそが、結露さらにカビ発生など、それに伴う多くの問題を引き起こす原因となっている。本研究では、建物内の壁で発生する内部結露の結露水量の算定を行い、より快適な居住空間の評価を行うことを目的とした。

### 2. 方法

本研究では、エクセルを用いて、結露計算プログラムを作成し、評価を行う。これは、室内・室外の空気温度と相対湿度、さらに建物躯体の材料特性を入力することで、各部位の表面、境界面における「温度」「実在水蒸気圧」「飽和水蒸気圧」を求めることにより、結露判定を行った。

#### 2-1. 結露発生の判定

結露発生は、実在水蒸気圧が露点温度の飽和水蒸気圧より高いか、低いかで予測が可能である。各層境界面の実際の水蒸気圧が、各層境界温度に対する飽和水蒸気圧より高い箇所(斜線部)で結露は発生する。

$f > f_s$  のとき結露発生

.....  $f_s$ : 飽和水蒸気圧分布

—  $f$ : 実際の水蒸気圧分布

また、結露水量は次式より求まる。

$$WB = \frac{f_1 - f_2}{R_1} - \frac{f_2 - f_3}{R_2}$$

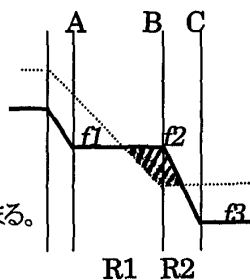


図2-2 水蒸気圧の分布図

WB: 境界面での結露水量( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )

$f_i$ : 各境界面での実際の水蒸気圧(Pa)

$R_i$ : 透湿抵抗( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{g}$ )

#### 2-2. 層構成

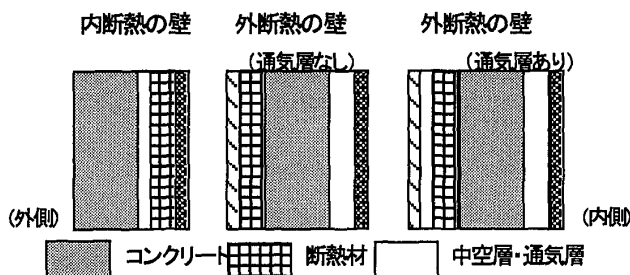


図2-2 壁の構成

図2のように内断熱と外断熱、外断熱の通気層のある場合、ない場合を比較した。層構成は以下に示す。

表2-1 内断熱

材料	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/(m·K))	熱伝導抵抗 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )	透湿抵抗 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{ng} \times 10^{-9}$ )
室内				
石膏ボード	9.5	0.22	-	0.03
グラスウール10K	50	0.052	-	0.01
中空層	40	-	0.057	0.11
コンクリート	200	1.63	-	45.45
外気				

表2-2 外断熱A

材料	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/(m·K))	熱伝導抵抗 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )	透湿抵抗 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{ng} \times 10^{-9}$ )
室内				
石膏ボード	9.5	0.22	-	0.03
中空層	40	-	0.057	0.11
コンクリート	200	1.63	-	45.45
グラスウール10K	50	0.052	-	0.01
モルタル	10	1.51	-	0.77
外気				

表2-3 外断熱B

材料	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/(m·K))	熱伝導抵抗 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )	透湿抵抗 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{ng} \times 10^{-9}$ )
室内				
石膏ボード	9.5	0.22	-	0.03
中空層	40	-	0.057	0.11
コンクリート	200	1.63	-	45.45
グラスウール16K	100	0.045	-	0.04
モルタル	10	1.51	-	0.77
外気				

表2-4 外断熱C

材料	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/(m·K))	熱伝導抵抗 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )	透湿抵抗 ( $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{ng} \times 10^{-9}$ )
室内				
石膏ボード	9.5	0.22	-	0.03
中空層	40	-	0.057	0.11
コンクリート	200	1.63	-	45.45
グラスウール10K	50	0.052	-	0.01
グラスウール16K	100	0.045	-	0.04
モルタル	10	1.51	-	0.77
外気				

上記の外断熱層構成の断熱材とモルタル間に 10mmの通気層(熱伝導抵抗  $0.057 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 、透湿抵抗

$0.06 \times 10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{ng}$ ) を設けたものをそれぞれ外断熱a・b・cとした。

### 3. シミュレーション結果

シミュレーションは以下のような温湿度条件で行ない、結果は以下に示す。

《内部結露水量(単位:  $\times 10^{-9} \text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$  以下、同様)》

表3-1 内断熱

内部結露水量		18℃				22℃				26℃				28℃			
		室内相対湿度				室内相対湿度				室内相対湿度				室内相対湿度			
		40%	80%	40%	80%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%
外気温度	-5℃	外気相対湿度	40%	11.9	26.8	16.1	35.2	0	21.0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	10.4	25.3	14.6	33.7	0	18.6	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	7.7	22.6	11.9	31.0	0	12.1	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	7.3	22.3	11.5	30.7	0	7.7	0	0	0	0	0	0	0	0
	0℃	外気相対湿度	40%	10.5	25.5	14.7	33.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	8.3	23.2	12.5	31.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	6.1	21.0	10.3	29.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	4.4	19.4	8.8	27.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10℃	外気相対湿度	40%	3.9	18.8	8.1	27.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	0	21.0	0	29.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	0	16.8	0	25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	0	12.1	0	20.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表3-2 通気層のない外断熱

内部結露水量		18℃				22℃				26℃				28℃			
		室内相対湿度				室内相対湿度				室内相対湿度				室内相対湿度			
		40%	80%	40%	80%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%
外気温度	-5℃	外断熱A	40%	0	26.3	0	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	0	24.8	0	33.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	0	23.3	0	31.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	0	22.2	0	30.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0℃	外断熱B	40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10℃	外断熱C	40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

内断熱工法の壁は夏の結露はまったく起こらないが、冬に激しく結露が起こる。特に室内湿度が高いときに結露を引き起こす。この結露は内部の全ての

境界面で生じる。

これに比べ、外断熱では夏も冬も結露が起こりにくく、安定している。外断熱の壁A・Bでは、夏・冬ともに結露が生じにくい。冬に生じた結露は石膏ボードと中空層、中空層とコンクリート間の室内側で発生している。また、壁Cでは、冬の結露はほとんど起こっていない。しかし、夏は外気湿度が高い場合にコンクリートと断熱材の間で結露が発生している。

冬においては断熱材が厚く、密度の高いもののほうが断熱、防湿効果が高いことが分かる。しかし、壁Cのように冬の断熱・防湿効果は高くても、また、断熱材の厚さ、種類などをその地域の気候特性に合わせて施工していく必要があることがわかる。これらの結果より、結露の発生する条件として、冬は室内の相対湿度、夏は外気の相対湿度の影響を受けやすいことがわかる。

表3-3 通気層のある外断熱

内部結露水量		18℃				22℃				26℃				28℃			
		室内相対湿度				室内相対湿度				室内相対湿度				室内相対湿度			
		40%	80%	40%	80%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%	30%	60%
外気温度	-5℃	外断熱A	40%	0	13.2	0	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	0	12.4	0	33.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	0	11.7	0	31.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	0	11.1	0	30.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0℃	外断熱B	40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10℃	外断熱C	40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			95%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

通気層のある外断熱の壁では、通気層がない場合と結果はほぼ同じである。しかし、外断熱の壁Aの室温18℃、外気温度-5℃のときに結露水量が減少している。

### 4. まとめ

本研究から熱や湿気の面から外断熱の有効性が確認できた。また、施工方法などの違いや温湿度条件で、結露の有無が見られたことから、外断熱の構成や材料の選定は、その地域の気候や風土を踏まえたものである必要があるということがわかった。

また、室内湿度が80%以上の場合、結露が発生しやすいことから、水蒸気の発生しやすい状況の場合、換気を行うなど室内湿度を下げるための十分な注意が必要である。

### 【参考文献】

- 1) 断熱建材協議会編:断熱建材ハンドブック 養賢堂 1994
- 2) 宮田 久視子:建物躯体の水蒸気拡散における評価研究 1998年度卒業論文
- 3) 田中・武田・足立・土屋ら:建築環境工学 井上書院 1990