

# 断熱壁体内温湿度性状の非定常解析 ～カビの発生しにくい断熱工法の研究～

Analysis for Non-Steady State of Temperature and Humidity in Insulating Concrete

～Study on Prevention of Fungi by Thermal Protection System～

0030119 野中有夏 Yuka NONAKA

指導教官 田中辰明 Tatsuaki TANAKA

## 1. 目的

近年、住環境中のカビがアレルギーの原因として注目されている。現在、この問題に対して住宅の建設現場で用いられている対策としては、防カビ剤の使用が最も一般的である<sup>(1)</sup>。しかし、根本的な対策として、断熱施工という建築学的な手段を用い、カビが発生しにくい住環境を作ることができるのではないかと考えた。

現在、日本建築の断熱工法には大きく分けて、内断熱工法と外断熱工法の二つがある。結露が生じにくいなどの点から、外断熱工法の優位性がいわれているが、内断熱工法よりコストがかかる為、施工数は少ない<sup>(1)</sup>。

本研究では、内断熱工法と外断熱工法において、日本各地の気象データを用いた長期間の非定常解析\*を行い、壁内の温湿度性状を算出する。また、計算結果とカビ発生の予防基準<sup>(2)</sup>を比較し、よりカビの発生しにくい断熱工法を提案することを目的とする。

## 2. 解析概要

### 2-1. モデル壁体

外断熱工法と内断熱工法それぞれに断熱材として i. グラスウール(以下GW)、ii. グラスウール+ポリエチレンシート\*\* (以下PE)、iii. ウレタンフォーム(以下UF)の3種類、計6種類のモデルを作成。断熱材の厚さは地域別の次世代省エネルギー基準に従い、都市ごとに設定した。

\* GWは透湿性が高いため通常、PEのような防湿材と一緒に用いられる。

表1. 試験体の物性値<sup>(4)</sup>

用途	材料	材厚 m	密度 kg/m <sup>3</sup>	熱容量 J/kgK	熱伝導率 W/mK	水蒸気 拡散抵抗
①外装材	モルタル	0.010	1785.00	850.00	0.700	15.00
②断熱材	GW	—	30.00	840.00	0.350	1.30
	UF	—	40.00	1500.00	0.025	50.00
③防湿材	PE	0.001	130.00	2300.00	2.300	2000.00
④	コンクリート	0.100	2300.00	850.00	1.600	180.00
⑤	中空層	0.040	1.30	1000.00	0.230	0.38
⑥内装材	石膏ボード	0.010	850.00	870.00	0.163	6.00

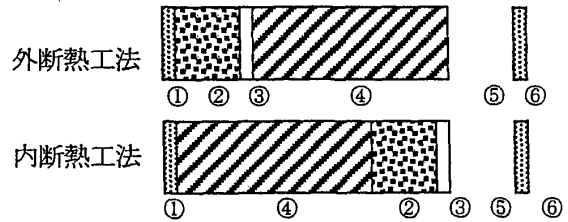


図1. モデル壁体

### 2-2. 使用プログラム

W U F I : Wärme und Feuchetransports in Bauteilen (建物の熱水分同時輸送解析プログラム、ドイツ Fraunhofer 研究所製作)を用いて一次元非定常解析を行った。多層構造をもつ建物壁体の長期間の非定常計算を実際の気象条件下で行えるプログラムとしてWUFIを採用した<sup>(3)</sup>。

この非定常解析の基本となる熱および湿気の輸送方程式は以下の通りである<sup>(4)</sup>。

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\delta \partial p}{\mu \partial x} \right) \quad \dots \text{湿気移動}$$

$$\rho_w \frac{\partial u}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho_w D_w \frac{\partial u}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\delta \partial p}{\mu \partial x} \right) \quad \dots \text{熱移動}$$

$D_w$  [m<sup>2</sup>/s]; 湿気伝達係数、 $H$  [J/m<sup>3</sup>]; 水蒸気のエンタルピー  
 $h_v$  [J/kg]; 水の蒸発エンタルピー、 $p$  [Pa]; 水蒸気分圧  
 $u$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]; 水定数、 $\delta$  [kg/msPa]; 水蒸気拡散係数  
 $\theta$  [°C]; 温度、 $\lambda$  [W/mK]; 湿った建材の熱伝導率  
 $\mu$  [-]; 乾いた建材の水蒸気拡散抵抗係数  
 $\rho_w$  [kg/m<sup>3</sup>]; 水の密度、 $\phi$  [-]; 相対湿度

### 2-3. 設定条件

外気条件は拡張アメダス気象データ(日本建築学会)の標準年のものを用いた。対象都市は札幌・盛岡・新潟・東京・名古屋・福岡・那覇の7都市。室内条件は温度 23°C、相対湿度 50%一定とした。解析は助走期間1年間を含む2年間行い、後半1年間分を評価対象とした。

### 3. 解析結果および考察

壁体の相対湿度が高い状態が長く続くとカビが発生しやすい。カビ予防の基準として、80%RHの時間累積率(=80%RH以上となった時間/総解析時間)25%以下といわれている<sup>(2)</sup>。そこで、各壁体中のコンクリートが80%RH以上となる時間累積率を算出した。図2. にその結果を都市ごとに示す。

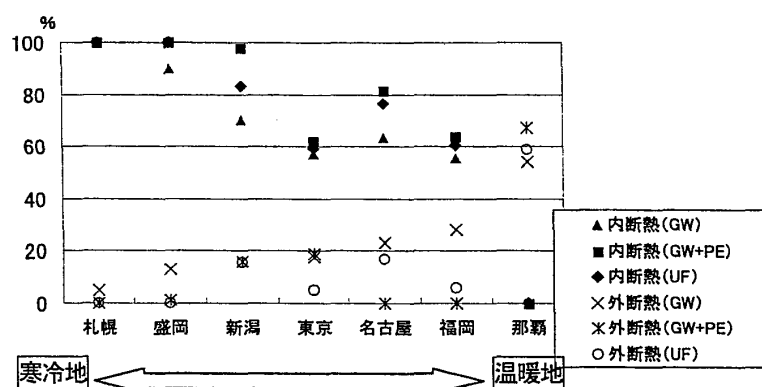


図2. 各都市コンクリートの80%RH以上の時間累積率

### 3-1. 気候による違い

累積時間率は外断熱では温暖地ほど高く、内断熱では逆に温暖地ほど低くなる傾向を示した。その原因として、①温暖地の外断熱では夏期にいわゆる逆転結露現象(屋外の熱く湿った空気が冷たい室内側の壁にあたって起こる結露)によって相対湿度が上昇すること、②温暖地の内断熱は冬期もコンクリートの温度が極端に下がらないので寒冷地に比べて結露は生じにくいこと、が考えられる。

外断熱は那覇以外の都市ではカビ予防基準の25%以下をほぼ満たしている。カビの予防という観点では、断熱材の種類に関わらず、外断熱が有利であるといえる。

### 3-2. 内断熱壁の断熱材による違い

図2.を見ると、殆どの都市で内断熱ではGWを断熱材とした際のコンクリートが最も時間累積率が低い。そこで、福岡を例に内断熱各断熱材ごとのコンクリート相対湿度の年間推移を図3.に示した。GWを断熱材としたコンクリートは夏期は50%RH以下であり、断熱材にGW+PE、UFを使用したときよりも低い値を示している。しかし、冬期には100%RHとなり結露が生じている。

内断熱では、冬期にコンクリートの温度が低下しやすいため、少量の水分でも結露が生じてしまう。断熱材GW+PE、UFは透湿性が低く、室内側からのコンクリートへの水分の流入をシャットダウンできるのでコンクリートは結露しにくいと考えられる。一方、GWのみでは水分がコンクリートに流入するため、結露が発生してしまうと考えられる。

### 3-3. 亜熱帯での断熱

那覇では、外断熱が内断熱よりもコンクリートの相対湿度を高くしてしまう結果となった。図4.に那覇におけるGW+PEを断熱材とした壁体コンクリート相対湿度の年間推移を示した。グラフを見ると外断熱は夏期の相対湿度が高くなっているのが分かる。これは、夏期の逆転結露現象がもたらしたものだと考えられる。亜熱帯では高断熱にすることで壁体が高湿度になってしまったことが分かった。

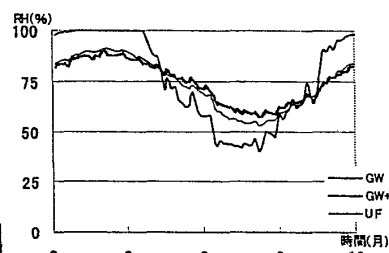


図3. 福岡の内断熱壁のコンクリート RH 推移

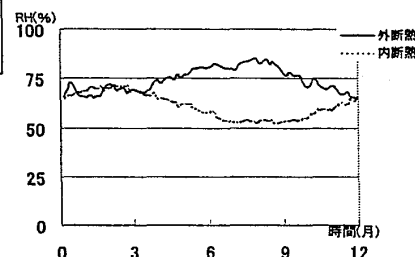


図4. 那覇の断熱材 GW+PE 時のコンクリートの RH 推移

## 4. 総括

今まで、建物壁体の温湿度性状は結露するか否かによって評価されてきた。しかし、カビは70%RHから発生する<sup>②</sup>。結露は起こさずとも、カビが発生しやすい建物は快適な住環境とはいえない。今回の研究によって、外断熱工法は日本の多湿な気候においても建物のコンクリートを低湿度に抑えることができることが分かった。

一方で、亜熱帯である那覇においては外断熱は内断熱よりもむしろ壁体コンクリートの相対湿度を高くしてしまう結果となった。さらに九州地方の気象データを用い、温暖地に適した断熱工法を調査したいと思う。

今回使用した熱・水分同時移動の非定常解析プログラムWUFI I<sup>⑤</sup>には、定常解析ではできなかった、コンクリートの相対湿度の年間推移を求めることができた。WUFI Iは建材データも豊富であるし、実際の気象データを入力できるので、建物壁体の温湿度性状の予測に非常に有効である。

非定常解析…非定常状態(壁体内外の温度分布が時間的に変化する状態)での計算。定常計算(温度分布が時間的に一定である状態での計算)に比べて計算法が複雑であるが、実際の状態により近い。定常解析は非定常解析に比べて結露しやすい結果となりやすい<sup>⑥</sup>。

【謝辞】本研究で使用したプログラムWUFIに関して様々なご指導ご協力いただきました Fraunhofer 研究所田中絵梨氏に感謝いたします。

【参考文献】(1)鹿島出版会編;建物の断熱と結露防止の知識 1982年(2)小峰裕己他;住宅室内のカビ汚染と防止に関する研究 日本建築学会計画系論文集 No.484 pp33-38 1996年(3)本間義規;防露計算の現状 建築技術 No.620pp167-174(4)[http://www.WUFI.de/index\\_e.html](http://www.WUFI.de/index_e.html)(5)日本建築学会;拡張メダス気象データ 丸善 2000年