

5.2 基礎理論

熱湿気問題について多くの数値モデルが提案・実証されてきているが、いずれも相互に変換可能な関係にあり、基本的な構成方程式は以下となる。

気相水分と液相水分が局所平衡関係にある場合、壁体内部の熱と水分の *flux* は、熱、水分のそれぞれのポテンシャルの勾配に比例する *flux* と、相互に影響を与え合う *flux* の重ね合わせにより、与えられる。

$$\begin{bmatrix} q \\ J \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} D_{TT} & D_{Tx} \\ D_{xT} & D_{xx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla T \\ \nabla x \end{bmatrix} \quad [1]$$

ここで、 T : 温度[K]

x : 水分の状態量を表す *potential*

q : 熱流 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

J : 水分流 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

D : *Flux* に係わる物性値

熱的な状態 (*activity*) を表現する *potential* は「温度」であるが、水分の *activity* を表す *potential* にはいくつかあり、このことが見かけ上、多様な構成方程式の存在する理由となっている。水分の *potential* について表 1 にまとめる。

等温で閉じた系における気体分子の拡散現象は、分子の濃度の勾配を駆動力とする。従って、分子濃度に比例する水蒸気圧の勾配、もしくはこれにほぼ比例関係を持つ絶対湿度の勾配を拡散の駆動力とする手法が広く用いられてきている。媒質空隙内の絶対湿度は温度と合わせて相対湿度に換算される。相対湿度とこれに平衡する含水率の間には対応関係があるため、結果的にはいずれの量を用いても現象は記述できる。数値計算の表現精度は、実験を再現する拡散係数の同定に帰着される。

[1] 式で表現される *flux* を元に、微小空間の収支に用いると、以下の構成方程式が導かれる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (C_{TT}T + C_{Tx}x) &= \nabla q + S_T \\ \frac{\partial}{\partial t} (C_{xx}x + C_{xT}T) &= \nabla J + S_J \end{aligned} \quad [2]$$

ここで、 C : 容量に係わる係数

S : 発生項

Flux に係わる拡散係数 D には、媒質の熱伝導率、湿気伝導率 (蒸気の拡散係数)、透水係数 (液水の移動係数)、があり、容量 C に関連する物性値には、熱容量、平衡含水率、 $\kappa \cdot v$ 、最大空隙率、密度がある。発生項に関連する物性値としては、局所非平衡系の媒質空隙内での湿気伝達率、Bulk な流れが存在する場合の間接的表現として、透気率がある。それぞれの単位と測定法について表 2 にまとめる。

なお、媒質の諸物性は、媒質中に存在する水分の存在とその移動の影響を受けるため、媒質内の局所的な温度・含水率に対する依存性がある。特に、含水率の高い場合は、物性値の温度・含水率依存性を含めて扱う必要がある。

- 1) JSTM H 6301 建築材料の吸放湿特性測定方法、建材試験センター規格 1992.
- 2) JIS A1412 熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法 1999.
- 3) JIS R2618 耐火断熱レンガの熱線法による熱伝導率の試験方法 1995.
- 4) JIS A1324 建築材料の透湿率測定方法 1995.
- 5) JIS K7126 プラスチックフィルム及びシートの気体透過度試験方法 1987.

表 1 水分の状態を表す *potential*

	記号	単位	関係式
水蒸気圧	P_v	Pa または mmHg	
水蒸気の比重量	ρ_v	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\rho_v = P_v \cdot R_v^{-1} \cdot T^{-1}$
絶対湿度	X	$\text{g} \cdot \text{kgDA}^{-1}$	$X = R_v \cdot P_v \cdot R_0^{-1} \cdot (P_0 - P_v)^{-1}$
相対湿度	Rh	$\text{mmHg} \cdot \text{mmHg}^{-1}$	$Rh = P_v \cdot P_{vs}^{-1}$
比較湿度	φ	(%)	$\varphi = X \cdot X_s^{-1} \times 100$
自由水基準の化学ポテンシャル	μ	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\mu = R_v \cdot T \cdot \log_e(Rh)$
水蒸気 1 kg あたりの熱力学ポテンシャル	μ_w	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\mu_w = \mu + \mu_w^0(T)$
体積含水率	φ	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	$\varphi = f(Rh)$: 平衡含水率関係

表 2 媒質（建材）の熱湿気定数と測定法¹⁻⁵⁾

		単位(SI)	測定方法	測定物理量	主な誤差要因
λ	熱伝導率 <i>Thermal conductivity</i>	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	GHP 法 (JIS A1412-1) HFM 法 (JIS A1412-2) 円筒法 (JIS A1412-3) 非定常熱線法 (JIS R2618) 周期定常法 ^{*1}	熱流・温度	熱流測定精度 (濡れた材料の場合は、媒質内部水分の影響)
C	比熱 <i>Specific heat</i>	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	液体混合法	温度・重量	容器からの熱損失
			断熱熱量計法	熱流・温度	
λ'_x	湿気伝導率 <i>Water vapor permeability</i>	$\text{Kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$	1Box 法 (JIS A1324) 2Box 法 (JIS A1324) カップ法 (JIS A1324)	重量	水蒸気圧勾配の設定 容器からの蒸気の漏れ
D_w	液水透水係数 <i>Moisture diffusivity</i>	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	定常法	含水率分布	含水率分布測定
			非定常法	水分流量	
φ	平衡含水率 <i>Moisture content</i>	$\text{Kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	飽和塩平衡法	重量	高湿時のカビ
Φ_0	最大空隙率 <i>Porosity</i>	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	水置換法	重量	媒質の変形
			圧力法	容積	
k_p	透気率 <i>Air permeability</i>	$\text{Kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$	透過度試験 (JIS K7126) ^{*2}	差圧・流量	
ρ	密度 <i>Density</i>	$\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$	(JIS : 素材毎に多種)	重量・容積	体積秤量

*1 非定常状態において、 $\lambda \cdot C^{-1} \cdot \rho^{-1}$ が測定されるため、 C 、 ρ が別途得られれば、 λ が得られる。

*2 ただし、測定対象はフィルムやシートのみ。