

論文

調湿建材の評価時間を短縮できる新規試験方法の提案

池田 紗織*¹⁾ 平井 和彦*¹⁾ 小山 秀美*²⁾

Proposition of a speedier evaluation method for humidity conditioned architectural materials

Saori Ikeda*¹⁾, Kazuhiko Hirai*¹⁾, Hidemi Koyama*²⁾

In this study, an investigation has been made on a new method for evaluating humidity conditioned architectural materials to reduce evaluation time and cost. A formula has been introduced to approximate the behavior of moisture absorption and desorption of materials. The parameters for the formula could be experimentally determined and was useful to compare the sorption speed and amount between the materials. Based on the variation in the adsorption amount, the equilibrium time when the experimental value agreed with the calculation was determined. The equilibrium time was successfully reduced by this method compared to that existing in JIS A 1475.

キーワード：調湿建材，吸放湿

Keywords：Humidity conditioned architectural materials, Absorption and desorption

1. はじめに

現代の住宅は空調機器の性能向上により快適になった一方、断熱化・気密化が進み、結露の発生や過乾燥が起こりやすいといった問題が発生している。このことから、電気やガスなどのエネルギーを使わずに室内の湿度を調整できる調湿建材への関心が高まっている⁽¹⁾。調湿建材の特徴として、水蒸気を吸脱着する細孔を有し、周囲の湿度変化を緩和して人が快適と感じる湿度帯に湿度を調整することが挙げられる。しかしながら、調湿性能の吸放湿性能評価は、これまでメーカー独自の測定データに基づいて行われていたため、評価基準が建材メーカーによって異なり、建材同士の正しい比較が不可能であるといった問題があった。この問題を解決するために、調湿建材の性能評価試験に関する JIS が制定された。そのうちの一つである JIS A 1475「建築材料の平衡含水率測定方法」の流れを図 1 に示す。この方法は、試験片を任意の湿度下に置いて吸放湿させ、恒量となった時の重量変化から吸放湿等温線を作成する方法であるが、一つの測定点において恒量の判断に 48 時間を有するため、1 湿度条件についての試験時間が 48 時間以上かかることになり、結果が得られるまでに 1 か月から数か月という非常に長い時間を有するという問題がある。このため、調湿建材の吸放湿特性を短時間で知ることのできる試験方法が求められている。

調湿建材の吸放湿性能評価の時間短縮とコストダウンにつながる新規試験方法の開発を行うことを目的とし、本研

究では吸放湿挙動を精度よく記述できる式の導入による吸放湿挙動の予測により、試験時間がどの程度短縮できるかを検討した。

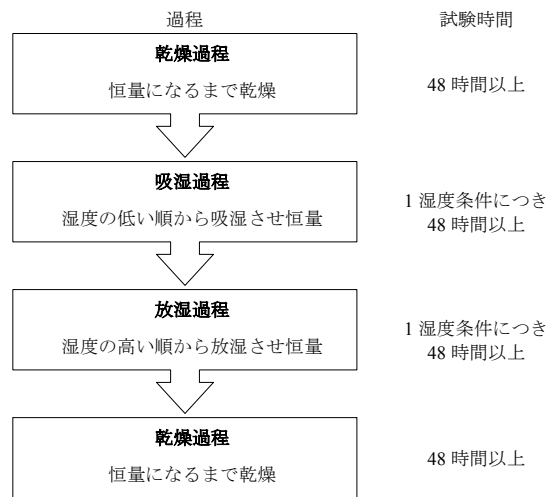


図 1. JIS A 1475 の流れ

恒量とは、24 時間間隔で測定した 3 つの重量測定における重量変化率が $\pm 0.1\%$ 以内となった時のことをいう。

2. 理論

任意の湿度下で恒量となった建材を異なる湿度下に置き吸湿または放湿させた時、時間 t における建材の吸放湿率 y の変化量は式 (1) の微分方程式に従う。

事業名 平成 25 年度 基盤研究

*¹⁾ 繊維・化学グループ

*²⁾ 総合支援課

$$\frac{dy}{dt} = k \left(\frac{m-y}{y} \right)^2 \quad (1)$$

ここで、吸放湿率 y は式 (2) で定義される。

$$y = \frac{M - M_0}{M_0} \times 100 \quad (2)$$

M : 時間 t における試験片の重量

M_0 : 試験開始時 $t=0$ における試験片の重量

これを $t=0, y=0$ の初期条件で解くと、以下の式 (3) が得られる。

$$y = \frac{m \cdot kt}{m + kt} \quad (3)$$

ここで、 k は吸放湿速度定数であり、建材の吸放湿速度を表すパラメータである。また、重量変化率から式 (2) により算出された吸放湿率 y の変化量は時間の経過と共に 0 に近づき、その時の吸放湿率 y は m に近づくため、極限值 m は二つの異なる湿度間における平衡時の含水率変化を表すパラメータである。建材を任意の湿度下で吸放湿させ、得られた実測値から算出した近似値のパラメータを比較することにより、異なる建材の性能比較が容易に可能となる。また、恒量前の吸放湿率変化から恒量時と同様のパラメータ k, m を得ることが可能ならば、恒量を待たずに恒量時の値を得ることができるため、試験時間の短縮が期待できる。

3. 実験

3.1 建材 本研究では材質の異なる 4 種類の建材を用いた。建材の材質と厚さ、JIS A 1475 で規定された乾燥温度を表 1 に示す。試験片の大きさは 10cm 四方の正方形とし、厚さは建材の厚さとした。なお、調湿建材には塗り壁などに代表されるペースト状のものも多く存在するが、「塗る」という作業により試料を作成した場合に試料間に大きな誤差を生じると考えたため、今回はあらかじめ建材メーカーによりパネル状に成型された建材のみを採用した。

表 1. 本研究に用いた建材の種類

建材	材質	厚さ/mm	乾燥温度/℃
A	セラミックタイル	8	105
B	ALC	37	105
C	パーティクルボード	20	105
D	石膏ボード	9.5	40

3.2 吸湿試験 式 (3) と建材の吸放湿挙動との一致を調べるために、以下の実験を行った。JIS A 1475 に規定された温度で試料を乾燥させ絶乾状態とした。絶乾状態の判断は JIS A 1475 に準じるものとした。絶乾状態となった試料を室温になるまでデシケーター中で放冷したのちに恒温恒湿槽に入れ、時間の経過に対する試験片の重量変化率を測定した。この時、試料の重量変化は全て水蒸気の吸放湿によ

るものとし、式 (2) に従い試験片の吸放湿率 y を求めた。吸湿温度は JIS A 1475 と同様に 23℃、吸湿時の湿度は 50% RH とした。試験時間 t における吸放湿率 y から最小二乗法にて式 (3) のパラメータ k, m を算出した。乾燥機はヤマト科学株式会社製の DNE600、恒温恒湿槽は楠本化成株式会社製 TH401HA、天秤は株式会社島津製作所製 UW1020H を用いた。

本研究での変数の定義を表 2 に示す。

表 2. 変数の定義

定義	変数	
	実験値	計算値
時間 t における吸放湿率	y	y^*
恒量時間における吸放湿率	y_e	y_e^*
$t=T$ における吸放湿率	y_T	y_T^*

4. 結果及び考察

4.1 式の有用性 時間経過と建材の吸放湿率を図 2 に示す。各プロットが実験値 y 、点線は式 (3) から算出した計算値 y^* である。実験値 y と計算値 y^* はよい一致を示したため、式 (3) を用いることで吸放湿挙動を精度よく表すことができることが示された。

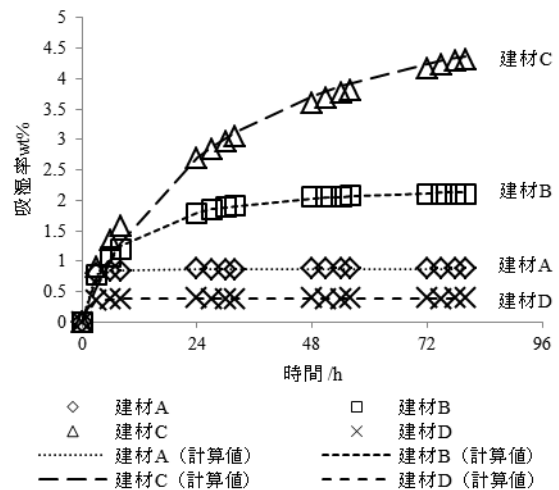


図 2. 建材の吸放湿曲線

恒量時間とその時の吸放湿率 y_e 、パラメータ k, m 、計算値 y_e^* とその相関係数を表 3 に示す。恒量時における実験値 y_e と式 (3) による計算値 y_e^* はよい一致を示した。また、パラメータ m は恒量時の吸放湿率 y_e とよい一致を示したが、建材 C では恒量時の吸放湿率 y_e よりも m の値の方が大きくなった。これは、 k の値が小さい、つまり吸放湿速度の小さい建材について、JIS A 1475 の恒量判断方法においては、吸放湿率 y がその極限值 m に十分近づく前に恒量と判断されているということを示している。

表3. 吸湿試験結果 (23°C)

建材	恒量時間 /h	パラメータ		恒量時の吸放湿率 y_e		実験値 y と計算値 y^* の相関係数 r
		k	m	実験値 y_e	計算値 y_e^*	
A	72	2.640	0.880	0.880	0.876	0.9997
B	96	0.342	2.307	2.104	2.128	0.9990
C	216	0.199	6.059	5.312	5.312	0.9943
D	72	1.715	0.387	0.389	0.386	0.9995

表4. 吸湿試験結果 (75°C)

建材	恒量時間 /h	パラメータ		恒量時の吸放湿率 y_e		実験値 y と計算値 y^* の相関係数 r
		k	m	実験値 y_e	計算値 y_e^*	
A	72	2.353	0.804	0.866	0.801	0.9897
B	72	7.308	2.176	2.168	2.168	0.9999
C	72	2.684	4.993	4.814	4.879	0.9989

応用として、建材 A, B, C について同様の試験を吸湿温度 75°C で行った。建材 D については、乾燥温度が 40°C であることから 75°C による試験は行わなかった。結果を表 4 に示す。23°C の場合と同様に、 y と y^* 、 y_e と y_e^* 、 m と y_e はよい一致を示した。 k 、 m の値から、吸湿温度を上げると吸放湿速度定数 k の値は増加するが、吸放湿率 y の極限值 m は変化しないため、短い時間で吸放湿量を得る方法として試験温度を上げて問題ないことが分かった。なお、試験温度の変更については、JIS A 1475 において湿度 95%RH 以上で恒量とする際に時間を短縮する方法として、一旦温度を上げて吸湿させてから測定温度に戻して吸湿させる方法が紹介されている。

4.2 時間短縮のための恒量判断方法の検討 JIS A 1475 における恒量の判断は、一つの吸放湿条件における試験終了の条件が、連続する 3 回の 24 時間ごとの重量測定において重量変化が 0.1% 以内となった時であるため、最低でも一つの湿度条件につき試験時間が 48 時間かかることとなる。この恒量判断時間を短縮するために、現行法である JIS A 1475 と整合性のとれる恒量の判断方法について検討した。

$t=0$ から $t=T$ までの実験値から式 (3) を作成した。表に示した通り、 $t=T$ における吸放湿率を y_T とし、得られたパラメータを k_T 、 m_T とする。試験開始から T 時間後までの実験値 y_T から式 (3) のパラメータ k_T 、 m_T を求めた。結果を図 3、図 4 に示す。 T が表 3 の恒量時間に至る前でも、表 3 に示した恒量時のパラメータと同様の値を得ることができることから、この方法による試験時間短縮が可能であることが示された。 k の値が大きいほど、恒量時のパラメータに近い値が得られるまでの時間が早かった。これは、 k の値が大きい建材ほど吸放湿速度が大きいため、平衡に至るまでの時間が早いという結果に一致する。

建材 B における吸放湿率の実験値 y と、試験開始から T 時間後までの実験値から作成した式 (3) による計算値 y^*_T との関係を図 5 に示す。建材 B においては、24 時間後まで

の実験値から求めた式 (3) で 72 時間後までの実験値を精度よく予測できた。

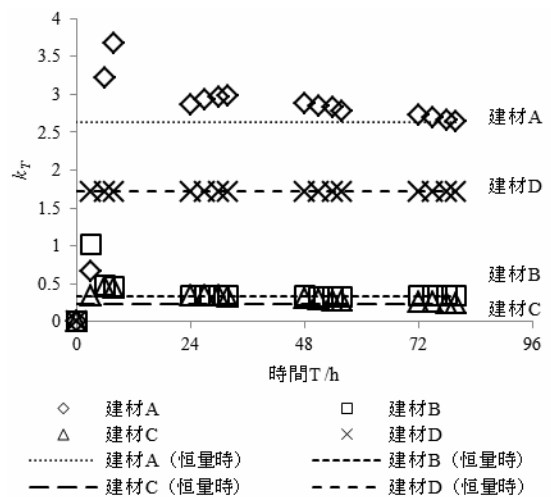


図3. 試験開始から T 時間後までの実験値から求めた k_T

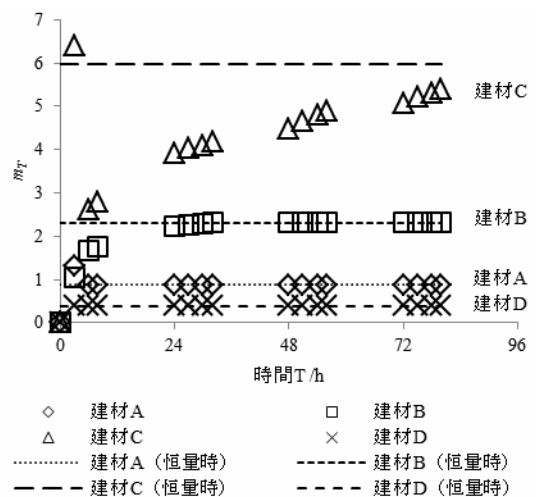


図4. 試験開始から T 時間後までの実験値から求めた m_T

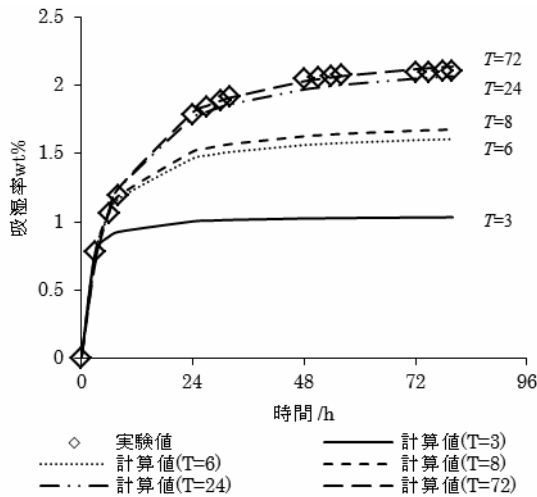


図5. 建材 B における実験値 y と計算値 y^*_T

T の値が小さい時は、恒量時における吸放湿率の計算値と実験値が大きく異なり、正しい予測が行えていなかった。建材の吸放湿挙動においては、吸放湿率が直線的に変化する定率過程と、その後吸放湿率の変化が時間と共に減少する減率過程が存在する。建材によっては定率過程が存在しないものもある。定率過程においては変化率が一定であることから、測定点を多くしても平衡時の状態を正しく予測することができないと考えられる。

最短の T を以下のように求めた。微分方程式 (1) により、 $t=T$ における式 (3) の変化量を求める。この値を 24 時間おきの変化量に換算した時、連続した 3 回の測定について 0.1 以内となった時の時間を T' とする。 T' が試験時間 T よりも初めて短くなった時を最短の T とし、これを恒量時間とした。

以上の方法より求めた恒量時間 T と、JIS A 1475 による判断で求めた恒量時の実験値 y_e に対する計算値 y^*_T の比を表 5 に示す。恒量時間 T における計算値 y^*_T によって恒量時の吸放湿率 y_e に近い値を算出することができ、全ての建材において表 3 に示す恒量時間よりも恒量時間を短縮することが可能であった。

表 5. 恒量時間の比較

建材	恒量時間 T/h	y^*_T/y_e
A	11	0.972
B	59	0.991
C	178	0.857
D	8	0.968

5. まとめ

調湿建材の吸放湿挙動を精度よく表す式を導入することにより、調湿建材の吸放湿速度、吸放湿量の比較が可能となった。また、恒量前の実験値から式を作成し吸放湿挙動

の予測を行うことによって、試験時間の短縮を行うことができた。

本方法を用いることにより、建材単体の性能評価だけでなく、仕上材や下地の違いなどによる吸放湿性能の違いなども容易に比較できる。

また、調湿建材の性能を評価する際、JIS A 1470「建築材料の吸放湿性能評価方法」による湿度変動または温度変動に対する吸放湿性能の評価、JIS A 1324「建築材料の透湿性測定方法」による透湿率の測定も必要となる。JIS A 1470 における 24 時間周期での吸放湿挙動は、本研究で用いた式により精度よく記述でき、式のパラメータ k, m により建材の性能比較が可能であった。JIS A 1324 については今回検討を行っていないが、JIS A 1475 同様に試験に時間がかかる、試験設備が大掛かりであるといった問題がある。JIS A 1324 による透湿率の測定結果と本研究で用いた吸放湿速度定数 k との関係が解明されれば、さらなる試験時間の短縮、コストダウンが可能となる。

(平成 26 年 7 月 7 日受付, 平成 26 年 8 月 11 日再受付)

文 献

- (1) 日本セラミックス協会：「2007 年セラミックス産業界の動き」, http://www.ceramic.or.jp/csj/gyoukai_doukou/gyoukai_doukou_07/souron_2007.pdf (2013.2.27)