土壁の調湿特性に及ぼす土の寝かしの影響[†]

塩 野 剛 司* 佐藤 ひろゆき**
森 谷 幸 紀*** 岡 本 泰 則*

Effect of Aging for Soil Material on Humidity Conditioning of Soil Wall

by

Takeshi SHIONO*, Hiroyuki SATO**, Koki MORIYA*** and Yasunori OKAMOTO*

Tsuchi-kabe (called as soil wall or mud wall in English) utilized in Japanese traditional buildings is well known to have the characteristics of humidity conditioning. However, the characteristics have not been well examined. For preparing tsuchi-kabe material, soil, sand and rice straw are well mixed with water and then kept from a few weeks to months to promote fermentation. This aging process that is called as “Nekashi” gives plasticity to the material and is very important to construct tsuchi-kabe. In the present study, effect of “Nekashi” on the characteristics of humidity conditioning was examined. Long period of “Nekashi” enhanced the characteristics in nakanuri-kabe with a smaller amount of clay component.

Key words: Soil wall, Humidity conditioning, Aging of soil, Traditional architecture

1 緒 言

生活環境の快適さを目指し、近年、住宅の高気密化、高断熱化が進んでいる。それに伴い梅雨・夏季の高湿度時には結露やカビ・ダニの発生、冬季の過乾燥時にはウイルスの繁殖などが問題となっている。これらの問題を解決するためにエアコンや加湿器などの電化製品が多く使われ、特に夏場の生活環境の改善のためにエアコンによる除湿・冷房に消費されるエネルギーの大きいことが指摘されており、快適な環境空間を作るための課題となっている。また、住宅機能の向上により確かに快適な生活がおくれる反面、“シックハウス症候群”に代表されるような新しい住まいの問題も起きてきている。

一方、高温多湿、寒暖の差など厳しい気象条件に囲まれている日本の建築では、古くから木や土を呼吸する天然素材として建築材料に少しでも多く取り入れようとする努力が払われ、材木、土壁、畳、瓦が古い歴史の中で、建物全体の中で重要な呼吸する素材として大きな役割を果たしてきた。たとえば木材を利用した典型的な例が奈良の正倉院である。正倉院は校倉作りの代表的な建造物で、湿度の変化による木材の膨張・収縮を利用し、内部の環境を巧みに制御しており、収められている財物、調度品などが千年以上の長期間にわたり、ほとんど昔の状態のままで保存されている。天然素材の中で「土」、すなわち土壁には多くの細孔があり、湿度が高い場合にはこの細孔の中で“毛管凝縮”という現象が起こり、水分を吸収し、逆に湿度が低下すれば細孔内に取り込まれていた水分が放出する¹⁾電気を使わない天然の調湿材料であ

る。このような土を利用して環境調和材料を作製しようとする試みが盛んに行われている。^{2)~4)}また、木質材料の吸湿特性の向上を目的として、木質材料に無機材料を複合させる材料開発も行われている。⁵⁾しかし、古くから日本建築に用いられてきた土壁については、調湿特性を有することが知られているが、十分研究されているとはいえない。

壁土は、塗壁材料の基本となる土、砂、藁すさを水で混練、数週間から数ヶ月寝かせて調製される。⁶⁾このプロセスで藁すさは土に存在する微生物に分解され、⁷⁾原料に可塑性を与え、土壁を塗るとき作業性を向上させる。そのためこのプロセスは原料土調製でたいへん重要なプロセスである。本研究では、土壁の調湿特性を検討すると共に、特に原料土の調製段階で土を寝かせるプロセスが調湿特性に及ぼす影響を調べた。

2 実験方法

2・1 供試体

土壁の構造は、大きく内側から骨格となる竹小舞下地、荒壁、中塗壁、上塗壁に分けることができ、土として用いているのは荒壁土、中塗土、上塗土である。これらの壁土は、粘土成分を多く含む土以外に砂、藁すさを加え、作製される。砂の添加は、乾燥過程でのき裂の抑制および施工性の向上の目的である。Table 1に各壁の土、砂、藁すさの典型的な混合割合を示す。実際には原料の土にも砂が含まれるので、実際の壁土中の砂はTable 1に示される値より高くなる。各々の壁土の特徴として、荒壁土は粘土質が多く含まれ、砂の量は約10%である。中塗

† 原稿受理 平成 21 年 10 月 22 日 Received Oct. 22, 2009 ©2010 The Society of Materials Science, Japan

* 正 会 員 京都工芸繊維大学物質工学部門 〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, Dept. of Chem. & Mater. Tech., Kyoto Inst. of Tech., Sakyo-ku, Kyoto, 606-8585

** 佐藤左官工業所 〒602-8362 京都市上京区御前通下立賣上ル仲之町, Sato Plasterer, Inc., Kamigyo-ku, Kyoto, 602-8362

*** 京都工芸繊維大学物質工学部門 〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, Dept. of Chem. & Mater. Tech., Kyoto Inst. of Tech., Sakyo-ku, Kyoto, 606-8585

Table 1 Volume fraction of components in each soil wall.

	Soil	Sand	Straw
Arakabe-wall	10	0	6
Nakanurikabe-wall	10	3	4
Uwanurikabe-wall	10	6-7	4

土は砂の量が40%程度, さらに上塗土には60%程度の砂が含まれている。また, 藁すさは荒壁土, 中塗土, 上塗土の順で少なくなっている。特に, 上塗土では直径1mm以下のたいへん細かい藁すさを用いた。

本実験に供した土壁は佐藤左官工業所で通常使用されている京壁用の原料を用いた。これらの原料を用いて100×100×10mmの大きさに成形し, 常温, 大気中で十分乾燥させ, 調湿特性を評価する試料を作製した。特に荒壁および中塗壁の試料については, 藁すさを入れ数ヶ月間寝かした土壁と, 寝かしをほとんど行わなかった土壁を作製し, 寝かしの効果について検討した。

2・2 調湿特性の評価

動的な湿度変化に対して土壁の吸放湿特性を評価するために, JISに準拠し, 実験を行った。⁸⁾恒温恒湿器(EYELA, KCL-2000)内に電子天秤(A&D, FX-200i)を設置, 電子天秤をコンピュータに接続し, 同時に三台の電子天秤より重量変化のデータを自動収集できるシステムを作製し, 調湿特性の測定を行った(Fig. 1)。湿度の設定は53%RHと93%RHの2点とした。あらかじめ恒温恒湿器内の雰囲気を23℃, 53%RHに設定し, 試料が恒量になるまで静置した。恒量の目安は, 試料の重量変化が24時間あたり0.1g以下になった時点とした。試料の恒量後, 吸湿過程として装置内を93%RHに変化させ24時間保持, 続いて放湿過程として53%RHに再び変化させ24時間保持し, この時の試料の重量変化を測定した。測定は吸湿・放湿過程ともに5分間隔で行い, 重量変化から吸放湿量を求めた。土壁の重量当たりの評価をする場合には, 作製された土壁をそのまま電子天秤にのせたが, 面積当たりの評価をする場合には, 試料の吸放湿面以外の五面をアルミホイルで囲い断湿した試料を作製し, 同

Fig. 1 Apparatus for evaluating characteristics of humidity conditioning.

様に調湿特性を評価した。この動的調湿特性評価は, 最低二つの試料について行ったが, 著しい差は認められなかった。

3 結果および考察

荒壁土, 中塗土, 上塗土を用いて作製した土壁をFig. 2に示す。荒壁には乾燥時に生じたマクロなき裂が観察されるが, 中塗壁, 上塗壁にはそのようななき裂が観察されない。これは荒壁土中に含まれる砂の添加量が少ないために乾燥時の収縮が大きく, き裂が入ったものである。また, 荒壁, 中塗壁とは異なり上塗壁には直径1mm以下の小さい藁すさが多く観察された。

寝かせ時間の短い土を用いて作製した土壁の吸放湿特性を評価した結果をFig. 3に示す。砂の添加量が少なく, 粘土成分が多い荒壁土が優れた吸湿特性を示した。しかし, 放出特性については, 荒壁土の放出速度が中塗土, 上塗土に比べ遅く, 放湿量も十分でなく三つの中で劣っていると判断できる。多孔質材料における吸放湿特性は, 細孔への毛管凝縮の観点から考察されており, Kelvin式で水蒸気が凝縮する細孔径の大きさと相対湿度

Fig. 2 Appearance of soil walls (Ara-kabe, Nakanuri-kabe and Uwanuri-kabe) prepared by soil, sand and straw.

の関係が与えられている。⁹⁾さらに細孔壁への吸着水の補正によって、より正確に相対湿度と細孔径との関係を算出することができ、相対湿度が90%、50%の時の吸着に対応する細孔径はそれぞれ11nm、2nmである。荒壁土を用いて作製した土壁が調湿特性に優れていたのは、荒壁土が微細な粘土成分から構成され、小さな細孔を持った粒子間の界面が多くなり吸湿性が優れたものとなったと判断できる。また、砂の添加量で吸放湿特性が評価できるのであれば、中塗土のほうが上塗土よりも吸湿特性が優れていなければいけないが、Fig. 3の結果では上塗壁は優れた吸湿特性を示した。通常、荒壁、中塗壁に用いられる土はよく似た粘土成分が用いられるのに対し、上塗壁は日常生活の中で常に目にするところ（表面）になるので、荒壁、中塗壁に用いる土に比べ、さらに均一で細かい土が用いられる。そのため吸湿特性が逆転したものと推察できる。

壁土の寝かせるに期間を長くすると、微生物の働きによって土は濃い紺色へと変色していく。⁷⁾表面に用いられることのある土壁ではこの変色を避けるために、通常、寝かせ期間は短い。そこで荒壁と中塗壁について、寝かせ期間の異なる原料を用いて作製した土壁の調湿特性を調べた結果をFig. 4およびFig. 5に示す。土を寝かせることにより、荒壁土の吸放湿特性には著しい変化は見られない。

一方、中塗土では吸湿量だけでなく、吸放湿速度も明らかに向上していることが分かる。このような土を寝かせることによる吸放湿特性の変化は、糞すさの分解によって生じた低分子の有機物質が土壁の細孔径分布に影響を及ぼしているものと推察される。しかし、現有の機器での細孔径の評価は数ミリ角程度の小さい試験片を対象としているので、糞すさを含む土壁組織の不均一さが測定誤差の原因となり、測定の再現性が認められず、土壁のマクロな調湿特性と対応させるのは困難であった。また、寝かしにより砂自体の性質に変化がないこと、粘土成分に比べると粒子が大きいことを考慮すると、砂の添加量

Fig. 3 Characteristics of humidity conditioning for soil walls prepared by different raw materials with short aging time.

Fig. 4 Effect of aging period on characteristics of humidity conditioning for Ara-kabe.

Fig. 5 Effect of aging period on characteristics of humidity conditioning for Nakanuri-kabe.

の違いが、寝かし前後の土壁の吸放湿特性に与える影響は少ないと考えられる。

一方向からの各土壁の調湿特性を評価するために、吸放湿面以外の五面をアルミホイルで覆った土壁を測定した結果をFig. 6に示す。評価する面を一面にすることにより、荒壁、中塗壁共に調湿特性（吸湿量、吸湿速度）

Fig. 6 Effect of number of specimen surfaces faced to air on characteristics of humidity conditioning.

は低下した。中塗壁の特性低下に比べ、荒壁の低下が大きいことが分かる。荒壁土は砂が少なく粘土成分が多いため組織が密になり、一方向からでは水蒸気の拡散に時間がかかるものと判断できる。また、荒壁で成形後、乾燥中に砂が裏面に移動し表面に粘土成分が多くなる傾向が認められたことも荒壁の特性低下が大きかったことの原因とも考えられた。

また、土壁と現在市販されている調湿材料の平衡吸湿量を評価し、比較を行なった結果、市販の商品の吸湿量（相対湿度を 53% から 93% に増加させたときの重量の増加率）が約 2% であったのに対し土壁は約 1% と半分程度の性能であった。しかし、実際の伝統的な土壁は厚みが大きく、単位面積当たりの重量は 5 ～ 6 倍程度重く、単位面積当たりの吸湿量は土壁のほうが高くなることが分かった。

4 総 括

土壁を構成している荒壁、中塗壁、上塗壁の吸放湿特性、特に原料である壁土の寝かせの効果を調べた結果、以下の知見を得た。

- (1) 土壁の吸放湿特性は原料の配合、種類に依存した。
- (2) 寝かし期間を長くすることにより、吸湿量だけでなく、吸放湿速度も向上することが明らかになった。
- (3) 土壁は面積あたりでは市販の調湿材料と比較して劣っていないことが分かった。

参 考 文 献

- 1) S. Kondo, T. Ishikawa and I. Abe, "Kyuuchaku no Kagaku", pp.52-53 (2003) Maruzen.
- 2) N. Isu and H. Ishida, "Seeking the Material through New Concept of Development -Expansion of the System Border with Environmentally Benign Manufacturing-", Ceramics Japan, Vol.37, No.12, pp.925-930 (2002).
- 3) M. Maeda, "Environmental Harmonized Building Material", Ceramics Japan, Vol.39, No.5, pp.395-397 (2004).
- 4) H. Fukumizu and S. Yokoyama, "Study on a New Humidity Controlling Material Porous Soil "Allophane" -Evaluation of Humidity Controlling Performance in Practical Houses-, Resources Processing, Vol.52, pp.59-64 (2005).
- 5) H. Imanishi, K. Takeuchi, Y. Furuta, Y. Kohata and K. Kanayama, "Humidity control efficiency of wood materials compounded with inorganic matter : Improvement of humidity control efficiency of wood material by introducing the capillary condensation mechanism", Mokuzai Gakkaishi, Vol.48, No.4, pp.265-271 (2002).
- 6) K. Sato and H. Sato, "Tsuchikabe Sakan no Sigoto to Gijutsu", pp.72-74 (2003) Gakugei Syuppann Sya.
- 7) S. Kitajima, T. Shiono, T. Ujihara and H. Sato, "Analysis of the Bacterial Community Found in Clay Wall Material Used in the Construction of Traditional Japanese Buildings", Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, Vol.72, No.2, pp.557-561 (2008).
- 8) JIS A 1470-1, Determination of water vapour adsorption/desorption properties for building materials-Part 1 : Response to humidity variation.
- 9) S. Kondo, T. Ishikawa and I. Abe, "Kyuuchaku no Kagaku", p.56 (2003) Maruzen.