

29. 都市熱環境緩和に向けた塩化物を添加した保水性建材の吸水特性

Characteristics of water absorption by water-retentive materials containing calcium chloride

藤野 毅*・反町紘透*・近藤義正**・浅枝 隆*

Takeshi FUJINO, Hiroyuki SORIMACHI, Yoshimasa KONDO, Takashi ASAEDA

ABSTRACT; A method for capturing atmospheric water vapor during the night, relative humidity is high, is discussed. A liquid into which calcium chloride is dissolved is allowed to soak into the water-retentive material's pores, which causes the water vapor pressure at the boundary to drop and thereby produces water absorption because of the difference in water vapor pressure with the surrounding area. Experimental results show water absorption status of a solid sample that consists of ceramics with pores containing calcium chloride and allowed to sit for six hours at 95% relative humidity. It has not reached the stage of practical application as water absorbent during the summer season, but it can be made into an ideal system to recapture at night the water that is lost due to daytime evaporation, and it is harmless to human health if not leached in great quantities.

KEYWORDS; calcium chloride, thermal environment, urban heat island, water absorbent, water retentive material

1 はじめに

近年、都市域の“ヒートアイランド”防止のために既存の緑地の利用や屋上緑化等の様々な手法が試みられている。しかしながら、我が国のように建物が極めて密集する土地利用条件下において緑被率を高めることは事実上困難であり、ヒートアイランドの発生要因である舗装や家屋の表面温度を直接下げる方法がますます重要になっている。先進国で最近報じられている一般的な対策法として、表面アルベドを高めることにより表面温度を下げて顕熱輸送量や赤外放射量を少なくし、さらに、それが家屋内部の空調負荷低減にも寄与することがわかっている^{1)~5)}。筆者らは、これまで保水性を有する建材を利用して、主に潜熱の効果から夏季および冬季も含めて熱環境の緩和に有効であることを実験等から示してきた。しかし、夏季において蒸発が盛んになると温度を下げる効果が高まる一方で持続性がなくなるという問題を抱えていた^{6)~8)}。そこで、本研究では、従来屋内の調湿建材として利用されている塩化物の潮解・吸湿特性に着目し⁹⁾、夏季の夜間から早朝にかけて高湿度となる条件を利用して建材自体に水蒸気を吸収させる機能を備えることを考えた。これによりどの程度の水分供給が可能で、熱緩和にどの程度影響を及ぼし、どの程度の期間持続するか等について、実験を試みたのでそれらの結果について報告する。

2 建材の特徴

本研究で使用した保水性建材は、主材料として Anorthite と Wallastnite からなる多孔質セラミックである。内部には 30%以上の空隙を有しており、加圧法による pF 試験(JGS T 151)結果から初期の飽和体積含水率は 57%あり、pF=1 では 30%保持する⁶⁾。

*埼玉大学大学院理工学研究科環境制御工学専攻 Dept. of Environmental Science & Human Engineering, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Saitama 338-8570

** (有)アドセラミックス研究所 Add Ceramics Ltd., 1306 Iwase, Kamakura, Kanagawa 247-0051

3 吸水特性に関する実験

3.1 実験条件

(1) 塩化カルシウムそのものの吸水特性、および、(2) 塩化カルシウムを添加した建材の吸水特性について、それぞれ気象条件を決めて恒温・恒湿機(ESPEC 製)内において実験を行った。気象条件は、夏季の夜間を想定して温度 25℃、相対湿度 95%とした。(1)では容器(8cm×8cm×3.5cm)に塩化カルシウムを細かく粉末にしたものを用いた。(2)では純水 20g に溶かして保水性建材(8cm×8cm×3.5cm)の上面から流し込み、乾燥炉によって十分乾燥させたものを用いた(写真 3-1)。それぞれ 24 時間重量を自動計測(サーモダック EF:江藤電気、電子秤量:ザルトリウス製)した。

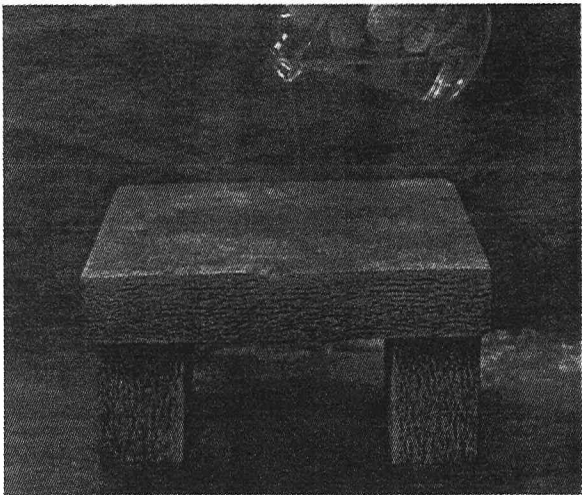


写真 3-1 塩化カルシウム水溶液の混入

3.2 実験結果

(1)塩化カルシウムの吸水特性について

図 3-1 に、各塩化カルシウム量 (0.5g、1.0g、2.0g、5.0g) に対する吸水結果を示す。図中の曲線は、それぞれ指数関数で近似させたものであるが、吸水量の時間変化は与えた塩化カルシウム量と反応定数に依存した 1 次反応式の一般解の形で表現できる。ここで、反応物質は 1 つであるため反応定数は厳密にはどれも同じになるべきであるが、これは様々な要因を含んだ見かけの値である。それぞれ反応は 24 時間以上持続するが、実用的には夜間の湿度が高くなる 6 時間程度のみであるので、この時間帯で評価する。これより、与えた塩化カルシウムの量によって吸収効率がことなるが、5g 添加させたものは 7.2g の水蒸気を吸収した。

(2) 塩化カルシウムを添加した建材の吸水特性について

図 3-2 は塩化カルシウムを添加した建材の累積吸水量のグラフである。この場合は、建材そのものが水蒸気輸送の抵抗になっているために同じ塩化カルシウム量であっても吸水量は(1)より低くなる。その傾向は塩化物量が多くなるほど(1)の結果との差が大きくなる。そのため吸水に時間遅れが生じている。

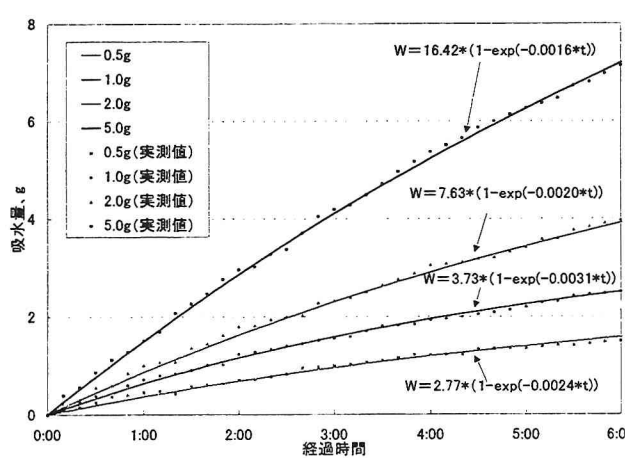


図 3-1 塩化カルシウムによる吸水結果

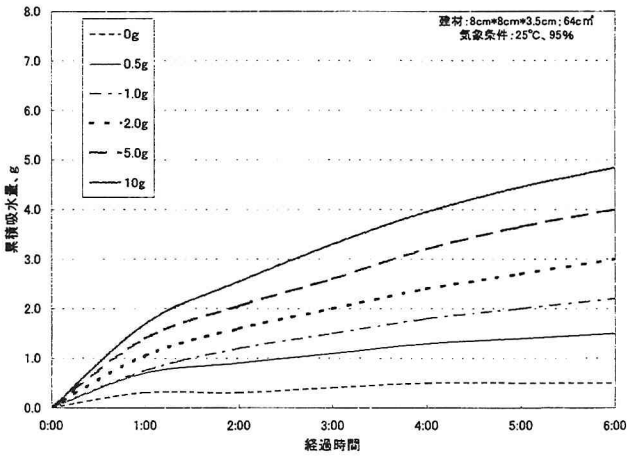


図 3-2 塩化カルシウムを添加した建材による吸水結果

4 保水性能、温度上昇抑制効果

4.1 実験条件

ここでは、水蒸気を吸収することでどの程度の保水効果を持続するか、また、それによって温度上昇抑制はどの程度可能であるかを調べた。

実験は恒温・恒湿機（ESPEC 製）内で行った。試験試料は、①通常のスレート建材、②純水（80g）を混入した保水性建材、③塩化カルシウム水溶液（塩化カルシウム 5.0g、純水 80g）を混入した保水性建材、の三種類を用いた。建材のサイズはそれぞれ 8cm×8cm×3.5cm であり、周囲を断熱材で囲い、上面以外からの熱の出入りを遮断した。夏季の屋外の気象条件を考慮し、日射の換わりとしてハロゲンランプ（700W/m²相当）を設置した。ここで、各種建材の熱的特性を比較するため、日中の条件としてランプを一定量 6 時間照射し、その後夜間の条件として 6 時間照射を停止した。日中のランプからの熱放射の積算量は夏季の晴天日の日射積算量に相当するものである。また、気温湿度は、それぞれ日中で 30℃、50%、夜間で 25℃、95%とした。これを 1 日間のサイクルとし、6 サイクル継続した。なお、恒温・恒湿機の特性から、試料表面を常時 1m/s 程度の送風がある。水分蒸発量の測定は、日中・夜間切り替え時（6 時間）毎、および切り替えから 3 時間までは 1 時間間隔で行った。それぞれ断熱材容器ごと恒温・恒湿機から取り出して重量を測定し、前回時の差を取ることで水分量変化を見積もった。温度の測定は、各試料表面から 5mm の位置にそれぞれドリルで穴を開け、熱電対センサーを挿入して測定した。計測間隔は 1 分で、データロガー（サーモダック EF：江藤電気製）より自動記録した。保水性建材の初期体積含水率は 35% であり、ほぼ飽和した条件である。

4.2 実験結果

図 4-1 は、保水性建材の重量測定結果から算出した体積含水率の時間変化を示す。従来の保水性建材では、加熱されることで実験初期に多量の水分蒸発が生じ、1 サイクル後の体積含水率は 20% 程度まで下降した。その後、蒸発量は少なくなるが、3 サイクル後には体積含水率は 10% 以下となり、5 サイクル目以降は 5% 以下となった。一方、塩化カルシウムを添加した保水性建材では、初期に高い体積含水率であるにもかかわらず、水分蒸発に抵抗が生ずることで 1 サイクル後の体積含水率の低下は 5% に留まった。3 サイクル目以降は含水率の低下により蒸発量も少なくなっているが、6 サイクル終了後でも 18% の体積含水率を保持している。ここで注目すべき点としては、まず、何も添加していない建材では、夜間の多湿状態にもかかわらず吸水はほとんど無いために体積含水率は一方的に下降していくが、塩化カルシウムを添加した建材ではこの時間帯に体積含水率が上昇しており、吸水が生じたことが明確にわかる。これが、6 サイクル終了後でも高い体積含水率を維持する要因の 1 つとなる。

次に、図 4-2 は建材の表面温度の時間変化を示すものである。これより、通常建材と比較して、水のみを含んだ保水性建材は体積含水率が 5% 以下に達した 5 サイクル目以降も 10℃ 低い。これは建材の厚さが異なる点やわずかでも蒸発が生じている点、および水を含んでいることよりサンプル全体の熱容量が大きい等の要因から生じていると思われる。一方、塩化カルシウム水溶液を混入した保水性建材では、最終サイクルでは水のみ含んだ場合からさらに 10℃ 低い。さらに、両者のそれぞれの傾向としては次のようである。水のみを含んだ保水性建材では、初期の蒸発が多量であったことから潜熱の効果が大きく作用し、温度上昇は極めて抑えられている。しかし、2 サイクル目以降は体積含水率が低下しており、徐々に最高温度は高くなる。一方、塩化カルシウム水溶液を混入した保水性建材では、初期の蒸発が抑えられるために水のみを含んだ保水性建材より温度は高いが、温度の時間変化は各サイクルで安定しており、比較的高い体積含水率を維持するため最高温度もほぼ一定である。但し、最低温度は徐々に上昇している。これは、水分を多量に含んでいるため、熱容量が大きくなっていること、および、表面および内部で凝結熱を発生させていることによると考えられる。以上のように、長期間の温度の上昇を抑制させる性質であることがわかった。

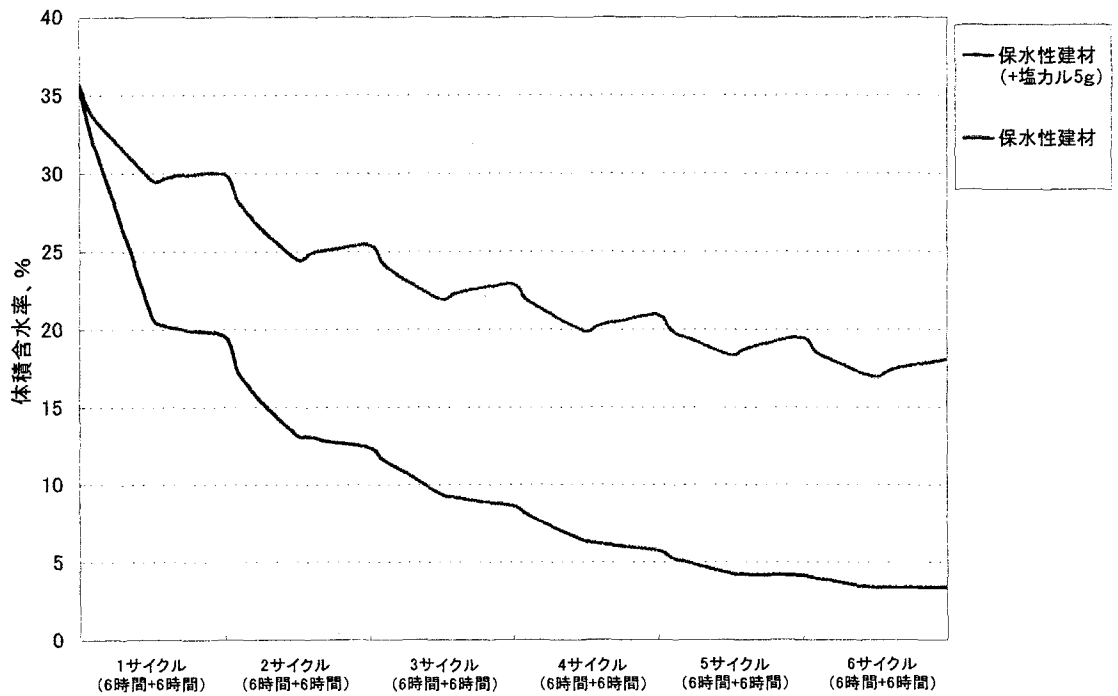


図 4-1 建材の体積含水率の時間変化

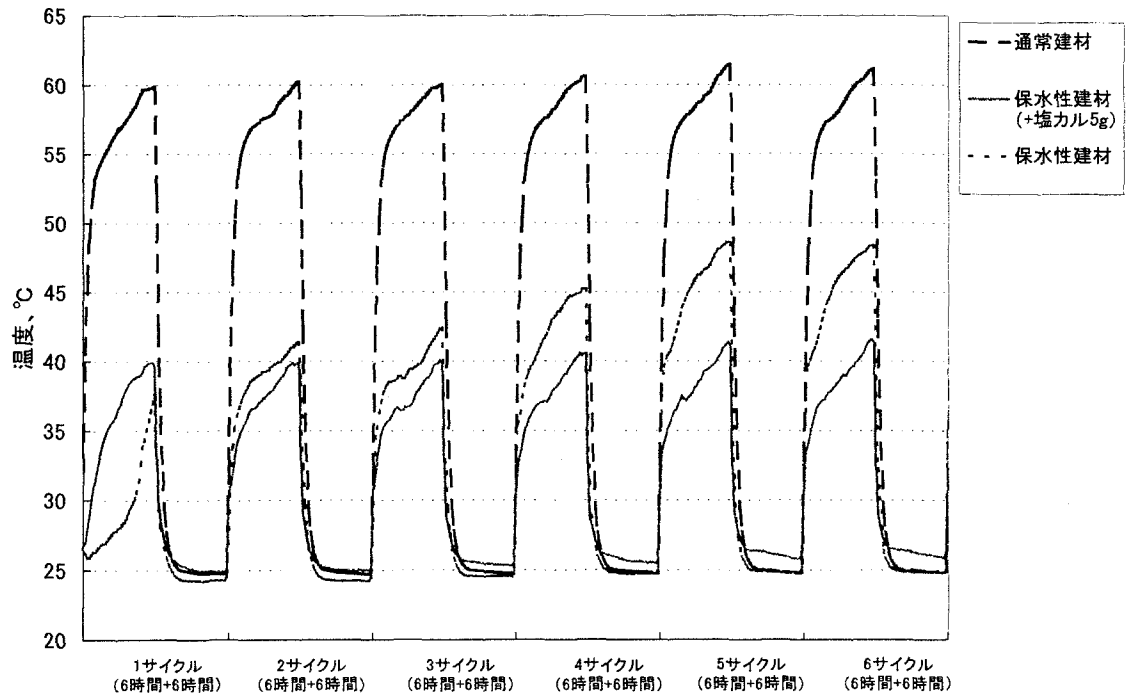


図 4-2 建材の表面温度の時間変化

5 溶出対策

以上の結果より、保水性建材に塩化物を混入させることで夜間の吸水能力は格段に向上した。しかし、この塩化物は水溶液として建材内に存在しているため、そのままでは降雨があれば容易に溶出してしまう。そこで、溶出防止策としていくつかの方法を試みた。ここでは、主に環境への負荷も比較的小さいと思われる塩化カルシウム水溶液に高分子化合物（メチルセルロース）を添加させた結果について触れる。この物質を塩化カルシウム水溶液に添加させることで建材内の水溶液の粘性が上昇し、溶出を遅らせる作用が期待できると考えた。実験は塩化カルシウム水溶液（塩化カルシウム 5.0g、純水 20g）にメチルセルロースを 0.4g 添加し、保水性建材（8cm×8cm×3.5cm）の下面から混入させ十分に乾燥させた後、上面以外をシリコン樹脂でコーティング（ここでは横方向の溶出は考慮していないため）し、これを水中に 6 時間浸した。メチルセルロースによる粘性度は 25cP と 400cP の 2 種類を試した。カルシウムイオンの溶出量の測定方法にはチオシアン酸水銀（Ⅱ）法を用いた。また、参考として、高分子化合物を用いない代わりに、水密性が高いモルタルを保水性建材の上面に厚さ 3mm 程度を塗布した場合も行った。但しこの場合は、水密性を高めた分、大気からの水蒸気の取り込みも制限されるので本来の目的に合った方法ではないことを記しておく。

図 5-1 は 6 時間の累積溶出量である。これより、塩化カルシウムのみ添加した建材からは、カルシウム量として 80%程度は溶出してしまったが、高粘性の高分子化合物をともに添加させた結果、溶出は 25%程度に留まった。2 種類の粘性度の異なる試験結果から、その影響は定性的に明らかである。なお、モルタルを塗布したものは 5%であった。

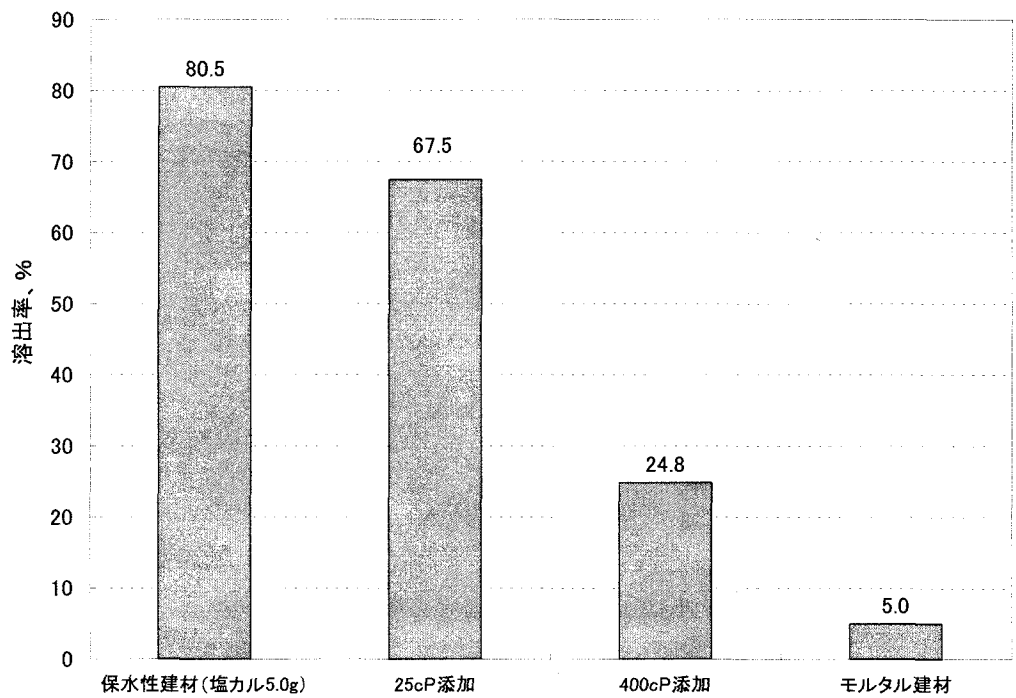


図 5-1 建材からのカルシウムイオン溶出率の比較(6 時間後)

6 まとめ

本結果からえられた知見を以下にまとめる。

- (1) 塩化カルシウムを保水性建材に添加した場合、潮解現象により夜間の吸水能力は飛躍的に向上した。塩

化カルシウム 5 g 添加した建材とそうでない建材との差は約 8 倍程度となった。

- (2) 熱緩和効果に関しては、表面温度について確実に温度抑制が見られた。また、体積含水率が高いため、熱緩和効果の継続期間を通常の保水性建材に比べ約 2 倍程度に延ばすことが可能になった。
- (3) 溶出の問題があり、そのままの利用では 80% の塩化物が溶出してしまうことが明らかになった。そこで高分子化合物の利用して粘性を高めた結果、25% 程度に留めることができた。

本研究の結果は現段階においていずれも経験的なものであるため、今後、理論的な考察によって現象を確かめる必要があることは言うまでもない。しかし、維持管理も考慮してこうしたヒートアイランド対策には安全でコストのかからない方法が最も重要である。塩化カルシウムの利用は冬季、道路の凍結防止を目的にすでに屋外での散布が実用化されており、目的は異なるが道路環境においては夏季の使用も十分有効であると思われる。特に溶出など点で課題は残されているが、様々な場所で熱環境改善をもたらすポテンシャルは高い。

最後に、本研究を行うにあたり、吸湿現象について(有)アドセラミックス研究所の居上秀雄会長から有益なコメントを頂いた。また、現在本学大学院生の大栗範久君には数多くの実験補助をしてもらった。記して感謝する。なお、本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（奨励研究(A)），課題番号：13750483）によって行われた。

参考文献

- 1) P.Berdahl and S.E.Bretz : Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials, *Energy and Buildings*, 25, pp.149-158, 1997.
- 2) S.Bretz, H.Akbari and A.Rosenfeld : Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands, *Atmospheric Environment*, 32, pp.95-101, 1998.
- 3) S.Hassid, M.Santamouris, N.Papanikolaou, A.Linardi, N.Klitsikas, C.Georgakis and D.N. Assimakopoulos : The effect of the Athens heat island on air conditioning load, *Energy and Buildings*, 32, pp.131-141, 2000.
- 4) M.Santamouris, N.Papanikolaou, I.Livada, I.Koronakis, C.Georgakis, A. Argiriou and D. N. Assimakopoulos : On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings, *Solar Energy*, 70, pp.201-216, 2001.
- 5) H.Taha : Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, *Energy and Buildings*, 25, pp.99-103, 1997.
- 6) T.Fujino, T.Asaeda, Y.Kondo, and K.Onishi : Water retentive roof and its mitigation potential of the urban thermal environment, *First Int. workshop on architectural and urban ambient environment*, France, 11pp., 2002.
- 7) 藤野毅・浅枝隆・近藤義正：廃棄物再生セラミック建材による都市熱環境緩和効果，土木学会第 7 回地球環境シンポジウム講演論文集，pp.101-106, 1999.
- 8) 福田萬大・越川喜孝・辻井豪・浅枝隆・藤野毅：夏季に給・散水した保水性舗装の熱環境緩和特性に関する実験的研究，土木学会論文集，613IV-42, pp.226-236, 1999.
- 9) 谷本潤・張本和芳・木村健一：塩化物を含浸させた高性能調湿建材の開発，日本建築学会計画系論文集，No.495, pp.45-51, 1997.