

湿式仕上げ材の吸水抑制効果予測手法の提案

馬場明生 (感性デザイン工学科)

野村和也 (感性デザイン工学専攻)

河原利江 (感性デザイン工学科)

原田 進 ((株) 富士川建材工業)

A Method for Predicting Control Effect on Water Absorption of Wet Finishings

Akio BABA(Department of Perceptual Design and Engineering)

Kazuya NOMURA(Division of Perceptual Design and Engineering)

Rie KAWAHARA(Department of Perceptual Design and Engineering)

Susumu HARADA (Fujikawa Kenzai Industry Co, Ltd.)

It has been clear that the water content of building structures is an important factor on carbonation of concrete by a past study using a model building at the age of 11 years' natural exposure, not to speak of frost damage. In this paper, the water absorption experiment using specimens of ALC, concrete and clay bricks are dealt with wet finishings and a method for predicting control effect on water absorption of wet finishings is proposed. As a result, a predictive model composed of finishings, surface layer and inside of structural bodies, are clarified to be effective.

Key Word: *Water content, Water absorption, Finishings, Carbonation, Frost damage, Composite materials*

1. はじめに

建築物の耐久性を考えるうえで、躯体内部の水分状態を知ることは重要な要素となる。凍害はもちろんのこと中性化においても躯体内部の水分状態が影響を与えていることが過去の仕上げ材のあるコンクリートの自然暴露実験研究により明らかとなっている[1]。躯体の水分状態を知るためには、雨天時などにおける吸水過程と晴天時などにおける乾燥過程の水分移動特性を知らなければならない。本研究では雨天時を想定した吸水過程について検討することとする。また、従来の諸研究では躯体と仕上げ材は切り離されて取り扱われて、仕上げ材のみの評価がなされることが多かった。そこで本研究では一般的な湿式仕上げ材を取り上げ、ALC・煉瓦・コンクリートといった代表的な躯体構造と複合化した状態における仕上げ材の吸水抑制効果を知るための予測手法の提案を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

本実験で用いた下地材の種類および性質を Table1 に、仕上げ材の種類および塗布量を Table2 に示す。下地材の寸法は現実の躯体構造の表面部分に近い状態を再現するために 50×60×210mm とし、5面にエポキシ系の透明シーラを塗布し、60×210mmの面(厚さ50mm)に湿式仕上げ材を塗布した。同表に示してある実験に用いた試験体の表乾状態、気乾状態、および絶乾状態は、それぞれ20℃水中に1日浸漬後、20℃65%RHに28日間放置後、105℃に2日間放置後とした。

2.2 実験方法

実験に用いる試験体はALC・煉瓦・コンクリートを合わせて34体とした。その内訳はALC下地に表2に示す仕上げ材を塗布した試験体9体と仕上げ材を塗布しない試験体1体の計10体と煉瓦下地に表2に示す仕上げ材を塗布

した試験体 9 体と仕上げ材を塗布しない試験体 1 体の計 10 体とコンクリート下地に表 2 に示す仕上げ材を塗布した試験体 13 体と仕上げ材を塗布しない試験体 1 体の計 14 体である。それらの試験体を気乾状態にし、その後 20°C の水中に浸漬させ、1・3・6 時間、1・3 日後の質量を測定した。

3. 結果と考察

3.1 実験結果の概要

実験結果の評価尺度として水分透過深さを採用した。水分透過深さとは、水分透過が表面から Dcm の飽和状態にある層が躯体内部に進行していくと仮定している試験体が表乾状態の最大の水分透過深さを試験体の厚さである 5cm と考え、試験体の質量測定時における質量変化量を厚さに換算して求めた値である。また、時間軸として経過日数の平方根を採用した。これは吸水過程において拡散現象が生じていると考えた場合に、経過時間の平方根に比例すると予測でき、実験結果もそのことを示す結果となったからである。実験結果の

Table1 Properties and kinds of specimens

種類	密度			
	表乾 (g/cm ³)	気乾 (g/cm ³)	絶乾 (g/cm ³)	
ALC	0.70	0.62	0.55	
煉瓦	2.21	2.01	2.01	
コンクリート	2.28	2.21	2.14	
種類	吸水率		含水率	
	体積 (vol%)	質量 (mass%)	体積 (vol%)	質量 (mass%)
ALC	15.50	28.42	7.27	13.32
煉瓦	20.30	10.10	0.24	0.12
コンクリート	14.48	6.77	7.45	3.48

Table2 Quantity and kind of finishings

種類	塗布量 (g/m ²)	塗厚 (mm)
セメントペースト	1300	0.4
SBR セメントペースト	1300	0.6
EVA セメントペースト	1300	0.6
石灰セメントペースト	1300	0.6
透湿性防水セメントペースト	1300	0.6
透湿性エポキシ樹脂	200	0.2
セメントモルタル	9700	5.2
石灰セメントモルタル	9700	5.2
透湿性防水セメントモルタル	9700	5.2
薄塗 E※	80	1.2
防水型 E2※	80	1.4
厚塗材 E※	80	2.2
複層 E※	80	2.6

※コンクリートのみ

一例を Figure1 に示す。経過日数の平方根と水分透過深さが比例関係となったことから、吸水過程においてなんらかの拡散現象が生じていることがわかった。ただし、煉瓦の場合は ALC とコンクリートの実験結果と少し異なる結果を示した。ALC とコンクリートの場合は経過日数を平方根とすることにより時間軸と水分透過深さが比例関係となったが、煉瓦下地の場合は時間軸を経過日数とした場合にも比例関係となり、拡散現象以上に毛細管張力作用が働くことにより急激に吸水しているものと考えられる。ALC とコンクリートの場合も最初の 1 時間は急激に吸水し、その後ゆるやかになっていることから吸水直後には拡散作用以上に毛細管張力作用が働いていると考えられる。このことから ALC・コンクリートの吸水過程では躯体の表面部分と内部とに分

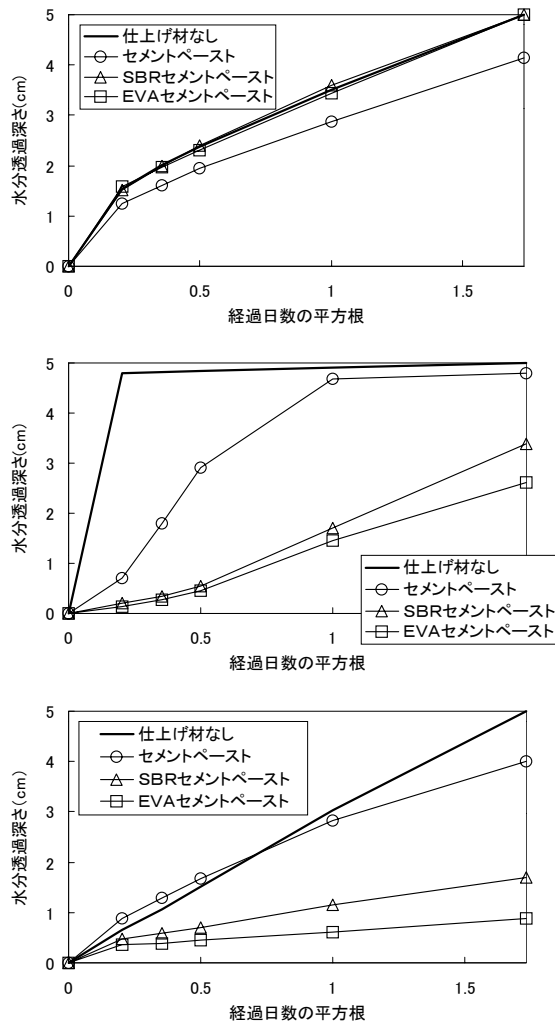


Figure1 Square root of exposure time vs water permeation depth

けて検討し、煉瓦の吸水過程は ALC・コンクリートにおける躯体表面部分の吸水の状態が躯体内部においても続いていくと考えられる。

3.2 躯体の表面部分における基本方程式

最初に 1 時間後 (0.0416 日後) までの吸水を考える。この時間は急激に吸水して水分透過深さと時間が比例関係になると考えられるので、この期間の水分透過深さは、以下に示す方程式 (1)、(2) で与えられる。ALC とコンクリートでは躯体の表面部分で適用される方程式だが、煉瓦では吸水過程全体で適用される方程式となる。

(仕上げ材が無い場合)

$$D = AwT \quad (1)$$

ここで、D:水分透過深さ (cm)、Aw:吸水速度係数 (cm/日) T:時間 (日)

(仕上げ材がある場合)

$$D = AwST \quad (2)$$

ここで、S:仕上げ材の吸水速度低減係数

方程式 (2) における吸水速度低減係数は仕上げ材が無い場合の吸水速度係数と仕上げ材がある場合の吸水速度係数との比率により求められる。実験結果から求めた吸水速度係数 Aw は ALC で 36.67、煉瓦で 114.87、コンクリートで 15.91 となった。これは、このままの吸水状態が続けば、仕上げ材を塗布していない ALC の場合には 1 日で水分透過深さが 36.67cm となり、仕上げ材を塗布していない煉瓦の場合には 1 日で水分透過深さが 114.87cm、仕上げ材を塗布していないコンクリートの場合には 1 日で水分透過深さが 15.91cm となることを示している。吸水開始後 1 時間でこれだけ高い値を示したということは、ALC・コンクリートにおいては躯体内部と表面部分において性質が異なることが推測される。この事実からも ALC・コンクリートの躯体表面部分では煉瓦同様拡散作用以上に毛細管張力作用が働き、吸水開始直後における急激な吸水量の増加を生み出したと考えられる。

各仕上げ材における吸水速度低減係数 S を Table3 に示す。この低減係数 S は煉瓦の場合吸水過程全体において仕上げ材の吸水抑制効果について検討する場合に利用でき適用でき、ALC・コンクリートでは躯体表面部分におけ

る仕上げ材の吸水抑制効果について検討する場合に利用できる。吸水速度低減係数が 1 未満であれば仕上げ材を塗布することで吸水抑制効果が得られたことになり、1 以上となれば吸水抑制効果が得られなかったと判断できる。ALC においては EVA セメントペーストと石灰セメントモルタルが、コンクリートにおいてはセメントペースト、石灰セメントペースト、セメントモルタル、石灰セメントモルタル、透湿性防水セメントモルタルの吸水速度低減係数が 1 を超えることから、仕上げ材を塗布したからといって、吸水開始直後ではかならずしも吸水が抑制されるとは限らないことがわかる。煉瓦においてはすべての仕上げ材で吸水抑制効果が得られた。高い吸水抑制効果が得られた仕上げ材については、ALC では透湿性防水セメントペーストと透湿性エポキシ樹脂の 2 種類、煉瓦では SBR セメントペースト、EVA セメントペースト、透湿性防水セメントペースト、透湿性エポキシ樹脂の 4 種類、コンクリート下地では透湿性エポキシ樹脂、透湿性防水セメントペースト、防水型 E2、圧塗材 E、複層 E の 5 種類があげられる。透湿性防水セメントペーストを除けば、下地が異なることにより、吸水抑制効果を得られる仕上げ材が異なる場合があることがわかった。ALC・煉瓦・コンクリートすべての下地に共通して躯体表面部分、時間でいえば 1 時間後までは、透湿性防水セメントペーストと透湿性エポキシ樹脂が高い吸水抑制効果を示した。

仕上げ材別にみるとモルタル系の仕上げ材の吸水抑制効果が低いことがみてとれる。このことには仕上げ材の厚さと性質が大きく関

Table3 Water absorption coefficient of finishings

種類	ALC	煉瓦	コンクリート
セメントペースト	0.51	0.15	1.33
SBR セメントペースト	0.81	0.04	0.71
EVA セメントペースト	0.94	0.03	0.54
石灰セメントペースト	0.97	0.31	1.19
透湿性防水セメントペースト	0.69	0.01	0.35
透湿性エポキシ樹脂	0.85	0.03	0.03
セメントモルタル	1.04	0.31	1.75
石灰セメントモルタル	0.99	0.31	1.70
透湿性防水セメントモルタル	0.75	0.18	1.07
薄塗 E	—	—	0.42
防水型 E2	—	—	0.12
厚塗材 E	—	—	0.22
複層 E	—	—	0.17

係していると考えられる。モルタル系の仕上げ材は比較的吸水性能が高いうえに、仕上げ材自体の厚さが実験で用いたすべての仕上げ材の中で最も厚いため、吸水直後においては吸水抑制効果をそれほど示すことができなかつたものと推測できる。

また、煉瓦における吸水速度低減係数が 1 を上回った仕上げ材が存在せず、すべての仕上げ材の有効性が認められたことに対して、ALCにおける吸水速度低減係数が 1 を上回った仕上げ材が 1 種類、コンクリートにおける吸水速度低減係数が 1 を上回った仕上げ材が 5 種類もあったことには下地材の性質の違いがはっきりと現れた結果といえる。

3.3 躯体の内部における基本方程式

次に躯体内部の吸水 (0.0416 日後以降) を考える。この場合の水分透過深さは時間の平方根に比例するので、この期間の水分透過深さは方程式 (3)、(4) で与えられる。煉瓦下地の場合は方程式(1)と(2)を用いて仕上げ材の吸水抑制効果の検討が可能なので、この方程式は煉瓦下地の場合は適用せず、あくまで ALC・コンクリート下地用の方程式である。

(仕上げ材が無い場合)

$$D = Aw\sqrt{T} \quad (3)$$

ここで、D:水分透過深さ(cm)、Aw:吸水速度係数 (cm/日^{1/2})、T:時間 (日)

(仕上げ材がある場合)

$$D = Aw\left(\sqrt{T + R^2} - R\right) \quad (4)$$

ここで、R:Dfo/Aw (Dfo は仕上げ材を躯体の厚さに換算した値である。)

実験結果から求めた躯体内部における吸水速度係数 Aw は ALC で 2.27、コンクリートで 2.83 となった。R は吸水抵抗を示しており、躯体内部における仕上げ材の吸水抑制効果について検討する場合に利用できる。

この方程式の概要を Figure2 に示す。O₁ は仕上げ材を塗布していない躯体のみの場合の原点で、O₂ は仕上げ材を塗布した場合の原点、Dfo は仕上げ材を躯体の厚さに換算した値とする。しかし、今回吸水過程を検討するうえで、仕上げ材部分と躯体表面部分と躯体内部の 3 層に分けて考えたため、ここでいう Dfo

には躯体表面部分の厚さも含まれる。そのため純粋に仕上げ材を躯体に換算した厚さを求めるためには躯体表面部分の厚さ (今回は実験結果より求めた値、ALC では 1.52cm、コンクリートでは 0.66cm を採用) を引いておく必要がある。今回は方程式 (4) を導く際にあらかじめ躯体表面部分の厚さを引いて求めているので、Dfo を純粋に仕上げ材を躯体に換算した場合の厚さとすることができる。この方程式を利用するためには Dfo の値を求める必要がある。

Dfo は方程式 (5) で与えられる。

$$Dfo = \frac{Aw^2T - D^2}{2D} \quad (5)$$

躯体の内部における各仕上げ材の吸水抵抗 R を Table4 に示す。

ALC において、石灰セメントペーストと透湿性防水セメントモルタルの吸水抵抗が、他の仕上げ材と比べて低い値を示した。この二つの仕上げ材に関しては吸水抑制効果がそれほど得られなかつたことがわかる。透湿性防水セメントペーストは躯体表面部分における吸水開始直後は、高い吸水抑制効果が得られるが、躯体内部ではそれほど高い吸水抑制効果は期待できないことがわかつた。躯体内部において吸水抑制効果が得られた仕上げ材としては、セメントペースト、EVA セメントペースト、セメントモルタル、石灰セメントモルタルがあげられる。セメントペーストは躯体表面部分における吸水開始直後の場合に

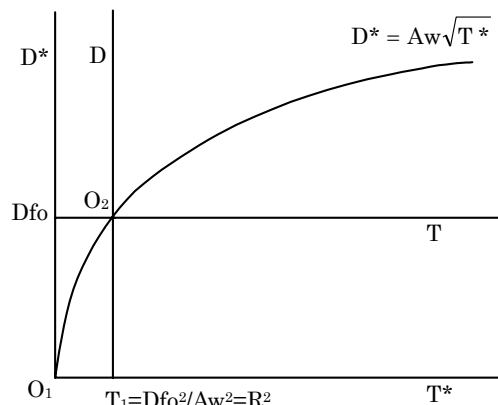


Figure2 Method for predicting control effect on water absorption of wet finishings

も高い吸水抑制効果を示したことから、防水性能という点から考えたなら、ALCにおいて最も適した仕上げ材の1つであるといえる。

コンクリートにおける吸水抵抗値は、透湿性エポキシ樹脂が最も高い値を示し、次いでEVAセメントペースト、透湿性防水セメントペースト、防水型E2の順に高い値を示した。透湿性エポキシ樹脂、透湿性防水セメントペースト、防水型E2の3種類の仕上げ材は、軀

Table4 Water absorption resistance of finishings

種類	ALC	コンクリート
セメントペースト	0.51	1.33
SBRセメントペースト	0.81	0.71
EVAセメントペースト	0.94	0.54
石灰セメントペースト	0.97	1.19
透湿性防水セメントペースト	0.69	0.35
透湿性エポキシ樹脂	0.85	0.03
セメントモルタル	1.04	1.75
石灰セメントモルタル	0.99	1.70
透湿性防水セメントモルタル	0.75	1.07
薄塗E	—	0.42
防水型E2	—	0.12
厚塗材E	—	0.22
複層E	—	0.17

Table5 Dfo of finishings

種類	ALC	コンクリート
セメントペースト	0.94	1.84
SBRセメントペースト	0.31	7.91
EVAセメントペースト	0.46	20.36
石灰セメントペースト	0.18	2.22
透湿性防水セメントペースト	0.04	18.37
透湿性エポキシ樹脂	0.11	41.02
セメントモルタル	0.45	7.15
石灰セメントモルタル	0.46	8.12
透湿性防水セメントモルタル	0.01	4.44
薄塗E	—	6.09
防水型E2	—	13.85
厚塗材E	—	9.89
複層E	—	8.42

Table6 Awf of finishings

種類	ALC	コンクリート
セメントペースト	0.10	0.06
SBRセメントペースト	0.44	0.02
EVAセメントペースト	0.30	0.01
石灰セメントペースト	0.77	0.07
透湿性防水セメントペースト	3.40	0.01
透湿性エポキシ樹脂	0.40	0.01
セメントモルタル	2.60	0.21
石灰セメントモルタル	2.55	0.18
透湿性防水セメントモルタル	91.82	0.33
薄塗E	—	0.05
防水型E2	—	0.02
厚塗材E	—	0.06
複層E	—	0.87

体表面部分の吸水開始直後においても高い吸水抑制効果が得られたことから、防水性能という点から考えたなら、コンクリートにおいて最も適した仕上げ材の1つであるといえる。

さらに、各仕上げ材を軀体の厚さに換算した値であるDfoを求め、その値を用いて実際の仕上げ材の厚さから、仕上げ材別の吸水速度係数Awfを求めた。

表5に各仕上げ材を軀体の厚さに換算した値であるDfoを示し、表6に仕上げ材別の吸水速度係数Awfを示す。Dfoは厚さというわかりやすい概念であるため、仕上げ材の吸水抑制効果をイメージしやすい利点があり、吸水抵抗を知るうえで必要な値である。Awfは仕上げ材ごとの吸水速度を知るうえで、参考となる値であり、仕上げ材の厚さを変えることにより常に変化していく値である。

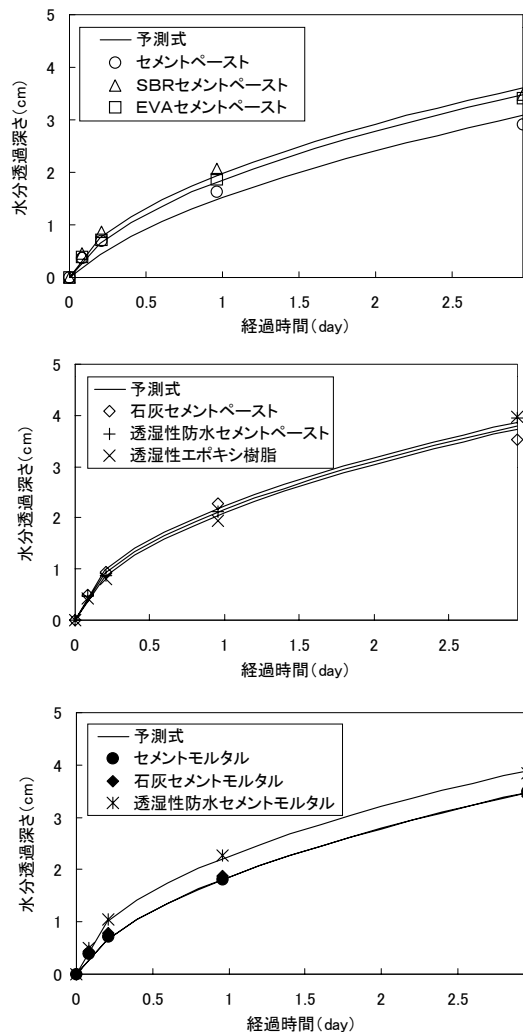


Figure3 Predictive and experimental values of ALC

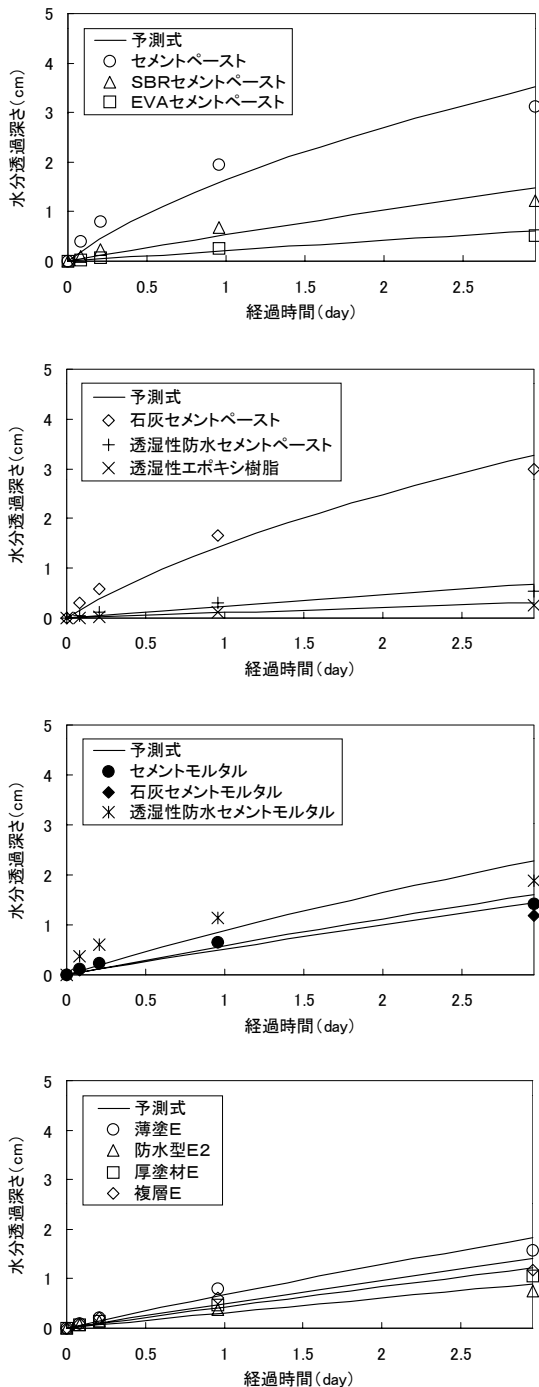


Figure4 Predictive and experimental values of concrete

最後に提案した方程式 (4) を用いて求めた値が実験結果とどのくらい一致したかを図3、4に示す。図3はALCにおける実験結果と方程式、つまりは予測式との比較を示し、図4はコンクリートにおける実験結果と予測式を用いて求めた値との比較を示している。

ALCにおける比較ではすべての仕上げ材についてほぼ一致する結果となった。

コンクリートにおける比較においても、ALCにおける一致ほどではなかったが、すべての仕上げ材についてほぼ一致する結果となったといえる。これにより躯体自体の性質がわかれば、仕上げ材を塗布した場合の吸水抑制効果の予測が可能となる。

4. まとめ

ALC・煉瓦・コンクリートに仕上げ材を塗布した試験体を用いた温湿度一定の屋内実験の結果に基づき、躯体構造と複合化した状態の湿式仕上げ材の吸水抑制効果についての検討を行った。その結果、次の知見が得られた。

- 1) 仕上げ材を塗布した躯体の吸水過程においてなんらかの拡散現象が生じているが、単なる拡散現象としてではなく拡散作用以外に毛細管張力作用の影響を考慮する必要がある。
- 2) 仕上げ材を塗布した躯体の吸水過程を考える場合には、仕上げ材部分・躯体の表面部分・躯体の内部に分けて検討する必要がある。ただし煉瓦においては躯体表面部分と内部における吸水に大きな違いがみられなかったため仕上げ材部分と躯体表面部分を検討することで吸水過程を考えることが可能となる。
- 3) 仕上げ材の吸水速度低減係数と吸水抵抗は、仕上げ材の種類によってのみ決定されるのではなく、躯体との組み合わせにより決定される。したがって、躯体の吸水速度係数と各仕上げ材における吸水速度低減係数および吸水抵抗がわかれば、吸水抑制効果の予測が可能となる。

[参考文献]

[1] 千歩修、馬場明生他：暴露後11年のモデル建物による外装仕上材のRC躯体保護効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000
 [2] 山中雅登、馬場明生他：小野田徳利益の保存に関する研究(その4)―煉瓦造のための防水・透湿型被覆補修塗り材の性能評価実験一、日本建築学会中国支部研究報告集、2001.3
 [3] 岩田竜児、馬場明生他：外装用仕上塗材の防水・透湿性の評価実験、日本建築学会中国支部研究報告集、2001.3
 [4] 長谷川拓哉、馬場明生他：モデル建物の11年屋外暴露試験結果に基づく表面仕上材の中性化に対する保護効果、日本建築学会構造系論文集、2002.5

(平成15年08月29日受理)