

タイル張り仕上げをしたコンクリート壁体への水分浸透

その１ 吸水実験の概要と結果

Water Penetration to the Concrete Wall of the Tiling Finish

Part1. Summary and the Results of the Water Absorption Experiment

恩村 定幸*

要 旨

一般的なタイル張り仕上げが施されたコンクリート壁体を模した試験体（198×98×22～27mm）を用いて吸水実験を行った。その結果、一体のコンクリート（300×200×98mm）を切断して取り出した各試験体は、元々隣接していたにもかかわらず、位置の違いによって吸水量や水分移動の様相がかなり異なった。これは、空隙の構造や分布性状の違いおよび骨材の分布が原因で生じる湿気移動に関する物性値のばらつきが大きく影響したためと考えられる。

キーワード：コンクリート／タイル張り／熱水分移動／水分浸透／吸水実験

1. はじめに

コンクリート壁体内部における温度と含水率の変動や分布性状等の熱水分移動の様相を明らかにすることは、鉄筋コンクリート造建物の防露設計を的確に行う上で重要である。

これまで、コンクリートの熱水分移動に関する物性値の測定を行ってきた結果、同じコンクリートから取り出した小さな試験片であっても、物性値に比較的大きなばらつきが確認された¹⁾。

一方、実際のコンクリート造建物の外壁は、一般に、何らかの仕上げが施されていることが多い。

そこで、仕上げが施されたコンクリート壁体の水分移動について、その様相と物性値のばらつきがそれに及ぼす影響を把握するために、一般的なタイル張り仕上げが施されたコンクリート壁体を模した試験体を用いて、等温下で吸水実験を行った。

の熱湿気物性の測定で用いたコンクリート強度と比べてかなり低い結果であった。このことは後述の考察で考慮する。コンクリート体の大きさは200×300×90mmで、コンクリート打設3日後に脱型し、その後、恒温室内（20℃）の水槽に投入して4週間水中で養生した。

表－1 吸水実験で用いたコンクリートの材料

セメント	普通ポルトランドセメント（密度3160kg/m ³ ）
細骨材	山砂と砕砂 （混合率7：3、合成密度2570kg/m ³ ）
粗骨材	碎石（表乾密度 2670kg/m ³ ）
混和剤	高性能AE減水剤、AE助剤

表－2 吸水実験で用いたコンクリートの調査

W/C [%]	単位量 [kg/m ³]				
	セメント (C)	水 (W)	細骨材	粗骨材	混和剤 [%]
54.0	333	180	846	909	0.7

表－3 品質試験の結果

試験項目	本実験で使用	物性値測定 ¹⁾ で使用
スランプ	19.5cm	18.3cm
スランプフロー	32.0×30.0cm	30.6×29.8cm
空気量	6.0%	5.5%
温度	21℃	21℃
4週圧縮強度	27.9N/mm ²	38.6N/mm ²
ヤング係数	2.64×10 ⁴ N/mm ²	2.91×10 ⁴ N/mm ²

網掛け部分はフレッシュ試験結果

2. 試験体の作成

2.1 コンクリート体の作成

コンクリート体を作成するにあたって、用いた材料および調合をそれぞれ表－1と表－2に示す。また、コンクリート打設時に行ったフレッシュ試験の結果と材齢4週強度の試験結果を表－3に示す。本実験に用いたコンクリートの材料および調合は、過去に行ったFc27における熱湿気物性の測定¹⁾で用いたコンクリートと同様である。よって、フレッシュ試験ではほぼ同じ結果が得られた。しかし、強度については設計基準強度を満たすもの

*技術研究所建築研究グループ

2.2 タイル張り施工

コンクリート体の養生後、タイルを張り付けた。工法には図－１に示す集合住宅などで需要の多い45二丁掛け磁気質タイル（45×95mm）を用いた目地幅5mmの薄塗り直張り工法を採用した。施工は一般的な手順で行い、張り付けモルタル、目地モルタルとも既調合の一般製品を用いた。図－２にタイルの割り付けを示す。

2.3 切断による試験体の取出し

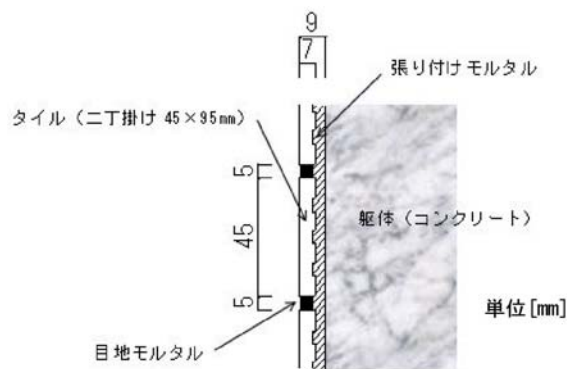
高速カッターを用いて、タイルを張り付けたコンクリート体を写真－１に示すように切断し、3体の試験体（試験体No1～No3）を取り出した。以後、本論では、切断面（広面）の位置関係を特定するために、片側を「前面」、その裏側を「後面」と呼ぶ。

切断時にタイルの角とその付近の目地モルタルの表層が欠けたが、割れなどの大きな損傷は見られなかった。コンクリート部分も損傷はなく、タイルや目地モルタルは堅固に付着していた。

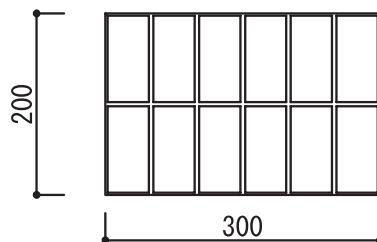
2.4 試験体の諸元

図－３に示すように、切断された各試験体の大きさは198×98mmで、平均厚さはそれぞれ24.7mm、26.5mm、22.3mmであり、平均厚さに対する誤差は±1.5mm以下であった。なお、厚さはノギスを用いて測定した。

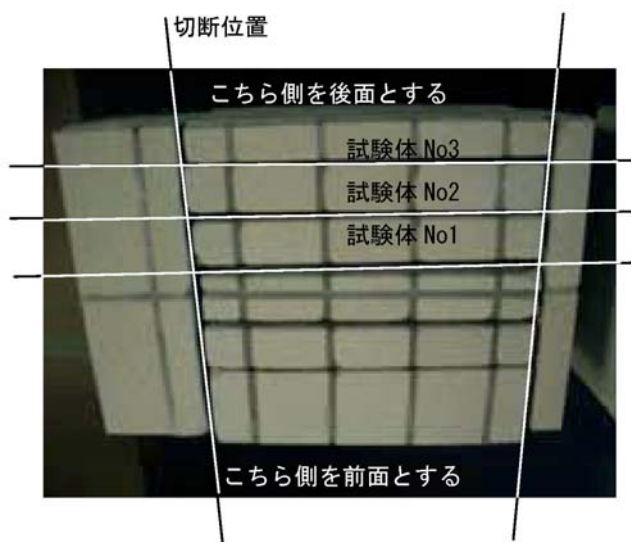
写真－２に試験体の切断面の一例（試験体No1・前面）を示す。表面での粗骨材が占める面積比率は表－４に示すように25.0～26.3%程度であった。なお、粗骨材の見える切断面が片側だけの試験体No3については計測していない。試験体内で粗骨材が占める容積比率は、粗骨材の調査（1m³当たり909kg）と表乾密度（2670kg/m³）から34%程度と推察される。



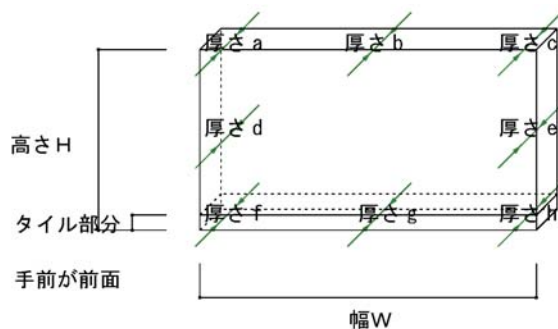
図－１ 薄塗り直張り工法の概要



図－２ タイルの割り付け



写真－１ 試験体の取り出し（切断状況）



	試験体No 1	試験体No 2	試験体No 3
W	198		
H	98		
a	24.2	26.3	21.0
b	24.7	26.6	22.4
c	24.7	26.8	23.8
d	24.0	25.9	21.4
e	25.0	26.7	21.7
f	24.6	26.2	21.7
g	25.0	26.2	22.2
h	25.2	26.8	22.7
平均	24.7	26.5	22.3

単位 [mm]

図－３ 試験体の大きさ

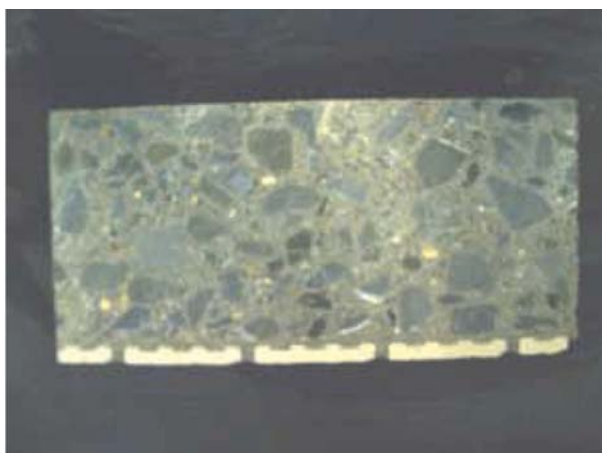


写真-2 供試体の切断面の一例

表-4 粗骨材が占める面積の比率

試験体	面の方向	粗骨材が占める面積の比率 [%]
No1	前面	25.7
	後面	25.0
No2	前面	26.3
	後面	25.7

3. 吸水実験の概要

吸水実験を行うにあたって、コンクリートは細かい切断が容易に行えないので、非破壊での測定が可能な京都大学の γ 線含水率測定装置を用いた。図-4に示すように γ 線源とディテクターとの間に試料を置く。線源から照射された γ 線は試料を透過する際に内部の水分によって吸収減衰され、透過した γ 線がディテクターでカウントされる（ γ 線透過量 [cps]）。体積含水率は、乾燥時と非乾燥時の γ 線透過量を用いて、(1)式の関係から算定される²⁾。

$$I = I_{\text{base}} \exp(-\rho w \beta d) \quad (1)$$

ここで、 I ：体積含水率 w のときの試料の γ 線透過量 [cps]、 I_{base} ：乾燥時の試料の γ 線透過量 [cps]、 ρ ：水の密度 [1.0g/cm³]、 β ：水の質量吸収係数 [cm/g]（本測定では線源にAm241：アメリカシウムを使用した。この場合、水の質量吸収係数は0.2059である。）、 w ：試料の体積含水率 [cm³/cm³]、 d ：試料の厚さ [cm]、なお、cps (count per second) は1秒間当たりの計数を表す。

γ 線源とディテクターは同期して移動し、試料の任意の位置における体積含水率の測定が可能である。

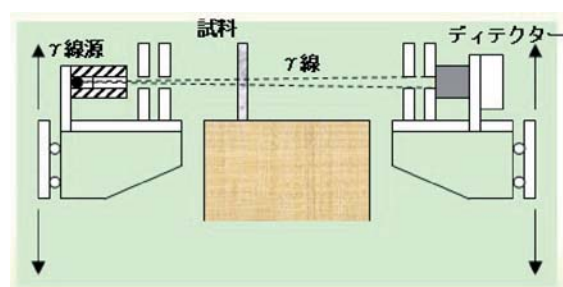


図-4 γ 線含水率測定の概要

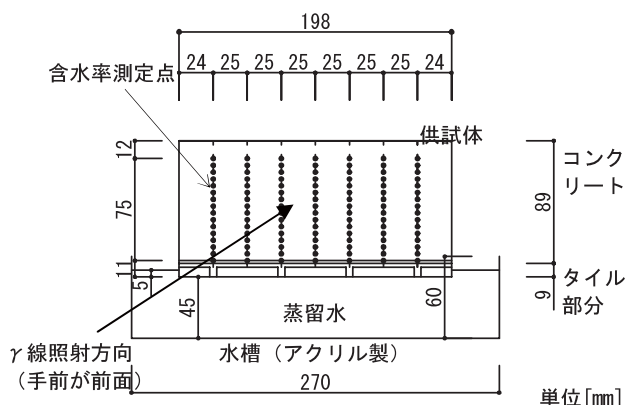


図-5 試験体設置状況と含水率の測定位置

まず、側面をエポキシ系接着剤とアルミ箔によって断湿した試験体（切断時に欠けたタイル部分はシリコン系のシーリング剤で補修した）を105℃で4日間乾燥させる。その後、タイル面を下にして試験体を取付け治具に設置し、下部の水槽に水が無い状態で γ 線透過量を測定した。 γ 線の照射方向は厚さ方向で、試験体の前面から照射した（写真-1参照）。含水率の測定位置を図-5に示す。105点（鉛直方向が5mmピッチの15点、水平方向が25mmピッチの7点）で測定し、1点あたりの測定時間は50秒とした。

次に、水槽に脱気した蒸留水を所定の位置（試験体の水没位置は最大で5mmの高さとした）まで入れ、3時間毎に480時間（20日）後まで各測定点の γ 線透過量を測定した。

また、写真-3に示すように、周辺雰囲気温度と相対湿度を試験体の上部2点と側部2点に設置した温湿度センサー（おんどとり）を用いて測定した。試験体側面の温度も上端から10、35、60mmの位置で熱電対を用いて測定した。

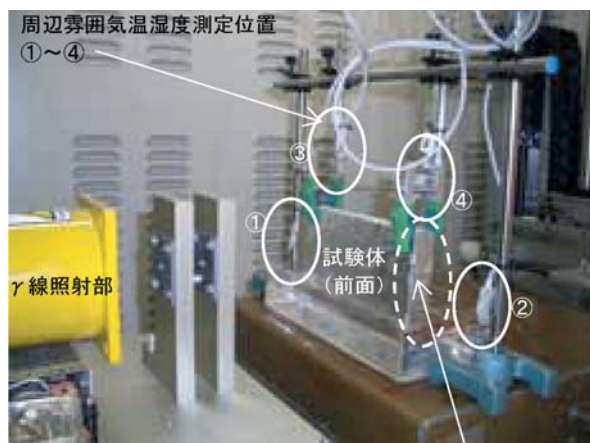
実験は温度制御が可能な室で行い、湿度の制御は行っていない。なお、湿気は試験体上面から自由に吸湿または放湿される。実験中、水面での蒸発や試験体の吸水によって蒸留水の水位が徐々に減少していくが、それは給水を適宜行うことで調節した。また、蒸留水を入れた直

後は吸水面に気泡が生じたので、ブラシを用いて除去した。その後、計測終了まで給水時においても気泡は見られなかった。

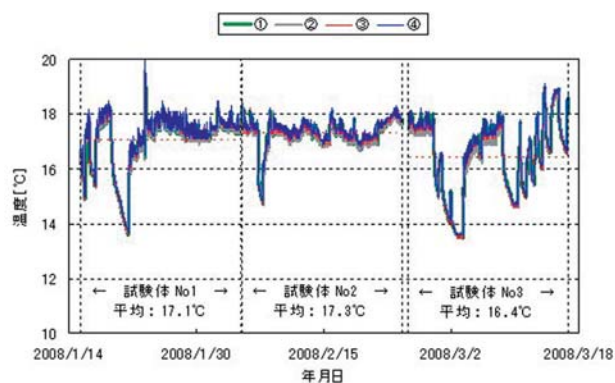
4. 吸水実験の結果

4.1 周辺雰囲気温度および相対湿度と試験体の温度

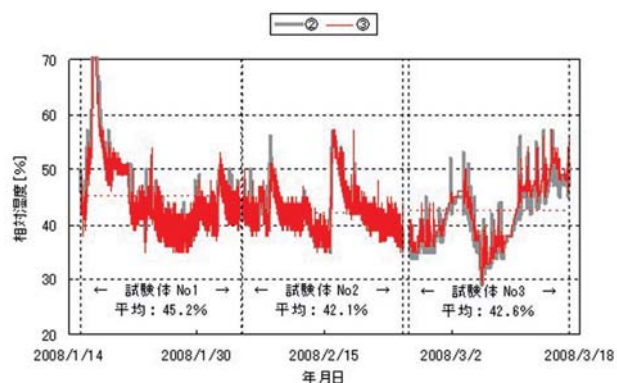
実験中における周辺雰囲気温度および相対湿度の測定結果をそれぞれ図－6と図－7に、試験体側面の温度の



写真－3 試験体設置状況と温湿度の測定位置



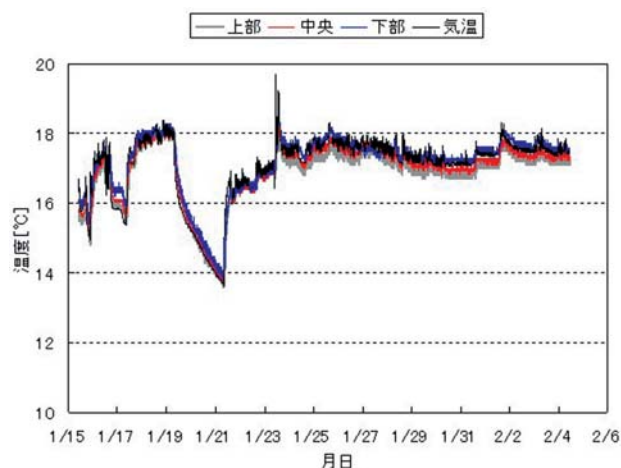
図－6 周辺雰囲気温度



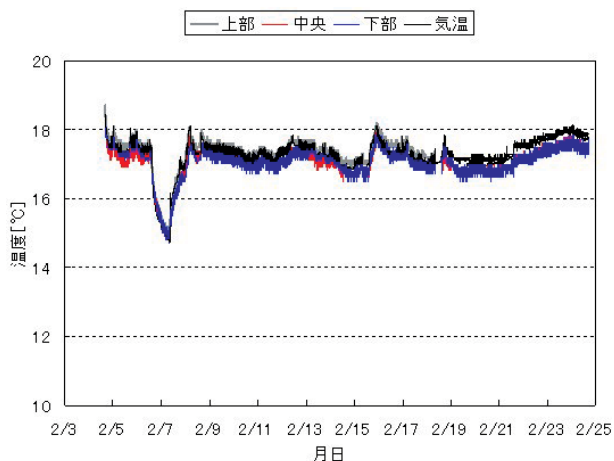
図－7 周辺雰囲気相対湿度

測定結果を周辺雰囲気温度の平均値とともに図－8～図－10に示す。

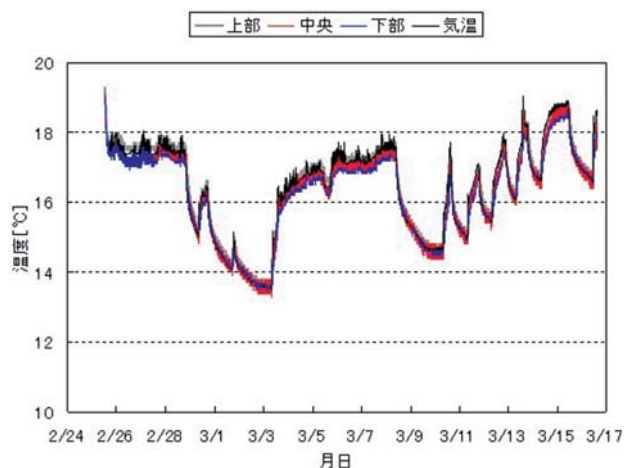
室内の温度制御はエアコンで行ったのだが、空調システムの不調により、たびたび電源が切れることがあった。そのため、その間の室温と相対湿度は周期的に変動した。



図－8 試験体No1側面の温度



図－9 試験体No2側面の温度



図－10 試験体No3側面の温度

変動幅は $\pm 3^{\circ}\text{C}$ および $\pm 10\%$ 程度である。これら、周辺雰囲気温度および相対湿度の変動は試験体内の水分移動に影響すると考えられるが、同時刻の各点(①～④)における測定結果の差は、温度が平均で 0.2°C 、相対湿度が平均で 2.0% と非常に小さく、同時刻の周辺雰囲気に限っては大きな温度差や湿度差はなかったと言える。

試験体側面の温度は周辺雰囲気温度と同様の変動を示し、その差の平均は 0.2°C 以下である。また、位置の違いによる温度差は 0.4°C 以下であり、大小関係にも特別な傾向は見られなかった。

以上から、周辺雰囲気温度および相対湿度は、実験中における試験体内の熱水分移動、特に水分浸透に大きな影響を与えなかったと考えられる。

4.2 コンクリート試験体の含水率分布

試験体No1～No3の体積含水率の平面分布(前面： γ 線照射側から見た図)の経時変化をそれぞれ図-11～図-13に示す。hは高さを、xは水平方向の位置を表す。単位はVol%である。これらの図より、水分が二次元的にどのように移動していったかが分かる。

試験体No1については、吸水初期においては、 $x=25\text{mm}$ の目地から吸水された水分が上方向および右方向に移動しており、その他の目地からは吸水されていない。しかし、48時間後には $x=175\text{mm}$ の目地からも吸水が確認できる。ただし、吸水量および移動速度は $x=25\text{mm}$ の目地に比べて小さい。

試験体No2については、各目地から吸水された水分が鉛直方向および水平方向に移動していることが分かる。しかし、その量および移動速度は極めて小さい。

試験体No3についても、目地から吸水された水分が鉛直方向および水平方向に移動していることが確認でき、右側半分の目地($x=125\text{mm}$ 、 $x=175\text{mm}$)に比べて左側半分の目地($x=25\text{mm}$ 、 $x=75\text{mm}$)の方が吸水量および移動速度が大きいことが分かる。

なお、試験体No1の $x=25\text{mm}$ の目地から吸水された水分量および移動速度が最も大きい。

以上のように、各試験体は元々隣接していたにもかかわらず(写真-1参照)、水分移動の様相がそれぞれかなり異なっている。これは湿気移動に関する物性値のばらつきが影響したと考えられる。

既報¹⁾で、コンクリートの湿気伝導率、平衡含水率、透水係数の測定結果に、平均値に対してそれぞれ $0.7\sim 1.3$ 倍、 $0.8\sim 1.2$ 倍、 $0.5\sim 1.5$ 倍のばらつきがあることを示した。また、ばらつき幅は強度が低いほど大きい傾向にあった。本実験で用いた試験体の実強度は物性値の測定で用

いた試験体の実強度に比べて小さいので、湿気物性のばらつき幅は上記の値よりも大きいと推察される。

以上の理由から、各試験体の水分移動の様相がかなり異なるという顕著な結果が得られた。

なお、吸水しやすい目地と吸水しにくい目地が確認されるが、これは目地モルタルの問題であってコンクリートの物性値のばらつきとは密接には関係しない。しかし、実際の壁体でも目地における吸水性の違いは十分に考えられるので、検討が必要な事項と考える。

試験体No1の $x=50\text{mm}$ の位置で $h=46\text{mm}$ の高さ付近の含水率が周囲よりも低くなっている(図-11中、48時間および480時間)。また、 $x=175\text{mm}$ の目地から吸水された水分はやや右より上方に移動した後、 $h=40\text{mm}$ の高さ付近から左上へ向かっている。

さらに、試験体No3の $x=25\text{mm}$ の目地から吸水された水分は上方向へはあまり移動せず、多くは右方向へ移動している。その水分と $x=75\text{mm}$ の目地から吸水された水分の左方向への移動の影響により、吸水部位から離れたタイルの裏側に当たる $x=50\text{mm}$ の位置における含水率が高くなっている。

このように、水分が回り込んで移動するように見られるのは、骨材分布の影響によるものと考えられる。

5. まとめ

一般的なタイル張り仕上げが施されたコンクリート壁体における水分移動の様相と湿気移動に関する物性値のばらつきがその水分移動に及ぼす影響を把握するために、等温下で試験体を用いた吸水実験を行い、以下に示す結果が得られた。

- 1) 試験体は、それぞれが元々隣接していたにもかかわらず、位置の違いによって吸水量や水分移動の様相がかなり異なっている。
- 2) 各試験体とも水分が移動しやすいところと移動しにくいところが混在しており、骨材の影響によって水分が回り込んで移動する場所が見られた。
- 3) 各試験体とも吸水しやすい目地と吸水しにくい目地があることが確認された。

以上から、湿気移動に関する物性値のばらつきは、空隙の構造や分布性状の違いおよび骨材の分布状況が原因と考えられるが、それらが及ぼす影響は、部位によって水分移動の様相が異なるという吸水実験の結果に顕著に現れたと考えられる。

今後は、湿気移動に関する物性値のばらつきの影響について、数値解析による詳細な検討を行いたいと考える。

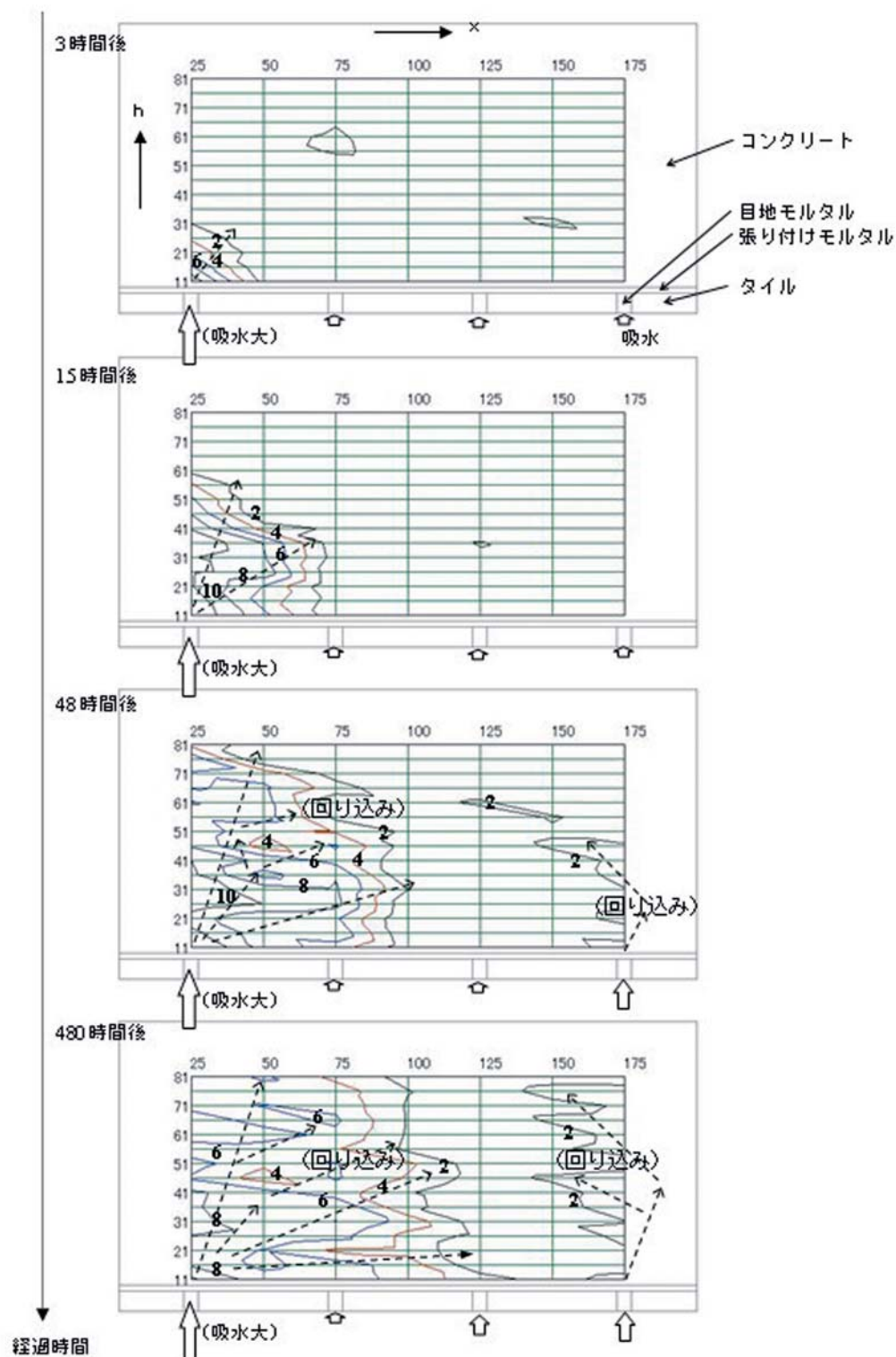


図-11 試験体No1の体積含水率の経時変化

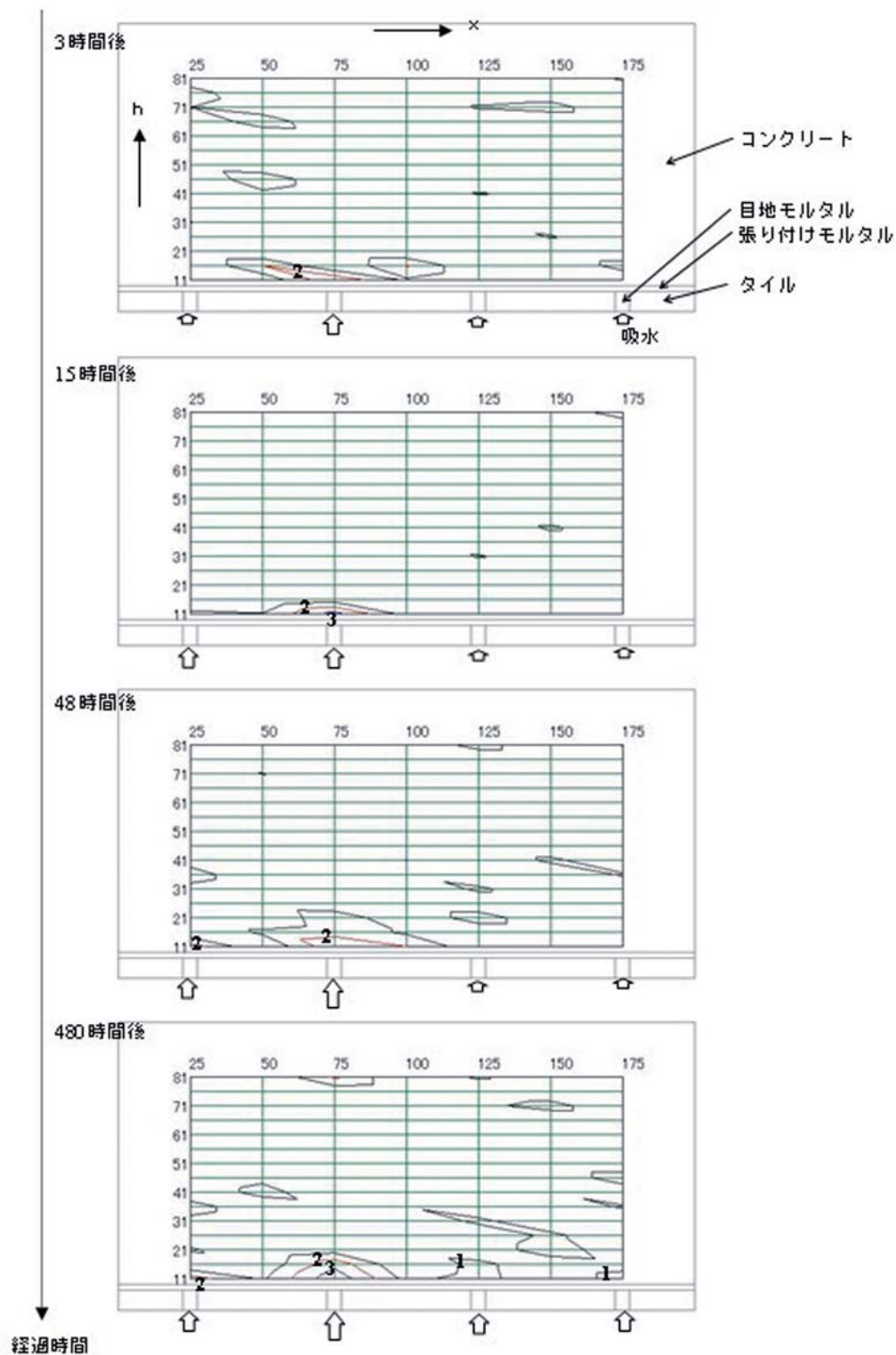


図-12 試験体No2の体積含水率の経時変化

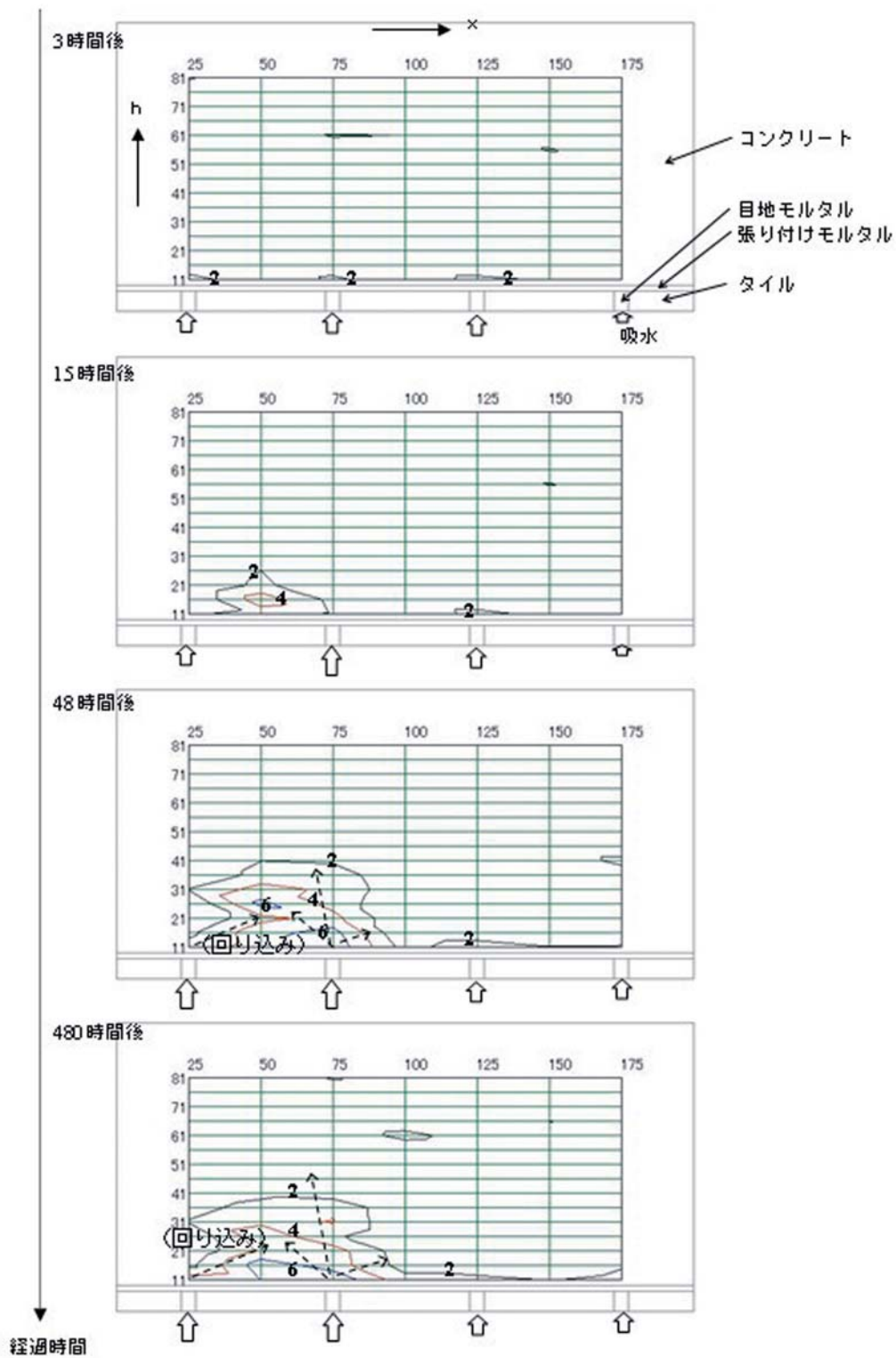


図-13 試験体No3の体積含水率の経時変化

[謝辞]

本研究に際し、ご指導いただいた京都大学大学院工学研究科の銚井教授と小椋助教、および γ 線含水率測定器の使用にあたり、ご協力いただいた京都大学工学部R I棟の関係各位の皆さまに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 恩村定幸、銚井修一、松下敬幸、小椋大輔、小南和也、安井義貴：強度の異なるコンクリートの熱湿気物性に関する研究 熱湿気物性の測定、日本建築学会環境系論文集 Vol.73 No.625、pp.299～306、2008
- 2) Kumaran, M. K., Bomberg, M. : A Gamma-Spectrometer for Determination of Density Distribution in Building Materials, Proceedings of the International Symposium on Moisture and Humidity, Washington D. C., 1985

