

報告 塗装下地の表層部に着目した含水状態の評価について

櫻庭 浩樹^{*1}・熊谷 慎祐^{*2}・佐々木 巖^{*3}・西崎 到^{*4}

要旨：塗装下地の表層部の含水状態は、表面被覆材の接着性に影響を及ぼす可能性があるため、表面被覆工法の施工管理項目として重要である。本研究では、現場で簡易に適用可能な塗装下地の含水状態の評価手法を検討し、含水状態管理の信頼性向上を目的として、液体の水・水蒸気に反応する変色紙（水分検知紙・塩化コバルト紙）、質量測定に基づいた吸湿量（ガーゼ・ろ紙）および水分計による水分値（静電容量式・電気抵抗式）の比較評価を行った。その結果、水分検知紙は下地表面における液体の水の有無を判定可能であった。また、ガーゼ・ろ紙による吸湿量は、電気抵抗式水分計の測定値と傾向が概ね一致した。

キーワード：表面被覆材、下地、表層部、含水状態、変色紙、吸湿量、水分量

1. はじめに

表面被覆工法は、コンクリート表面に遮蔽層を形成し、コンクリートへの劣化因子の浸入を抑制するものであり、コンクリート構造物の補修技術として一般的に用いられている。表面被覆工法による補修が機能するためには、表面被覆材の接着性の確保が重要であるが、塗装下地の表層部の含水状態によっては、表面被覆材の接着性が低下し^{1),2)}、補修効果が低下する可能性がある。したがって、表面被覆材の性能を発揮させるためには、施工の際に、塗装下地の表層部の含水状態を評価し、管理することが重要となる。

既往の研究において、雨水等の外部環境がコンクリート内部の含水状態に影響を及ぼす範囲は、「表面から数 cm」のオーダーであることが報告されている³⁾。よって、塗装下地の表層の定義として、「表面から数 cm」の範囲が考えられるが、本研究では、表面被覆材の接着性に着目するため、塗装下地の表層部を「表面から数 mm」の範囲と定義して検討を行った。

塗装下地の含水状態の評価手法として、図-1 に示すように、電気的方法と湿度（結露）による方法がある。現場で簡易に適用可能な方法としては、電気的方法の押当て式や湿度（結露）による方法の表面貼付け式がある。

電気的方法の押当て式には、静電容量（高周波）式および電気抵抗式的水分計による方法が用いられている。湿度（結露）による方法の表面貼付け式としては、不透湿シートによる方法^{4),5)}、変色紙による方法（水蒸気）⁶⁾、⁷⁾が報告されている。不透湿シートによる方法は、塗装下地の表面に不透湿シートを貼付け、そのシートの内面に結露水が生じるかを評価する経験的な方法ではあるが、施工の可否を判断する簡易な方法として有用である。変

色紙による方法（水蒸気）は、含水状態に応じて多段階に変色する紙を塗装下地の表面に貼付けて評価する方法である。既往の研究では、変色紙による評価と塗装下地の表層部（5mm）の質量含水率が対応することを報告している⁶⁾。表面被覆工は、表面被覆材の接着性を確保することが重要であるため、塗装下地の表層部の含水状態を簡易に評価する手法として、変色紙による方法（水蒸気）は有用であると考えられる。

一方、湿度（結露）による方法の表面貼付け式の内、変色紙による方法（液体の水）および質量測定による方法も、塗装下地の表層部の含水状態を評価する手法として有用と思われるが、これまでに報告がなされていない。塗装下地の含水状態管理の信頼性向上のためには、上述した方法の中から、施工環境や使用材料の性質に応じて適切なものを選択し、運用することが重要と考えられる。

本研究では、現場で簡易に適用可能な塗装下地の含水状態の評価手法を検討し、含水状態管理の信頼性向上を

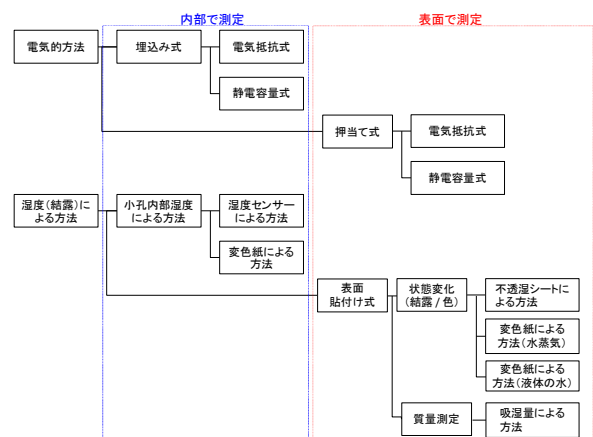


図-1 塗装下地の含水状態の評価手法

*1（国研）土木研究所 先端材料資源研究センター 研究員 博士(工学) (正会員)

*2（国研）土木研究所 先端材料資源研究センター 交流研究員 博士(工学) (正会員)

*3（国研）土木研究所 先端材料資源研究センター 主任研究員 博士(工学) (正会員)

*4（国研）土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員 博士(工学)

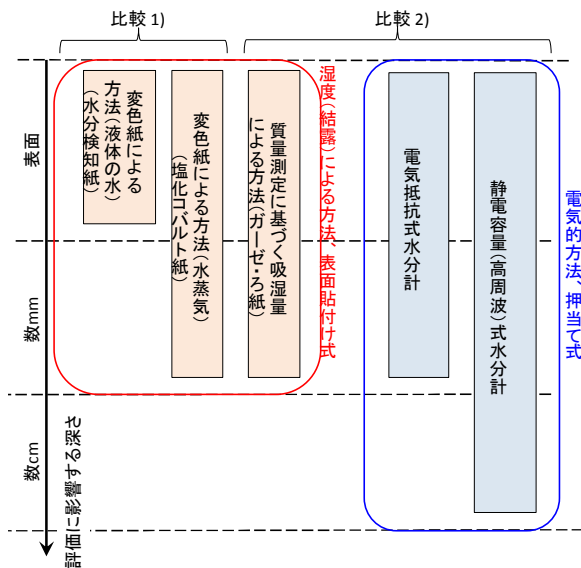


図-2 含水状態の評価に影響する深さの概念図

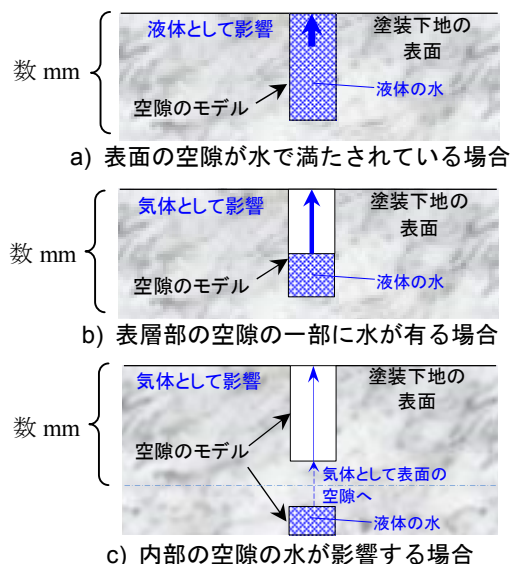


図-3 塗装下地の表層部における含水状態の概念図

目的として、液体の水・水蒸気に反応する変色紙（水分検知紙・塩化コバルト紙）、質量測定に基づいた吸湿量（ガーゼ・ろ紙）および水分計による水分値（静電容量式・電気抵抗式）の比較評価を行った。

2. 含水状態の評価方法の検討

2.1 概要

表面被覆材の接着性には、塗装下地の表層部の含水状態が影響すると考えられるため、塗装下地の表面から数 mm の範囲に着目して含水状態の評価を行う。図-2 は、含水状態の評価に影響する深さの概念図を示す。各方法で測定原理が異なるため^{4), 6)}、評価に影響する深さも変化すると考えられる。そこで、本研究では、評価に影響する深さを検討するため、次の 2 種類の比較を行った。

表-1 モルタルの配合と材料特性

W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m ³)			圧縮強度 (MPa)	吸水率 (%)
		水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)		
50	2.84	263	525	1490	46.7	7.4
75	2.17	394	525	1137	22.6	11.6

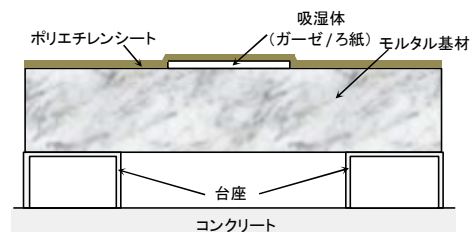


図-4 モルタル基材の支持状況およびガーゼ・ろ紙の設置方法

- 1) 水分検知紙による方法と塩化コバルト紙による方法の比較
- 2) ガーゼ・ろ紙を用いた吸湿量による方法と水分計による方法の比較

図-3 には、塗装下地の表層部における含水状態の概念図を示す。水分検知紙による方法は、図-3a)の状態を評価する方法であり、塗装下地の表面における液体の水の有無を判定している。また、ガーゼ・ろ紙の吸湿量による方法は、図-3a)~c)の状態を評価する方法で、表面の液体の水および空隙から放出される水蒸気を吸湿体に吸収させ、測定している。

2.2 モルタル基材

モルタル基材は、寸法 30×30×6cm に成形した。表-1 の配合で、水セメント比 50%モルタル基材の細骨材は、けい砂 4 号・7 号を質量比で 4:1 に混合したものを用い、水セメント比 75%モルタル基材の場合、けい砂 5 号・6 号・7 号を質量比で 1:1:2 に混合したものを用いた。本研究では、水セメント比 50%および 75%のモルタル基材を 2 枚ずつ使用し、それぞれを W/C50-1,2 および W/C75-1,2 として表す。また、JIS A 1171 に従って圧縮試験および吸水率試験を行った結果を表-1 に示す。

モルタル基材の評価面は打設面とし、評価面には研磨処理は施していない。モルタル基材は、7 日間水中浸漬させ、高含水状態とした。モルタル基材を水中浸漬から取り出し、ウェスを用いて評価面の表面水を取り除き、後述する各方法による評価を行った。モルタル基材は、図-4 に示すように設置し、モルタル基材を静置する環境は、15℃、25%RH であった。

2.3 変色紙による評価

変色紙による評価は、モルタル基材を水中浸漬から取

り出した直後 (0h), 30 分後 (0.5h), 1 時間後 (1h), 2 時間後 (2h), 3 時間後 (3h) に行い, 合計 5 回とした。

(1) 水分検知紙

水分検知紙は, 水に触れると図-5 に示すように赤点が生ずる (不可逆性) ようになっており, 電子機器の水没検知等を目的に使用されている。

本研究では, 図-5 に示すように, 寸法 $1\text{cm} \times 2\text{cm} \times 5.5\text{cm}$ のゴム (塩化ビニル樹脂製) の $1\text{cm} \times 2\text{cm}$ の面に水分検知紙を貼りつけたものをモルタル基材に押し付けることで水分の検知を行った。水分検知紙は, 当該の面に $0.5\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ のものを合計 8 枚貼り付けた。ゴムに水分検知紙を貼り付けたのは, モルタル基材表面の凹凸に追従させることおよび水分検知紙を押し付ける圧力をある程度制御するためである。本研究で採用したゴムの硬さを, JIS K 6253 で規定されるタイプ A デュロメータで測定した結果, デュロメータ硬さは 43 であった。

ゴムを押し付ける位置は, 図-6 に示す 3 箇所とし, 水分検知紙を貼り付けた面を計 3 回押し付けた。ゴムを押し付ける時間は, 1 回当たり 3 秒とした。評価は, 滲みが生じて変色したものを 1 (NG), 変化がないものを 0 (OK) とした。水分検知紙の評価には, W/C50-1,2 および W/C75-1,2 を使用した。

(2) 塩化コバルト紙

既往の研究⁶⁾を参考に, 幅 0.7cm , 長さ 7cm の塩化コバルト紙を幅 5cm , 長さ 10cm の透明なビニルテープの中央部に貼付け, 水分検知に用いた。塩化コバルト紙は, シリカゲルを入れた容器に保存し, 評価の直前に容器から取り出して使用した。塩化コバルト紙は, 乾燥状態および湿潤状態の際, それぞれ, 青色および赤色となる。湿潤状態である場合, 塩化コバルト紙は, 水および水蒸気と反応し, 赤く変色する。

塩化コバルト紙を貼り付けたビニルテープは, 図-7 に示すように, モルタル基材に 1 分間付着させた。ビニルテープがモルタル基材に付着しない場合は, 塩化コバルト紙が付着している部分を直接触れないように, モルタル基材に 1 分間押し付けた。

評価は, 色が赤になった場合を 1 (NG), 青色の場合を 0 (OK) とした。評価位置は, モルタル基材の中央部とした。なお, 測定時の環境では, 塩化コバルト紙を保存容器から取り出した後, 測定室に 1 分間静置しても変色しないことを確認した。塩化コバルト紙の評価には, W/C50-1,2 および W/C75-1,2 を使用した。

2.4 ガーゼ・ろ紙による吸湿量の測定

モルタル基材から放湿される水蒸気をガーゼもしくはろ紙に吸湿させ, その質量を測定した。吸湿時間は, 水中浸漬からモルタル基材を取り出し後, $0 \sim 0.5\text{h}$, $0.5 \sim 1\text{h}$, $1 \sim 2\text{h}$ および $2 \sim 3\text{h}$ とし, 質量を合計 4 回測定した。

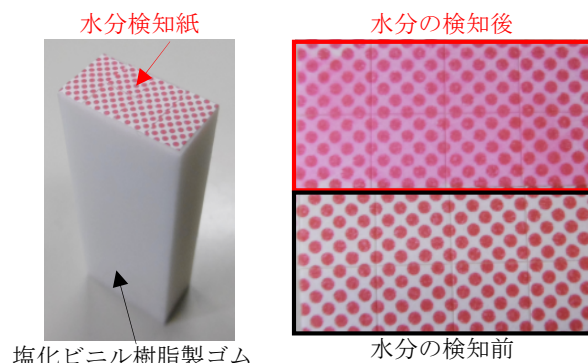


図-5 水分検知紙による方法

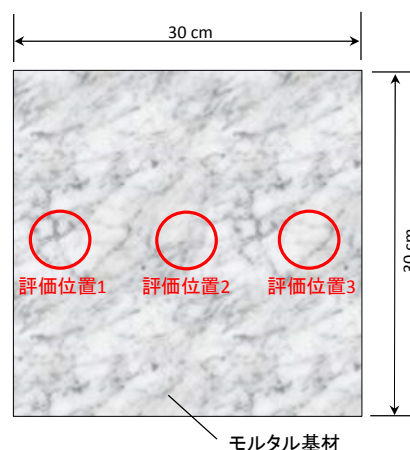


図-6 水分検知紙と水分計の評価位置

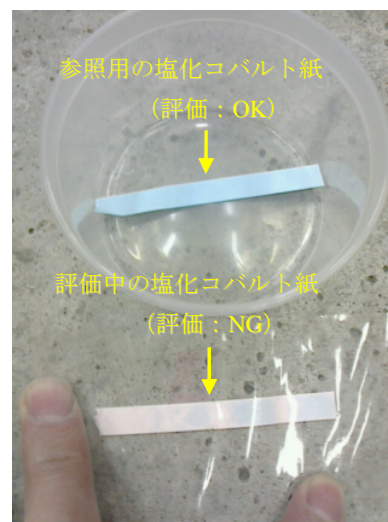
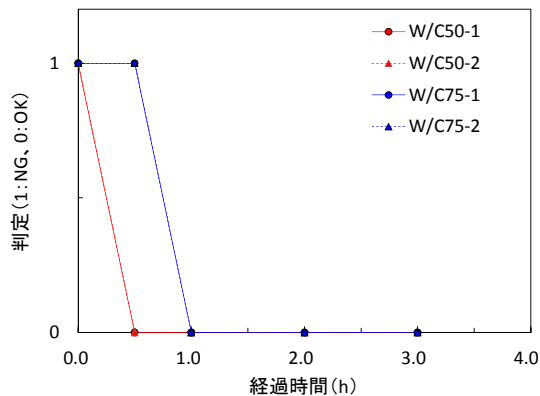
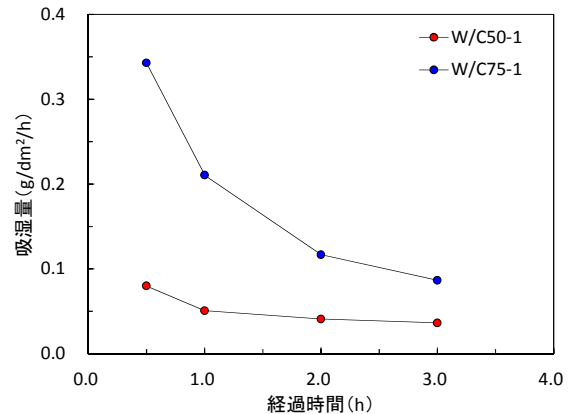


図-7 塩化コバルト紙による評価の実施状況

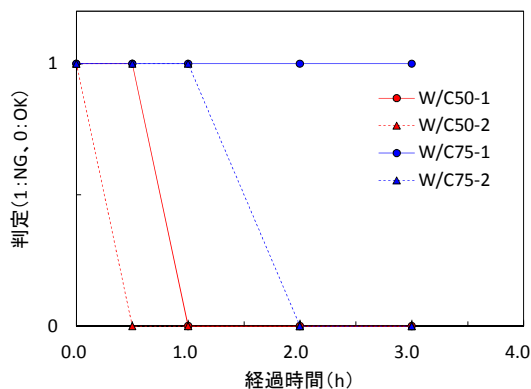
吸湿体は, 吸湿限界量を考慮し, 素材と単位面積質量の異なるガーゼ・ろ紙を選定した。ガーゼは, 寸法 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$, 単位面積質量 35g/m^2 のものを用いた。ろ紙 (定量ろ紙, 5 種 C) は, 直径 11cm , 単位面積質量 120g/m^2 のものを用いた。ガーゼ・ろ紙は, 測定の直前までシリカゲルを入れた容器に保存し, 測定前の吸湿を防いだ。W/C50-1 および W/C75-1 はガーゼを用いた測定, W/C50-2 および W/C75-2 はろ紙を用いた測定に使用した。



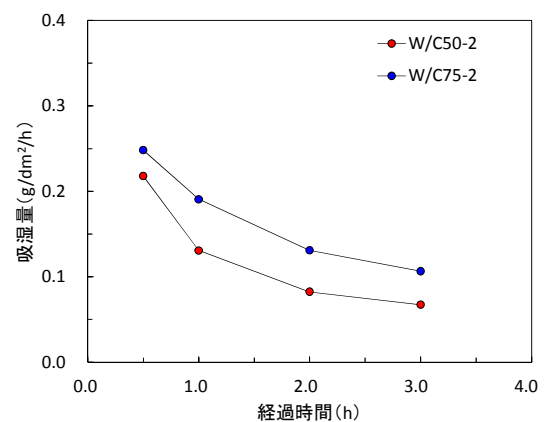
図－8 水分検知紙による評価結果



図－10 ガーゼの吸湿量



図－9 塩化コバルト紙による評価結果



図－11 ろ紙の吸湿量

ガーゼ・ろ紙は、モルタル基材の上面中央部に載せ、それらを 30cm×30cm のポリエチレンシートで覆った（図－4）。所定の時間経過後、ガーゼ・ろ紙の質量を測定し、質量増加量を算出した。測定中のポリエチレンシートの周りには、重しを置き、モルタル基材とポリエチレンシートの隙間からの放湿を防いだ。

吸湿量は、式(1)により求めた。

$$Q_i = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{A \cdot \sum_{i=1}^N T_i} \quad (1)$$

ここに、 Q_i ：ガーゼ/ろ紙の吸湿量（g/dm²/h）、 M_i ：質量増加量（g）、 T_i ：吸湿時間（h）、 A ：ガーゼ/ろ紙の面積（dm²）、 N ：測定回数、 i ： i 回目の測定

2.5 水分計による測定

水分計による測定は、変色紙による評価と同様に、0h、0.5h、1h、2h、3hに行い、合計5回とした。

水分計は、静電容量（高周波、20MHz）式と直流電気抵抗式の2種類とした。静電容量式は、電極間距離4cmのものを用いた。直流電気抵抗式の水分計のプロープは、押当て式ゴム電極のものとした。

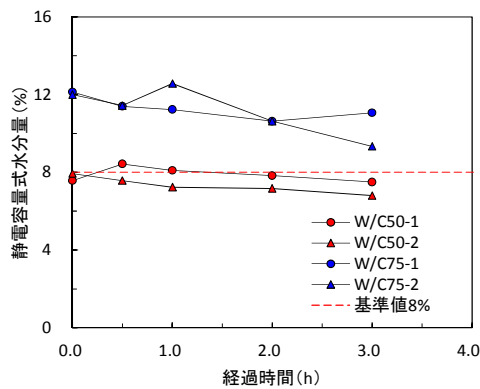
水分計の測定箇所は、図－6に示すように、モルタル基材の3か所とし、それらの平均値を算出した。水分計の設定は、測定対象がモルタルであること、および、測定温度を考慮したものとした。水分計による測定には、W/C50-1,2およびW/C75-1,2を使用した。

3. 含水状態の評価結果および考察

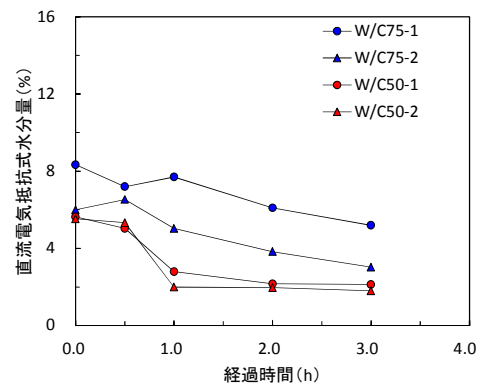
3.1 変色紙による評価

図－8に水分検知紙による評価結果を示す。W/C50-1,2の場合、水中浸漬から取り出し直後の0hで、1と判定されている。W/C75-1,2の場合は、0～0.5hで、1と判定された。水分検知紙は、液体の水に反応して変色（図－5）することから、水中浸漬から取り出し後0～0.5hでは、モルタル基材表面に液体の水が存在していたものと考えられる。W/C50-1,2の場合よりもW/C75-1,2の場合の方が1と判定される時間が長くなった原因は、W/C75-1,2は吸水率の大きい疎な組織構造となり、表面近傍において水で満たされた空隙が多かったためと推察される。

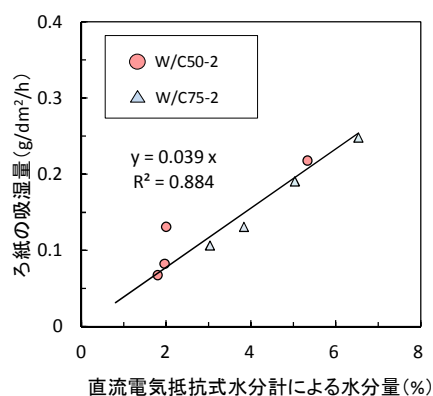
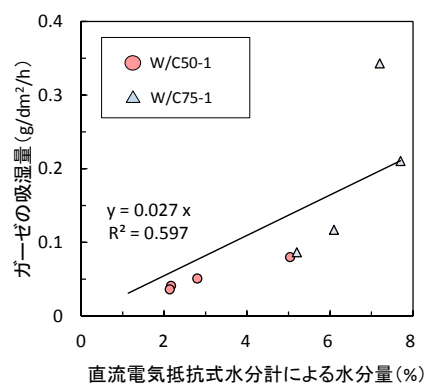
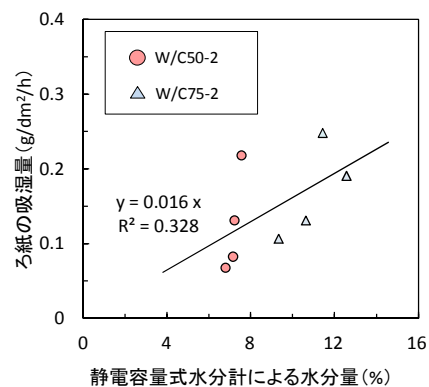
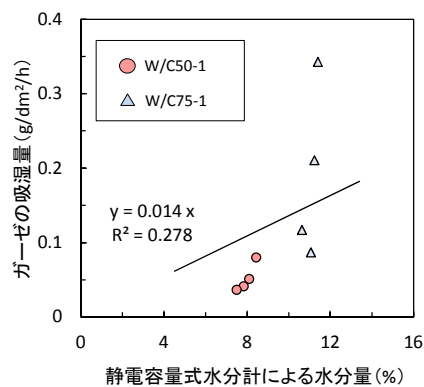
図－9に塩化コバルト紙による評価結果を示す。W/C50-1,2の場合、水中浸漬から取り出し後、0～0.5hで1と判定される結果となった。W/C75-1,2の場合、W/C75-1



図一12 静電容量式水分計による水分量



図一13 直流電気抵抗式水分計による水分量



図一14 ガーゼ・ろ紙の吸湿量と水分計による水分量の関係

は0～3.0h まで1と判定され、W/C75-2は、0～1.0h まで1と判定された。よって、塩化コバルト紙の場合、水分検知紙の場合よりも1と判定される時間が長い結果であった。これは、塩化コバルト紙は液体の水および水蒸気に反応して変色(図一7)することから、モルタル基材表面の液体の水が蒸発した後は水蒸気を吸湿し、塩化コバルト紙が変色したためと考えられる。

3.2 ガーゼ・ろ紙による吸湿量

図一10および図一11は、それぞれ、ガーゼおよびろ紙による吸湿量の測定結果を示す。

ガーゼの吸湿量の場合、時間の経過と共に吸湿量が小さくなる傾向が確認される。W/C50-1およびW/C75-1は、それぞれ、0.036 から 0.080 g/dm²/h の範囲および 0.087

から 0.343 g/dm²/h の範囲となり、W/C75-1の方が吸湿量は高い結果となった。

ろ紙による吸湿量の場合、ガーゼの場合と同様に、時間の経過と共に吸湿量が小さくなる傾向が確認される。W/C50-2およびW/C75-2は、それぞれ、0.067 から 0.218 g/dm²/h の範囲および 0.101 から 0.248 g/dm²/h の範囲となり、W/C75-2の方が吸湿量は高い結果となった。

以上より、ガーゼ・ろ紙のいずれの場合も、モルタル基材を水中浸漬から取り出し後、時間の経過と共に吸湿量が低下し、モルタル基材が乾燥していく過程を数値化できた。また、両方の場合で、モルタル基材の水セメント比が大きい方が、ガーゼ・ろ紙の吸湿量が大きくなる傾向が認められた。これは、W/C75-1,2の方が吸水率は

大きい（表－1）、モルタル基材の保水量が増加し、ガーゼ・ろ紙に吸収される液体の水および水蒸気が増加したためと考えられる。

3.3 水分計による水分量

図－12 および図－13 は、それぞれ、静電容量式水分計および直流電気抵抗式水分計による水分量を示す。図－12 には、国内で使用されている静電容量式水分計による水分量の基準値の一例⁸⁾も示す。

静電容量式水分計の場合、水中浸漬から取り出し後の経時変化は、1～3%の範囲である。また、W/C75-1,2 の場合は、3 時間経過後も、基準値 8%を上回っている。

直流電気抵抗式水分計の場合、水中浸漬から取り出し後の経時変化は、3～4%の範囲である。また、静電容量式水分計の場合と比較し、水中浸漬から取り出し後に水分量が低下する傾向がある。

本測定条件では、静電容量式水分計と直流電気抵抗式水分計の水分量は、経時変化の傾向が異なることが確認された。これは、含水状態の評価に影響する深さが異なるためと考えられる。すなわち、直流電気抵抗式水分計は電極を押し当てた表層部を測定しているのに対し⁹⁾、静電容量式水分計は直流電気抵抗式水分計の場合よりも内部（電極間距離が 4cm の場合は深さ 4cm 程度まで¹⁰⁾）を含めて測定していることが原因として考えられる。

3.4 ガーゼ・ろ紙の吸湿量と水分計による水分量の関係

図－14 は、ガーゼもしくはろ紙の吸湿量と水分計による水分量の関係を示す。また、近似直線と決定係数も合わせて示す。静電容量式水分計による水分量の場合、ガーゼ・ろ紙の吸湿量の変化に対し、水分量の変化が少ない傾向があり、決定係数は 0.3 程度である。一方、直流電気抵抗式水分計の場合、静電容量式水分計の場合と比較して決定係数が大きく、ガーゼ・ろ紙の場合でそれぞれ、0.6 および 0.9 程度である。

本測定条件の限りでは、ガーゼ・ろ紙の吸湿量は、直流電気抵抗式水分計による水分量と概ね対応することが確認された。直流電気抵抗式水分計は、電極を押し当てた表層部を測定するものであることから、吸湿量による方法はモルタル基材の表層部の含水状態を評価しているものと推察される。静電容量式および直流電気抵抗式水分計は、評価に影響する深さを考慮した使い分けが必要と思われる。

4. まとめ

本研究では、現場で簡易に適用可能な含水状態の評価手法を検討し、含水状態管理の信頼性向上を目的として、水分検知紙・塩化コバルト紙、ガーゼ・ろ紙を用いた吸湿量および静電容量式・電気抵抗式水分計の水分量の比較評価を行った。これらの方法を施工環境や使用材料の

性質に合わせて選択し、塗装下地の表層部の含水状態を管理、記録することが重要と考える。以下に本研究のまとめを示す。

- (1) 水分検知紙による評価は、塗装下地の表面に存在する液体の水の有無を判定できる。
- (2) ガーゼ・ろ紙による方法は、塗装下地を水中浸漬から取り出した後、時間経過と共に塗装下地が乾燥する過程を測定できることを見出した。
- (3) ガーゼ・ろ紙を用いて吸湿量の測定を行った結果、直流電気抵抗式水分計による測定結果と傾向が概ね一致した。

参考文献

- 1) 佐々木巖，西崎到：コンクリート表面被覆工の付着不具合要因と施工管理項目について，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，pp.1882-1887，2014.7
- 2) 湯浅昇，笠井芳夫，松井勇，逸見義男：エポキシ樹脂系仕上材を施工したコンクリートの含水率，細孔構造及び仕上材の接着性，コンクリート工学年次論文集，Vol.17，pp.695-700，1995.7
- 3) 玉井譲，上田洋：外部環境がコンクリート構造物の内部の含水状態に与える影響，土木学会年次学術講演会，5-215，pp.427-428，2009.9
- 4) 笠井芳夫：コンクリート総覧，技術書院，pp.689-693，1998.6
- 5) European committee for standardization: BS EN 1504-10 2003, Site application of products and systems and quality control of the works, pp.55-56, 2003
- 6) 湯浅昇，笠井芳夫，松井勇，逸見義男，佐藤弘和：乾燥度試験紙によるコンクリートの含水状態の評価，日本建築士学会論文報告集，第 5 巻，第 1 号，pp.1-6，1998.3
- 7) 三浦勇雄，板谷俊郎，袴谷秀幸：発色紙によるコンクリートの湿度および含水率測定方法に関する研究－塗床材の施工時期の判定方法－，戸田建設技術研究報告，第 33 号，No.11，pp.1-6，2007
- 8) 東日本構造道路株式会社，中日本構造道路株式会社，西日本構造道路株式会社：構造物施工管理要領，高速道路総合技術研究所，pp.3-41，2013.7
- 9) 上村武：誘電率による木材含水率の測定に関する基礎的研究，森林総合研究所研究報告，No.119，pp.95-167，1960.1
- 10) 沓掛文夫，湯浅昇，美田町雅弘，結城英恭：押し当て高周波容量式水分計の表示値の意味に関する実験検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.1233-1234，2013.