

論文 仕上げ方法がコンクリートの乾燥収縮および中性化に及ぼす影響

樋口 優香*1・寺西 浩司*2・堀 淳一*3

要旨:本研究では、多くの種類の仕上材を用いて、仕上げ方法がコンクリートの乾燥収縮ひずみおよび中性化深さに及ぼす影響を調べた。その結果、少なくとも仕上げ後 1 年間までの範囲では、仕上げを施すことでコンクリートの乾燥収縮ひずみが小さくなり、特に、防水形の仕上塗材やタイルを用いた場合に、明確な収縮低減効果が見られることがわかった。また、これとほぼ同様のことがコンクリートの中性化に対してもいえることがわかった。さらに、コンクリートの乾燥収縮ひずみおよび中性化深さに対しては、仕上材の透湿度が直接的な影響を及ぼすとの知見が得られた。

キーワード: 塗材, タイル, 質量減少率, 透湿度, 中性化, 透気係数

1. はじめに

これまで、コンクリートの乾燥収縮に関する研究が精力的に行われてきたが、その大部分は、コンクリートの材料性質としての乾燥収縮に関する研究であったといえる。一方で、建築物に使用されるコンクリートには、ほとんどの場合、何らかの仕上げが施されている。乾燥収縮は、コンクリートからの水分の逸散によって生じる現象である。そのため、仕上げを施すと水分逸散量が減少し、コンクリートの乾燥収縮は抑制されるものと考えられる。しかし、このような観点からの研究は、今本¹⁾、長谷川ら²⁾によって報告されているのみであり、未だ少ないのが現状である。そこで、本研究では、多くの種類の仕上材に着目し、それらがコンクリートの乾燥収縮に与える影響について検討した。

また、通常の建築工事では、仕上げはコンクリート打設から約 1 ヶ月後に行われるが、その間に乾燥収縮ひずみは大きく進行する。このことから、仕上げを早期に行えば、乾燥収縮をより低減できるものと考えて、仕上げを施す時期がコンクリートの乾燥収縮ひずみに与える影響についても併せて検討を行った。

このほかに、一般に、仕上げによりコンクリートの中性化が抑制されるといわれているため^{3),4)}、本研究においても、乾燥収縮試験が終了して仕上げ後 1 年間経過した供試体を用いて、コンクリートの促進中性化試験を行った。そして、最後に、以上の乾燥収縮および中性化に関する試験結果と、仕上材の透湿度やコンクリートの透気係数などとの関係について検討した。

2. 実験概要

2.1 実験ケース

表-1 に実験ケースを示す。仕上材の種類は、JIS A

6909 に規定された汎用的な塗材 5 種類、浸透性吸水防止材、ならびに外装および内装タイルとした。また、比較のために、供試体の全面にアルミテープを巻き付けてコンクリートからの水分逸散を完全に遮断したケースと、仕上げなしのケースも用意した。

仕上げの時期は、原則として材齢 5 週(標準的な時期)としたが、一部のケースでは、材齢 1 週(乾燥収縮が進行する前の時期)とした場合に対しても実験を行った。

2.2 供試体の作製

図-1 に示すスケジュールで供試体を作製した。

(1) コンクリート

表-2 にコンクリートの調合を示す。骨材には、閃緑岩の砕石 2005 (表乾密度 2.73g/cm³, 吸水率 0.76%) および砕砂 (表乾密度 2.68g/cm³, 吸水率 1.81%) を使用し、セメントには普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm³)

表-1 実験ケース

記号	仕上げ材齢	仕上材の種類	仕上げ工程*
Pwm	5 週	防水形複層塗材 E	下→基層×2 回 →模様→上×2 回
Pfm		可とう形複層塗材 CE	基層→模様→上×2 回
Pm		複層塗材 E	下→主材→上×2 回
Pwt		防水形外装薄塗材 E	下→基層→模様
Pt		外装薄塗材 E	上×2 回
Pr		浸透性吸水防止材	2~3 回
Te		外装タイル	吸水調整→下地→ タイル張り→目地詰め
Ti		内装タイル	下地→タイル張り →目地詰め
A		アルミテープ	—
Pwt1		1 週	防水形外装薄塗材 E
AI	アルミテープ		—
N	(仕上げなし)		—

*下: 下塗り, 主材: 主材塗り, 基層: 基層塗り(主材塗り), 模様: 模様塗り(主材塗り), 上: 上塗り

*1 名城大学大学院 理工学研究科建築学専攻 大学院生 (正会員)

*2 名城大学 理工学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

*3 菊水化学工業 (株) 技術開発本部 (正会員)

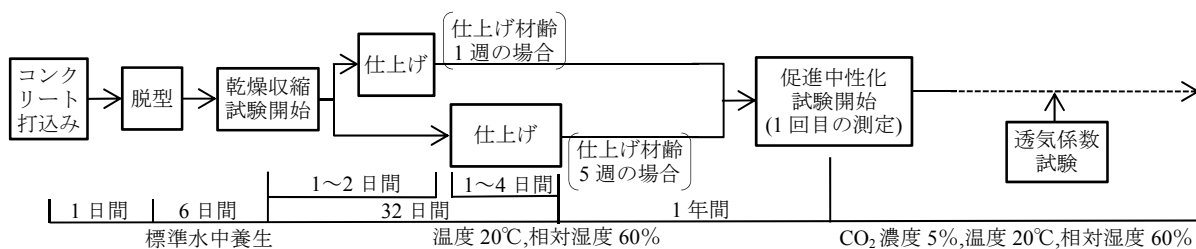


図-1 供試体作製および試験スケジュール

を用いた。本実験では、すべての供試体の分のコンクリートを一度に練り混ぜ、乾燥収縮試験と促進中性化試験に共通で用いる角柱供試体(10×10×40cm)を1ケースにつき3本ずつ作製した。その後、これらの供試体を材齢1週まで標準水中養生した。

(2) 仕上げ

表-1 中に仕上げ工程を示す。仕上げにあたっては、まず、供試体の両端面に水分逸散を防ぐためのアルミテープを貼り付けた。その後、メーカーが定めた塗布量・工程に準じて供試体の4つの側面に仕上げを施した。また、タイル仕上げは表-3に概要を示す通りとした。

なお、仕上材の種類によって仕上げに要する期間に1~4日間と幅があるため、仕上げ材齢5週のケースでは、仕上げ工程の終了日がすべてのケースで同一となるように日程を調整した。また、仕上げ材齢1週のケース Pwt1 では、水槽から取り出した後に少し時間を置き、コンクリート表面が乾いていることを確認してから下塗りを開始した。

2.3 試験方法

(1) コンクリートに対する試験

(a) 乾燥収縮試験

図-1 中に示したスケジュールに従って、JIS A 1129-3 に準拠し、恒温恒湿室(温度 20°C, 相対湿度 60%)で乾燥収縮試験を行った。試験に際しては、角柱供試体と同様の仕上げを片面に施した厚さ 4mm のフレキシブル板(JIS A 5430 : F 規格品)を用いて仕上げ面のみの質量減少量を別途測定し、その分を差し引いて供試体のコンクリート部分のみの質量減少率を求めた。

(b) 促進中性化試験

仕上げ後1年間経過して乾燥収縮試験を終えた供試体の中性化深さを測定し、その後、前養生などは行わずに直ちに促進中性化試験を開始した。試験手順などは原則として JIS A 1153 に準じたが、本実験では、図-2 に示すように、供試体の4側面すべてを試験面とした。また、測定位置を1側面当たり3箇所とし、計12箇所の測定値の平均をその供試体における中性化深さとした。

(c) 透気係数試験

促進中性化試験中(促進期間6~10週)の角柱供試体

表-2 コンクリートの割合

水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積(l/m ³)			AE 減水剤 (C×%)
					セメント	粗骨材	細骨材	
55	18	4.5	47.9	185	106	318	346	0.57

表-3 タイル仕上げの概要

材料		外装タイル	内装タイル
タイル	寸法 (mm)	95×45×7	97.7×97.7×5
	素地	I類, 施釉	III類, 施釉
タイル張付け材料	張付け材	張付けモルタル (セメント: 珪砂=1:1)	接着剤 (アクリル樹脂)
	目地材	目地モルタル	内装用目地材 (ドロマイト プラスター)
	目地幅 (mm)	5	3

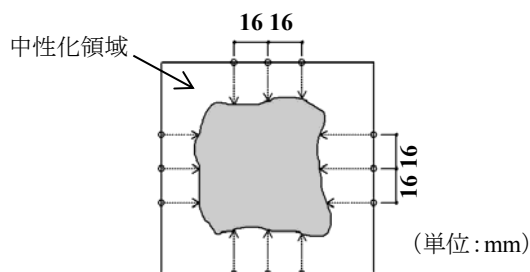


図-2 促進中性化試験における中性化深さの測定位置

に対して、ダブルチャンバー法(トレント法)により、仕上げを施したコンクリートの見掛けの透気係数を測定した。

(2) 仕上材に対する試験

(a) 透水性試験

JIS A 6909 の透水性試験 B に準拠して仕上材の透水性試験を行った。ただし、試験は JIS と異なり仕上げ後 70 日の時点で行った。

(b) 透湿性試験

すべての仕上材に対して、ASTM C 355-64 に準拠して透湿性試験を行った。ただし、試験装置は規格に合うように自作した。

3. 実験結果

3.1 乾燥収縮試験の結果

(1) 乾燥収縮ひずみおよび質量減少率

図-3 に、一部のケースの乾燥収縮ひずみおよび質量減少率を示す（ケース A では、試験の最後の測定時に、アルミテープで形成されたシール面に欠損部が発見されたため、図中にそのデータを載せていない）。ケース A の場合、アルミテープを巻き付けた後は、水分逸散がほとんどなく、乾燥収縮ひずみが一定となっている。一方、仕上げを施したケースの一つである Pwt の場合、乾燥収縮ひずみは、ケース A と仕上げなしのケース N の間の値

となっている。

また、Pwt と Pwt1 の比較から、仕上げを施す時期を早めれば、乾燥期間 100 日前後の時点で乾燥収縮ひずみを 200×10^{-6} 程度低減できることがわかる。ただし、低減量は、乾燥期間 400 日前後の時点では 130×10^{-6} 程度まで縮小しており、時間が経過すると、徐々に小さくなっていくものと考えられる。

(2) 仕上げ後の乾燥収縮ひずみおよび質量減少率

図-4 に、仕上げ材齢 5 週のケースにおける仕上げ後の乾燥収縮ひずみの経時変化を示し、また、図-5 に、仕上げ後の乾燥収縮ひずみの比較を示す（仕上げ後 91

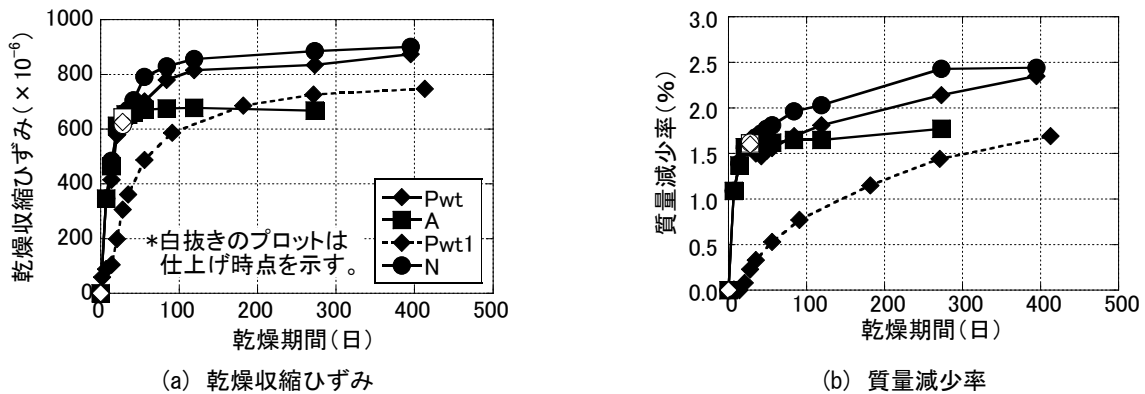


図-3 乾燥収縮試験結果

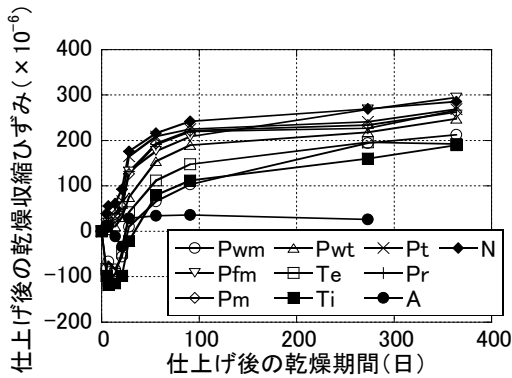


図-4 仕上げ後の乾燥収縮ひずみの経時変化

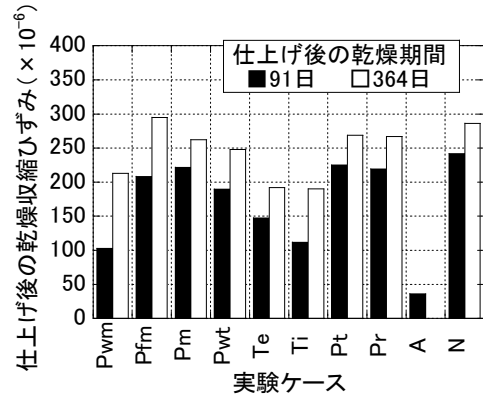


図-5 仕上げ後の乾燥収縮ひずみ

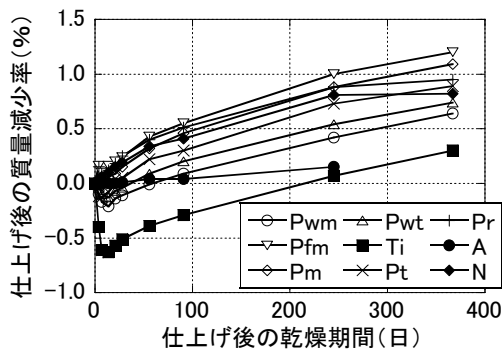


図-6 仕上げ後の質量減少率の経時変化

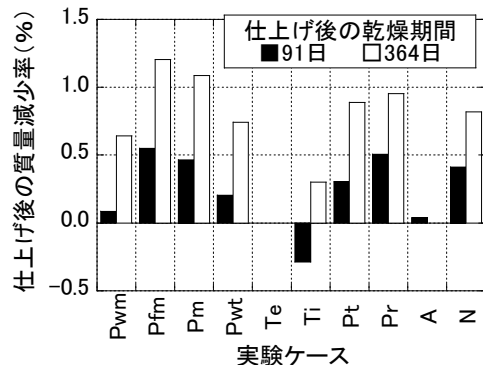


図-7 仕上げ後の質量減少率

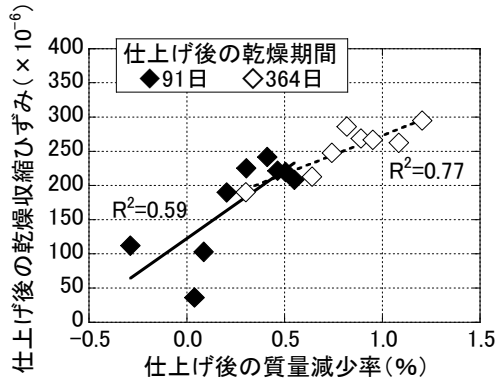


図-8 乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係

日および364日)。ケースNとの比較から、仕上げを施すことでコンクリートの乾燥収縮ひずみが低減されることがわかる。特に、防水形の仕上塗材（ケースPwmおよびPwt）やタイル仕上げ（ケースTeおよびTi）では明確な収縮低減効果が見られた。ただし、仕上げを施したケース（ケースAを除く）とケースNとの乾燥収縮ひずみの差は、仕上げ後91日より364日の時点の方が全体として小さくなっている。したがって、さらに乾燥期間が長くなれば、長谷川ら²⁾も指摘しているように、仕上げによる乾燥収縮低減効果がより小さくなることも考えられる。

図-6に、仕上げ材齢5週のケースにおける仕上げ後の質量減少率の経時変化を示し、また、図-7に、仕上げ後の質量減少率の比較を示す（仕上げ後91日および364日）。外装タイル（ケースTe）の場合は、仕上げ面のみからの質量減少量を測定するためのフレキシブル板の試験片を作製することが困難であったため、角柱供試体の質量減少率を取得することができなかった。

(3) 乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係

図-8に、仕上げ後の乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係を示す。仕上げ後91日および364日のどちらの時点においても、両者の間に相関が見られることから、仕上げによりコンクリートからの水分逸散が抑制された結果として乾燥収縮ひずみが低減されたことがわかる。

3.2 促進中性化試験の結果

図-9に促進中性化試験の結果を示し、図-10に中性化速度係数を示す。ここで、中性化速度係数の値は、図-9中に示した各データに対する回帰直線の傾きとして求めたものである。

図-9によると、外装薄塗材E（ケースPt）および浸透性吸水防止材（ケースPr）の場合は、ケースNと同様に、促進期間0週の時点で中性化深さがある程度の値となっている。すなわち、仕上げ後364日までの乾燥収縮試験期間中に既に中性化が進んでいる。また、促進期間

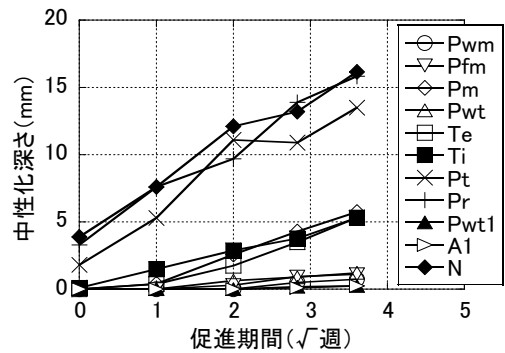


図-9 促進中性化試験結果

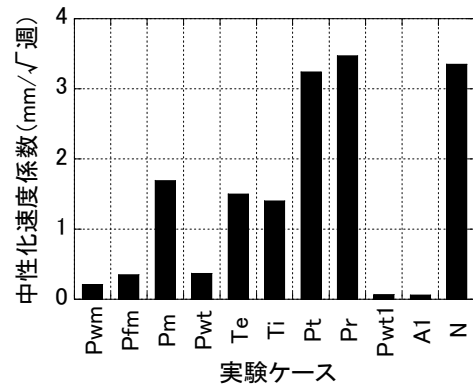


図-10 中性化速度係数

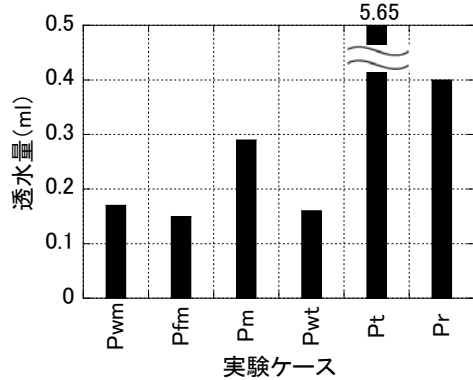


図-11 透水性試験の結果

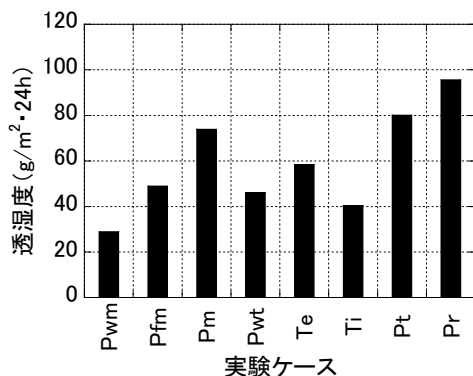


図-12 透湿性試験の結果

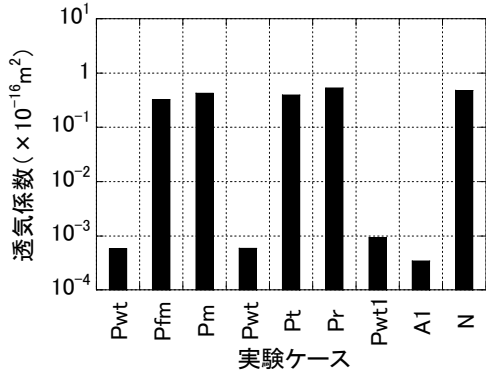


図-13 透気係数試験の結果

13週では、ケースNと同程度の中性化深さとなっている。このことから、この2種類の仕上材には中性化抑制効果がほとんどないといえる。一方、促進期間13週の時点で中性化抑制効果が最も高かったのは、材齢5週で仕上げを施したケースの中では、防水形複層塗材E(ケースPwm)であった。

なお、図-10からわかるように、仕上げ材齢を変化させたPwtとPwt1のケースでは、材齢1週で仕上げを施したPwt1の方が中性化抑制効果がやや高いという結果となった。これは、Pwt1では、標準水中養生終了後に直ちに仕上げを施したため、供試体表層が十分に養生され、コンクリート組織が密実になったためと考えられる。

3.3 仕上材に対する試験および透気係数試験の結果

図-11および図-12に、仕上材の透水性および透湿性試験の結果を示し、また、図-13に、コンクリートの透気係数試験の結果を示す。なお、タイル仕上げ(ケースTeおよびTi)の場合は、目地部分からの透水および透気により、透水量および透気係数を測定できなかった。

図-14に、透気係数と透湿度との関係を示す。同図からわかるように、両者の間には高い相関が見られ、仕上材の透湿度が大きいほど、コンクリートの透気係数が大きく測定される傾向となっている。このことから、コンクリートの透気係数をトレント法で測定することによって、そのコンクリートに施された仕上材の透湿度をある程度評価することができるといえる。

4. 乾燥収縮および中性化と仕上材の特性の関係

図-15~17に、コンクリートの仕上げ後の乾燥収縮ひずみと仕上材の透水量・透湿度およびコンクリートの透気係数の関係を示す。乾燥収縮ひずみには、透水量よりも透湿度および透気係数との間に高い相関が見られた。また、図-16によると、コンクリートの乾燥収縮ひずみは仕上材の透湿度が大きいほど大きくなっており、特に、乾燥収縮が未だ進行途中である、仕上げ後91日の時点で、両者の間に明確な関係性が認められる。このことよ

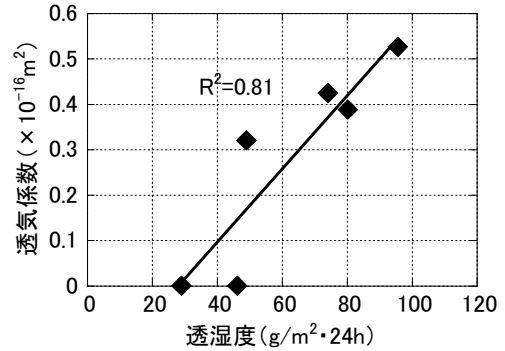


図-14 透気係数と透湿度の関係

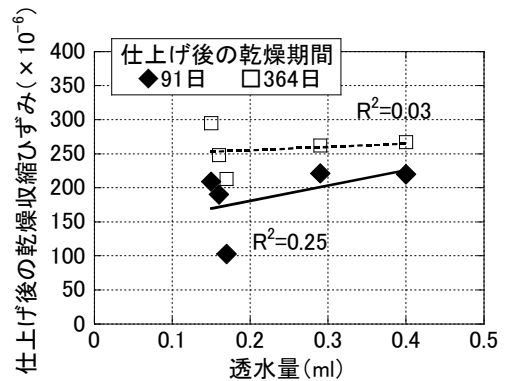


図-15 仕上げ後の乾燥収縮ひずみと透水量の関係

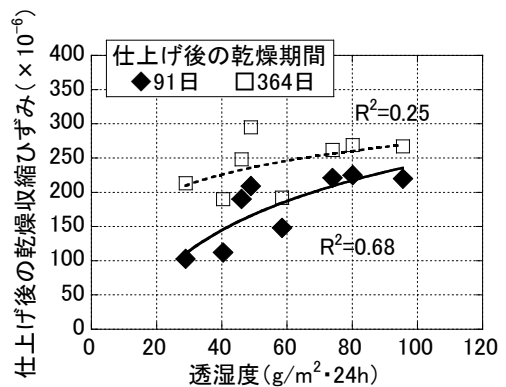


図-16 仕上げ後の乾燥収縮ひずみと透湿度の関係

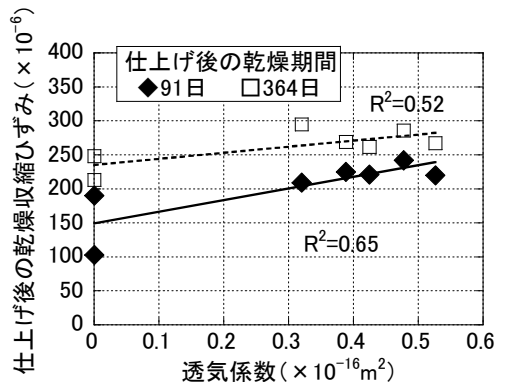


図-17 仕上げ後の乾燥収縮ひずみと透気係数の関係

り、乾燥収縮ひずみに対しては、仕上材の透湿度が支配的な影響を及ぼすといえる。また、前述したように、透湿度と透気係数の間に相関が見られることから、図-17に示したように、仕上げを施したコンクリートの乾燥収縮ひずみは、透気係数の測定によってもある程度把握することが可能であるといえる。

図-18および図-19に、コンクリートの中性化速度係数と仕上材の透湿度およびコンクリートの透気係数の関係を示す。図-18からわかるように、コンクリートの中性化速度係数と仕上材の透湿度との間には高い相関が見られ、両者の間にこのような関係性があることは、長谷川ら⁵⁾の実験によってもある程度示されている。また、図-19からわかるように、コンクリートの中性化速度係数と透気係数の間にも相関が見られ、これと同様の実験結果は唐沢ら⁶⁾によっても報告されている。ただし、コンクリートの中性化に対しては、本質的には、仕上材の透湿度が直接的な影響を及ぼすものと考えられる。

5.まとめ

本研究では、多くの種類の仕上材を用いて、仕上げ方法がコンクリートの乾燥収縮および中性化に及ぼす影響を調べるための実験を行った。そして、その結果と仕上材の透湿度やコンクリートの透気係数などとの関係を検討した。本研究により得られた知見は、以下の通りである。

- (1) 少なくとも仕上げ後1年間までの範囲では、仕上げを施すことでコンクリートの乾燥収縮ひずみは小さくなる。特に、防水形の仕上塗材やタイルを用いた場合には、明確な収縮低減効果が見られる。
- (2) 早期に仕上げを施すと、コンクリートの乾燥収縮ひずみをさらに低減することができる。
- (3) 仕上げを施したコンクリートの乾燥収縮ひずみおよび中性化深さに対しては、仕上材の透湿度が直接的な影響を及ぼす。
- (4) コンクリートの透気係数をトレント法で測定することにより、そのコンクリートに施された仕上材の透湿度をある程度評価することができる。したがって、上記(3)に示した関係は、透気係数の測定によっても把握することが可能である。

参考文献

- 1) 今本啓一：表面仕上げを施したコンクリートの乾燥収縮性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.471-476，2004.7

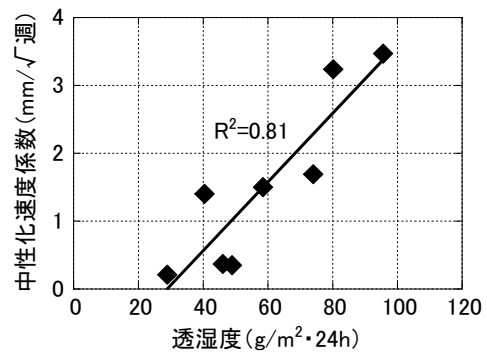


図-18 中性化速度係数と透湿度の関係

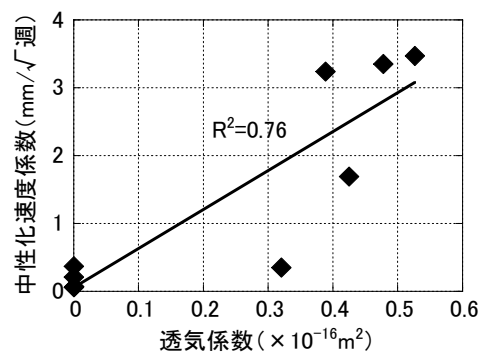


図-19 中性化速度係数と透気係数の関係

- 2) 長谷川拓哉，千歩修：乾燥開始後 50 ヶ月のデータに基づく仕上塗材・表面改質材を施工したコンクリートの乾燥収縮性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.449-454，2011.7
- 3) 和泉意登志，押田文雄：経年建築物におけるコンクリートの中性化と鉄筋の腐食，日本建築学会構造系論文報告集，No.406，pp.1-12，1989.12
- 4) 千歩修，馬場明生，小俣一夫，松島泰幸：コンクリートの外装仕上げ材料の躯体保護効果（水分移動性状と中性化抑制効果），日本建築学会大会学術講演梗概集，A，pp.159-160，1990.9
- 5) 長谷川拓哉，千歩修，大久保孝昭，古賀純子：建築用仕上塗材の中性化抑制効果に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.609，pp.23-30，2006.11
- 6) 唐沢智之，古賀一八，浦川和也，河野政典：仕上塗材の中性化抑制効果と透気性に関する考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，pp.645-650，2008.7