仕上げ材を施すコンクリート床スラブの含水率, 細孔構造

MOISTURE CONTENT AND POROSITY OF SUBSTRATE CONCRETE FLOOR SLABS
FOR FINISHING MATERIALS

湯浅 昇*, 笠井芳夫**, 松井 勇**, 逸見義男***, 佐藤弘和****

Noboru YUASA, Yoshio KASAI, Isamu MATSUI,

Yoshio HENMI and Hirokazu SATOH

Pore structure and moisture content of concrete slabs with different water-cement ratio and drying conditions were studied to find the appropriate curing conditions for floor finishings.

Decrease of moisture content of concrete within 2.5 cm from the drying surface was conspicuous and a portion 0.5 cm below the surface reached 2.5% within 14 days whereas a portion deeper than 7.5 cm was almost unchanged after the self desiccation was matured.

The densification of pore structure owing to the hydration of cement was possible when a finishing was applied at the age of 1 day, whereas no densification was observed leaving coarse pores due to an insufficient hydration when a finishing was applied after 3 days.

In order to solve an incompatibility for a concrete slab to assure sufficient hydration for strength and durability and sufficient drying as a substratum of finishings, it is recommended to have a moist curing for 7 days after placing followed by a drying.

Keywords: Concrete slab, Finishing, Drying, Curing, Moisture content, Porosity

コンクリートスラブ, 仕上げ材, 乾燥, 養生, 含水率, 細孔構造

1. はじめに

構造体コンクリートは、乾燥を受けるとコンクリート表層部から含水率が低下する。若材齢で乾燥を受ければ、セメントの水和は阻害され、表層部のコンクリートほど細孔構造は粗いまま残存する¹⁾。打設直後から乾燥を受けることの多い床スラブ（以下ここでは単にスラブと表現する）は、他の部材に比べ、この現象が顕著に生じると予想される。また、このコンクリートに仕上げ材を施工すると、表面からの乾燥が緩慢となるか、または停止する。これに伴い、コンクリート内に水（水蒸気）の再拡散（再配分）が起こり、再び水和が進行することも考えられる。

コンクリートスラブに施した防水層や各種床材にみられる剥離、ふくれ、変質等の劣化現象は、コンクリートスラブの品質と深いかかり合いがあると考えられており²⁾⁻⁹⁾、スラブの品質を工学的に理解することは重要である。しかしながらコンクリートの含水率測定¹⁰⁾⁻¹⁴⁾は多少あるものの、コンクリートスラブの品質が十分理解されていないのが現状である。コンクリートスラブは、他の部材とともに構造上及び、耐久性の観点から、JASS5によって初期湿潤養生が規定¹⁵⁾されている。一方、仕上げ材の下地としてJASS8¹⁶⁾、合成高分子系床仕上げ施工指針・同解説¹⁷⁾及びJASS26¹⁸⁾では、コンクリートは「十分に乾燥していること」

が要求されている。これらの規定の中では、湿潤養生の必要性は漠然としか論じられていないこともあり、ややもするとコンクリート表面を乾燥することに重点が置かれることが多いのが現状である。

そこで本研究は、仕上げ材を施すコンクリートスラブについて、構造体及び仕上げ材の下地としての両面からコンクリートの含水率、細孔構造を観察し、仕上げ材を施工するコンクリートスラブの適正な養生の指針を得ようとするものである。コンクリートの含水率は、仕上げ材を施工する打設面からの深さに応じて、あらかじめ筆者らが開発したセラミックセンサ¹⁹⁾を埋め込み測定した。また、細孔構造は、打設面からの深さに応じてコンクリート試料を採取し、これを用いて水銀圧入法により測定した。

2. 打設直後より乾燥を受け、その後不透湿な仕上げ材を施工した
コンクリートスラブの含水率、細孔構造の変化

ここでは打設直後より乾燥を受けるコンクリートの含水率及び細孔構造の経時変化について検討する。

2.1 実験概要

(1) 試験体の作製

a. コンクリート及び乾燥条件

M社製普通ポルトランドセメント（比重3.16）、大井川水系川砂

本論文は参考文献22)で発表した発表論文に新たなデータを加え、まとめたものである。

* 日本大学生産工学部建築工学科 助手・工修

** 日本大学生産工学部建築工学科 教授・工博

*** 日本大学生産工学部建築工学科 非常勤講師

**** (株)タジマ技術部 工修
(元日本大学大学院生産工学研究科 大学院生)

Research Assoc., Dept. of Architecture and Architectural Eng., College of Industrial Technology, Nihon Univ., M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture and Architectural Eng., College of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

Part-time Lecture, Dept. of Architecture and Architectural Eng., College of Industrial Technology, Nihon Univ.

Staff Engineer, Technical Division, Tajima Incorporated, M. Eng.

(表乾比重2.62、粗粒率2.83)、大井川水系川砂利(表乾比重2.66、粗粒率6.96)及びN社製AE減水剤を使用し、表-1に示す割合によりコンクリートを練り混ぜた。このコンクリートを用いて図-1に示すスラブを想定した含水率測定用試験体A(15×15×50cm)と、細孔構造の測定用試験体B(φ10×15cm)の2種類の試験体を作製した。試験体の打設は20℃、R.H.60%の恒温恒湿室で行い、打設直後より打設面を同室の空气中に開放し乾燥させた。なお、この打設面を打設後適切な時間(本実験条件ではおおよそ5～6時間)で金ごて押さえした。

b. 仕上げ材

仕上げ材として、不透湿性のA社製エポキシ樹脂系塗床材を用いた。これを材齢1、3(水セメント比60%のみ設定)、7、14、28日においてそれぞれ塗床材2.0kg/m²を打設面に塗布した。

(2) 試験項目及び試験方法

a. コンクリートの含水率測定方法

ここでいうコンクリートの含水率は、コンクリートを105℃で恒量となるまで乾燥させた時、蒸発して失われた量を含水量とし、これを105℃の乾燥で恒量となったコンクリートの質量で除した質量含水率を指す。ただしここでは、コンクリートに埋め込んだ場合にその電気抵抗とコンクリートの質量含水率の関係が明らかとなっているセラミックセンサ(φ10×5mm)を埋め込み、センサの電気抵抗から質量含水率を非破壊で間接的に求めた。このセンサ及び測定方法の詳細、精度については、文献19)を参照されたい。

ここでは、このセンサを試験体Aにおいて、塗床施工面から0.5、1.5、2.5、5.0、7.5、10.0、13.5cmの深さに埋め込み、含水率を測定した。

b. コンクリートの細孔構造の測定

細孔構造測定用試料は、塗床施工時(材齢1、3、7、14、28日)及び、塗床施工後コンクリート材齢56日(各塗床施工材齢及び無乾燥の試験体)に試験体Bの乾燥面から深さ0～1cm部分、水セメント比60%の試験体では更に2～3cm、4～5cm、14～15cmの部分を取り出し、2.5～5.0mmの粒度に調整した。次にアセトンを用いて水和を停止させ、最後にD-dry処理を行って試料を作製した。

表-1 コンクリートの調査表

(Air=4.5%)

スラブ	W/C (%)	細骨材率 c/a (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (l/m ³)			単位質量 (kg/m ³)			混和剤 (cc/m ³)		
				セメント	細骨材	粗骨材	セメント	細骨材	粗骨材	No. 70	SP-8N	No. 303A
21	40	43.3	185	147	270	353	463	707	939	—	4630	20
21	60	47.5	185	97	320	353	308	838	939	770	—	38
21	80	49.4	185	73	344	353	231	901	939	578	—	40

No.70、SP-8N：N社製AE減水剤
No.303A：N社製空気量調整剤

図-1 試験体

この試料を水銀圧入法による細孔構造の測定に供した。測定範囲は半径 30 Å～3.2×10⁶ Åである。また、試料のセメントペースト率(溶解率WRs(g/g))を、質量W₀(g)の試料を10%塩酸溶液中で2時間攪拌しセメントペースト部分を溶解させ、600℃で1時間加熱した後の不溶残分質量W_{ns}(g)を測定し、式(1)により求めた。

$$\text{溶解率WRs} = \frac{\text{試料の質量}W_0 - \text{不溶残分質量}W_{ns}}{\text{試料の質量}W_0} \quad (1)$$

結果は、水銀圧入法により測定された細孔量V_{mp}(cc/g)と式(1)で求めた溶解率WRs(g/g)を用いて、式(2)より硬化セメントペース

図-2 乾燥を受け続けるコンクリートの含水率の経時変化

ト部分の細孔量（有効細孔量 V_{ep} (cc/g)）として整理した。

$$\text{有効細孔量 } V_{ep} = \frac{\text{試料の細孔量 } V_{mp}}{\text{溶解率 } WR_s}$$

2.2 実験結果及び考察

(1) 含水率分布

a. 乾燥を受けるコンクリートの含水率の経時変化

図-2は打設直後より乾燥を受けるコンクリートの含水率の経時変

図-3 (3) 仕上げ材施工が含水率分布に及ぼす影響 (W/C=80%)

図-4 乾燥を受けたコンクリートの細孔径分布の深さ方向の相違 (W/C=60% : 材齢56日)

化を示したものである。表層ほど含水率の低下は早く、表層 0.5cm の含水率 (□印) は材齢 7 日で 3.0~3.6%, 材齢 14 日以降は水セメント比にかかわらず 2.5% 前後に収束した。表層の含水率が著しく低下するのは材齢 14 日程度までであることがわかる。一方 1.5cm 部分 (○印)、2.5cm 部分 (△印) の含水率は、材齢 56 日までなかなか減少している。また、7.5cm 以上の深さ (▽、□、○印) では

およそ材齢 5 日以降は大きな変化がみられず、水セメント比 40% で 5.5%、水セメント比 60% で 5.8%、水セメント比 80% で 6.2% 前後を示している。これらの深さでは乾燥の影響が極めて小さいことがわかる。また、全体的に水セメント比が小さいほど、若干含水率の低下が早くかつ含水率は小さい。これはセメントの水和による自己乾燥のためと考えられる。

図-5 仕上げ材施工時及び材齢56日における表層0~1cm部分の細孔径分布

b. 乾燥過程及び仕上げ材施工後の含水率分布の変化

図-3(1)~(3)は、表面からの深さと質量含水率の関係を水セメント比及び仕上げ材施工材齢ごとに示したものである。乾燥過程、すなわち仕上げ材施工前までは、打設面に近いほど含水率は低い傾向にあり、表層から2.5cmまでの含水率の低下が特に著しい。乾燥途中で不透湿材料を施工した場合、含水率の低下はみられず、仕上げ材施工直前の含水状態を保持している。しかしながら、若材齢で仕上げ材を施工した場合、更に若干の含水率の低下がみられる。これは、水セメント比が小さいほど顕著であり、前項a.でも述べたセメントの水和による自己乾燥によるものと理解できる。乾燥途中で不透湿材を施工すると、施工面に近いほど時間の経過とともに含水率が若干回復し、コンクリート内部の含水率は、均一化する傾向にある。これらの含水率の回復は水セメント比が大きいものほど大きい。

(2) 細孔構造

a. 仕上げ材施工材齢と細孔径分布の深さ方向の不均質性

図-4は、水セメント比60%の試験体について、不透湿性仕上げ材の施工材齢ごとに、細孔径分布の打設面からの深さ方向の不均質性を示したものである。コンクリート材齢は56日である。仕上げ材施工材齢1日の試験体は、他の試験体に比し、深さ方向の細孔径分布の相違が小さく、320Å以下の細孔が多く、320Å以上の細孔が少ない。筆者らが行った研究²⁰⁾では、水和が十分行われた場合、320Å以下の細孔がほとんどで、水和が不十分な場合に320Å以上の細孔が多くみられることを明らかにしている。これらの研究成果を踏まえると、仕上げ材施工材齢1日の試験体は、打設直後より封かん状態にある試験体に比べれば、320Å以上の細孔もみられるものの、図-3で示したように高い含水状態を維持できたため水和が進んだも

図-6 表層0.5cm部分の含水率の経時変化

のと理解できる。材齢3日以降に仕上げ材を施工したものは、その含水率分布に対応するように、打設面に近いほど水和が進まず、大きな径の細孔が多くみられ、表層と内部の不均質性は大きい。

b. 仕上げ材施工後の細孔構造の変化

図-5は、打設面から0～1cmの表層部について水セメント比及び仕上げ材施工材齢ごとに、仕上げ材施工時（実線）と、材齢56日（点線）における細孔径分布を示したものである。いずれの水セメント比においても材齢1日で仕上げを施工した場合、材齢56日までに水和に伴う細孔構造の緻密化がみられるが、仕上げ材の施工時期の遅れに伴い両者の差は僅かなものになる。材齢3日で仕上げ材を施工しても、細孔構造の緻密化があまりみられないことから、材齢3日までの若材齢において、湿潤養生（含む封かん養生）を怠った場合、その後のコンクリート表面の水和及びそれに伴う強度発現、細孔構造の緻密化があまり期待できないことがわかる。

更に、材齢14日以降に仕上げ材を施工した場合、仕上げ材施工時の細孔径分布と材齢56日における細孔径分布に違いがみられず、水和が阻害された時にみられる320Å以上の大きな径の細孔がそのまま残存することがわかる。また、仕上げ材を14日（図d）、及び28日（図e）に施工した試験体と56日間乾燥を受け続けた試験体の細孔径分布（図f）に差はみられない。打設直後より14日間乾燥を受けると、その後仕上げ材の施工等などにより密閉されても、細孔構造の緻密化はほとんどみられないことがわかる。

3. 打設後初期の湿潤養生（封かん養生）がコンクリートスラブの品質に及ぼす影響

前章2では打設直後から乾燥を受けたコンクリートスラブの含水率と細孔構造を検討した。ここでは、コンクリート打設初期の湿潤養生がコンクリートスラブの含水率、細孔構造に及ぼす影響を検討する。なおここでは、JASS5で「透水性の小さいせき板で保護されている場合は、湿潤養生と考えてよい。」とあることから、湿潤養生は、透湿性の小さいビニールシートによる封かん養生を含む。

3.1 実験の概要

(1) 試験体の作製及び養生方法

コンクリートの材料、調合、試験体の形状は、前項2.1の通りで

図-7 乾燥開始時における表層0～1cm部分の細孔径分布

ある。ただし、水セメント比は60%のみとした。コンクリートは、打設直後より20℃、R.H. 60%で養生し、打設面を適切な時間（本実験条件ではおおよそ5～6時間）に金ごて仕上げを行った。金ごて押さえ終了後、試験体の打設面を透湿性の小さいビニールシートで覆い、材齢1、7、14、28日まで封かん養生を行った。その後20℃、R.H. 60%の恒温恒湿室内で乾燥させた。

(2) 試験方法

含水率の測定方法、細孔構造の測定方法は、前項2.1と同様に行った。ただし、含水率は表層0.5cm部分を、細孔構造は表層1cmまでを対象とした。

3.2 実験結果及び考察

(1) 表層含水率の経時変化

図-6に、コンクリートの材齢と表層0.5cm部分の含水率の関係を示す。コンクリートの湿潤養生を長く行うほど、その後の乾燥による含水率の低下が遅くなる傾向が見られる。また、7日間以上湿潤養生を行った試験体は、材齢200日を経過しても含水率は4%程度であり、これ以上含水率を低くさせることは難しいものと思われる。これは、打設直後の湿潤養生が水和を進行させ、大きい径の細孔を減少させる一方、小さい径の細孔を増加させ総細孔量を小さくする（図-7参照）ので、長期間湿潤養生を行った試験体は、若材齢より乾燥させた試験体に比し、①水分蒸発量が小さく、②乾燥環境の温湿度と平衡なコンクリート含水量²¹⁾が増加したためと推察される。

(2) 表層の細孔構造

図-7は、乾燥開始時の表層0～1cm部分の細孔径分布を示した。乾燥の開始材齢が0日（試料採取は材齢1日）及び1日と、7日以降の試験体の間には、細孔径分布に大きな差がみられる。前者の試験体は、後者の試験体に比し、320Å以上、10⁴Å以下の細孔量が多く、320Å以下の細孔量は少ない。これら両者の相違は、前述した如く湿潤養生による水和程度の差と理解できる。筆者らの行った研究¹⁾及び2.2項で示してきたように、乾燥の開始とともに、細孔構造の緻密化は鈍くなるので、本結果は、コンクリートスラブの水和及び細孔構造の緻密化に、いかに初期湿潤養生が大切であることを示したもののといえよう。

ところで、筆者らが行った塗り床の接着性及びふくれに関する研

究⁵⁾では、接着性、耐ふくれ性の確保には、下地コンクリートの乾燥以上に、十分な水和の確保が重要であることを示している。本実験では、残念ながら材齢1日と7日の間に乾燥の開始材齢を設けて試験を行っていないが、筆者らが行った実験研究¹⁾によると、湿潤養生下においても材齢3日では大きな細孔が残存することから、本実験条件の範囲では、材齢3日から材齢7日の間のある時点まで、下地コンクリートの湿潤養生を行うことで、コンクリートスラブに要求されるおおよその水和は確保されるものと考えられる。その上で、十分な乾燥を行うことが重要である。

4. まとめ

コンクリート床スラブについて、①打設直後から乾燥させた場合、また②途中で仕上げ材を施工した場合、③打設初期に湿潤養生を行った場合の含水率、細孔構造の試験結果を示し、仕上げ材を施工するコンクリート床スラブの適正な養生の指針を検討した結果を以下に示す。

(1) コンクリートの乾燥に伴い、特に打設面から2.5cmまでの含水率の低下が著しい。打設直後より乾燥を受ける場合打設面から0.5cm部分の含水率は、14日以降おおよそ2.5%に収束する。一方、7.5cmより深い部分は、あまり乾燥の影響を受けず、乾燥による自己乾燥が落ち着く5日以降は6%前後の含水率となり変化しない。

(2) 乾燥途中で不透湿性材料を施工した場合、コンクリートの含水率の低下は鈍くなり、打設面に近いほど時間の経過とともに含水率が若干回復し、含水率は均一化する傾向がある。

(3) 打設直後から乾燥を受け、材齢1日で仕上げ材を施工する場合は、コンクリートの細孔構造の緻密化が幾分期待できるが、材齢3日以降に仕上げ材を施す場合は、その後の細孔構造の緻密化が期待できず、水和が不十分な時にみられる大きな径の細孔が残る。また、材齢14日まで乾燥を受けると、その後密閉養生しても表層部の細孔構造はほとんど変化しない。

(4) コンクリートは、打設初期に湿潤養生を行う場合、その期間が長いほどその後の乾燥による含水率の低下が遅く、小さい。これは、湿潤養生に伴う水和の進行により、細孔構造が緻密化し、水分の蒸発が困難になったこと、乾燥温湿度に対するコンクリートの平衡含水量が増加したためと思われる。

(5) 強度、耐久性の観点から構造体コンクリートに要求されるセメントの水和と、適切な仕上げ材の下地を確保するために、打設後初期において湿潤養生を行い、その後乾燥させることが必要である。本実験条件の範囲では、その必要な湿潤養生期間は高々材齢7日である。

謝辞

なお、本研究の一部は、平成6年度文部省科学研究費（一般研究（C）：代表笠井芳夫）の交付を受けて行ったものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：表層コンクリートの品質の評価（乾燥を受ける表層コンクリートの細孔構造の経時変化）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp. 199-200、1994
- 2) 湯浅昇、鎌田英治、橋田浩：屋根防水層のふくれ圧力に関する

研究（下地コンクリートおよび実験環境のふくれ圧力への影響）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp. 5~6、1988年

- 3) 関原克章、茂呂昌男、小野正、近藤照夫：若材齢コンクリートスラブへの防水施工実験（その4実大施工試験の結果）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp. 5-6、1992年
- 4) 李翰承、呉昌熙、友澤史紀、野口貴文：塗膜防水材の接着性状に及ぼす仕上げ材下地としてのコンクリートの含水状態の影響に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp. 1289-1290、1994年
- 5) 湯浅昇、松井勇、逸見義男、佐藤弘和：仕上材のはがれに及ぼす下地コンクリートの含水率、細孔構造の影響、日本コンクリート工学協会コンクリート工学年次論文報告集第18巻 第1号、pp. 573-578、1996年
- 6) 田中享二、内田昌宏、大森修、橋田浩、湯浅昇：塗り床のふくれ発生機構の一考察、日本建築学会構造系論文集、第488、pp. 25-30、1996年
- 7) 田中享二、内田昌宏、大森修、Keesun BAE：塗り床のふくれ発生に及ぼす下地コンクリートの影響、日本建築学会構造系論文集、No. 493、pp. 1-7、1997年
- 8) 丸一俊雄：プラスチック床材の接着に及ぼす下地水分の影響、日本建築学会論文報告集、No. 69、pp. 1-7、1961年
- 9) 平井和喜、田中雅順、下田昭夫、千田清寿：コンクリート仕上用エポキシ樹脂系塗装の付着性に関する実験研究（その1未乾燥コンクリート面の塗装の付着性）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp. 637-638、1986年
- 10) 田畑雅幸、洪悦郎、鎌田英治：電極法によるコンクリート含水量の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造系）、pp. 117-118、1976年
- 11) 橋田浩、田中享二、小池迪夫：打設直後からの乾燥途中におけるコンクリートの含水状態（仕上げ材下地としてのコンクリートの含水状態の検討その1）、日本建築学会構造系論文集、No. 412、pp. 1-8、1990年
- 12) 中山實、佐々木正治：床スラブに含まれる水分の挙動、日本建築学会大会学術講演梗概集A（その1、その2 pp. 259-262、1991年、その3 pp. 3-4、1992年）
- 13) 関原克章、小野正、近藤照夫：若材齢コンクリートスラブへの防水施工実験（その3下地水分の測定結果）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp. 281-282、1991年
- 14) 湯浅昇、田中享二、浅見勉、橋田浩：塗り床を対象とした下地コンクリートの含水率分布及び細孔構造、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16、No. 1、pp. 675-680、1994年
- 15) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JAS S 5鉄筋コンクリート工事、pp. 25-26、pp. 251-256、1997年
- 16) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JAS S 8防水工事、pp. 2-4、pp. 55-66、1993年
- 17) 日本建築学会：合成高分子系床仕上げ施工指針・同解説、pp. 13、pp. 169-176、1989年
- 18) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JAS S 26内装工事、pp. 71、1991年
- 19) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：埋め込みセラミックセンサの電気的特性によるコンクリートの含水率測定方法の提案、日本建築学会構造系論文集、No. 498、pp. 13-20、1997年
- 20) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：表層コンクリートの品質の検討（乾燥に伴う含水率分布と細孔構造の変化）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp. 449-450、1993年
- 21) 近藤連一編著：多孔材料、技報堂出版、pp. 47、1973年
- 22) 佐藤弘和、湯浅昇、逸見義男、松井勇、笠井芳夫：仕上材を施す下地コンクリートの品質、日本建築学会大会学術講演梗概集A-1、pp. 1391-1392、1995年

（1997年7月10日原稿受理、1997年9月10日採用決定）