

論文 Article

コンクリートの表層品質に及ぼす配合および仕上げ時期の影響 —表層強度, 物質移動抵抗性および SEM 画像による検討—

原稿受付 2021年7月14日

ものづくり大学紀要 第11号 (2021) 49~56

シュイネ^{*1}, 澤本武博^{*2}, 沢木大介^{*3}, 樋口正典^{*4}, 臺哲義^{*4}

^{*1}ものづくり大学大学院 ものづくり研究科

^{*2}ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科

^{*3}株式会社太平洋コンサルタント

^{*4}三井住友建設株式会社

概要 コンクリート床版において, 配合および仕上げ時期が床版の表層品質に及ぼす影響について検討した結果, 仕上げ剤を用いる場合, Fc27のコンクリートでは凝結始発時間に, Fc36のコンクリートではブリーディングが収まってから仕上げると, 表層品質は最も良好になると考えられる。

キーワード: コンクリート床版, 仕上げ, 配合, 反発度, 吸水性

Effects of Mix Proportions and Finish Timing on Surface Properties of Concrete Slabs -Consideration of Surface Strength, Resistance to Substance Movement and SEM Image-

Zhu Yining^{*1}, Takehiro SAWAMOTO^{*2}, Daisuke SAWAKI^{*3},
Masanori HIGUCHI^{*4} and Akiyoshi DAI^{*4}

^{*1} Graduate School of Technologists, Institute of Technologists

^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists

^{*3} TAIHEIYO Consultant

^{*4} SUMITOMO MITSUI Construction Co.Ltd

Abstract

The durability of concrete slab is apt to be influenced by finish timing of the concrete surface. And the best timing differs with mix proportion. Therefore, the finish timing which is considered the bleeding or the setting time of the concrete slab is very important. However, it is not obvious that relation between the finish timing and the surface properties of concrete. In this study, the effects of the finish timings on the surface properties of concrete slab with the normal portland cement were examined. As a result, in case of the nominal strength 27, the workability, the rebound number and the water absorption velocity of concrete surfaces could be making progress when the concrete slab was finished at the initial set. In case of the nominal strength 36, the workability of finishing was very hard at the initial set by using the finishing agent, therefore the timing of settling the bleeding water was best to finish the concrete surfaces. According to the SEM image, the finish timing of settling the bleeding water was observed more brightly than the timing before settling the bleeding, and it became clear that when concrete slab was finished appropriate time, hardened concrete of surface part became dense.

Key Words : Concrete Slab, Finishing, Mix proportion, Rebound number, Water absorption

1. はじめに

コンクリート床版の現場施工において、コンクリートの配合および仕上げ時期によって表層品質が大きく異なる可能性がある。仕上げ時期において、一般的にはブリーディングが収まってから仕上げるとよいとされているが、表層強度や物質移動抵抗性に及ぼす配合、仕上げ補助・養生剤および仕上げ時期の組合せの影響を明らかにすることは、コンクリート構造物の耐久性向上のために有意義である。そのため、著者らは一般的な RC 床版の配合、仕上げ補助・養生剤および仕上げ時期の組合せの影響を検討してきた。

本研究では、一般的な RC 床版の配合に加えて PC 床版の強度クラスのコンクリート床版を作製し、コンクリートの表層品質に及ぼす配合および仕上げ時期が表層強度および物質移動抵抗性に及ぼす影響を調べるとともに、SEM 画像（反射電子像）による観察を行い、コンクリートの表層部断面を可視化し要因を調べることを目的としている。

2. 実験概要

2.1 床版試験体の作製

(1)コンクリートの使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材には栃木県栃木市尻内町産砂（表乾密度 2.61g/cm³）、粗骨材には栃木県栃木市尻内町産砕石（表乾密度 2.64g/cm³）を用いた。混和剤には、AE 減水剤標準形 I 種を用いた。

コンクリートの配合およびフレッシュ試験結果を Table 1 および Table 2 に示す。実験では、RC 床版などを想定した呼び強度 27（以下、Fc27 と称す）および PC 床版などを想定した呼び強度 36（以下、Fc36 と称す）のレディーミクストコンクリートを使用した。なお、今回の実験では水セメント比の違いが仕上げ時期に及ぼす影響を検討するため、呼び強度 36 の配合において早強ポルトランドセメントは使用せず、普通ポルトランドセメントとした。凝結始発時間による仕上げは、注水から運搬・打込み時間を差し引いて、打込み後から Fc27 で 5.5h、Fc36 で 5.0h であった。

(2)床版試験体の寸法

実験では、コンクリート床版の一部を想定した長さ 1380mm×幅 1380mm×高さ 300mm の試験体を用いた。試験体の作製は、トラックアジテータからシュートを用いて直接型枠内にコンクリートを打込み、内部振動機を用いて締め固めた。コンクリートの打込み、締め固めの様子を Fig. 1 に示す。

(3)コンクリートの仕上げ時期および養生方法

コンクリート打込み後、粗ならしをした状態からタイミングを変え、金鏝仕上げを行った。金鏝仕上げのタイミングは、打込み直後(0h)、ブリーディング水が上昇している状態あるいはこれから上昇する状態（Fc27 は 1.5h、Fc36 は 1.0h）、ブリーディング水が収まった状態（Fc27 および Fc36 とともに 4.5h）、再振動できない凝結始発の状態（Fc27 は 5.5h、Fc36 は 5.0h）とした。

実験で使用した仕上げ補助・養生剤（以下、仕上げ剤と称す）は、パラフィンワックスを主成分

Table 1 Mix proportion of Fc27 concrete and test results of fresh concrete

Cement	Fc	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit content(kg/m ³)					Test results of fresh concrete			Bleeding in percent (%)	Setting time test for concrete(h:m)	
					W	C	S	G	Ad	Slump (cm)	Air (%)	Temperature (°C)		Initial set	Final set
N	27	20	53.5	44.8	168	315	804	1001	3.78	13.5	4.5	23.8	2.48	6:15	8:45

Table 2 Mix proportion of Fc36 concrete and test results of fresh concrete

Cement	Fc	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit content(kg/m ³)					Test results of fresh concrete			Bleeding in percent (%)	Setting time test for concrete(h:m)	
					W	C	S	G	Ad	Slump (cm)	Air (%)	Temperature (°C)		Initial set	Final set
N	36	20	44.5	43.8	171	385	757	982	4.62	9.5	3.1	33.1	1.27	5:40	7:00



Fig. 1 Placing and compaction



Fig. 2 Finishing agent



Fig. 3 Scratch test



Fig. 4 Rebound hammer test



Fig. 5 Air permeability test



Fig. 6 Water absorption test

とする水性被膜養生剤である。コンクリート打込み後の粗ならしと金鍍仕上げの際にそれぞれ $150\text{ml}/\text{m}^2$ 噴霧した。仕上げ剤の噴霧の様子を Fig.2 に示す。

金鍍仕上げ後、乾燥防止のため 24 時間のシート養生を行った。シート養生終了後、湿潤マットとシートを併用した給水養生を Fc27 は材齢 7 日、Fc36 は材齢 5 日まで行った。また、シートはポリエチレン製、湿潤マットは十分に水分を供給できるウレタンフォーム製のものを使用した。

2.2 表層強度に関する試験方法

(1)引っかけ傷試験

引っかけ傷試験の様子を Fig. 3 に示す。引っかけ傷試験は、日本建築仕上学会材料性能評価委員会塗り床材料性能 WG により開発された簡易型引っかけ試験機^{2),3)}を用いて、荷重 1kg で仕上げ面に 3 本ずつ傷をつけ、1 本の傷について 3 カ所の幅を測定して、9 カ所の傷幅の平均値を引っかけ傷幅とした。試験は材齢 4 週および 8 週で実施した。

(2)反発度試験

反発度試験の様子を Fig. 4 に示す。NR 型のリバウンドハンマーを用いて、JIS A 1155 に準じて測

定を行った⁴⁾。打点は 25mm 間隔の 9 点を仕上げ時期の異なるそれぞれの床版で試験し、その平均値を反発度とした。試験は材齢 4 週および 8 週で実施した。

2.3 物質移動抵抗性に関する試験方法

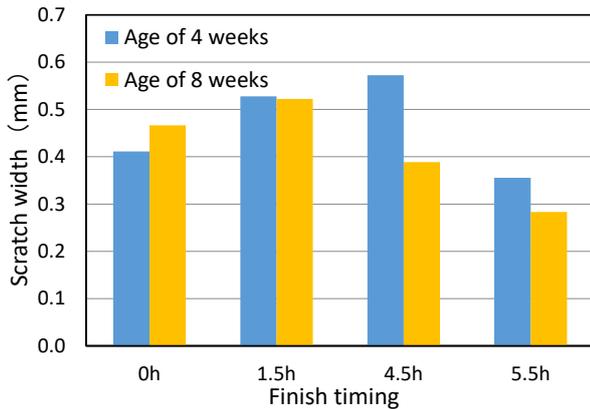
(1)表層透気試験

表層透気試験の様子を Fig. 5 に示す。気体の移動抵抗性を示す表層透気試験は、NDIS 3436-2 に示されているダブルチャンバーセルを用いて行った⁵⁾。試験は、試験体上面にダブルチャンバーセルを取り付け、測定した 3 か所の相乗平均値を透気係数とした。試験は材齢 4 週および 8 週で実施した。また、電気抵抗式のコンクリート水分計を使用して、コンクリート表層部の含水率試験も行った。

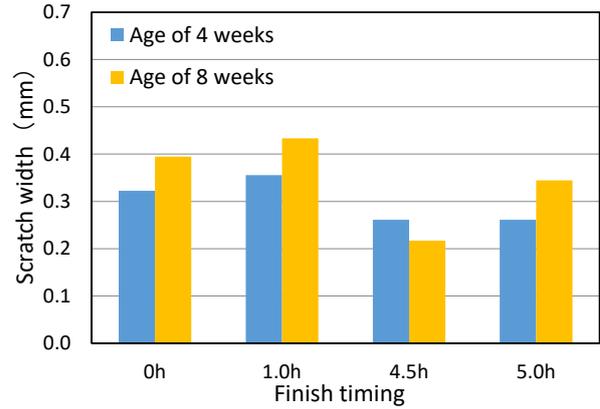
(2)表面吸水試験

表面吸水試験の様子を Fig. 6 に示す。水の移動抵抗性を表す表面吸水試験は SWAT 法を用いて行った⁶⁾。試験では、供試体上面に吸水カップを取り付け、10 分間測定した。吸水速度は 2 か所測定した平均値とした。

なお、試験は Fc27 で材齢 5 週、Fc36 は材齢 8 週で実施した。

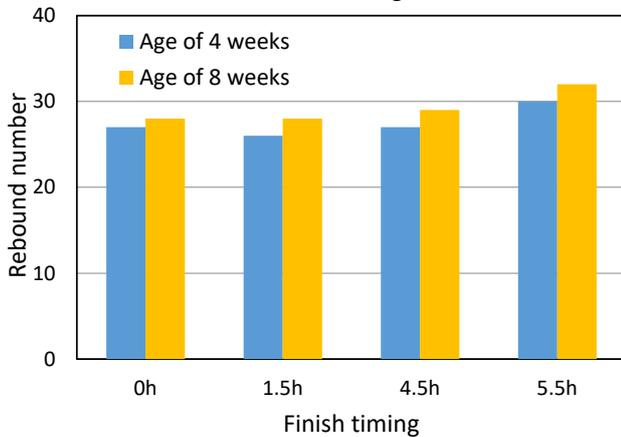


(1) In case of Fc27

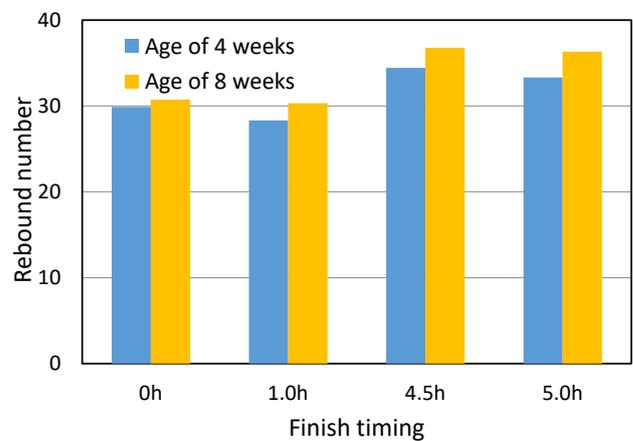


(2) In case of Fc36

Fig. 7 Test results of scratch width of concrete surface



(1) In case of Fc27



(2) In case of Fc36

Fig. 8 Test results of rebound number of concrete surface

2.4 SEM 画像による硬化組織の観察

床版試験体の中央付近より、材齢 8 週で直径 75mm のコアを採取し、ダイヤモンドカッターにより長軸に平行する方向に半分に切断し、その片方の切断面から、表面を含む厚さ約 15mm、大きさ 25 (表面方向) × 40 (深さ方向) mm の平板を切断して採取した。25×40mm の面を研磨材により鏡面状に研磨し、SEM より反射電子像を観察した。SEM は日本電子製の IT-300HR を用い、加速電圧は 15kV とした。なお、今回の実験では、SEM 画像による硬化組織の観察は Fc27 のみとした。

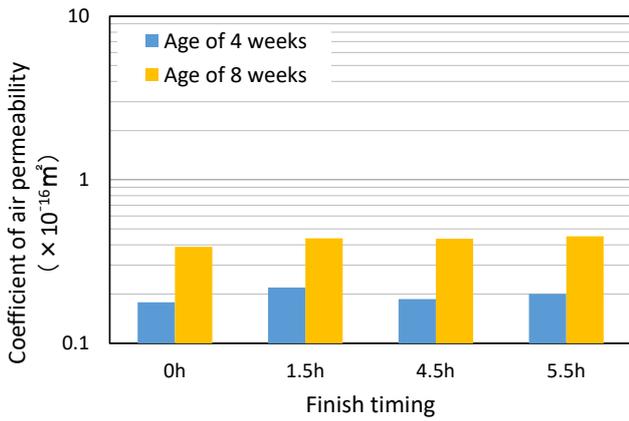
3. 実験結果および考察

3.1 仕上げ作業のタイミング

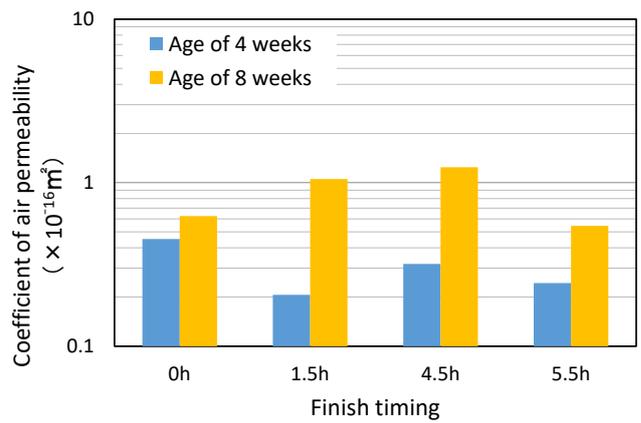
Fc27 および Fc36 とともに打込み直後に金罍仕上げを行うと、コンクリートの流動性が大きいため、

罍ムラが残り、均すタイミングとしては不適切であった。Fc27 の場合打込み後 1.5h に金罍仕上げを行うと、表層にブリーディング水が活発に上昇していたため、水面を均している感覚で極めて不適切であった。また、Fc36 の場合も表面が緩く不適切であった。Fc27 のブリーディング水が収まった打込み後 4.5h は仕上げに適していると思えたが、仕上げ剤の噴霧により表面が緩くなり仕上げるにはまだ早い段階となった。凝結始発の打込み後 5.5h は、仕上げ剤の噴霧により適切な状態になり、仕上げるタイミングとしては最適であったり。

一方、Fc36 の場合は、ブリーディング水が収まった打込み後 4.5h のときに仕上げ剤の噴霧により仕上げるのに適切な状態になり、凝結始発時間になると、仕上げ剤を噴霧しても、仕上げるのが困難な状態となった。

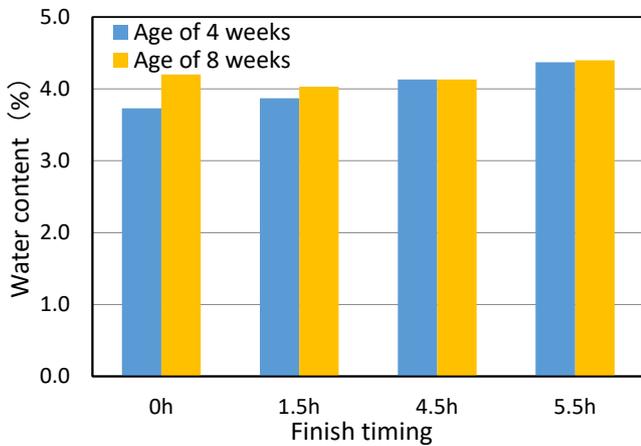


(1) In case of Fc27

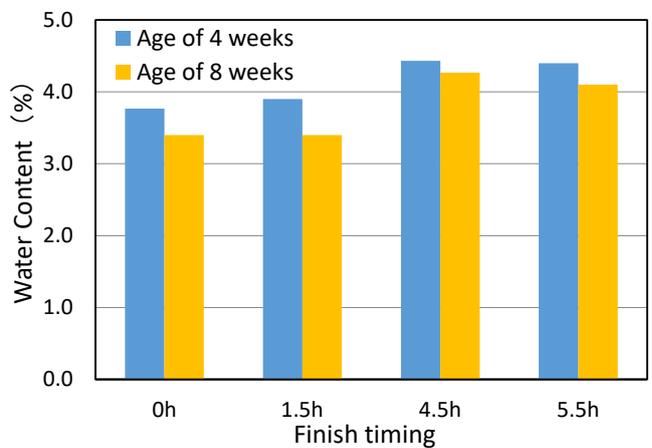


(2) In case of Fc36

Fig. 9 Test results of air permeability of concrete surface

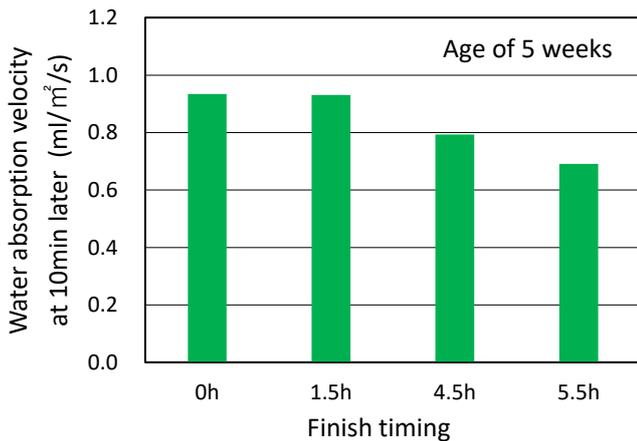


(1) In case of Fc27

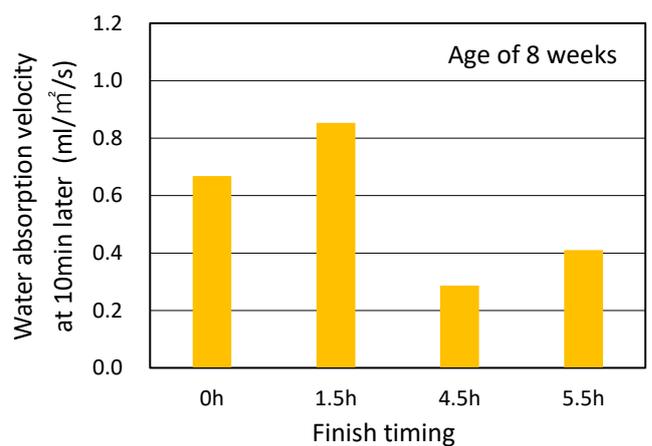


(2) In case of Fc36

Fig. 10 Test results of moisture content of concrete surface



(1) In case of Fc27



(2) In case of Fc36

Fig. 11 Test results of water absorption of concrete surface

3.2 表層強度に関する試験結果

(1) 引っかき傷試験

引っかき傷試験結果を Fig.7 に示す。Fc27 ではブリーディングが収まった時 (4.5h) に仕上げ剤

を噴霧すると表層がかなり緩み、仕上げをするにはまだ早い状態で硬化後に表面が緻密にならず、引っかき傷幅はあまり小さくならなかった。凝結始発時間 (5.5h) では仕上げ剤の噴霧により適度

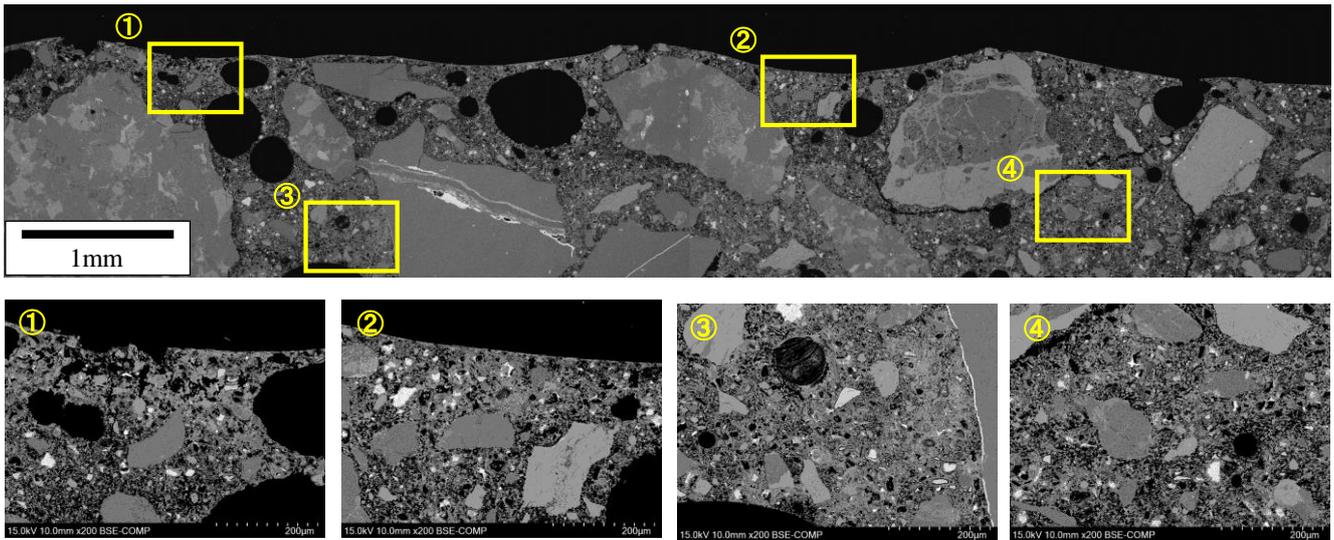


Fig. 12 SEM image of concrete surface finishing immediately after placement (In case of Fc27)

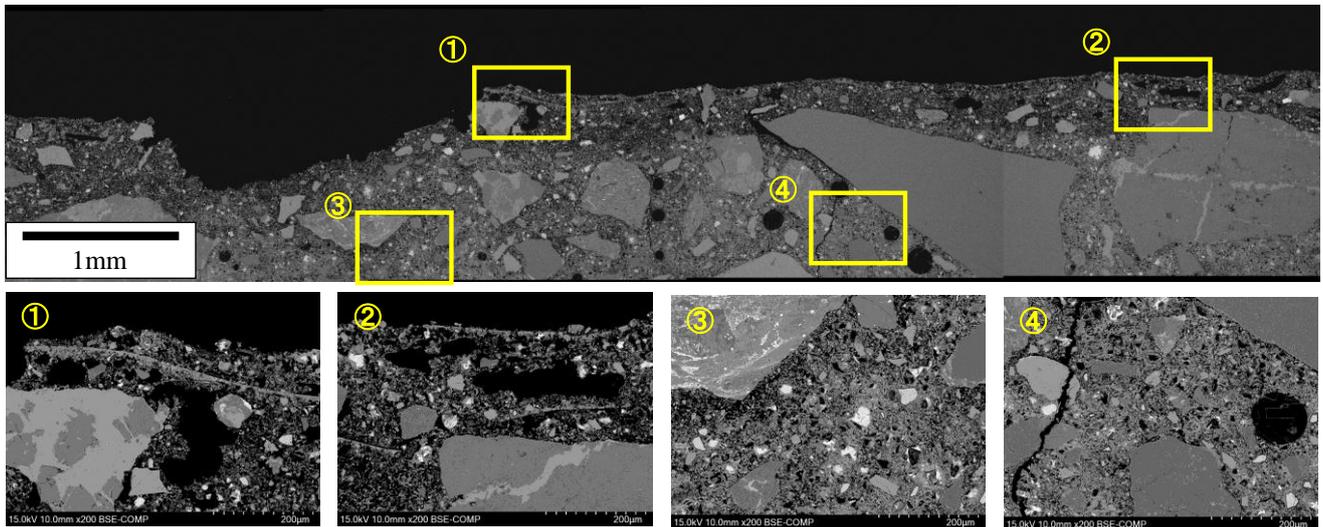


Fig. 13 SEM image of concrete surface finishing at one hour after placement (In case of Fc27)

な仕上げ易さになり、硬化後に表面は緻密になり引っかけ傷幅も最も小さくなった。

一方、Fc36 ではブリーディングが収まってから (4.5h) 仕上げると引っかけ傷幅は最も小さくなり、表層が緻密であることが伺える。凝結始発時間 (5.0h) になると、仕上げ剤が表層部に混ざりきらず少し表面に残っているためか、ブリーディングが収まってから仕上げる時に比べて引っかけ傷試験機で削られる感覚であった。

(2)反発度試験

反発度試験結果を Fig.8 に示す。Fc27 では凝結始発時間 (5.5h) , Fc36 ではブリーディング水が収まった時 (4.5h) に仕上げると材齢 4 週および 8 週ともに反発度は最も大きくなり、表層の緻密さ

の評価は、引っかけ傷試験と同じ傾向を示した。

3.3 物質移動性に関する試験結果

(1)表層透気試験

表層透気試験および表面含水率の結果をそれぞれ Fig.9 および Fig.10 に示す。材齢が経過するほど、透気係数は大きくなった。これは、材齢の経過に伴い水和反応は進むものの、微細なひび割れが生じるためと考えられる。一方、仕上げ時期による影響は、さほど見受けられなかった。これは、表層透気試験は、コンクリート内部から気体を吸い上げる方式のため、表面の仕上げの影響が反映されなかったためと考えられる。しかし、表面に電極を接触させる表面含水率に着目すると、Fc27

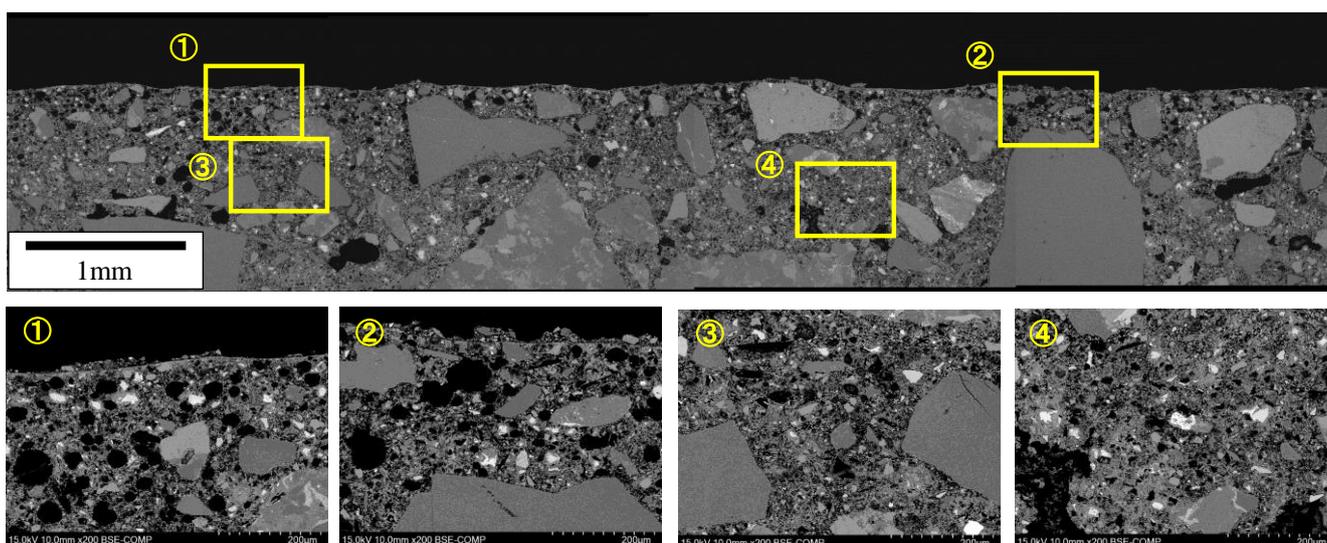


Fig. 14 SEM image of concrete surface finishing at 4 hours 30 minutes after placement (In case of Fc27)

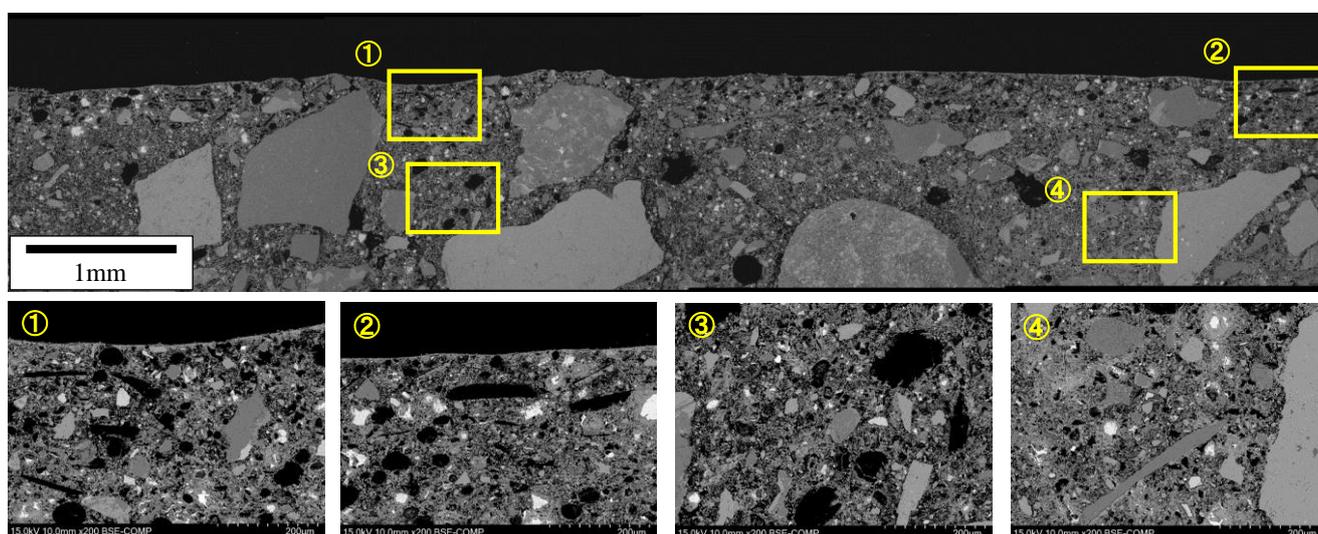


Fig. 15 SEM image of concrete surface finishing at 5 hours 30 minutes after placement (In case of Fc27)

では 5.5h, Fc36 では 4.5h の時に最も含水率は大きくなり、含水率による表層部の緻密の評価は表層強度と同様の傾向を示した。

(2)表面吸水試験

表面吸水試験の結果を Fig.11 に示す。表面吸水試験は表層透気試験とは異なり、Fc27 では仕上げ時期が遅くなるほど吸水速度は小さくなり、凝結始発の 5.5h に最も吸水速度が小さくなった。一方、Fc36 ではブリーディングが収まった 4.5h の時に最も吸水速度が小さくなった。この結果より、水の移動抵抗性に対して、適切な仕上げ時期が存在すると考えられる。

3.4 SEM 画像（反射電子像）

Fc27 における SEM 画像（反射電子像）を Fig.12

～Fig.15 に示す。Fig.12 および Fig.13 のように、打込み直後およびブリーディング水が上昇している時に仕上げると、表層部は暗く観察され、組織が疎であることが伺える。また、表面の凹凸も大きく、大きな気泡も見受けられる。Fig.12 の④の骨材の下面にはブリーディングの停滞によるひび割れが見受けられる。Fig.13 の④にはモルタル部分にもひび割れが見受けられる。Fig.13 の①にはブリーディング水の巻き込みと思われる層も観察される。このように、ブリーディング水が収まる前に仕上げてしまうと、表層部が脆弱になっていることが、SEM 画像からも明らかになった。

一方、ブリーディングが収まってから仕上げた Fig.14 および Fig.15 の SEM 画像は、表面の凹凸も

小さく滑らかで、ひび割れおよび大きな気泡も見られない。また、Fig.12 および Fig.13 に比べて、表層部は明るく観察され、組織が密であることが伺える。Fc27 の場合、表層強度や物質移動抵抗性の試験では、ブリーディングが収まってから仕上げると表層品質は向上し、凝結始発時に仕上げると更に表層品質が向上する結果に対して、SEM 画像ではブリーディング終了時と凝結始発時にはさほど差が見受けられなかったが、ブリーディングが収まる前に仕上げると表層部の組織はかなり疎になることが明らかになった。

今回の実験では、Fc36 の SEM 画像による硬化組織の観察は行っていないが、表層強度や物質移動抵抗性の試験では、ブリーディング終了前に仕上げると Fc27 と同様に表層の組織が疎になる傾向が見受けられるため、今後 SEM 画像による硬化組織の観察を行っていききたい。

4. まとめ

- (1) Fc27 の普通の強度レベルのコンクリートの場合、ブリーディング水が収まった時に仕上げ剤を噴霧するとコンクリート表面が柔らかくなりすぎるが、凝結始発時間に噴霧すると仕上げに適切な状態となった。一方、Fc36 の比較的強度レベルの高いコンクリートでは、ブリーディング水が収まった時に噴霧すると適切な状態となり、凝結始発時間では仕上げが困難な状況となった。
- (2) 引っかき傷試験では、Fc27 の場合は凝結始発時間に、Fc36 の場合はブリーディング水が収まった時に仕上げると傷幅は最も小さくなった。
- (3) 反発度試験では、Fc27 の場合は凝結始発時間に、Fc36 の場合はブリーディング水が収まった時に仕上げると反発度は最も大きくなった。
- (4) 表面含水率試験では、Fc27 の場合は凝結始発時間に、Fc36 の場合はブリーディング水が収まった時に仕上げると含水率は最も大きくなったが、配合および仕上げ時期が表層透気係

- 数に及ぼす明確な影響は見受けられなかった。
- (5) 表面吸水試験では、Fc27 の場合は凝結始発時間に、Fc36 の場合はブリーディング水が収まった時に仕上げると吸水速度は最も小さくなった。
- (6) Fc27 の結果のみではあるが、SEM 画像（反射電子像）よりブリーディング水が収まる前に仕上げると、表層部に大きな気泡が残り、骨材界面やモルタル部分にひび割れが発生した。一方、ブリーディング水が収まってから仕上げると、表面の凹凸は小さく滑らかで、表層部に大きな気泡やひび割れは見受けられず、表層部の画像は明るく緻密であることが伺えた。しかし、SEM 画像からはブリーディング水が収まった時と凝結始発における仕上げの差を観察することはできなかった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、RC 構造物総合実習 I の先生方、ものづくり大学澤本研究室の大学院生の坂本大河氏、同研究室の学部生の方々に多大なる御協力を賜りました。

文 献

- 1) 坂本大河ほか：コンクリートの表層品質に及ぼす仕上げ時期の影響，ものづくり大学紀要，No.10，pp.21-27，2020
- 2) 浅見勉：床下地表面硬さの簡易測定方法に関する研究，日本建築仕上学会，FINEX，Vol.9，No.54，pp.22-26，1997
- 3) 湯浅昇，笠井芳夫，松井勇：引っかき傷によるコンクリートの表面強度の測定方法，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.677-678，1999
- 4) 日本産業規格：JIS A 1155 「コンクリートの反発度の測定方法」，2012
- 5) 日本非破壊検査協会規格：NDIS 3436-2 「コンクリートの非破壊試験－表層透気試験方法 第2部：ダブルチャンバー法」，2020
- 6) 林和彦，細田暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2，Vol.69，No.1，pp.82-97，2013