

論文 Article

## 仕上げ時期が異なるコンクリート表層部の 走査型電子顕微鏡による硬化組織観察

原稿受付 2022年8月28日

ものづくり大学紀要 第12号 (2022) 5~12

澤本武博<sup>\*1</sup>, 沢木大介<sup>\*2</sup>, 青山一真<sup>\*2</sup>, 樋口正典<sup>\*3</sup>, 臺哲義<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup> ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科<sup>\*2</sup> 株式会社太平洋コンサルタント<sup>\*3</sup> 三井住友建設株式会社

**概要** 本研究では、仕上げ時期の異なるコンクリートの表面から深さ1.5mm程度の領域について、走査型電子顕微鏡による観察を行った。その結果、ブリーディング水が収まってから凝結始発時間までに仕上げると、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観察され、組織が緻密であることが分かった。しかし、比較的強度が高いコンクリートでは、凝結始発時間に仕上げると、表面の凹凸が大きくなり、表層部に大きな空隙も見受けられ、そこから生じたひび割れが観察された。

**キーワード** : コンクリート床版, 仕上げ, 走査型電子顕微鏡, 反射電子像

## Scanning Electron Microscope Observation of Hardened Concrete Surface at Different Finishing Time

Takehiro SAWAMOTO<sup>\*1</sup>, Daisuke SAWAKI<sup>\*2</sup>, Kazuma AOYAMA<sup>\*2</sup>,  
Masanori HIGUCHI<sup>\*3</sup> and Akiyoshi DAI<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup> Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists<sup>\*2</sup> TAIHEIYO Consultant Co.,Ltd.<sup>\*3</sup> SUMITOMO MITSUI Construction Co.,Ltd.

**Abstract** Although there have been many studies on the effect of concrete finishing time on surface quality, none have evaluated it through electron microscope imaging. The objective of this study is to visualize cross sections of the surface layers of concrete at different finishing times using electron microscopy imaging. For the first image, an area roughly 1.5 mm deep from the surface of the concrete was observed using a scanning electron microscope. When the concrete surface was finished and after the bleeding of water had stopped, the surface was smooth and no large voids or cracks were observed in the surface layer in the electron microscope image. In the image, the concrete surface layer was bright, and it was observed that the structure of the surface layer was dense. The second image is of high strength concrete. High strength concrete was difficult to finish at the initial setting time. Even after the bleeding of water had stopped, the surface of the concrete was hard, making the concrete difficult to finish. When finished at the initial setting time of the concrete, the surface was not smooth, and large voids and cracks were observed in the surface layer shown in the electron microscope image.

**Key Words** : Concrete Slab, Finishing, Scanning electron microscope, Backscattered electron image

## 1. はじめに

コンクリート床版の仕上げ時期は、ブリーディングが収束し、コンクリートの凝結始発前後の時期がよいとされている。著者らもコンクリートの配合によって適切な仕上げ時期が異なり、仕上補助・養生剤を用いる場合、普通強度のコンクリートでは凝結始発時間に、比較的強度が高いコンクリートではブリーディングが収束してから仕上げると表層品質が向上すると報告している<sup>1,2)</sup>。

本研究では、仕上げ時期の異なるコンクリートの表層の状態を把握することを目的として、走査型電子顕微鏡（以下、SEM と称す）により表層部の断面を可視化し観察を行った。

## 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/cm<sup>3</sup>）、粗骨材には栃木県栃木市尻内町産碎石（表乾密度 2.64g/cm<sup>3</sup>）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表 1 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。

#### (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。

#### (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、荒均しをした状態からタイミングを変え、金ごて均しを行った。金ごて押さえのタイミングは、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）、ブリーディングが収まった状態（Fc27 および Fc36 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 で凝結試験の始発から運搬・打込み時間を差し引いた値）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とする水性被膜養生剤である。コンクリート打込み後の荒均しと金ごて押さえの際にそれぞれ 150ml/m<sup>2</sup> 噴霧した。金ごて押さえを行った後、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湿潤養生を 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。

床版試験体は、水がかりのない屋内において各種試験材齢まで保管することとした。

### 2.2 局部破壊を含む各種非破壊試験

仕上時期の異なるコンクリート床版の表層部の品質を調べるため、引っかき傷試験、反発度試験、表層引張試験、表面含水率試験、表層透気試験および表面吸水試験を行った<sup>1,2)</sup>。Fc27 および Fc36 の試験結果を、それぞれ表 2 および表 3 に示す。なお、表中の測定値が太字となっている箇所は、一番良好な結果であった仕上げ時期を示す。

Table 1 Mix proportions and test results of fresh concrete

Cement	Fc	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit content (kg/m <sup>3</sup> )					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
	36		44.5	43.8	171	385	757	982	4.62	9.5	3.1	33.1	1.27	5:40	7:00

Table 2 Results of non-destructive tests (Fc27)

Measurement of non-destructive tests	Finishing Times			
	0h	1.5h	4.5h	5.5h
Scratch width (mm)	0.47	0.52	0.39	<b>0.28</b>
Rebound number	27.6	28.2	29.0	<b>32.2</b>
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	2.08	0.66	2.50	<b>2.88</b>
Air permeability ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )	<b>0.39</b>	0.44	0.44	0.45
Water content (%)	4.20	4.03	4.13	<b>4.40</b>
Water absorption (ml/m <sup>2</sup> /s)	0.93	0.93	0.79	<b>0.69</b>

### 2.3 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, Fc27は材齢2ヶ月, Fc36は材齢1年において, 直径75mmのコアを採取した. そして, コア供試体を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25mm(直径方向) $\times$ 40mm(深さ方向)の平板を切断して採取した. 25 $\times$ 40mmの面を研磨材により鏡面状に研磨し, SEMに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.

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 Fc27のSEM画像(反射電子像)

Fc27のSEM画像(反射電子像)を図1~図4に示す. 各図の上段, 横長の画像内の①~④の領域を, より高倍率で観察した4枚の画像を, その下に示す. いずれも, 画像の横方向はコアの直径方向, 縦方向は深さ方向であり, 上段の画像では, 深さ1.5mm程度までを表示した(以下の図も同様). 反射電子像では, 気泡やひびなど空隙の部分は黒く観察される. またセメントペーストでは, 水和物生成により緻密な組織となっている部分は明るめに, 水和物が少なく全体的に空疎な組織の部分は暗めに観察され, 明暗により組織の緻密さを評価することができる.

図1および図2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, 表層部は内部側と比べ暗く観察され, 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. 図1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, 図2の④にはモルタル部分にもひび割れが見受け

Table 3 Results of non-destructive tests (Fc36)

Measurement of non-destructive tests	Finishing Times			
	0h	1h	4.5h	5h
Scratch width (mm)	0.64	0.62	<b>0.43</b>	0.47
Rebound number	38.8	32.7	<b>44.2</b>	41.7
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	1.10	2.40	<b>3.66</b>	2.64
Air permeability ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )	4.14	7.03	3.96	<b>2.36</b>
Water content (%)	3.67	3.70	4.23	<b>4.30</b>
Water absorption (ml/m <sup>2</sup> /s)	0.73	0.85	0.40	<b>0.38</b>

られる. 図2の①にはブリーディング水の巻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図3および図4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, 図1および図2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, 各種試験では, 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(図3)と凝結始発時(図4)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(図1および図2), 表層部の組織はかなり疎になることが明らかになった.

### 3.2 Fc36のSEM画像(反射電子像)

Fc36のSEM画像(反射電子像)を図5~図8に示す. Fc36はFc27に比べて水セメント比が小さいため, 図5~図8のいずれにおいても, 対応するFc27の図1~図4と比べ, セメントペースト部分は全体的に明るく観察された.

図5および図6のように, 打込み直後およびブリーディングが収まる前に仕上げると, Fc27と同様に, 表面の凹凸も大きく, 大きな気泡も見受けられる.

一方, ブリーディングが収まってから仕上げた図7のSEM画像は, 表面の凹凸は図5および図6と比べて小さく滑らかになり, 大きな気泡も見られない. また, 図5および図6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. ただし, 表面の凹凸については, Fc36の方がコン

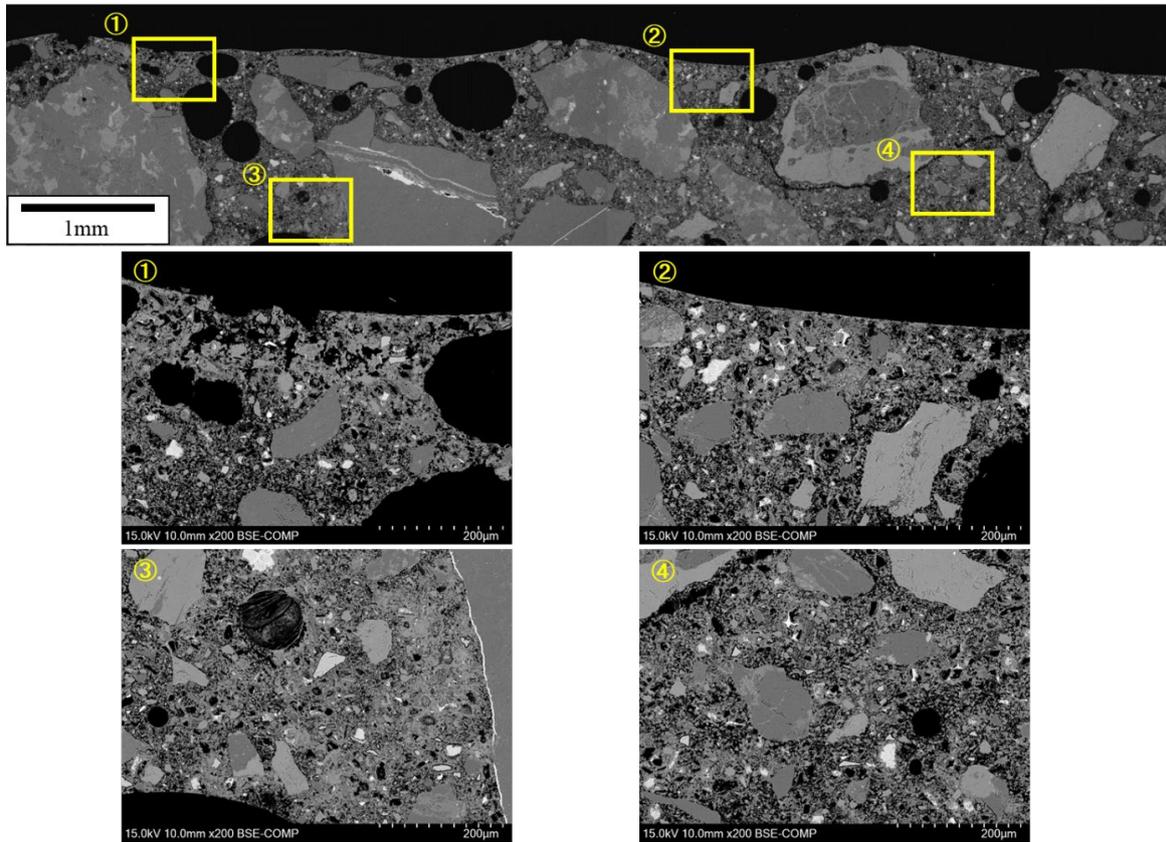


Fig.1 Backscattered electron image (Fc27, Finished immediately after placing, 0h)

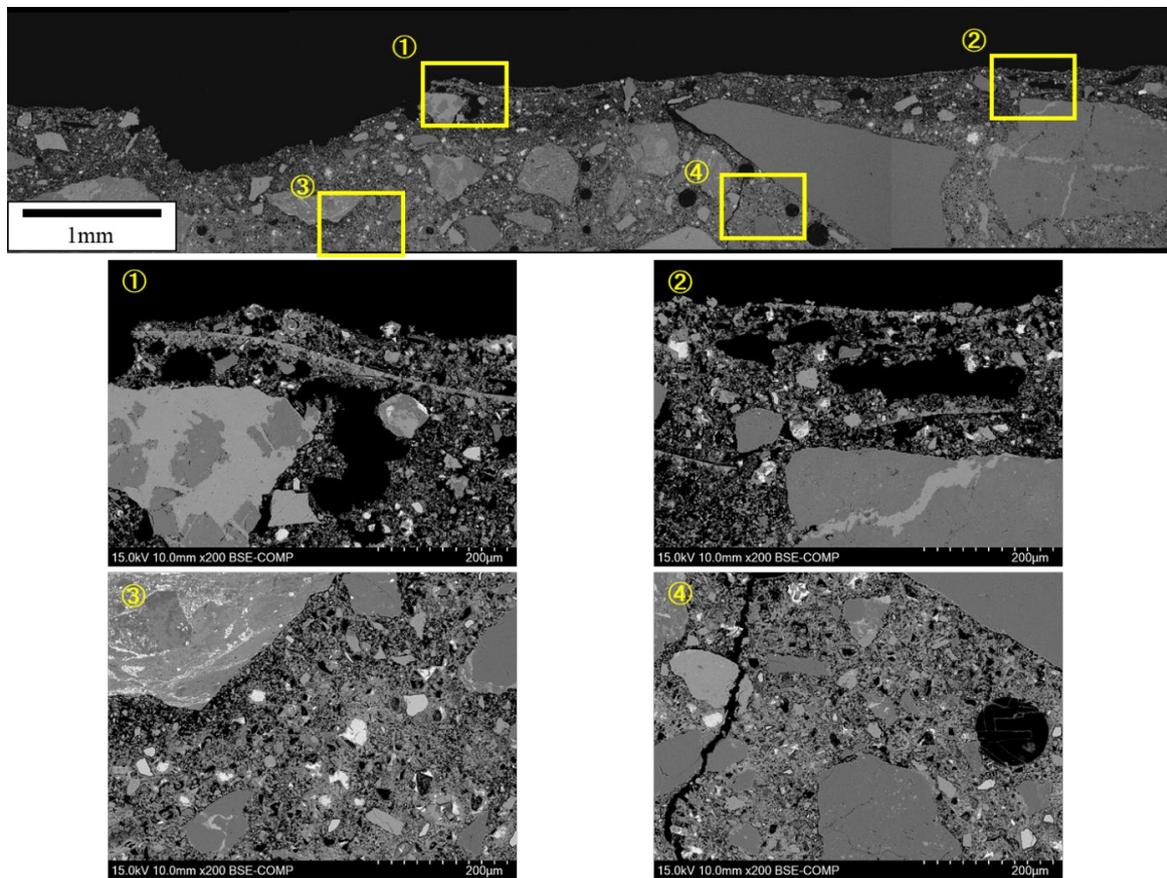


Fig.2 Backscattered electron image (Fc27, Finished before bleeding water stopped, 1.5h)

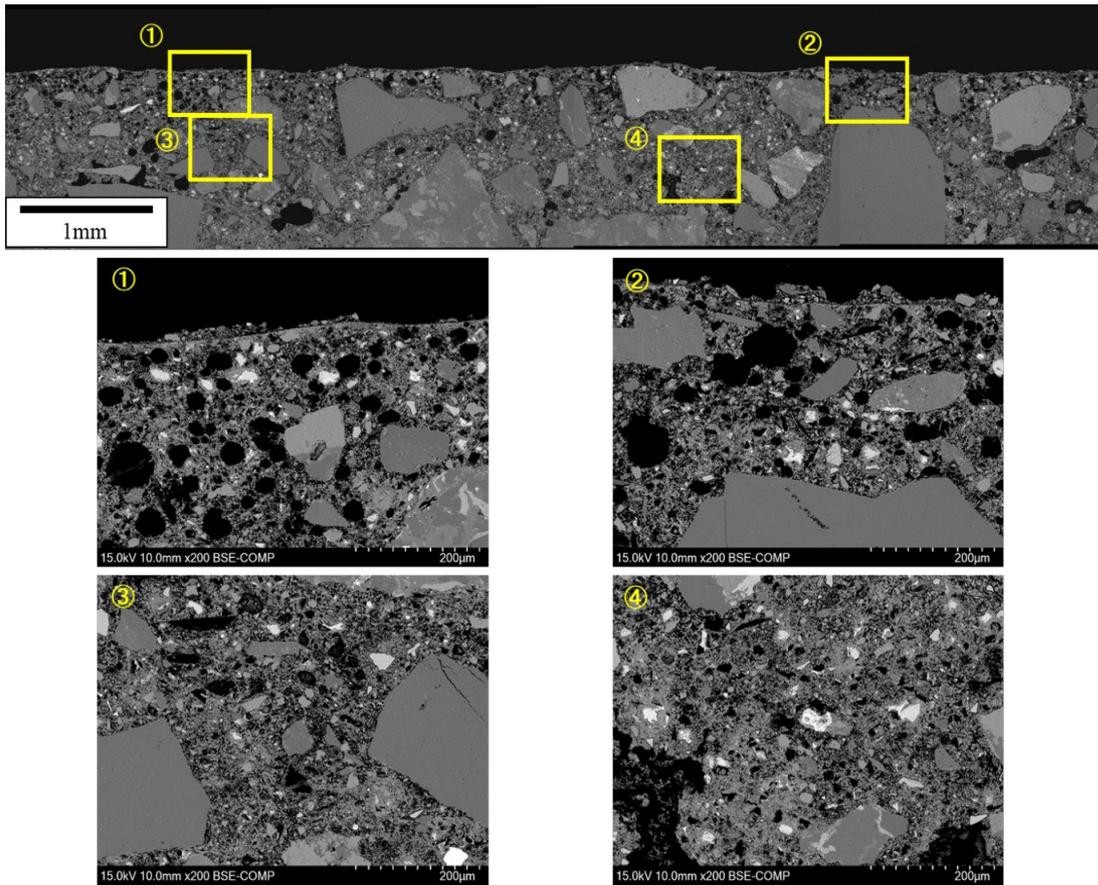


Fig.3 Backscattered electron image (Fe27, Finished immediately after bleeding water stopped, 4.5h)

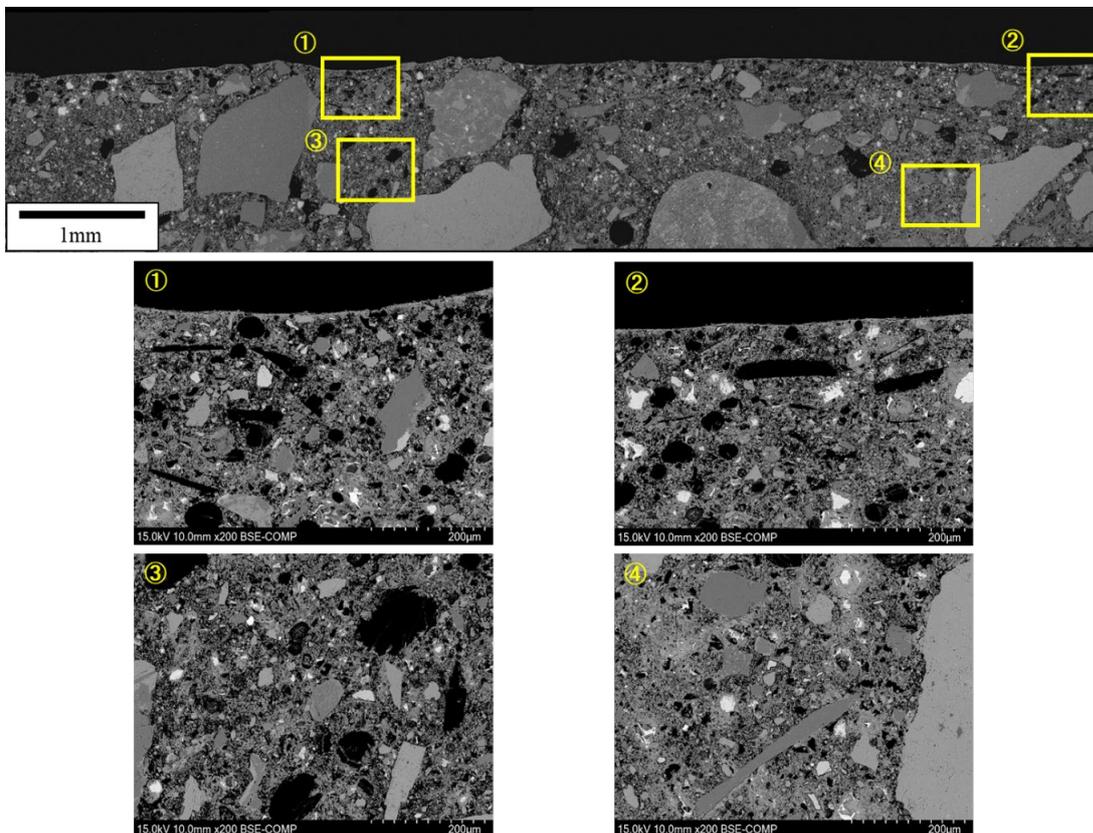


Fig.4 Backscattered electron image (Fe27, Finished at initial setting time, 5.5h)

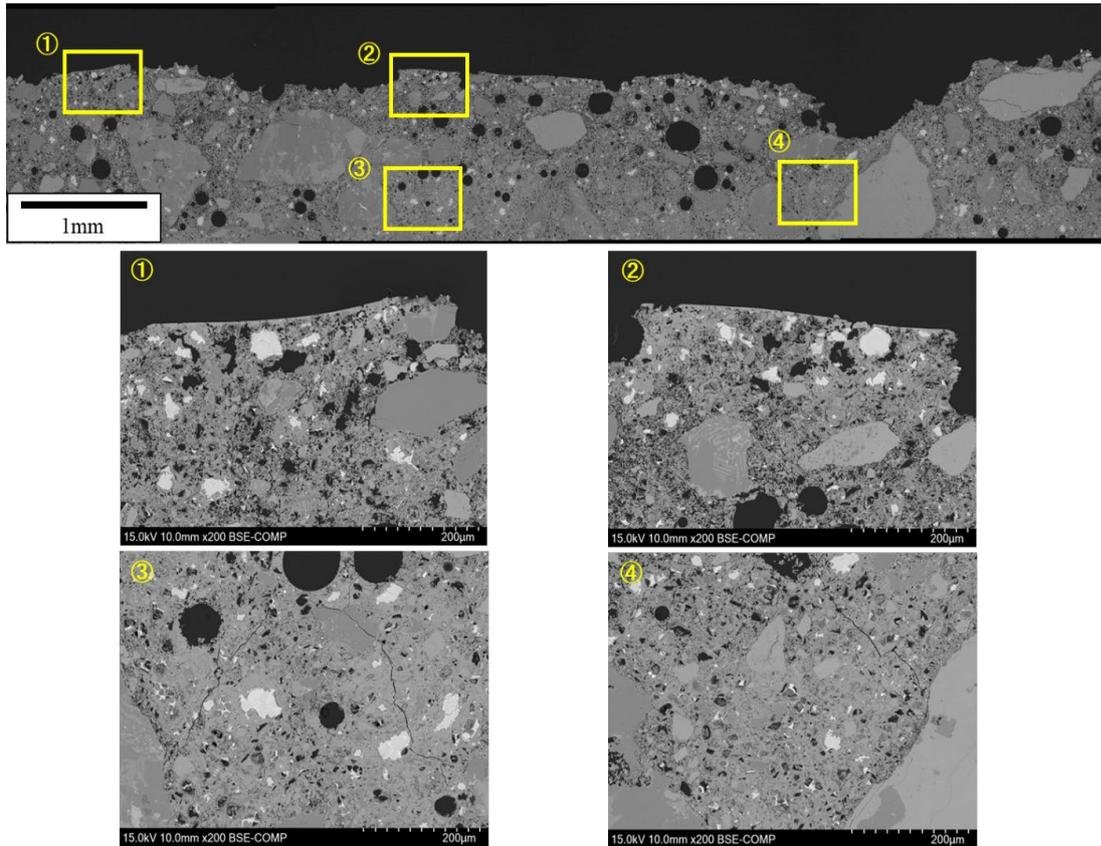


Fig.5 Backscattered electron image (Fc36, Finished immediately after placing, 0h)

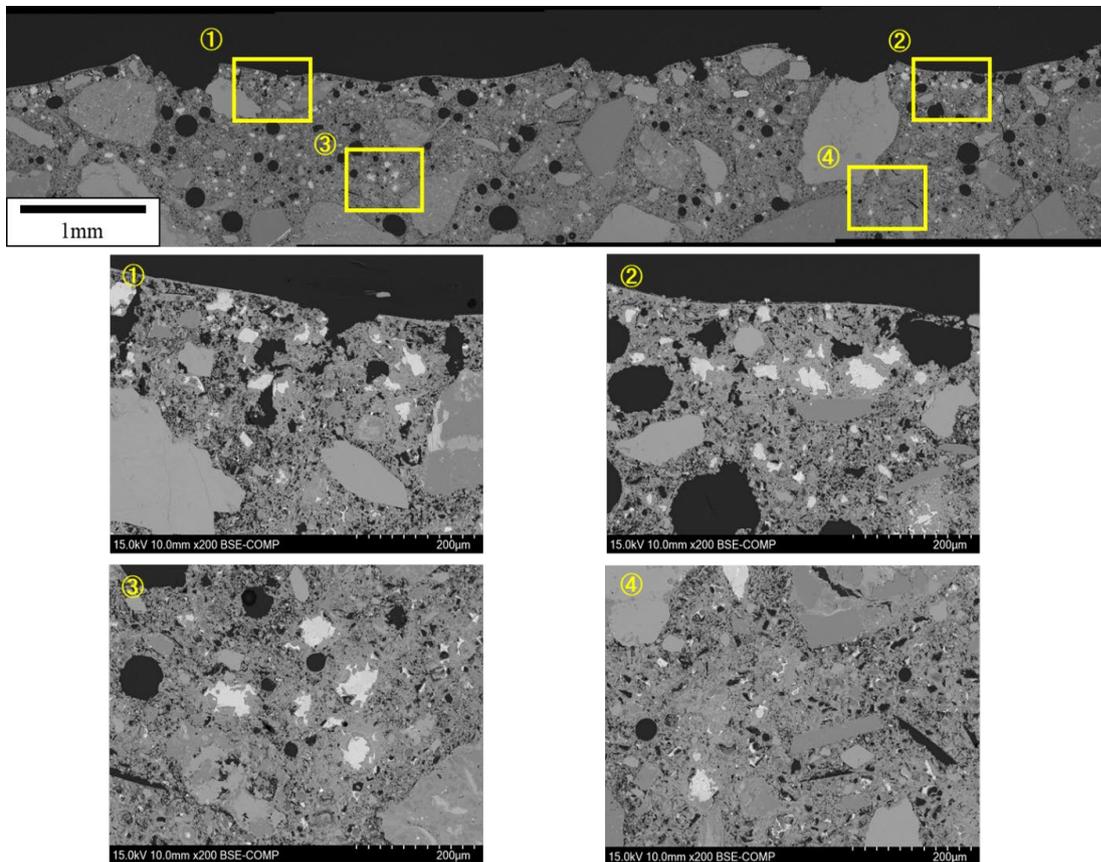


Fig.6 Backscattered electron image (Fc36, Finished before bleeding water stopped, 1h)

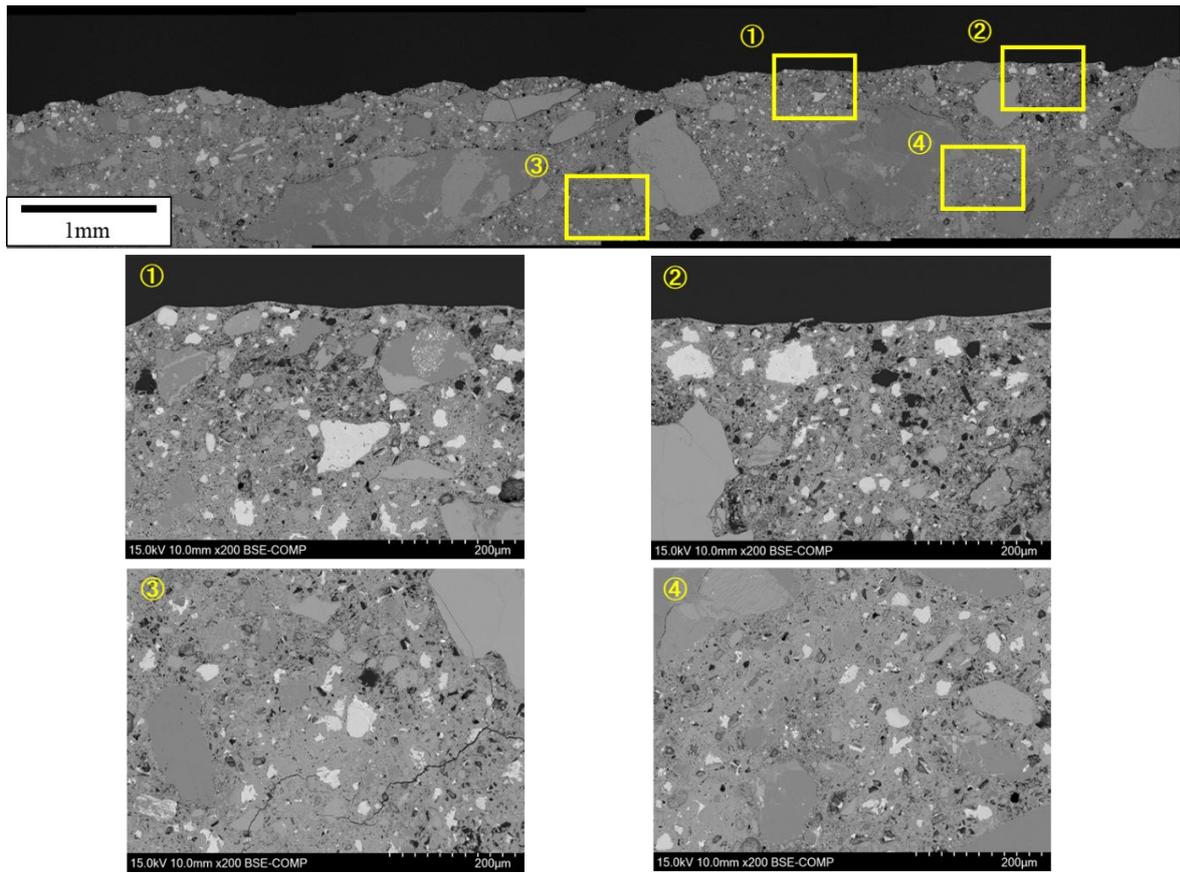


Fig.7 Backscattered electron image (Fc36, Finished immediately after bleeding water stopped, 4.5h)

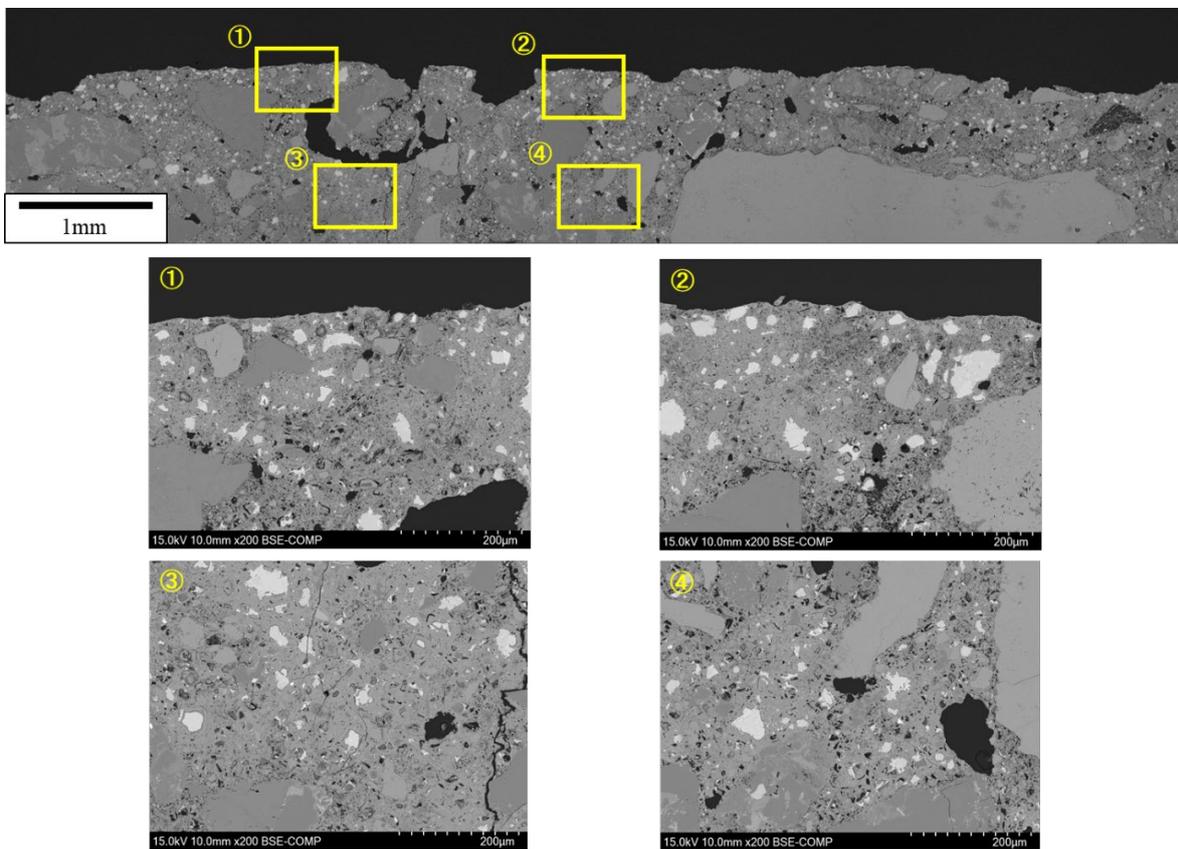


Fig.8 Backscattered electron image (Fc36, Finished at initial setting time, 5h)

クリートの粘性が高く仕上げるのが難しいため、Fc27 (図 3) と比べるとやや凹凸が見受けられた。

凝結始発時間に仕上げた図 8 の SEM 画像は、ブリーディングが収まってから仕上げた図 7 の SEM 画像に比べて、表面の凹凸が大きくなり、表層部に大きな空隙も見受けられた。これは、Fc36 は水セメント比が小さくブリーディングが収まった後の凝結も早いいため、仕上げるタイミングが遅くなると平滑に仕上げるのが困難になるためと考えられる。図 8③には、表層部に大きな空隙が残ったため、そこから生じたひび割れが観察できる。このように、仕上げ時期が遅くなりすぎると、表層品質は低下すると考えられる。

Fc36 の場合、各種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、凝結始発に仕上げると表層品質が低下する場合も見受けられた。SEM 画像からも、ブリーディングが収まった時に仕上げると表層部は平滑になり、組織も緻密になることが明らかになった。

#### 4. まとめ

仕上げ時期の異なるコンクリートの表層の状態を把握することを目的として、SEM により表層部の断面を可視化し観察を行った結果、以下の(1)および(2)が明らかになった。

- (1) 一般的な配合の Fc27 の床版試験体の場合、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凝結始発時間までに仕上げると、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観察できた。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。

- (2) 比較的強度の高い Fc36 の床版試験体の場合、SEM 画像 (反射電子像) より、ブリーディングが収まった時に仕上げると、表面の凹凸も小さく滑らかになり、大きな気泡も見受けられなかった。しかし、凝結始発時間に仕上げると、表面の凹凸が大きくなり、表層部に大きな空隙も見受けられ、そこから生じたひび割れが観察された。

#### 謝 辞

本研究は、「令和 3 年度ものづくり大学教育力・研究力強化プロジェクト」の一環として行われたものである。

#### 文 献

- 1) シュイネ, 澤本武博, 篠崎徹, 森濱和正, 樋口正典, 臺哲義: コンクリートの表層強度に及ぼす配合および仕上げ時期の影響, 日本非破壊検査協会秋季大会講演概要集, pp.71-74, 2021.11
- 2) 斎藤陽輝, 澤本武博, 篠崎徹, 森濱和正, 樋口正典, 臺哲義: コンクリートの透気透水性に及ぼす配合および仕上げ時期の影響, 日本非破壊検査協会秋季大会講演概要集, pp.55-58, 2021.11