論　文　*Article*

コンクリート床版の表層品質に及ぼす仕上げ時期の影響

原稿受付 2020 年 6 月 10 日
ものつくり大学紀要　第 10 号　(2020)　21　～　27

坂本大河[*1]，澤本武博[*2]，森濱和正[*2]，樋口正典[*3]，臺哲義[*3]

*1 ものつくり大学大学院　ものつくり研究科
*2 ものつくり大学　技能工芸学部　建設学科
*3 三井住友建設株式会社

Effects of Finish Timing on Surface Properties of Concrete Slab

Taiga SAKAMOTO[*1], Takehiro SAWAMOTO[*2], Kazumasa MORIHAMA[*2],
Masanori HIGUCHI[*3] and Akiyoshi DAI[*3]

[*1] Graduate School of Technologists, Institute of Technologists
[*2] Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists
[*3] SUMITOMO MITSUI Construction Co.,Ltd.

Abstract　The durability of concrete slab is apt to be influenced by finish timing of the concrete surface. Therefore, the finish timing which is considered the bleeding and 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 timing on the surface properties of reinforced concrete slab with the normal portland cement were examined. As a result, the surface tensile strength fell about 80% when the concrete slab was finished during seeping bleeding water from the concrete surface. In case finishing agent was used, workability, the surface tensile strength and the rebound number could be making progress when the concrete slab was finished at initial set. The water absorption velocity of concrete surface was most slowly when concrete slab was finished at initial set, and the scratch width was smallest. The scaling velocity at early time was fast when the concrete slab was finished during seeping bleeding water from the concrete surface. However, the scaling velocity at late time didn't change due to the finish timing of the concrete slab.

Key Words : Concrete Slab, Finishng, Rebound number, Air permeability, Water absorption

1. はじめに

コンクリート床版を現場施工する場合，コンクリートの打込み後，日射による温度上昇などの影響による水分の急速な蒸発に伴いプラスチック収縮ひび割れの発生や表層部の強度低下が生じる場合がある．このため，コンクリート打込み後の仕上げや養生が表層部の品質に及ぼす影響は大きく，適切な実施が重要となる．一般的に仕上げ作業はコンクリート表面を均一に粗ならしした後，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，仕上げ時期と硬化後の表層品質の関係については明らかになっていない[1),2)]．

本研究では，普通ポルトランドセメントを用いた RC 床版の施工を想定し，仕上げ時期の違いが，表層品質に及ぼす影響について検討した．実験で

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

Cement	Fc	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit content(kg/m³)					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

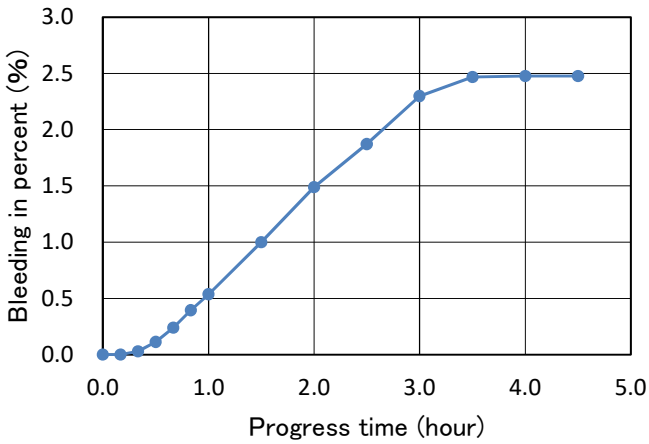


Fig. 1　Test results of bleeding of fresh concrete

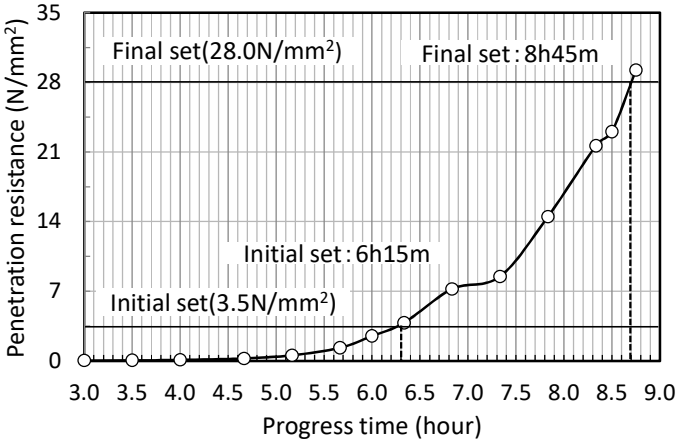


Fig. 2　Test results of setting time for concrete

は，コンクリートの打込み直後から凝結始発時期まで期間で，仕上げ作業を行う時期を 4 水準設定した．そして，仕上げ時期の違いが，表層品質に及ぼす影響について，引っかき傷試験，反発度試験，表層引張試験，表層透気試験，表面吸水試験およびスケーリング試験を行い，適切な仕上げ時期の検討を行った．

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/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 に示す．実験では，呼び強度 27，粗骨材の最大寸法 20mm，水セメント比 53.5%のレディーミクストコンクリートを使用した．フレッシュ試験の結果は，スランプが 13.5cm，空気量が 4.5%，コンクリート温度が 23.8℃，ブリーディング率が 2.48%であった．また，プロクター貫入試験の結果は，始発が注水から 6 時間 15 分，終結が 8 時間 45 分であった．ブリーディング試験およびプロクター貫入試験の結果を，それぞれ Fig. 1 および Fig. 2 に示す．

(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の様子を Fig. 3(a)に示す．

(3)コンクリートの仕上げ時期および養生方法

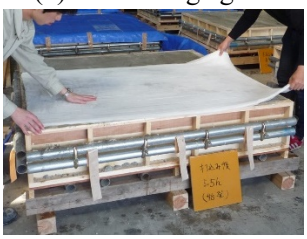
コンクリート打込み後，粗ならしをした状態からタイミングを変え，金鏝仕上げを行った．金鏝仕上げのタイミングは，打込み直後(0h)，打込み後 1.5 時間後のブリーディング水が浮いている状態(1.5h)，打込み後 4.5 時間後のブリーディング水が出なくなった状態(4.5h)，打込み後 5.5 時間後の再振動できない始発の状態(5.5h)とした．

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粗ならしと金鏝仕上げの際にそれぞれ 150ml/m² 噴霧した．仕上げ剤噴霧および金鏝仕上


(a) Compaction


(b) Finishing agent

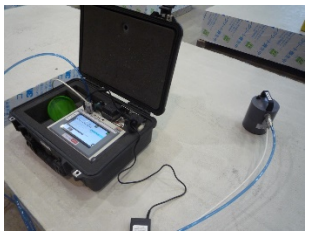

(c) Finishing

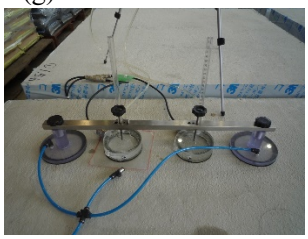

(d) Wet curing


(e) Scratch test


(f) Rebound hammer test


(g) Surface tensile test


(h) Air permeability test


(i) Water absorption test


(j) Scaling test

Fig. 3 Placing, curing and test methods

げの様子を，それぞれ Fig. 3(b)および Fig. 3(c)に示す．

金鏝仕上げ後，乾燥防止のため 24 時間のシート養生を行った．なお，仕上げ面にシートが接触しないよう，木枠を設置し養生を行った．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材齢 7 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．給水養生の様子を Fig. 3(d)に示す．

2.2 表層強度に関する試験方法

(1) 引っかき傷試験

引っかき傷試験の様子を Fig. 3(e)に示す．引っかき傷試験は，簡易型引っかき試験機を用いて，仕上げ面に 3 本ずつつけ，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き傷幅とした．試験は材齢 4 週および 8 週で実施した．

なお，簡易型引っかき傷試験機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 により開発されたもので，日本塗り床工業会の認定品として市販されている．この試験機は個人差がなく一定の角度と荷重でコンクリート面に引っかき傷をつけられる簡易な試験機である [3),4)]．

(2)反発度試験

反発度試験の様子を Fig. 3(f)に示す．JIS A 1155 規格適合品である 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 [5)]．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．

(3)表層引張試験

表層引張試験の様子を Fig. 3(g)に示す．表層引張試験は，官公庁仕様書に記載されている日本建築仕上学会認定の試験機である簡易型引張試験器を用いて，仕上げ時期が異なるそれぞれの床版の 3 カ所ずつを試験し，その平均値を引張強度とした．試験は材齢 9 週で実施した．

2.3 耐久性に関する試験方法

(1)表層透気試験

気体の移動抵抗性を示す表層透気試験は，トレント法によるスイス規格 SIA262/1 に示されているダブルチャンバーセルを用いて行った [6),7)]．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．なお，試験は，材齢 2 週，4 週および 8 週で実施した．表層透気試験の様子を Fig. 3(h)に示す．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

水の移動抵抗性を表す表面吸水試験は SWAT

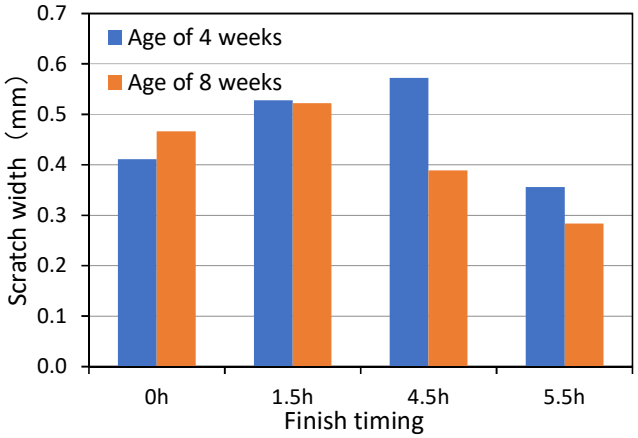


Fig. 4　Test results of scratch width

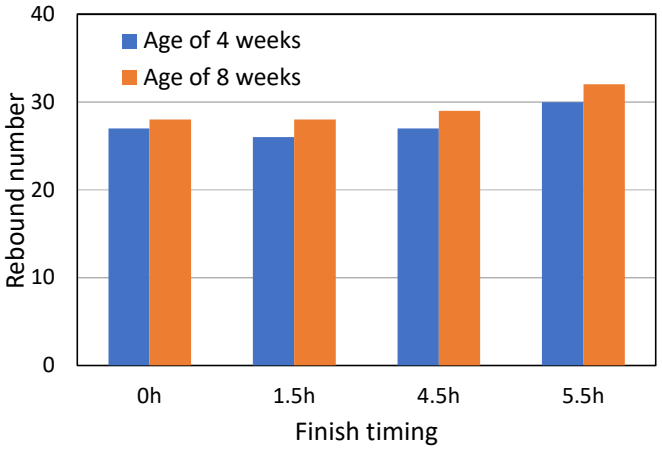


Fig. 5　Test results of rebound number

法を用いて行った [8]．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．なお，試験は材齢 5 週で実施した．表面吸水試験の様子を Fig. 3(i)に示す．

(3)スケーリング試験

耐凍害性を表すスケーリング試験は，床版試験体から φ150mm のコアを抜き取ったものを，ASTM C672 に準じて 3%の塩化ナトリウム水溶液で表面に水膜を形成し，温度マイナス 18±3℃で約 16～18 時間凍結させた後，温度 20℃で約 6～8 時間融解させるものであり，これを 1 サイクル(24 時間)とし，50 回繰り返した．測定は 5 サイクル毎に行い，端部を防水加工した試験面から，溜めた水溶液を取り除き，剥離した破片を乾燥させ質量の測定を行った．スケーリング試験は材齢 15 週から開始した．スケーリング試験の様子を Fig. 3(j)に示す．

3. 実験結果および考察

3.1　仕上げ作業のタイミング

打込み直後に金鏝仕上げを行うと，コンクリートの流動性が大きいため，鏝ムラが残り，均すタイミングとしては不適切であった．打込み後 1.5h に金鏝仕上げを行うと，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．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．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．

3.2　表層強度に関する試験結果

(1)引っかき傷試験

仕上がりの状態および引っかき傷を目視観察すると，打込み直後に仕上げた場合は仕上がりが汚く傷がつき，1.5h は最も仕上がりが汚く傷も広くなった．4.5h は仕上がりがきれいになったが傷が目立つ結果となった．5.5h は仕上がりが最もきれいで傷も目立たなくなった．

引っかき傷試験結果を Fig. 4 に示す．引っかき傷幅は，打込み後 1.5h～4.5h で大きくなり，5.5h の時に最も小さくなった．これは，仕上げ易さとも一致しており，仕上げ時期は仕上げられる最も遅いタイミングがよいと考えられる．

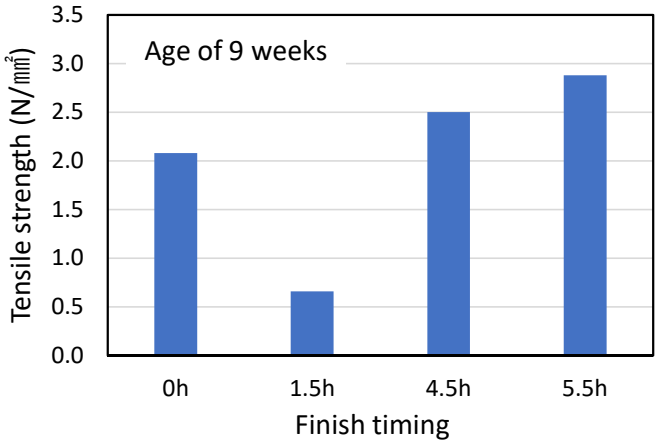
(2)反発度試験

反発度試験結果を Fig. 5 に示す．反発度試験においても，打込み後 5.5h の時に最も反発度が大きくなり，表層部が緻密になっていることが伺える．

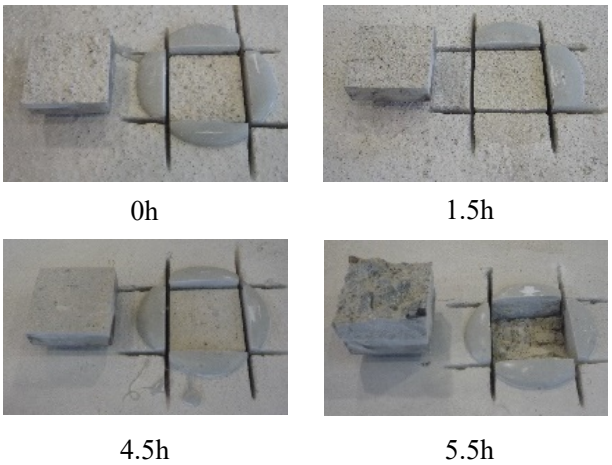
(3)表層引張試験

表層引張試験結果を Fig. 6(a)に示す．打込み後 1.5h の時に極めて引張強度は小さくなり，5.5h に比べて 80%程度も低下した．これは，表層部が水分を多く含んだ状態で硬化したため，表層部が強度低下を起こし，表面部分からアタッチメントが剥がれてしまったと考えられる．

表層引張試験後のアタッチメントの様子を Fig. 6(b)に示す．左上の画像の打込み直後に仕上げた結果は表層だけが剥離し，右上の 1.5h の強度は最も小さく，表層だけが剥離した．左下の 4.5h は，



(a) Tensile strength



(b) Attachment

Fig. 6 Test results of surface tensile strength

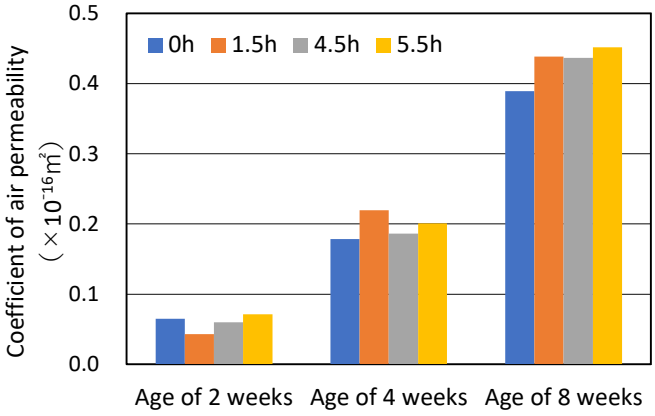


Fig. 7 Test results of air permeability

Table 2 Torrent grading

kT ($\times 10^{-16}m^2$)	0.001 ~0.01	0.01 ~0.1	0.1 ~1	1 ~10	10 ~100
Class	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5
Permeability	Very Low	Low	Moderate	High	Very High

強度はあるものの表層だけが剥離し，右下の 5.5h は最も強度が高く，母材で破壊した．

3.3 耐久性に関する試験結果

(1)表層透気試験

表層透気試験の結果を Fig. 7 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，材齢に伴う表面含水率の大きな変化も認められないことから，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．

表層品質試験結果の判定基準例として，表層透気試験(トレント法)計測結果に基づく(評価)グレーディングを Table 2 に示す[9]．材齢 8 週において，すべての仕上げ時期で，透気性評価は一般の判定範囲に収まる数値となった．この結果より，気体の移動抵抗性に対して，仕上げ時期の違いによる影響は小さいと考えられる．

含水率試験の結果を Fig. 8 に示す．すべての材齢において，始発の 5.5h に仕上げた場合にコンクリート表層部の含水率は大きくなる傾向にあり，始発時間に仕上げると最も緻密であると考えられる．

(2)表面吸水試験

表面吸水試験の結果を Fig. 9 に示す．表面吸水試験は表層透気試験とは異なり，仕上げ時期が遅くなるほど吸水速度は小さくなった．そして，始発の 5.5h 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)スケーリング試験

スケーリング速度とサイクル数の関係を Fig. 10(a)に示す．初期の段階である 5 サイクルでは，打込み直後の 0h，ブリーディングが活発な 1.5h のスケーリング速度は大きくなり，ブリーディングが収まった 4.5h，始発の 5.5h のときに小さくな

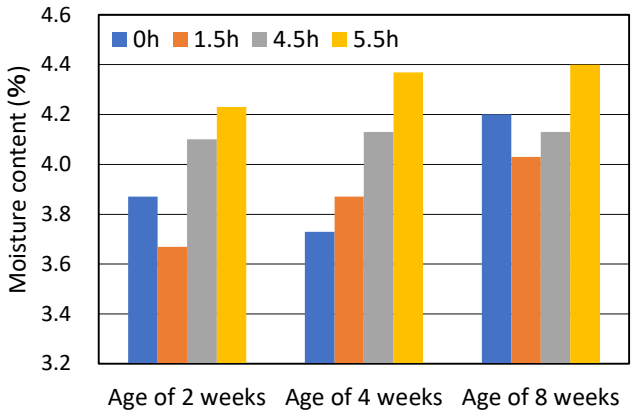


Fig. 8 Test results of moisture content

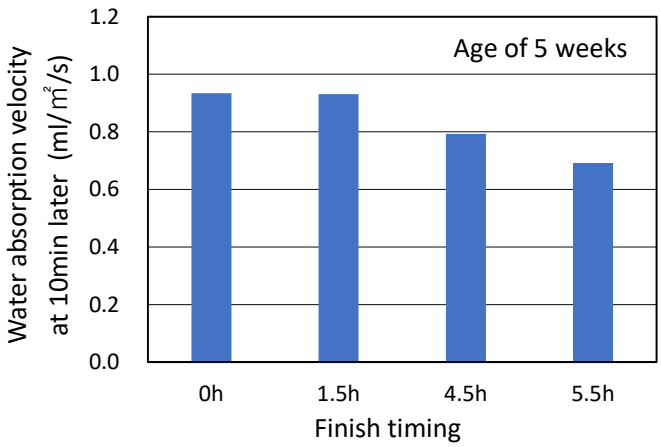
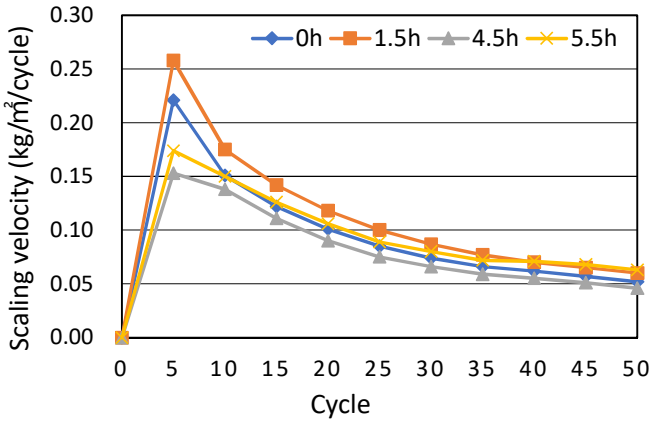
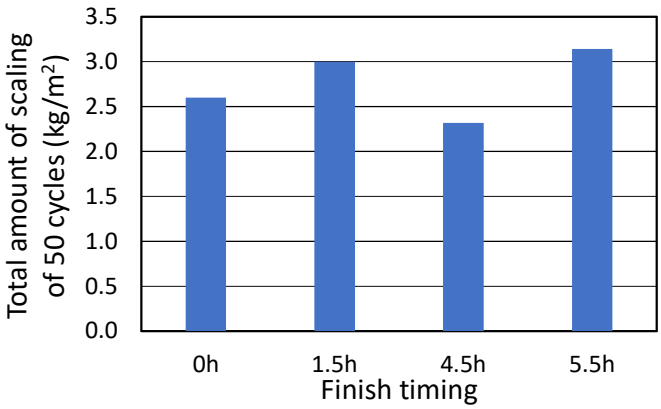


Fig. 9 Test results of water absorption



(a) Scaling velocity



(b) 50 cycles

Fig. 10 Test results of scaling

った．これは，ブリーディングが収まる前に仕上げると，その後ブリーディング水が上昇し，表層部を脆弱にすることで凍結融解作用に耐えられなくなったと考えられる．

50 サイクルまでのスケーリング量の累計を Fig. 10(b)に示す．初期の段階では，仕上げ時期による影響は見受けられたが，凍結融解作用の繰返しが多くなると，最終的にスケーリング量は同程度となった．これらのことより，仕上げ時期による影響は極表層に限られ，仕上げ時期が部材全体の耐凍害性に及ぼす影響は小さいものと考えられる．

4. まとめ

コンクリート床版において，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，以下の(1)～(4)が明らかになった．

(1) ブリーディング水が上昇している段階で仕上げを行うと，最大強度を示した凝結始発時期に仕上げを行った場合に比べ，表層引張強度は 80%程度も低下する結果が得られた．

(2) 仕上げ剤を用いた場合には，作業性および表層強度は，始発時期に仕上げると向上すると考えられる．

(3) 仕上げ剤を用いた場合には，始発時期に仕上げると最も表面吸水速度は小さくなった．しかし，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．

(4) ブリーディングが収まる前に仕上げると，初期の凍結融解でスケーリング速度は大きくなった．しかし，凍結融解作用が長期に渡ると，仕上げ時期の影響は小さくなった．

今回の実験の範囲において，呼び強度 27 の一般

的に使用されるコンクリートでは，仕上げ補助・養生剤を使用すると凝結試験における始発時間に仕上げるのが最も表層品質が向上した．適切な仕上げ時期は，セメントの種類，水セメント比，スランプなどのコンクリートの配合，また打込み時期や仕上げ補助剤の有無や種類によって異なってくると考えられるため，更なるデータの蓄積に努める予定である．

謝　辞

本研究を行うにあたりまして，ものつくり大学非常勤講師である RC 構造物総合実習 I の先生方，三井住友建設技術研究所の職員の皆様，ものつくり大学技能工芸学部建設学科澤本研究室に所属する大学院生，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．ここに記して深謝いたします．

文　献

1) 浅井宏隆ほか : 床版の施工方法がコンクリートの表層品質に及ぼす影響，プレストレストコンクリート工学会第 24 回シンポジウム論文集，pp.423-426，2015
2) 谷口秀明，樋口正典，藤田学 : 高強度コンクリートの打上り面の表面仕上げ方法に関する検討，三井住友建設技術研究所報告第 2 号，pp.47-52，2004
3) 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
4) 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
5) 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
6) スイス規格 : SIA262/1，2013
7) 半井健一郎，蔵重勲，岸利治 : かぶりコンクリートの透気性に関する竣工検査ースイスにおける指針ー，コンクリート工学 Vol.49，No.3，pp.3-6，2011，
8) 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，Vo1.69，No.1，pp.82-97，2013
9) コンクリート技術シリーズ「構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335 委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集」，土木学会，2008