論　文　*Article*

養生方法および給水養生のタイミングが コンクリートの表層品質に及ぼす影響

原稿受付 2020 年 6 月 8 日
ものつくり大学紀要　第 10 号　(2020)　28　～　34

坂本大河[*1]，澤本武博[*2]，森濱和正[*2]，篠崎徹[*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 Curing Methods and Wet Curing Timing on Surface Properties of Concrete

Taiga SAKAMOTO[*1], Takehiro SAWAMOTO[*2], Kazumasa MORIHAMA[*2], Toru SHINOZAKI[*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 slabs is apt to be influenced by finishing methods and curing methods of concrete surface. Therefore, the finishing agent had better use in case of high strength concrete, the wet curing had better carry out on concrete surface. However, it is not obvious that when wet curing is started after finishing of concrete surface. In this study, the effects of the difference in finishing methods and curing methods on the surface properties of concrete were examined by surface tensile test, air permeability test, water absorption test and scaling test. As a result, use of the finishing agent was effective to improve the surface properties in high strength concrete. However, use of the finishing agent was ineffective in normal strength concrete. When wet curing was carried out, high strength concrete was more effective than normal strength concrete. The surface properties of concrete could be improved when the wet curing was begun after it passed for several hours from finale set of the setting time test for concrete.

Key Words : Concrete slab, Wet curing, Surface tensile strength, Air permeability, Water absorption, Scaling

1. はじめに

コンクリート床版の現場施工において，施工方法およびコンクリート打込み後における養生が床版の耐久性を大きく左右する[1)2)]．そのため，コンクリートの仕上げ後にシートによる乾燥防止，さらには湿潤マットによる給水養生が行われる．しかし，給水養生開始のタイミングを検討した例は少なく[3)]，仕上げ後どのタイミングで給水養生を行うことが，表層品質に最も有効であるかは明らかになっていない．

本研究では，コンクリート床版の表層品質の観点から，普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメントを用いたレディーミクストコンクリートを使用し，コンクリート打込み後の仕上げ補助･養生剤の有無による仕上げ方法の違い，

Table 1　Mix proportion of concrete, test results of fresh concrete and compressive strength

Sign	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)		Standard curing (N/mm²)	Sealed curing (N/mm²)
						W	C	S	G	Ad	Slump (cm)	Air (%)	Temperature (℃)		Initial set	Final set	28days	28days
Fc27N	N	27	20	53.5	44.8	168	315	804	1001	3.78	9.5	5.1	24.6	1.20	6:00	8:15	32.4	35.1
Fc40H	H	40	20	40.4	41.2	180	446	686	1001	4.46	19.0	5.6	31.1	0.07	4:00	4:40	50.9	47.7

シートや湿潤マットを使用した養生方法および給水養生開始のタイミングの違いがコンクリートの表層品質に及ぼす影響を検討した．そして，表層強度を評価する表層引張試験，物質移動抵抗性を評価する表層透気試験および表面吸水試験，耐凍害性を評価するスケーリング試験を行い，適切な給水養生開始のタイミングを評価した．

2. 実験概要

2.1　供試体の作製

(1)コンクリートの使用材料および配合

コンクリートの配合，フレッシュ試験および圧縮強度試験結果を表 1 に示す．実験では，RC 床版を想定した普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³）用いた呼び強度 27(以下，Fc27N)，PC 床版を想定した早強ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm³)を用いた呼び強度 40(以下，Fc40H)の 2 種類のレディーミクストコンクリートを使用した．粗骨材の最大寸法はいずれも 20mm，水セメント比は Fc27N が 53.5%，Fc40H が 40.4%である．

Fc27N の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)，混和材には AE 減水剤を用いた．

Fc40H の細骨材には埼玉県秩父郡皆野町産砕砂(表乾密度 2.66g/cm³)，千葉県印旛郡栄町産砂(表乾密度 2.60g/cm³)，埼玉県児玉郡神川町産砂(表乾密度 2.63g/cm³)の 3 種類を 4:3:3 の比率で混合したものを使用した．また，粗骨材には埼玉県秩父郡皆野町産砕石(表乾密度 2.69g/cm³)，混和剤には，AE 減水剤を用いた．

フレッシュ試験の結果は，Fc27N の場合にはスランプが 9.5cm，空気量が 5.1%，温度が 24.6℃，ブリーディング率が 1.20%，プロクター貫入試験の結果(凝結時間)は始発が 6 時間，終結が 8 時間 15 分であった．

Table 2　Curing methods

Sign	Finishing agent	NN	AN	AA			
				0h	3h	6h	24h
Fc27N	Free	○	○	○	○	○	○
	Add	○	○	○	○	○	○
Fc40H	Free	○	○	○	○	○	○
	Add	－	○	○	－	○	○

Fc40H の場合は，暑中環境下で行ったため，供試体作製時のスランプの低下を懸念して，スランプは大きめとし 19.0cm，空気量は 5.6%，温度は 31.1℃であった．ブリーディング率は 0.07%と，ほぼ水は浮いてこない状況であった．また，プロクター貫入試験の結果は始発が 4 時間，終結が 4 時間 40 分と，始発と終結の間は非常に短かった．

(2)コンクリートの打込み

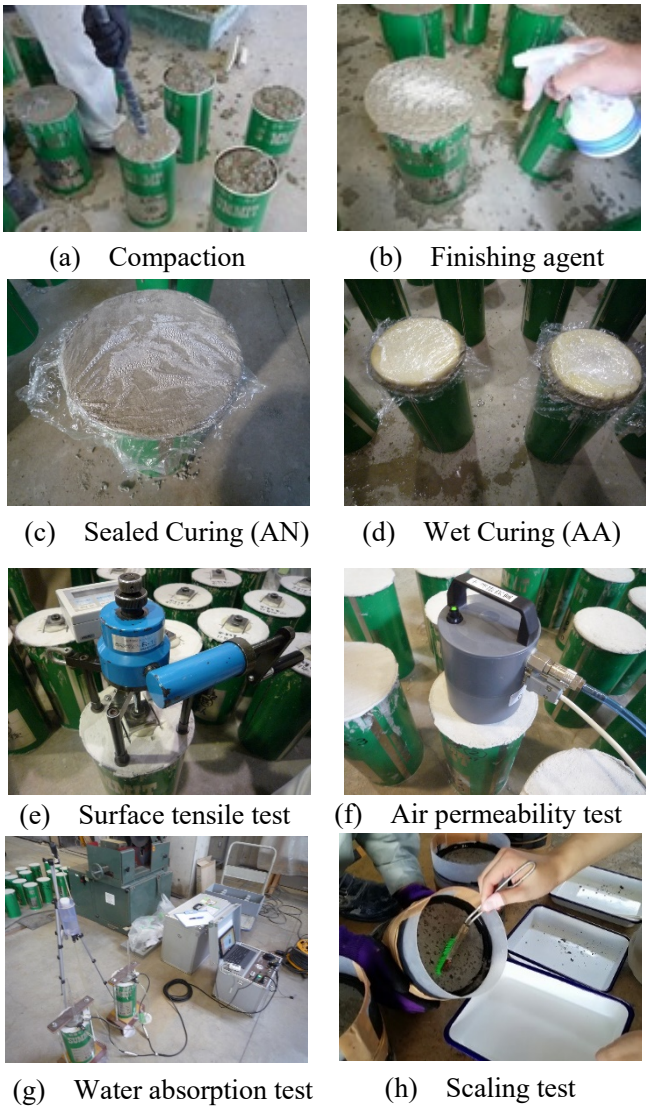
今回の実験では，コンクリート床版の厚さを 300mm とし，床版から部分的にコアを抜き取り，試験することを想定して，φ150×300mm の円柱供試体を用いることとした．供試体の作製は 2 層でコンクリートを打ち込み，内部振動機で締固めを行った．締固めの様子を図 1(a)に示す

(3)養生方法

供試体の養生方法の一覧を表 2 に示す．表に示した記号の NN はシート無・湿潤マット無を，AN はシート有・湿潤マット無を，AA はシート有・湿潤マット有を表し，記号の「－」は，試験を行っていない項目を示している．

仕上げ補助・養生剤(以下，養生剤)には水性パラフィンワックスを主成分とするものを用い，打込み直後の粗均しおよびブリーディングのおさまった時期(Fc27N は打込みから 4 時間 30 分後，Fc40H は打込みから 2 時間後)の金鏝仕上げの時にそれぞれ標準散布量の 150ml/m² 噴霧した．養生剤噴霧の様子を図 1(b)に示す．

シートはポリエチレン製，湿潤マットは十分に



(a) Compaction (b) Finishing agent
(c) Sealed Curing (AN) (d) Wet Curing (AA)
(e) Surface tensile test (f) Air permeability test
(g) Water absorption test (h) Scaling test

Fig. 1 Placing, curing and test methods

水分を供給することができるウレタンフォーム製のものとし，湿潤マットは，仕上げ直後(0h)，仕上げから3時間後(3h), 6時間後(6h), 24時間後(24h)に設置した．湿潤養生期間は，コンクリート標準示方書を参考に，Fc27N の場合は材齢 7 日まで，Fc40H の場合は材齢 3 日までとした．なお，仕上げ後湿潤マットを設置するまではシート養生を行うこととし，供試体の型枠は脱型せずにそのまま存置した．シートおよび湿潤マットを用いた養生の様子を，それぞれ図 1(c)および図 1(d)に示す．

シートによる養生および湿潤マットによる養生を終えた後は，空調のない実験室において試験材齢まで気中養生を行った．

2.2 各種試験方法

(1)表層引張試験

表層強度を示す表層引張試験は，簡易型引張試験器を用いて行った．簡易型引張試験器は，官公庁仕様書に掲載されている日本建築仕上学会の認定品として市販しているものを用いた．測定箇所は供試体上面の中央部とし，Fc27N は 2 本，Fc40H は 3 本の平均値を引張強度とした．なお，試験は Fc27N では材齢 3 ヶ月，Fc40H は材齢 1 ヶ月で実施した．表層引張試験の様子を図 1(e)に示す．

(2)表層透気試験

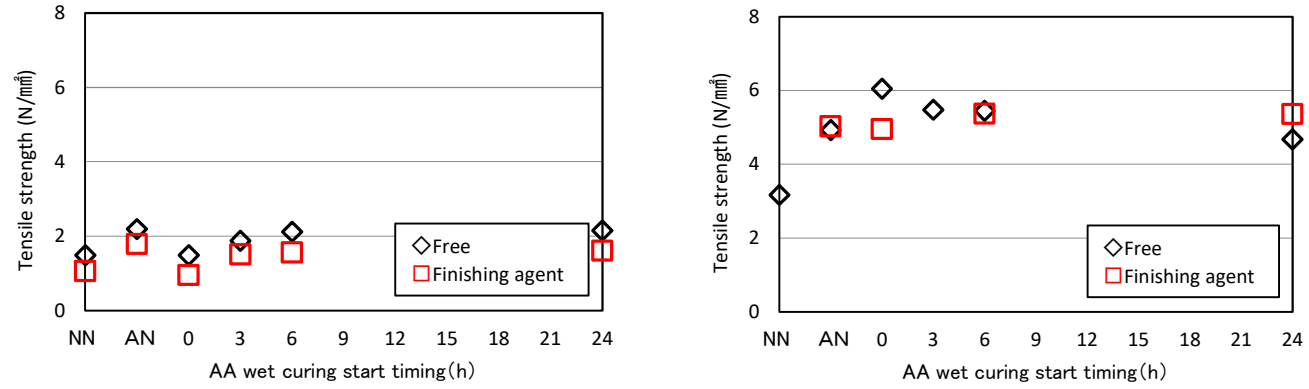
気体の移動抵抗性を示す表層透気試験は，トレント法によるスイス規格 SIA262/1 に示されているダブルチャンバーセルを用いて行った [4]．測定箇所は供試体上面の中央部にチャンバーを設置し，それぞれの養生方法で養生した供試体を測定し，3 本の相乗平均値を表層透気係数とした．なお，試験は Fc27N では材齢 2 ヶ月，Fc40H は材齢 1 ヶ月で実施した．表層透気試験の様子を図 1(f)に示す．表層透気試験は，コンクリート表層部の含水率の影響を受けるため，表層部がある程度乾燥した状態で実施する必要があり，含水率は，いずれの養生を行った場合でも表層透気試験に影響を及ぼさないとされる 5.5%以下であった [5]．

(3)表面吸水試験

水の移動抵抗性を示す表面吸水試験は SWAT 法を用いて行った [6]．測定箇所は供試体上面の中央部とし，10 分間吸水させた．Fc27N は 2 本，Fc40H は 3 本の供試体の平均値を表面吸水速度とした．なお，試験は Fc27N では材齢 2 ヶ月，Fc40H は材齢 1 ヶ月で実施した．表面吸水試験の様子を図 1(g)に示す．

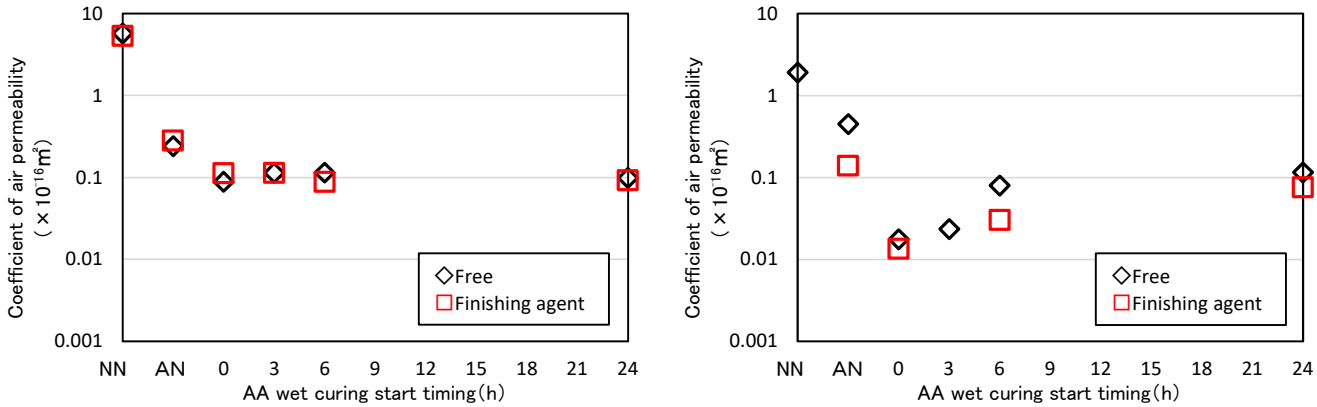
(4)スケーリング試験

耐凍害性を示すスケーリング試験は，ASTM C 672 に準拠して 3%塩化ナトリウム水溶液で表面に水膜を形成した供試体を温度マイナス 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 サイクル分繰り返した．測定は 5 サイクル毎に実施し，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，剥離した破片の質量の測定を行った．なお，スケーリング試



Fc27N　　Fc40H

Fig. 2　Test results of surface tensile strength



Fc27N　　Fc40H

Fig. 3　Test results of air permeability

験は Fc27N では材齢 4 ヶ月，Fc40H は材齢 1 ヶ月から開始した．スケーリング試験の様子を図 1(h)に示す．

3. 実験結果および考察

3.1　各種試験結果

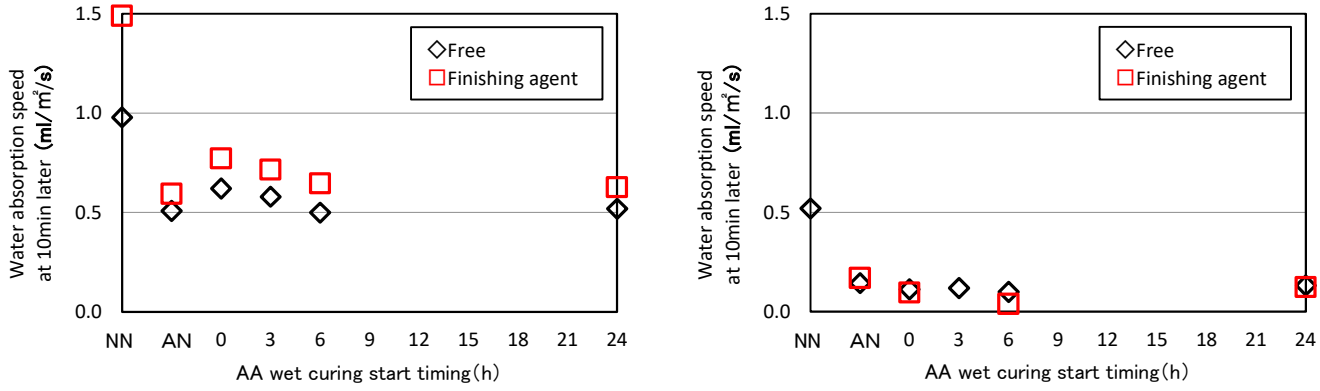
(1)表層引張試験

表層引張試験結果を図 2 に示す．Fc27N では，養生剤を使用しない場合の方が引張強度は大きくなった．これは，養生剤を用いると仕上げの作業性は向上するものの，強度がさほど高くないコンクリートでは，表層部が若干脆弱になった可能性がある．給水養生を行った場合(AA)は，湿潤マットの養生開始時間が遅くなるほど引張強度が大きくなる傾向にあった．そのため，給水養生を行う場合は，ある程度コンクリートが硬化してからがよいと考えられる．また，仕上げから 24 時間後に給水養生をした場合(24h)とシート養生のみ(AN)の引張強度がほぼ同じ値であったため，シート養生のみも効果的と考えられる．

Fc40H の引張強度はシート無・湿潤マット無(NN)で小さく，シート養生のみ(AN)，湿潤マットおよびシートで養生する(AA)ことで大きくなった．また，湿潤マット開始時間および養生剤の有無による差はあまり見受けられなかった．これは，呼び強度も大きく，早強ポルトランドセメントを用いているため，早期に表層部が硬化し始めるためと考えられる．

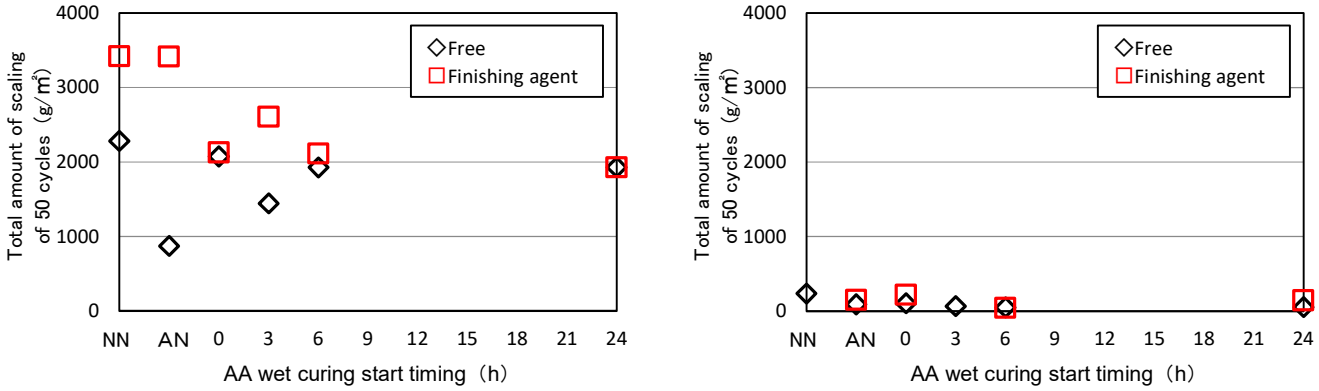
(2)表層透気試験

表層透気試験結果を図 3 に示す．Fc27N では，シート無・湿潤マット無(NN)とシート養生のみ(AN)に比べ，湿潤マットおよびシートで養生する(AA)方が表層透気係数は小さくなった．これは湿潤マットによる乾燥防止や給水によってコンクリート表層部の水和反応が促進されたためと考えら



Fc27N　　Fc40H

Fig. 4　Test results of water absorption



Fc27N　　Fc40H

Fig. 5　Test results of scaling

れる．また，養生剤の有無や湿潤マットの養生開始時間の違いは見受けられなかった．

Fc40H の場合も湿潤マットを用いる(AA)ことでコンクリート表層部は緻密になり表層透気係数は小さくなった．そして，養生剤を使用した方が表層透気係数は若干小さくなった．また，湿潤マット開始時間は，仕上げ後なるべく早く行うほど表層透気係数が小さくなる傾向にあった．Fc40H の場合に養生剤を用いると，表層透気係数は若干ではあるが小さくなることから，強度が高く，硬化の早いコンクリートには，作業性の向上に加えて膜養生の効果が現れると考えられる．

(3)表面吸水試験

表面吸水試験結果を図 4 に示す．Fc27N では，養生剤を使用しない場合の方が表面吸水速度は小さくなった．また，湿潤マットの養生開始時間が遅くなるほど表面吸水速度は小さく緻密になる傾向にあった．これは，表層引張試験結果とも同様の傾向を示す．

Fc40H の表面吸水速度は湿潤マットおよびシートで養生する(AA)ことでコンクリート表層部が緻密になり小さくなった．そして，養生剤を使用した方が表面吸水速度は若干小さくなる傾向にあった．また，仕上げ後 6 時間後に湿潤マットで養生を開始する場合が最も表面吸水速度は小さくなった．これらのことより，水の移動抵抗性に対して，適切な給水養生開始時間が存在すると考えられる．

(4)スケーリング試験

スケーリング試験結果を図 5 に示す．Fc27N では，養生剤を使用しない場合の方がスケーリング量は小さくなる傾向にあった．これは，表層引張試験，表面吸水試験と同様に養生剤の散布により強度があまり高くないコンクリートでは，表層部が脆弱化する可能性がある．

Fc40H では養生剤の使用の有無による差は小さ

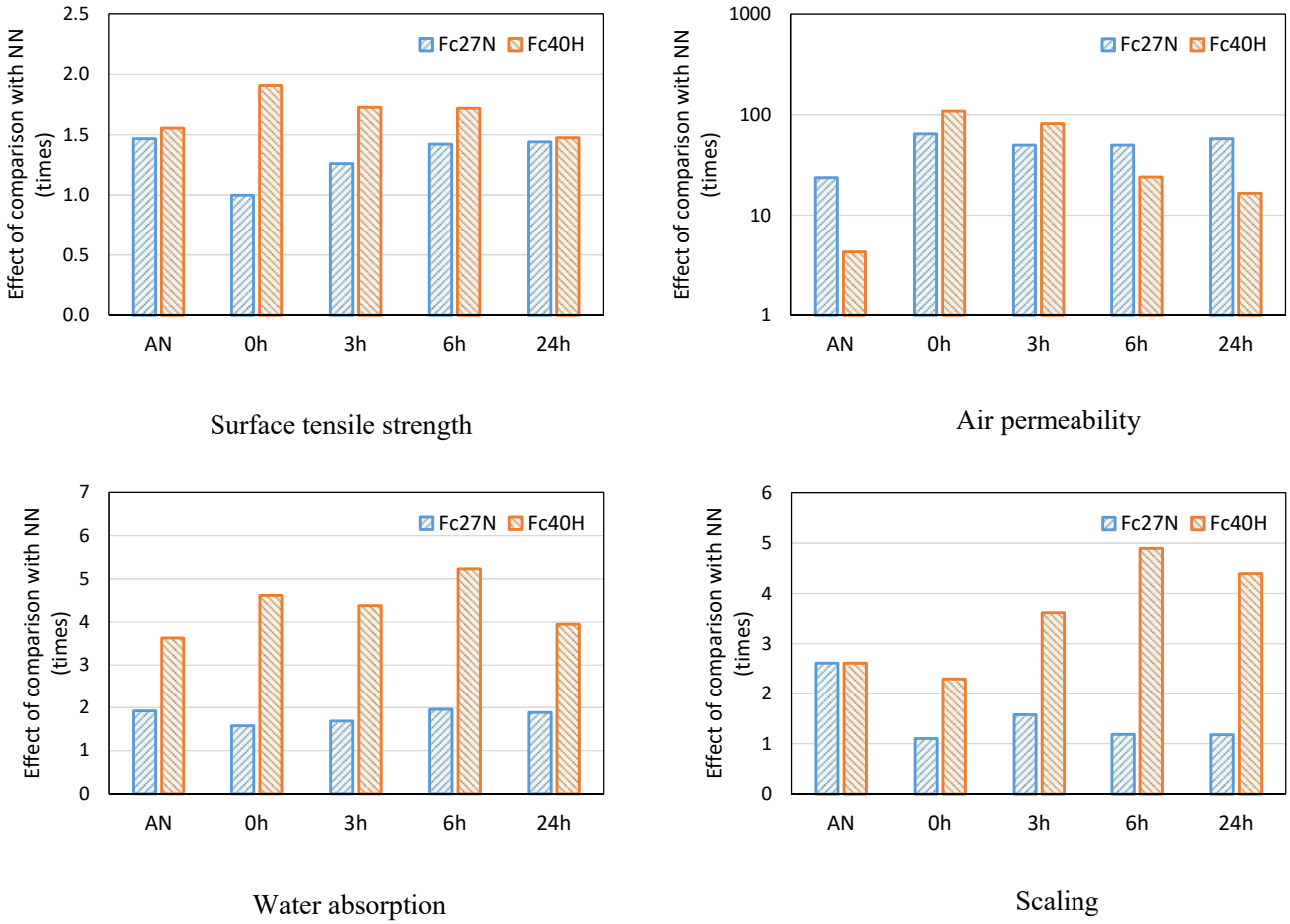


Fig. 6　Effect of comparison with NN

く,仕上げてからすぐではなく仕上げ後 3～6 時間以降に湿潤マットおよびシートで養生を行う(AA)とスケーリング量は減少する傾向にあった.

3.2　気中養生に対する各養生の効果

各種試験結果から，シート無・湿潤マット無(NN)の試験値に対しての効果(何倍)を表すと図 6 のようになる．ここでは，NN と比較できる養生剤なしのみでの比較とした.

表層引張試験，表面吸水試験およびスケーリング試験における NN に対する効果は，シート養生のみ(AN)の場合では Fc27N と Fc40H に明確な違いは見受けられなかった．しかし，給水養生を行う場合(AA)では，Fc27N よりも Fc40H の方が効果は大きくなる傾向にあった．これは，水セメント比 45%の配合で給水養生の効果が最も現れるという報告 [7]とも一致しており，水和に必要な水分が不足し高強度すぎない配合には，給水養生が最も適していると考えられる．つまり，NN に対する給水養生を行う効果は，水セメント比が 53.5%(Fc27N)よりも 40.4%(Fc40H)で大きくなると考えられる．一方，表層透気係数には Fc27N よりも Fc40H の方が効果は大きくなる傾向は見受けられず，気体の移動抵抗性に関しては，配合が給水養生の影響をあまり受けない結果となった．そのメカニズムに関しては，今後の課題とする.

3.3　養生方法と給水養生のタイミングの評価

養生方法と給水養生のタイミングの評価を表 3 に示す．表では，本実験における相対比較で養生剤の有無なども総合的に判断し，3 段階での評価とした．そのため，養生剤の有無による違いが著しい，スケーリング試験における Fc27N の AN の評価は低くした.

表 3 左に示すとおり，Fc27N は仕上げてから 6 時間(6h)以降に給水養生を行った場合で，すべての試験において評価が高くなった．また，表 3 右の Fc40H では，給水養生を 3 時間(3h)以降に開始

Table 3　Evaluation of curing methods and wet curing start timing

Fc27N

Test methods	NN	AN	AA			
			0h	3h	6h	24h
Surface tensile	△	○	△	△	○	○
Air permeability	×	△	○	○	○	○
Water absorption	×	○	△	△	○	○
Scaling	×	△	○	○	○	○

Fc40H

Test methods	NN	AN	AA			
			0h	3h	6h	24h
Surface tensile	×	○	○	○	○	○
Air permeability	×	△	○	○	○	○
Water absorption	×	○	○	○	○	○
Scaling	×	△	△	○	○	○

した場合に，試験結果が良くなった．ここで，注水から，打込みまでの時間はいずれも 45 分程度，打込みから金鏝仕上げの時間(Fc27N は打込みから 4 時間 30 分，Fc40H は打込みから 2 時間)および給水養生開始時間(Fc27N は仕上げから 6 時間，Fc40H は仕上げから 3 時間)をそれぞれ総合すると Fc27N では 11 時間 15 分, Fc40H は 5 時間 45 分となる．そこから，本実験のプロクター貫入試験結果の終結を差し引くと，Fc27N は 3 時間，Fc40H は 1 時間 5 分である．つまり，給水養生開始のタイミングは凝結時間における終結後，数時間経過した時期から翌日に行うとコンクリートの表層品質の向上に効果的であると考えられる．しかし，その範囲内では表層品質に大きな差はなく，翌日に給水養生を開始することでよいと考えられる．

4. まとめ

コンクリート床版において，養生方法および給水養生開始のタイミング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)～(3)が明らかになった．

(1) 養生剤の使用は，Fc40H では表層品質の向上に効果的であったが，Fc27N のように強度がそれほど高くない場合には，表層部が脆弱になる場合が見受けられた．

(2) 給水養生を行う場合は，Fc27N に比べて Fc40H のように比較的強度の大きい場合に表層引張強度，表面吸水速度およびスケーリングに対して効果的であった．しかし，表層透気係数には，配合による差は見受けられなかった．

(3) 給水養生開始のタイミングは凝結時間における終結後，数時間経過した時期から翌日に行うとコンクリートの表層品質の向上に効果的であると考えられる．しかし，その範囲内では表層品質に大きな差はなく，翌日に給水養生を開始することでよいと考えられる．

謝　辞

本研究を行うにあたり，RC 構造物総合実習 I の非常勤講師の先生方，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の皆様に多大なる御協力を賜りました．

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) 門井康太，澤本武博，舌間孝一郎，樋口正典：脱型時期および給水養生開始のタイミングがコンクリートの表層品質に及ぼす影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.70，pp.361-366，2018
4) スイス規格：SIA262/1，2013
5) 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－スイスにおける指針－，コンクリート工学 Vol.49，No.3，pp.3-6，2011，
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，Vo1.69，No.1，pp.82-97，2013
7) 井上翠，澤本武博，樋口正典，藤原貴央：コンクリートの表層品質に及ぼす配合および養生方法の影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.68，pp.345-351，2014.3