

施工方法がコンクリートの表層品質に及ぼす影響

Influence of Placement Procedure on Surface Quality of Concrete

石澤 正大 MASAHIRO KOKUZAWA

佐々木 亘 WATARU SASAKI

藤岡 泰輔 TAISUKE FUJIOKA

土木技術部 大野 寛太 KANTA ONO

土木技術部 斯波 明宏 AKIHIRO SHIBA

土木技術部 浅井 宏隆 HIROTAKA ASAI

施工方法がコンクリートの表層品質に及ぼす影響について検討を行った。表層品質の評価は、表層透気係数および表面吸水速度を用いた。壁部材での施工方法については、打込み・締固め・養生および透水型枠シートの効果を確認した。その結果、透水型枠シートの使用方法によって、表層透気係数および表面吸水速度が大幅に低減されることがわかった。床部材での施工方法については、均しおよび真空脱水などの効果を確認した。その結果、真空脱水では表層透気係数および表面吸水速度が低減され、表層品質の向上が確認された。

キーワード：表層品質，透気係数，吸水速度，養生，透水型枠シート，真空脱水工法

Placement procedures which effect to the surface quality of concrete were examined. For quantitative evaluation of surface quality, surface coefficient of air permeability and the surface speed of water absorption were employed. Regarding to placement methods for wall part, the effect of placing, compacting, and permeability formwork sheet were observed. As a result, surface coefficient of air permeability and surface speed of water absorption were substantially reduced by percolation mold sheet. Regarding to placement methods for deck slab part, the effect of leveling and vacuum dewatering were observed. As a result, vacuum processing method reduces surface coefficient of air permeability and surface speed of water absorption and improve surface quality of concrete.

Key Words: surface quality, Surface coefficient of air permeability, surface speed of water absorption, curing, permeability formwork sheet, vacuum dewatering method

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化は、二酸化炭素や塩化物イオンなどの劣化因子がコンクリート内部へ侵入することにより進行するため、耐久性を確保・向上させるためには、コンクリート表層部（かぶり部）の品質，特に物質透過性が重要になる。

一方で、コンクリート構造物の耐久性は、コンクリートの使用材料や配合だけに左右されるのではなく、施工の影響も大きく受けることが知られている。しかし、施工の影響が構造物の耐久性や物質移動抵抗性に及ぼす影響については、まだデータも少なく、十分に解明されていない状況にある。

壁部材では、部材厚が狭く棒状のバイブレータの挿入が困難なため、かぶり部を十分に締固めるのが難しい状況になることや、側面への給水による十分な湿润養生の実施が困難なため、乾燥の影響を受けやすいことなどが、表層部の品質に影響を与えると考えられる。

また床部材では、施工面積が広く締固め方法や養生方法による影響を受けやすいことや、均しや養生のタイミングを見極めることが難しく、施工者の技量によるバラツキなどの影響を受けやすいと考えられる。

そこで、壁部材および床部材を模擬した試験体を用い、締固めや養生、表面仕上げなどの施工方法がコンクリートの表層品質に及ぼす影響について検討を行った。



写真-1 壁試験体



写真-2 床版試験体

表-1 壁試験体の使用材料および配合

記号	呼び	スラ	Gmax	W/C	s/a	空気量	単位量(kg/m ³)										
	強度	ンブ	(mm)	(%)	(%)	(%)	セメント(C)			水	細骨材(S)			粗骨材(G)		高性能AE	AE
	(N/mm ²)	(cm)					早強	普通	高炉	(W)	S1	S2	S3	G1	G2	減水剤	減水剤
									B種								
PC40(H)	40	12	20	40.4	44.5	4.5	401	—	—	162	397	276	114	499	501	2.61	—
RC27(N)	27	12	20	54.8	47.6	4.5	—	311	—	170	437	302	126	488	488	—	3.11
RC27(BB)	27	12	20	54.8	47.2	4.5	—	—	311	170	431	299	124	488	488	—	3.11

表-2 床版試験体の使用材料および配合

記号	呼び	スラ	Gmax	W/C	s/a	空気量	単位量(kg/m ³)						
	強度	ンブ	(mm)	(%)	(%)	(%)	セメント(C)		水	細骨材	粗骨材(G)	高性能AE	
	(N/mm ²)	(cm)						(W)	(S)	減水剤			
							早強	普通					
PC40(H)	40	12	20	40.4	44.5	4.5	401	—	162	787	1000	2.61	
PC36(N)	36	15	20	42	42.7	4.5	—	381	160	746	675	1.52	
PC30(N)	30	12	20	52.2	45	4.5	—	308	160	829	1037	1.54	

表層品質の評価については、非破壊試験として表層透気試験および表面吸水試験を行い、その後一部の試験体についてはコアを採取し、促進中性化試験ならびに細孔径分布の測定を実施した。

2. 試験概要

今回採用した施工方法は表-3に示す通り8種類ある。

(1) コンクリートの配合

壁試験体に用いた3種類のレディーミクストコンクリートを表-1に、床版試験体に用いた3種類の配合を表-2に示す。

壁試験体には、プレストレストコンクリート(PC)構造物で一般的に用いられる配合で、早強ポルトランドセメントを使用した呼び強度40のコンクリート(以下PC40(H)配合)と、鉄筋コンクリート(RC)構造物に一般的に用いられる配合で、普通ポルトランドセメント(以下RC27(N)配合)および高炉セメントB種(以下RC27(BB)配合)を使用した呼び強度27のコンクリートを使用した。

また床版試験体には、壁試験体と同様にPC構造物で一般的に用いられる早強ポルトランドセメントを使用した呼び強度40のコンクリート(以下PC40(N)配合)と、場所打ちPC中空床版橋で用いられる普通ポルトランドセメントを使用した呼び強度36のコンクリート(以下PC36(N)配合)およびPCコンボ橋の場所打ち床版で用いられる普通ポルトランドセメントを使用した呼び強度30の普通コンクリート(以下PC30(N)配合)を使用した。

(2) 試験体の概要

試験体は壁および床版を模擬したものとした。壁部材を模擬した試験体(以下、壁試験体)を写真-1に示す。寸法幅900×高さ1800×厚さ400mmとした。また、床版を模擬した試験体(以下、床試験体)を写真-2に示す。寸法幅1800×高さ1800×厚さ200mmである。

(3) 表層品質の評価方法

表層品質の評価は、非破壊試験としてトレント法²⁾による表層透気試験および表面吸水試験(SWAT)³⁾により行っ

表-3 施工方法

種類	施工方法
標準	通常の棒状パイププレートによる締固めと型枠存置による標準日数 ¹⁾ の湿潤養生
振動系均し器具	均し作業とタンピング作業を同時に行うことができる機械であり、脱泡効果による表層の緻密化が期待できる。(エンジン式の振動スクリード)
トロウエル	機械に設置されたコテを回転させながらコンクリートを均す機械であり、大きさの異なる2種類の機械を使用した。(トロウエルA・B)
天端仕上げシステム	ローラーの回転に伴いこれを覆ったゴム材が回転しながら走行することで、コンクリート天端に圧力と振動を与える仕組みであり、圧力による締固め効果、振動による脱泡効果による表層の緻密化が期待できる。(写真-3)
真空脱水工法	真空ポンプを用いて表層部の余剰水を床版打設面から強制的に排出し、表層部を緻密化させる工法で、コンクリート舗装等で一般的に使用されている工法と、セメント粒子を通しにくい不織布で形成された特殊なシートを使用する改良型真空脱水工法の2種類を選定した。(写真-4, 5)
気泡除去	表面部の気泡除去を目的とし、型枠の内面に当てるようにして挿入し、上側に引き抜くことで表面の気泡を抜き取る、櫛状の気泡抜き取り具と、型枠面で使用するパンチプレート(孔開け加工された鋼板)状のパイププレートをを使用した。
養生	鉛直面用湿潤養生マット(十分に吸水させた後に脱型面に敷設)と、保水養生テープ(脱型後のコンクリート表面に直接貼付、乾燥防止)を使用した。また、型枠存置期間を約1ヶ月に延長したものについても試験を行った。(写真-6)
透水型枠シート	型枠内面に設置することにより、型枠近傍の余剰水や空気を型枠外へ排出させる機能を有するシートで、それぞれ構造が異なる3種類を選定し、を使用した。(写真-7)



写真-3 天端仕上げシステム



写真-4 真空ポンプ



写真-5 改良型真空ポンプ

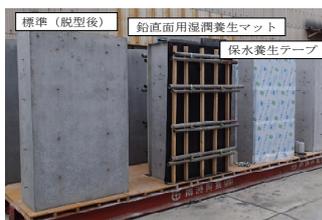


写真-6 試験体の養生状況



写真-7 透水型枠シート排水状況

た。試験材齢は5週～18週であり、壁試験体の測定は側圧の影響を考慮して、下半分(高さ900mmまで)の領域で行った。透気係数は3箇所、吸水速度は4箇所の平均値とした。また、一部の試験体については非破壊試験の後、φ100mmのコアを採取し、温度20℃、湿度60%、CO₂濃度5%の環境で促進中性化試験を実施した。細孔径分布の測定は、水銀圧入式ポロシメータにより行い、型枠面から深さ1cmの部分より実施した。

3. 壁部材の実験結果および考察

(1) 表層部の気泡除去が表層品質に及ぼす影響

気泡抜き取り具と気泡除去パイププレートを使用した場合の表層透気係数比(標準施工に対する比率)および表面吸水速度比(標準施工に対する比率)を図-1に示す。気泡抜き取り具および気泡除去パイププレートは、表層透気係数に対しては効果が確認できなかったが、表面吸水

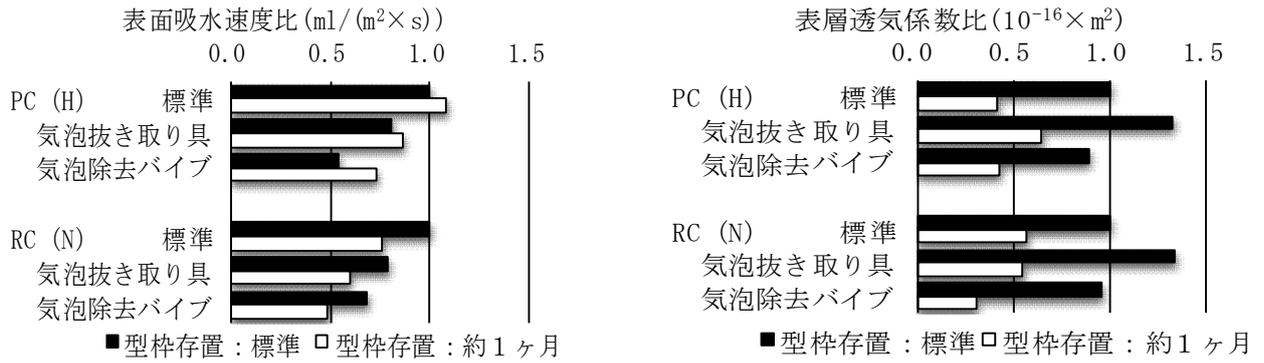


図-1 表層部の気泡除去が表層品質に及ぼす影響

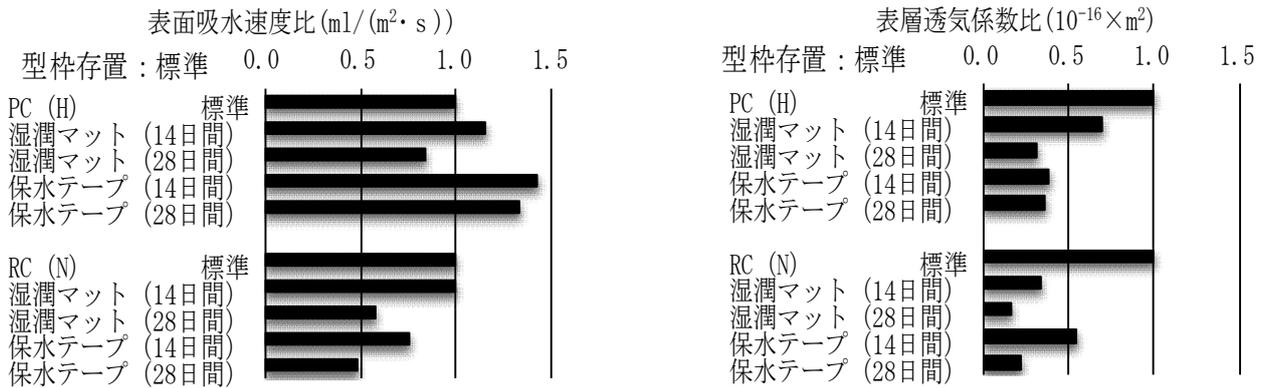


図-2 養生方法が表層品質に及ぼす影響

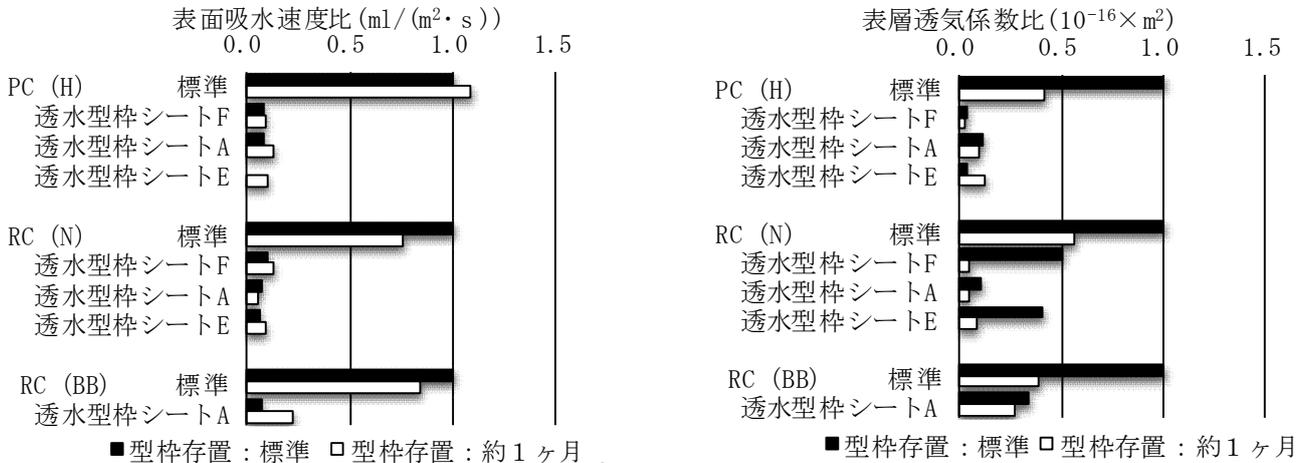


図-3 透水型枠シートの使用が表層品質に及ぼす影響

速度は小さくなる傾向にあり、その効果は気泡除去パイプの方が若干大きい。エントラップトエアーの減少が表面吸水速度に及ぼす影響は大きい可能性があり、反対に、表層透気係数ではエントラップトエアーの減少による影響は少ない可能性がある。また、表層で振動を与えることにより、気泡除去効果以外に、ブリーディング水が集められることにより物質透過性の高い層が形成されている可能性⁴⁾が考えられる。

(2) 養生方法が表層品質に及ぼす影響

養生方法と期間を変更した場合の表層透気係数および表面吸水速度比を図-2に示す。脱型後、湿潤養生マットおよび保水養生テープを用いて材齢14日および28日まで湿潤養生を延長した場合、表層透気係数は延長期間が長いほど低下する傾向にある。表面吸水速度については、RC(N)配合では低下する傾向にあるが、PC配合では効果が認められなかった。これらの結果は、図-1に示すように、型枠存置期間の延長についても同じことがい

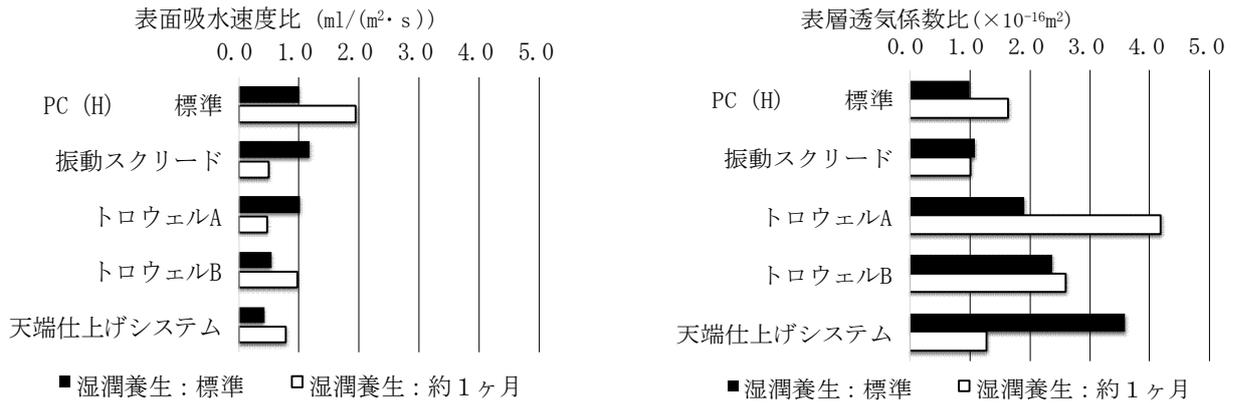


図-4 均し方法が表層品質に及ぼす影響



図-5 真空脱水工法が表層品質に及ぼす影響

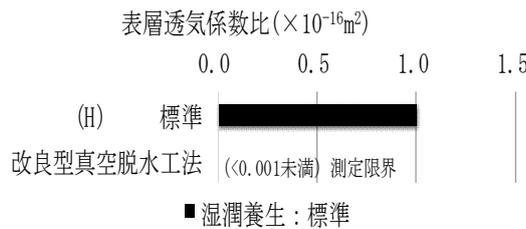


図-6 改良型真空脱水方法が表層品質に及ぼす影響

える。本実験で使用した RC 配合では、湿潤養生期間を長くすることで十分な水和反応が進み、品質の向上が期待できるが、一方で、PC 配合は標準日数の湿潤養生期間で水和反応が十分に進んでいると示唆され、必要以上に養生期間を長くしても品質向上が期待できないものと考えられる。

(3) 透水型枠シートの使用が表層品質に及ぼす影響

透水型枠シートを使用した場合の表層透気係数および表面吸水速度比を図-3に示す。透水型枠シートを使用することにより表層透気係数および表面吸水速度が大幅に低下することがわかる。表層透気係数については、比較的過大な値を示した RC(N) 配合での透水型枠シート F, E, RC(BB) 配合を除けば、1/10程度に低減されている。表面吸水速度についても、1/10程度にまで低減されていることがわかる。このことから、透水型枠シートを使用して型枠近傍の余剰水や空気を型枠外へ排出させることで、表層が緻密化され、表層の品質が大幅に改善されることが確認された。

4. 床部材の実験結果および考察

(1) 均し方法が表層品質に及ぼす影響

PC (構造) 配合の供試体における表層透気係数比 (標準施工に対する比率) および表面吸水速度比 (標準施工に対する比率) を図-4に示す。

トロウエルBと天端仕上げシステム⁴⁾を使用した場合、標準施工に比べ表面吸水速度は半分程度に小さくなるが、表層透気係数は若干大きくなる結果となった。その他の機械については、標準施工とほぼ同等の結果であり、表層品質の向上は確認できなかった。均し機械の効果については、締固めや脱泡効果による表層の緻密化が期待されたが、均し方法の違いによる表層品質の有意差は見られなかった。

また、湿潤養生期間を1か月まで延長した場合においても表層透気係数および表面吸水速度とも有意差は見られず、表層品質の向上は確認できなかった。

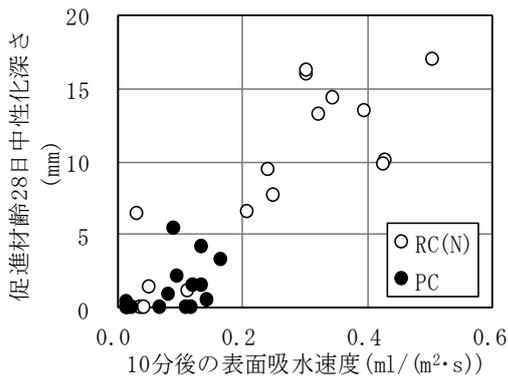


図-7 表面吸水速度と中性化深さの関係

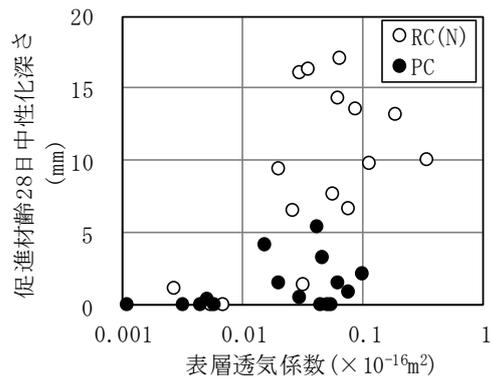


図-8 表層透気係数と中性化深さの関係

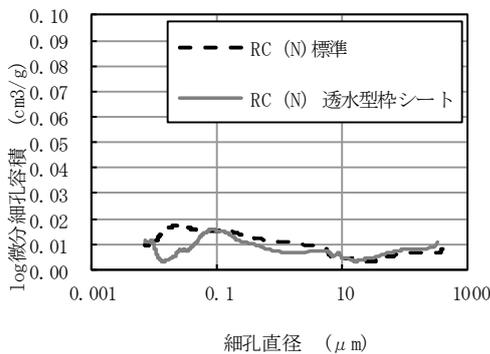


図-9 細孔径分布 (標準と透水性シート)

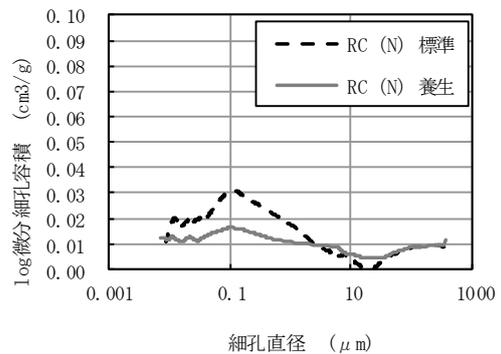


図-10 細孔径分布 (標準と養生マット)

(2) 真空脱水工法が表層品質に及ぼす影響

PC36(N) 配合の供試体の材齢41日における表層透気係数および表面吸水速度を図-5に示す。真空脱水工法により、表層透気係数と表面吸水速度がともに低減し、真空脱水工法による表層品質の向上が確認できた。真空脱水工法にて表層部の余剰水を強制排出することにより表層部が緻密化したためと考えられる。

(3) 改良型真空脱水工法が表層品質に及ぼす影響

PC30(N) 配合の供試体の材齢42日における表層透気係数を図-6に示す。表面吸水試験を実施したが、いずれの供試体もほとんど吸水せず、測定限界にあるものと思われる。改良型真空脱水工法を行った供試体では、表層透気係数が測定限界値の $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 未満を示し、表層品質の向上が確認できた。改良型真空脱水工法にて表層部の余剰水を強制排出する効果と、特殊なシートのセメント粒子の残存効果により表層部が緻密化したためと考えられる。

(4) 促進中性化深さ

促進材齢28日における中性化深さと表面吸水速度および表層透気係数の関係を図-7および図-8に示す。表面吸

水速度については、中性化深さとの間に相関関係が認められる結果となった。一方、表層透気係数については、データのばらつきが大きく、中性化深さとの間に明確な相関関係は確認できないが、表層透気係数が $0.01 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下で中性化深さが小さくなっている。表層透気係数については、含水率の影響⁵⁾も報告されており、補正方法等を検討する必要がある。

(5) 細孔構造との関係

壁試験体における配合について、型枠面から深さ1cmの部分の細孔径分布を測定した。細孔径分布の測定は、水銀圧入式ポロシメータにより行った。細孔径ごとの細孔径分布を図-9、図-10示す。

図-9に示す透水性シートのほうが、図-10に示す湿潤養生マットより透気係数および吸水速度ともに小さいが、細孔径分布の測定結果は、湿潤養生マットのほうが全体的に細孔径が減少している。中性化の進行に支配的な影響を及ぼすのは $0.04 \mu \text{m}$ 以上の細孔量であるとの報告⁶⁾がある。本実験では、透水性シートと湿潤養生マットにおいて $0.04 \mu \text{m}$ 以上の細孔量が減少していることが確認できた。さらに中性化深さも小さくなった。細孔径分布の測定結果から、湿潤養生マットを用いた場合に

比べ、透水型枠シートを用いた場合には $0.01 \sim 0.02 \mu\text{m}$ 付近の細孔径の減少が大きいことが確認できる。すなわち、透水係数および吸水速度はこのあたりの細孔容積の変化の影響を受けている可能性があり、中性化の進行に支配的な影響を与える細孔径と異なる可能性がある。

5. まとめ

今回の試験で得られた知見を以下に示す。

- ① 壁部材に関して、透水型枠シートの使用により、表層透気係数および表面吸水速度は大幅に低減され、表層品質が向上することが確認できた。
- ② 湿潤養生マット、保水養生テープ、型枠存置による湿潤養生の延長について、表層透気係数とRC(N)配合における表面吸水速度で低下する傾向が認められた。
- ③ 床版部材に関して、均し方法については、表層透気係数および表面吸水速度とも有意差は見られず、表層品質の向上は確認できなかった。湿潤養生の延長についても表層品質の向上は確認できなかった。
- ④ 真空脱水工法および改良型真空脱水工法は、表層透気係数および表面吸水速度が低減され、表層品質の向上が確認された。
- ⑤ 透水係数および吸水速度が影響を受ける細孔径と、中性化の進行に支配的な影響を与える細孔径とは異なる可能性がある。

本実験により、コンクリート配合や施工方法、養生方法が、表層の物質移動抵抗性に影響を与えることを確認した。また、表層透気試験と表面吸水試験では評価が異なる場合があり、適用に当たっては今後の研究で明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕， pp.122-123， 2012
- 2) 公益法人社団法人：構造物表層のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会（JSCE335委員会）第二期成果報告書およびシンポジウム講演概要集， 2012. 7
- 3) 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
- 4) 室田敬他：PC 橋床版コンクリートの品質向上および施工の合理化に関する研究， コンクリート工学年次論文集， Vol.36， No.1， pp.1522-1527， 2014
- 5) 三田勝也， 加藤佳孝：ブリーディング水がコンクリート表層部の品質に与える影響に関する実験的検討， コンクリート工学年次論文集， Vol. 33, No. 1, pp. 1385-1390, 2011. 7
- 6) 蔵重勲他：透気係数の含水依存性を考慮したコンクリート表層品質の非破壊評価法の一提案， セメント・コンクリート論文集， No.65， pp.225-232， 2011
- 7) 郭度連， 宇治公隆， 國府勝郎， 上野敦：養生条件によるコンクリートの組織変化と中性化を支配する細孔径の評価， 土木学会論文集， Vol. 718 / V-57, pp. 59-68, 2002. 11