

論文 Article

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に関する研究

原稿受付 2014年3月25日

ものづくり大学紀要第5号 (2014) 30~36

井上翠^{*1}, 澤本武博^{*2}, 樋口正典^{*3}, 藤原貴央^{*4}, 地頭菌博^{*5}^{*1}ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科 学部生^{*2}ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*3}三井住友建設株式会社^{*4}エフティイーエス株式会社^{*5}ダイヤリフォーム株式会社

Effects of Mix Proportions and Curing Methods on Surface Properties of Concrete

Midori INOUE^{*1}, Takehiro SAWAMOTO^{*2}, Masanori HIGUCHI^{*3},
Takahisa FUJIWARA^{*4} and Hiroshi JITOSONO^{*5}^{*1} Undergraduate, Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*3} SUMITOMO MITSUI Construction Co.,Ltd.^{*4} FTS. Co.,Ltd.^{*5} DIAREFORM Co.,Ltd.

Abstract

The property of concrete surface which influences the durability of concrete structure is greatly affected on curing conditions. In this study, the effects of the demolding timing and the curing method on concrete surface are investigated. As a result, it is better to delay the demolding timing, when atmospheric curing or membrane curing is carried out. If the atmospheric curing is carried out at the early age, it will only allow the concrete strength to reach 70% of the standard strength in case the water-cement ratio of 53.5%. However, it is better to be earlier the demolding timing, when sealed curing or wet curing is carried out. If the wet curing is carried out at the early age, it can allow the concrete strength to reach 150% of the standard strength in case the water-cement ratio of 45%. Furthermore, surface hardness can become large and air permeability can tend to become small.

Key Words : Concrete, Curing, Demolding timing, Surface property, Compressive strength

1. はじめに

平成 17 年より公共工事の品質確保の促進に関する法律が施行され、入札方式に総合評価落札方式が適用されるようになった。そのため、入札価

格に加えて技術力が評価されることから、コンクリートの品質向上に関する研究や技術開発が注目されるようになった。そして、コンクリート構造物の耐久性を左右する表層コンクリートの品質は、養生条件に大きく影響を受けるため、構造物の長

Table 1 Mix proportions of concrete

Date	Fc	W/C (%)	Slump (cm)	Unit content(kg/m ³)					Test result			Strength at mold-demolding (N/mm ²)			Strength under standard curing (N/mm ²)
				W	C	S	G	Ad	Slump (cm)	Air content (%)	Temperature (°C)	1day	7days	28days	
2013.9.4	18	70.0	12.0	171	245	895	958	2.94	13.5	4.5	30.4	4.6	15.6	22.5	23.2
2012.5.11	27	53.5	18.0	182	341	822	924	4.09	19.5	3.6	22.6	3.9	19.3	29.4	33.1
2013.5.10	36	45.0	18.0	170	378	812	935	3.402	18.5	4.0	25.2	9.9	33.3	42.8	48.6
2012.9.12	60	31.0	60.0*	170	549	773	851	7.686	57.5*	6.0	34.4	40.7	72.2	78.2	76.5

*Slump flow



Atmospheric curing

Sealed curing

Membrane curing

Wet curing

Fig.1 Curing methods (Cylinder specimen)



Demolding at age of 1 day

Demolding at age of 7 days

Demolding at age of 28 days

Fig.2 Demolding timing (Wall specimen)

寿命化のためには最適な養生方法が求められる。

一方、コンクリートの耐久性を求める代表的な指標として圧縮強度があるが、近年、非破壊検査で耐久性の指標を求める研究も多くなされてきた^{1,2)}。

本研究では、コンクリートの脱型時期を材齢 1 日、7 日および 28 日と変化させ、さらに、その後の養生方法を気中養生、封かん養生、膜養生および湿布養生を行った場合について、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を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）を、細骨材には栃木県栃木市尻内町産

山砂（表乾密度 2.61 g/cm³，粗粒率 2.75）を、また普通コンクリートの粗骨材には栃木県栃木市尻内町産砕石（最大寸法 20mm，表乾密度 2.64g/cm³，実積率 59.0%）を、高強度コンクリートの粗骨材には栃木県佐野市会沢町産石灰岩砕石（最大寸法 20mm，表乾密度 2.70g/cm³，実積率 60.0%）を用いた。混和剤として、普通コンクリートには AE 減水剤を、高強度コンクリートには高性能 AE 減水剤を用いた。

コンクリートの配合を、表 1 に示す。実験では、水セメント比を 70～31% とした 4 種類のレディミクストコンクリートを使用した。

2.2 円柱供試体および壁試験体の作製

円柱供試体の寸法は φ100×200mm とし、型枠にはプラスチック製型枠を用いた。壁試験体の寸法は、幅 400mm，高さ 600mm，長さ 1800mm の直方体とし、型枠にはコンクリート用型枠合板を



Atmospheric curing

Sealed curing

Membrane curing

Wet curing

Fig.3 Curing methods (Wall specimen)



Fig.4 Measurement of concrete surface hardness

Fig.5 Measurement of air permeability

用いた。コンクリートの打込み締めめは、円柱供試体の場合は JIS A 1132 に準じて行い、壁試験体の場合はトラックアジテータから直接シュートで打ち込み、内部振動機で締め固めた。

2.3 脱型時期および養生方法

円柱供試体の養生方法は、脱型時期を 1 日、7 日および 28 日と変化させ、図 1 に示したように、気中養生、封かん養生、膜養生および湿布養生を行った。封かん養生は市販の養生テープを用いることとし、膜養生は脱型直後に収縮低減型養生剤を塗布することとした。また、湿布養生は湿らせたマットを供試体に張り付け、型枠を再度あてがい、3 日置きに散水した。なお、封かん養生および湿布養生の期間は、脱型日から 1 ヶ月とした。

壁試験体は、図 2 に示したように、長手方向 1800mm を 600mm ずつ 3 分割し、型枠を円柱供試体と同日に脱型し、円柱供試体と同様の養生を行った。壁試験体の養生の様子を図 3 に示す。

2.4 圧縮強度の測定

圧縮強度試験は、円柱供試体のみ行うこととし、JIS A 1108 に準じて行った。なお、試験材齢は 91 日とし、各脱型時期および養生方法それぞれ 3 本から平均値を求めた。また、脱型直後の質量も計測しておき、養生後の質量の増減も求めた。

2.5 表面硬度の測定

コンクリートの表面硬度の測定として、表面から数 mm 程度の硬度を反映する引っかかり傷試験^{3,4)} (図 4 左)、表面から 10mm 程度までの硬度を反映するリバウンドハンマー試験 (図 4 右) を、それぞれ脱型時期および養生方法を変化させた壁試験体で行った。

引っかかり傷試験は、引っかかり試験器を壁試験体表面に押し当てて荷重 1.0kg で引っかかり、表面についた傷から 3 箇所の傷幅を測定し平均値を求めた。また、リバウンドハンマー試験は、JIS A 1155 に準じて壁試験体表面を 9 箇所測定し、反発度の平均値を求めた。なお、測定値にコンクリート表層部の乾湿が影響しないように、いずれの試験材齢も 91 日とした。

2.6 透気係数の測定

透気試験は水セメント比 70~45% の壁試験体のみ行うとし、測定箇所周辺の影響を受けにくいダブルチャンバーセルを用いた。透気試験の様子を図 5 に示す。透気試験を行う時のコンクリートの材齢は 3~6 ヶ月とし、各脱型時期および養生方法それぞれ 3 ヶ所ずつ試験を行い、平均値を透気係数とした。なお、コンクリートの含水率は 3.0~4.2% の範囲であった。

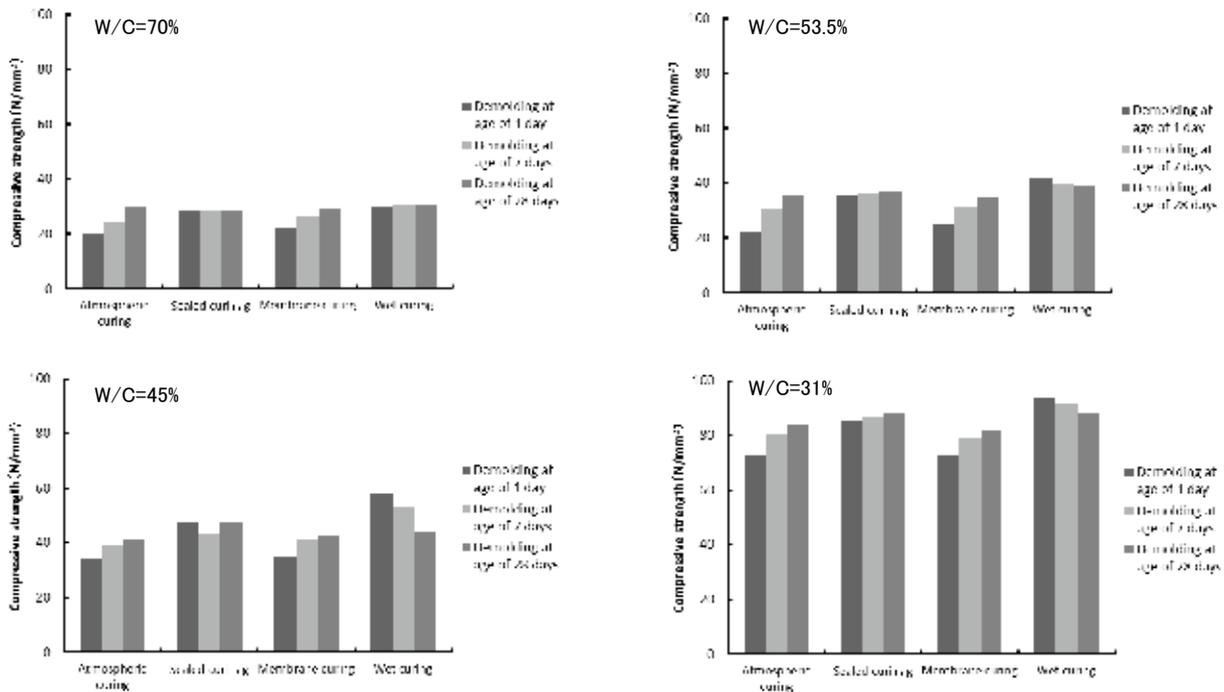


Fig.6 Effects of curing method and demolding timing on compressive strength of concrete

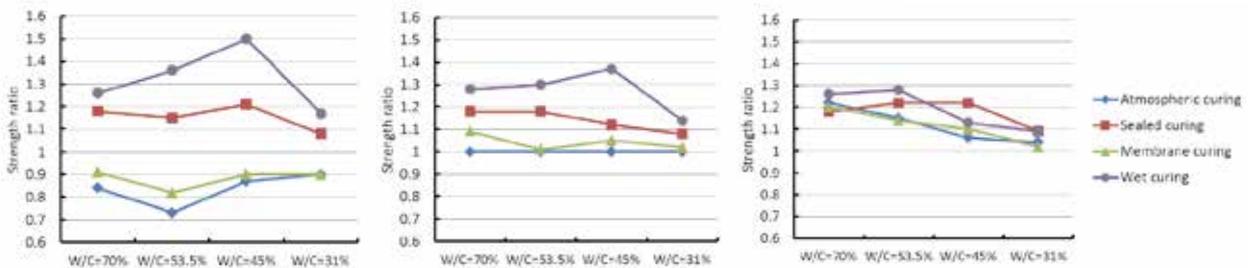


Fig.7 Strength ratio to atmospheric curing after demolding at age of 7 days

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度試験

脱型時期および養生方法の違いが圧縮強度に及ぼす影響を図6に示す。いずれの水セメント比の場合も、湿布養生を行った場合、すなわち外部から水分供給した場合に最も圧縮強度は大きくなり、早期に脱型して水分供給する方が水和反応への効果が大きい。一方、気中養生を行うと、徐々に水和に必要な水分が乾燥するため、早期に脱型すると大きな強度低下を招く。これらの傾向は、水セメント比 53.5%と 45%の場合に顕著であった。

図7は、図6の材齢7日で脱型後に気中養生(現場で一般的に行われている養生方法)を行った圧縮強度を1とした場合の強度比を示したものであ

る。材齢1日で脱型して湿布養生を行った場合には、水セメント比 70~45%の範囲では水セメント比が小さくなるほど強度比が増加する傾向にあり、水セメント比 45%では強度比が 1.5 倍となり、最も湿布養生の効果が表れた。これは、水セメント比が 70%と大きい場合は、元々コンクリート中に水分が多く、湿布養生中の供試体の質量増加率も 0.7%程度と小さいため、湿布養生の効果も小さくなると考えられる。一方、水セメント比が 45%と小さくなると、供試体の質量増加率は 1.0%程度と大きくなり、湿布養生の効果も大きくなると考えられる。しかし、水セメント比 31%では、強度比が 1.2 倍程度まで減少し、水セメント比が小さくなりすぎると緻密になるため、供試体の質量増加率も 0.7%と水分の供給が困難になることが考えられる。

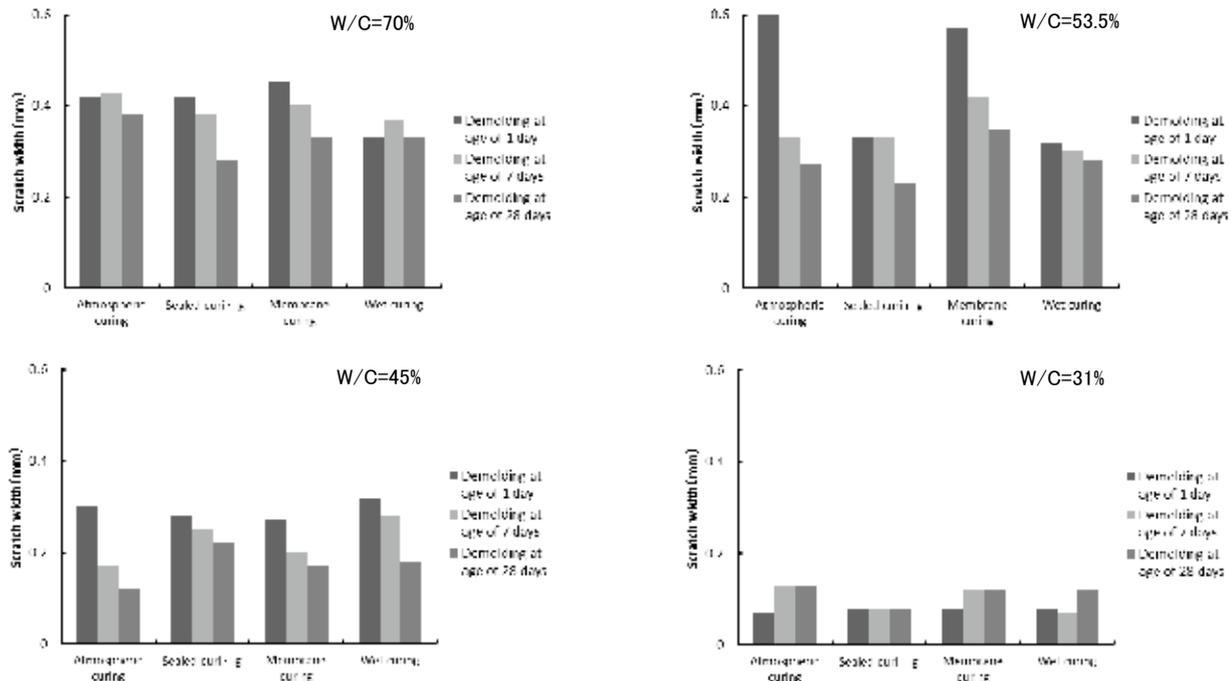


Fig.8 Effects of curing method and demolding timing on scratch width of concrete surface

水セメント比 53.5%において気中養生を行うと、強度比が 0.7 倍となり、供試体の質量減少率が 4.9%と乾燥の影響が大きくなった。また、膜養生を行っても強度比は 0.8 倍となった。一方、水セメント比 31%の供試体の質量減少率は 1.4%と小さく、圧縮強度の低下も小さい。

このように、水セメント比 53.5~45%の一般的な配合で養生の影響が大きく表れる結果となった。また、脱型時期が材齢 7 日、28 日と遅くなるにつれて養生の影響が小さくなる傾向にあった。

3.2 表面硬度試験

(1) 引っかき傷試験

脱型時期および養生方法の違いが引っかき傷幅に及ぼす影響を図 8 に示す。水セメント比 53.5%では、脱型材齢が 1 日で気中養生または膜養生を行った場合に極端に引っかき傷幅が大きくなり、コンクリート表面の脆弱化が見受けられる。これは、早期脱型により表層部の水分が蒸発し、表層部の水和反応が阻害されたためと考えられ、圧縮強度試験の結果とも一致する。一方、水セメント比 31.0%では脱型時期および養生方法の違いによる影響はさほど見受けられなかった。

圧縮強度と引っかき傷幅の関係を図 9 に示す。圧縮強度が大きくなるほど引っかき傷幅は小さくなる傾向にあり、両者に相関性が見受けられる。

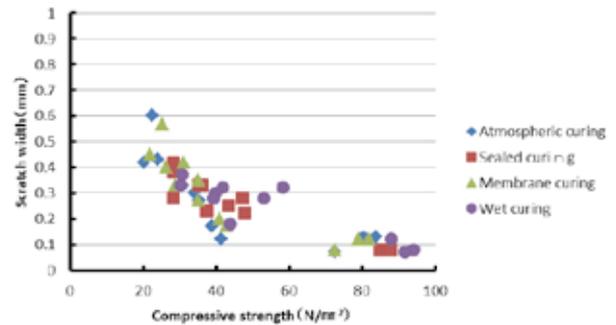


Fig.9 Relation between compressive strength and scratch width

(2) リバウンドハンマー試験

脱型時期および養生方法の違いが反発度に及ぼす影響を図 10 に示す。水セメント比 70~53.5%の範囲で、気中養生の場合に脱型時期が早くなるほど反発度は小さくなり、湿布養生の場合に脱型時期が早くなるほど反発度は大きくなる傾向にあった。これは、気中養生では引っかき試験と同様に、表層部の水分の蒸発により水和反応が阻害されたためと考えられる。湿布養生では外部からコンクリートに水分補給することを目的としているため、なるべく早期に脱型して養生を行う方が、コンクリート表層部の水和を促進して緻密にできることを表していると考えられる。

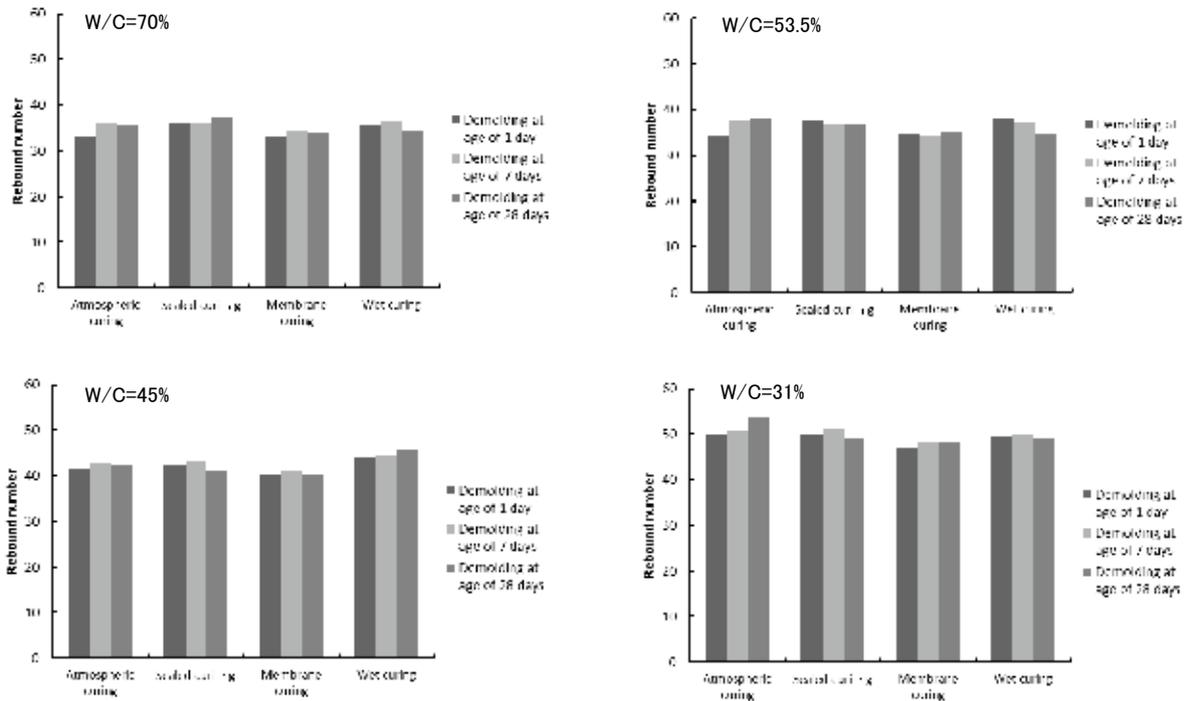


Fig.10 Effects of curing method and demolding timing on rebound number

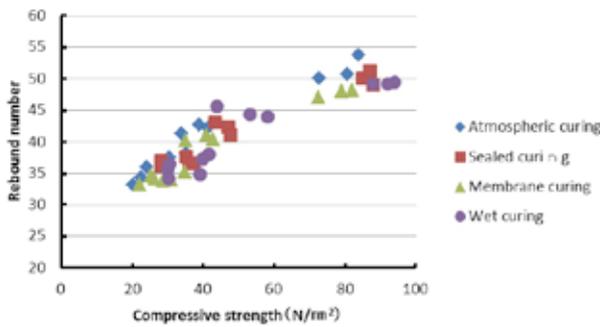


Fig.11 Relation between compressive strength and rebound number

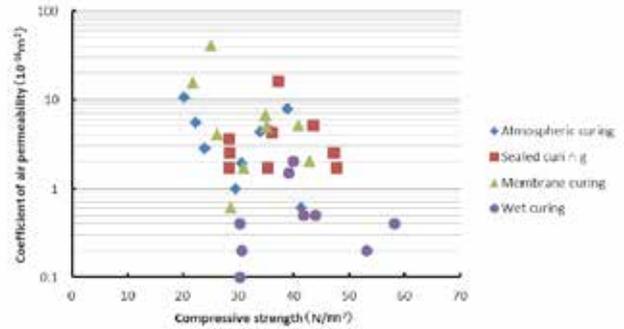


Fig.13 Relation between compressive strength and coefficient of air permeability

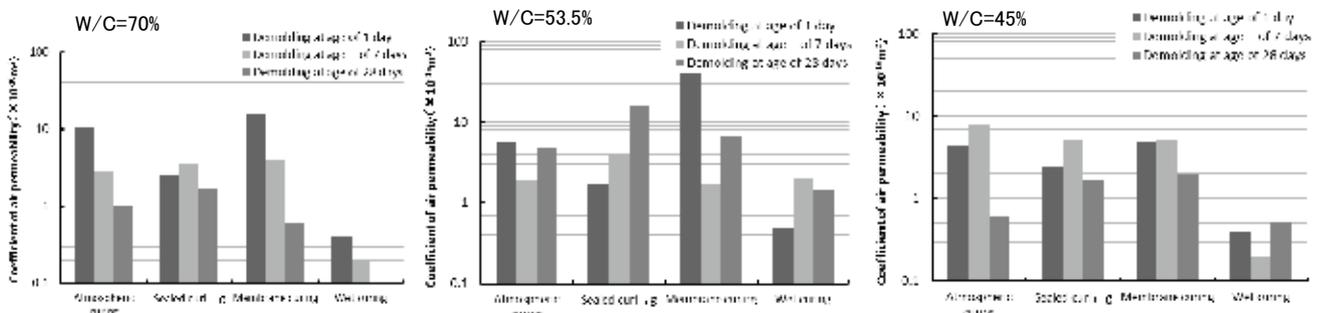


Fig.12 Effects of curing method and demolding timing on coefficient of air permeability

圧縮強度と反発度の関係を図 11 に示す。圧縮強度が大きくなるほど反発度は大きくなる傾向にあり、両者に相関性が見受けられる。

3.3 透気試験

脱型時期および養生方法の違いが透気係数に及ぼす影響を図 12 に示す。水セメント比 70~45% いずれの場合にも、湿布養生を行った場合に最も

透気係数が小さくなった。各養生方法を水セメント比ごとに比較すると、今回の実験の範囲では、水セメント比が透気係数に及ぼす影響は小さい結果となった。

圧縮強度と透気係数の関係を図 13 に示す。圧縮強度が大きくなるほど透気係数は小さくなる傾向にあるが、透気係数が $1 \times 10^{-16} \text{m}^2 \sim 0.1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の範囲において湿布養生を行った場合が多く見受けられた。これは、水セメント比を小さくして圧縮強度を上げるより、養生の効果が大きいことを表していると考えられる。

4. まとめ

- (1) 早期に脱型し湿布養生を行うと、水セメント比 45%の配合において最も強度増加し、材齢 7 日で脱型後に気中養生を行った場合の 1.5 倍となった。
- (2) 早期に脱型し気中養生を行うと、水セメント比 53.5%の配合において最も強度低下し、材齢 7 日で脱型後に気中養生を行った場合の 0.7 倍となった。
- (3) 封かん養生または湿布養生を行うと、表面硬度が大きくなる傾向にあった。しかし、早期に脱型し気中養生を行うと、引っかけ傷幅は大きく、反発度は小さくなり、コンクリート表面が脆弱になった。
- (4) コンクリートの圧縮強度が大きくなるほど透

気係数は小さくなる傾向にはあるが、水セメント比を小さくすることによる強度増加よりも養生の影響が大きく、湿布養生を行うといずれの配合においても透気係数は概ね $1 \times 10^{-16} \text{m}^2 \sim 0.1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と小さくなる傾向にあった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、澤本研究室の大学院生、学部生ならびに構造物総合実習Ⅲの非常勤講師の先生方、授業を履修した学部生に多大なご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

文 献

- 1) 田中章夫ら：ダブルチャンバー法透気試験機を用いた既存鉄筋コンクリート造建築物の中性化予測に関する基礎的研究，シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査論文集，Vol.4，pp.63-70，2012
- 2) 栗塚一範ら：表層コンクリートの圧縮強度と透気係数の関係に関する一考察，シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査論文集，Vol.4，pp.71-76，2012
- 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：引っかけ傷によるコンクリートの表面強度測定方法，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp.677-678，1999