

## 論文 Article

## 養生方法の違いがコンクリートの表層品質に及ぼす影響

原稿受付 2013年3月27日

ものづくり大学紀要 第4号 (2013) 39~44

望月昭宏<sup>\*1</sup>, 澤本武博<sup>\*2</sup>, 樋口正典<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup>ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 大学院生<sup>\*2</sup>ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科<sup>\*3</sup>三井住友建設株式会社

## Effects of Curing Methods on Surface Properties of Concrete

Akihiro MOCHIDUKI<sup>\*1</sup>, Takehiro SAWAMOTO<sup>\*2</sup> and Masanori HIGUCHI<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup> Graduate student. Graduate school of Technologists, Institute of Technologists<sup>\*2</sup> Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists<sup>\*3</sup> SUMITOMO MITSUI Construction 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. However, it is better to be earlier the demolding timing, when sealed curing or wet curing is carried out.

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

## 1. はじめに

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、構造物の長寿命化のためには最適な養生方法が求められる。一方、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さらに注目されるようになった。

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影響を各種試験で総合的に評価した。

## 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 $3.16\text{g/cm}^3$ ）を、細骨材には栃木県栃木市尻内町産山砂（表乾密度 $2.61\text{g/cm}^3$ 、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 $2.64\text{g/cm}^3$ 、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 $2.70\text{g/cm}^3$ 、実積率60.0%）を用いた。また、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

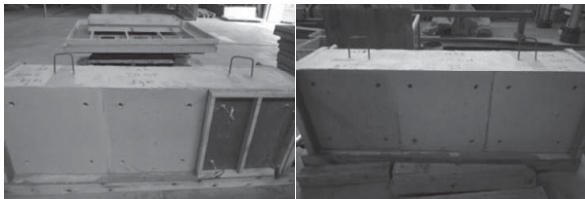
Table 1 Mix proportions of concrete

Nominal strength	W/C (%)	Slump (cm)	Air content (%)	Unit content(kg/m <sup>3</sup> )					Test results		
				W	C	S	G	Ad	Slump (cm)	Air content(%)	Strength** (N/mm <sup>2</sup> )
27	53.5	18±2.5	4.5±1.5	182	341	822	924	4.092	19.5	3.6	33.1
60	31.0	60±10*	4.5±1.5	170	549	773	851	7.686	57.5*	6.0	76.5

\*Slump flow    \*\*Compressive strength at age of 28 days



Placing of concrete    Demolding at age of 1 day

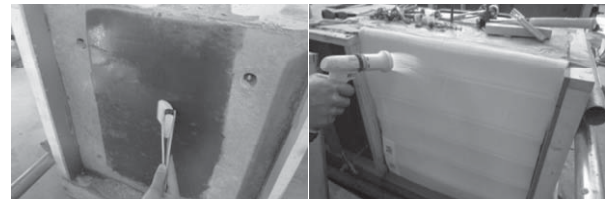


Demolding at age of 7 days    Demolding at age of 28 days

Fig.1 Demolding timing



Atmospheric curing    Sealed curing



Membrane curing    Wet curing

Fig.2 Curing methods (Wall specimen)

減水剤を用いた。

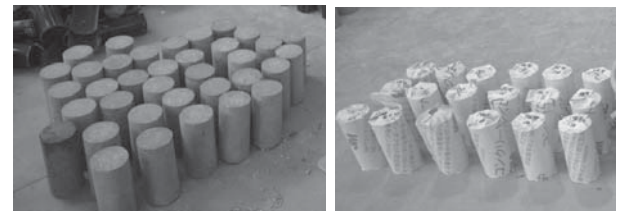
コンクリートの配合は、表1に示したように、水セメント比を53.5%とした普通コンクリートおよび水セメント比を31.0%とした高強度コンクリートの2種類である。スランプ、空気量および材齢28日における標準水中養生の圧縮強度は、普通コンクリートでそれぞれ19.5cm、3.6%および33.1N/mm<sup>2</sup>、高強度コンクリートでそれぞれ57.5cm（スランプフロー）、6.0%および76.5N/mm<sup>2</sup>であった。

## 2.2 壁試験体の作製

壁試験体の寸法および形状は、幅400mm、高さ600mm、長さ1800mmの直方体とし、型枠には表面加工コンクリート型枠合板を用いた。コンクリートは実機練りとし、トラックアジテータで搬入した。コンクリートは、トラックアジテータから直接シュートで打込み、内部振動機で締め固めた。また、壁試験体と同時に、円柱供試体をJIS A 1132に準じて作製した。

## 2.3 脱型時期および養生方法

実験では、型枠の脱型時期を変化させるため、図1に示したように合板長手方向の1800mmを



Atmospheric curing    Sealed curing



Membrane curing    Wet curing

Fig.3 Curing methods (Cylinder specimen)

600mmに3分割し、材齢1日、材齢7日および材齢28日で脱型することとした。脱型後の養生方法は、図2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。なお、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養生剤を塗布することとした。また、封かん養生および湿布養生の期間は、それぞれ脱型日から1ヶ月とし、その後は材齢3ヶ月まで気

中養生を行った。

円柱供試体の養生の様子を図3に示す。円柱供試体の場合にも、壁試験体と同様の脱型時期および養生方法とした。なお、円柱供試体は圧縮強度試験用である。

## 2.4 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き傷試験<sup>1,2)</sup>(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。

引っかき傷試験は、引っかき試験器を壁試験体表面に押し当てて荷重1.0kgで引っかき、表面についた傷から3箇所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3ヶ月とした。

## 2.5 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、試験材齢は表面硬度の測定に合わせて3ヶ月とした。また、今回の養生を変化させた直径100mmの円柱供試体は、側面全てを養生しているため、壁試験体で考えると、コンクリート表面から50mm程度(円柱供試体の直径の半分)までの圧縮強度を表すものと考えられる。

## 2.6 透気係数の測定

透気試験の様子を図5に示す。透気試験機を用いて脱型時期および養生方法を変化させた壁試験体のコンクリート表面の3箇所測定することとした。チャンバーセル内の空気を真空ポンプを使用して吸い上げた状態の圧力をゼロとし、圧力が一定時間で上昇した値を測定し、透気係数を求めた。なお、透気係数は、測定面のあばたや微細なひび割れの影響を大きく受けるため、今回の実験では3ヶ所測定した最小値のみを評価することとした。また、透気試験は普通コンクリートのみ行うこととし、試験材齢は3ヶ月とした。

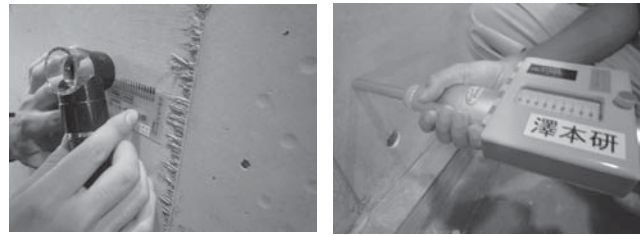


Fig.4 Measurement of concrete surface hardness

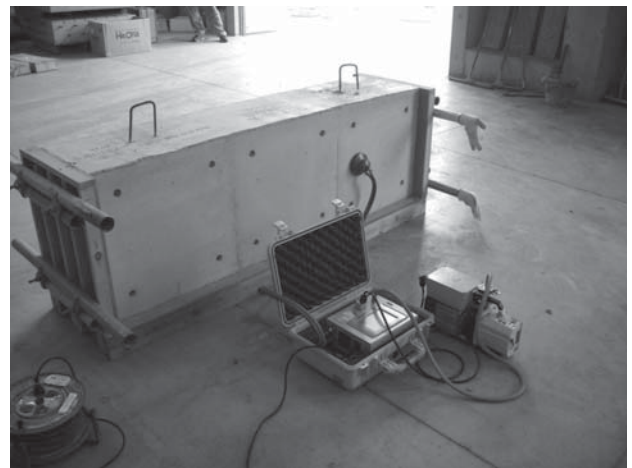


Fig.5 Measurement of air permeability

## 2.7 中性化深さの測定

中性化深さの測定では、壁試験体からコアを採取し、二酸化炭素濃度5%、相対湿度60%の雰囲気下で1ヶ月間促進試験を行い、その後コア供試体の割裂面にフェノールフェタレイン溶液を噴霧することとした。なお、中性化深さの測定は普通コンクリートのみ行うこととし、コア供試体の割裂面を10箇所測定し平均値を求めた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 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6に示す。普通コンクリートでは、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る。一方、高強度コンクリート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。

### 3.2 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

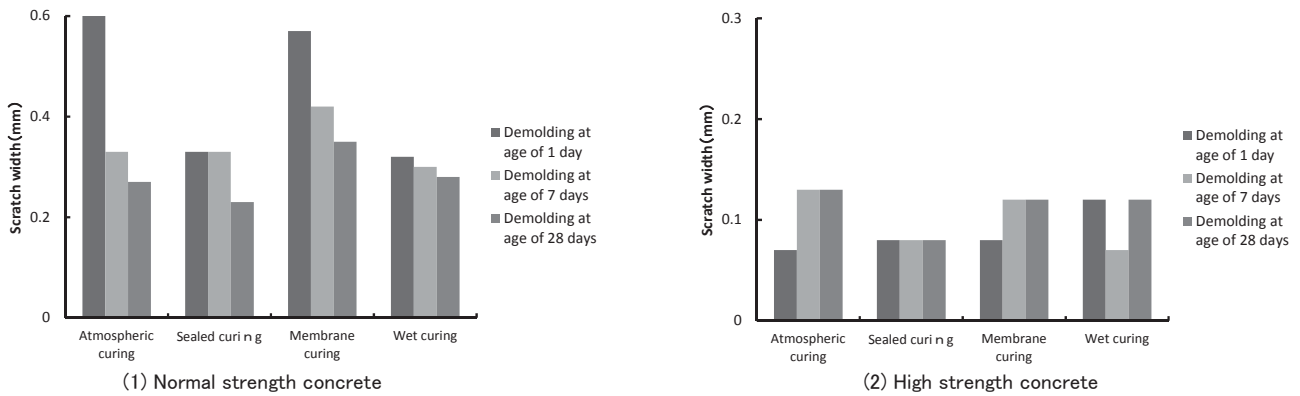


Fig.6 Effects of curing method and demolding timing on scratch width of concrete surface

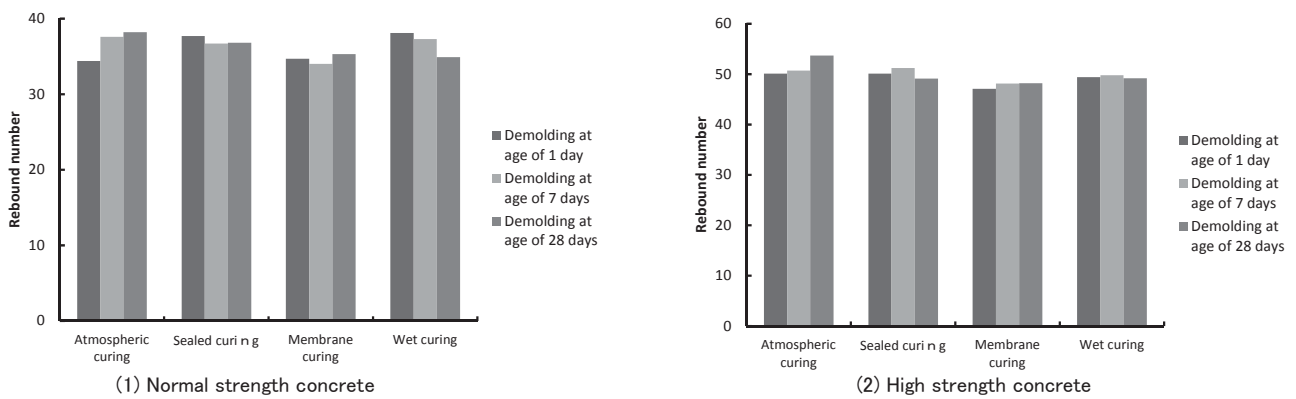


Fig.7 Effects of curing method and demolding timing on rebound number of concrete surface

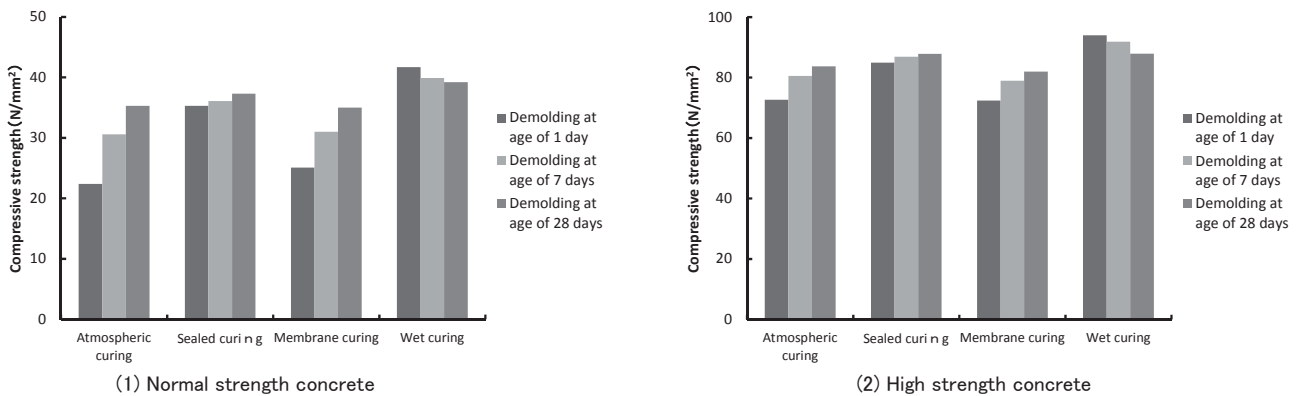


Fig.8 Effects of curing method and demolding timing on compressive strength of concrete

す影響を図7に示す。反発度は気中養生の場合に脱型時期が早くなるほど小さくなった。これは、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。しかし、湿布養生の場合には気中養生とは逆に、脱型時期が早くなるほど反発度が大きくなる傾向にあった。これは、湿布養生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。そして、これらの傾向は、高強度コンクリートよりも普通コンクリートで顕著に見受けられた。

### 3.3 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8に示す。気中養生および膜養生を行った場合には、脱型時期が早くなるほど、圧縮強度は小さくなった。これは、早期脱型を行うと、水和に必要な水分が蒸発し、コンクリート表面から50mm程度、すなわちかぶりコンクリートの強



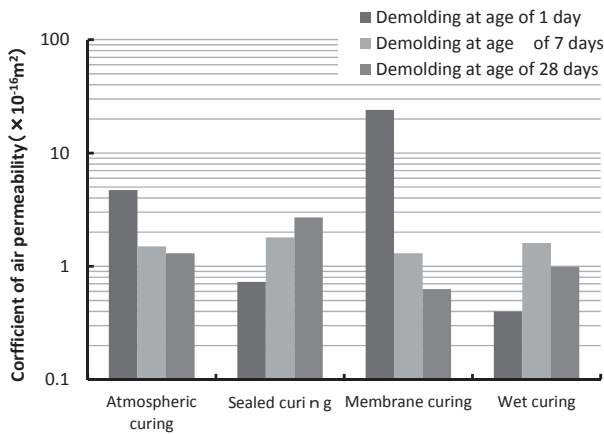


Fig.9 Effects of curing method and demolding timing on air permeability

度に大きく影響を及ぼすことを表している。一方逆に、湿布養生を行った場合は、脱型時期が早くなるほど圧縮強度は大きくなり、普通コンクリートの場合、材齢1日で脱型して養生した場合を比較すると、気中養生に比べておおよそ2倍の圧縮強度となった。また、封かん養生を行った場合には、さほど脱型時期の影響は見受けられなかった。

### 3.4 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9に示す。透気係数は、 $1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下と良好の場合が、材齢1日で脱型してから封かん養生、材齢28日で脱型してから膜養生、材齢1日で脱型してから湿布養生を行った場合に見受けられた。これは、封かん養生の場合は、型枠を遅くまで残しておくよりも早期にテープを貼る方が水分の蒸発をより防げると考えられ、膜養生の場合は、早期脱型するとたとえ膜養生を行っても水分の蒸発が大きい、ある程度水和が進んだ後での膜養生は、その後養生が持続するため水分の蒸発が長期にわたり抑制できると考えられる。

### 3.5 中性化促進試験

脱型時期および養生方法の違いが中性化深さに及ぼす影響を図10に示す。材齢1日で脱型し気中養生または膜養生を行った場合に中性化深さが大きくなった。今回の実験の範囲では、その他の場合には、さほど中性化深さに違いは見受けられなかった。

### 3.6 各種試験の総合評価

今回の実験では、コンクリートの表層品質につ

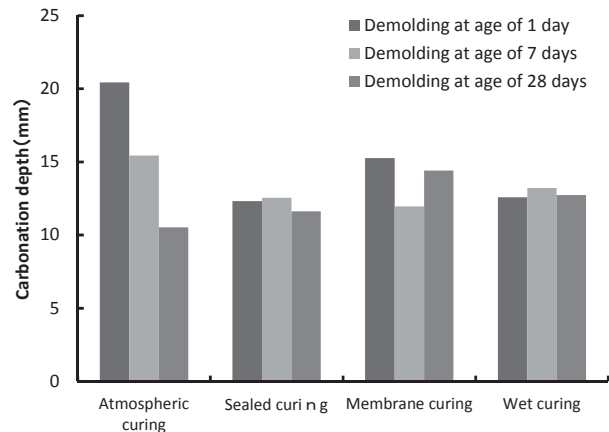


Fig.10 Effects of curing method and demolding timing on carbonation depth

Table2 Effects of curing method and demolding timing on properties of concrete surface

Demolding timing	Atmospheric curing	Sealed curing	Membrane curing	Wet curing
1 day	×	◎	×	◎
7 days	△	○	△	○
28 days	○	○	◎	○

いて、普通コンクリートの方が高強度コンクリートより脱型時期および養生の影響を大きく受けることが明らかとなった。そのため、普通コンクリートについて、3.1~3.5の各種試験結果より脱型時期および養生方法が表層品質に及ぼす影響を表2にまとめた。表中の二重丸が最もコンクリートの表層品質が向上する方法であると考えられる。

## 4. まとめ

- (1)普通コンクリートの方が高強度コンクリートより脱型時期および養生方法の違いの影響を受けやすい。
- (2)普通コンクリートの場合、早期脱型してその後気中養生を行うと、湿潤養生した場合の半分程度の圧縮強度しか得られないこともある。
- (3)膜養生を行う場合には、なるべく型枠の脱型時期を遅らせ、養生剤を塗布する方が良い。一方、市販テープおよび養生マットを用いて、それぞれ封かん養生および湿布養生を行う場合には、なるべく早期に脱型して養生を行う方

が良い。

## 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) 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.22-26，1997.10
  - 2) 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.677-678，1999.7
-