

論文 Article

脱型時期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 2016年8月31日

ものづくり大学紀要 第7号 (2016) 26~31

門井康太^{*1}, 澤本武博^{*2}, 舌間孝一郎^{*3}, 樋口正典^{*4}, 臺哲義^{*5}^{*1}ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 ものづくり学専攻^{*2}ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*3}前橋工科大学 工学部 社会環境学科^{*4}三井住友建設株式会社^{*5}レヴェックスコンサルタント株式会社

Effects of Demolding Timing and Wet Curing Timing on Surface Properties of Concrete

Kota KADOI^{*1}, Takehiro SAWAMOTO^{*2}, Koichiro SHITAMA^{*3},
Masanori HIGUCHI^{*4} and Akiyoshi DAI^{*5}^{*1} Graduate Student, Graduate school of Technologists, Institute of Technologists^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*3} MAEBASHI Institute of Technology^{*4} SUMITOMO MITSUI Construction Co.,Ltd.^{*5} REVEX Consultant Co.,Ltd.

Abstract

The property of concrete surface which influences the durability of concrete structure will be greatly affected on curing condition. In this study, the effects of demolding timing and wet curing timing on air permeability and strength of concrete with normal portland cement and portland-blast furnace slag cement typeB were investigated. As a result, coefficient of air permeability, rebound number and compressive strength were measured, and in case of everything, portland-blast furnace slag cement typeB underwent influence of the demolding timing big compared with normal portland cement. The coefficient of air permeability and the rebound number didn't undergo influence of wet curing timing so much. However, the compressive strength was so small that time to start wet curing became late.

Key Words : Concrete, Demolding Timing, Wet Curing, Coefficient of air permeability, Strength

1. はじめに

コンクリートを湿潤養生すると、コンクリート表層部が緻密になり、コンクリートの耐久性が大きく向上する。そのため、土木学会コンクリート標準示方書では、湿潤養生期間の標準を定めており、一般的な環境では、普通ポルトランドセメントを用いた場合は5日、混合セメントを用いた場

合は7日としている¹⁾。一方、脱型後に給水養生を行う場合、給水養生を行うための準備中の乾燥に注意する旨記載があるが、影響に関しては明らかでない。

本研究では、普通ポルトランドセメント(N)および高炉セメント B 種(BB)を用いた場合について、脱型時期および給水養生の開始時間がコンクリートの透気性、表面硬度および圧縮強度に及ぼす影

Table1 Mix proportions of concrete

Cement	Fc	W/C (%)	Slump (cm)	Unit content(kg/m ³)					Test result			Strength at mold-demolding(N/mm ²)						Standard curing (N/mm ²)	
				W	C	S	G	Ad	Slump (cm)	Air (%)	Temperature (°C)	1day	2days	5days	7days	14days	28days	28days	91days
N	27	53.5	12	171	320	793	1001	3.84	14.5	5.0	26.1	6.0	11.3	19.3	20.6	26.6	27.6	28.1	31.5
BB		51.5		166	323	791	1003	3.88	14.5	3.7	27.7	4.3	9.5	19.2	22.9	28.0	32.2	34.7	41.0



Fig.1 Preparation of wall specimen



(1) Wall specimen



(2) Cylinder specimen

Fig.2 Wet curing of wall specimen and cylinder specimen

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）または高炉セメント B 種（密度 3.04g/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，粗骨材には栃木県栃木市尻内町産碎石（最大寸法 20mm，表乾密度 2.64g/cm³，実積率 59.0%）を用いた。混和剤には，AE 減水剤を用いた。

コンクリートの配合を，表 1 に示す。実験に用いたコンクリートは，普通ポルトランドセメント（以下，N と称す）および高炉セメント B 種（以下，BB と称す）のいずれを用いた場合にも，呼び強度 27 のレディーミクストコンクリートとした。

2.2 壁試験体および円柱供試体の作製

壁試験体は，図 1 に示したように幅 400mm，高さ 600mm，長さ 1800mm とし，各脱型時期に外せるようコンクリート用型枠合板の長手方向 1800mm を 600mm ずつ 3 分割した。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ち込み，内部振動機で締め固めた。

また，円柱供試体は φ100×200mm とし，JIS A 1132 に準じて作製した。

2.3 脱型時期および養生方法

養生方法は，壁試験体および円柱供試体ともに脱型時期を 1 日，2 日，5 日，7 日，14 日および 28 日と変化させ，脱型後に気中養生または直ちに給水養生を行った。給水養生の様子を図 2 に示す。また，材齢 1 日で脱型した場合について，脱型後 1 時間，3 時間，6 時間，1 日，7 日，28 日と気中乾燥させ，その後に湿らせた養生マットを用いて給水養生を行った。なお，給水方法は，2 日に 1 回の割合で養生マットに散水し，養生マットが乾燥しないようにマット表面に覆いを施した。また，給水養生期間は，養生開始から 1 ヶ月間とし，その後は材齢 3 ヶ月まで気中養生とした。



Fig.3 Measurement of air permeability

壁試験体および円柱供試体は、試験材齢である材齢3ヶ月まで実験棟室内で保管することとし、保管期間はコンクリートを打ち込んだ9月中旬から12月中旬であった。実験棟室内に空調がないため、外気温に近い温度で保管し、また保管中に雨水による影響はなかった。

2.4 表層透気試験

表層透気試験は壁試験体のみ行うこととし、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た^{2,3)}。表層透気試験の様子を図3に示す。表層透気試験はコンクリートの含水率が表面接触電気抵抗試験で5.5%を超えると測定値に影響を及ぼすため⁴⁾、表層透気試験を行う時のコンクリートの材齢は3ヶ月とした。今回の実験では、脱型時期を最も長くした材齢28日で脱型し、その後1ヶ月給水養生を行った場合でも、おおよそ1ヶ月間は気中乾燥することになる。

表層透気試験の測定箇所は、SIA262/1において6ヶ所となっているが、今回の実験では各脱型時期および養生方法の600×600mmの狭い範囲を測定するため、それぞれ壁試験体の同一高さ付近の3ヶ所ずつ試験を行い、平均値を表層透気係数とした。また、表面接触電気抵抗試験において、コンクリートの含水率も3ヶ所ずつ測定した。

2.5 反発度試験

コンクリートの表面硬さとして、NR型リバウンドハンマーを用い、JIS A 1155に準じて各脱型時期および養生を施した壁試験体表面を9箇所ずつ測定し、反発度の平均値を求めた。なお、試験材齢は表層透気試験と同様に、材齢3ヶ月とした。

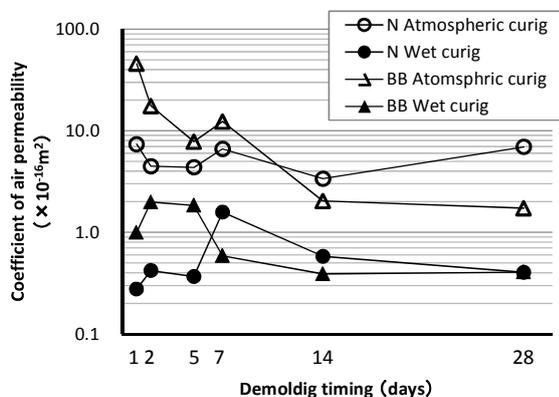


Fig.4 Relation between demolding timing and coefficient of air permeability

2.5 圧縮強度試験

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。今回の実験では、養生の影響が大きく反映されるかぶりコンクリート(φ100mmの円柱供試体のためコンクリート表層から50mm程度まで)の強度を想定している。なお、試験材齢は3ヶ月とし、各脱型時期および養生方法の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。

3. 実験結果および考察

3.1 脱型時期の影響

(1) 表層透気試験

脱型時期と表層透気係数の関係を図4に示す。なお、コンクリートの含水率は、Nで4.1%~5.1%の範囲、BBで3.0%~4.3%の範囲であり、いずれの場合にも5.5%以下であった。脱型後に気中養生を行った場合は、脱型時期が遅くなるほど表層透気係数は小さくなる傾向にあり、Nに比べてBBの方が顕著であった。このことより、BBの方がNに比べて脱型時期に敏感であることを表していると考えられる⁵⁾。一方、脱型直後に給水養生を行った場合は、脱型時期の影響はあまり見受けられず、いずれの材齢で脱型しても1ヶ月間の給水養生を行うことで、N、BBともに表層透気係数は $2 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ 以下となった。これは、給水養生を行うことで、乾燥を防ぐだけの封緘養生に比べてコ

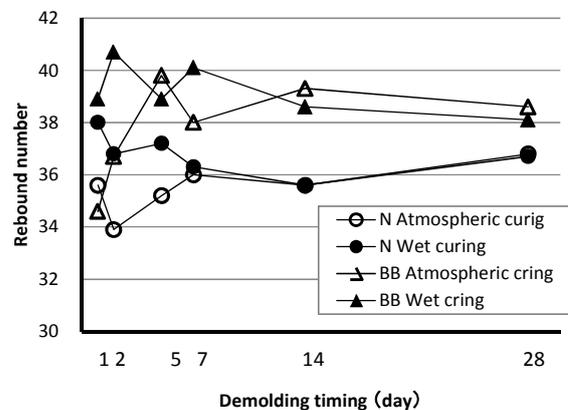


Fig.5 Relation between demolding timing and rebound number

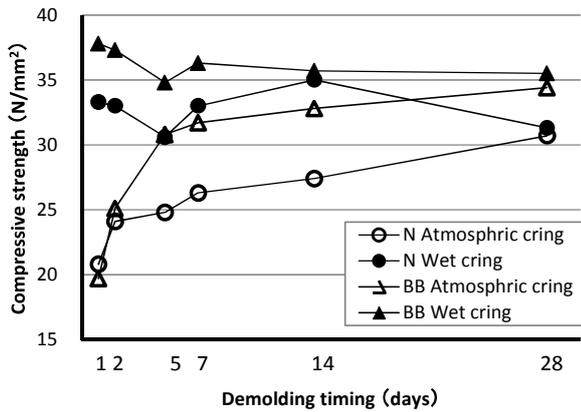


Fig.6 Relation between demolding timing and compressive strength

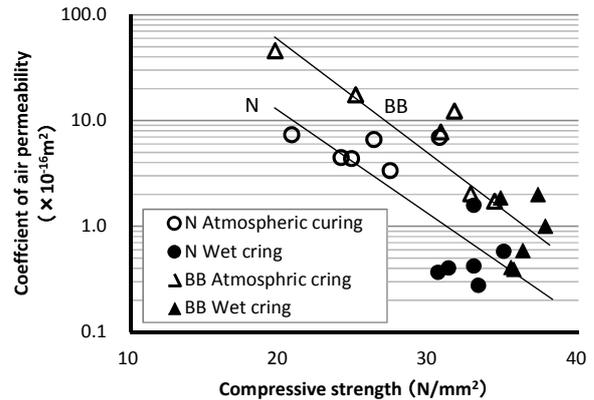


Fig.7 Relation between compressive strength and coefficient of air permeability

ンクリート表層部の水和反応が進むためと考えられ、早期に型枠を脱型する場合には、給水養生が有効である。

(2)反発度試験

脱型時期と反発度の関係を図5に示す。N、BBともに型枠の脱型時期が7日以前で、気中養生を行った場合に反発度の低下が見受けられ、脱型時期が早いほど顕著であった。しかし、脱型直後に給水養生を行った場合、表層透気試験と同様に脱型時期の影響は少なく、若干ではあるが早期に脱型して給水養生を行った方が反発度は大きくなる傾向にあった。

(3)圧縮強度試験

脱型時期と圧縮強度の関係を図6に示す。脱型後に気中養生を行った場合は、脱型時期が遅くなるほど圧縮強度は大きくなる傾向にあり、Nに比べてBBの方が極めて顕著であった。例えば、材齢1日で脱型した場合の供試体の質量減少率はNで4.1%、BBで4.7%とBBの方が大きくなるが、材齢5日で脱型した場合はNで3.7%、BBで2.9%とBBの方が質量減少率は小さくなり、それらがNとBBの強度差にも表れている。一方、脱型直後に給水養生を行った場合は、早期に脱型して給水養生を行う方が若干圧縮強度は大きくなる傾向にあり、気中養生を行った場合との強度差はかなり大きくなった。例えば、材齢1日で脱型した場合、Nで12N/mm²程度、BBで18N/mm²もの強度差があった。これらのことより、かぶりコンクリ

ートを想定した圧縮強度においても給水養生は有効であり、早期脱型する場合にはNに比べてBBの方が効果大きい。なお、給水養生を行うと、セメントの種類および脱型時期にかかわらず、給水養生終了直後の供試体の質量増加率は、概ね0.8~1.0%であった。

(4)表層透気係数と圧縮強度の関係

表層透気係数と圧縮強度の関係を図7に示す。セメントの種類ごとにおける表層透気係数と圧縮強度は概ね相関があった。今回の実験の範囲では、同じ程度の圧縮強度においては、BBに比べてNの方が表層透気係数は小さくなる傾向にあった。

3.2 脱型後における給水養生の開始時間の影響

(1)表層透気試験

脱型後における給水養生の開始時間と表層透気係数の関係を図8に示す。なお、コンクリートの含水率はNで4.0%~4.3%の範囲、BBで3.5%~4.0%の範囲であり、いずれの場合にも5.5%以下であった。材齢1日で脱型後、給水養生を開始するまでの時間が直後であっても28日後であっても、表層透気係数は概ね $2 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下となり、脱型後いずれのタイミングで給水養生を開始しても表層透気係数に明確な変化は見受けられなかった。これは、脱型後に給水養生を開始するまでの時間が遅くなり、水和に必要な水分が失われても、後から水分を補給することによってコンクリート表層部の水和反応は進むことによるためと考えられる。

(2) 反発度試験

脱型後における給水養生の開始時間と反発度の関係を図9に示す。脱型後に給水養生を開始するまでの時間と反発度に明確な関係は認められず、表層透気試験と同様の結果となった。

(3) 圧縮強度試験

脱型後における給水養生の開始時間と圧縮強度の関係を図10に示す。表層透気係数および反発度とは異なり、脱型後に給水養生を開始するまでの時間が遅くなるほど、圧縮強度は小さくなる傾向にあり、Nに比べてBBの強度低下が大きくなった。また、Nでは脱型後に給水養生を開始するまでの時間が7日を超えると大きく強度低下し、BBでは1日を超えると大きく強度低下した。このことより、Nに比べてBBの方が給水を開始する前の乾燥の影響を受けると考えられる。なお、圧縮強度試験の結果が表層透気試験および反発度試験と異なる結果になったのは、コンクリートが乾燥した後に給水養生を行うと、コンクリート表層付近は水和反応が進むものの、内部までは進まないためと考えられる。

4. まとめ

普通ポルトランドセメント(N)および高炉セメントB種(BB)を用いた場合について、脱型時期および給水養生の開始時間がコンクリートの透気性、表面硬度および圧縮強度に及ぼす影響を検討した結果、以下の(1)および(2)が明らかになった。

- (1) 表層透気係数、反発度および圧縮強度のいずれも、Nに比べてBBの方が脱型時期の影響を大きく受け、早期に脱型して気中養生を行うと特にBBの表層品質は大きく低下した。しかし、脱型時期にかかわらず、給水養生を行うことで、NおよびBBいずれも表層品質は大きく改善できた。
- (2) 表層透気係数および反発度は、脱型後に給水養生を開始するまでの時間（給水養生を開始するまでの乾燥）の影響をあまり受けないが、かぶりコンクリート程度の厚さにおける圧縮強度は給水養生を開始するまでの時間が遅くなるほど（給水養生を開始するまでの乾燥時

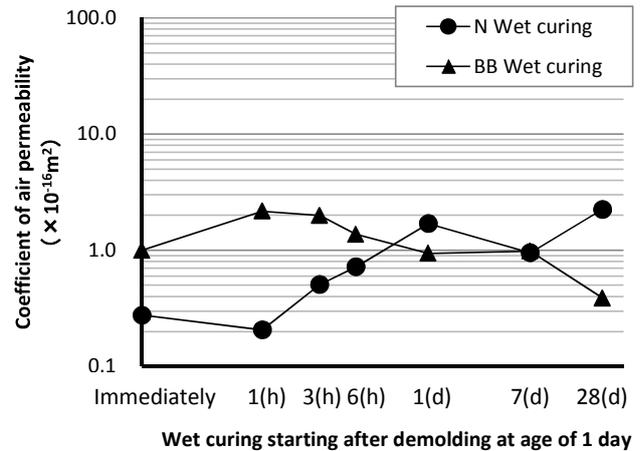


Fig.8 Relation between wet curing timing and coefficient of air permeability

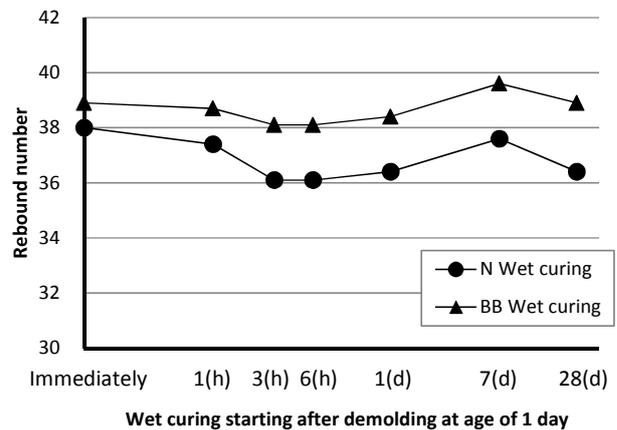


Fig.9 Relation between wet curing timing and rebound number

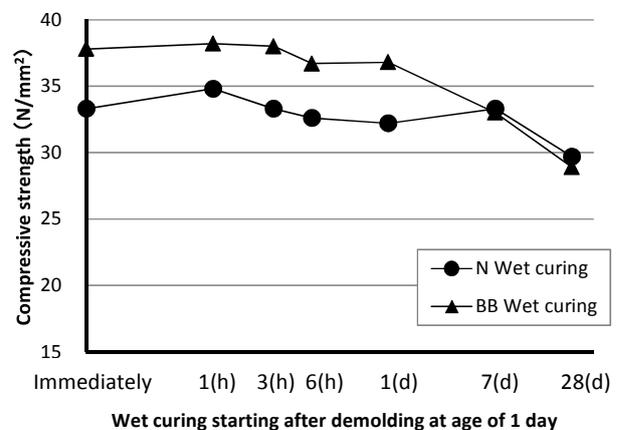


Fig.10 Relation between wet curing timing and compressive strength

間が長いほど) 小さくなり, N に比べて BB で顕著であった.

今後は, 脱型時期や脱型後に給水養生を開始する時間がコンクリートの収縮に及ぼす影響を検討する予定である.

謝 辞

本研究を行うにあたり, 石井哲也教務職員, RC 系非常勤講師の皆様, ならびに澤本研究室の学生に多大なるご協力を賜りました. ここに記して深謝いたします.

文 献

- 1) 土木学会コンクリート標準示方書[施工編], pp.122-123, 2012
- 2) R. Torrent : The Gas-Permeability of High-performance Concretes Site and Laboratory tests, ACI Special Publication 186 “High Performance Concrete, Performance and Quality of Concrete Structures”, pp.291-308, 1999
- 3) スイス規格 : SIA261/1, 2003
- 4) 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, 2011
- 5) 伊代田岳史, 檀康弘, 川端雄一郎, 濱田秀則 : 高炉コンクリートの耐久性における養生敏感性, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.111-116, 2008