

論文 Article

コンクリート柱部材の表層品質に及ぼす養生方法および使用環境の影響

原稿受付 2018 年 9 月 26 日

ものづくり大学紀要 第 8 号 (2018) 1~8

齊藤雅仁^{*1}, 澤本武博^{*2}, 舌間孝一郎^{*3} 樋口正典^{*4}^{*1} ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 修士課程^{*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 社会環境工学科^{*4} 三井住友建設株式会社 技術本部 技術研究所

Effects of Curing Methods and Environments on Surface Properties of Concrete Pillar Members

Masato SAITO^{*1}, Takehiro SAWAMOTO^{*2}, Koichiro SHITAMA^{*3} and Masanori HIGUCHI^{*4}^{*1}INSTITUTE OF TECHNOLOGISTS, Graduate School of Technologists^{*2}INSTITUTE OF TECHNOLOGISTS^{*3}MAEBASHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY^{*4}SUMITOMO MITSUI CONSTRUCTION Co.,Ltd.

Abstract

The properties of concrete surface which influence the durability of concrete structures will be greatly affected on curing conditions and use environments. In this study, the effects of type of cement, demolding timing, curing method and use environment on surface properties of concrete were investigated. As a result, curing method supplying water from outside of the concrete was most effective to do the coefficient of air permeability small in case of the normal portland cement was used. Curing method which didn't make water dry from the concrete surface was effective to do the coefficient of air permeability small in case of the portland-blast furnace slag cement typeB was used. About the use environment, the coefficient of air permeability of the concrete pillar member under outdoor environment was smaller than that of the pillar member under indoor environment, and it was conspicuous by using the portland-blast furnace slag cement typeB compared with the normal portland cement. When the type of cement, curing method and the use environment were different, there was no clear correlation between the coefficient of air permeability and the compressive strength. Therefore, the durability of the concrete can't be judged by only the strength, and it is better to measure gaseous passage resistance directly.

Key Words : Concrete, Coefficient of air permeability, Curing, Environment, Water content, Compressive strength, Rebound number

1. はじめに

コンクリート構造物は、現場で個別に生産されることが多いため、その品質はセメントの種類や水セメント比などコンクリートの配合、打込み時期、脱型時期、養生方法、使用環境などの要因に

左右される。

一方、コンクリートの耐久性を評価するにあたって、一般的にコンクリートの水セメント比あるいは圧縮強度をその指標として用いることが多いが、耐久性と圧縮強度は必ずしも一致するものではないと考えられ、直接的にかぶりコンクリート

Table 1 Mix proportions of concrete

Cement	W/C (%)	Slump (cm)	Unit content (kg/m ³)					Properties of fresh concrete			Strength at mold-demolding (N/mm ²)			Strength under standard curing (N/mm ²)
			W	C	S	G	Ad	Slump (cm)	Air (%)	Temperature (°C)	2days	7days (Indoor)	7days (Outdoor)	
N	53.5	12	168	315	804	1001	3.780	11.5	4.3	26.8	8.4	18.6	18.8	27.7
BB	51.5	12	166	323	791	1003	3.876	10.5	3.6	24.6	8.9	23.4	24.8	37.4

Table 2 Curing methods and environments

Cement	Demolding time	Environment	Curing method			
			Atmospheric curing	Membrane curing	Sealed curing	Wet curing
N	2days	Indoor	○	○	○	○
		Outdoor	○	—	—	—
	7days	Indoor	○	○	○	○
		Outdoor	○	—	—	—
BB	2days	Indoor	○	○	○	○
		Outdoor	○	—	—	—
	7days	Indoor	○	○	○	○
		Outdoor	○	—	—	—

の物質移動抵抗性を求める方法が提案され、実用化している^{1~4)}。そして、コンクリート構造物の表層の透気性に及ぼす影響が検討されるようになってきたものの^{5~9)}、セメントの種類、脱型時期、養生方法の相違、屋内・屋外における使用環境を組み合わせ、実大試験体を用いて検討した例はほとんどない。

本研究では、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を用いたコンクリート柱部材を作製し、脱型時期、養生方法および使用環境を変化させた場合の透気係数、含水率、圧縮強度および反発度の関係について検討した。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの配合および柱部材の作製

セメントには普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）および高炉セメント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 2.61g/cm³、粗粒率 2.75）を、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%）を用いた。また、混和剤には、AE減水剤を用いた。

コンクリートの配合を Table 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も、呼び強度 27 のレディーミクストコンクリートとした。



Fig. 1 Curing methods



Fig. 2 Set in outdoor



Fig. 3 Air permeability test



Fig. 4 Water content test (Surface)



Fig. 5 Water content test (Inside)



Fig. 6 Rebound number test

柱部材の寸法は、高さ 1200mm、幅 840mm、長さ 840mm とし、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、圧縮強度試験用供試体として、柱部材と同日に脱型し、同様の養生を行ったφ100mm×200mmの円柱供試体を、JIS A 1132 に準じて各 3 本ずつ作製した。

2.2 養生方法および使用環境

養生方法と使用環境の組合せを Table 2 に示す。屋内環境においては、気中養生、膜養生、封かん養生および湿布養生の 4 種類の養生を柱部材側面の 4 面にそれぞれ行った。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、封かん養生は脱型直後に市販の養生テープを貼り付け、湿布養生は脱型直後に湿らせたマットを貼り

付け、型枠を再度あてがい、3日おきに散水した。なお、封かん養生および湿布養生は脱型日から材齢28日まで行った。養生の様子を Fig.1 に示す。屋内環境実験は、埼玉県行田市において、空調のない実験棟に2017年5月中旬から2017年9月中旬まで設置することとした。

一方、屋外環境においては、セメントの種類および脱型時期を変化させた場合の気中養生のみとし、柱部材の側面が東西南北になるように設置した。屋外曝露の様子を Fig.2 に示す。屋外環境実験は、埼玉県行田市において、柱部材に直接日射や雨がかかる状況で2017年5月中旬から2017年9月中旬まで設置することとした。

2.3 透気試験および含水率試験

透気試験の様子を Fig.3 に示す。スイス規格262に示されているダブルチャンバーセルを用い、おおそ材齢1ヶ月および材齢3～4ヶ月の範囲において、屋内の場合は柱部材の各養生面、屋外の場合は柱部材の南面および北面の中央部付近を3ヶ所ずつ測定し、相乗平均値をそれぞれの透気係数とした。なお、材齢1ヶ月の測定箇所をマーキングしておき、材齢3～4ヶ月において表層透気係数を測定する際には、材齢1ヶ月に測定した箇所と同じ場所を測定した。また、屋外曝露している柱部材の測定の際には、降雨による含水率の上昇が測定値に影響を及ぼさないように、測定まで数日間降雨がない日を選定した。

含水率試験では、電気抵抗式のコンクリート水

分計により、透気試験と同じ材齢でコンクリートの表面および内部の含水率を測定した。測定の様子を Fig.4 および Fig.5 に示す。なお、内部含水率の測定は屋内環境の柱部材で40および80mm、屋外環境の柱部材で25, 50, 75および100mmとした。

2.4 反発度試験

反発度試験の様子を Fig.6 に示す。反発度試験は、NR型リバウンドハンマーを用い、屋内環境で透気試験を行った付近においてJIS A 1155に準じて材齢3～4ヶ月の範囲で行った。なお、各脱型時期および養生方法それぞれ9ヶ所ずつ試験を行い、平均値を反発度とした。

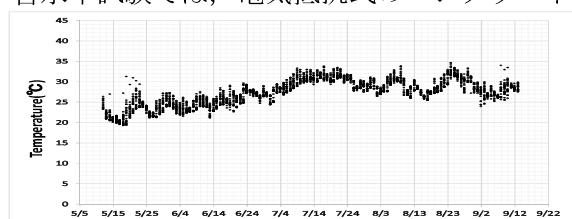
2.5 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、柱部材と同様の養生を行った円柱供試体を用い、JIS A 1108に準じて材齢3～4ヶ月の範囲で行った。

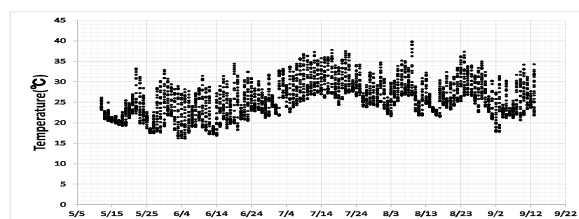
3. 実験結果および考察

3.1 屋内・屋外環境における温度・湿度

実験環境を Fig.7 および Fig.8 に示す。屋内に比べて、屋外の方が温度および湿度の変化が大きく、5月中旬から9月中旬の間は、全体的に屋内の湿度が低く、屋外の方が高い。また、屋外では湿度が100%近い時も多く、コンクリート表層部に及ぼす降雨の影響が生じるものと考えられる。

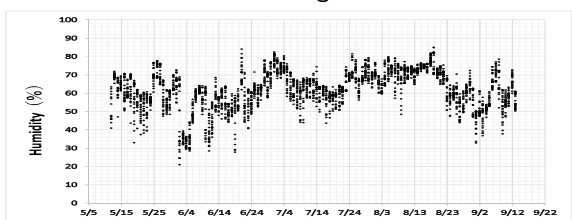


(a) Indoor

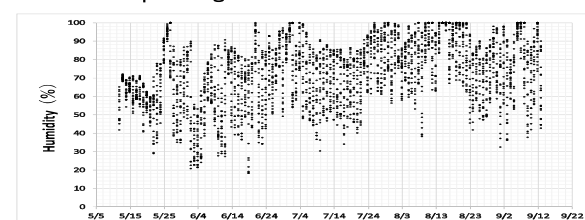


(b) Outdoor

Fig.7 Relation between temperature and passage



(a) Indoor



(b) Outdoor

Fig.8 Relation between humidity and passage

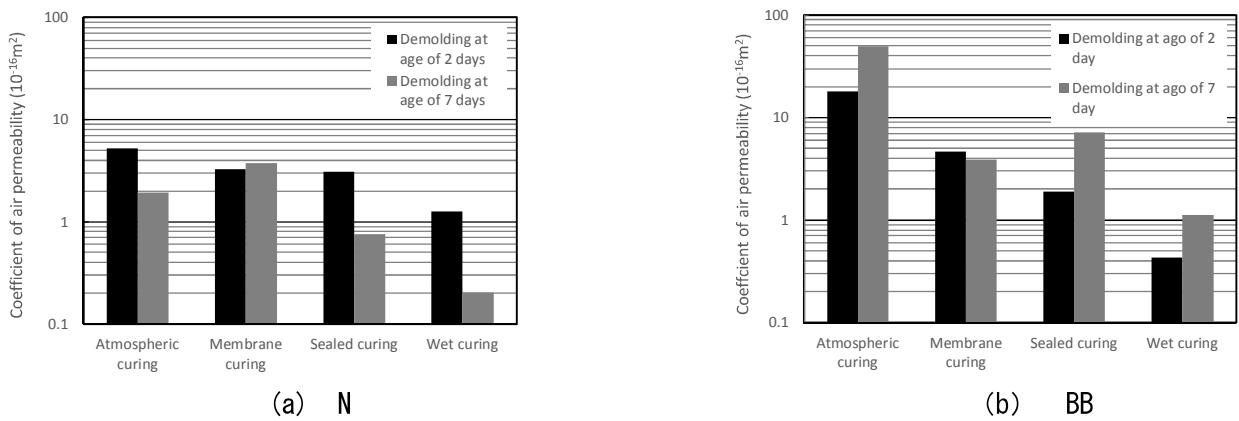


Fig. 9 Effects of curing methods on coefficient of air permeability (Age of a month)

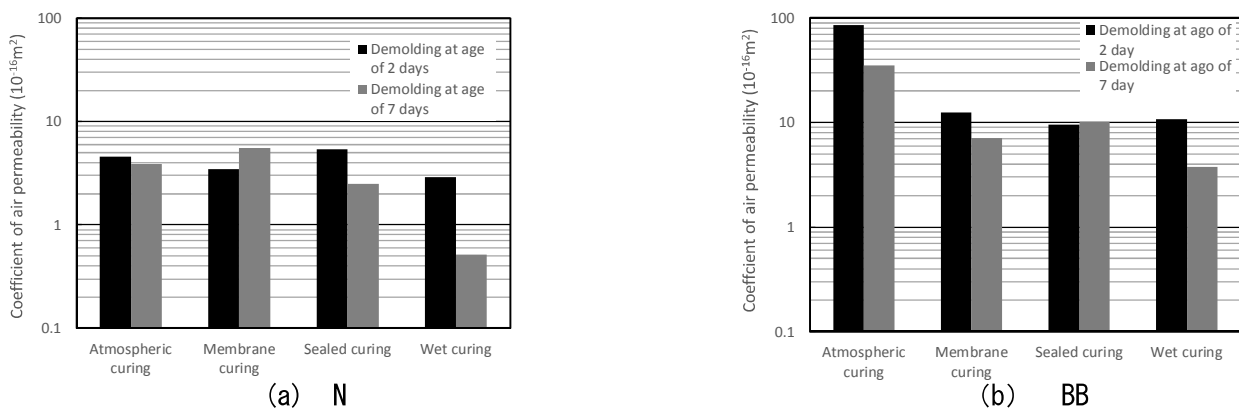


Fig. 10 Effects of curing methods on coefficient of air permeability (Age of 3~4 months)

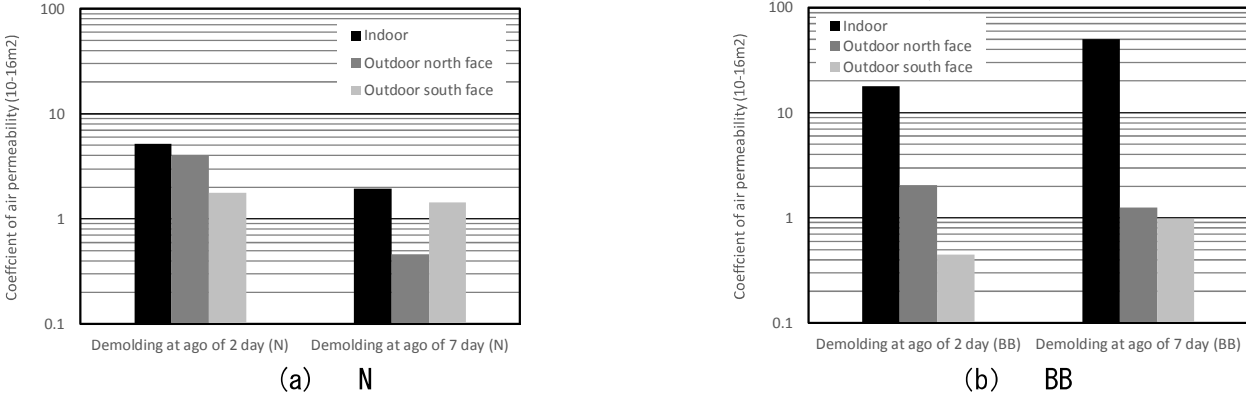


Fig. 11 Effects of environments on coefficient of air permeability (Age of a month)

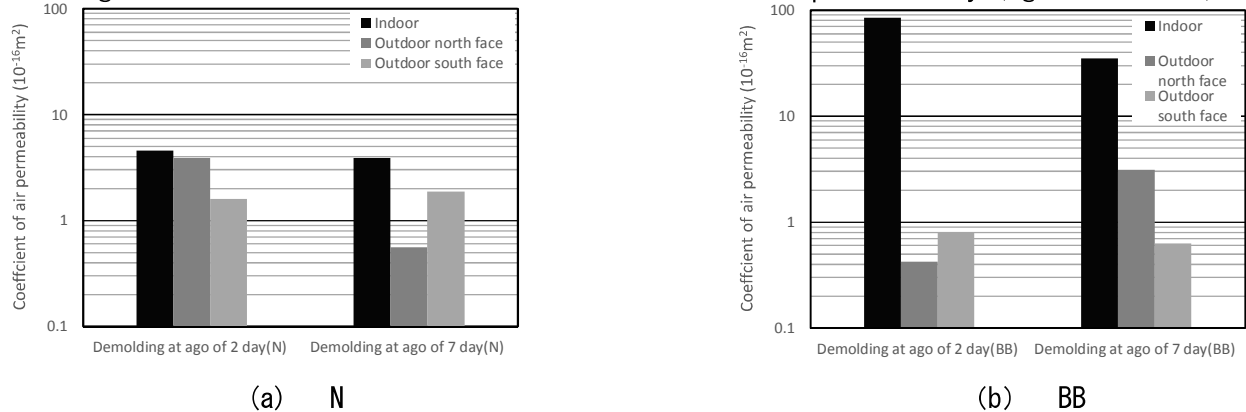
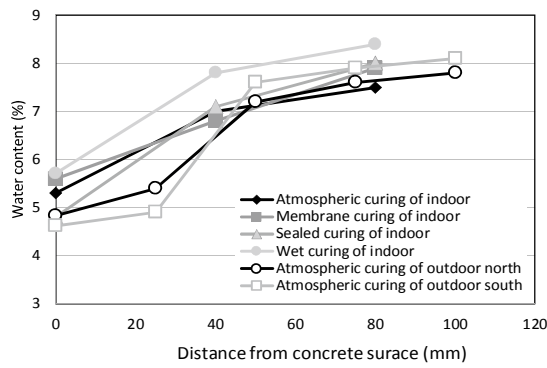
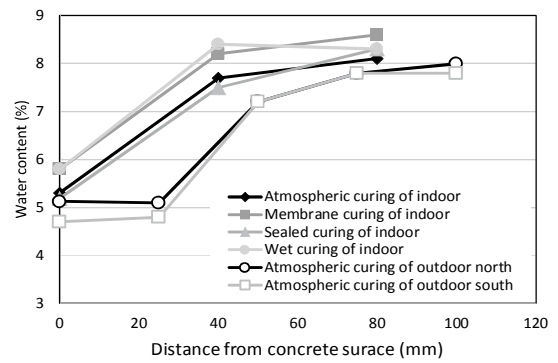


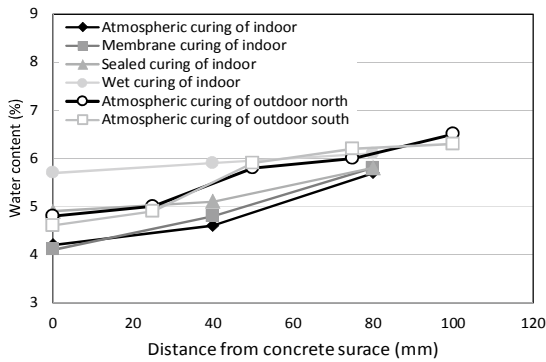
Fig. 12 Effects of environments on coefficient of air permeability (Age of 3~4 months)



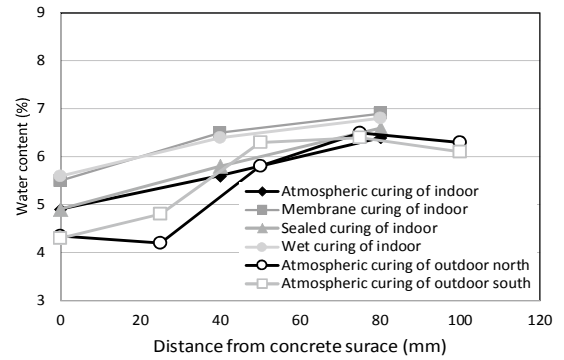
(a)N :Demolding at age of 2 days



(b)N :Demolding at age of 7 days

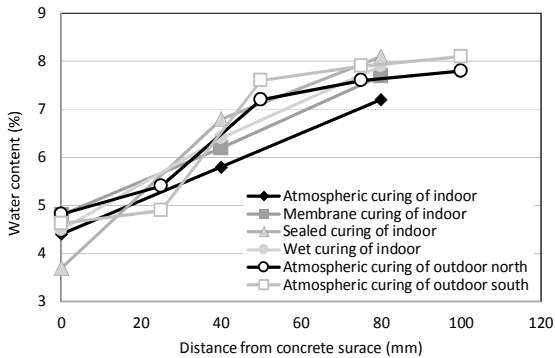


(c)BB :Demolding at age of 2 days

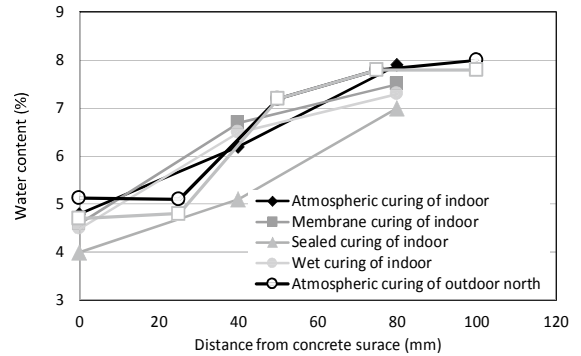


(d)BB :Demolding at age of 7 days

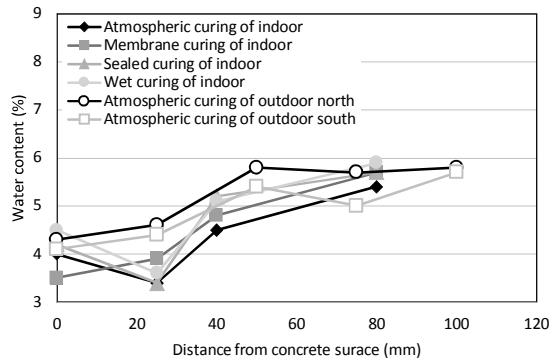
Fig. 13 Relation between water content and distance from concrete surface (Age of a month)



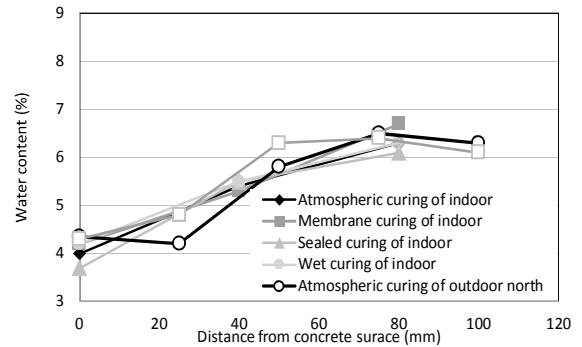
(a)N :Demolding at age of 2 days



(b)N :Demolding at age of 7 days



(c)BB :Demolding at age of 2 days



(d)BB :Demolding at age of 7 days

Fig. 14 Relation between water content and distance from concrete surface (Age of 3~4 month)

3.2 養生方法と透気係数の関係（屋内環境）

屋内環境における材齢 1 ヶ月および材齢 3~4 ヶ月の養生方法と透気係数の関係を、それぞれ Fig.9 および Fig.10 に示す。N を用いた場合は、材齢 1 ヶ月および材齢 3~4 ヶ月ともに、湿布養生が最も効果的であり、外部からの水分の補給により表層部の水和反応が進んだためと考えられる。

一方、BB を用いた場合は、材齢 1 ヶ月および材齢 3~4 ヶ月ともに、膜養生、封かん養生、湿布養生のいずれも気中養生に比べて透気係数はかなり小さくなり、表層部の水分を乾燥させない養生が効果的であった。なお、脱型時期の影響はあまり見受けられなかった。

また、材齢 3~4 ヶ月に表層透気係数を測定した方が、材齢 1 ヶ月に測定した場合よりも、N および BB いずれの養生方法においても少し測定値が大きくなった。これは、屋内環境の場合には、材齢に伴いコンクリートが乾燥するため、コンクリート中において気体が移動しやすくなるためと考えられる。

3.3 使用環境と透気係数の関係（屋内・屋外環境）

使用環境と透気係数の関係を Fig.11 および Fig.12 に示す。使用環境については、材齢 1 ヶ月および材齢 3~4 ヶ月の N および BB いずれの場合においても屋内環境より屋外環境の方が表層透気係数は小さくなっているため、屋外暴露試験体は降雨によりコンクリート表層部の水和反応が進み緻密になることや、屋内に比べて乾燥が進みにくいことが影響していると考えられる。特に BB において顕著であり、BB の場合は水がかりや乾燥の抑制による水和の進行が透気性に及ぼす影響は極めて大きいと考えられる。なお、今回の実験の範囲では脱型時期および屋外環境による北面と南面の差に明確な傾向は見受けられなかった。

屋外における材齢 1 ヶ月と材齢 3~4 ヶ月の透気係数を比べると、材齢 3 ヶ月に測定した方が材齢 1 ヶ月に測定した場合に比べて必ずしも測定値が大きくなるはず、両材齢で測定値は近い値となった。このことより、材齢 1 ヶ月を超えると屋外環境の方が、屋内環境に比べて、測定値は材齢の影響を受けにくいと考えられる。

3.4 コンクリート深さ方向と含水率の関係

コンクリート深さ方向と含水率の関係を Fig.13 および Fig.14 に示す。材齢 1 ヶ月および材齢 3~4 ヶ月の屋内環境における養生方法の違いを見てみると、N および BB いずれの場合にも気中養生を行った場合に比べて水分を乾燥させない、あるいは水分を供給する養生を行うことで、表面および内部含水率は大きくなる傾向にあった。この傾向は、透気係数とも一致する。しかし、屋内環境と屋外環境を比較すると、降雨の影響を受ける屋外環境の柱部材の方が表面および内部含水率が小さい傾向にあり、透気係数との相関が見受けられなかった。また、屋外環境においては BB で含水率が小さくても透気係数が小さい場合も見受けられた。これらのことより、透気係数はコンクリートの含水率に一定の相関性は認められるものの、表層部の水和の進行による緻密さの影響が大きく反映されると考えられる。

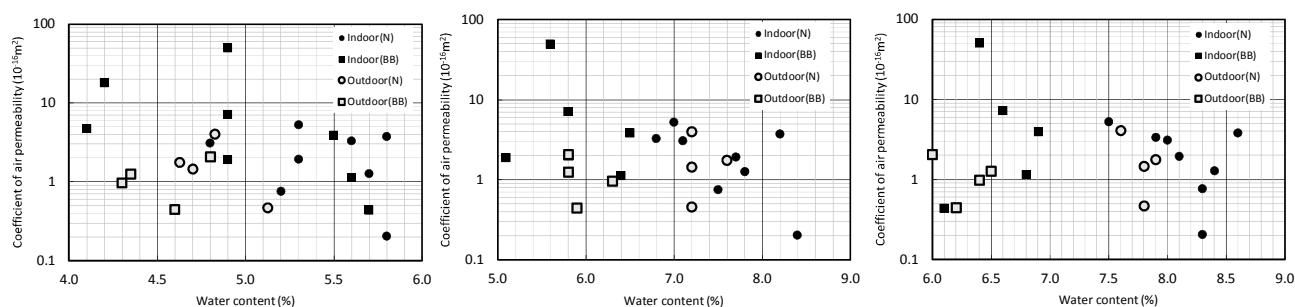
3.5 含水率と透気係数の関係

含水率と透気係数の関係を Fig.15 および Fig.16 に示す。図中の内部含水率は、コンクリート表面から 40~50mm、75~80mm の値を用いた。表面含水率および内部含水率と透気係数には、ばらつきが大きいものの一定の相関性があり、含水率が大きいほど透気係数は小さくなる傾向にあった。BB で表層透気係数の大きい場合は、表面および内部含水率がともに小さく水分の乾燥が大きく影響していると考えられる。また、屋内環境と屋外環境を分けて考えた場合、前項でも述べたが、屋内環境では相関性が認められるが、屋外環境では相関性があまり見受けられず、屋外環境では降雨などの様々な要因が大きく影響してくるものと考えられる。

3.6 圧縮強度と透気係数の関係

屋内環境における養生方法と圧縮強度の関係を Fig.17 に示す。N および BB とともに、気中養生を行うより、膜養生、封かん養生、さらには湿布養生を行う順で圧縮強度は増加していき、水分を乾燥させないさらには水分を供給する養生を行うことで圧縮強度は大きくなる傾向にあった。

使用環境と圧縮強度の関係を Fig.18 に示す。屋内環境に比べて屋外環境の供試体の方が圧縮強度

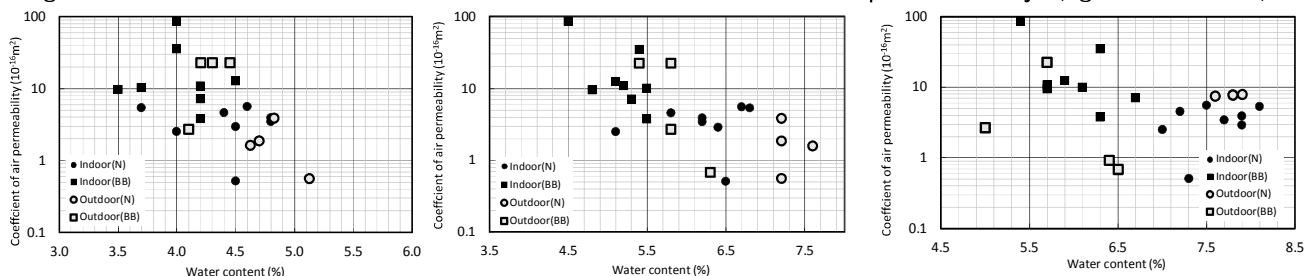


(a) Concrete surface

(b) 40~50mm from concrete surface

(c) 75~80mm from concrete surface

Fig. 15 Relation between water content and coefficient of air permeability (Age of a month)

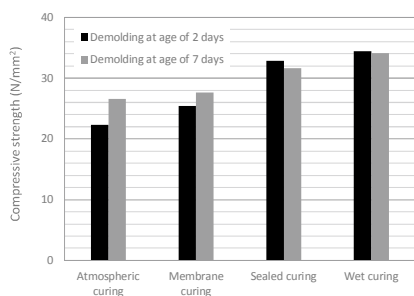


(a) Concrete surface

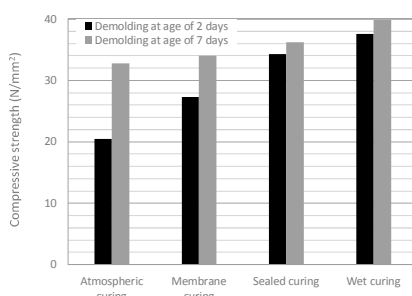
(b) 40~50mm from concrete surface

(c) 75~80mm from concrete surface

Fig. 16 Relation between water content and coefficient of air permeability (Age of 3~4 months)



(a) N



(b) BB

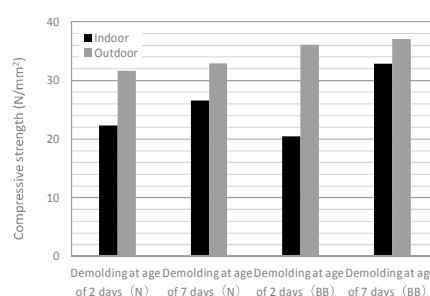


Fig. 18 Effects of environments on compressive strength (Age of 3~4 months)

Fig. 17 Effects of curing methods on compressive strength (Age of 3~4 months)

は大きくなり、降雨により水和反応が進行したと考えられる。

圧縮強度と透気係数の関係を Fig.19 に示す。圧縮強度と透気係数の全てのデータをまとめると明確な相関性はなく、養生の効果や使用環境の影響は透気性と圧縮強度で異なるため、透気性は単純に圧縮強度のみでは推定できず、耐久性の指標は圧縮強度だけでは判断できないと考えられる。

3.7 反発度と透気係数の関係

屋内環境における養生方法と反発度と透気係数の関係を Fig.20 に示す。また、反発度と透気係数の関係を Fig.21 に示す。セメントの種類や養生方法の違い

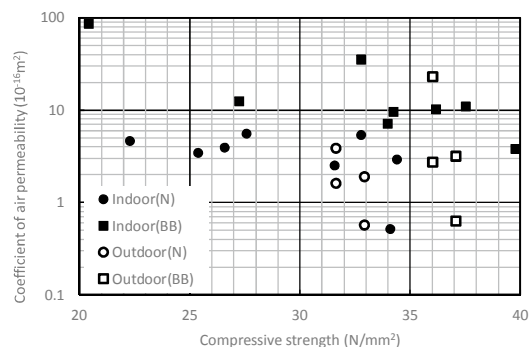
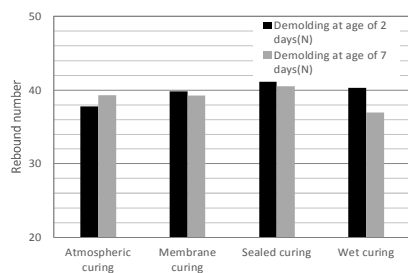
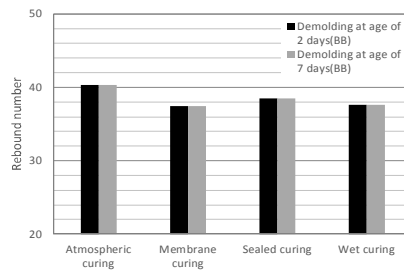


Fig. 19 Relation between compressive strength and coefficient of air permeability



(a) N



(b) BB

Fig. 20 Effects of curing methods on rebound number
(Age of 3~4 months)

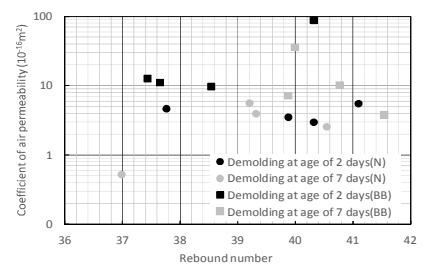


Fig. 21 Relation between rebound number and coefficient of air permeability

が異なる場合のデータをまとめるとばらつきが大きくなり、反発度と透気係数に明確な相関性は見受けられなかった。

4. まとめ

- (1) コンクリートの透気係数を小さくするために、N の場合は外部から水分を補給する養生方法が、BB の場合は乾燥させない養生方法が効果的であった。
- (2) 屋内環境より屋外環境の方が透気係数は小さくなり、N に比べて BB で顕著であった。
- (3) 材齢 1 ヶ月から材齢 4 ヶ月の範囲における透気係数は、屋外環境より屋内環境の方が材齢の影響を受けた。
- (4) 屋内環境において透気係数は表面および内部含水率に一定の相関性は認められるが、屋外環境においては相関性が見受けられなかった。
- (5) セメントの種類や養生方法、使用環境が異なると、透気係数は圧縮強度および反発度と明確な相関性は見受けられなかった。そのため、コンクリートの耐久性は強度だけでは判断できず、物質の移動抵抗性を直接測定するのがよいと考えられる。

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 RC 構造物総合実習 I の非常勤講師の先生方、授業を履修した学部生に多大なるご協力を頂きました。ここに記して深謝いたします。

文 献

- 1) N R. J. Torrent : A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, Vol.25, No.150, pp.358-365 (1992)
- 2) 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ー, コンクリート工学 Vol.49, No.3, pp.3-6 (2011)
- 3) 山崎順二, 今本啓一, 湯浅昇, 下澤和幸 : 実大コンクリート壁における各種の透気性試験に関する共通試験, 日本建築学会構造系論文, Vol.83, No.746, pp.515-525(2018)
- 4) 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)
- 5) 家辺麻里子, 秋山仁志, 蔵重勲, 岸利治 : 表層透気試験による養生条件を変化させた中規模柱試験体の表層品質詳細把握, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.659-664(2011)
- 6) 太田健司ほか : 実構造物コンクリート表層品質に日射が与える影響に関する一考察, 土木学会第 67 回年次学術講演会, V-047, pp.93-94(2012)
- 7) 彌永育代, 豊福俊泰, 高橋典子 : 透気性・透水性試験によるコンクリートの塩分浸透性・中性化の診断法に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.699-700(2014)
- 8) 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)
- 9) 門井康太, 澤本武博, 樋口正典, 臺哲義 : 高炉セメント B 種を用いたコンクリートの養生方法の相違が透気性・透水性および表面硬さに及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1981-1986(2017)