

## 論文 Article

## コンクリート柱部材の透気性に及ぼす打込み時期 および使用環境の影響に関する研究

原稿受付 2019 年 6 月 25 日

ものづくり大学紀要 第 9 号 (2019) 12~17

齊藤雅仁<sup>\*1</sup>, 澤本武博<sup>\*2</sup>, 舌間孝一郎<sup>\*3</sup>, 樋口正典<sup>\*4</sup>, 臺 哲義<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup> ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 修士課程

<sup>\*2</sup> ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科

<sup>\*3</sup> 前橋工科大学 工学部 社会環境工学科

<sup>\*4</sup> 三井住友建設株式会社 技術本部 技術研究所

### A Study on Effects of Placing Seasons and Environments on Air Permeability of Concrete Pillar Members

Masato SAITO<sup>\*1</sup>, Takehiro SAWAMOTO<sup>\*2</sup>, Koichiro SHITAMA<sup>\*3</sup>, Masanori HIGUCHI<sup>\*4</sup> and Akiyoshi DAI<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup>INSTITUTE OF TECHNOLOGISTS, Graduate School of Technologists

<sup>\*2</sup>INSTITUTE OF TECHNOLOGISTS

<sup>\*3</sup>MAEBASHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

<sup>\*4</sup>SUMITOMO MITSUI CONSTRUCTION Co.,Ltd.

#### Abstract

The properties of concrete surface which influence the durability of concrete structures will be greatly affected on placing seasons and use environments. In this study, the effects of type of cement, placing season and use environment on air permeability of concrete were investigated. As a result, there was no clear correlation between the coefficient of air permeability and the placing season. About the use environment, the coefficient of air permeability of the concrete pillar member under rainy 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 using the normal portland cement.

**Key Words** : Concrete, Coefficient of air permeability, Placing, Environment, Water content, Rebound number

#### 1. はじめに

コンクリートの打込み時期や使用環境によってコンクリートの強度や耐久性が異なってくる可能性がある。特に、打込み時期においては、夏期に打ち込んだコンクリートは強度の伸びが小さく、冬期に打ち込んだコンクリートは養生

を怠ると強度発現が遅れる傾向にあり、耐久性に関しても懸念される。また、使用環境においては、水がかりがある箇所とない箇所において、コンクリートの表層品質に違いが生じる可能性がある。

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

Table 1 Mix proportions of concrete

Placing	Cement	W/C (%)	Slump (cm)	Unit content (kg/m <sup>3</sup> )					Properties of fresh concrete			Strength at mold-demolding (N/mm <sup>2</sup> )				Strength under standard curing (N/mm <sup>2</sup> )
				W	C	S	G	Ad	Slump (cm)	Air (%)	Temperature(°C)	1day	2days	7days	12days	
2017.5.19	N	53.5	12	168	315	804	1001	3,780	11.5	4.3	26.8	-	8.4	18.8	-	27.7
2017.8.29				171	320	793	1001	3,840	13.0	4.7	32.4	6.0	-	18.9	-	25.3
2018.1.18				166	311	814	1001	3,732	11.5	4.8	14.8	-	-	-	13.8	26.6
2017.5.19	BB	51.5	12	166	323	791	1003	3,876	10.5	3.6	24.6	-	8.9	24.8	-	37.4
2017.8.29				169	329	778	1003	3,948	12.0	5.6	31.6	6.7	-	23.0	-	36.6
2018.1.18				164	319	799	1003	3,828	10.0	4.5	13.6	-	-	-	10.8	33.5

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<sup>1~4)</sup>。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<sup>5~9)</sup>、セメントの種類、打込み時期、脱型時期、材齢、使用環境の相違を、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、打込み時期(標準期, 夏期, 冬期)、脱型時期、材齢および水がかりの有無がコンクリートの透気性に及ぼす影響を検討した。

## 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/cm<sup>3</sup>)および高炉セメントB種(密度 3.04g/cm<sup>3</sup>)を、細骨材には栃木県栃木市尻内町

産山砂(表乾密度 2.61g/cm<sup>3</sup>, 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/cm<sup>3</sup>, 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)または、高炉セメントB種(以下、BB と称す)を用いた呼び強度 27 のレディーミクストコンクリートとした。

### 2.2 コンクリート柱部材の作製

コンクリート柱部材の寸法は、高さ 1200mm,



Fig. 1 Placement



(a) Spring



(b) Summer



(c) Winter

Fig. 2 Set concrete pillar members at outdoor

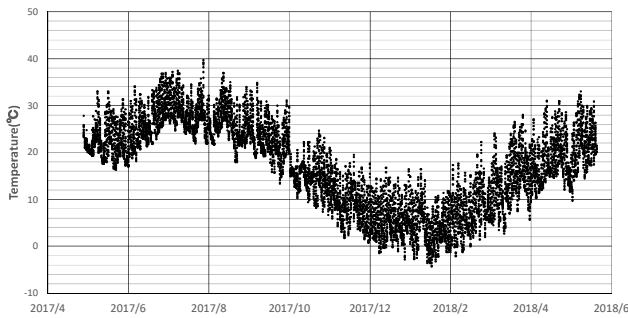


Fig. 3 Relation between temperature and passage

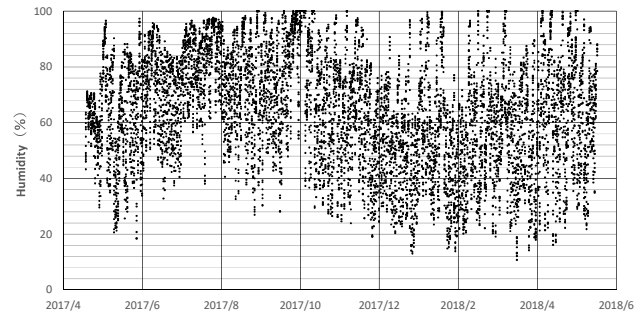


Fig. 4 Relation between humidity and passage

Table 2 Combination of demolding time

Season	Demolding at ago of 1 day	Demolding at ago of 2 days	Demolding at ago of 7 days	Demolding at ago of 12 days
Spring	—	○	○	—
Summer	○	—	○	—
Winter	—	—	—	○

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. 柱部材の作製の様子を Fig.1 に示す.

### 2.3 コンクリートの打込み時期および使用環境

水がかりのある屋外環境において, 打込み時期を標準期 (2017 年 5 月), 夏期 (2017 年 8 月) および冬期 (2018 年 1 月) とし, 埼玉県行田市ものづくり大学敷地内において, 屋外曝露を行った. 試験体は柱部材の側面が東西南北になるように設置し, 柱部材に直接日射や雨が掛かる状態で 1 年間設置することとした. 柱部材設置の様子を Fig.2 に示す. また, ものづくり大学敷地内の屋外 1 年の実験環境(気温および湿度)を, Fig.3 および Fig.4 に示す.

コンクリートの打込み時期および脱型時期の組合せを Table 2 に示す. 標準脱型時期は標準期および夏期は材齢 7 日とし, 冬期は材齢 12 日とした. 早期脱型を行う場合については標準期を材齢 2 日, 夏期を材齢 1 日とし実験を行った. なお, 冬期は標準脱型のみとした.

また, 水がかりの有無の影響を検討するため



Fig. 5 Air permeability test

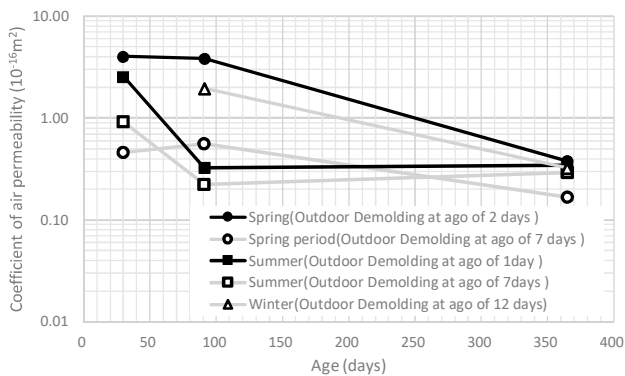


Fig. 6 Rebound number test

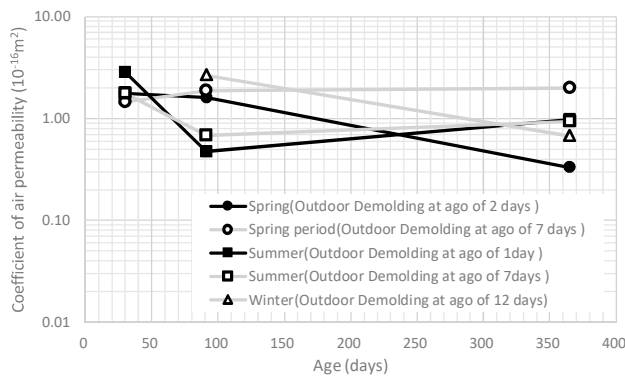
に, 標準期のみ水がかりのない屋内環境においても実験を行った.

### 2.4 透気試験

透気試験の様子を Fig.5 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, それぞれの打込み時期で, 材齢 1 ヶ月, 3 ヶ月および 1 年において, 柱部材の北面と南面の中央部付近を 3 ヶ所ずつ測定し, 相乗平均値を透気係数とした. なお, コンクリート表面の含水率は, 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測定し, 表面含水率が 5.5%以上であることを確認している.

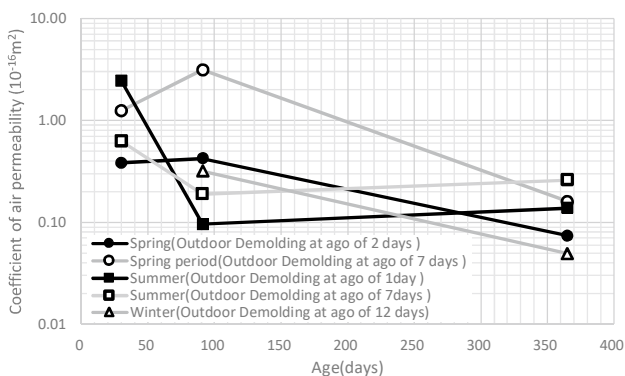


(a) North surface

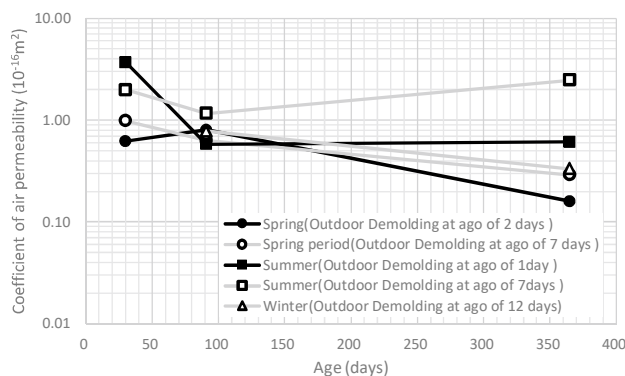


(b) South surface

Fig. 7 Relation between coefficient of air permeability and age (N)



(a) North surface



(b) South surface

Fig. 8 Relation between coefficient of air permeability and age (BB)

## 2.5 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、材齢 1 年において透気試験を行った付近において JIS A 1155 に準じて 9ヶ所試験を行い、平均値を反発度とした。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 打込み時期が透気係数に及ぼす影響

N および BB の透気係数と材齢の関係を、それぞれ Fig.7 および Fig.8 に示す。左図は柱部材の北面を、右図は南面の結果を示す。N および BB、またいずれの打込み時期においても材齢の進行とともに透気係数は小さくなる傾向にあった。これは、使用環境が水がかりのある環境のため、降雨の影響によりコンクリート表層部の水和反応が進み緻密になったためと考えられる。

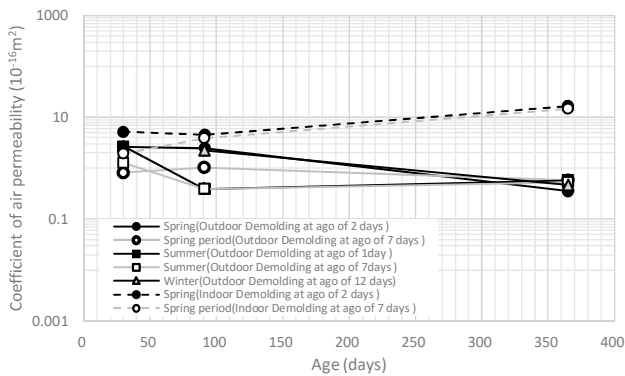
一方、北面と南面を比べると、透気係数は北

面の方が小さくなる傾向にあった。これは、南面の方が直射日光の影響により北面に比べて乾燥が進むためと考えられる。また、セメントの種類では、N に比べて潜在水硬性の性質を持つ BB の方が透気係数は若干小さくなる傾向にあった。

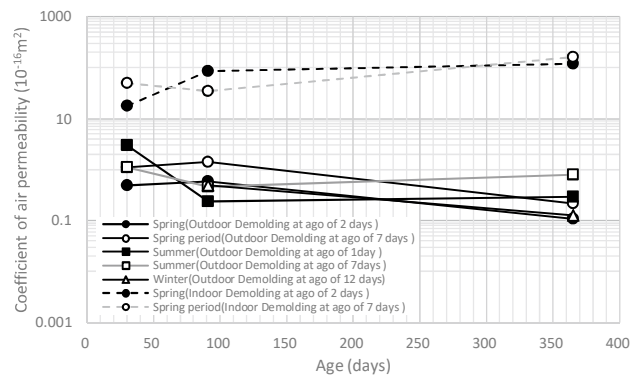
打込み時期では、標準期、夏期、冬期においてさほど違いは見受けられず、いずれの打込み時期においても材齢 1 年で透気係数は概ね  $1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$  より小さくなり、トレント博士の提案するグレード<sup>1), 2)</sup>で「標準」となり、また  $0.1 \times 10^{-16} \text{m}^2$  より小さくなる場合もあり「良」となる場合もあった。また、圧縮強度も材齢 1 年になると打込み時期の影響は小さかった。

### 3.2 水がかりの有無が透気係数に及ぼす影響

透気係数と材齢の関係を Fig.9 に示す。左図は N を、右図は BB の結果を示す。なお、屋外環境の透気係数は、北面と南面の平均値を示す。水がかりのある屋外環境下(グラフの実線)と水



(a) N



(b) BB

Fig. 9 Relation between coefficient of air permeability and age (Outdoor and Indoor)

がかりのない屋内環境(グラフの点線)を比べると、前述の通り屋外環境においてはNに比べてBBの透気係数が若干小さくなる傾向にあったが、屋内環境においてはNに比べてBBの透気係数が大きくなった。これは、外部からの水分供給がない状況では、水和反応の遅いBBの場合に水和に必要な水分が乾燥してしまい、水和反応の進行が抑制されるためと考えられる<sup>10)</sup>。

また、水がかりのある屋外環境では、NとBBともに材齢の進行とともに透気係数は小さくなる傾向にあったが、屋内環境ではNとBBともに材齢の進行とともに透気係数は大きくなる傾向にあった。これは、材齢の経過に伴い、コンクリートの含水率が低下するためと考えられる。

### 3.3 透気係数と反発度の関係

透気係数と反発度の関係を Fig.10 に示す。コンクリート強度を推定する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。そのため、強度と耐久性は必ずしも一致するものではないと考えられ、耐久性を評価するためには透気係数など直接物質移動抵抗性を調べるのがよいと考えられる。

## 4. まとめ

NおよびBBを用いた柱部材を作製し、打込み時期(標準期, 夏期, 冬期)および使用環境(屋外, 屋内)の違いが透気係数に及ぼす影響を検討した結果、以下の(1)~(3)が明らかになった。

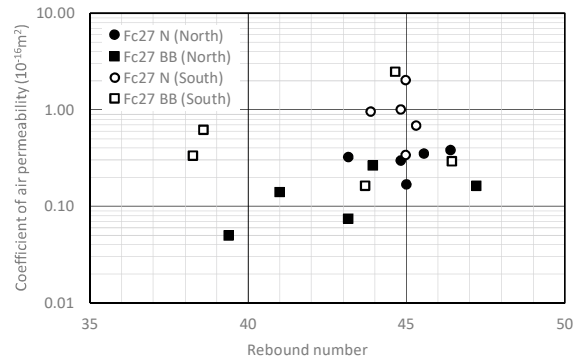


Fig. 10 Relation between coefficient of air permeability and rebound number

- (1) 水がかりのある屋外環境下においては、打込み時期が透気係数に及ぼす影響はさほど見受けられなかった。一方、北面と南面を比べると、透気係数は北面の方が小さくなる傾向にあった。
- (2) 水がかりのある屋外環境下と水がかりのない屋内環境を比べると、屋外環境においてはNに比べてBBの透気係数が若干小さくなり、NとBBともに材齢の進行とともに透気係数は小さくなる傾向にあった。一方、屋内環境においてはNに比べてBBの透気係数が大きくなり、NとBBともに材齢の進行とともに透気係数は大きくなる傾向にあった。
- (3) 透気係数と強度指標を示す反発度に明確な相関性は見受けられなかったため、耐久性を評価するためには透気係数など直接物質移動抵抗性を調べるのがよいと考えられる。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、澤本研究室の学生ならびに RC 構造物総合実習 I の非常勤講師の先生方、授業を履修した学生に多大なるご協力を頂きました。また、エフティーエス(株)の藤原貴央氏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—, *コンクリート工学* Vol.49, No.3, pp.3-6 (2011)
- 3) 山崎順二ほか : 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) 家辺麻里子ほか : 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) 井上翠ほか : 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) 門井康太ほか : 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)
- 10) 伊代田岳史ほか : 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)