

論文 Article

コンクリート柱部材の透気性に及ぼす配合 および養生方法の影響に関する研究

原稿受付 2019 年 6 月 25 日

ものつくり大学紀要 第 9 号 (2019) 6~11

齊藤雅仁*¹, 澤本武博*², 舌間孝一郎*³ 樋口正典*⁴

*¹ ものつくり大学大学院 ものつくり学研究科 修士課程

*² ものつくり大学 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

A Study on Effects of Mix Proportions and Curing Methods on Air Permeability of Concrete Pillar Members

Masato SAITO*¹, Takehiro SAWAMOTO*², Koichiro SHITAMA*³ and Masanori HIGUCHI*⁴

*¹INSTITUTE OF TECHNOLOGISTS, Graduate School of Technologists

*²INSTITUTE OF TECHNOLOGISTS

*³MAEBASHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

*⁴SUMITOMO MITSUI CONSTRUCTION Co.,Ltd.

Abstract

The properties of concrete surface which influence the durability of concrete structures will be greatly affected on mix proportions and curing conditions. In this study, the effects of nominal strength, type of cement, demolding timing and curing method on air permeability 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. 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. And then appropriate curing was effective for air permeability small than increase of concrete strength. Therefore, there was no clear correlation between the coefficient of air permeability and the concrete strength. However, there was correlation between the coefficient of air permeability and the sound speed of concrete surface. The coefficient of air permeability tended to be small that the sound speed of concrete surface became speedy. And the coefficient of air permeability tended to be small that the water content of concrete became high.

Key Words : Concrete, Coefficient of air permeability, Mix proportion, Curing, Water content, Compressive strength, Rebound number, Sound speed

1. はじめに

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)}、呼び強度、セメントの種類、脱型時期、養生方法の相違を組み合わせ、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、前年度に行った普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を用いた呼び強度 27 の一般的なコンクリートの実験データ¹⁰⁾に加えて、高炉セメント B 種を用いて早期脱型を行った場合、さらに呼び強度 36 の比較的強度の大きいコンクリートについて実験を行い、コンクリートの配合、脱型時期、および養生方法の相違と、透気係数、含水率、圧縮強度、反発度、さらに音速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/cm^3 ）および高炉セメント B 種（密度 3.04g/cm^3 ）を、細骨材には栃木県栃木市尻内町産山砂（表乾密度 2.61g/cm^3 、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^3 、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 および 36 のレディーミクストコンクリートとした。

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、柱部材と同じ日に脱型し、同様の養生を行った $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 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 脱型時期および養生方法

コンクリートの配合および脱型時期の組合せを Table 2 に示す。標準脱型時期は材齢 7 日とし、呼び強度 27 のみ材齢を 2 日と早期に脱型を行う場合について実験を行った。養生方法を Fig.1 に示す。実験は、水がかりのない屋内実験棟で行うこととし、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グリコールエーテル系誘導体を主成分とする収縮低減型養生剤を塗布



(a) Atmospheric curing



(b) Membrane curing



(c) Sealed curing



(d) Wet curing

Fig. 1 Curing methods

Table 2 Combination of demolding time

Fc	Cement	Demolding time	
		2days	7days
27	N	○	○
	BB	○	○
36	N	-	○
	BB	-	○

Table 1 Mix proportions of concrete

Fc	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 ($^{\circ}\text{C}$)	2days	7days	
27	N	53.5	12	168	315	804	1001	3.780	11.5	4.3	26.8	8.4	18.6	27.7
	BB	51.5	12	166	323	791	1003	3.876	10.5	3.6	24.6	8.9	23.4	37.4
36	N	45.0	12	172	383	733	1006	4.596	11.0	5.0	29.3	-	25.6	34.6
	BB	44.0	12	171	389	718	1006	4.668	10.0	4.7	26.9	-	26.9	40.8

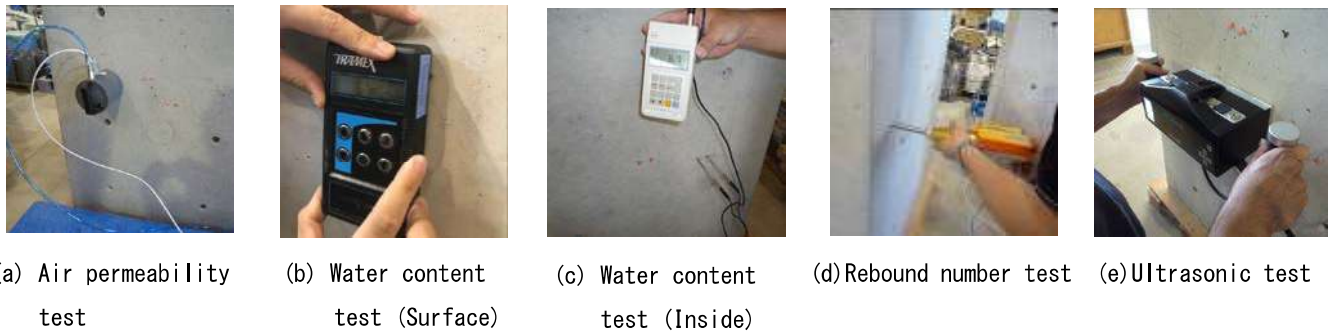
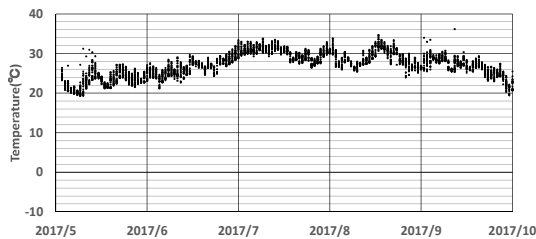
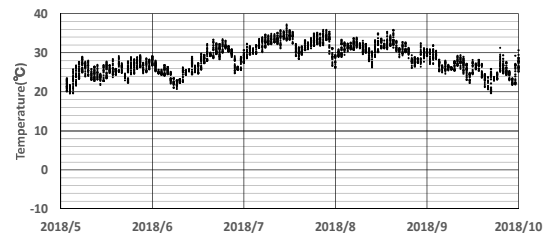


Fig. 2 Test methods

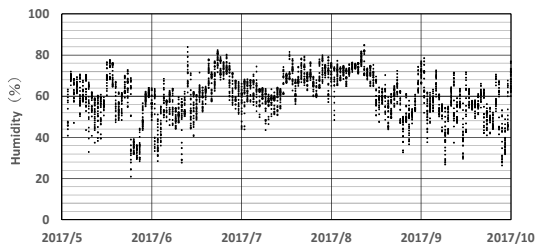


(a) 2017 year

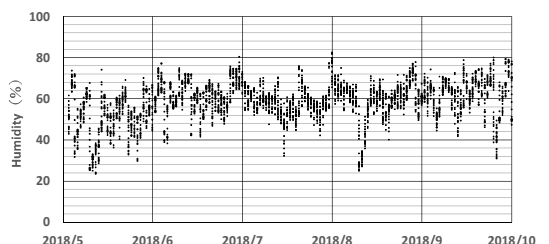


(b) 2018 year

Fig. 3 Relation between temperature in test room and passage



(a) 2017 year



(b) 2018 year

Fig. 4 Relation between humidity in test room and passage

することとした。また、封かん養生は脱型直後にポリオレフィンを基材とした養生テープを貼り付け、湿布養生は脱型直後に湿らせたウレタンフォーム発泡体および繊維製不織布などを加工したマットを貼り付け、型枠を再度あてがいが、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。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、あるいは2018年5月中旬から2018年9月中旬まで設置することとした。なお、2017年および2018年における実験環境(気温および湿度)は、Fig.3およびFig.4に示したように、ほぼ同じであった。

2. 3 透気試験および含水率試験

透気試験の様子を Fig.2(a)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、

材齢3~4ヶ月の範囲において、柱部材の各養生面の中央部付近を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。

2. 4 含水率試験

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.2(b)および Fig.2(c)に示す。なお、内部含水率の測定はコンクリート表面から40および80mmの深さとし、透気試験を行った箇所から10mm程度離れた箇所で行った。

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φ100mmの円柱供試体を用い、JIS A 1108に準じて材齢3~4ヶ月の範囲で行った。なお、今回の実験における圧縮強度は、耐久性で重要となるぶり

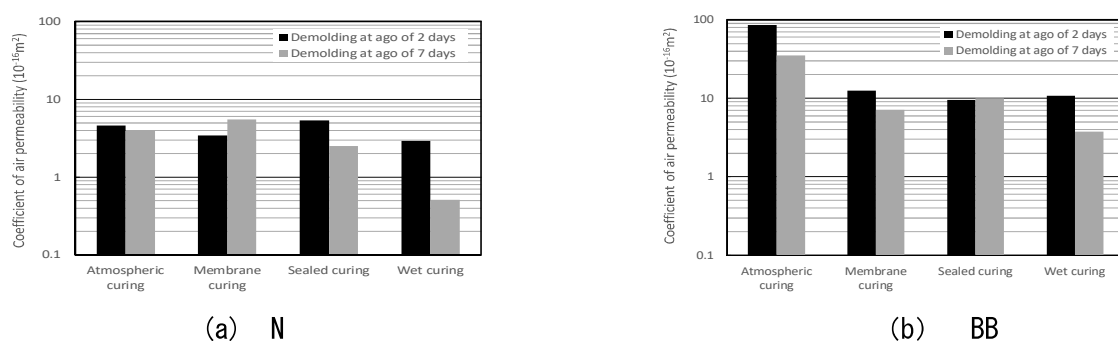


Fig. 5 Effects of curing methods on coefficient of air permeability (Fc27)

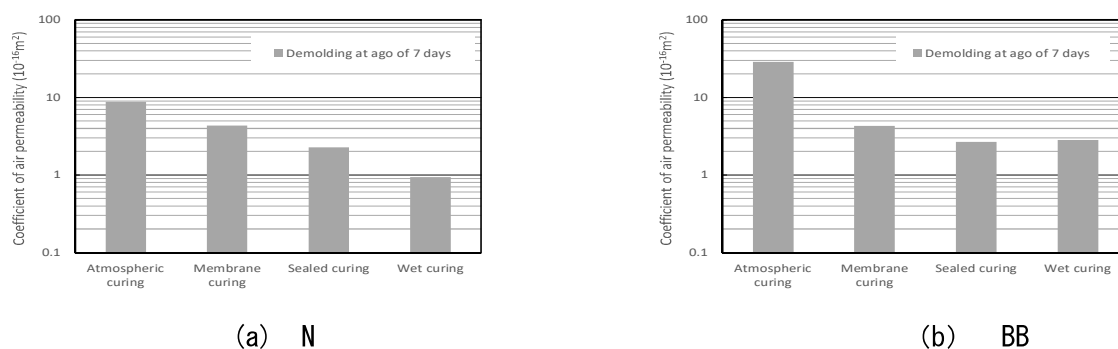


Fig. 6 Effects of curing methods on coefficient of air permeability (Fc36)

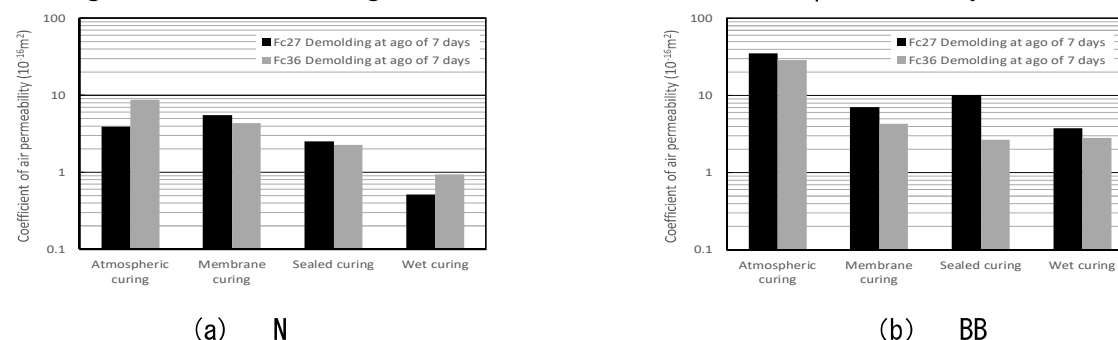


Fig. 7 Effects of mix proportions on coefficient of air permeability

コンクリート部分の圧縮強度を想定している。

2. 6 反発度試験

反発度試験の様子を Fig.2(d)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. 7 超音波試験

超音波試験の様子を Fig.2(e)に示す。超音波試験は、超音波イメージスキャナを用いて S 波(周波数 50kHz)を測定することとし、材齢 3~4 ヶ月において、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、平均値を音速とした。なお、測定箇所は透気試験を行った箇所とした。

3. 実験結果および考察

3. 1 透気係数と養生方法の関係

Fc27におけるNおよびBBの透気係数と養生方法の関係を、それぞれ Fig.5(a)および Fig.5(b)に示す。Nに比べてBBを用いた場合に透気係数は大きくなる傾向にあり、気中養生を行った時に顕著であった。これは、養生終了後は屋内で保管したため、Nに比べてBBの方が乾燥による影響を大きく受けたと考えられる。また、材齢2日に脱型をして気中養生を行ったBBの透気係数は極めて大きく、BBの方がNに比べて脱型時期に敏感であると考えられる¹¹⁾。なお、水がかりのある環境下で実験を行った場合には、同じ呼び強度におけるNとBBの透気係数に差が少ないことは確認し

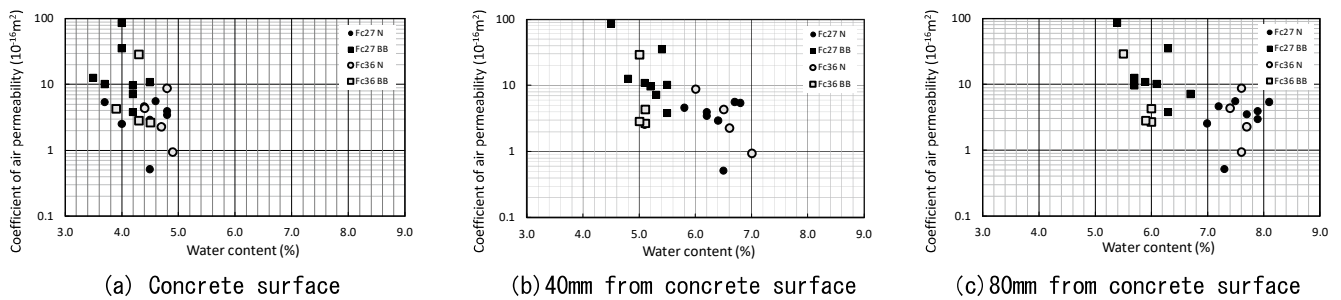


Fig. 8 Relation between coefficient of air permeability and water content

ている¹⁰⁾。

Fc27 の Fig.5 および Fc36 の Fig.6 を合わせて見てみると、N を用いた場合は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、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。

Fc27 および Fc36 の 7 日脱型した場合をまとめると Fig.7 のようになる。N および BB とともにやや Fc36 の方が透気係数が小さくなっているが、圧縮強度よりも養生方法の影響が大きい結果となった。これは、圧縮強度を大きくしてもコンクリート表層部は乾燥の影響を大きく受けるためと考えられ、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が重要である。

3. 2 透気係数と含水率の関係

透気係数と含水率の関係を Fig.8 に示す。(a)はコンクリート表面の含水率を、(b)はコンクリート表面から 40mm の深さの位置における含水率を、(c)は 80mm の深さの位置における含水率を表しており、透気係数はいずれもコンクリート表面で測定した値を用いている。透気係数、表面含水率および内部含水率には、ばらつきが大きいものの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。

3. 3 透気係数と圧縮強度の関係

透気係数と圧縮強度の関係を Fig.9 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透

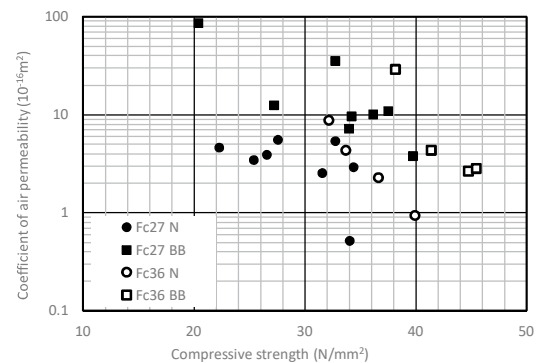


Fig. 9 Relation between coefficient of air permeability and compressive strength

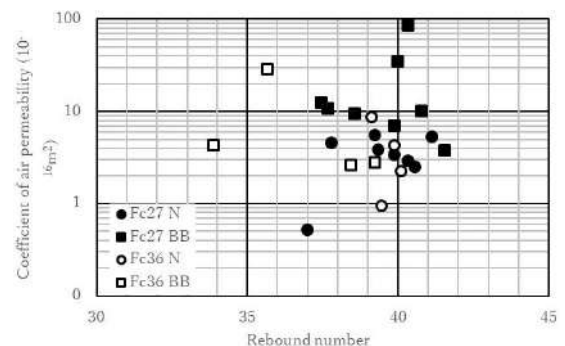


Fig. 10 Relation between coefficient of air permeability and rebound number

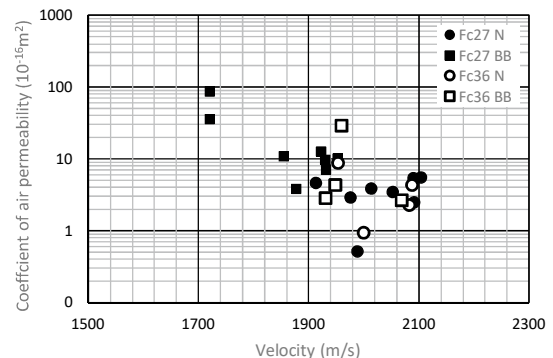


Fig. 11 Relation between coefficient of air permeability and Velocity (Share wave)

気係数が $3 \times 10^{-16} \text{m}^3$ 付近における圧縮強度は、 $22 \sim 46 \text{N/mm}^2$ と 2 倍以上の開きがあり、また 34N/mm^2 付近における透気係数は $0.5 \times 10^{-16} \sim 30 \times 10^{-16}$ と開きが大きく明確な相関性は見受けられなかった。そのため、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. 4 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。セメントの種類や養生方法の違い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。

3. 5 透気係数と音速の関係

透気係数と音速(S 波)の関係を Fig.11 に示す。透気係数と音速の関係は圧縮強度や反発度の関係とは異なり、音速が速いほど、透気係数は小さくなる傾向にあった。これはコンクリート表層部を測定する透気試験のように音速も表層部を測定しており、養生方法の影響が反映しているためだと考えられる。

4. まとめ

- (1) 脱型後に気中養生を行う場合は、N に比べて BB の方が脱型時期の影響を受けた。
- (2) 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湿布養生が、BB の場合は湿布養生に加えて、乾燥を抑制する封かん養生および膜養生が効果的であった。
- (3) コンクリートの透気係数を小さくするためには、圧縮強度を大きくするよりも、養生を的確に行うことが効果的であった。
- (4) 呼び強度、セメントの種類および養生方法が異なると、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。
- (5) ばらつきが大きいものの表面および内部含水率が大きくなるほど透気係数は小さくなる傾向にあった。
- (6) 透気係数とコンクリート表層部の音速の関係には、相関性が見受けられ音速が大きくなるほど、透気係数は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ライスにおける指針一, *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) 齊藤雅仁ほか : コンクリート柱部材の透気性に及ぼす養生方法および使用環境の影響, *セメント・コンクリート論文集*, Vol.72, pp.270-276(2018)
- 11) 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)