

論文 高炉スラグ微粉末を用いたプレキャスト PC 部材用コンクリートの高耐久化に関する検討

水戸 健介*1・北野 勇一*2・秋吉 善忠*3・大谷 俊浩*4

要旨：高炉スラグ微粉末を用いたプレキャスト PC 部材用コンクリートについて、高耐久化を目指して、コンクリートのフレッシュ時の空気量を従来の 4.5%から 6.0%に増加させた場合と高炉スラグの置換率を従来の 50%から 70%に高めた場合の耐久性を検討するため、試験体を製作して強度試験、耐久性試験、細孔径分布の測定を行った。コンクリートの空気量を 6.0%に増加させた場合、凍結融解抵抗性、中性化抵抗性は同程度となったが、塩化物イオン浸透抵抗性は小さくなった。高炉スラグ微粉末の置換率を 70%に高めたコンクリートの場合、中性化抵抗性が低下するものの、電気抵抗率は大きくなり、細孔構造が緻密化する傾向であった。

キーワード：高炉スラグ微粉末、プレキャスト PC 部材、空気量、高置換、耐久性

1. はじめに

近年、プレストレストコンクリート(以下、PC)構造物において、建設時の生産性向上、高耐久化、副産物の有効利用による環境負荷低減の観点から、早強ポルトランドセメント(以下、HPC)の一部に高炉スラグ微粉末(以下、BF)を用いたプレキャスト PC 部材(以下、PCaPC)の活用が注目されている^{1) 2)}。

HPC のみを用いた PCaPC 用コンクリートでは、フレッシュ時の空気量を従来の 4.5%としたものと 6.0%に増加させたものの両方で耐凍害性が高く、空気量を 6.0%とすることで硬化コンクリート中の空気量と気泡間隔係数が改善されたことが報告されている³⁾。一方、BF を用いた PCaPC 用コンクリートでは、空気量の違いが凍結融解抵抗性や中性化抵抗性、塩化物イオン浸透抵抗性に及ぼす影響は必ずしも明確となっていない。

また、BF を用いた PCaPC はセメント質量の 50%までを BF で置換したコンクリートを使用することが現在主流となっているが、今後さらなる CO₂ 削減の観点から、BF の置換率を高めたコンクリートを使用した PCaPC が求められると考えられる。しかし、BF の置換率を高めた場合の強度発現や耐久性は明確となっていない。

そこで本稿では、BF を用いた PCaPC 用コンクリートのフレッシュ時の空気量を従来の 4.5%から 6.0%に増加させた場合と BF の置換率を従来の 50%から 70%に高めた場合を対象に試験体を製作して各種試験を行い、コンクリートの要求性能として求められることが多い強度特性、凍結融解抵抗性、中性化抵抗性、塩化物イオン浸透抵抗性と、考察のため緻密性について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 コンクリート配合

コンクリート配合を表 1 に示す。本実験で用いた BF は、PCaPC に用いる BF として現在主流で使用されている高炉スラグ微粉末 6000(以降、BF6)とした。コンクリート配合は 4 種類であり、すべてプレテンション部材用の配合である。PCaPC に従来使われている、結合材に HPC のみを用いて空気量の目標値を $4.5 \pm 0.5\%$ とした配合(H-4.5)を基準配合とした。BF を用いた配合は、結合材の質量の 50%を BF6 に置換して、空気量の目標値を $4.5 \pm 0.5\%$ (B650-4.5)あるいは $6.0 \pm 0.5\%$ (B650-6.0)とした配合と、結合材の質量の 70%を BF6 に置換して空気量の目標値を $4.5 \pm 0.5\%$ (B670-4.5)とした配合の 3 種類とした。H-4.5, B650-4.5, B650-6.0 は、プレストレス導入時強度 35 N/mm²(材齢 16 時間に設定)と、設計基準強度 50 N/mm²(管理材齢 7 日に設定)を満足するように配合強度(標準偏差を 3 N/mm²に設定)を定めた。各配合で材齢 16 時間のプレストレス導入時の配合強度を基に水結合材比を決定した。B670-4.5 については、B650-4.5 の水結合材比と同一とした。各配合の目標スランプは 18 ± 2.5 cm とした。

2.2 試験体の製作方法

試験体は、室内にて強制二軸ミキサ(公称容量 60 L)を用いてコンクリートを練り混ぜて製作した。試験体の形状および養生方法を表 2 に示す。試験体の形状は、各試験方法に準じて設定した。試験体の養生方法は、PCaPC の製作時の養生を想定して、すべての試験体で蒸気養生を行い、材齢 16 時間以降で脱枠を行って各試験の養生を行った。蒸気養生は、室内でコンクリートを打ち込み、屋外に試験体を移設してシートで覆い、シート内雰囲気

*1 川田建設株式会社 技術本部 技術部 技術開発課 主任 修士(工学) (正会員)

*2 川田建設株式会社 技術本部 技術部 担当部長 博士(工学) (正会員)

*3 大分大学 理工学部 理工学科 建築学プログラム 助教 博士(工学) (正会員)

*4 大分大学 理工学部 理工学科 建築学プログラム 教授 博士(工学) (正会員)

表-1 コンクリート配合

配合	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤 (B×%)		スランブ (cm)	空気量 (%)
		W	B = HPC + BF6		S1	S2	G	SP	AE		
			HPC	BF6							
H-4.5	35.6	165	464 (100%)	—	518	217	988	0.78	8A	19.5	4.5
B650-4.5	33.5	160	239 (50%)	239 (50%)	496	208	1006	0.60	35A	16.5	4.5
B650-6.0	32.0	160	250 (50%)	250 (50%)	467	196	987	0.60	40A	20.0	6.4
B670-4.5	33.5	160	144 (30%)	334 (70%)	494	207	1002	0.60	30A	20.0	4.8

※W: 上水道水(大分県杵築市), B: 結合材, HPC: 早強ポルトランドセメント(密度=3.14 g/cm³, 比表面積=4390 cm²/g), BF6: 高炉スラグ微粉末 6000(密度=2.91 g/cm³, 比表面積=6060 cm²/g, せつこう添加(SO₃量=2.5%)), S1: 細骨材 1(大分県津久見産砕砂: 密度=2.68 g/cm³, 吸水率=1.37%, 石灰岩), S2: 細骨材 2(大分県大分産砕砂: 密度=2.62 g/cm³, 吸水率=1.55%, 硬質砂岩), G: 粗骨材(大分県津久見産砕石: 密度=2.70 g/cm³, 吸水率=0.38%, 粗骨材最大寸法=20 mm, 石灰岩), 化学混和剤: スランブ 18±2.5 cm, 空気量 4.5±0.5%または 6.0±0.5%となるように高性能 AE 減水剤(SP)と空気連行剤(AE, 1A=0.05)の使用量を調整

※単位量の()内の%値は, 全結合材に占める各結合材の割合を表示

※プレストレス導入時強度は材齢 16 時間で 35 N/mm², 設計基準強度は管理材齢 7 日として 50 N/mm²に設定

表-2 試験体の形状および養生方法

対象	試験名	試験体寸法	コンクリート配合				コンクリート打込み後の養生方法
			H-4.5	B650-4.5	B650-6.0	B670-4.5	
強度特性	圧縮強度試験 ヤング係数の測定	φ10×20 cm	○	○	○	○	H-4.5 は蒸気養生後, 気中養生 H-4.5 以外は蒸気養生後, 3 日間の水中養生を行い, その後, 気中養生
	凍結融解試験	□10×10×40 cm	○	○	○	—	蒸気養生後, 材齢 28 日まで水中養生
耐久性	促進中性化試験	□10×10×40 cm	○	○	○	○	蒸気養生後, 材齢 28 日まで水中養生を行い, その後, 材齢 56 日まで気中養生
	塩水浸せき試験	φ10×15 cm	○	○	○	—	蒸気養生後, 28 日間の水中養生を行い, その後, 4 日以上乾燥させた後エポキシ樹脂塗料を塗布し, 1 日間以上水中養生させた後, 塩水浸せき開始
	電気抵抗率試験	φ10×20 cm	○	○	○	○	蒸気養生後, 水中養生
緻密性	細孔径分布の測定	2.5~5.0 mm 角*	○	○	○	○	蒸気養生後, 28 日間の水中養生

※細孔径分布の測定に用いた試験体は, 蒸気養生後, 材齢 28 日まで水中養生を行った圧縮強度試験体の試験後の試験片から採取

温度 25°C 設定の前置き養生を 3 時間以上行った後, 15°C /時間でシート内雰囲気温度の最高温度 45°C 設定まで昇温させ最高温度を 6 時間継続し, その後自然冷却とした。

2.3 強度特性に関する試験

強度特性に関する試験では, 圧縮強度試験, ヤング係数の測定を行った。

圧縮強度試験は, すべての配合を対象に, JIS A 1108 (2018) に準じて材齢 16 時間, 7 日, 28 日に行った。なお, H-4.5 の配合は, 蒸気養生後, 従来の PCaPC の製造時の養生に合わせて気中養生とした。BF を用いた B650-4.5, B650-6.0, B670-4.5 の配合は, BF を用いる場合に蒸気養生の後に追加的に散水養生を行うことなどによって, PCaPC の耐久性を向上できることが報告されている^{例え}から, 蒸気養生後, 3 日間の水中養生を行い, その後気中養生とした。

ヤング係数の測定は, すべての配合を対象に, JIS A 1149 (2017) に準じて材齢 28 日にひずみゲージを試験体の両側面に取り付けて行った。

2.4 耐久性に関する試験

耐久性に関する試験では, 凍結融解抵抗性を検討するために凍結融解試験を, 中性化抵抗性を検討するために促進中性化試験を, 塩化物イオン浸透抵抗性を検討するために塩水浸せき試験, 電気抵抗率試験を行った。なお, 電気抵抗率試験については, 電気抵抗率と塩化物イオン

浸透抵抗性には密接な関係があり^{例え}, 電気抵抗率が大きくなる程, 塩化物イオンの見掛けの拡散係数は小さくなることが知られているため, 加えて実施した。

凍結融解試験は, H-4.5, B650-4.5, B650-6.0 の配合を対象に, JIS A 1148 (2010) の A 法(水中凍結融解試験方法)に準じて行った。凍結融解 300 サイクルの相対動弾性係数を測定した。

促進中性化試験は, すべての配合を対象に, JIS A 1153 (2012) に準じて行った。材齢 56 日に CO₂ 濃度 5.0% の促進中性化槽に試験体を移設し, 4 週, 13 週, 26 週にフェノールフタレイン溶液噴霧法より中性化深さを測定して, 中性化速度係数を算出した。

塩水浸せき試験は, H-4.5, B650-4.5, B650-6.0 の配合を対象に, JSCE-G 572-2018 に準じて 1 年間浸せきを行った。浸せき後, JSCE-G574-2013 に準じて, 電子線マイクロアナライザー(EPMA)による面分析を行った。面分析結果をもとに, 表面から深さ方向における塩化物イオン濃度分布を算出した。表面を基点とし, 深さ 0.1 mm ごとに面分析画像の横方向に並ぶピクセル群の塩化物イオン濃度の平均値を求めた。なお, 平均値の計算は, 骨材のピクセルを除いて行った。

電気抵抗率試験は, すべての配合を対象に, JSCE-G 581-2018 の B 法に準じて行った。4 プローブ法の測定装置(電極間隔 50 mm, 周波数 40 Hz, 測定範囲 10~10 000

表-3 ヤング係数, 相対動弾性係数

コンクリート配合	ヤング係数の測定	凍結融解試験
	ヤング係数 (N/mm ²)	300 サイクル時の相対動弾性係数 (%)
H-4.5	39 600	98
B650-4.5	41 500	98
B650-6.0	38 000	98
B670-4.5	38 060	—

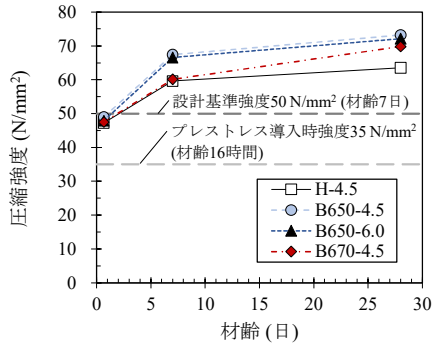


図-1 圧縮強度

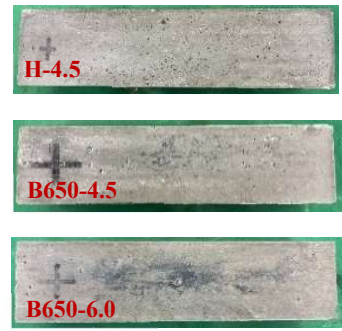


写真-1 凍結融解試験後の試験体の表面の状況

Ωm)を用い、4個の棒状の電極を試験体側面に押し当て、互いに直角をなす4方向から測定し平均値を測定値とした。H-4.5, B650-4.5, B650-6.0の配合は材齢3日, 7日, 14日, 28日, 91日および1年に測定し, B670-4.5の配合は材齢28日および1年に測定した。4プローブ法では、電気抵抗率の測定値は試験体の形状・寸法や電極の配置間隔の影響を受けるため⁹⁾, JSCE-G 581に例示されているセル定数を用いて測定値を換算し、換算後の値を電気抵抗率の値とした。また、コンクリートの電気抵抗率には温度依存性があるため⁷⁾, 試験体温度が20±2℃となるように留意して測定した。

2.5 緻密性に関する試験

緻密性に関する試験では、細孔径分布の測定を行った。圧縮強度試験後の試験体のモルタル部から採取した2.5~5.0 mmの試験片をアセトンに24時間浸漬した後、デシケータ内で3日間真空乾燥させたものを用い、水銀圧入法によって硬化体の細孔容積の分布を測定した。

3. 実験結果

3.1 強度特性に関する試験の結果

(1) 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を図-1に示す。材齢16時間の圧縮強度は、すべての配合でプレストレス導入時強度35 N/mm²を満足し、同程度であった。配合強度を決定する際の水結合材比は、事前に行った試験練りの結果に基づきプレストレス導入時強度より定めたため、その再現性が確認された。また、材齢7日の圧縮強度は、すべての配合で設計基準強度50 N/mm²を満足した。結合材の異なるH-4.5とB650-4.5, B650-6.0を比較すると、BFを50%置換した配合で大きくなった。これは、水結合材比を小さくしたことにより、基準配合よりも強度が増進したためと考えられる。BFの置換率が異なるB650-4.5とB670-4.5を比較すると、材齢1日では圧縮強度が同程度となった。BFの反応速度には温度依存性⁸⁾があり、蒸気養生によって、初期材齢で同等の強度発現性となる可能性があるため、今後検討する必要がある。材齢7日では

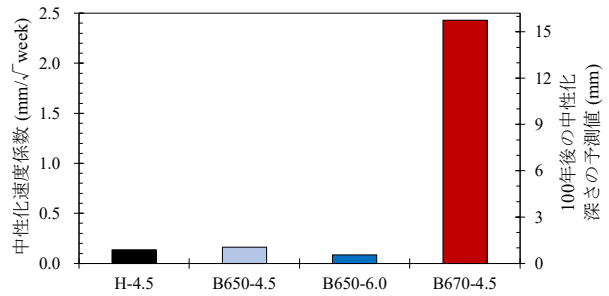


図-2 中性化速度係数

置換率を高めたB670-4.5で圧縮強度が小さくなった。これは、B650-4.5とB670-4.5の水結合材比を同一としたためであると考えられる。すなわち、BF6の強度発現性がHPCよりも小さいためと考えられる。しかしながら、材齢28日においてはB650-4.5と同程度の強度を示した。

(2) ヤング係数

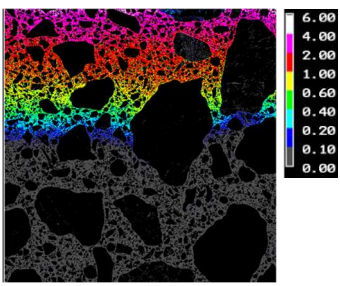
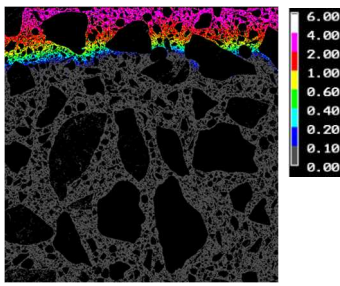
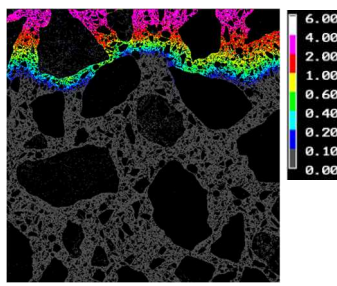
ヤング係数の測定結果を表-3に示す。ヤング係数は38 000~41 500 N/mm²の範囲にあり、近い値であった。道路橋示方書⁹⁾では、コンクリート部材の設計計算に用いるヤング係数の設計値は、設計基準強度50 N/mm²の場合、3.30×10⁴ N/mm²としているが、すべての配合で設計値以上となった。

3.2 耐久性に関する試験の結果

(1) 凍結融解抵抗性

凍結融解試験により得られた相対動弾性係数の結果を表-3に示す。凍結融解試験を実施したH-4.5, B650-4.5, B670-4.5の3配合で300サイクル時の相対動弾性係数は98%以上となった。耐凍害性を向上させる目的で、BFを50%置換した配合でフレッシュ時の空気量を通常の4.5%から6.0%に増加させたが、PCaPC用のコンクリートであれば、通常の空気量4.5%で十分な凍結融解抵抗性が得られると考えられる。写真-1に凍結融解後の試験体の表面の状況を示したが、目視で劣化の状況を観察したところ、表面層の劣化やひび割れは見られなかった。このことから、凍結融解による試験体の損傷がほとんどなく、健全な状態であったと考えられる。なお、BFを

表-4 塩水浸せき試験後の EPMA の結果

配合	H-4.5	B650-4.5	B650-6.0
分析結果 塩化物イオン濃度 (質量%)			
塩化物イオン浸透深さ	32 mm 程度	14 mm 程度	18 mm 程度
見掛けの拡散係数	$3.46 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$0.65 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$0.80 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

50%置換した PCaPC 用のコンクリート配合において十分な凍結融解抵抗性が得られた一因として、筆者らは、HPC のみを用いた配合よりもフレッシュ時の空気量を確保するために空気連行剤の使用量が多くなるため微細な気泡径の空気量が多くなり気泡間隔係数が大幅に小さくなったためと考えている¹⁰⁾。

(2) 中性化抵抗性

促進中性化試験の結果を図-2 に示す。図中にはすべての配合を対象とした促進中性化試験で得られた中性化深さより算出した中性化速度係数を示した。同図には、屋外環境における 100 年後の中性化深さの推定値を併記した。式(1)¹¹⁾により、屋外環境における 100 年後の中性化深さの推定値を算出した。

$$C = A_{ACT} \cdot \sqrt{CO_2 / CO_{2ACT}} \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

ここに、 C ：屋外環境における 100 年後の中性化深さの推定値(mm)， A_{ACT} ：促進中性化試験の中性化速度係数(mm/ $\sqrt{\text{week}}$)， CO_2 ：屋外環境の二酸化炭素濃度(=0.05%)， CO_{2ACT} ：促進中性化試験の二酸化炭素濃度(=5%)， t ：材齢(week)である。

結合材の異なる H-4.5 と B650-4.5，B650-6.0 を比較すると、BF を 50%置換した配合で中性化はほとんど進行しておらず、中性化速度係数は基準配合の H-4.5 と同程度であった。また、空気量の異なる B650-4.5 と B650-6.0 では、中性化速度係数が同程度であった。この要因として、BF を 50%置換した配合のフレッシュ時の空気量を増加させた場合は、目標の圧縮強度を満たすために水結合材比を小さくしたため中性化速度係数が通常の空気量の配合と同程度となったと考えられる。屋外環境における 100 年後の中性化深さの推定値は 1mm 程度であったため、中性化抵抗性について十分な耐久性を有していると考えられる。

一方、BF を 70%置換した B670-4.5 では、中性化速度

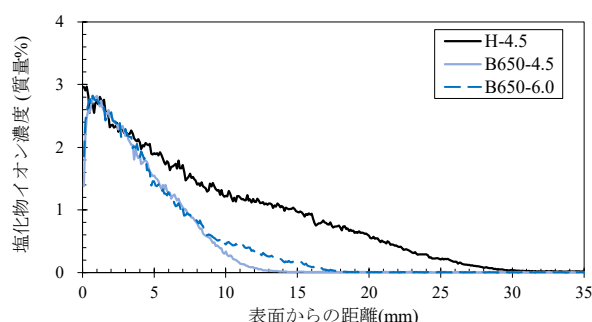


図-3 塩化物イオン濃度分布

係数は $2.2 \text{ mm}/\sqrt{\text{week}}$ 、100 年後の中性化深さの推定値は 15.7 mm となり、同 50%置換の配合よりも 15 倍以上大きくなった。この原因は、BF を 70%置換したことにより、セメント量が減り、コンクリート中のアルカリ濃度が低下したため¹²⁾と考えられる。道路橋示方書⁹⁾では、最小かぶりを工場で製作されるプレキャスト PC 部材(桁部材)で 25 mm 以上とすることが示されているが、BF を 70%置換させたコンクリートを用いた PCaPC では、従来の HPC のみを用いたコンクリートと同等の中性化深さの進行期間を確保するために、かぶり厚さを 5mm 増やして 30mm としなければならない可能性がある。

(3) 塩化物イオン浸透抵抗性

塩水浸せき試験後の EPMA の結果を表-4 に示す。EPMA の分析結果の画像右側にあるカラーバーは、表示された色と塩化物イオン濃度(質量%)の範囲の関係をそれぞれ示している。同表には塩化物イオン浸透深さと塩化物イオンの見掛けの拡散係数の値をそれぞれ示した。ここで、EPMA の塩化物イオン濃度の分析結果より図-3 に示す塩化物イオン濃度分布を作成し、塩化物イオン浸透深さと塩化物イオンの見掛けの拡散係数をそれぞれ求めた。

塩化物イオン浸透深さについて、H-4.5 で 32 mm 程度、B650-4.5 で 14 mm 程度、B650-6.0 で 18 mm 程度であり、BF を使用したことにより塩化物イオン浸透深さがおお

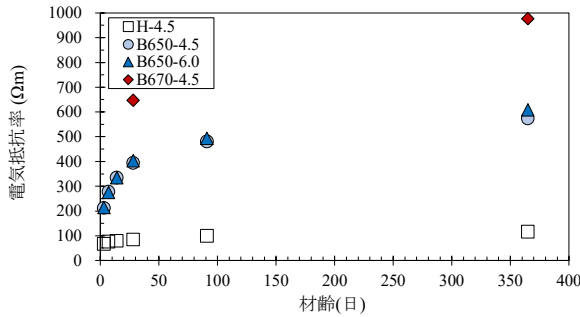


図-4 電気抵抗率

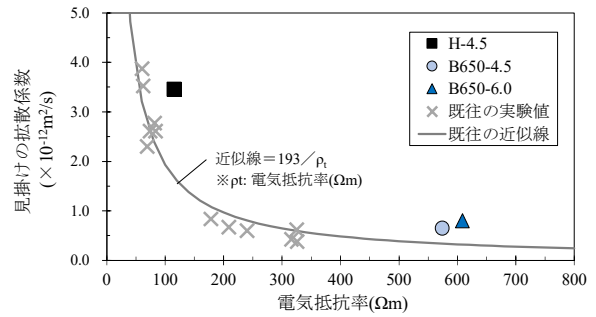
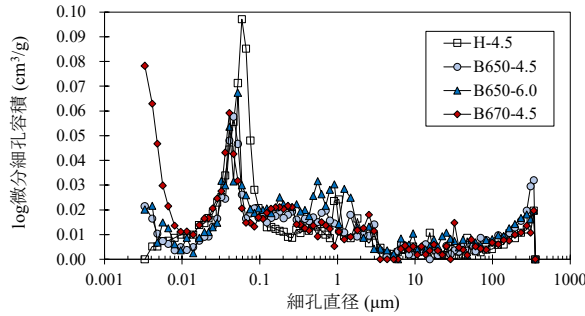
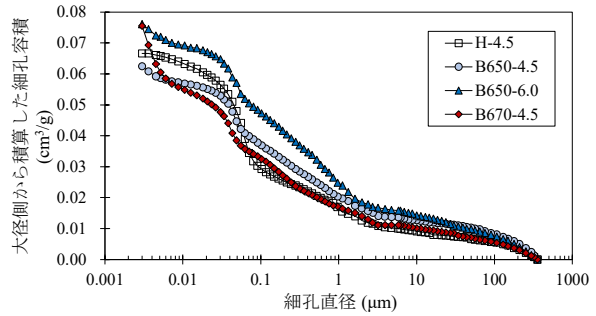


図-5 見掛けの拡散係数と電気抵抗率



(A) 細孔容積



(B) 大径側から積算した細孔容積

図-6 細孔径分布

むね半減した。空気量の異なる B650-4.5 と B650-6.0 を比較すると、空気量を増加させた B650-6.0 で 1.3 倍程度大きくなった。

塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、塩化物イオン濃度分布のデータを最小二乗法で式(2)にフィッティングして算出した。

$$C(x, t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) \right\} + C_i \quad (2)$$

ここに、 $C(x, t)$: 距離 x と試験期間 t の塩化物イオン濃度(質量%), x : コンクリート表面からの距離(m), t : 試験期間(s), C_0 : コンクリート表面の塩化物イオン濃度(質量%), C_i : 初期含有塩化物イオン濃度(質量%), D_{ap} : 見掛けの拡散係数(m²/s), erf: 誤差関数である。

結合材の異なる H-4.5 と B650-4.5, B650-6.0 を比較すると、BF を 50%置換した配合でおおよそ表面からの距離 3 mm 以深の塩化物イオン濃度が小さくなり、類似した塩化物イオン濃度分布であった。塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、H-4.5 に対する B650-4.5, B650-6.0 の比率はおおよそ 0.19, 0.23 であり、基準配合である H-4.5 の 5 分の 1 程度まで小さくなった。空気量の異なる B650-4.5 と B650-6.0 を比較すると、空気量を増加させた B650-6.0 で 1.2 倍程度大きくなった。

以上のように、BF を 50%置換したコンクリートについて空気量を従来の 4.5 から 6.0%に増加させることで塩化物イオン浸透深さおよび見掛けの拡散が大きくなったが、これは細孔径で後述するように、空気量を増加させたことにより、コンクリート中の空隙量が増加し、塩化

物イオンが浸透しやすくなったため¹³⁾と考えられる。

また、BF を 70%置換した場合の塩水浸せき試験は、本実験では実施しなかったため、今後の課題とする。

(4) 電気抵抗率

電気抵抗率試験の結果を図-4 に示す。結合材の異なる H-4.5 と B650-4.5, B650-6.0 を比較すると、基準配合である H-4.5 では材齢 3 日で 70 Ωm 程度、材齢 28 日で 85 Ωm 程度、材齢 1 年で 115 Ωm 程度であったのに対して、BF を 50%置換した B650-4.5, B650-6.0 では、材齢 3 日で 200 Ωm 程度、材齢 28 日で 400 Ωm 程度、材齢 1 年で 600 Ωm 程度となり、各材齢で H-4.5 よりも 3~5 倍程度大きくなった。空気量の異なる B650-4.5 と B650-6.0 を比較すると、電気抵抗率の差異は見られなかった。また、BF を 70%置換した B670-4.5 では、材齢 28 日で 650 Ωm 程度、材齢 1 年で 980 Ωm 程度であり、各材齢で同 50%置換の配合よりも 1.5 倍程大きくなった。したがって、BF を 70%置換した場合は、同 50%置換の従来のコンクリートよりも塩化物イオン浸透抵抗性が向上する可能性があるため、今後の検討が必要である。

塩化物イオンの見掛けの拡散係数と電気抵抗率の関係を図-5 に示す。同図には既往の研究報告書²⁾に示されている PCaPC 用コンクリートで HPC のみを用いた配合と BF を 50%置換した配合を対象とした見掛けの拡散係数と電気抵抗率の関係の実験値および近似線を併記した。H-4.5 と B650-4.5, B650-6.0 は既往の実験式に近似した。

(5) 細孔径

細孔径分布の測定結果を図-6 に示す。結合材の異なる

る H-4.5 と B650-4.5, B650-6.0, B670-4.5 を比較すると, BF を用いた配合で細孔直径 0.05~0.1 μm の細孔容積が少なくなった。これは著者が既報¹⁴⁾で BF を用いた PCaPC 用コンクリートの細孔構造を検討した際の結果と傾向が一致している。BF の使用は塩化物イオン浸透抵抗性の向上に効果的であったが, この一因として BF の水和反応が硬化体の細孔構造の緻密化に寄与したためと考えられる。また, BF の置換率の異なる B650-4.5 と B670-4.5 を比較すると, 置換率を高めた B670-4.5 で同範囲の細孔容積が少なくなった。BF を 70%置換した場合, 細孔構造がより緻密になる傾向が見られ, 塩化物イオン浸透抵抗性がさらに向上する可能性があるため, 今後の検討が必要である。空気量を増加させた B650-6.0 は, 0.1~2 μm の比較的大きな径の細孔量が他の配合に比べ増加しているが, これも既報¹³⁾と同様の傾向であった。

4. まとめ

本稿では, 高炉スラグ微粉末を用いたプレキャスト PC 部材用コンクリートの高耐久化を目指して, 空気量を増加させた場合と高炉スラグの置換率を高めた場合の耐久性を検討するため, 強度試験, 耐久性試験, 細孔径分布の測定を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- (1) フレッシュ時の空気量を従来の 4.5%から 6.0%に増加させた場合, 強度特性では配合強度を決定する際の水結合材比をプレストレス導入時強度より定めると, 圧縮強度, ヤング係数は同程度となった。耐久性では凍結融解抵抗性, 中性化抵抗性は同程度となったが, 塩化物イオン浸透抵抗性は小さくなった。電気抵抗率は同程度となったが, 細孔構造は 0.1~2 μm の比較的大きな径の細孔量が多くなった。
- (2) 高炉スラグ微粉末の置換率を従来の 50%から 70%に高めたコンクリートの場合, 強度特性では水結合材比を同一とすると材齢 7 日の圧縮強度が小さくなったが, 材齢 28 日では同程度になった。またヤング係数は同程度となった。耐久性では中性化抵抗性が低下するものの, 電気抵抗率は大きくなり, 細孔構造が緻密化する傾向であった。

参考文献

- 1) 土木研究所, プレストレスト・コンクリート建設業協会: 低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(II)―混和材を用いたプレストレスコンクリート橋の設計・施工マニュアル(案)一, 2016.
- 2) 土木研究所, プレストレスト・コンクリート建設業協会: 新設プレストレスコンクリート橋の品質・信頼性向上方法の構築に関する共同研究報告書―プレキャスト PC 部材の高耐久化に向けた混和材を用いたコンクリートの設計・製造マニュアル(案)一, 2022.
- 3) 北野勇一, 池田正行, 岩城一郎, 阿波稔: プレキャスト PC 桁における空気量と耐凍害性に関する調査, 第 23 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.627-632, 2014.
- 4) 本莊清司, 田中寛規, 桐川潔, 宮川豊章: プレキャスト PC 床版の耐久性向上のための一考察, 第 22 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.207-210, 2013.
- 5) 中村英佑, 水戸健介, 古賀裕久: 高炉スラグやフライアッシュを用いたコンクリートの遮塩性能の迅速評価手法, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.219-224, 2018.
- 6) 皆川浩, 駒井道哉, 藤田亮, 宮本慎太郎, 久田真: 4 プローブ法をコンクリート供試体に適用した時のセル定数の数値解析による算定とその検証, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文集報告集, Vol.17, pp.447-452, 2017.
- 7) 中村英佑, 水戸健介, 鈴木雅博, 古賀裕久: 高炉スラグやフライアッシュを用いたコンクリートの電気抵抗率の温度依存性, コンクリート年次論文集, Vol.41, No.1, pp.215-220, 2019.
- 8) 佐川孝広, 名和豊春: リーベルト法による高炉セメントの水和反応解析, コンクリート工学論文集, 第 17 巻第 3 号, 2006.
- 9) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編, 2017.
- 10) 水戸健介, 堀池一男, 秋吉善忠, 大谷俊浩: 高炉スラグ微粉末を用いたプレキャスト PC 部材の耐凍害性に与える空気量の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.411-412, 2023.
- 11) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説, 2016.
- 12) 小林一輔, 宇野裕一: コンクリートの炭酸化に関する研究, コンクリート工学年次論文集報告集, 11-1, pp.557-562, 1989.
- 13) 中上明久, 久道雄一, 湊信之, 上原伸郎: 蒸気養生コンクリートの空気量が耐久性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, 2017.
- 14) 水戸健介, 中村英佑, 鈴木雅博, 古賀裕久: 高炉スラグやフライアッシュを用いたプレキャスト PC 部材用コンクリートの強度発現と耐久性に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.227-232, 2019.