

# 論文 加熱改質フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの中性化抵抗性に関する研究

秋吉 善忠\*1・大谷 俊浩\*2・佐藤 嘉昭\*3・野田 佳彦\*4

**要旨:** 加熱改質フライアッシュ (MFA) および高炉スラグ微粉末 (BFS) を用いたコンクリートの中性化抵抗性を明らかにすることを目的として、促進中性化環境で定期的に吸水させた供試体を用いて、中性化試験、透気および表面吸水試験を行った。その結果、中性化速度係数は 28 日強度が同等の場合、MFA を用いた場合にプレーンコンクリートと同等となること、BFS を用いた場合には強度が 40~45N/mm<sup>2</sup> 程度以上の範囲で同等となることがわかった。また、混和材を用いたコンクリートの促進中性化期間 26 週における吸水速度係数はプレーンコンクリートとおおよそ同等になることがわかった。

**キーワード:** フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末, 中性化, 表面吸水試験, 透気試験, 圧縮強度

## 1. はじめに

フライアッシュ (FA) および高炉スラグ微粉末 (BFS) を用いたコンクリートの中性化抵抗性は、促進中性化試験ではプレーンコンクリートに比べて劣ると考えられている。しかしながら、実環境においては 28 日強度をプレーンコンクリートと同等とすれば中性化抵抗性は遜色ないことを示す報告もあり<sup>1,2)</sup>、統一的な見解は得られていない。これは、促進中性化試験と実環境における暴露試験でコンクリートの養生期間や暴露条件が異なること等が影響しているためであると考えられる。従来の促進中性化試験においては混和材の水和反応が十分に進行していない状況で促進試験が開始され、また常に乾燥状況下で試験が行われるため、混和材の中性化抵抗性が適切に評価されず、特に FA では中性化抵抗性に対する貢献度は無に等しく、水セメント比による影響が支配的であるとする報告が大半を占める<sup>例えば 3)</sup>。

その一方で、水分が供給される環境、例えば雨がかりのある屋外などにおいては、長期的にポズラン反応が継続しコンクリート組織が緻密になることで中性化抵抗性が高まる効果が期待される。佐伯・長瀧らは、降雨による影響を考慮するため、定期的に水分を供給する散水促進中性化試験を行っており、FA の中性化抵抗性に対する貢献度は、屋外自然暴露試験と促進中性化試験でほぼ同じとなることを実験的に明らかにしている<sup>4)</sup>。

また、鉄筋コンクリート構造物の中性化に対する耐久性の照査を行うにあたっては、コンクリートの中性化抵抗性や透気性、鉄筋の腐食に影響する吸水性を適切に評価する必要がある<sup>5,6)</sup>。

以上の背景から、本研究では、促進中性化試験中の定

期的な吸水が FA および BFS を用いたコンクリートの中性化抵抗性、透気性および吸水性に及ぼす影響を評価することを目的として、水セメント比 (以下、W/C) の異なる数種類のコンクリートを用いて各種試験を行った。

## 2. 実験

### 2.1 使用材料

表-1 に使用材料を、表-2 に混和材の物性を示す。セメントは普通ポルトランドセメントを、FA は JIS A 6201 の II 種に適合する加熱改質 FA (Modified Fly Ash, 以下 MFA)<sup>7)</sup> を 2 種類使用した。この 2 種類は原粉と製造工場が異なり、物性の違いについて例えば MFA1 は MFA2 に比べて密度および比表面積が大きくなっている。高炉スラグ微粉末はプレーン値の異なる 2 種類を使用した。

表-1 使用材料

項目	記号	種類および物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	山砂 表乾密度:2.63g/cm <sup>3</sup> , 実積率:60.6%, 粗粒率:2.43%
粗骨材	G	硬質砂岩碎石 表乾密度:2.63g/cm <sup>3</sup> , 実積率:58.9%, 粗粒率:6.81%
混和材	AD	表 2 を参照
水	W	水道水
混和剤	Ad	AE 減水剤 (高機能タイプ)
助剤	AE	空気量調整剤

表-2 混和材の物性

種類	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	強熱減量 (%)	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	活性度指数 (%)			備考
				7 日	28 日	91 日	
MFA1	2.32	0.72	4068	-	88	96	-
MFA2	2.05	0.36	2873	-	80	90	-
BFS4000	2.91	-	4040	67	100	-	石膏
BFS6000	2.91	-	5860	80	113	-	無添加

\*1 大分大学 理工学部創生工学科建築学コース助教 博士(工学) (正会員)

\*2 大分大学 理工学部創生工学科建築学コース教授 博士(工学) (正会員)

\*3 大分大学 名誉教授 工博 (フェロー会員)

\*4 大分大学 大学院工学研究科博士前期課程工学専攻

表-3 調査

シリーズ	No.	記号	混和材種類	混和材置換率(%)	W/C (%)	W/B (%)	W/C' (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					Ad (B*%)	AE (A*)	スランプ(cm)	空気量(%)	γ (kg/L)
									W	C	AD	S	G					
1	1	40-PL	-	0	40.0	40.0	40.0	44.6	180	450	0	742	921	0.70	1.50	18.6	4.2	2.33
	2	40-BFS6-50	BFS6000	50	80.0	40.0	40.0	44.7	176	220	220	745	921	0.70	2.50	15.7	4.8	2.31
	3	50-PL	-	0	50.0	50.0	50.0	47.0	180	360	0	817	921	0.70	1.00	19.3	4.2	2.32
	4	50-BFS6-25	BFS6000	25	66.7	50.0	50.0	47.2	177	266	89	824	921	0.70	1.50	19.3	4.2	2.31
	5	50-BFS4-50	BFS4000	50	100.0	50.0	50.0	47.4	174	174	174	830	921	0.70	2.50	18.1	5.4	2.29
	6	50-BFS6-50	BFS6000	50	100.0	50.0	50.0	47.4	174	174	174	830	921	0.70	2.00	18.9	4.8	2.29
	7	60-PL	-	0	60.0	60.0	60.0	48.5	180	300	0	867	921	0.70	1.00	18.6	4.5	2.30
	8	60-BFS6-50	BFS6000	50	120.0	60.0	60.0	49.1	172	143	143	889	921	0.70	2.00	17.1	4.6	2.29
	9	70-PL	-	0	70.0	70.0	70.0	49.5	180	257	0	903	921	0.70	1.50	10.5	4.4	2.29
2	10	50-PL2	-	0	50.0	50.0	50.0	47.0	180	360	0	817	921	0.70	1.00	17.5	4.5	2.30
	11	40-FA1-20	MFA1	20	43.0	34.4	40.0	41.4	180	419	105	650	921	1.00	2.50	20.5	4.2	2.31
	12	50-FA1-10	MFA1	10	51.6	46.4	50.0	46.6	175	339	38	805	921	0.70	1.00	18.8	4.7	2.30
	13	50-FA1-20	MFA1	20	53.8	43.0	50.0	46.0	171	318	80	786	921	0.70	1.50	18.8	4.5	2.29
	14	50-FA2-20	MFA2	20	53.7	43.0	50.0	44.2	180	335	84	731	921	0.80	1.50	18.9	4.6	2.28
	15	50-FA1-30	MFA1	30	56.4	39.5	50.0	44.2	173	307	131	731	921	0.70	2.00	18.9	4.7	2.29
	16	60-FA1-20	MFA1	20	64.6	51.7	60.0	48.2	168	260	65	858	921	0.70	1.00	19.0	4.9	2.29

B: 結合材 (C+MFA+BFS), C' = C+k×FA, \*1A:B=0.002%, γ: 単位容積質量,

表-4 硬化コンクリートの試験項目および条件

試験項目	試験方法	供試体寸法 (mm)	供試体数*1	養生方法	促進試験環境	定期吸水*2	試験期間*3
圧縮強度	JIS A 1108	φ100×200	各3	20°C水中	-	-	材齢 7, 28, 91 日
促進中性化	JIS A 1153	100×100×300	各2	材齢 4 週まで 20°C水中 その後材齢 8 週まで 20°C・60%R. H.	20°C	無	1, 4, 12, 26 週
透気試験	トレント法 <sup>14)</sup>	200×200×60	各2		・60%R. H.	有	4, 12, 26 週 <sup>*4</sup>
表面吸水試験	白川ら <sup>12)</sup>			・CO <sub>2</sub> 5%	有	0, 4, 12, 26 週 <sup>*5</sup>	

\*1 透気および表面吸水試験はそれぞれ同じ供試体を使用して測定 \*2 1 週間に 1 回 24 時間水に浸せき (図-1 および図-2 参照)

\*3 圧縮強度については試験材齢 \*4 定期吸水では促進期間 1 週における測定は行っていない \*5 促進試験開始前にも試験を実施

## 2.2 調査

表-3 に調査を示す。混和材無混和のプレーンコンクリートの単位水量は 180kg/m<sup>3</sup> とし、W/C を 40%, 50%, 60%, 70% の 4 水準とした。混和材を用いたコンクリートでは、W/C が 40%, 50%, 60% のプレーンコンクリートと強度が同等となるように W/C を調整した。すなわち、強度寄与率 k<sup>8,9)</sup> を考慮した見かけの W/C (以下、W/C') をプレーンコンクリートの W/C と同値に設定した。W/C' は次式で表せる。

$$\frac{W}{C'} = \frac{W}{C + k \cdot AD} \quad (1)$$

ここに、W は単位水量 (kg/m<sup>3</sup>)、C は単位セメント量 (kg/m<sup>3</sup>)、AD は混和材の単位量 (kg/m<sup>3</sup>) である。

k 値は調査や環境条件、材齢等によって異なるものであるが、本研究では調査設計を行うにあたって必要となる材齢 28 日強度が同等となるよう k 値を設定した。MFA の k 値は既往データ<sup>10)</sup>を参考に 0.3 にした。BFS6000 では、予備実験の結果から 1.0 とし、BFS4000 については、BFS6000 と比較を行うため、同様に 1.0 とした。つまり、BFS についてはセメントに対する内割混合となる。

混和材置換率は結合材に対する質量比とし、MFA 置換率は 0%, 10%, 20% および 30% の 4 水準、BFS 置換率は 0%, 25%, 50% の 3 水準とした。単位粗骨材量は一定とした。目標スランプは 18±2.5cm、目標空気量は 4.5±1.0% とし、所要の性状が得られるよう単位水量、混和剤

添加率および AE 剤により調整した。

## 2.3 練混ぜおよび供試体作製方法

コンクリートの練混ぜは容量 100L の強制 2 軸ミキサを用いて行った。1 バッチ 45L とし、各調査 2 バッチ練混ぜた。材料は、細骨材 (半分)、セメント、混和材、細骨材 (半分)、粗骨材の順にミキサに投入し、空練りを 20 秒行った。その後、水および混和剤を投入し、1 分 30 秒練混ぜ排出した。

作製したコンクリート供試体は、圧縮強度試験用では φ100×200mm の円柱、中性化試験用では 100×100×300mm の角柱、透気および表面吸水試験用では 200×200×60mm の平板とした。コンクリートは打設後、脱型まで湿布養生を行った。脱型は材齢 1 日で行い所定の材齢まで標準養生を行った。中性化、透気および表面吸水試験用の供試体は、材齢 4 週から 8 週まで 20°C、60R.H. の恒温恒湿室で気中養生を行い、促進試験を開始した。また促進試験開始前に、角柱供試体は打設面、底面 (100×300mm) および両端面 (100×100mm) を、平板供試体は 200×200mm の面を除く 4 面をアルミニウム箔テープでシールした。

## 2.4 試験項目および促進環境条件

フレッシュコンクリートについて、スランプ試験 (JIS A 1101)、空気量試験 (JIS A 1128) および単位容積質量試験 (JIS A 1116) を行った。

硬化コンクリートの試験項目および条件を表-4 に示

す。圧縮強度試験，促進中性化試験，透気試験および表面吸水試験<sup>11,12)</sup>を行った。促進中性化試験の環境条件はJIS A 1153 (2012) の条件（以下，JIS 法），および促進中性化試験の期間中に定期的に吸水させる条件（以下，定期吸水）の2種類とした。透気および表面吸水試験は後者の条件に曝した供試体を用いて行った。

定期吸水条件の試験フローを図-1 に，定期吸水用供試体の浸せき状況を図-2 に示す。水への浸せきは，JSCE-G 582-2018 (短期の水掛かりを受けるコンクリート中の水分浸透速度係数試験方法) を参考にし，各供試体の吸水面を下にし，供試体下部が1cm 水に浸るようにした。吸水面は毎回同じ面とし，中性化試験用供試体では側面(100×300mm)の一方，透気および表面吸水試験用供試体では底面(200×200mm)とした。

定期吸水の吸水時間とその頻度は，定期吸水に伴う試験装置の開放回数の増加による影響，供試体移動の労力等を考慮しつつ，佐伯ら<sup>4)</sup>の散水促進中性化試験(1日に3時間散水)を参考に，1週間に1回の頻度で24時間とした。定期吸水は促進中性化試験開始後，促進期間8日目から開始した。1サイクルは1週間とし，恒温恒湿室(20℃，60%R.H.)で定期吸水を24時間行った後，供試体を促進試験装置(20℃，60%R.H.，CO<sub>2</sub>濃度5%)に戻し促進試験を6日間行った。このサイクルを29サイクル行った。定期吸水の期間は促進期間には含めず，この29サイクル終了時に促進期間は181日間(約26週間)となる。なお，W/Cが45~65%のコンクリートを用いた予備実験において，上記サイクルで定期吸水を行った供試体の26サイクル時の含水率は，定期吸水前で3.5~4.8%，定期吸水後で4.8~6.2であり1~1.5%の差である。

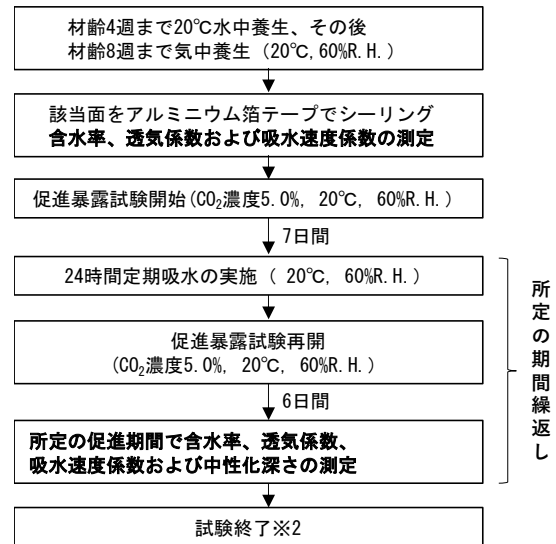
## 2.5 試験方法

中性化深さの測定は，表-4 に示す所定の期間で行い，端部から約50mmの間隔で割裂した供試体の切断面にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧して中性化深さを測定した。定期吸水用供試体の測定面は，定期吸水を行った側面とし，その面の各5点について中性化深さを測定した。JIS法で行った供試体については，両側面の各10点について測定した。

透気および表面吸水試験の測定面は底面(200×200mm)とした。コンクリートの含水率が透気試験の結果に与える影響を小さくするため<sup>13)</sup>，図-1 に示す通り，促進試験装置内で6日経過したときに試験を行った。また，透気および表面吸水試験の実施前に高周波容量式水分計を用いて測定面の含水率を測定した。

透気試験は表面透気試験トレント法<sup>14)</sup>に基づいた表面透気試験装置を用いて行った。表面吸水試験および吸水速度係数の算出は，白川ら<sup>12)</sup>の方法に従って行った。

写真-1 に試験状況を示す。表面吸水試験で用いるチャ



※1 定期吸水期間は促進期間に含めない。  
 ※2 促進期間26週の各試験の実施をもって終了

図-1 定期吸水条件の試験フロー

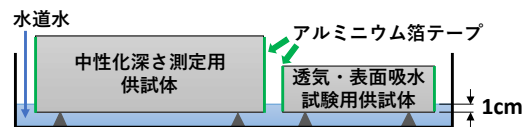


図-2 定期吸水用供試体の浸せき状況



写真-1 表面吸水試験状況

ンバーは3層となっており，最外層のチャンバーを吸引ポンプにより負圧にすることでカップを供試体に取り付け，中間層と中心層のチャンバーおよび吸水パイプ(長さ300mm)に水を給水し，この吸水パイプの水位の変化から吸水量を測定した。測定開始時の吸水高さは290mmとした。試験方法の詳細は文献<sup>12)</sup>を参照されたい。吸水速度係数は吸水試験時間3分~10分間のデータを用い，吸水量と吸水時間の関係に対して式(2)で近似し，比例定数である吸水速度係数Sを求めた。

$$V = S\sqrt{t + V_0} \quad (2)$$

ここに，Vは吸水量(mm<sup>3</sup>/mm<sup>2</sup>)，Sは吸水速度係数(mm/sec<sup>0.5</sup>)，tは吸水時間(sec)，V<sub>0</sub>は初期吸水量(mm<sup>3</sup>/mm<sup>2</sup>)である。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 フレッシュ性状

表-3 にフレッシュ性状の試験結果を示している。70-

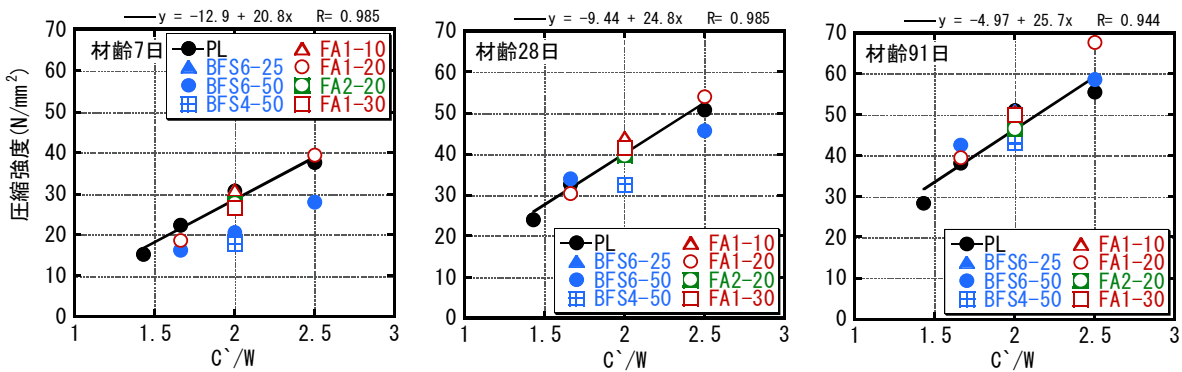


図-3 圧縮強度と C' /W の関係

PL を除き、単位水量および混和剤添加率を調整することで所要のスランブおよび空気量が得られた。空気量については、W/C'が同じ各 PL と AE 剤量を同量にするか、あるいは 0.5~1.5A ほど AE 剤量を増加することで目標値を満足した。

### 3.2 圧縮強度

図-3 に C'/W と圧縮強度の関係を材齢ごとに示す。なお、ここでの C'/W は、プレーンコンクリートでは C/W、BFS を用いたコンクリートでは k 値を 1.0 に設定しているため、B/W と同じ値となる。図より、C'/W の増加に伴い圧縮強度は直線的に増加する傾向が確認された。また、同じ C'/W で比較すると、材齢 28 日においては、MFA コンクリートの圧縮強度は PL とほぼ同等となっており、材齢 7 日においても大きな差は見られない。BFS では材齢 7 日において PL より 1~4 割ほど小さいが材齢 91 日では同等以上であることが確認された。

### 3.3 中性化速度係数

表-5 に中性化試験、表面吸水試験および透気試験の結果一覧を示す。図-4 に促進中性化深さの経時変化の一例を示す。中性化速度係数は、中性化深さが促進期間の平方根に比例すると仮定し、促進期間 26 週間までの中性化深さを用いて求めた。定期吸水を行った供試体については、定期吸水を開始した促進期間 1 週以降の傾きを中性化速度係数とし、促進期間 1 週目のデータを通る直線で近似して求めた。

図-5 に圧縮強度と中性化速度係数の関係を促進環境

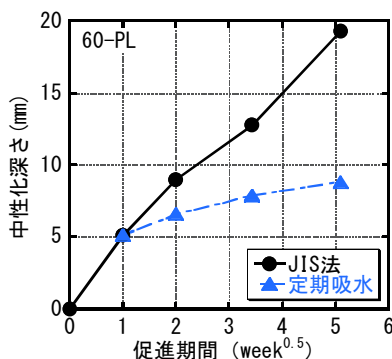


図-4 中性化深さの経時変化の一例

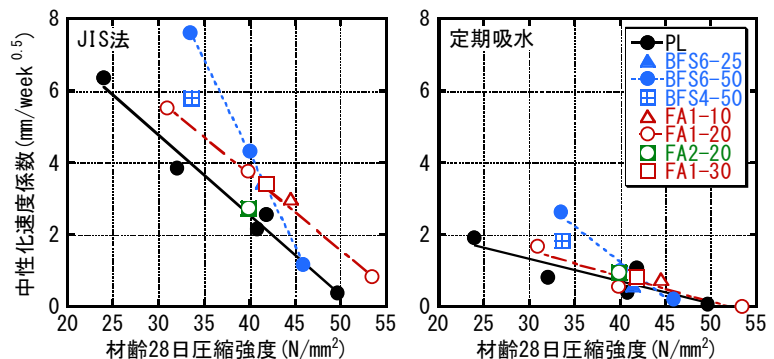


図-5 圧縮強度と中性化速度係数の関係の関係

表-5 試験結果一覧

No.	調合	中性化速度係数 (mm/week <sup>0.5</sup> )		含水率 (%)	透気係数*1 (× 10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup> )	吸水速度係数*1 (mm/sec <sup>0.5</sup> )
		JIS 法	吸水			
1	40-PL	0.38	0.09	5.4	0.0021	0.0000
2	40-BFS6-50	1.18	0.21	-	-	-
3	50-PL	2.17	0.41	4.9	0.0024	0.0000
4	50-BFS6-25	3.45	0.58	4.8	0.0048	0.0012
5	50-BFS4-50	5.80	1.84	4.4	0.0650	0.0074
6	50-BFS6-50	4.33	1.03	4.6	0.0290	0.0038
7	60-PL	3.87	0.83	4.6	0.0090	0.0046
8	60-BFS6-50	7.62	2.65	-	-	-
9	70-PL	6.37	1.92	4.4	0.0240	0.0071
10	50-PL2	2.57	1.07	-	-	-
11	40-FA1-20	0.84	0.02	4.6	<0.0010	0.0000
12	50-FA1-10	3.02	0.78	4.3	0.0034	0.0029
13	50-FA1-20	3.77	0.57	4.0	0.0018	0.0030
14	50-FA2-20	2.75	0.97	4.3	0.0015	0.0010
15	50-FA1-30	3.42	0.83	4.1	0.0022	0.0011
16	60-FA1-20	5.53	1.69	3.6	0.0036	0.0052

\*1 促進期間 4 週において、定期的に吸水させている供試体を用いて試験を行った結果。

条件ごとに示す。図中の線は、PL、BFS6-50、MFA1-20 についてそれぞれ直線近似したものである。図より、すべての調合において圧縮強度が大きくなるほど中性化速度係数は小さくなり、既往の研究<sup>例えは 15)</sup>と同様の傾向を示している。JIS 法では、同じ強度で比較すると PL に比べて MFA や BFS を用いた場合の方が中性化速度係数は大きく、40N/mm<sup>2</sup> 以下の範囲では BFS > MFA > PL の順に大きい。また、近似線の傾きは、PL と MFA は大差ない。一方、BFS は負の傾きが大きく強度による影響が顕著であり、圧縮強度が 45N/mm<sup>2</sup> 程度で中性化速度係数が PL と同等となっている。

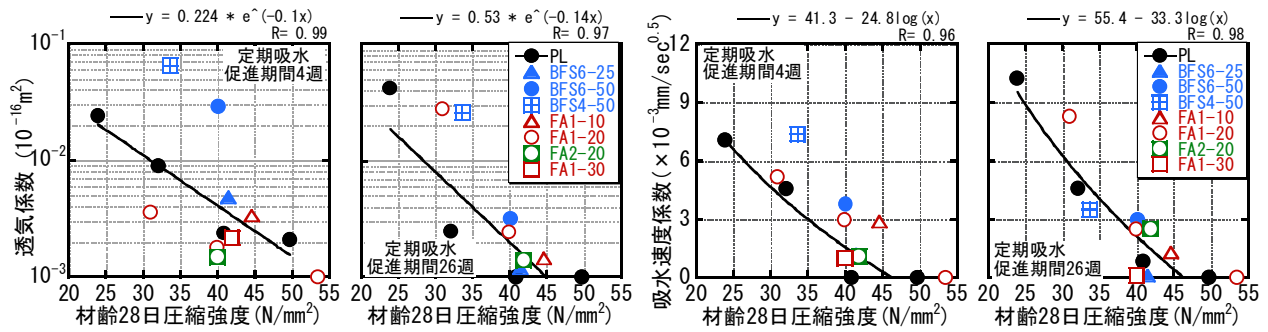


図-6 材齢 28 日強度と吸水速度係数および透気係数の関係

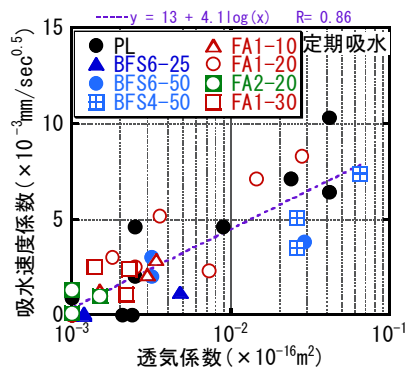


図-7 透気係数と吸水速度係数の関係

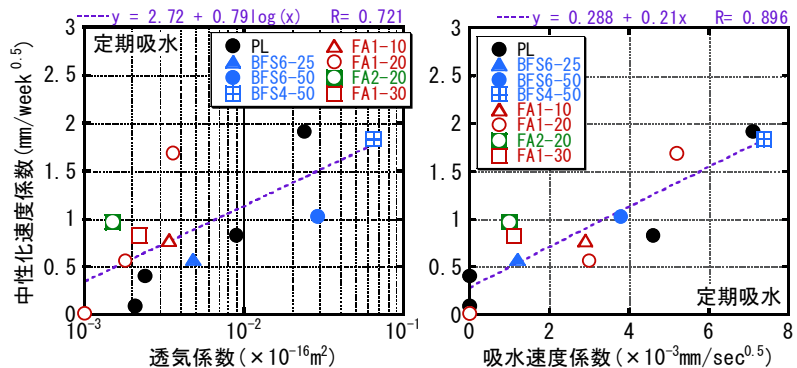


図-8 吸水速度係数および透気係数と中性化速度係数の関係

定期吸水では、JIS 法の場合と比べて全体的に中性化速度係数が小さい。また、MFA を用いた場合には MFA 種類や置換率によらず PL とほぼ同等となっている。促進条件は異なるが、佐伯ら<sup>4)</sup>が行っている散水促進中性化試験による結果と同様に定期的に吸水させることで FA コンクリートの中性化抵抗性が向上する結果を示した。実環境を対象とした既往データの調査結果<sup>1)</sup>における、FA コンクリートの中性化抵抗性は材齢 28 日強度が同じであればプレーンコンクリートと遜色ないとする報告とも一致している。養生条件や吸水条件等については実環境における条件を考慮して、さらに検討する必要があると思われるが、実環境の FA コンクリートの中性化抵抗性を評価する方法として、定期吸水は有効な手段の 1 つであると考えられる。

### 3.4 吸水速度係数および透気係数

図-6 に材齢 28 日圧縮強度と、促進期間 4 週および 26 週における透気係数ならびに吸水速度係数の関係を示す。図中の実線は PL について透気係数では指数近似、吸水速度係数では対数近似したものである。左図の Y 軸の透気係数については対数軸で表している。透気係数は表-5 に示した通りであるが、測定結果が  $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$  未満の測定限界値となったものは、 $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$  としてプロットしている。図より、透気係数は圧縮強度が大きいほど小さくなる傾向にある。同じ強度で比較すると、促進期間 4 週では、MFA を用いた場合に PL と同等以下、BFS を用いた場合に同等以上の値を示している。また、促進

期間が長くなると強度が高い場合に透気係数は小さくなる傾向にある。

吸水速度係数は、透気係数の場合と同様に、圧縮強度が大きくなるほど小さくなる傾向にある。また同じ強度で比較すると、促進期間 4 週では混和材を用いた場合に PL と同等か大きくなる傾向にあるが、促進期間 26 週では PL とほぼ同等である。また、透気係数の場合と同様に、吸水速度係数は促進期間が長くなると強度が高い場合に小さくなる傾向にある。この点について、白川ら<sup>10)</sup>は BFS を用いたコンクリートについて、促進中性化後にコンクリート組織が粗になること、その傾向は水結合材比が大きくなるほど顕著になることを明らかにしており、混和材を用いたコンクリートの中性化抵抗性と吸水性を評価するためには、炭酸化に伴う組織構造の変化に着目して定量的な評価を行う必要があると思われる。また、本実験においては定期吸水を行っているため、未水とセメントや混和材の水和、含水率による影響についても考慮する必要がある。これらの影響の評価については今後の検討課題としたい。

図-7 に促進期間 4、12 および 26 週における透気係数と吸水速度係数の関係を示す。ばらつきはあるものの両者は正の相関関係にあることがわかる。同じ透気係数で比較すると、吸水速度係数は PL に比べて BFS を用いた場合の方が小さくなる傾向にある。MFA による違いは見られなかった。

図-8 に吸水速度係数および透気係数と中性化速度係

数の関係をそれぞれ示す。図中の点線は全データに対する近似線である。図より、各係数の増加に伴い中性化速度係数も大きくなる傾向にあり、両者はいずれも相関関係にあるが、相関係数は吸水速度係数の場合の方が高い。同じ透気係数で比較すると、MFAの方が全体的に中性化速度係数は大きい。一方、同じ吸水速度係数で比較すると、ばらつきはあるものの混和材の種類や置換率による大きな差は認められず、同一の式でおおよそ表せることがわかる。

#### 4. まとめ

本研究では、MFA および BFS を用いたコンクリートの中性化抵抗性を明らかにすることを目的として、促進中性化試験中に定期的に吸水させた供試体を用いて、中性化深さ、透気係数および吸水速度係数を調べ、材齢 28 日強度が同等の場合で比較し、以下の知見を得た。

- (1) MFA を用いたコンクリートの中性化速度係数は定期吸水させた場合にプレーンコンクリートと同等となる。BFS を用いたコンクリートの中性化速度係数は、比較的低い強度の場合にはプレーンコンクリートより大きい、材齢 28 日強度が 40~45N/mm<sup>2</sup>程度以上では同等となる。
- (2) 混和材を用いたコンクリートの透気係数は、促進期間 4 週では、MFA を用いた場合に PL と同等以下、BFS を用いた場合に同等以上の値を示す。また、促進期間が長くなると強度が高い場合に透気係数は全体的に小さくなる傾向を示す。
- (3) 混和材を用いたコンクリートの吸水速度係数は、促進中性化期間 4 週では PL と同等か大きくなる傾向にあるが、26 週では同等である
- (4) コンクリートの中性化速度係数は MFA および BFS の有無に関わらず表面吸水試験から得られる吸水速度係数により評価できる可能性がある。

#### 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (18K13869) の支援を受けて実施したものである。また、本実験の実施にあたり、九州産業大学の白川敏夫教授、本学卒論生の成瀬加奈子さんのご助力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 土木学会四国支部：四国版 フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針，2016.3
- 2) 依田彰彦，横室隆：各種セメントを用いたコンクリートの中性化深さ，コンクリート工学年次講演会論文集，Vol.9，No.1，pp.327-332，1987

- 3) 和田真平，阿部道彦，柳啓，藤田克己：フライアッシュコンクリートの中性化，水密性および遮塩性に関する実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.121-126，1998
- 4) 佐伯竜彦，長瀧重義：散水促進中性化試験による中性化深さの予測，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.1，pp.801-806，1993
- 5) 今本啓一，山崎順二，下澤和幸，永山勝ほか：かぶりコンクリートの透気性に基づく RC 構造物の耐久性性能検証に向けた基礎的研究，日本建築学会構造系論文集，第 74 巻，第 638 号，pp.593-599，2009.4
- 6) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書 改訂資料 設計編・施工編，コンクリートライブラリー149 号，pp.54-66，2018
- 7) 李相培，佐藤嘉昭，岡田秀敏，清原千鶴：焼成工程を備えた風力処理微粉砕システムによる石炭灰の改質，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.183-188，2007.7
- 8) 日本建築学会：フライアッシュを使用するコンクリートの調査設計・施工指針・同解説，p.48-49，2007
- 9) I.A.Smith：The design of Fly Ash Concretes，Proc. Institute of Civil Engineers，Vol.36，pp.769-790，1967
- 10) 伊藤七恵，佐藤嘉昭，上田賢司，大谷俊浩：高品質フライアッシュを用いたコンクリートの調査設計に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.167-172，2011.7
- 11) 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，Vol.69，No.1，pp.82-97，2013
- 12) 白川敏夫：表面吸水試験によるコンクリート構造物の非破壊検査に関する研究，第 44 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集，pp.8-12，2017
- 13) 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，Vo.49，No.3，pp.3-6，2011.3
- 14) R.Torrent：A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the concrete，International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering，pp.985-992，1995
- 15) 長瀧重義，大賀宏行，佐伯竜彦：コンクリートの中性化深さの予測，セメント技術年報，No.41，pp.343-346，1987
- 16) 白川敏夫，盧薇迪：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの表面吸水試験による吸水機構の検討及び中性化の予測に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp.1733-1738，2019