

# 論文 フライアッシュ及び高炉スラグ微粉末を使用したプレキャストコンクリート部材の長期耐久性と微細構造

杉 大樹<sup>\*1</sup>・塚越 雅幸<sup>\*2</sup>・上田 隆雄<sup>\*3</sup>

**要旨:** フライアッシュや高炉スラグ微粉末を一部セメント代替材料として使用したコンクリートは、普通コンクリートと異なる性質を持つ。本研究ではフライアッシュと高炉スラグ微粉末を使用したプレキャストコンクリートの耐久性について、コンクリートの微細構造の関係から検討を行った。強度・中性化・塩害試験と、SEMによる微細構造との観察結果とを比較した結果、各種物性・耐久性試験結果と総空隙率との間には相関関係があり、フライアッシュや高炉スラグ微粉末のセメント代替割合を加味することで空隙率による耐久性の評価の可能性を示した。

**キーワード:** 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, 耐久性, 養生条件, コンクリート, 微細構造

## 1. 研究の背景と目的

セメントの原材料となる石灰石の大量消費により、資源の枯渇とともに、地球温暖化などの環境悪化が問題視されている。そこで産業廃棄物である混和材の利用は環境保全に大きく期待されている。フライアッシュ、高炉スラグ微粉末などの混和材を利用したコンクリートは、既往の研究から水和熱による温度上昇の抑制、アルカリ骨材反応の抑制、化学抵抗性の向上、長期強度の増大、乾燥収縮の低減といった効果が既往の研究によって明らかとなっている。しかし、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を大量置換した場合普通コンクリートと比べ中性化速度の増大、初期強度が低く強度発現が遅いなどの問題点が指摘されている<sup>1)</sup>。

また、コンクリート製品の主な生産ルートの一つであるプレキャストコンクリートは、蒸気養生、もしくはオートクレーブ養生が一般であり、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートに対して、これまで詳細に研究されている<sup>2) 3) 4)</sup>。また、これら混和材を利用したコンクリートのプレキャストコンクリートへの適用についての研究も最近では行われてきた。しかし、コンクリートの耐久性能と空隙構造への影響に関してはあまり検討されていない。

そこで本研究では、工場生産され十分な品質管理が行われるプレキャストコンクリート部材について、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を一部セメント代替材

料として使用したコンクリートの耐久性と、微細構造との関係について検討した。

## 2. コンクリートの微細構造と強度の関係

本研究ではコンクリートの物性および耐久性試験として、圧縮強度、中性化、塩害抑制効果および耐凍害性について検討を行った。

### 2.1 供試体の作製

供試体は表-1 に示す調合で作製した。供試体の調合は、普通ポルトランドセメントを水結合材比(W/P)42%で高性能 AE 減水剤を加えたもの(以下 N シリーズ)、さらに、高炉スラグ微粉末をセメントの質量に対し内割で55%置換したもの(以下 BFS シリーズ)、同様にセメントに対し内割で副産物の置換率が55%となるように、それぞれフライアッシュ10%かつ高炉スラグ微粉末を45%置換したもの、および、フライアッシュ15%かつ高炉スラグ微粉末を40%置換したもの(以下 FA10, FA15 シリーズ)の4種類とした。ここでは、地球環境の保全・資源リサイクルの観点から、フライアッシュおよび高炉スラグを大量に有効利用することを目的にセメントの置換率を出来るかぎり最大となるように、かつ、空気量4.5±1.5%、28日強度が各養生条件でそれぞれ同程度となるように試し練りを行い、調合条件を決定した。なお、フライアッシュは四国地方で多く発生するII種を、高炉スラグ微粉末にはブレン値が4000 cm<sup>2</sup>/gのものを使用した。

表1 コンクリートの調合

調合種別	混和材内割置換率		水結合剤比 W/P (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							フレッシュ性状	
	フライアッシュ	高炉スラグ微粉末			水	セメント	フライアッシュ	高炉スラグ微粉末	細骨材	粗骨材	減水剤	スランブ (cm)	空気量 (%)
					W	C	FA	BFS	S	G	AE		
N	-	-	42	46.1	153	364	-	-	821	973	2.55	12.5	5.0
BFS	-	55	38	45.1	150	178	-	217	787	973	2.77	48*49※	4.3
FA10	10	45	37	44.7	150	182	41	182	774	973	3.24	50*52※	4.7
FA15	15	40	36	44.2	150	188	62	167	759	973	3.34	16.0	4.0

※スランブフローを記載

\*1 徳島大学大学院 知的力学システム工学専攻建設創造システムコース (学生会員)

\*2 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門助教 工博 (正会員)

\*3 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門教授 工博 (正会員)

養生方法は気中養生と、プレキャストコンクリートを想定した蒸気養生の2種類を行った。気中養生は20±1℃、60±5%R.H.とし、蒸気養生は、打ち込み後 20±1℃、60±5%R.H.で前養生したのち、昇温速度 15℃/h で 50℃まで昇温させ、50℃の蒸気による水分供給状態を2時間継続したのち20℃まで自然冷却した。蒸気養生終了後、試験材齢までは20±1℃、60±5%R.H.で気中養生とした。

## 2.2 微細構造観察と評価方法

走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた、反射電子像 (BEI) による微細構造観察を行った。測定試料は材齢 13 週のものから 2.5~5 mm のモルタルサンプルを切り出し、水和停止した後に、型枠内に設置しエポキシ樹脂にて硬化させ、観察面を研磨したものとした。

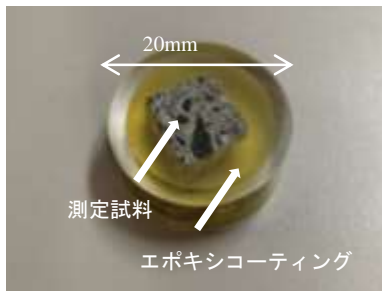


写真-1

なお、研磨は耐水研磨紙を粗い 320 番から、500, 1000, 2400, 4000 番の耐水研磨紙を使用した。供試体の一例を写真-1に示す。導電性を付与するため表面に 10 nm 程度の厚さで白金コーティングを行い加速電圧 15 keV、倍率 500 倍にて行った<sup>5)</sup>。

BEIは元素の原子番号によって放出信号強度が異なる現象を利用して組成の違いを二次元的に表示する手法である。小さい原子番号は暗く表示され、大きな原子番号のものは明るく表示される。元素番号 (Z) とそのコントラストを表すBSE係数 ( $\eta_0$ ) の関係はReuter<sup>6)</sup>によって (1) 式で表せるとしている。

$$\eta_0 = -0.0254 + 0.016Z - 1.86 \times 10^{-4}Z^2 + 8.3 \times 10^{-7}Z^3 \quad (1)$$

ただし、 $\eta_0$  : BSE 係数, Z : 元素番号とする。

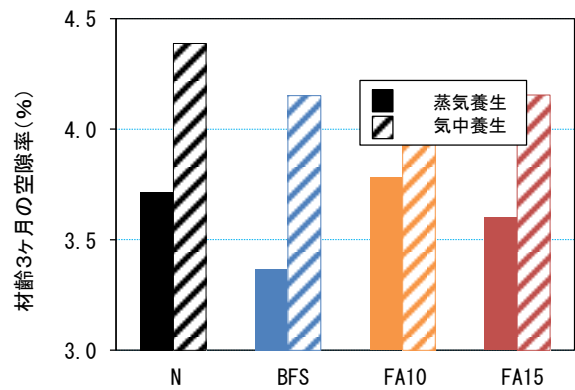


図-2 空隙率

表-2 セメント粒子およびエポキシ樹脂の原子番号とBSE係数

	原子番号	BSE係数
Ca	20	0.2268
C	12	0.1413

また、化合物のBSE係数は化合物の平均原子番号 (Z') を、化合物に含まれている元素の重量濃度の割合 ( $C_i$ ) によって以下の式 (2) で計算できることが示されている<sup>6)</sup>。

$$Z' = \sum_i C_i \eta_i \quad (2)$$

ここで、 $i$ : 含まれている元素,  $C_i$ : 含まれている元素  $i$  の重量濃度とする。

セメントの粒子を Ca, エポキシ樹脂を C とし、その時の原子番号と BSE 係数を計算した結果を表-2に示す。エポキシ樹脂を充填していることからセメントペーストの空隙内にはエポキシ樹脂が含浸し、エポキシ樹脂である C の部分は空隙部分として取り扱える。

測定したBEIの結果を、式 (1), (2) を利用し輝度ヒストグラムから、空隙とセメント部分とで2値化を行い、その結果を図-1に示す。図中の白い部分がセメントや骨材であり、黒い部分が空隙である。画像解析ソフトを用いて白と黒のピクセル数をカウントし、空隙率を算出した結果を図-2に示す。

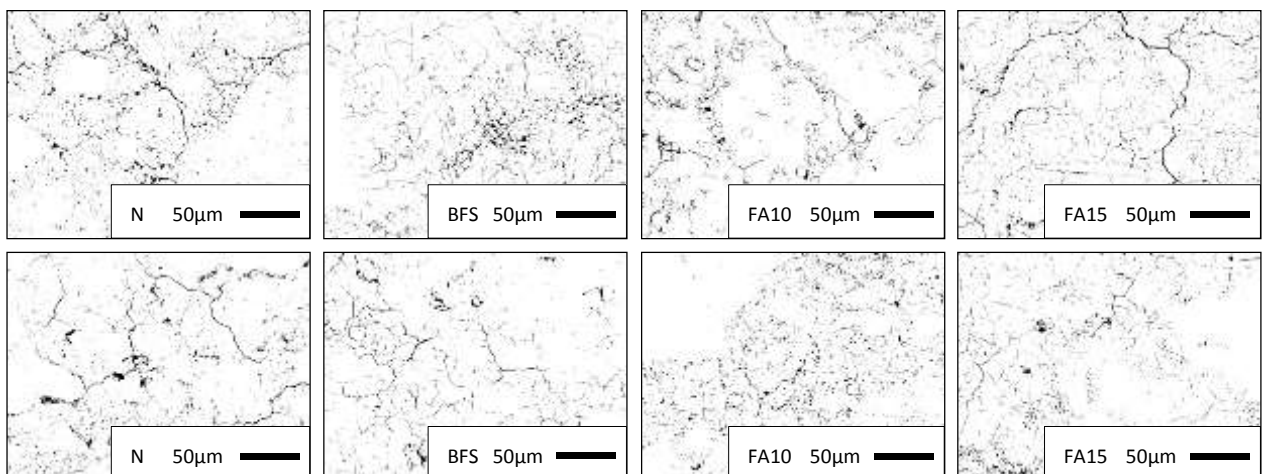


図-1 SEM観察例, 材齢13週 上段: 気中養生, 下段: 蒸気養生

N調合はFA10, FA15調合およびBFS調合と比較し、空隙率が大きい。また、材齢3ヶ月の時点では高炉スラグ微粉末の混入割合が高いものほど空隙率が小さくなる傾向にある。蒸気養生と気中養生したコンクリートについて比較を行うと、N, FA10, FA15, BFSすべての調合において、蒸気養生したものは空隙率が小さくなる結果となった。また、蒸気養生したことによる空隙の減少率はN調合が最も少なく、FA, BFSを混入した試験体の方が若干空隙の減少率は大きくなった。

### 2.3 圧縮強度

圧縮強度はJIS A 1108 (コンクリートの圧縮試験方法)に準拠し、気中養生のものは7,28,35,42,91日、蒸気養生のものは1,7,28,35,42,91,182日に測定を行った。各パラメータで3つの供試体を用意し、その平均値を圧縮強度とした。

圧縮強度の経時変化を図-3に示す。N調合に比べFA10, FA15調合は、初期強度は小さくなるが、ポズラン反応の進行により<sup>3)</sup>、材齢4週で無混入と同等の強度になり、長期強度は高い値となった。また、BFS調合も同様に初期強度は小さいが、長期強度は大きくなった。BFS調合は最も高い圧縮強度を示し、高炉スラグ微粉末混入率が高いほど大きな強度となった。

蒸気養生コンクリートは気中養生コンクリートに比べ、初期強度、長期強度ともに大きな値を示した<sup>7)</sup>。蒸気養生コンクリートの圧縮強度は材齢13週ではすべての調合で20%程大きくなる。また、N調合に比べFA10, FA15, BFS調合は蒸気養生による強度の増加割合が大きくなった。

材齢7日における初期強度は、蒸気養生したFA10, FA15, BFS調合は、気中養生の普通コンクリートに対しやや小さいものの、ほぼ同程度の値が得られた。

材齢13週におけるコンクリートの空隙率と圧縮強度の関係を図-4に示す。コンクリートの空隙率と圧縮強度の間には相関がみられ、コンクリートの空隙率が低いほど圧縮強度が高く、空隙率が高いほど圧縮強度が低い結果を得られた。フライアッシュを混和したコンクリートはポズラン反応をし、高炉スラグ微粉末を混和するのは潜在水硬性を発揮し、水和が促進されることから、緻密なコンクリートとなる<sup>8)</sup>。また、BFS, FA10, FA15調合はセメント粒子より微細で、比表面積の大きな高炉スラグ微粉末を混和していることから、フィラー効果<sup>9)</sup>により、緻密化したと考えられ、これらが強度増進に関与したものと思われる。

## 3. コンクリートの耐久性試験

### 3.1 促進中性化試験

中性化試験はJIS A 1152 (コンクリートの中性化深さ

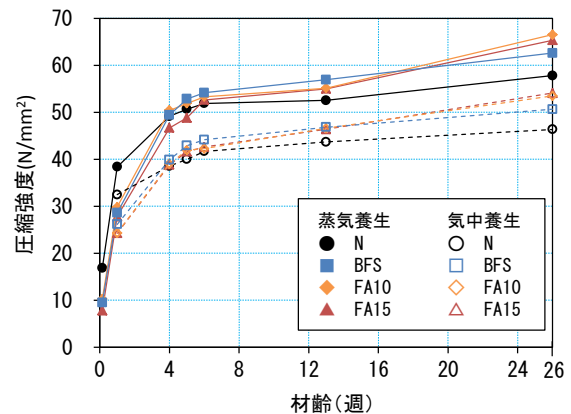


図-3 圧縮強度

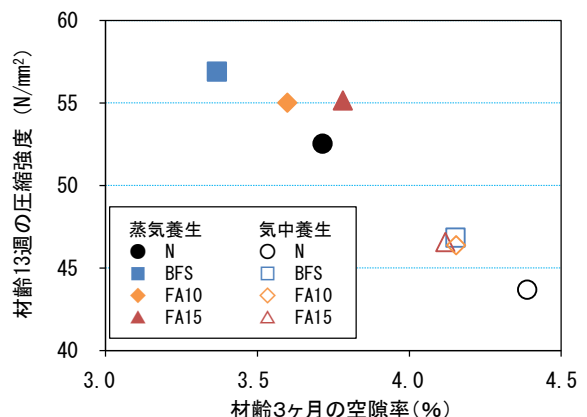


図-4 空隙率と圧縮強度の関係

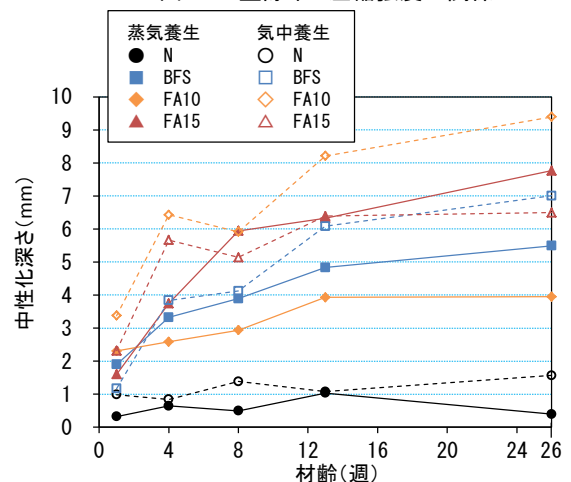


図-5 中性化深さの経時変化

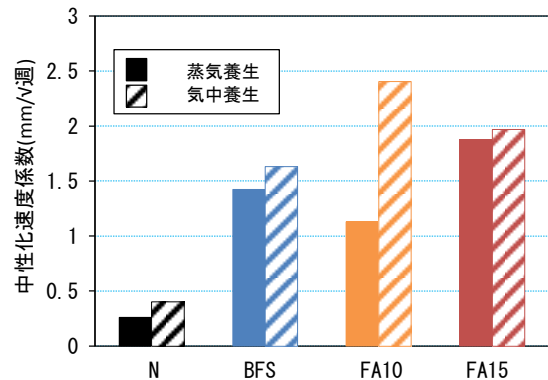


図-6 中性化速度係数

の測定方法) および JIS A 1153 (コンクリートの促進中性化試験方法) に準拠して行い、促進条件は温度 20°C、相対湿度 60%R.H. CO<sub>2</sub> 濃度 5%、とした。促進材齢 7,28,56,91,182 日に測定を行った。

各パラメータ 3 つの供試体を用意し、1 供試体につき 10 点を測定し、合計 30 点の平均値を中性化深さとした。尚、既往の研究からコンクリートの炭酸化率は式 (3) に示すように、その暴露時間の平方根に比例するとされており、本研究でも以下の式を用いて中性化速度係数を算出した。

$$x = a\sqrt{t} \quad (3)$$

ここで、 $x$ : 中性化深さ (mm)

$a$ : 中性化深さ係数 (mm/√週),  $t$ : 時間 (週)

試験結果を図-5 に、また算出した中性化速度係数を図-6 に示す。FA10, FA15 および BFS 調査は、N 調査に比べ中性化速度が大きくなった。これはフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末をセメント代替材料として使用した事によるペースト中の水酸化カルシウム の減少と、フライアッシュのポゾラン反応による、水酸化カルシウム の消費によるものと考えられる<sup>3)</sup>。

一方で、蒸気養生を行うことにより、すべての調査において中性化速度が小さくなった。これは、先の微細構造観察結果が示す通り、蒸気養生を行ったコンクリートは緻密になったことにより、中性化進行の要因である CO<sub>2</sub> の浸入が抑制された為であると考えられる。

コンクリートの中性化の経時変化は N, BFS, FA10, FA15 調査すべてにおいて、材齢 28 日以降は中性化深さの増加割合は小さくなる傾向を示した。これは、水和の進行及び、中性化によるコンクリート表面の緻密化によるものと思われ、蒸気養生による初期材齢段階における中性化の進行の抑制は、長期耐久性向上の観点から有用であると言える。また長期で見た場合、一般的なコンクリートの中性化速度の評価式である  $\sqrt{t}$  則が当てはまらない可能性があるものの、安全側での評価を行うには十分であると判断した。

図-7 に空隙率と中性化速度係数の関係を示す。N 調査と、フライアッシュと高炉スラグ微粉末を使用した BFS, FA10, FA15 調査について、それぞれ空隙率の高いものほど中性化速度係数が大きくなる傾向にあることから、調査段階における混和材とセメントの混合割合を考慮する事で、気中・蒸気養生を施したコンクリートの空隙率から、中性化の進行が概ね予測できると考えられる。

### 3.2 耐塩害性試験

耐塩害性評価試験として、電気泳動法によるコンクリートの Cl<sup>-</sup> 拡散係数の測定を行った。Φ10 × 20cm のコンクリート中央部より、Φ10 × 20 cm の供試体を切り出し。この側面部分を防水テープとエポキシでコーティングす

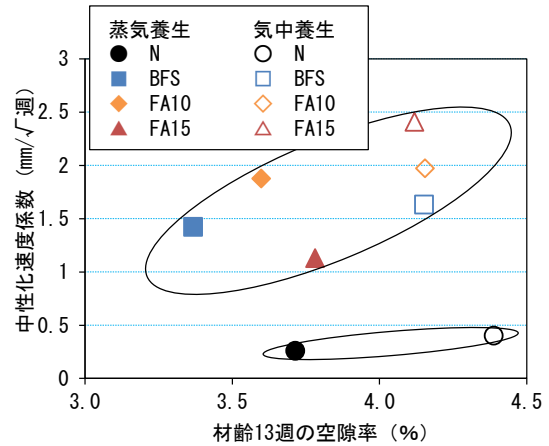


図-7 空隙率と中性化速度係数の関係

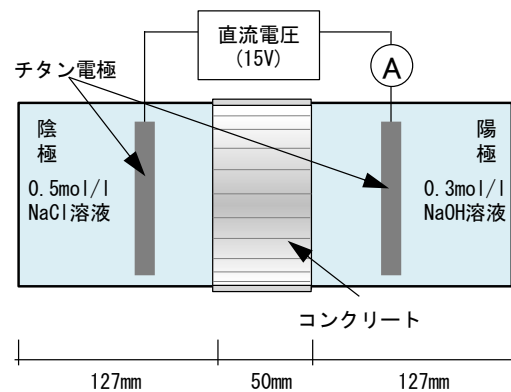


図-8 電気泳動試験装置の概要

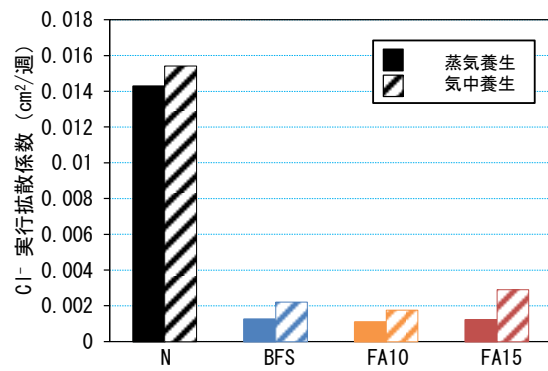


図-9 Cl<sup>-</sup> 実行拡散係数

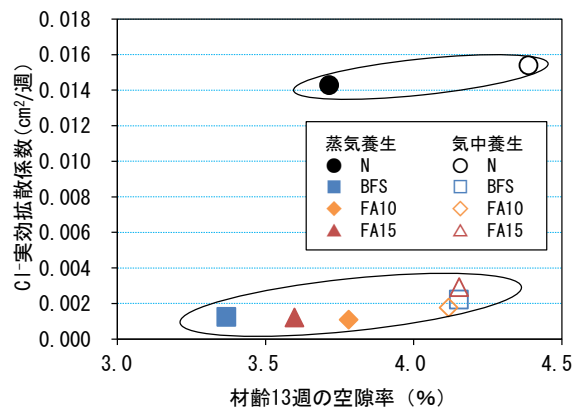


図-10 空隙率と Cl<sup>-</sup> 実行拡散係数の関係

ることで外部との接触を完全に遮断し、養生後円形の断面に、**図-8** に示すようにセルを取り付け、陽極槽には 0.5 mol の NaOH 溶液、陰極層には 0.3 mol の NaCl 水溶液で満たした<sup>10)</sup>。両セル内には、電極用チタンメッシュを挿入し、セルとコンクリート供試体との接点は、エポキシでシールした。その後、コンクリート供試体の両側に直流定電圧 15V を印加することで、負電荷を持つ陰極側の塩化物イオンを、コンクリート中の細孔溶液を通して陽極側セルへ電気泳動させた。

拡散係数は、陰極側から陽極側へ泳動する Cl 量が一定となった時点で定常状態になったと判断し、その時の Cl 流速から算定した。

**図-9** は電気泳動試験から得られた結果をもとにネルンストプランクの式を応用した式 (4) より算出した塩化物イオン実効拡散係数である。

$$De = \frac{J_{cl}RTL}{|Z_{cl}|FC_{cl}(\Delta E - \Delta E_c)} \times 100 \quad (4)$$

ただし、 $De$  : 実効拡散係数 (cm<sup>2</sup>/年)、 $J_{cl}$  : 塩化物イオンの定常状態における流速、 $R$  : 気体定数 8.31J / (mol · K)、 $T$  : 絶対温度測定値 (K)、 $L$  : 供試体厚さ (mm)、 $Z_{cl}$  : 陰極側の塩化物イオン濃度測定値 (mol/l)、 $\Delta E - \Delta E_c$  : 供試体測定間の測定電位(V)とする。

なお、実効拡散係数は、浸せき試験などで求められる見かけの拡散係数とは異なり、耐久性の大きいコンクリートでも試験が短時間で済むという点で有効である。その反面、耐久性照査に用いられるのは見かけの拡散係数であるため実効拡散係数からの換算が必要であるが、本研究では実効拡散係数による比較で行った。

FA10, FA15 調合は N 調合に比べ Cl の実効拡散係数が小さくなり、耐塩害性が向上する結果となった。BFS 調合も FA 調合と同様に実効拡散係数が小さくなる結果となった。これは、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を使用した FA10, FA15, BFS 調合においては、塩化物イオンの固定化効果や細孔構造の変化等の影響があったためであると考えられる。

また、蒸気養生を行うことで、すべての調合で Cl の実効拡散係数が小さくなった。拡散係数の減少割合は N 調合では小さいものの、FA10, FA15, BFS 調合においては顕著に表れ 50%程減少したことから、材齢初期段階における蒸気養生がフライアッシュ及び高炉スラグ微粉末の反応に有効に働いたものと考えられる。

**図-10** に空隙率と塩化物イオンの実効拡散係数の関係を示す。N 調合と、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を使用した FA10, FA15, BFS 調合についてそれぞれコンクリートの空隙率が高い調合ほど塩化物イオンの実効拡散係数は大きくなる傾向にあり、空隙率の小さいコンクリートほど、中性化試験の結果と同様に、外部から

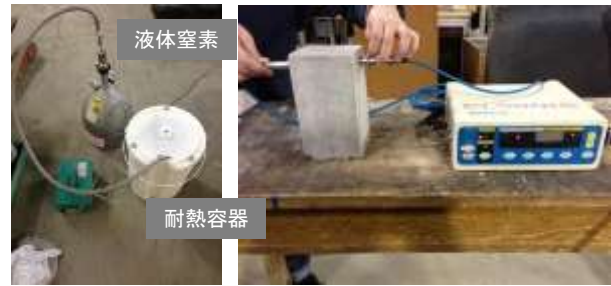


写真-2 簡易的凍結融解試験の状況

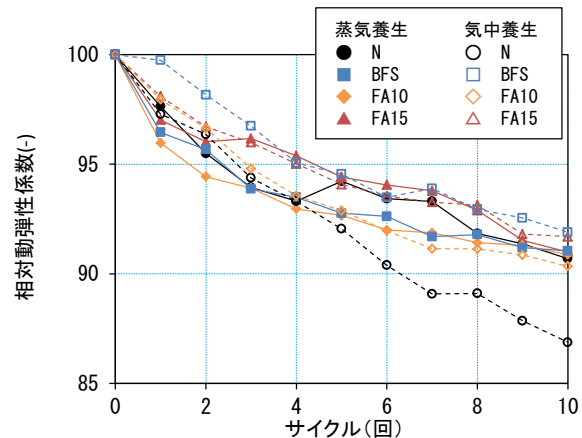


図-11 相対動弾性係数の経時変化

の物質の浸入・移動を抑制できるといえることから、調合段階におけるフライアッシュ及び高炉スラグ微粉末量を考慮する事で、気中・蒸気養生を施したコンクリートの空隙率から、塩害の進行が概ね予測できると考えられる。

### 3.3 凍結融解試験

凍結融解試験は、10×10×40mm の供試体を使用し、液体窒素を用いたコンクリートの簡易的凍結融解試験方法<sup>11)</sup>に準拠して行った。試験は**写真-2**に示すように、供試体をケースに入れ1分間液体窒素で凍結させたのち、40°Cの水に5分間つけて解凍させる。解凍後超音波パルス測定と供試体の辺長測定を行い、動弾性係数の推移を計測した。このサイクルを凍結融解の1サイクルとし、10サイクルまで測定を行った。なお、既往研究によればこの10サイクルでJIS規格試験の300サイクル相当であることが確認されている。各パラメータ3つの供試体を用意し、その平均値を凍結融解試験の結果とした。

凍結融解試験結果を**図-11**に示す。FA10, FA15 および BFS 調合は、N 調合に比べ 10 サイクル目における相対動弾性係数の低下が小さく抑えられた。これは、十分な養生がされ一定の強度が確保されており、混和剤により適切な空気量の連行がなされたものと推測される。

蒸気養生を行うことで N 調合では、相対動弾性係数が小さくなり、耐凍害性は大きく向上した。FA10, FA15 調合は養生による相対動弾性係数の変化は少なく、耐凍

害性の向上は見られなかった。BFS 調合は、蒸気養生を行うと相対動弾性係数の低下が大きくなる結果となった。また、FA10、BFS 調合などの、高炉スラグ微粉末の置換割合の多いコンクリートは、初期における相対動弾性係数の減少が大きい。

既往の研究によると耐凍害性に有効な空気量は 3%以上、気泡間隔係数は 250  $\mu\text{m}$  以下と示されている。

本研究で示した総空隙量のみで耐凍害性について議論することは難しいものの、耐凍害性は、初期養生を十分に行ったものは一般に高い耐久性を示すとされ、N 調合に対してはそのような結果を得られた。それに対し、FA10、FA15 および BFS 調合において耐凍害性の改善が見られなかったのは、先の微細構造観察結果が示すように、蒸気養生を行ったことでコンクリートの緻密化はされたが、そのことによって凍害に対し有効な気泡間隔が失われた可能性も考えられる。凍害は凍結時水の膨張による自由水の移動による静水圧によって生じるものであり、その自由水が移動する毛細管空隙があまりにも微細なため水分の移動が生じにくく普通コンクリートの毛細管空隙を通る時より大きい静水圧が生じるからであると考えられる。

#### 4. まとめ

高炉スラグ微粉末置換およびフライアッシュ・高炉スラグ微粉末併用置換コンクリートの気中養生、蒸気養生の違いによる耐久性への効果と空隙率との関係をまとめると以下のとおりである。

- 1) 材齢 7 日の初期強度はフライアッシュ、高炉スラグ微粉末混入のものは蒸気養生をすることで、未混入の気中養生のものと同等の値を示した。長期強度は、フライアッシュの置換率が高いものほど蒸気養生による強度増加率が大きく、圧縮強度が大きいものほど空隙率は小さくなる。
- 2) フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末混入の中性化速度係数は大きくなり、また、蒸気養生すると中性化速度係数は小さくなる。
- 3) フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末混入したコンクリートの塩化物イオン実効拡散係数が小さくなり、また、蒸気養生したものは小さくなった。
- 4) コンクリートの耐久性と細孔構造（空隙率）は相関関係にあった。また、中性化および塩害の進行速度については、セメント、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末の混合割合を考慮する事で空隙率（物質の拡散速度）から概ね予測できると考えられる。
- 5) 耐凍害性は、N 調合は蒸気養生を行うと向上した。FA、BFS を入れたものは気中養生、蒸気養生による違いはあまり見られなかった。

#### 参考文献

- 1) V. M. Malhotra : Effect of Curing on the Compressive Strength, Resistance to Chloride-Ion Penetration and Porosity of Concretes Incorporating Slag, Fly Ash or Silica Fume, *Cement & Concrete Composites*, Vol.17, pp.125-133
- 2) 李長江, 依田彰彦, 横室隆: 高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの細孔構造と乾燥収縮: コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, 1998
- 3) 内藤哉良, 鶴田浩章, 松下博通, 佐川康貴, 福田論士: 各種混和剤を混入したコンクリートの中性化に関する検討, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 平成 15 年 9 月
- 4) 近松竜一, 山本泰彦, 長合友造: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐凍害性, コンクリート工学年次論文報告集, 11-1, 1989
- 5) 胡桃澤清文, 名和豊春: 反射電子像およびエネルギー分散型 X 線分析により測定した元素分布像による硬化セメントペーストの観察, 日本建築学会構造系論文集, 第 595 号, 9-15, 2005 年 9 月
- 6) Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: a text for biologists, materials scientists, and geologists, Joseph I. Goldstein et al, Plenum Press, 1992
- 7) 田代 他: 蒸気養生によるモルタルの強度発現に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991, 9, pp587-588
- 8) 小早川真, 羽原俊祐: フライアッシュのポゾラン反応による硬化体の空隙・組織の変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, 2001, pp97-102
- 9) Zhang Chengzhi, Wang Aiqin, Tang Mingshu: The Filling Role of Pzzolanic Material, *Cement and Concrete Research*, Vol.26, No.6, pp.943-947, 1996
- 10) 土木学会, コンクリート技術シリーズ, コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と基準化が望まれる試験方法の動向 pp5-11
- 11) 橋本紳一郎, 橋本親典, 渡辺健, 上田隆雄: 液体窒素を用いたコンクリートの簡易的凍結融解試験の提案, コンクリート工学年次論文集, No.127, No.1, 2005, pp757-762
- 12) 前田 聡, 武若耕司, 北島裕之: 電気泳動試験によるコンクリートの塩化物イオン拡散係数の推定, 土木学会第 58 回年次学術講演会, 平成 15 年 9 月
- 13) 郭度連ほか: 養生条件によるコンクリートの組織変化と中性化を支配する細孔径の評価, 土木学会論文集, No.718/V57, pp59-68, 2002.11
- 14) 伊藤真弓, 高木秀雄: 後方散乱電子像によるマイロナイト微小構造の観察, 構造地質研究会誌, 第 33 号, 1988
- 15) 中下明文, 田中雅章, 野田翼, 佐藤良一: 加圧流動床灰のポゾラン反応とコンクリート強度に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, 2005
- 16) E.Tazawa, K.Kawai and K.Miyaguchi : Expansive concrete cured in pressurized water at high temperature , *Cement and Concrete Composites*, 22, 2000
- 17) 社団法人セメント協会: コンクリート専門委員会報告 F-53「蒸気養生がコンクリートの強度発現に及ぼす影響」
- 18) 米倉亜州男, 宮沢伸吾, 竹村和夫, 田澤栄一: コンクリートの乾燥収縮およびクリープにおよぼす細孔構造の影響