

## シリカフェーム混和による細孔構造と水分浸透に関する考察

金沢大学 学生会員 道下 和樹 金沢大学 正会員 久保 善司  
 小黒数学研究所 非会員 小黒 拓郎 理化学研究所 正会員 水田 真紀  
 理化学研究所 非会員 大竹 淑恵

## 1. はじめに

コンクリート構造物における塩害, アルカリシリカ反応, 凍害などの劣化要因の一つとして水が挙げられる. さらに, これらの水が塩化物イオンなどのその他の劣化因子を含み, 両者が同時に内部へと浸透することも多い. そのため, 水の浸透は構造物の劣化の発生・進行に大きく関与することから, コンクリート中における水分浸透メカニズムの解明は重要な課題の一つとされる.

コンクリート中の水分移動に関する研究は古くから行われており, 近年では, リアルタイムかつ定量的にコンクリート内部の水分移動を把握できる手法として中性子イメージングによる手法が開発されている. X線は鉛や鉄などの重い元素で遮蔽されるのに対し, 中性子線は水素やリチウムなどに対する透過率が低く, セメントや骨材の主成分であるケイ素や酸素に対しては高い透過率を示すため, 水が存在する箇所は部分的に中性子線が遮断されるために暗く, 骨材部分は相対的に明るく映し出されることで含水状況の分布を把握することができる<sup>1)</sup>. 本研究では, 中性子イメージングによる水分移動の定量化と水分浸透試験からシリカフェームの混和による緻密化が水分浸透に与える影響を検討した.

## 2. 実験概要

## 2.1 供試体概要

一般的なコンクリートに使用される水セメント比 55%よりもさらに高い, 水セメント比 60%のコンクリートを対象とした. シリカフェームや石灰石微粉末

の混合がコンクリートの水分浸透性に与える影響を比較, 検討することとし, シリカフェームをセメント質量に対して外割置換 5%としたもの(5S)と 10%置換したもの(10S), 石灰石微粉末を外割置換 10%としたもの(10L)に合わせ, 混和材を用いないもの(P)の4種類とした. 石灰石微粉末はマイクロファイバー効果のみの緻密化との相違を検討することとした. 配合を表-1に示す.

コンクリート角柱供試体(75×75×400mm)は打設翌日に脱型し, 短期間で十分な養生を得るために50℃養生を2週間行った後, 20℃の水中養生を2週間行った. 養生後, 角柱供試体の中央部から厚さ50mmの試験体(75×75×50mm)を2個ずつ切り出し, 水分浸透試験用の試験体とした.

## 2.2 水分浸透試験

切断後の試験体を40℃で約3週間乾燥させ, 水分浸透試験を行った. 供試体の底面が5mm程度水中に浸漬するようにし, 水分浸透試験開始後の質量変化(吸水量)を測定した. 水分浸透試験の概要を図-1に示す. 小型中性子源システムRANSを用いて中性子透過画像を取得した. 取得した中性子画像を用いて水分浸透の定量評価を行い, 供試体高さ方向についての吸水

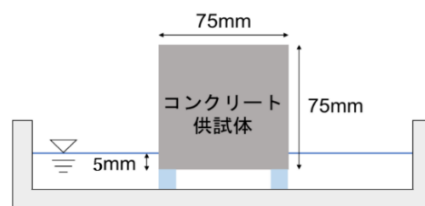


図-1 水分浸透試験

表-1 供試体要因および配合

要因名	W/C (%)	W/B (%)	置換率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						(kg/m <sup>3</sup> )		スラン プ(cm)	空気量 (%)
				W	C	S	G	SF	Lp	AE 減	AE 助		
P-A,B	60	60	0	175	292	840	918	-	-	0.88	1.46	7.0	4.1
5S-A,B	60	57.1	5	175	292	833	918	14.6	-	1.5	2.5	16.0	5.2
10S-A,B	60	54.5	10	175	292	816	918	29.2	-	2.2	2.6	14.0	4.7
10L-A,B	60	54.5	10	175	292	819	918	-	29.2	1.4	2.6	15.0	5.0

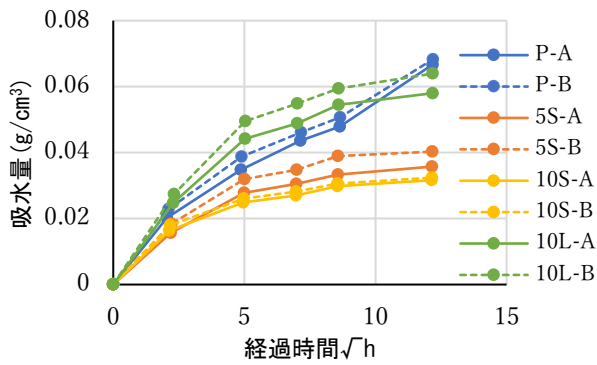


図-2 吸水量

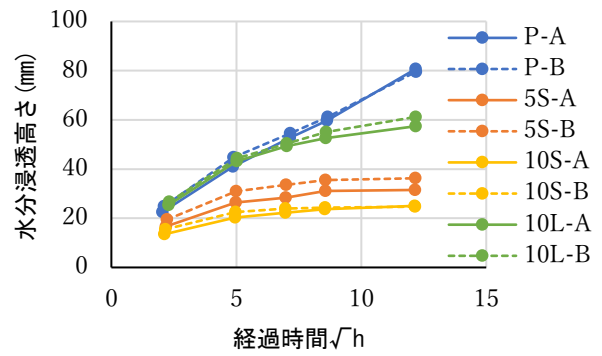


図-4 水分浸透高さ

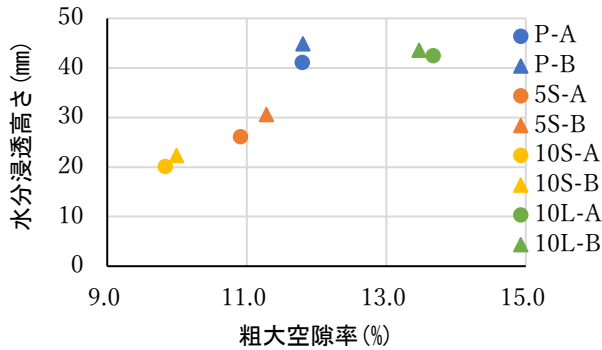


図-3 24hの粗大空隙率(%)

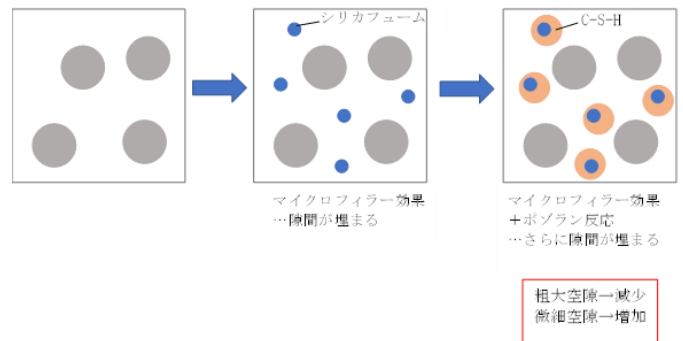


図-5 空隙の緻密化のイメージ

量(吸水量分布)を求めた。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 粗大空隙率と水分浸透性

単位体積当たりに換算した吸水量の経時変化を図-2に示す。シリカフェームを混和したものの吸水量は無混和のものより小さく、時間の経過に伴う吸水量の増加割合も小さくなった。シリカフェームを混和したものでは、置換が大きいものの方が若干吸水量は少なかった。また、アルキメデス法により算出される空隙量を、供試体内に存在する粗大空隙の指標として用いることとし、既往の研究<sup>2)</sup>と同様の方法で算出された水分浸透高さの比較を行った。24hにおける粗大空隙率と水分浸透高さの関係を図-3に示す。同一水セメント比60%においても粗大空隙率が大きくなるにしたがって水分浸透高さも高くなる傾向が確認された。粗大空隙率が大きいものほど、空隙間の連結性が保たれ、水分浸透性(高さ)が大きくなったと考えられる。

#### 3.2 中性子イメージングによる水分浸透挙動

水分浸透高さの経時変化を図-4に示す。シリカフェームを混和したものは無混和や石灰石微粉末のものより水分浸透高さが低下した。無混和のものは時

間経過に伴い水分浸透高さが直線的に増加したのに対し、混和材を含むものは次第に増加量が小さくなった。この原因として、シリカフェーム混和によるマイクロフィラー効果やポズラン反応によって粒子間の空隙部分が微細になり、細孔の連結性が細かなものになったことが考えられる。空隙構造の緻密化のイメージを図-5に示す。シリカフェームを混和したものは微細な空隙が増加したために水分浸透が抑制された一方、この作用の小さい石灰石微粉末のものは水分がある程度浸透したと推察される。

### 4 まとめ

シリカフェームを混和は、W/Cの大きな場合のセメント水和組織に、微細な組織を形成し、大きな水分浸透抑制効果が得られる。また、マイクロフィラーによって石灰石微粉末を混和した場合にも無混和の場合より水分浸透を抑制する効果が得られた。

### 参考文献

- 1) 兼松学：中性子によるコンクリート中の水分の可視化，コンクリート工学，Vol. 53, No. 5, pp. 447-451, 2015
- 2) 久保善司ら：中性子線透過イメージングを用いたシリカフェーム混入が水分浸透性に与える影響に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 43, No. 1, 2021