

中性子線透過イメージングを用いたシリカフューム混入コンクリートの水分浸透性に関する研究

金沢大学 学生会員 ○吉田 千晶 正会員 久保 善司 小黒 拓郎
理化学研究所 正会員 吉村 雄一 水田 真紀

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化原因として、塩害、中性化、凍害、およびアルカリシリカ反応等が挙げられる。劣化が発生・進行するには、各劣化における有害物質の侵入が必須となる。また、これらの有害物質は水分とともにコンクリート中へ浸透することが多い。そのため、水分移動特性は劣化の進行を支配する要因の一つとされる。水分移動特性あるいは水分状態を把握する手法はあるものの、リアルタイムかつ非破壊で把握する方法は確立されていない。コンクリート中の水分浸透性を非破壊かつ定量的に把握する手法として中性子透過イメージング法があり、著者らはコンクリートの W/C や空隙構造が水分浸透性に与える影響を検討した結果を報告している^{1),2),3)}本研究では、コンクリートの高強度化に用いられる混和材としてシリカフューム(SF)に着目し、マイクロファイラー効果およびポゾラン反応の両者による細孔構造の緻密化が水分浸透性に与える影響を中性子透過イメージング法により検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

(1)配合 高強度コンクリートを想定し、W/C35%および40%を用意した。SFはセメント質量に対して外割置換(10%)とした。コンクリートの配合を表-1に示す。コンクリート打設・脱型後、3ヶ月間水中養生を行なった。W/C=35%のものについては、いずれの要因についても空気量の異なる供試体を用意した。

2.2 水分浸透特性の評価

(1)水分浸透試験 養生終了後、供試体を35mm厚さに切断し、検討用試験体(7.5*7.5*3.5cm)とした。試験体は同一要因2体を用意し、温度40℃で約3週間乾燥させ、水分浸透試験に用いた。水分浸透試験は打設底面を5mm程度水中浸漬させて行った。浸透試験開始後の質量変化(吸水量)を電子秤(精度0.1g)で測定した。

(2)中性子透過イメージングによる水分浸透の定量化

中性子透過イメージングは理化学研究所の小型中性子源 RANS を用いて実験を行った。中性子透過イメージングは、コンクリート中の水分量によって中性子線の透過率が変化することを利用し、その水分状態を画像として取得し、定量化する手法である。水分浸透試験開始時、16, 44, 64 および 164 時間後の画像を取得した。中性子透過イメージは既往の研究³⁾を参考に画像解析ソフトウェア ImageJ を使用してノイズ除去、等の画像処理を行い、乾燥時と浸漬後の透過イメージの除算により、浸透水分を可視化したイメージを出力した。吸水時間の経過に伴う、供試体の高さ方向の吸水量分布を把握した。なお、解像度は1.8mmとした。

3. 結果および考察

3.1 水分浸透試験

水分浸透試験結果を図-1に示す。いずれの供試体も時間とともに吸水量が増加し、その吸水速度は徐々に減少した。W/C=35%のものでは、SFを混和したものの吸水量は無混和の1/2程度まで低減した。SF添加のW/C=40%(W/B=36%)の吸水量は、SF無混和のW/C=35%の約2/3程度まで低減された。SFの混和によって高い水分浸透抑制効果が得られることが確認され

表-1 配合表

供試体名	W/B (%)	SF/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						空気量 (%)
				W(%)	C(kg)	S(kg)	G(kg)	SF(%)	SP(kg)	
35-0L	35	0	46	160	457	769	901	0	5.49	3.5
35-0H	35	0	46	160	457	769	901	0	5.49	5.1
35-10L	32	10	44	160	457	717	901	46	5.49	3.3
35-10H	32	10	44	160	457	717	901	46	5.49	5.9
40-10	36	10	46	160	400	769	901	40	4.80	4.6

セメント：普通ポルトランドセメント，密度3.16g/cm³ SF：市販，密度2.23g/cm³

細骨材：手取川産川砂，密度:2.59g/cm³ 粗骨材：手取川産川砂利，密度:2.59g/cm³，Gmax:20mm

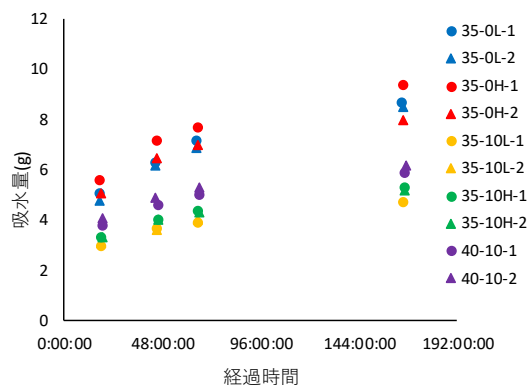


図-1 吸水量と時間の関係

た. また, 同一配合において, 空気量の大きいものの吸水量は若干大きい傾向を示した. W/B が同じ場合でも, 空気量が水分浸透性に影響すると考えられ, 既往研究³⁾と同様の傾向が認められる.

3.2 水分浸透性

透過画像から高さ方向の吸水量分布を算出し, それをもとにコンクリートの水分流束を算出した. 流束 (g/day) は 24 時間当たりにある高さの浸透面 (7.5cm*3.5cm) を通過した水の質量と定義した. 浸透開始 16 時間における流束分布を図-2 に, 浸透開始 164 時間における流束分布を図-3 に示す.

浸透開始 16 時間後においては, いずれも, 供試体高さが高くなると急激に流束が小さくなった. 流束が概ね 0 となる高さ (図-2 中矢印), すなわち, 透水がほぼ生じていない高さは, W/B にかかわらず, SF を混和したものの方が低かった. SF の混和によって組織が緻密化され, 吸水作用が大幅に低減されたものと考えられる. W/C=40% の SF 混和のものでは, W/C=35% の無混和のものよりも吸水作用が低減されていることが確認された. 他方, 空気量の影響は顕著でなく, コンクリートの配合 (細孔構造) が同じ場合には, 空気量は流束に大きな影響を与えなかったものと考えられる.

浸透開始 164 時間後においては, 底面 (高さ 0mm) からある高さまで流速が概ね一定の範囲が認められ (図中青囲み部分), SF 混和のものでは 10~20mm 高さ, 無混和のものでは 30mm 前後の高さであった. いずれもその高さ以降は流速が低下した. その範囲においては, 吸水させる駆動力 (毛細管力) と吸水速度が平衡に達しているものと考えられ, この流速が一定となる高さが小さいほど, 水分浸透性は小さいものと考えられる. W/B にかかわらず, SF を混和したものは, 流速および一定となる高さも小さく, SF の混和による効果

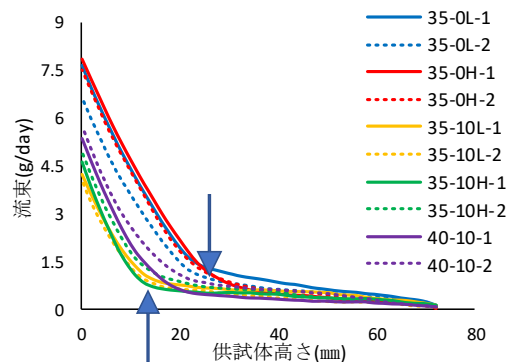


図-2 浸透開始 16 時間後における流束分布

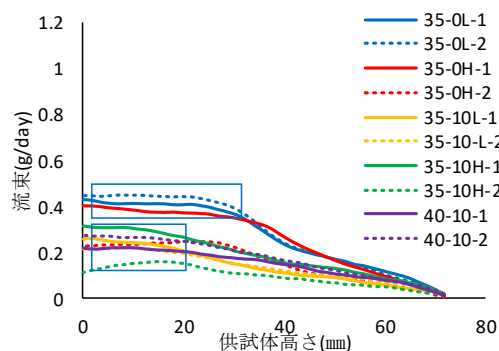


図-3 浸透開始 164 時間後における流束分布

が確認された. なお, 空気量の影響については前述と同様に顕著な影響はなかった.

4.まとめ

高強度コンクリートを想定した SF 混入した緻密なコンクリートにおいても, 中性子透過イメージング法により水分浸透性の相違を把握することが可能であった. SF 混和による水分浸透抑制の効果は大きいことが確認された. W/C=40% の SF 混和のものが W/C=35% の SF 無混和のものよりも水分浸透抑制に優れた結果が得られたのはその証左と考えられる.

参考文献

- 1) 吉村雄一ら: 小型中性子源を利用したコンクリートの水測定方法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No. 1, pp. 613-618, 2017
- 2) 吉村雄一ら: 小型加速器中性子源を利用したコンクリートにおける水の浸透性状評価, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, pp.653-658, 2017
- 3) 盛谷洋輝ら: 中性子線透過イメージングを用いたコンクリートの水分浸透特性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, 2019