

コンクリート中の水分浸透速度係数試験結果と中性子イメージングの比較

理化学研究所 中性子ビーム技術開発チーム 正会員 ○水田 真紀, 吉村 雄一
理化学研究所 中性子ビーム技術開発チーム 非会員 須長 秀行, 大竹 淑恵

1. 目的

コンクリート中の水の動きは、内部に配置された鋼材の腐食に対する抵抗性を表している。コンクリート構造物の健全性評価や将来予測の高精度化に繋げるため、著者らは中性子イメージングからコンクリート中の水分を定量化する方法を提案した¹⁾。本研究では、中性子イメージングによる結果と、2018年度制定「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（案）（JSCE-G 582-2018）」による結果を比較、検討する。

2. 供試体概要

表-1 にコンクリート配合と質量含水率の結果を示す。W/C は 40, 50, 60% の 3 水準とした。W/C=50% を基準とし、単位水量 W を一定にして W/C を変化させたケース、単位セメント量 C（普通ポルトランドセメント）を一定として W/C を変化させたケース、計 5 種類のコンクリートを作製した。ここで、単位セメント量 C を供試体要因の 1 つとしたのは、既往研究²⁾において、W/C=40% 程度の高強度コンクリートの水分浸透が W/C=50% 程度の普通強度コンクリートよりも速い結果を得たことに因る。また、質量含水率は乾燥時（水分浸透試験開始時）と飽水時（水中養生終了時）の差を乾燥時の質量で除して求めた。

中性子イメージング試験（以下、中性子法）には角柱供試体（100×100×400mm、乾燥前に中央部分から 70×70×50mm に切り出し）、水分浸透速度係数試験（以下、JSCE 法）には円柱供試体（φ100×200mm、乾燥前に

表-1 コンクリート配合

供試体 No.	W/C %	G _{max} mm	s/a %	単位量, kg/m3					質量含水率, %	
				W	C	S1	S2	G	JSCE 法	中性子法
1	60	20	53.0	198	330	632	276	805	5.41	6.48
2	60		45.4	165	275	585	254	1007	4.71	5.17
3	50		43.9	165	330	551	239	1010	3.90	4.49
4	40		43.9	132	330	577	252	1057	2.21	2.51
5	40		41.9	165	413	506	220	1005	2.79	3.54

打込み底面側端面を 25mm 切断）を用い、打設翌日に脱型し、乾燥を開始するまで水中養生した。水分浸透試験開始時の材齢はいずれの供試体も約 5 ヶ月、水中養生は約 100 日、乾燥は約 40 日であり、JSCE 法の供試体は乾燥期間が 1 週間程度長い。

3. 実験方法

JSCE 法は土木学会規準（案）（JSCE-G 582-2018）に従って実施し、浸透時間毎の質量も測定した。中性子法は、理研小型中性子源システム RANS で中性子を発生させ、コンクリートに 3 分間中性子線を照射し、透過した中性子線を中性子イメージインテンシファイアで検出して透過像を得た（詳細は文献 1）を参照）。いずれの試験でも、コンクリート供試体の浸漬面（下面）は切断面であり、その対面（上面）は打設面としている。また、円柱供試体は側面をビニールテープでシールしたが、中性子法に用いた角柱供試体はシールしていない。

4. 結果および考察

土木学会規準（案）に忠実に従い試験を実施したが、2 点想定外の状況が生じた。1 点目は供試体周囲に巻いたビニールテープに沿って水分が浸透し、割裂後の水分浸透面が凹型になっていたことから、供試体中央付近の浸透深さを測定して対応した。2 点目は供試体の乾燥状態が、表-1 に示すように JSCE 法と中性子法の供試体で異なって

キーワード 水分浸透速度係数, 中性子イメージング, 低水セメント比
連絡先 〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1 国立研究開発法人理化学研究所 光量子工学研究センター
中性子ビーム技術開発チーム TEL 048-467-4583

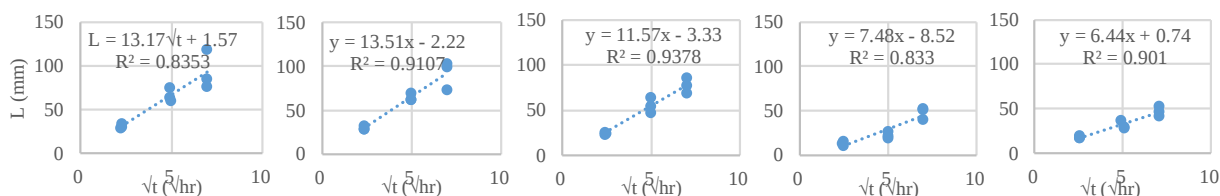
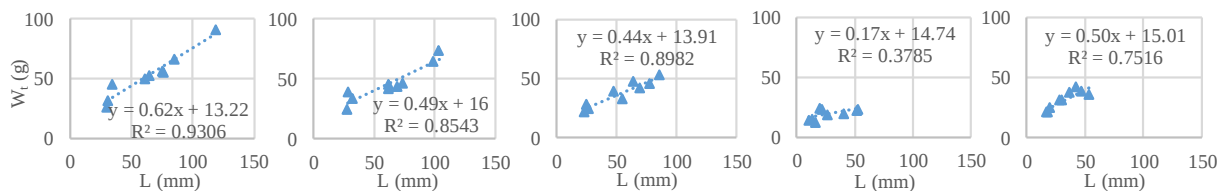
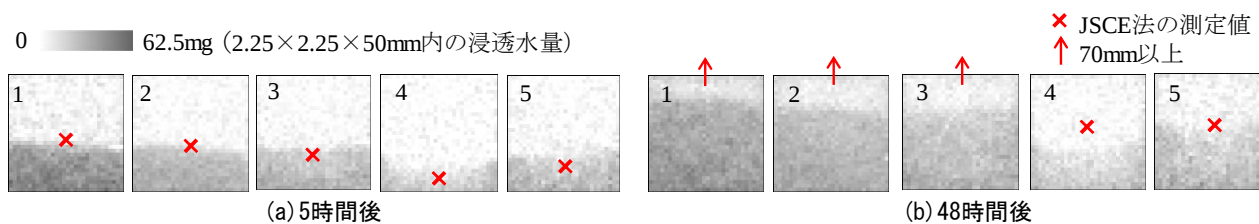
図-1 水分浸透深さLと浸漬時間 $\sqrt{t}$ の関係図-2 水分浸透量 W_t と水分浸透深さLの関係

図-3 48時間後の水分浸透の中性子イメージング

いたことである。JSCE法の供試体の割裂面は黒ずみ、湿っており、浸透深さの測定が困難であった。

JSCE法から得られた水分浸透深さ L と浸漬時間 t の平方根の関係を図-1に示す。図には、近似直線の式と R^2 値も示し、近似式 $L=A \cdot \sqrt{t} + B$ の A が水分浸透速度係数である。すべての供試体で高い相関が見られ、 W/C が小さくなるほど水分浸透速度係数も低下した。しかし、近似直線の切片 B にばらつきがあることから、同一 W/C の違いはあまり明確ではない。土木学会規準（案）解説に記された適用範囲（48時間の浸透深さが10mm以下）内ではあるものの、特に供試体4の B 値は大きく、低 W/C のコンクリートにJSCE法を適用する場合には注意が必要である。次に、水分浸透量 W_t と浸透深さ L の関係を図-2に示す。 W/C が50%以上であれば、水分が浸透した深さと量の間には比例関係が見られるが、 $W/C=40\%$ では相関性が低下した。さらに図-1と同様、供試体4のばらつきが特に大きくなったのは、他の供試体に比べて浸透した水分量が少ないこと、割裂面が黒ずんでいたことから、目視による浸透深さの測定誤差が大きくなったためと考えられる。また、同じ W/C で比較すると、単位セメント量が多くなるほど、水分浸透量が増加した。

図-3に水分浸透試験を開始してから48時間後の中性子イメージングを示す。浸透した水分量の多少は、グレーの濃淡で表されている。濃いグレー部分を浸透深さと判断すると、 W/C が大きいほど水分浸透が速くなり図-1と一致している。一方、水分浸透速度はJSCE法よりも遅いように見える。一般に乾燥しているほど水分浸透は速くなる傾向があり、また、JSCE法と供試体の形状も異なるが、JSCE法では非常に曖昧な浸透深さを目視判断しているものと考えられる。次にグレーの濃淡を見ると、供試体4の色が最も淡く、水分浸透量が少ないことがわかり、図-2と同様の傾向が認められた。これより、中性子イメージングはコンクリートの水分浸透性状を定量的に判断できる有効な手段であり、 $W/C=40\%$ の低水セメント比のコンクリートにも適用できることが示された。

5. まとめ

$W/C=40\sim60\%$ のコンクリートの水分浸透速度係数試験を実施し、JSCE法と中性子法の結果を比較した。中性子イメージングでは、JSCE法ではばらつきが大きい低水セメント比のコンクリートにも適用できることが示された。

参考文献

- 1) 吉村雄一，水田真紀，大竹淑恵，林崎規託：中性子イメージングによる厚さ5cmのコンクリート供試体に浸透する水の非破壊定量手法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1683-1688，2018。