

物質移動抵抗性の高いコンクリートに対する中性子イメージングによる水分浸透観察

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

2018 年に「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）」が制定され，鋼材腐食への水の影響が重要視されるようになってきた．ただし，本試験方法は，48 時間の水分浸透深さが 10mm を下回る緻密なコンクリートに適用する場合，測定誤差が大きくなるため水分浸透速度係数を算出しない方が望ましいと解説で示されている．本研究では，物質移動抵抗性が高いと予想される低水セメント比，混和材としてフライアッシュを添加したコンクリートの水分浸透を観察する手法として，中性子イメージングの適用性を検討する．なお，フライアッシュコンクリートの結果は既往研究 1)に含まれている．

2. 供試体概要

コンクリート配合を表-1 に示す．普通コンクリートは，角柱供試体（100×100×400mm）を 100 日間水中養生した後，表層すべてを 15mm 程度切り落とし，軸中央部分から 70×70×50mm の部分を切り出した．また，

フライアッシュコンクリートは W770×H540×D300mm の壁供試体を沖縄県海岸部に 7 年間暴露し，採取したコアから 50×50×10mm の部分を切り出した．普通コンクリートは 40℃の炉で 40 日間，フライアッシュコンクリートは 50℃の炉で 80 日間乾燥させ，水分浸透試験を開始した．なお，質量変化が 0.1%以下となったことを確認し，乾燥状態とした．

3. 中性子イメージングによる水分浸透挙動の観察

図-1 に中性子イメージングの概要と水分浸透過程で撮影した中性子透過像を示す．中性子源から出力される中性子線をコンクリート供試体に 3 分間照射し，透過した中性子線を中性子コンバータと CCD カメラから成る検出器によってデジタル画像に変換して（中性子線によるレントゲン写真に相当する）中性子透過像が出力される．セメントペーストや浸透水分に多く含まれる水素に中性子が散乱されて透過度が低下するため，水が分布する箇所に陰影がついた透過像が得られる．陰影の濃さは中性子線透過方向（透過像奥行方向）に

表-1 コンクリート配合

(a) 普通コンクリート

供試体 No.	W/C %	G _{max} mm	s/a %	単位量, kg/m ³					
				W	C	S1	S2	G	AE, %
N-50	50	20	43.9	165	330	551	239	1010	C×1.1
N-40	40		43.9	132	330	577	252	1057	C×2.5

(b) フライアッシュコンクリート

供試体 No.	W/B %	s/a %	F/(C+F) %	単位量, kg/m ³				
				W	C	F	S	G
FA_0	55	43	0	159	289	0	779	1,144
FA_20			20	151	220	55	785	1,154
FA_30			30	146	186	80	790	1,161

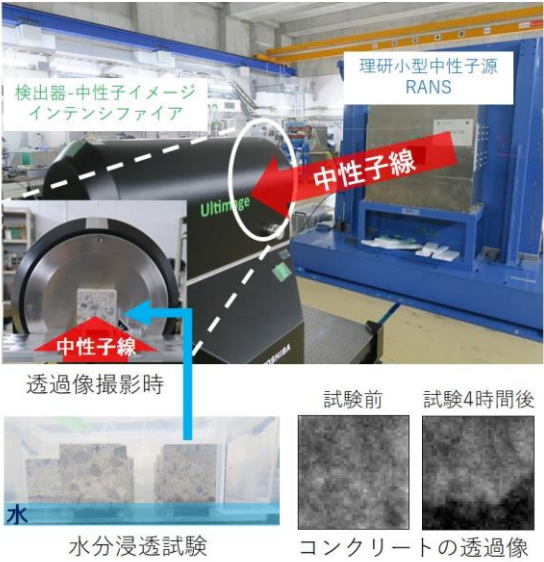


図-1 中性子イメージング概略図と中性子透過像

キーワード 中性子，水分浸透，イメージング，耐久性，非破壊

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 T E L 048-467-4583

存在する水量に対応するため画像解析によって浸透水分の定量評価を行う。中性子イメージングによる浸透挙動の観察にあたり、試験開始前（供試体乾燥時）に中性子透過像を撮影し、水分浸透試験を開始して一定時間後に再度撮影を行った。そして得られた透過像から水分浸透挙動の定量評価を行った。

4. 結果

図-2 に各供試体に浸透する水のイメージ（ ΔT とする）を示す。試験前後で撮影した中性子透過像を $I_{t=0}$, I_t とすると浸透する水のイメージ ΔT は試験前後の透過像の差分として以下の式で出力される。

$$\Delta T = -\ln\left(\frac{I_t}{I_{t=0}}\right) = a_w \cdot d_w \quad (1)$$

a_w は透過方向における単位長当りの水の減衰係数、 d_w は透過方向に存在する水量であり、厚さの次元を持つ。本評価における画素サイズは 2.25×2.25mm であり、供試体の全体範囲（画素数）にわたる ΔT の総和は、中性子透過像が示す吸水量に相当する。水のイメージ ΔT が示す各供試体の含水量分布から水平方向に画素値を足し合わせ、各高さに分布する吸水量（高さ方向に対する吸水量分布）を導出した結果を図-3 に示す。縦軸は 2.25mm 間隔で高さ方向に分布する吸水量をプロットした値であり、幅 70mm×厚さ 50mm×高さ 2.25mm の中に含まれる吸水量を示している。時間が経過しても吸水量が変わらなければ、その部分は飽水状態と考えられる。すべての供試体で試験開始後 23h 経過時に浸漬面から 15mm 程度は飽水状態となっており、飽和時の吸水量は水セメント比が高いほど増加した。N-50 の吸水量分布では浸漬面から離れるにつれて勾配が急峻に変化する変わり目が存在することが確認できるが、水分移動抵抗性の高い N-40 は浸漬面から一定の傾きを以って吸水量が 0 付近まで分布していることが明らかになった。

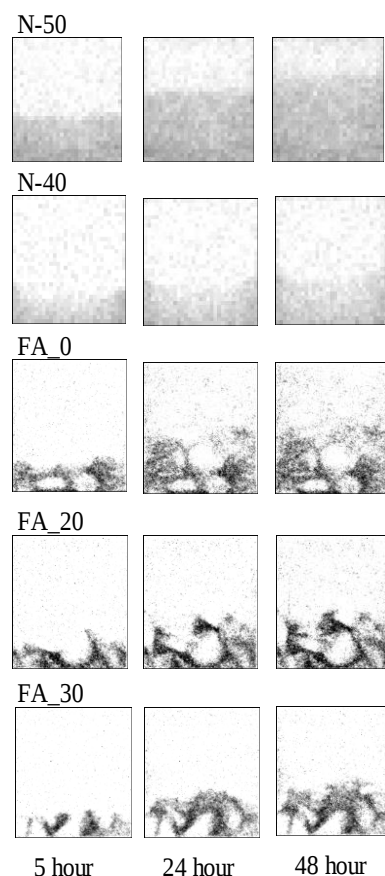


図-2 水分浸透のイメージ

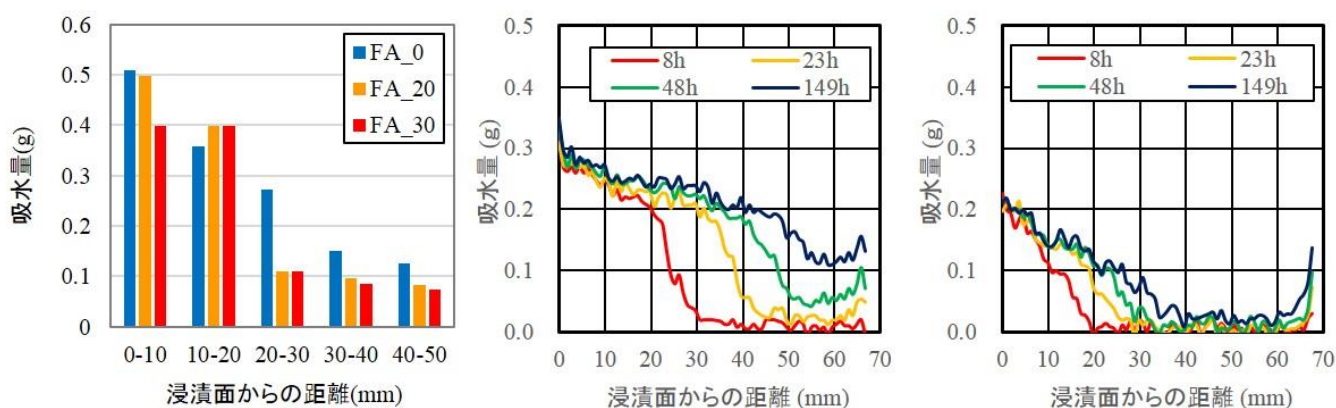


図-3 高さ方向に対する吸水量分布

(a) フライアッシュコンクリート

(b) N-50

(c) N-40

5. まとめ

低水セメント比、混和材としてフライアッシュを添加したコンクリートの水分浸透を観察する手法として、中性子イメージングによる方法が有効であることを示した。

参考文献

- 1) Y. Yoshimura, M. Mizuta, H. Sunaga, Y. Otake, Y. Ishikawa : Neutron transmission imaging of water penetration of fly ash concrete exposed in marine and inland environments, AILCD, pp.233-236, Feb. 2019.