

重水および軽水を用いたコンクリート試料に対する中性子小角散乱装置による実験的検討

若築建設(株) 技術研究所 正会員 ○秋山哲治, 長廻幹彦, 勝畑敏幸
茨城大学工学部 理工学研究科 小泉 智, 能田洋平, 前田知貴

1. はじめに

中性子ビームを用いた既往の研究は、水セメント比や給水時間をパラメータとして、コンクリート中の水の存在やその浸透状況を確認できるか否かを評価した事例があり、一般のコンクリート等を対象とした実験が殆どである。このため、中性子ビームで捉えた情報には、コンクリート固体中に在る自由水と外部からの供給水の両方が含まれているため、例えば水掛かりによる部材への水分浸透を評価する際に、供給水だけの挙動を正確に捉えているとは言い難い。そこで、コンクリートへの供給水の浸透挙動を把握することを目標として、重水および軽水を使用したコンクリート試料に対して中性子小角散乱装置による測定を試みた。以下では、測定結果の一部を報告する。

2. 中性子小角散乱装置による実験概要

2.1 実験概要

中性子小角散乱装置による測定は、J-PARC の中性子ビームライン BL-20 に設置された茨城県構造解析装置 (iMATERIA) を用いた。表-1 に中性子源の諸元、図-1 に中性子小角散乱の測定で用いた試料の作製等を示す。

測定は、コンクリート試料の両方向からパルス中性子線を入射させ、乾燥状態および供給水を与えた状態で測定を実施し、外部からの供給水の挙動の観察を試みた。コンクリート試料は、 $\phi 100 \times H200\text{mm}$ の高さ中央部から 70mm 角 $\times 20\text{mm}$ 厚を切り出して作製した。供給水は、図-1 に示すとおりコンクリート試料を縦置きにし、下面から 10mm 迄を水道水で満たす方法で供給水を与えた。中性子ビームは寸法 $5 \times 5\text{mm}$ で、コンクリート試料 70mm 角の測定面に対して垂直に照射した。観測の波数値は、 $q=0.001-4.0[\text{\AA}^{-1}]$ (実空間サイズ $600\text{nm}[\text{\AA}]$) のマルチスケール観察を行った。解析方法は、コンクリートの各計測位置で透過率の波長依存性を計測し、バックグラウンドを差し引いて静的構造因子 $S(q)$ 及び水に由来する非干渉性散乱の強度によりコンクリート中の水分の挙動を観察した。

2.2 コンクリート試料の概要

表-2 にコンクリート試料の配合を示す。実験は、外部からの供給水の挙動を捉えるため、コンクリートの練混水である軽水を重水で置き換えた試料を併せて作製し、供給水の挙動の時間変化を検討した。すなわち、練混水は重水と、比較のための軽水の2種類とし、水セメント比は共に60%で配合上の単位量を一定とした。練混水以外の材料は同じ材料を用いた。試験結果より、重水コンクリートの方が練混水の比重が大きいため、軽水コンクリートと比べて単位容積質量は若干大きい(容積が小さい)。材齢28日圧縮強度は、両者共に 31N/mm^2 程度であった。

表-1 加速器中性子源の諸元

項目	内容	
中性子発生源	パワー [kW]	600
	強度 [n/s]	1.6×10^{17}
実験における試料位置での中性子強度 [n/s/cm ² , 毎秒 cm ² あたりの中性子個数]	3×10^7 (E<0.5eV)	

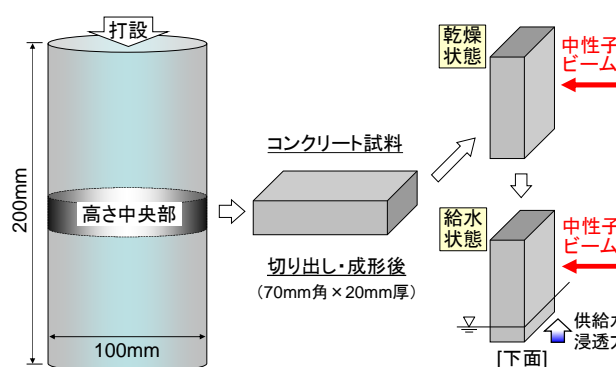


図-1 コンクリート試料の作製と測定時の設置概要

表-2 コンクリート試料の配合

水セメント比 [%]	細骨材率 [%]	単位量 [kg/m ³]					備考
		練混水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
60	46	170	283	832	1010	0.71	

【材料】 練混水 : 重水(試薬) 密度 1.10 g/cm^3 , 重水素化率 99.8%
 軽水(上水道水) 密度 1.00 g/cm^3
 セメント : 普通ポルトランドセメント 密度 3.16 g/cm^3
 細骨材 : 山砂 表乾密度 2.60 g/cm^3 , 吸水率 1.91%
 粗骨材 : 石灰砕石 表乾密度 2.69 g/cm^3 , 吸水率 0.50%
 混和剤 : 粉末混和剤リグニン系粉末混和剤

【試験結果】 ※単質: 単位容積質量, 圧縮強度: 材齢 28 日(封緘養生 20°C)
 ・重水コンクリート: 単質 2419kg/m^3 , 空気量 1.1%, 圧縮強度 31.0N/mm^2
 ・軽水コンクリート: 単質 2377kg/m^3 , 空気量 1.1%, 圧縮強度 30.9N/mm^2

キーワード : 中性子小角散乱, 重水コンクリート, 水分浸透, 非破壊, 耐久性

連絡先 : 〒153-0064 東京都目黒区下目黒 2-23-18 若築建設(株) 技術研究所 TEL 03-3492-0285

3. 実験結果

図-2 に重水コンクリートを用いた中性子小角散乱の計測位置 (Position 0~11 : ●・●) 及び実験状況を示す。コンクリート試料は、70mm 角の下側 10mm が軽水 (水道水) に浸漬するように設置し、水位面を Position 0 とした。また、中性子線が供給水に触れないように水槽の手前と背面にカドミウムの板を設置した。水位面 (Position 0 : カドミウム板の上部) から等間隔 5mm で中性子線の透過率及び小角散乱、回折を計測した。

図-3 に供給水を与える前の乾燥状態の透過率の計測位置依存性について整理する。図-2 に示すとおり骨材とモルタルを交互に横断するように各位置の透過率を計測した。図-3 に示す透過率と波長の関係を概観すると、大別して2種類のスペクトルが確認できた。まず、Position 4 と 11 では透過率が波長に依存して大きく変動しており、これは骨材に中性子線があたり骨材の組織構造 (結晶構造) を反映した結果であると考えられた。一方、これ以外の計測位置では、透過率が波長に対して単調に減少しており、モルタルが多い部分に中性子線を照射した結果を反映していると考えられた。

次に、透過率の計測位置依存性と供給水を与えた後の透過率の時間変化 (Position 1 と 6) について考察する。モルタル部分である Position 1 と 6 (各々は、水位面より 5mm 上・30mm 上) について供給水を与えて水の浸透状況を追跡した。図-4 は Position 1 の透過率の時間変化を各波長で整理した。透過率 T は指数関数 ($T \sim \exp[-t/\tau]$) に従って減衰し、この減衰傾向が緩和される時間 τ はおよそ 62 分となり、各波長について共通した結果であった。一方、図-5 は Position 6 の透過率の時間変化を各波長で整理しており、骨材が主体となる Position 4 の上部に位置する結果である。図より、透過率の時間変化は殆ど確認できず、供給水の吸い上げが Position 6 まで到達していないことが推察された。Position 1 と 6 の計測結果より、試料が乾燥状態の場合は中性子線の透過率が同じ傾向を示したが、供給水を与えた場合では、供給水の浸透状況によって計測位置の透過率の結果が異なることを確認した。このことから、中性子小角散乱装置を用いて、供給水の挙動を定量的に捉えられる可能性が示唆された。

4. 今後の実験計画

今後は、コンクリート試料中の骨材位置の影響、供給水の水位面からの高さ、コンクリート表面から厚み方向の水分量の分布等について、中性子小角散乱および回折の結果を交えて詳細な解析を行う計画である。

参考文献 1) 日本コンクリート工学会: 中性子を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム, 委員会報告書, 2021.9 2) 吉村, 水田, 須永, 大竹: 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, 土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, V-479, 2019.9

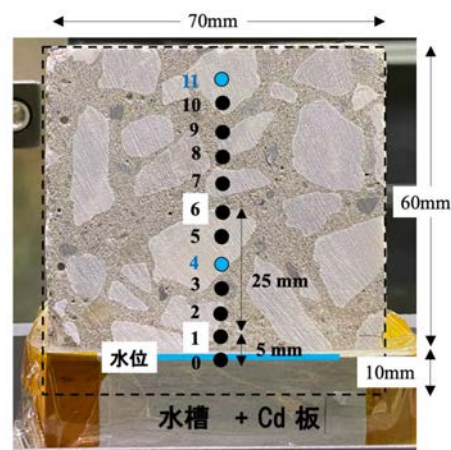


図-2 中性子小角散乱の計測位置及び実験状況

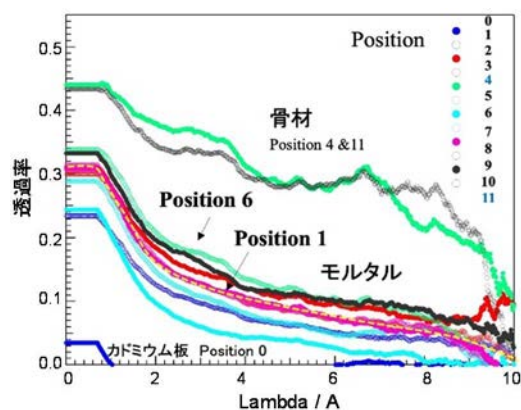


図-3 乾燥状態【重水】コンクリートの結果

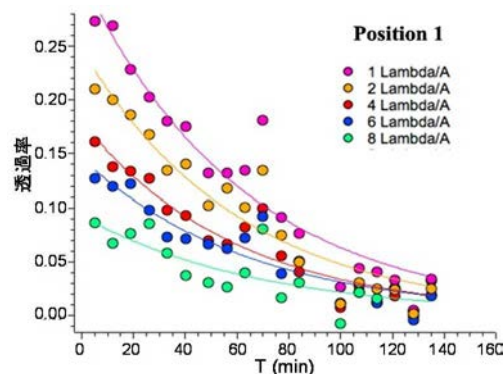


図-4 給水状態【重水】コンクリートの結果

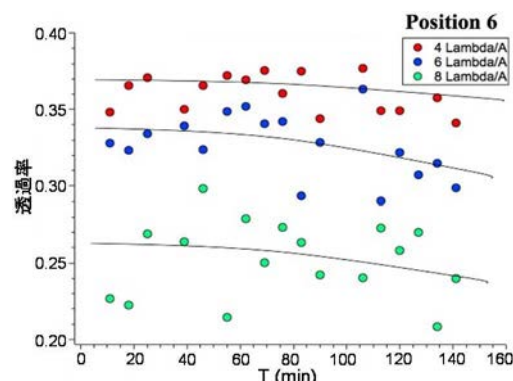


図-5 給水状態【重水】コンクリートの結果