

# 小型加速器中性子源 RANS を用いたコンクリート内への水分浸透の 定量化によるコンクリートの耐久性評価

## EVALUATION OF DURABILITY OF CONCRETE BY QUANTIFICATION OF WATER PENETRATION INTO CONCRETE WITH RIKEN COMPACT ACCELERATOR- DRIVEN NEUTRON SOURCE RANS

吉村雄一<sup>#, A) B) C)</sup>, 水田真紀<sup>B)</sup>, 須長秀行<sup>B)</sup>, 大竹淑恵<sup>B)</sup>, 林崎規託<sup>A)</sup>

Yuichi Yoshimura<sup>#, A) B) C)</sup>, Maki Mizuta<sup>B)</sup>, Hideyuki Sunaga<sup>B)</sup>, Yoshie Otake<sup>B)</sup>, Noriyosu Hayashizaki<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>B)</sup> RIKEN Center for Advanced Photonics

<sup>C)</sup> Topcon Corporation

### Abstract

Water distribution or content in concrete may affect the deterioration process of the concrete, it is possible that the measurement of water in concrete will be useful for evaluating the durability of the concrete. However, there had been few convenient methods of measuring water in concrete. We adopted neutron beam with high transmissivity for concrete and sensitivity for hydrogen and observed the water penetration into damaged concrete quantitatively by neutron transmission imaging. Consequently, the water penetration was dependent on the deterioration rate. Compact accelerator-driven neutron source can be an accessible equipment for the analysis of concrete.

### 1. はじめに

コンクリート内への水分浸透は構造物を劣化させる鋼材腐食の進行に大きく影響を与えており、水分浸透速度係数を構造物の耐久性に反映した設計手法が 2017 年に改訂されたコンクリート標準示方書で示された[1].

水分浸透の評価は測定手法の不足により精度や再現性といった信頼性が現状確認されておらず、多種に及ぶコンクリートの水分浸透性状は明確に把握できていない。そこで筆者らはコンクリート内の水分浸透の観察手段に理研小型加速器中性子源 RANS を利用した中性子イメージングを適用し、水分量の定量手法について検討を行ってきた[2]. RANS は 2013 年 1 月に中性子発生に成功して以来、現在に至るまで安定的に稼働し、常時中性子ビーム利用が可能な小型中性子源である。インフラ材料の非破壊検査として鋼材塗膜下の腐食の可視化やコンクリート床版内部の劣化や欠陥の検出に成功した実績[3]があり、可搬型中性子源の開発といった更なる小型化にも取り組んでいる[4]ことから今後一層の利用拡大が期待されている。上記の背景より測定データの蓄積に適した小型加速器中性子源の特徴を活かして劣化程度や配合の異なるコンクリートの水分浸透について評価を行っている。そこで今回はコンクリート試料の内包する水分の非破壊定量に基づく水分浸透性状とコンクリートの劣化パラメータとの関係について非破壊手法による評価を実施した。

### 2. 中性子イメージングによる水分浸透評価

Figure 1 に理研小型中性子源 RANS を利用した中性子イメージングの概略図と厚さ 10mm のコンクリートに対する中性子透過像を示す。陽子線ライナック (Accsys

technology 社 PL-7) により加速された陽子線パルス(エネルギー:7MeV, 繰り返し周波数:100Hz, パルス幅:60 $\mu$ s) が Be ターゲットに衝突して高速中性子が発生し、ポリエチレンモデレータによって減速した結果、エネルギー 50meV と 1MeV にピークが存在するスペクトル[3]を持つパルス中性子がビーム開口を通じて空間出力される。ビーム中心軸上にコンクリート試料を、試料背面にイメージング検出器を配置して透過型イメージングの構成とした。検出器には熱中性子に高い感度を示す中性子イメージンテンシファイア(9 インチ Gd タイプ, 以下中性子

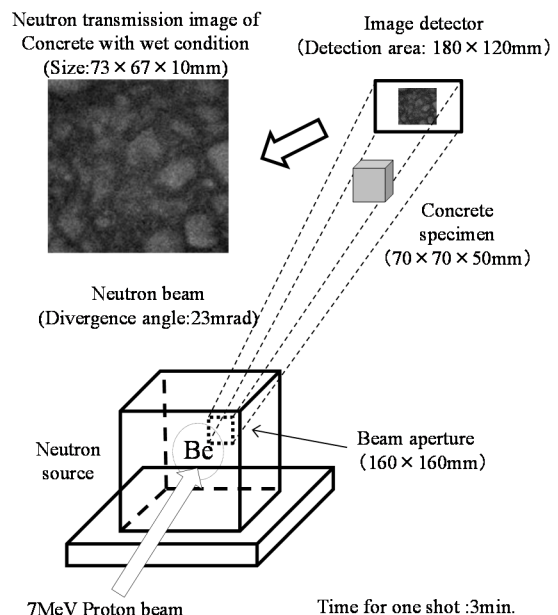


Figure 1: A schematic view of neutron imaging with compact neutron source RANS.

# yuichi.yoshimura@riken.jp

II)を使用した。中性子 II はタイミングゲート動作機能を備えており、パルス中性子の飛行時間差を利用したエネルギー選択型イメージングや混入する $\gamma$ 線成分のブランキングに利用可能である。

はじめに、供試体底面から吸水を行うよう底面から2mm程度の高さまでの水を張り、供試体をセットして吸水を開始した。なお、全ての供試体において打設面を上面とした。撮影時は供試体を容器から取り出して計量を行った後、検出器前に設置して中性子ビームを3分間照射し、イメージングを行った。終了後再び水を張った容器に供試体を戻して吸水を再開させ、この行程を繰り返すことで供試体の吸水過程におけるイメージングを実施した。

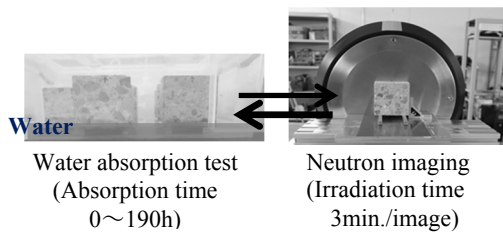


Figure 2: Process of water penetration testing evaluated by neutron imaging.

本評価では反応断面積の大きい水素、すなわちコンクリート内に浸透する水が中性子を散乱して吸水前後のコンクリートに対する透過度の差として現れる特性を利用して定量評価を実施した。コンクリートを構成するセメント、骨材、水が独立に中性子に作用して透過像として出力されることから、吸水前後の透過像( $I_{t=0}, I_t$ とする)の差分から浸透した水のみを抽出した透過像 $\Delta T$ が得られる (Eq. (1)) .

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

$a_w$  は単位長当りの水の減衰係数、 $d_w$  は中性子線が透過する方向 (すなわち試料の厚さ方向) に存在する水の総和を示す。Figure 3 に無劣化コンクリートの吸水1, 2, 8日後の吸水量と外観, 中性子イメージングにより取得した透過像 $\Delta T$ の経過を示す。浸漬面より1cm程度の高さまでぬれが進行している様子は外観より確認できるが表面乾燥により以後の経過を目視で観察することはできなかった。一方、透過像 $\Delta T$ は吸水量の増加につれて浸透範囲が広がる様子を確認できる。そこで評価した試料3種に対して透過像全体にわたる $\Delta T$ の総和と秤量した吸水量の関係を出力し、定量性の確認を行った。Figure 4 に示す。画像が示す吸水量と秤量値の間に一定の対応関係を確認することができ、緩やかに進行する水分浸透を定量的に非破壊観察できる見通しが得られた。本学会では、この定量性を利用して劣化コンクリート2

吸水時間 (day)	1	2	8
吸水量 (g)	14	19	30
外観			
中性子透過像			

Figure 3: Time progress of photo and transmission image  $\Delta T$  in water absorption test.

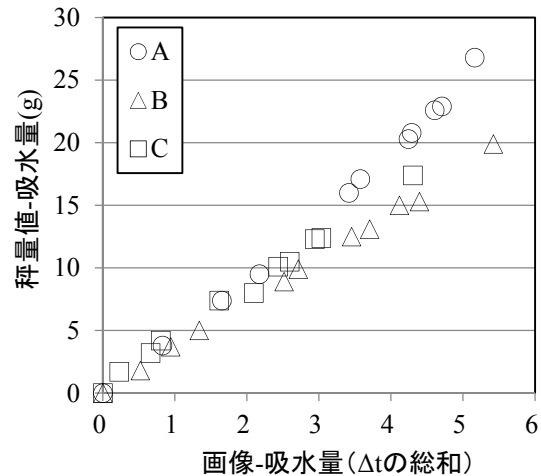


Figure 4: Quantitativity of transmission image  $\Delta T$ .

種と無劣化コンクリート1種 に対する水の浸透性状を数値化し、劣化度と水分浸透の関係を評価した結果について報告する。

## 参考文献

- [1] 2017年制定コンクリート標準示方書改訂資料, pp. 54-66.
- [2] 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.
- [3] Y. Otake *et al.*, “Research and Development of a Non-Destructive Inspection Technique with a Compact Neutron Source”, Journal of Disaster Research, Vol.12, No.3, pp. 585-592, 2017.
- [4] 小林知洋, 大竹淑恵, 池田裕二郎, 串間祐亮, 林崎規託, “加速器駆動可搬型プロトタイプ中性子源 RANS2”, Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp. 1226-1227, 2017.