

小型加速器中性子源 RANS による水分変化測定に基づく コンクリート評価手法の開発

DEVELOPMENT OF THE EVALUATION METHOD OF CONCRETE BASED ON THE WATER CONTENT MEASUREMENT WITH A COMPACT ACCELERATOR-DRIVEN NEUTRON SOURCE RANS

吉村雄一^{#, A) B) C)}, 水田真紀^{B)}, 須長秀行^{B)}, 大竹淑恵^{B)}, 林崎規託^{A)}

Yuichi Yoshimura^{#, A) B) C)}, Maki Mizuta^{B)}, Hideyuki Sunaga^{B)}, Yoshie Otake^{B)}, Noriyosu Hayashizaki^{A)}

^{A)} Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

^{B)} RIKEN Center for Advanced Photonics

^{C)} Topcon Corporation

Abstract

Concrete structures such as bridges have been deteriorating by influence of rain, snow, salty wind and antifreeze. At present, many people concern about the durability for deterioration, evaluation methods and indexes are discussed actively in the management of infrastructures. We develop the nondestructive inspection technique for the purpose of contribution to efficient management with the RIKEN accelerator-driven compact neutron source RANS, and observe the water penetration into concrete which influences the deterioration progress of rebar corrosion by neutron imaging. We studied the measurement of water content in concrete which has thickness of several centimeters. Measurement method and water penetration into concrete which has 5cm thickness were discussed.

1. はじめに

インフラ構造物は長期供用される中で、交通量や天候の影響を受けて劣化が進み、コンクリートのひび割れや鋼材腐食といった損傷が様々なところで確認されている。こうした症状は寒冷地や海沿いといった自然環境の厳しい地域に限らず、日当たりが悪い場所や水がかりの見られる箇所が発生しており、コンクリートに浸透する水を評価することは劣化のしやすさを評価する上で重要であると考えられる。コンクリートに浸透する水を可視化するツールとして中性子は以前にも大型加速器や原子炉施設で利用された報告がなされているが、様々な配合や材料で作られるコンクリートの違いを中性子で手軽に評価する環境が得られていない現状にある。

理化学研究所ではアクセシビリティに優れる理研小型中性子源システム RANS[1-3]を利用した中性子回折による金属材料の集合組織の解析[4]や鋼板塗膜下の腐食イメージング[5,6]、コンクリート床版内部の劣化や欠陥の検出技術[7]を開発して、産業・インフラ分野への応用展開を推進すると同時に小型中性子源の利用拡大を図っている。そこで筆者らは小型中性子源の利便性を活かした中性子イメージングの技術確立に取り組みながら、コンクリート中の含水量やその経時変化である水の浸透の評価に基づくコンクリートの新たな評価手法を検討している。

今回は均質性が得られる数 cm 程度の厚さを有するコンクリートに対して、浸透する水の測定可能性を検討する為、厚さ 5cm のコンクリートにおいて進行する水の浸透性状を中性子イメージングによって評価した。

2. RANS による中性子イメージング

Figure 1 に RANS による中性子イメージングにおける実験セットアップを示す。RANS はイオン源、線形加速器 (RFQ および DTL)、およびターゲットステーションから成っており、イオン源から発生した陽子を加速器内で 7MeV まで加速させ、ターゲットステーション内の Be に衝突させることで中性子発生を行う。そして、ポリエチレンモデレータを Be ターゲットに隣接配置し、高速中性子と熱中性子を同時に出力している。中性子検出器には東芝製中性子イメージインテンシファイア (9 インチ、Gd タイプ) を使用した。Table 1 にイメージング装置の仕様を示す。中性子束は Be ターゲットから 5m 離れた位置での値を示した。中性子ビームの照射時間は 3 分/枚であり、コンクリートサンプルを透過して検出面に到達する中性子を 3 分間積算した画像イメージを取得した。

Table 1: Specification of Neutron Imaging with RANS

Neutron flux	5.0×10^4 n/cm ² /sec
Beam divergence angle	23 mrad
Pixel size	45 μm
Beam irradiation time	3 min. /image
Detection surface size	180×120 mm

[#] yuichi.yoshimura@riken.jp

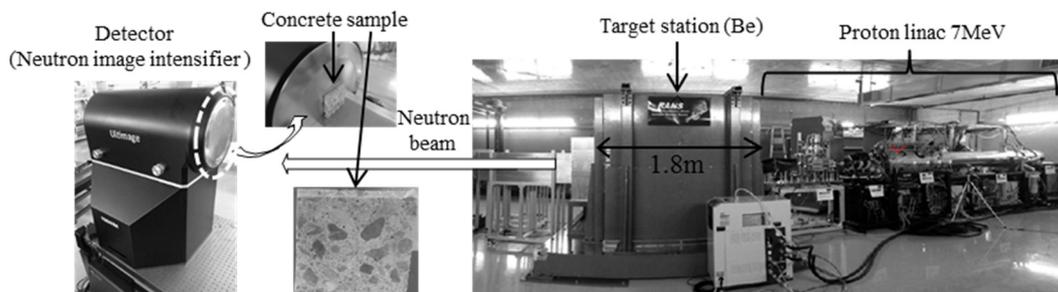


Figure 1: Experimental setup of neutron imaging with RANS.

3. コンクリート内の水分変化測定

本実験では水がかりのある環境下でコンクリートに水が浸透する様子を模擬した実験としてコンクリートが底面から自発的に水を吸収する吸水試験を実施した。そして試験中に都度、中性子イメージングを行いコンクリート内の水分を測定した。サンプルにはサイズ:73×67×50mm、水セメント比 55%のコンクリート供試体を用意した。サンプルは質量が変化しない程度まで長時間炉で乾燥させた状態を作成して試験を開始した。吸水試験の様子を Fig. 2 に示す。プラスチック容器に 10mm 程度の高さまで水を張り、容器内に設置した 8mm 角のアルミ角棒上にサンプルを置くことで下面 2~3mm が浸水する状態とし、約 1 週間にわたって試験を行った。測定時は容器からサンプルを取り出して計量を行った後、検出器前に設置して 3 分間中性子ビームを照射しイメージングを行った。照射後は再び容器内にサンプルを戻して吸水試験を再開し、上記のプロセスを反復してコンクリートに浸透する水の測定を行った。中性子イメージングによって得られたイメージは、イメージ上に現れる放射線ノイズ(外れ値)の除去や暗電流補正を行った後、サンプルのない状態で取得したイメージを用いてシェーディング補正を行うことでサンプルの有無による中性子強度の比を示す透過イメージを導出した。そして、試験前の乾燥状態と試験中の含水状態のイメージの差分画像を導出することで浸透する水の透過イメージを出力した。Figure 3 に吸水試験開始から 8.3 時間および 25.1 時間経過した際に浸透した水の透過イメージを示す。浸透した水の分布によって透過率の低下している部分をグレースケール画像として表示している。影の濃さは画像の奥行方向に存在する水の厚さに対応するものである。

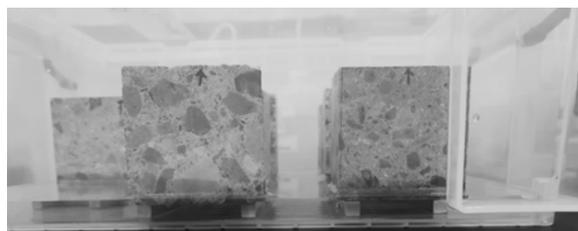


Figure 2: Water absorption test.

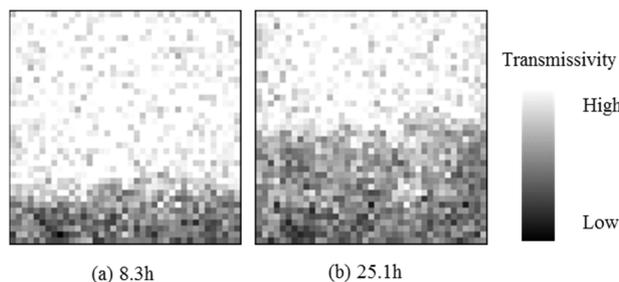


Figure 3: Transmission image of water penetrating into concrete.

吸水時間の経過につれて水の浸透が進んでいる様子を確認できる。25 時間経過時においては、サンプルの半分程度の高さ(3~4cm)まで水が浸透していた。この際の吸水量は 13.6g であり、中性子が入射する表面の面積で吸水量を割ると奥行方向に 3mm~6mm 程度の厚さで水が存在していることになり、小型中性子源を利用したイメージングにおいて高感度に水の分布を捉えていることがわかる。なお、水の透過イメージにおいて離散的に分布する透過率の低い画素は中性子の統計誤差によるものであり、水の有無に関わらずシェーディング補正を行った透過イメージにバラつきとなって現れたものである。このようにして得られた水の透過イメージの画素値を利用して、経時変化する水の浸透度合を評価した。Figure 4 に示す。横軸には奥行方向に存在する水の厚さに対応する画素値を水平方向にわたって積算した値をプロットした。グラフ内の数字は吸水開始時からの経過時間を

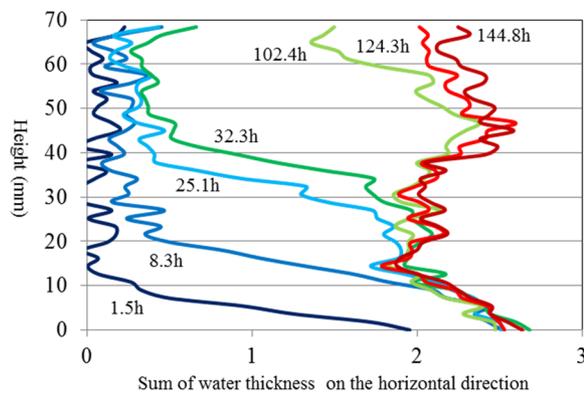


Figure 4: Progress of water penetration.

表している。縦軸はコンクリートサンプルの高さであり、縦軸と横軸の積が浸透した水の量に相当する。高さ 10mm 以下の部分は 8.3h 経過時に既に水の浸透度合が飽和した状態であり、以後時間経過しても浸透が進まない結果となっている。そして、時間経過と共に底面に近い部分から水の浸透度合が飽和しながら浸透高さが上昇していくことが確認され、吸水開始後 124 時間後にはサンプル上面まで水の浸透が進んだことが明らかになった。

4. まとめ

小型中性子源を利用して、厚さ 5cm のコンクリート底面から浸透する水に対して中性子イメージングを実施した結果、コンクリート内部の水の分布を可視化した。また、7 日間に渡る水の動きの経時変化を捉えた。これまでコンクリートにおける水の浸透は埋込型の湿度センサや割裂したコンクリートの目視検査によって測定が行われており、非破壊で水の 2 次元分布を評価する中性子イメージングの技術はコンクリート工学分野で広く認知されるに至っていない。今後は小型中性子源による様々な種類のコンクリート材料に対してイメージングを行い、蓄積した結果からコンクリートの配合や材料・劣化の程度が水の浸透性状に及ぼす影響を考察し、コンクリートの品質を評価する新たな手法を開発する予定である。

参考文献

- [1] 広田克也, 大竹淑恵, 山形 豊, 王 盛: 理研陽子加速器中性子源 RANS, Isotope News, No.717, pp.36-38, 2014.
- [2] 大竹淑恵: 理研小型中性子源 RANS と鉄鋼材料解析, 第 227 回・228 回西山記念技術講座「鉄鋼の製造プロセスを革新し続けるセンシング技術」, pp.103-125, ISSN 1344-0934, 2016.
- [3] Otake, Y. (as a partial author of following chapter), Uesaka, M. and Kobayashi, H.: Compact Neutron Sources for Energy and Security, Reviews of Accelerator-Science and Technology 'Accelerator Applications in Energy and Security', Vol.08, pp.196-198, 2015.
- [4] Y. Ikeda, M. Takamura, A. Taketani, H. Sunaga, Y. Otake, H. Suzuki, M. Kumagai, Y. Oba and T. Hama : "Measurement of neutron diffraction with compact neutron source RANS", IL NUOVO CIMENTO C, Vol.38, Issue 6, 177, 2015.
- [5] 山田雅子, 大竹淑恵, 竹谷 篤, 須長秀行, 山形 豊, 若林琢己, 河野研二, 中山武典: 小型中性子源を使った塗膜下腐食鋼材の非破壊イメージング観察, 鉄と鋼, Vol.100, pp.429-431, 2014.
- [6] Taketani, A, Yamada, M. , Ikeda, Y. , Hashiguchi, T. , Sunaga, H. , Wakabayashi, Y. , Ashigai, S. , Takamura, M. , Mihara, S. , Yanagimachi, S. , Otake, Y. , Wabayashi, T. , Kono, K. , and Nakayama. T., "Visualization of water in corroded region of painted steels at a compact neutron source", ISIJ International Vol. 57, No.1 (2017) pp.155-161, DOI: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-448.
- [7] 池田義雅, 大竹淑恵, 柳町信三, 橋口孝夫, 水田真紀: 小型中性子源による床版内部の水・空隙非破壊観察技術, 第九回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.93-98, 2016.