

含水比 0%の東北珪砂 5 号における中性子線散乱成分の実験的測定

早稲田大学 学生会員 ○那須郁香, 学生会員 吉川絵麻
正会員 小峯秀雄, フェロー会員 後藤茂
ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 吉村貢

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した福島第一原子力発電所事故により, 事故由来の放射性物質により汚染された瓦礫類が復旧工事等で発生し, 表面線量率 1~30 mSv/h 程度の瓦礫類は一定期間覆土式一時保管施設に保管されている¹⁾. 覆土式一時保管施設の覆土には, 瓦礫類から放出される放射線を遮蔽し周辺環境への影響を低減することが期待されている. 加えて, 安価で容易に手に入ることから, 応急処置的な遮蔽材として土質材料を使用する可能性がある. このため, ガンマ線および中性子線に対する土質材料の遮蔽性能を定量的に評価することが重要である. 著者らは土質区分の異なる様々な土質材料に対して放射線遮蔽実験²⁾を実施してきた. 図 1 に放射線遮蔽実験の概要図を示す. 低含水比の土質材料における中性子線遮蔽特性について, 実験条件に依存して測定結果に影響が生じる可能性が窺えた. 水分子中の水素原子との衝突によりエネルギー減衰する特性を持つ中性子線は, 低含水比の試料を透過する際に散乱することで飛程方向が変化することが推察された. そこで本論文では, 絶乾状態の試料に対する中性子線の散乱の有無と散乱方向の傾向を調査した.

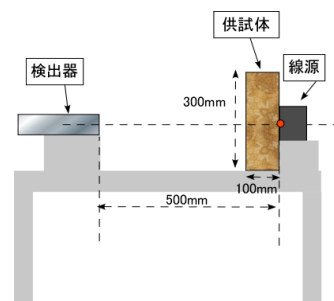


図1 放射線遮蔽実験概要図

表1 東北珪砂 5 号の基本的性質

	東北珪砂 5 号
土粒子密度 (g/cm ³)	2.62
液性限界 w_L (%)	NP
塑性限界 w_p (%)	NP
塑性指数	-
自然含水比 (%)	0.0
主成分 ³⁾	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , CaO, Na ₂ O, K ₂ O, TiO ₂

2. 使用した試料の基本的性質

表 1 に使用した東北珪砂 5 号の基本的性質を示す. これまでの遮蔽実験では, 粘性土のクレーサンド, 非塑性シルトの DL クレー, 火山灰粘性土の焼成ロームおよび東北珪砂 5 号について, 含水比 $w=0.0\sim6.0\%$ で中性子線の透過線量の低減が確認された. 中性子線の減速能の極めて大きい水素原子核を有する水分をほぼ含まない状態であるため, 中性子のエネルギー減衰はほとんど生じないことが予想される. このため, $w=0.0\%$ での東北珪砂 5 号の中性子線の散乱成分の有無を測定する必要がある.

3. 東北珪砂 5 号を対象とした円筒アクリルを用いた放射線の散乱成分測定試験

図 2 に中性子線の散乱成分測定実験概要図を示す. アクリル製の円筒容器の中に固定台とともに線源を設置した. また, 線源の設置高さ検出器の高さが 190mm に等しくなるよう調整した. 供試体作製については, 円筒容器に線源を設置し, その後東北珪砂 5 号を投入し, 所定の湿潤密度まで締固めを行い高さ 450mm まで試料を充填した.

図 3 に散乱成分測定方法を示す. 放射線測定は, ターンテーブルを回転させ, 線源の直進方向と検出器のなす角度を回転角度とし, 0°, 45°, 90°, 135° および 180° の順に測定を行なった. 0° ~180° と 180° ~360° は方向特性が等しいと考え, 0° ~180° のみを測定することとした. 本方法により, 散乱によって飛程方向が変えられた放射線を測定することができる. 表 1 に放射線散乱成分測定実験の条件を示す. 含水比 $w=0.0\%$ の東北珪砂 5 号の他に, 比較のため, 線源ありの状態の空アクリル円筒容器, 水道水, また円筒容器のない線源のみでも各中性子線の到達線量を測定した. また, 東北珪砂 5 号のみ突き固めにより充填し, 湿潤密度は 1.69 g/cm³とした.

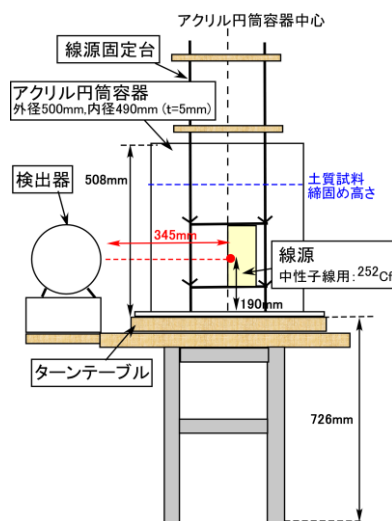


図2 中性子線の散乱成分測定概要図

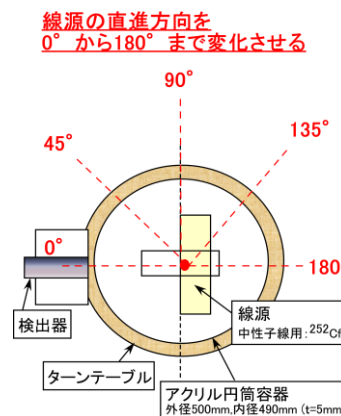


図3 散乱成分測定方法

キーワード 覆土, 放射線遮蔽, 中性子線, 低含水比, 散乱成分

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 TEL:03-5286-2940

表 1 放射線散乱成分測定実験の条件

試料	東北珪砂 5 号	水道水	空アクリル円筒容器	線源のみ
含水比 w (%)	0	—	—	—
層厚	最大 245mm, 最小 120mm	—	—	—
高さ(cm)	45	45	45	45
作製方法	ランマーによる突き固め 突き固め回数: 288 回(砂置換法より算出)	充填	—	—
湿潤密度 (g/cm^3) または密度(g/cm^3)	1.69	1.00	—	—
測定項目	ガンマ線, 全中性子線, 速中性子線, 熱中性子線			
測定間隔(mm)	345			
測定時の回転角度(°)	0, 45, 90, 135, 180			

4. 含水比 $w=0.0$ %の東北珪砂 5 号を対象とした中性子線の散乱成分の評価

図 4～図 6 に回転角度と全中性子線, 速中性子線, 熱中性子線の到達線量の関係をそれぞれ示す. 測定条件の「空アクリル円筒容器」と「線源のみ」は各中性子線の到達線量についてほぼ同様の挙動を示し, 「水道水」は他条件に比べ最も低い値となった. この結果から, 線源から放出された中性子線は空アクリル円筒容器による吸収や散乱の影響をあまり受けずに検出器に到達すると思われる. 加えて回転角度による到達線量の変化は, 本実験で線源から出た中性子線は完全な一次元的方向ではなく主軸方向以外にも放出された可能性を示唆している.

図 4 より, 「線源のみ」および「空アクリル円筒容器」と比較し「 $w=0.0$ %の東北珪砂 5 号」の全中性子線到達線量は, 0° と 45° において減少し, 90° と 135° において同程度となり, 180° で再度僅かに減少した. 図 5 より, 「線源のみ」および「空アクリル円筒容器」と比較し「 $w=0.0$ %の東北珪砂 5 号」の速中性子線到達線量は, 0° と 45° において減少し, 90° と 135° では増加した. つまり, $w=0.0$ %の東北珪砂 5 号を容器に充填した場合の中性子線の挙動は, 線源主軸方向付近では到達線量が減少し, 主軸直角方向では到達線量が増加したことが分かる. 試料の含水比は 0.0 %であり水分子がほぼ存在しない状態のため, 全中性子線および速中性子線が試料構成元素内の原子核と衝突することによるエネルギー減衰の程度は小さいと考えられる. このことから, 中性子線は速中性子線のエネルギーレベルで散乱によって飛程方向がランダムに変化し, 線量の高かった線源主軸方向の到達線量は減少し, 線量の低かった線源主軸直角方向は増加したと考えられる. 図 6 より, 「 $w=0.0$ %の東北珪砂 5 号」の熱中性子線到達線量は $0^\circ \sim 135^\circ$ においてほぼ一定となり 180° で増加し, 「空アクリル円筒容器」と「線源のみ」に比べ相対的に高い結果となった. 加えて, 「空アクリル円筒容器」と「線源のみ」で方向特性が表れている一方, 「 $w=0.0$ %の東北珪砂 5 号」は方向特性が表れない結果となった. これは, $w=0.0$ %の東北珪砂 5 号の供試体内で十分に散乱した速中性子線が熱中性子線になったため, 予想される飛程方向以外へ進行方向がランダムになったことにより, 熱中性子線到達線量が回転角度の変化による影響が見られなかったと考えられる.

5. まとめ

本論文では, アクリル円筒を用いて含水比 $w=0.0$ %の東北珪砂 5 号について 0° , 45° , 90° , 135° および 180° の順に, 全中性子線, 速中性子線, 熱中性子線の検出器への到達線量を測定し, 以下の知見を得た.

- 1) 回転角度 0° と 45° において全中性子線, 速中性子線の到達線量が低減され, 回転角度 90° , 135° で速中性子線到達線量が増加した. このことから, 含水比 0.0 %の東北珪砂 5 号でも中性子線が原子核と衝突することでエネルギー減衰された可能性, 速中性子線のエネルギーレベルで散乱による飛程方向の変化が考えられる.
- 2) 熱中性子線到達線量は, 回転角度の変化に依らずほぼ一定となった.

謝辞: 本研究の一部は, 文部科学省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」の採択課題「福島第一原子力発電所構内環境評価・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的な新技術開発と人材育成プログラム(地盤工学会)」の支援により得られたものです. ここに感謝いたします. 【参考文献】1)東京電力株式会社: 福島第一原子力発電所覆土一時保管施設の増設について, 2013 2)吉川絵麻・小峯秀雄・後藤茂・吉村貢・鈴木聡彦・成島誠一・新井靖典・氏家伸介・佐古田又規・長江泰史: 土質系材料の放射線遮蔽性能の定量評価, 土木学会論文集(地盤工学 C)73 号巻 4 号, pp.342-354, 2017. 3)北日本産業株式会社 HP: 東北珪砂データベース, (閲覧日: 2018 年 3 月 29 日), <http://www.catvy.ne.jp/~ktsangyo/data1.htm>

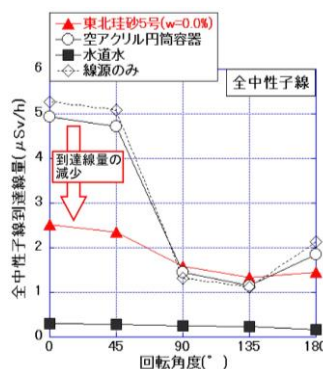


図 4 回転角度と全中性子線の到達線量の関係

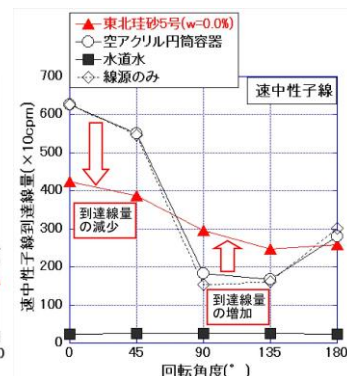


図 5 回転角度と速中性子線の到達線量の関係

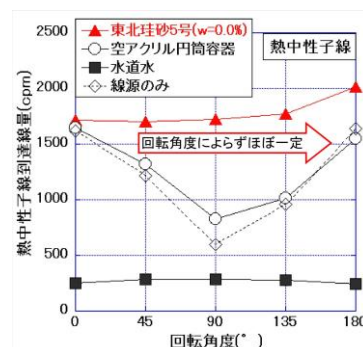


図 6 回転角度と熱中性子線の到達線量の関係