

バライト沈降層のガンマ線・中性子線遮蔽性能に関する定量評価 および遮蔽体密度構造とガンマ線遮蔽性能の関係についての考察

早稲田大学 学生会員 ○宮路将人 学生会員 吉川絵麻 学生会員 瀬川一義 学生会員 那須郁香
早稲田大学 正会員 小峯秀雄 フェロー会員 後藤茂 非会員 王海龍
ソイルアンドロックエンジニアリング 正会員 吉村貢
NB 研究所 正会員 氏家伸介 正会員 成島誠一 正会員 長江泰史

1. はじめに

2011年に深刻な事故を起こした福島第一原子力発電所では、廃炉に向けて建屋の解体・デブリ取出しといった高放射線量下での作業が想定されている。これらの作業には放射線遮蔽や放射性物質飛散防止の技術が必要と考えられ、土質系材料は放射性物質を覆うことでこれらの課題解決に貢献できる可能性がある。そこで本研究では、高い土粒子の密度を有するバライト粉末 ($\rho_s=4.34 \text{ g/cm}^3$) を泥水中で沈降・堆積させることで比重 3.1 程度の沈降層を作製し、そのガンマ線・中性子線遮蔽性能を評価した。このバライト沈降層は、高比重・高含水の特長から透過力が大きいガンマ線・中性子線に対して高い遮蔽性能を有すると考えられ、また複雑な形状を有する箇所にも泥水充填により遮蔽体を形成可能なことから、図1のようにデブリを覆う等、廃炉作業の補助材料として有効に利用できる可能性がある。また、本研究ではこの泥水状態からの沈降を利用し、沈降中のガンマ線の透過量を計測することで、ガンマ線低減率が透過方向の遮蔽体の密度構造に依らないことを検証した。

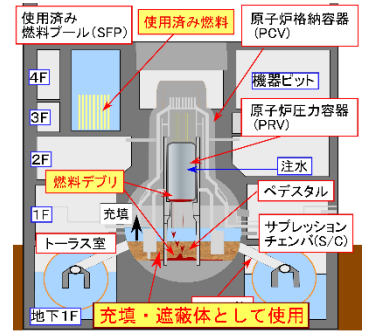


図1 原子炉建屋における遮蔽体形成による作業の補助

表1 供試体作製用泥水の配合

	構成材料	質量比
泥水	水道水	100
	スーパークレイ	4
	ピロリン酸 Na	0.05
	バライト	400
分散剤水溶液	ピロリン酸 Na	0.45
	水道水	7.20
初期泥水比重		2.60
分散剤溶液投入後比重		2.55

表2 供試体密度と体積含水率

厚さ (mm)	湿潤密度 (g/cm ³)	体積含水率 (%)
50	3.12	31.6
100	3.10	31.4
150	3.08	31.2

2. バライト粉末の沈降による供試体作製・放射線遮蔽実験の概要

遮蔽実験における供試体の作製には、バライト粉末を低濃度のベントナイト懸濁液に添加した泥水を使用し、供試体作製直前に分散剤水溶液を過剰に加えることでバライトの沈降を開始した。沈降時間は1日間とし、アクリル容器を立てて層垂直方向に遮蔽実験を行うため、沈降量に変化が認められなくなった後に上澄み液を取り除き容器を分割、上端で整形して供試体を作製した。表1は使用した泥水の配合を示したものである。配合および容器への泥水充填量（遮蔽体厚さの2倍とした）は、図2に示す事前に測定したバライト沈降・堆積速度から決定した。供試体は3つ作製し、それぞれの比重と体積含水率は表2に示す通りである。

遮蔽実験は、図3に示すように、放射線源・遮蔽体・検出器が一直線にある状態で、遮蔽体厚さとガンマ線・中性子線の透過量の関係を測定した。また、ガンマ線・

中性子線源にはそれぞれ ¹³⁷Cs および ²⁵²Cf を使用し、低減率はガンマ線・中性子線の透過量から以下の式で定義して算出して既往の研究の結果と比較した。

$$R_{\text{rad}} = \left(1 - \frac{N - N_{BG}}{N_0 - N_{BG}}\right) \times 100 (\%) \quad \text{式 (1)}$$

ここに、N：遮蔽体ありの透過線量，N₀：アクリル容器のみの透過線量，N_{BG}：バックグラウンド

また、泥水沈降過程では容器下部に線源，上部に検出器を設置し、ガンマ線透過率を連続的に測定した。

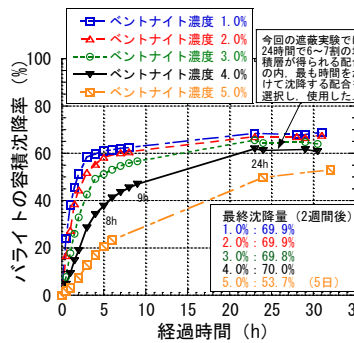


図2 バライトの沈降速度と供試体作製時の配合の決定

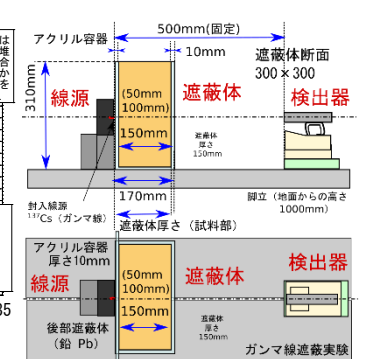


図3 遮蔽実験の位置関係

キーワード 放射線遮蔽, バライト, 重泥水, ガンマ線, 中性子線

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院 社会環境工学科 TEL.03-5286-2940

3. バライト沈降層のガンマ線・中性子線遮蔽性能

図5はバライト沈降層の供試体厚さとガンマ線・中性子線低減率の関係を示したものである。また図6, 図7に土質系材料のガンマ線・中性子線低減率と湿潤密度, 体積含水率との関係^{1), 2)}などを示し, バライト沈降層の遮蔽性能を比較する。

図5よりバライト沈降層には同厚さの水道水やコンクリート, 超重泥水に比べ, 高いガンマ線低減率が確認された。また図6より, バライト沈降層には他の材料同様, 湿潤密度と供試体厚さの指数の関係に従ってガンマ線低減率の増加が認められた。ガンマ線と湿潤密度の関係においてバライト沈降層は他土質系材料と同等の性質を有すると考えられ, 土質系材料の中でも湿潤密度が大きいという点においてバライト沈降層はガンマ線遮蔽に有効な材料であると考えられる。

同様に, 図5と図7より, バライト沈降層の全中性子線遮蔽性能は, 体積含水率によって他材料との比較が可能と考えられる。図7において, 土質系材料の体積含水率と全中性子線低減率の関係には, 体積含水率が小さい領域において振れ幅があり, この部分でバライト沈降層には比較的大きい低減率が認められた。従ってバライト沈降層は, 低含水の材料としては, 比較的全中性子線の遮蔽に有利な可能性がある。また, 図5の速中性子線・熱中性子線低減率に注目すると, バライト沈降層の速中性子線低減率は全中性子の傾向に比べ他材料より劣る一方, 測定範囲における熱中性子線の低減率は水や超重泥水と同程度となった。このことから土質系材料の体積含水率が特にエネルギーの大きい中性子の低減に有利に働く可能性が示唆され, また供試体厚さの小さい範囲において, バライト沈降層のように3割程度以上の体積含水率を有する材料は同程度の熱中性子線低減率を有する可能性がある。

4. ガンマ線遮蔽性能が遮蔽体透過方向の密度構造に依らないことの検証

図8は供試体作製時, 沈降過程における鉛直方向のガンマ線透過率の変化を示したものである。この過程で供試体には, 図2に示すバライトの沈降・堆積に伴い, 時間経過と共に上下に密度差(最大で下部 3.1 g/cm^3 , 上部 1.1 g/cm^3 程度)が生じていると考えられる。一方, 図8において鉛直方向のガンマ線透過量は常にほぼ一定値を取り, バライトの沈降・体積量に依らず, 泥水投入直後から透過量に変化しなかった。この結果から, ガンマ線の遮蔽では低減率が遮蔽体の密度構造に依らないと考えられ, ガンマ線低減率が透過方向の総重量, 平均湿潤密度に依存することが確かめられた。

5. おわりに

本研究ではバライト沈降層のガンマ線・中性子線遮蔽性能を評価した。その結果, (1)バライト沈降層は湿潤密度が大きい点でガンマ線遮蔽に有意である, (2)中性子線遮蔽性能は体積含水率で他材料と関係付けられ, 低含水の材料として比較的全中性子線遮蔽に有効な可能性がある, ことなどが示唆された。また, 沈降時のガンマ線透過量の変化を計測することで, 材料のガンマ線遮蔽体の遮蔽性能が密度構造に依らず総重量に依存することが検証された。

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新技術開発と人材育成プログラム(地盤工学会)」および早稲田大学・理工学術院総合研究所重点領域・持続的未来社会研究所の支援を受けて実施したものです。ここに感謝申し上げます。

参考文献: 1) 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C(地盤工学), vol173, No4, 342-354, 2017 2) 神田皓城, 那須郁香, 吉川絵麻, 今井健人, 宮路将人, 小峯秀雄, 後藤茂, 吉村貢: 宮城県気仙沼市および岩手県大槌町の復興資材の放射線遮蔽性能の評価, 第52回地盤工学研究発表会, 高松, p565-566, 2018

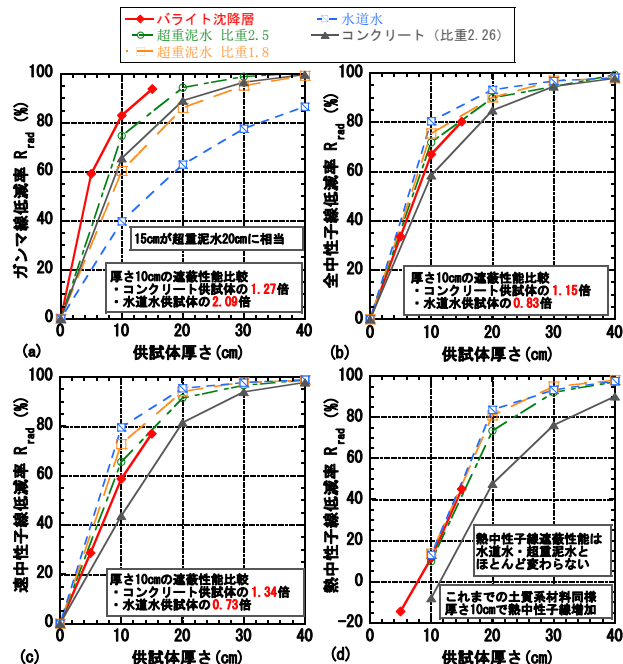


図5 バライト沈降形成層のガンマ線・中性子線遮蔽性能 (a)ガンマ線 (b)全中性子線 (c)速中性子線 (d)熱中性子線

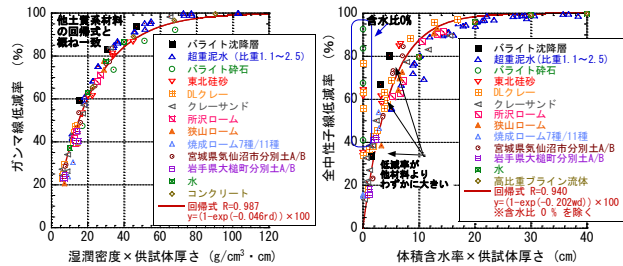


図6 供試体湿潤密度と低減率の関係

図7 供試体体積含水率と低減率の関係

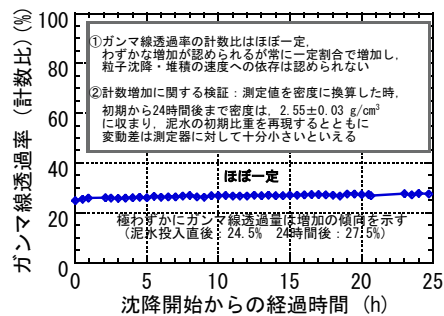


図8 沈降時のガンマ線透過量の変化