

複数層構造供試体の配列変化による放射線遮蔽性能の評価

早稲田大学 学生会員 ○関本貴斗, 吉川絵麻, 神田皓城
 早稲田大学 正会員 小峯秀雄, 王海龍 フェロー会員 後藤茂
 西武建設(株) 正会員 新井靖典 (株)ホージュン 正会員 佐古田又規
 ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 吉村貢, 重富正幸

1. 背景と目的

福島第一原子力発電所の事故により, 事故由来の放射性物質に汚染された瓦礫類が発生した. その一部は, 図1に示す覆土式一時保管施設に2028年まで保管される²⁾. 既往の研究³⁾より, 層厚が同一である場合, ガンマ線遮蔽性能は土質材料の湿潤密度, 中性子線遮蔽性能は土質材料の体積含水率の増加に伴い向上するという結果が得られている. また, 他の土質材料と比較して土粒子の密度が大きいバライト碎石は, より薄層の場合でも高いガンマ線遮蔽性能を得られることが確認されている⁴⁾. しかし, バライト碎石は材料の入手や単体での施工が困難であることから, 覆土の構築には他材料との併用が望まれる. 併用する場合, 覆土材料の配列順序による遮蔽性能の変化を調査する必要がある. そこで, 本研究ではバライト碎石と粘性土を用いた複数層構造供試体について, 供試体の配列順序を変化させて各種放射線の遮蔽性能を実験的に評価する.

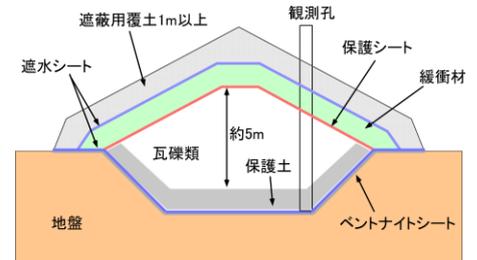


図1 覆土式一時保管施設の概略図¹⁾

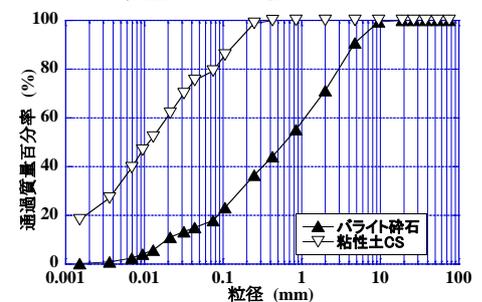


図2 使用した土質材料の粒径加積曲線

2. 使用した土質材料の基本的性質と放射線遮蔽実験の概要

本研究に用いたバライト碎石は主成分が BaSO_4 で, 一般に加重材として用いられる細粒分質礫質砂である. また粘性土として粘稠性に富んでいるクレーサンド(株式会社タック製, 以降, 粘性土CSと記す)を用いた. 図2に, バライト碎石および粘性土CSの粒径加積曲線を, 表1に, これらの基本的性質を示す. 本研究では, 図3に示すようにバライト碎石と粘性土CSを配列し, ガンマ線および全中性子線の透過線量を測定した. 表2は, 図3に示す供試体におけるバライト碎石と粘性土CSの配列を示したものである. 表2中のBはバライト碎石, Cは粘性土CSを意味しており, 各層の厚さは5cmであり, 供試体全体の層厚は20cmである. 供試体①~⑤はバライト碎石を, 供試体⑥~⑨は粘性土CSを線源側に配列した. また各試料の体積含水率を $10.5\% \leq \theta \leq 11.5\%$ の範囲にするため, バライト碎石を含水比 $w=3.7\%$, 粘性土CSを $w=8.6\%$ として供試体を作製した.

表1 使用した土質材料の基本的性質

試料	土粒子の密度 (g/cm^3)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
バライト碎石	4.65	NP	NP
粘性土CS	2.60	49.1	25.0

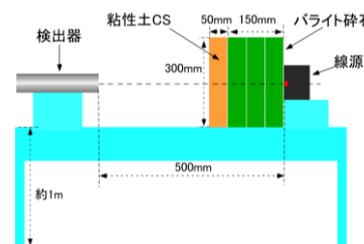


図3 放射線遮蔽実験の様子

表3 使用した線源

使用した放射線の種類	使用線源
ガンマ線	^{137}Cs
中性子線	^{252}Cf

表2 複数層構造の配列

供試体	← 検出器側 線源側 →			
①	B	B	B	B
②	C	B	B	B
③	C	C	B	B
④	C	C	C	B
⑤	C	B	C	B
⑥	B	B	B	C
⑦	B	B	C	C
⑧	B	C	B	C
⑨	B	C	C	C

表4 供試体作製条件

試料	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	含水比 w (%)	体積含水率 θ (%)
バライト碎石	3.20	3.7	11.5
粘性土CS	1.35	8.6	10.6

底面が $5\text{ cm} \times 30\text{ cm}$, 側面が $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ のアクリル容器に試料を投入し, 所定の湿潤密度となるよう突固めを行った. 表3は放射線遮蔽実験で使用した線源, 表4は供試体の作製条件を示したものである.

キーワード バライト碎石, 放射線遮蔽, 覆土, 粘性土

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 TEL03-5286-2940

3. 供試体配列変化による各種放射線遮蔽性能の比較

複数層構造供試体の配列を変化させて各種放射線の透過線量を測定し、各種放射線の低減率 R_{rad} を式(1)より算出した。放射線低減率を用いて、実験結果の評価を行った。

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

ここで、 N ：供試体の透過線量、 N_0 ：空容器の透過線量、 N_{BG} ：バックグラウンドの線量である。

図4および図5に複数層構造供試体におけるバライト碎石の層厚と各放射線低減率の関係を示す。また、図6に図5の縦軸を拡大した図を示す。図4に示すように、複数層構造供試体におけるバライト碎石の層厚の増加に伴い、ガンマ線低減率が増加した。本実験条件における複数層構造供試体のバライト碎石の層厚が同一である場合、ガンマ線低減率の差異は微小であり、バライト碎石と粘性土CSの配列順序に関係なく、ガンマ線遮蔽性能はおおむね同等であることが分かった。

図5より、本実験の複数層構造供試体において、全中性子線低減率はバライト碎石の層厚によらず、68%～80%の範囲であった。図6の拡大図より、バライト碎石層厚15cmにおいて、配列順序によらず全中性子線低減率の差異は微小であることが分かった。一方、バライト碎石層厚10cmにおいては、バライト碎石が線源側である供試体③(CCBB)および供試体⑤(CBCB)は、粘性土CSが線源側である供試体⑦(BBCC)および供試体⑧(BCBC)より5%以上高い全中性子線低減率を示した。また、バライト碎石層厚5cmにおいては、バライト碎石が線源側である供試体④(CCCB)が、粘性土CSが線源側である供試体⑨(BCCC)より7%程度高い全中性子線低減率を示した。したがって、本実験条件における複数層構造供試体のバライト碎石の層厚が同一である場合、線源側にバライト碎石を配列した方が線源側に粘性土CSを配列するよりもやや高い全中性子線遮蔽性能を有することが分かった。この原因として、バライト碎石の構成成分である $BaSO_4$ は、粘性土CSの構成成分である SiO_2 と比較すると、5倍以上の熱中性子吸収・散乱断面積を有するため、バライト碎石を線源側に配列することで、全中性子線低減率が増加したと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を示す。

- (1) ガンマ線遮蔽性能は、複数層構造供試体におけるバライト碎石の層厚が同一である場合、バライト碎石と粘性土CSの配列順序によらず、一定であることが分かった。
- (2) 全中性子線遮蔽性能は、複数層構造供試体におけるバライト碎石の層厚が同一である場合、線源側にバライト碎石を配列した方が線源側に粘性土CSを配列するよりも向上することが確認された。

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术開発と人材育成プログラム（地盤工学会）JPMX15H15664915」の支援により得られたものである。ここに感謝いたします。

参考文献 1) 福島県、福島県原子力発電所安全確保技術連絡会安全対策部：東京電力株式会社福島県第一原子力発電所における覆土式一時保管施設の増設に関する協議結果, pp.2-8, 2014年3月6日 2) 東京電力ホールディングス株式会社：福島第一原子力発電所固体廃棄物の保管管理計画～2018年度改訂について～, p2, 2018年7月23日 3) 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(地圏工学), vol.73, No.4, pp.342-354, 2017 4) 関本貴斗, 吉川絵麻, 神田皓城, 那須郁香, 小峯秀雄, 王海龍, 後藤茂, 新井靖典, 佐古田又規：福島第一原子力発電所の廃止措置に向けたバライト碎石を用いた高放射線遮蔽性能を有した覆土としての評価, 第54回地盤工学研究発表会, 2019

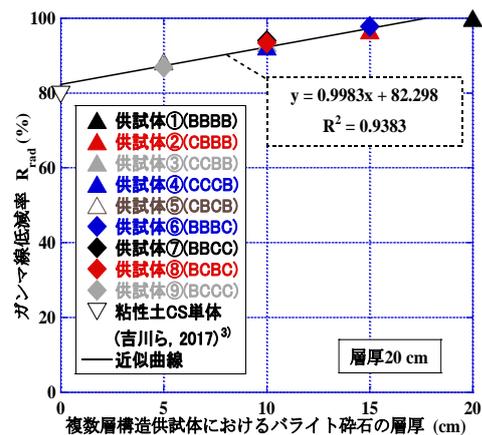


図4 バライト碎石の層厚とガンマ線低減率の関係

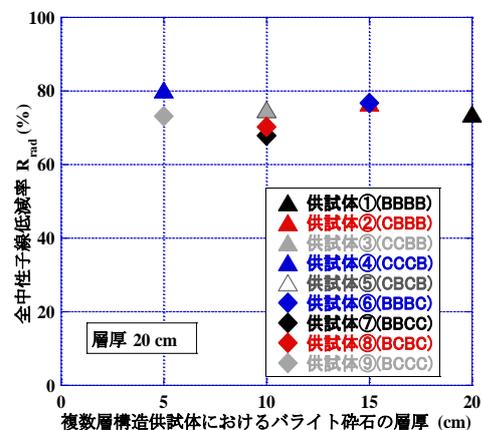


図5 バライト碎石の層厚と全中性子線低減率の関係

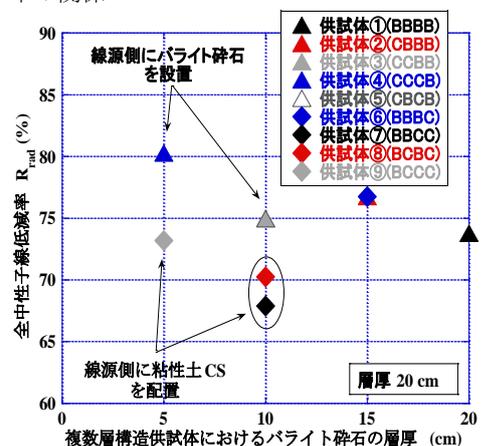


図6 バライト碎石の層厚と全中性子線低減率の関係 (拡大)