

## 復興資材と粘土・シルト系土質材料の放射線遮蔽性能の比較

早稲田大学 学生会員 ○神田 皓城, 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, 非会員 王 海龍  
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年の福島第一原子力発電所事故により、放射性廃棄物が発生した。現在、表面線量率が1~30 mSv/hのものは、図1に示す覆土式一時保管施設で保管されている。この保管方法では、放射線遮蔽を目的として、遮水シート上部に厚さ1m以上の覆土を行うことを規定している<sup>1)</sup>。しかし、覆土の厚さに関しては1m以上という規定のみで、土の種類や密度等は明記されていない。そのため、放射線遮蔽用の覆土として放射線遮蔽性能等を定量的に評価する必要があると考えられる。一方で、覆土式一時保管施設の建設には大量の土が必要になる。この建設に外部から新たに持ってきた土を大量に使用すると、環境への負荷が大きくなってしまふ。環境への影響を考えると現地発生土の使用が有効である。さらに、現地発生土だけでなく、東日本大震災の災害廃棄物等から再生された復興資材を活用することで、災害廃棄物の再利用にもつながり、環境への負荷が軽減されると期待される。また、既往の研究<sup>2)</sup>より、土質材料の放射線遮蔽性能は、ガンマ線の遮蔽には湿潤密度、中性子線の遮蔽は体積含水率にそれぞれ相関があることが示唆されている。

そこで、本論文では、復興資材の放射線遮蔽性能を評価するために、これまで放射線遮蔽実験が行われていたクレーサンドとDLクレーの結果と比較し検討を行った。

### 2. 使用した土質材料および放射線遮蔽実験の概要

復興資材には、津波堆積物から生成された分別土A種、災害廃棄物から生成された分別土B種およびコンクリートがらの3種類がある<sup>3)</sup>。本研究で使用した復興資材は、宮城県気仙沼市の分別土A種と分別土B種および岩手県大槌町の分別土B種である。また、比較用の土質材料として、非塑性シルトのDLクレーと粘稠性に富んだ粘土であるクレーサンドを使用した。表1に使用した土質材料の基本的性質を示す。

図2に放射線遮蔽実験の概略図を示す。検出器と線源の間隔を50cmとし、線源側に層厚0~10cmの供試体を設置し、検出器で各種放射線の透過線量を測定した。ガンマ線源には<sup>137</sup>Cs、中性子線源には<sup>252</sup>Cfを使用した。表2に各種線源のエネルギーを示す。測定は、ガンマ線、全中性子線、速中性子線および熱中性子線について行った。復興資材は、型枠の中で突固めを行った後に型枠を外し、自立供試体を作製し測定を行った。DLクレーについては、アクリル容器内で突固めを行い、アクリル容器に試料を入れたまま測定を行った。クレーサンドは自立供試体とアクリル容器両方で測定を行った。

### 3. 復興資材と比較用土質材料の放射線遮蔽性能の評価

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)を用いて算出した。

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

ここで、 $N$ : 供試体ありの場合の透過線量、 $N_0$ : 供試体なしあるいはアクリル容器のみの場合の透過線量、 $N_{BG}$ : バックグラウンドの線量

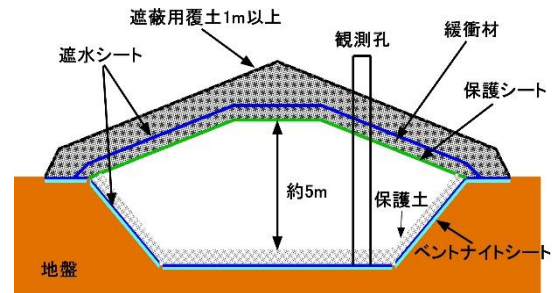


図1 覆土式一時保管施設の概略図<sup>1)</sup>

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 <sup>3</sup> )	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数
気仙沼市分別土A種	2.684	56.2	33.7	22.5
気仙沼市分別土B種	2.648	56.9	34.5	22.4
大槌町分別土B種	2.678	42.9	25.0	17.9
DLクレー	2.646	NP	NP	NP
クレーサンド	2.596	49.1	25.0	24.1

表2 使用線源

線源	エネルギー (MeV)
<sup>137</sup> Cs	0.662
<sup>252</sup> Cf	1.406

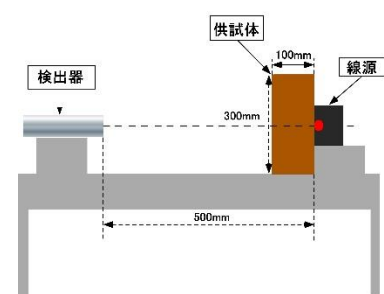


図2 放射線遮蔽実験の概略図

キーワード 復興資材、放射線遮蔽、覆土

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 建設工学専攻 TEL 03-5286-2940

図3に湿潤密度とガンマ線低減率の関係、図4に体積含水率と全中性子線低減率の関係、図6に体積含水率と速中性子線低減率の関係、図7体積含水率と熱中性子線低減率の関係をそれぞれ示す。

図3より、各種復興資材、クレーサンドおよびDLクレーのガンマ線低減率は、湿潤密度の増加に伴い、向上していくことが確認された。また、復興資材もクレーサンドやDLクレーと同様の増加率でガンマ線低減率が増加することが確認された。以上のことから、復興資材のガンマ線遮蔽性能はDLクレーやクレーサンドと同等の性能を持っていると考えられる。

図4より、復興資材とクレーサンド、DLクレーの全中性子線遮蔽性能を比較すると、層厚5cm、10cmともに復興資材の全中性子線低減率が小さくなることが確認された。

図5より、全中性子線と同様に速中性子線についても、復興資材の方がDLクレーやクレーサンドよりも速中性子線低減率が小さくなることが確認された。速中性子線については、全中性子線よりも復興資材とDLクレーおよびクレーサンドの差が大きくなっている。

図6より、復興資材、DLクレーおよびクレーサンドの熱中性子線低減率を比較すると、層厚5cm気仙沼市の分別土B種と大槌町分別土B種の熱中性子線低減率については、DLクレーとクレーサンドと同様の傾向になっていることが確認された。しかし、層厚5cmの気仙沼市の分別土A種と層厚10cmの復興資材についてはDLクレーとクレーサンドと異なっていることが確認された。

図4~6より、復興資材の各種中性子線遮蔽性能は、DLクレーやクレーサンドよりも低いことが確認された。このようになった原因としては、復興資材の放射線遮蔽特性以外に測定する際の亚克力容器の有無の影響もあると考えた。しかし、亚克力容器と自立供試体ともに測定したクレーサンド結果より、全中性子線と熱中性子線については亚克力容器の影響は確認されなかった。一方、速中性子線については亚克力容器の影響がある可能性が考えられる。そのため、速中性子線については復興資材も亚克力容器に入れて場合で測定を行う必要がある。また、速中性子線のみ亚克力容器の有無が影響を与える要因についても調べる必要がある。

5. 結論

- (1) 復興資材のガンマ線遮蔽性能は、DLクレーやクレーサンドと同等であることが確認された。よって、ガンマ線遮蔽用の覆土材に復興資材を適用することができる可能性が示された。
- (2) 復興資材の各種中性子線遮蔽性能は、DLクレーやクレーサンドよりも低いことが確認された。復興資材を中性子線遮蔽用の覆土材に使用することは、適していない可能性がある。
- (3) 測定における亚克力容器の有無は、全中性子線と熱中性子線については確認されなかった。一方、速中性子線については亚克力容器の影響が確認された。

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・デブリ取り出しから廃炉までを想定した地盤工学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ある。また、本研究で用いた復興資材の入手に関しては、岩手県庁の川島光博様、奥村組の大塚一義様および国立環境研究所の肴倉宏史様のご支援を頂きました。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式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 C(地圏工学), vol73, No.4, pp.342-354, 2017 3) 岩手県: 岩手県復興資材活用マニュアル(改訂版), pp.7-19, 2013

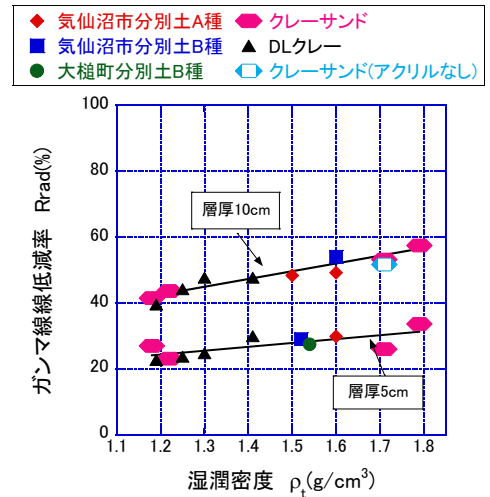


図3 湿潤密度とガンマ線低減率の関係

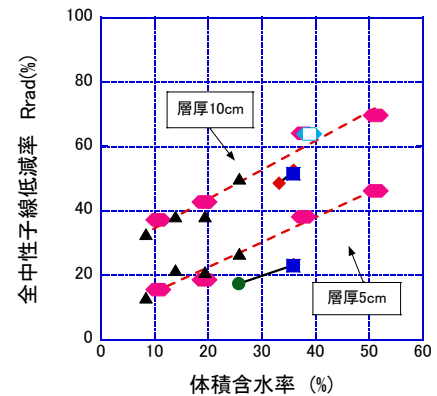


図4 体積含水率と全中性子線低減率の関係

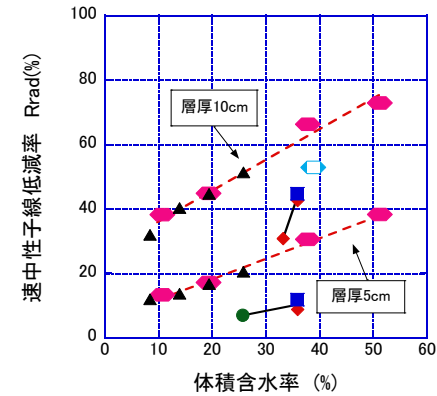


図5 体積含水率と速中性子線低減率の関係

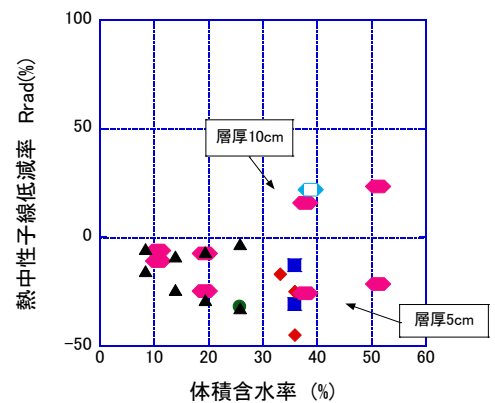


図6 体積含水率と熱中性子線低減率の関係

3) 岩手県: 岩手県復興資材活用マニュアル