

締固め特性に基づくバライト砕石混合土の放射線遮蔽性能の推察

早稲田大学 学生会員 ○関本貴斗 学生会員 吉川絵麻
 早稲田大学 学生会員 那須郁香 学生会員 神田皓城
 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
 西武建設(株) 正会員 新井靖典 (株)ホージュン 非会員 佐古田又規

1. 背景と目的

2011年の福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質に汚染された瓦礫が発生した。事故以来、瓦礫の回収を行い、その一部は図1に示す覆土式一時保管施設に20年間保管される予定である¹⁾。覆土式一時保管施設の覆土材には、放射線遮蔽性能が求められる。既往の研究²⁾より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に依存する傾向が明らかになっている。バライト砕石は、土粒子の密度が4.40 g/cm³程度と非常に大きく、土質材料として乾燥密度、湿潤密度ともに大きな値をとることから、他の土質材料と比べて薄層でも要求されるガンマ線遮蔽性能が得られると考えられる。しかし、バライト砕石は水分保持能力が低いと、中性子線遮蔽性能は低くなる可能性が高いと考えられる。そこで本研究では、バライト砕石単体でなく、その他の土質材料と混ぜ合わせたバライト砕石混合土を使用した。バライト砕石とクレースンドを混合したバライト砕石混合土の締固め特性を調査し、バライト砕石単体の結果と比較、検討を行った。

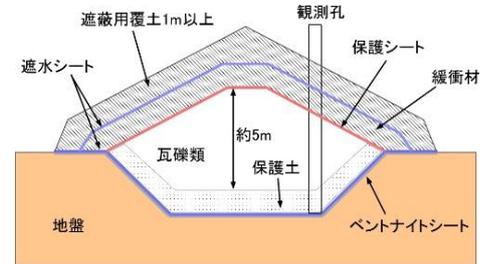


図1 覆土式一時保管施設の概略図¹⁾

表1 バライト砕石およびクレースンドの基本的性質

試料	初期含水比 w ₀ (%)	土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)	液性限界 w _L (%)	塑性限界 w _p (%)
バライト砕石	0.112	4.401	NP	NP
クレースンド	6.078	2.596	49.1	25.0

表2 バライト砕石混合土の最大乾燥密度と最適含水比

試料	バライト砕石混合土	バライト砕石
最大乾燥密度 ρ _{dsat} (g/cm ³)	2.279	3.633
最適含水比 W _{opt} (%)	12.1	3.10
最大乾燥密度時の湿潤密度 ρ _{tmax} (g/cm ³)	2.554	3.746
最大乾燥密度時の体積含水率 θ(%)	37.77	13.71

2. 使用した土質材料および締固め試験の条件

一般に加重材として用いられているバライト砕石、粘性や可塑性に優れた粘土であるクレースンドを使用した。バライト砕石およびクレースンドの基本的性質を表1に示す。

土の締固め試験方法(JISA 1210)³⁾のA-a法に則して、バライト砕石とクレースンドをそれぞれ2500gずつ配合したバライト砕石混合土で締固め試験を行った。

3. バライト砕石混合土の締固め試験の結果

バライト砕石混合土の最大乾燥密度と最適含水比を表2に示す。最大乾燥密度時の湿潤密度および体積含水率を求め、表2に示す。締固め曲線を図2に示す。比較を行うために、同様の試験条件下で行ったバライト砕石単体の最大乾燥密度と最適含水比および締固め曲線を表2、図3にそれぞれ示す。また、ゼロ空気間隙状態の乾燥密度を求める際に使用したバライト砕石混合土の土粒子の密度は式(1)で求め、図2に示した。

$$\rho_{s1} = \frac{\rho_{s2}}{2} + \frac{\rho_{s3}}{2} \quad \text{式(1)}$$

ここで、ρ_{s1}：バライト砕石混合土の土粒子の密度(g/cm³)、

ρ_{s2}：バライト砕石の土粒子の密度(g/cm³)、ρ_{s3}：クレースンドの土粒子の密度(g/cm³)

表2より、バライト砕石混合土の最大乾燥密度および最大乾燥密度時の湿潤密度はバライト砕石単体と比較すると小さくなることを確認されたが、最適含水比および最大乾燥密度時の体積含水率は大きくなること分かった。

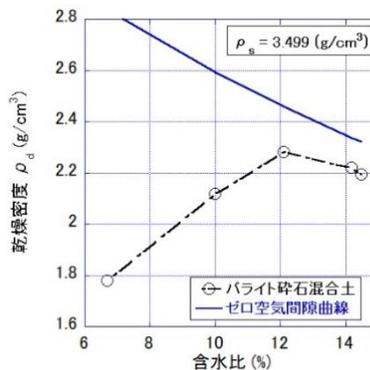


図2 バライト砕石混合土の締固め曲線

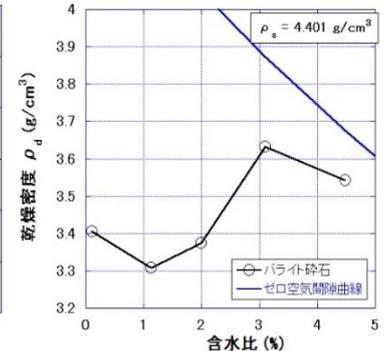


図3 バライト砕石の締固め曲線

キーワード バライト砕石, 混合土, 締固め特性

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

クレーサンドと混合することで、バライト砕石単体より水を保持することができた。

目標含水比6%以下の締固め試験では、突いた衝撃でバライト砕石に比べて土粒子の密度が小さいクレーサンドがモールド外部に飛散してしまい、モールド下方では締め固まったが、上方は締め固まらず、乾燥密度および含水比の測定はできなかった。加水を続けると、図4に示す目標含水比9%のバライト砕石混合土では粒径の大きいバライト砕石にクレーサンドが付着し始めた。バライト砕石の粒子にクレーサンドが付着したことは、クレーサンドの粘着性が原因と考えられている。さらに加水を続け、含水比が15%程度になると、試料が大きな塊になり均等に混合することができず、試験を中止した。

4. バライト砕石混合土の放射線遮蔽性能の推察

供試体が遮蔽した放射線の割合を放射線低減率 R_{rad} とし、式(2)より算出する。放射線低減率を用いて、実験結果の評価を行った。

$$R_{rad} = \left(1 - \frac{N - N_{BG}}{N_0 - N_{BG}}\right) \times 100 \quad \text{式(2)}$$

ここで、 N ：供試体の透過線量、 N_0 ：供試体なしの場合の透過線量、 N_{BG} ：バックグラウンドの線量

図5にガンマ線低減率と湿潤密度の関係²⁾、図6に全中性子線低減率と体積含水率の関係²⁾をそれぞれ示す。図5、6は層厚10cmにおける実験結果である。前述にあるように、既往の研究²⁾より土質材料の湿潤密度の増加に伴いガンマ線低減率も増加し、土質材料の体積含水率の増加に伴い中性子線低減率が增加する傾向が明らかになっている。表2よりバライト砕石混合土の最大乾燥密度時の湿潤密度は 2.554 g/cm^3 であり、図5の横軸に対応する縦軸の値を読み取ると、ガンマ線低減率は70~75%程度と推察でき、ガンマ線遮蔽性能はDLクレー、クレーサンドおよび東北珪砂5号より優れていると考えられる。ガンマ線低減率が80~90%程度であるバライト砕石単体よりガンマ線遮蔽性能は低くなると推察される。また、バライト砕石混合土の最大乾燥密度時の体積含水率は37.77%であり、図6の横軸に対応する縦軸を読み取ると、バライト砕石混合土の全中性子線低減率は55~65%程度と推察でき、クレーサンド、DLクレーおよび東北珪砂5号とおおむね同様の中性子線遮蔽性能を有すると考えられる。バライト砕石単体の全中性子線低減率は40~50%程度であるため、バライト砕石単体と比較するとバライト砕石混合土の全中性子線低減率が15%程度高く、中性子線遮蔽性能に優れていると考えられる。

5. 結論

本研究では、バライト砕石混合土の締固め試験の結果から放射線遮蔽性能に関する推察を行い、次の結論を得た。

- (1) バライト砕石混合土のガンマ線低減率は、DLクレー、クレーサンドおよび東北珪砂5号より大きい値をとり、他の土質材料と比較すると薄層でも要求されるガンマ線遮蔽性能を有すると推察できる。バライト砕石単体と比較してガンマ線低減率は低くなったが、層厚10cmにおいて70~75%程度であるため、要求されるガンマ線遮蔽性能を満たす可能性がある。
- (2) バライト砕石混合土の全中性子線低減率が55~65%程度であり、クレーサンド、DLクレーおよび東北珪砂5号とおおむね同様の中性子線遮蔽性能を有すると推察される。バライト砕石混合土の全中性子線低減率はバライト砕石単体に比べて大きく、中性子線遮蔽性能が優れている可能性があると考えられる。
- (3) バライト砕石単体と比較して、バライト砕石混合土は水を保持することができ、締め固まりやすくなることが分かった。

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) 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, No4, pp.342-354, 2017。3) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の1-, pp.97-342, 丸善株式会社, 2009年11月25日。



図4 目標含水比9%のバライト砕石混合土

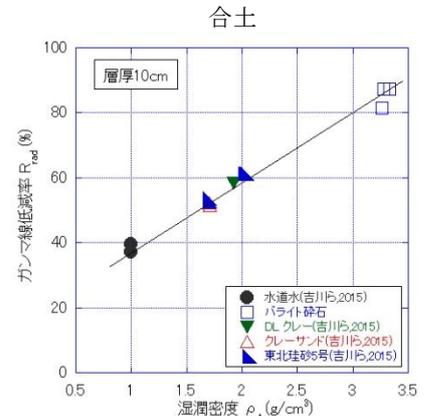


図5 ガンマ線低減率と湿潤密度の関係²⁾

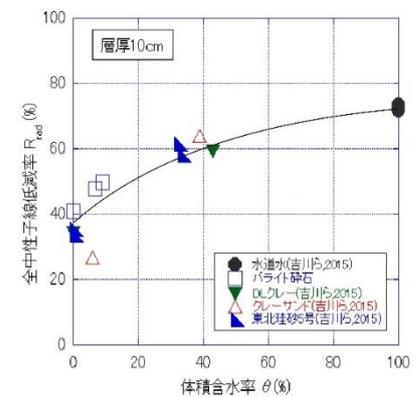


図6 全中性子線低減率と体積含水率の関係²⁾