

超重泥水のガンマ線遮蔽性能に関するスペクトル分析とエネルギー依存性評価

早稲田大学 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 E 正会員 吉村貢 (株)ホージュン 正会員 氏家伸介
西武建設(株) 正会員 成島誠一 (株)テルナイト 正会員 長江泰史

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震は、福島第一原子力発電所における深刻な事故を引き起こした。事故以来、放射性廃棄物の一時保管などの観点から、土質材料には放射線遮蔽材料としての性能が求められている。著者らは、土質材料の放射線遮蔽性能を定量的に評価するため、RI装置を援用した放射線遮蔽実験を行ってきた。その結果、土のガンマ線遮蔽性能は、湿潤密度と遮蔽体の厚さに依存することが明らかとなった^{1),2)}。ここで、福島第一原子力発電所の周辺では

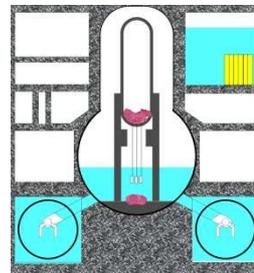


図-1 原子炉建屋



図-2 超重泥水

¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹¹⁰Ag など数種類のガンマ線放出核種が確認されており、燃料デブリが存在する建屋内部(図-1)ではさらに高エネルギーのガンマ線が放射されていると予想される³⁾。このような状況から、燃料デブリ取り出しの補助材料として検討される超重泥水について、ガンマ線遮蔽性能のエネルギー依存性の評価が不可欠である。本研究では、⁶⁰Co(放射ガンマ線エネルギー：1.17 MeV, 1.33 MeV)および¹³⁷Cs(同：0.662 MeV)の2種類の線源を用いてガンマ線スペクトルの分析を行い、エネルギーによって変化する遮蔽性能の傾向を検討した。

2. 試料およびガンマ線エネルギースペクトルの検出条件

本研究では、水道水および比重1.8の超重泥水を用いてガンマ線スペクトルの変化を分析した。超重泥水は粒子沈降を防ぐベントナイト懸濁液に、高比重を維持するための加重材バライトおよび粘性の調整と安定を保持するための分散剤ピロリン酸ナトリウムを加えた泥水である^{1),2)}。図-2に超重泥水の様子を示す。ガンマ線の測定には、上述した2種類の線源を使用した。遮蔽体は、試料を充填したアクリル容器(内寸：縦30 cm, 横30 cm, 厚さ10 cm)を最大4個配列することで、遮蔽体厚さ10 cm, 20 cm, 30 cmおよび40 cmにおける透過ガンマ線のスペクトルを検出した。検出器と⁶⁰Coおよび¹³⁷Csの離間距離はそれぞれ約50 cmである。図-3および図-4は実験装置の配置状況を示す。ガンマ線の検出頻度“frequency”の誤差は、ガンマ線の検出個数に依存する。そこで、遮蔽体厚さの増大に伴うスペクトルのばらつきを抑えるため、遮蔽体の厚さ10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cmに対して測定時間を420 sec, 600 sec, 900 sec, 1500 secとした。

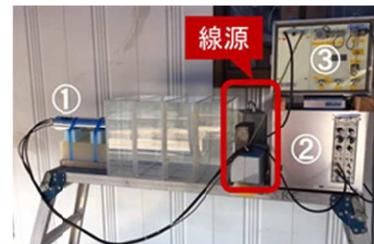


図-3 スペクトロメーター(① NaI(Tl)シンチレーションカウンタ、②増幅器、③AD変換機)

3. ガンマ線エネルギースペクトルの分析結果

図-5は、厚さ40 cmの遮蔽体を透過したガンマ線のエネルギースペクトルである。ガンマ線の透過割合は、遮蔽体の比重と厚さに依存する^{1),2)}。本研究におけるスペクトルも同様の傾向を示し、全エネルギーにおけるガンマ線スペクトルの積分値は、空容器によって示された基準スペクトルから、水道水(比重1.0)、超重泥水(比重1.8)の順に低減した。

ガンマ線のエネルギーは核種ごとに定まっており、基準である空容器の透過スペクトルは、⁶⁰Co(1.17 MeV, 1.33 MeV)および¹³⁷Cs(0.662 MeV)のピー

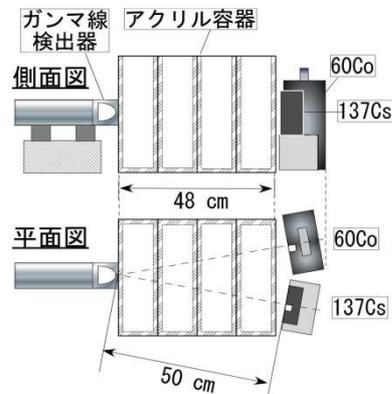


図-4 実験装置の配置

クを明確に提示した。しかし、超重泥水を透過したガンマ線のスペクトルには、⁶⁰Co のピークが存在する一方、¹³⁷Cs のピークは確認できない。この結果は、ガンマ線が有するエネルギーによって、その減衰傾向が異なるという可能性を示唆する。

ここで、エネルギーごとの減衰傾向を比較するため、ガンマ線の検出個数をその総数に基づき正規化表示した。正規化した計数率 X は、総計数率の設定値 $T(=1000000)$ および i 番目のエネルギーにおける計数率 n_i を用いて式(1)より算出した。

$$X = \frac{n_i \times T}{\sum n_i} \dots (1)$$

図-6 は、図-5 に示した実測値を式(1)により正規化することで、遮蔽材料の相違によるエネルギーの推移に着目したガンマ線スペクトルである。図-6 より、水道水および超重泥水の差異はほとんど見られない。したがって、比重 1.0~1.8 の範囲において、エネルギーごとの減衰は遮蔽体の比重差に依存しないと考えられる。

図-7 は超重泥水の厚さに伴うガンマ線エネルギーの推移を示す。0.5 MeV~1.5 MeV 付近の拡大図(右図)から、遮蔽体の厚さが大きいほど、ガンマ線のピークは小さくなった。つまり、物質中の透過距離が大きいほど、放出直後のガンマ線エネルギーが低減しやすいことが示された。一方、0.1 MeV~0.5 MeV 付近の拡大図(左図)では、遮蔽体厚さと共にスペクトルが増大した。このように、エネルギーの減少と共にスペクトルの大小関係が逆転した理由として、線源から放出されたガンマ線は遮蔽体を透過することで減衰し、低エネルギーのガンマ線、すなわち X 線レベル以下の電磁波に転じたと考えられる。また、図-7 において、線源ごとのピークの推移を比較すると、¹³⁷Cs を線源とした場合と比べてエネルギーが大きい ⁶⁰Co のガンマ線の方が減衰しにくい傾向を示した。

以上の結果を総合的に考えて、図-5 において確認されたエネルギーごとの減衰傾向の差は、遮蔽体の厚さに依存すると考えられる。したがって、超重泥水によるガンマ線の遮蔽設計を行う際、特に遮蔽材料の厚さに対してガンマ線のエネルギーを検討する必要がある。

4. 結論

本研究では、ガンマ線のスペクトル分析により以下の結論を得た。

- 1) 水道水および超重泥水(比重 1.8)を透過することにより、全エネルギーのガンマ線計数率が低減した。また、減衰したガンマ線は、高エネルギーから低エネルギーに転じたことが確認された。
- 2) ⁶⁰Co と ¹³⁷Cs の比較から、ガンマ線は、エネルギーが大きいほど減衰しにくい可能性が示された。
- 3) 正規化スペクトルから、エネルギーごとの減衰傾向の差は、比重 1.0~1.8 の差に依存しないと考えられる。
- 4) 正規化スペクトルから、エネルギーごとの減衰傾向の差は、遮蔽体の厚さに依存すると考えられる。

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)」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) 吉川絵麻, 小峯秀雄, 後藤茂, 氏家伸介, 成島誠一, 長江泰史, 吉村貢:放射線遮蔽性能を有する超重泥水の透過厚さによる線量低減効果の評価, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.2167-2168, 2016年9月 2) 吉川絵麻, 小峯秀雄, 後藤茂, 氏家伸介, 成島誠一, 長江泰史, 吉村貢:放射線遮蔽性能を有する超重泥水の線量低減効果の評価および遮蔽設計に向けた試み, 平成 28 年度年次大会第 71 回年次学術講演会, pp.383-384, 2016年9月 3) 文部科学省:報道発表 文部科学省による①ガンマ線放出核種の分析結果及び②ストロンチウム 89,90 の分析結果について, p. 22, 2012

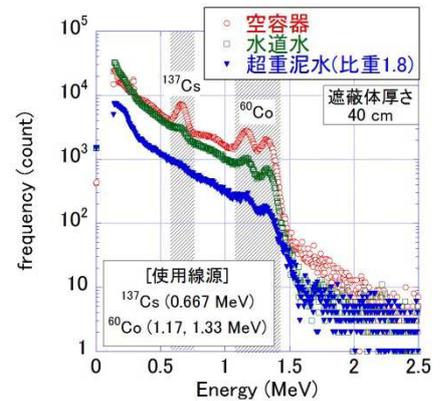


図-5 遮蔽体厚さ 40 cm におけるガンマ線スペクトル

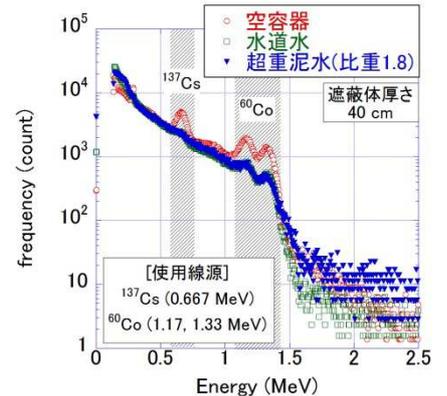


図-6 遮蔽体厚さ 40 cm における正規化ガンマ線スペクトル

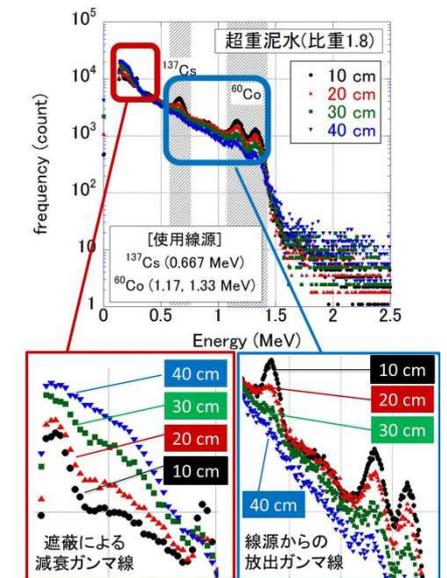


図-7 超重泥水(比重 1.8)の厚さに伴う正規化ガンマ線スペクトルの推移