

燃料デブリ取出しを想定した重泥水の放射線遮蔽特性の評価

早稲田大学 学生会員 ○齋藤祐磨, 正会員 小峯秀雄
 西武建設 正会員 成島誠一, 正会員 新井靖典
 (株) ホージュン 正会員 水野正之, 正会員 氏家伸介
 ソイルアンドロックエンジニアリング (株) 正会員 吉村 貢 正会員 鈴木聡彦
 元東京大学 フェロー会員 後藤 茂

1. はじめに

福島第一原子力発電所の廃炉に向けた中長期ロードマップによると、燃料デブリの取出し方法、保管・搬出についてはいくつかの処理技術が検討されている。作業被爆の観点から燃料デブリを冠水させた状態で取出すことが予定されている。その点において、充填性に優れ粘性を有し、放射線遮蔽効果が期待できる材料で原子炉格納容器、圧力抑制室を水の代替として充填すれば、作業過程の漏えい箇所調査の軽減を行うことができる。また、水と比較して放射線遮蔽効果が高い材料で充填すれば、燃料デブリ取出し作業をより安全に行うことが可能になる。充填性、粘性、放射線遮蔽効果をすべて有する材料として重泥水が挙げられる。図-1は、重泥水の様子である。重泥水はベントナイトを混合した比重の高い液体であり高い遮水性能を有するので、水の代わりに原子炉格納容器、圧力抑制室を充填することで、作業をより安全に行うことに資する可能性がある。以上を踏まえて、本研究では重泥水の放射線遮蔽特性の調査・評価を行った。



図-1 重泥水の様子

2. 使用した重泥水の基本データと作製方法

放射線遮蔽実験に使用した重泥水は、比重 1.1, 1.8, 2.5 を目指して作製した。それぞれの比重に対しホウ素含有(8000ppm), 非含有の2パターン用意し、計 6 種類の重泥水を用いて実験を行った。使用した重泥水の基本データを表-1 に示した。表-1 の透水係数は圧密特性から算出した²⁾。

表-1 使用した重泥水の基本データ

	ホウ素	比重	CF 値(mm)	透水係数(m/ s)
重泥水 1	非含有	2.57	342×334	1.6×10 ⁻¹⁰
重泥水 2	8,000 p p m	2.56	200×198	2.0×10 ⁻¹⁰
重泥水 3	非含有	1.79	384×379	6.7×10 ⁻¹¹
重泥水 4	8,000 p p m	1.81	435×428	1.1×10 ⁻¹⁰
重泥水 5	非含有	1.13	355×355	7.9×10 ⁻¹¹
重泥水 6	8,000 p p m	1.14	465×457	8.1×10 ⁻¹¹

3. 放射線透過線量の測定法

重泥水の放射線透過線量の測定方法を以下に記す。図-2, 3 はガンマ線, 中性子線透過線量測定様子の模式図である。

- 1) アクリル容器 (内寸法: 300mm×300mm×100mm) に土質系材料を投入する。
- 2) 試料を充填させたアクリル容器の側面中央に線源 (ガンマ線源または中性子線源) を設置し、線源の反対側側面中央にサーベイメータを設置する。線源部とサーベイメータの検出部中心の距離が 150mm になるように設置する。
- 3) サーベイメータの測定値がほぼ安定したところで、放射線透過線量を読み取り記録する。

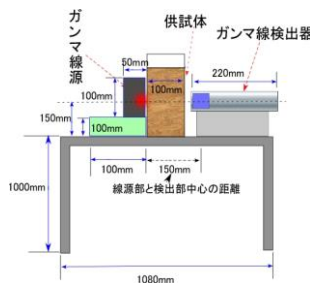


図-2 ガンマ線透過線量の測定様子

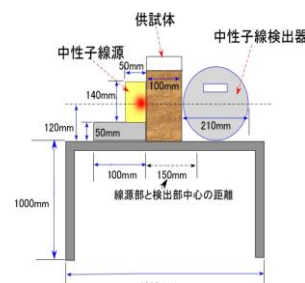


図-3 中性子線透過線量の測定様子

4. 重泥水の放射線遮蔽効果の評価

使用した線源の放射能は、ガンマ線源が 2.07MBq、中性子線源が 0.46 MBq であった。測定日のガンマ線量、中性子線量のバックグラウンド値は、それぞれ 0.05μSv/h、0.00 μSv/h であった。また、空の亚克力容器(重泥水無しの状態)のガンマ線、中性子線透過線量を測定したところ、それぞれ 6.00μSv/h、13.36μSv/h であった。実験により得られた重泥水および水道水の放射線透過線量測定値を表-2 に示す。ガンマ線および中性子線透過線量と重泥水の比重の関係を整理したグラフを図-4、5 に示す。図-4 から、ガンマ線透過線量は、比重が高くなるにつれて減少し、遮蔽効果が大きくなる傾向がある。図-5 から、中性子線透過線量は、比重が高くなるに伴い大きくなる傾向がある。比重を高くするに伴い、水の配合量は少なくなる。よって、中性子線透過線量の傾向から、中性子線の遮蔽には水分量が寄与し、水分量が減少するに伴い遮蔽効果が小さくなると考えられる。また、放射線低減率と比重の関係を図-6 にまとめた。放射線低減率は、亚克力容器のみの放射線透過線量を 100%とした場合の放射線透過線量を表し、放射線低減率が低いことは遮蔽効果が高いことを表す。放射線低減率 R_{rad} は式(1)を用いて算出した。

表-2 重泥水および水道水の放射線透過線量測定値

	比重	ホウ素	ガンマ線透過線量測定値(μSv/h)	中性子線透過線量測定値(μSv/h)
重泥水 1	2.57	非含有	1.55	4.56
重泥水 2	2.56	含有	1.64	4.54
重泥水 3	1.79	非含有	2.42	3.81
重泥水 4	1.81	含有	2.41	3.55
重泥水 5	1.13	非含有	3.54	3.24
重泥水 6	1.14	含有	3.61	3.00
水道水	1.00	非含有	4.06	2.94

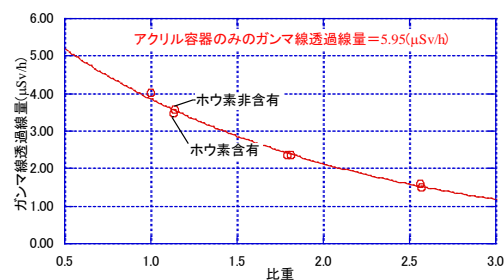


図-4 ガンマ線透過線量と比重の関係

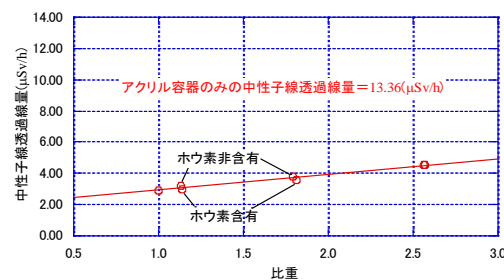


図-5 中性子線透過線量と比重の関係

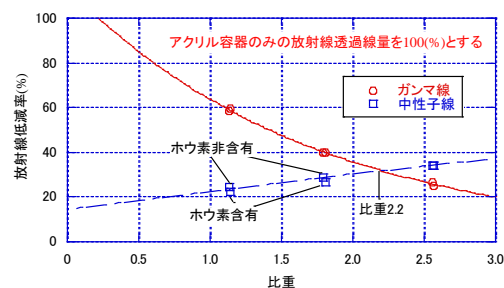


図-6 放射線低減率と比重の関係

ガンマ線低減率の回帰曲線と中性子線低減率のそのの交点は比重 2.2 である。比重 1.8 以上でガンマ線、中性子線低減率がともに 40% 以下に減少している。

5. 結論

- 1) ガンマ線の遮蔽には重泥水の比重が、中性子線の遮蔽には重泥水中の水分量が寄与することが分かった。
- 2) 比重 1.8 以上でガンマ線、中性子線低減率がともに 40% 以下となり、ガンマ線と中性子線の両方に対し、重泥水が一定の遮蔽効果を有することが確認できた。

謝辞：本研究の一部は、文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業「廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム」の 2014 年度フェージビリティ研究として実施しました。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

1) 経済産業省原子力災害対策本部、東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議：東京電力(株)福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ、<http://www.meti.go.jp/press/2013/06/20130627002/20130627002-3.pdf>, 平成 25 年 6 月 27 日
 2) 氏家伸介・長江泰史・成島誠一ら：変形追従型放射線遮蔽材の開発, 第 11 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 2015.07.