

関東ロームを対象とした焼成品と現地発生土の放射線遮蔽性能の評価

早稲田大学 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
 西武建設(株) 正会員 新井靖典, (株)ホージュン 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

1. はじめに

2011年3月11日に起こった福島第一原子力発電所事故による放射性物質に汚染された瓦礫類は、表面線量率 1 mSv/h~30 mSv/h 程度のものは覆土式一時保管施設に保管されることが予定されている¹⁾。また、福島県内に生じた放射性セシウム濃度 8,000 Bq/kg~100,000 Bq/kg の放射性物質汚染土壌は、中間貯蔵施設への一時仮置きが計画されている²⁾。覆土式一時保管施設の覆土には、瓦礫類から放出される放射線を遮蔽し周辺環境への影響を低減することが期待されており、中間貯蔵施設の覆土には、除去土壌からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による工事用地周辺の放射線量を十分に低減できる遮蔽構造であることが要求されている。一方、土質材料が燃料デブリから放出される中性子線の遮蔽性能を有することで、原子炉建屋への覆土等の設計・施工の応用に展開することもできると考えている。現在覆土材のガンマ線および中性子線の遮蔽性能の基準は設けられていないが、今後定量的に評価していくことが必要である。また、放射線遮蔽性能については、既往の研究よりガンマ線の遮蔽は土質材料の湿潤密度に依存し、中性子線の遮蔽は土質材料の水分量に依存することが明らかにされている³⁾。関東地方の広範囲に分布する火山灰質粘性土の関東ロームは、自然含水比の高い状態で存在する性質をもつことから中性子線の遮蔽に効果的と考えた。本論文では、関東ロームを模擬覆土材と想定し放射線遮蔽性能を調査した。関東ロームは焼成品として販売されているものと自然状態のものがあり、それぞれにガンマ線と中性子線を透過し遮蔽性能を調査した。

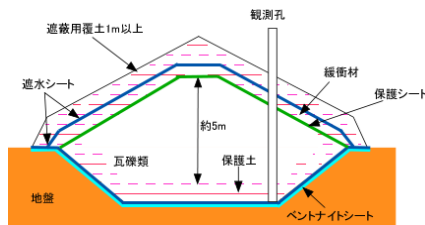


図1 覆土式一時保管施設¹⁾

2. 使用した試料と実験方法および条件

焼成ロームには、JIS Z 8901 の「試験用粉体及び試験用粒子」に規定される JIS 試験用粉体 1 の「関東ローム 7 種」と「関東ローム 11 種」を使用した。800℃にて焼成された後それぞれ粒径 0.075 mm 以下が約 80 %に、0.006 mm 以下が約 90 %になるよう粒度調整されている⁴⁾。自然状態の関東ロームとしては、埼玉県所沢地区の標高 67~68 m(G.L-5~6 m)より採取された関東ローム(以後所沢ロームとする)を使用した。所沢ロームの自然含水比は 111.7 %と高く、関東ロームの特性が確認された。

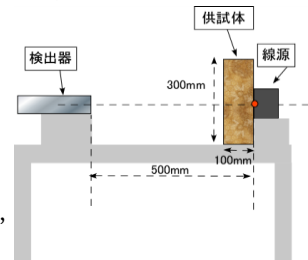


図2 放射線遮蔽実験の概要図

表1 放射線遮蔽実験の条件

図2に放射線遮蔽実験の概要図を示す。ガンマ線の線源に¹³⁷Csを使用し、中性子線の線源に²⁵²Cfを使用した。線源と検出器の測定間隔は50cmとし、線源側に層厚10cmの供試体を設置した。

試料	関東ローム7種		関東ローム11種		所沢ローム		
	含水比	層厚	含水比	層厚	含水比	層厚	含水比
含水比	0%	30%	0%	30%	72%	97%	111%
層厚	10 cm						
断面積(鉛直方向)	30×30 cm ²						
作製方法	ランマーによる突き固め						
測定項目	ガンマ線, 全中性子線, 速中性子線, 熱中性子線						
測定間隔	50 cm						
湿潤密度 (g/cm ³)	0.952	1.21	0.952	1.23	1.27	1.35	1.36

表1に放射線遮蔽実験の条件を示す。焼成品の関東ローム7種と関東ローム11種は自然状態のような水分保持能力を有さないことを考慮して含水比を0%, 30%に調整し、自立供試体の作製が困難と考えアクリル容器への充填を実施した。所沢ロームは自然含水比の111%と室内乾燥により含水比を97%, 72%に調整し、自立供試体を作製した。エネルギー状態により分類される中性子線の測定項目は、全範囲のエネルギー状態を測定したものを全中性子線、数 MeV のエネルギー状態の速中性子線、0.025 eV のエネルギー状態の熱中性子線の3種類である。

3. 層厚10cmにおける関東ロームのガンマ線遮蔽性能の評価

供試体を設置しない状態における透過線量を基準に、供試体を設置した場合の透過線量の減少を低減量ΔNで評価し、さらに低減量の割合を放射線低減率Rradとした。以上を式(1)および式(2)より算出した。

キーワード 覆土, ガンマ線, 中性子線, 火山灰質粘性土, 関東ローム

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 社会環境工学科 TEL03-5286-2940

$$\Delta N = N_0 - N \dots \dots \text{式(1)}$$

$$R_{rad} = \Delta N / (N_0 - N_{BG}) \dots \dots \text{式(2)}$$

ここに、 ΔN ：放射線低減量、 N_0 ：供試体なしの放射線透過線量又は空アクリル容器のみの放射線透過線量、 N ：供試体ありの放射線透過線量、 N_{BG} ：空中のバックグラウンド値

図3に層厚10cmにおける関東ロームのガンマ線低減率と湿潤密度の関係を示す。図3より、関東ロームの湿潤密度が増加するのにもないガンマ線低減率が増加し、その傾向は焼成加工の有無に依らず線形的となった。

4. 層厚10cmにおける関東ロームの各中性子線遮蔽性能の評価

図4～図6に層厚10cmにおける関東ロームの全中性子線、速中性子線、熱中性子線の低減率と含水比の関係を示す。

図4と図5より、層厚10cmにおける関東ロームの全中性子線および速中性子線の低減率は、含水比0～30%と30%以上で低減率の増加傾向が異なり、前者のほうが急激で、後者では比較的緩やかな傾向にあった。含水比0%において、全中性子線低減率は約15%、速中性子線低減率は15～25%の範囲であり、土中に水分がない状態では中性子線の遮蔽効果が低いことが分かった。また、図6より、含水比0%から72%へ増加するのにしたがって熱中性子線が増加した。これは、含水比の増加にともないエネルギーの高い速中性子線が熱中性子線のエネルギーレベルに減衰される現象が多く発生したことにより、速中性子線由来の熱中性子線が増加したと考えられる。また、含水比72%以上においては、速中性子線由来の熱中性子線の低減が行なわれたと考えられる。

焼成ロームはその加工過程により土粒子の骨格構造が乱されて保水性が低下しており、さらに土中水に含まれるイオンの消失や結晶の変質が考えられる。これらの変化により、電磁波であるガンマ線及び電荷を有さない粒子線である中性子線のエネルギー減衰の分量が、焼成ロームと所沢地区ロームでは異なると考えられる。本研究ではその違いが見られなかったが、今後関東ロームの保水性の調査、強熱減量水分や化学組成の調査により、ガンマ線と中性子線のエネルギー減衰の影響因子を明らかにする必要がある。

5. 結論

- 1) 焼成加工された関東ロームと所沢地区で採取した関東ロームを、層厚10cmにおいてガンマ線と中性子線を透過し各遮蔽性能を調査した。その結果、関東ロームの焼成加工の有無に関わらずガンマ線の低減率は湿潤密度に依存するという結果を得た。
- 2) 層厚10cm、含水比0%における関東ロームの全中性子線および速中性子線の低減率は、それぞれ15%程度、15%～25%の範囲であったことから、土中の水分がない状態では中性子線の遮蔽効果が低いことが分かった。
- 3) 層厚10cm、含水比0%～72%の範囲では、含水比の増加にともないエネルギーの高い速中性子線が熱中性子線のエネルギーレベルに減衰される現象が多く発生したことによって熱中性子線は増加したと考えられる。

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な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す。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)環境省、中間貯蔵施設等福島現地推進本部：除去土壌等の中間貯蔵施設の案について、pp.28-34, H26.5. 3)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, 2016.9. 4) (一社)日本粉体工業技術協会：JIS Z 8901 試験用粉体1 説明書, pp.1-20, 2014.11.6. 5)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(地圏工学C)、(投稿中)

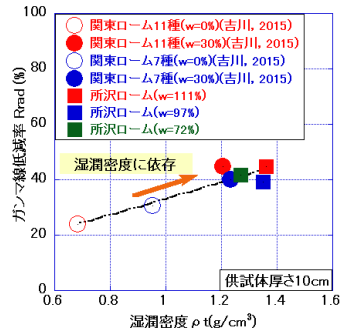


図3 湿潤密度とガンマ線低減率

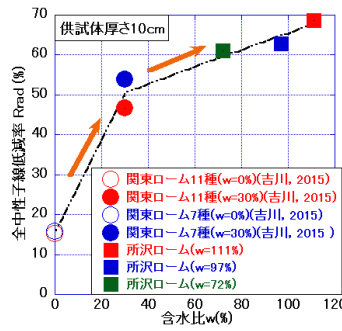


図4 含水比と全中性子線低減率

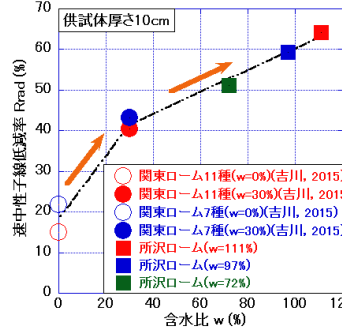


図5 含水比と速中性子線低減率

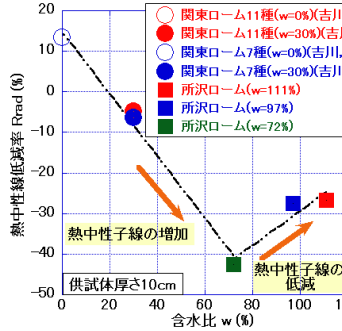


図6 含水比と熱中性子線低減率