

所沢地区の関東ロームを対象とした覆土材の放射線遮蔽性能の評価

関東ローム 火山灰質粘性土 廃棄物

早稲田大学 学生会員 ○那須郁香, 吉川絵麻

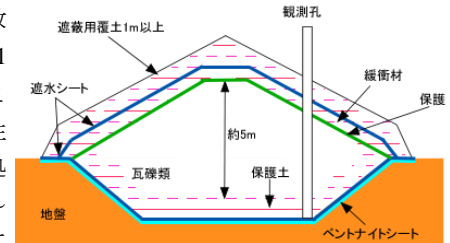
国際会員 小峯秀雄, 後藤茂

西武建設(株) 正会員 新井靖典, (株)ホーゲン 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) 国際会員 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り、事故由来放射性物質に汚染された瓦礫類が復旧工事等で発生している。表面線量率 $1 \text{ mSv/h} \sim 30 \text{ mSv/h}$ 程度の瓦礫類は一定期間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、仮置場に一時保管され福島県内に生じた放射性物質汚染土壌は、中間貯蔵施設に最大30年、最終処分場に埋設の手順での処理・処分が計画されている。土壌貯蔵物の放射性セシウム濃度は $8000 \text{ Bq/kg} \sim 100,000 \text{ Bq/kg}$ を想定し、福島県の大熊町と双葉町に集約されることが決定している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。加えて、将来建屋への覆土等の設計が行なわれる場合、燃料デブリから放出される中性子線を考慮する必要がある。以上より覆土材のガンマ線および中性子線の遮蔽性能を定量的に評価することが重要である。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体積含水率に依存することが明らかにされている³⁾。本研究では自然含水比が高い状態で存在するため中性子線の遮蔽に効果的と考え、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を模擬覆土材と想定し、ガンマ線と中性子線の放射線遮蔽実験を実施した。

図1 覆土式一時保管施設¹⁾

2. 関東ロームの基本的性質および放射線遮蔽実験の実験条件

使用した関東ロームは、埼玉県所沢駅東口の工事現場の標高 $67 \sim 68 \text{ m(G.L.-5} \sim 6 \text{ m)}$ より採取され、比較的均一な茶褐色をしており黒いスコリアを含有したものである。その基本的な性質を表1に示す。自然含水比が 111.7% と高く、関東ロームの特性が確認された。

図2は放射線遮蔽実験の概要図である。ガンマ線の線源に ^{137}Cs を使用し、中性子線の線源に ^{252}Cf を使用した。線源と検出器の測定間隔は 50 cm とし、線源側から層厚 10 cm 、 20 cm と変化させて供試体を設置した。供試体の種類は自然含水比 111% と室内乾燥により調整した含水比 97% 、 72% の3種類で、実験条件は表2に示す通りである。エネルギー状態により分類される中性子線は、全範囲のエネルギー状態が検出される全中性子線、数 MeV の速中性子線、物質の熱運動と平衡で 20°C において 0.025eV のエネルギー状態である熱中性子線の3種類を検出項目とした。

表1 所沢地区の関東ロームの基本的性質

土粒子密度 (g/cm^3)	2.95
液性限界 w_L (%)	126.2
塑性限界 w_p (%)	83.4
塑性指数	42.8
自然含水比 (%)	111.7

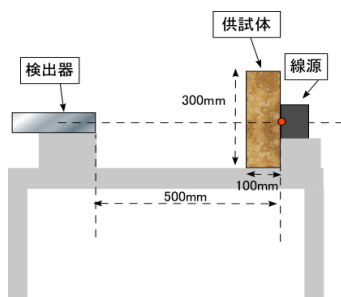


図2 放射線遮蔽実験の概要図

表2 実験条件

供試体の種類	$w=111\%$	$w=97\%$	$w=72\%$
層厚	10 cm, 20 cm		
断面積(鉛直方向)	$30 \times 30 \text{ cm}^2$		
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)	1.36	1.35	1.27
体積含水率 θ (%)	71.5	66.5	53.2

Evaluation on radiation shielding properties of Tokorozawa Kanto loam as covering soil materials

NASU, Ayaka YOSHIKAWA, Ema

KOMINE, Hideo GOTO, Shigeru Waseda University

ARAI, Yasunori Seibu Construction Corporation

UJIE, Shinsuke Corporation HOJUN

YOSHIMURA, Mitsugu Soil and Rock Engineering Corporation

3. 各供試体の層厚変化による評価

供試体の層厚を 10 cm, 20 cm と変化させて各放射線の透過線量を測定し, 各放射線の低減率 R_{rad} を式(1)(2)から算出した。

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

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

ここに, ΔN : 放射線低減量, N : 供試体なしの放射線透過線量, N_0 : 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(ガンマ線のみ存在)

図 3 (a)~(d) の層厚と各放射線の低減率の関係より, 層厚の増加に伴い各放射線の低減率が向上することが認められた。電磁波の一種であるガンマ線は物質との相互作用によりエネルギーが減衰される性質から, 層厚が増加するとエネルギー減衰が促進され低減率が増加した。また, 層厚 10 cm では供試体の湿潤密度 1.27 g/cm³の方が 1.35 g/cm³ よりガンマ線を低減した結果となった。このことから, 層厚 10 cm では湿潤密度の効果が発揮されにくく必ずしも湿潤密度に依存するとは限らないと考えられる。今後, 層厚 10 cm におけるガンマ線低減率について現性を確認し, メカニズムを明らかにする必要がある。

また, 速中性子線は熱中性子線として測定可能な範囲までエネルギー減衰されるため, 層厚 10 cm における熱中性子線の低減率はマイナスに転じ結果として熱中性子線が増加した。層厚が増加すると熱中性子線低減率が急激に増加したのは, 増加した熱中性子線が供試体を通過する距離が長くなることで, 原子核に捕獲されやすくなったためと考えられる。

4. 体積含水率による各中性子線低減率の評価

供試体の含水比 111%, 97%, 72% は表 2 のとおり体積含水率 71.5%, 66.5%, 53.2% に換算される。図 4(a)~(c) は各供試体の体積含水率と各中性子線低減率の関係を示しており, 同条件下の実験における層厚 10 cm, 20 cm の関東ローム供試体と同体積の水道水による各中性子線低減率を併記した。各層厚において関東ロームの体積含水率が増加すると各中性子線の低減率が増加し, 各層厚の同体積の水道水の低減率との差が小さくなる傾向が認められ, 層厚の増加に伴いこの差はさらに小さくなった。層厚 20 cm では関東ロームの全中性子線の低減率は 85%~92% の範囲に存在し, 含水比 111% では水道水の低減率にほぼ等しくなった。速中性子線や熱中性子線についても同様の傾向が確認された。

5. 結論

- 1) 所沢地区で採取した関東ロームについて含水比 111%, 97%, 72% の 3 種類で層厚 10cm, 20cm と変化させ, ガンマ線と中性子線の低減率を算出した結果, 層厚の増加に伴い各放射線の低減率が大きくなる傾向が確認された。
- 2) ガンマ線の低減率は供試体の層厚が増加すると湿潤密度に依存する傾向が確認された。
- 3) 中性子線は体積含水率の増加に伴い低減され, 層厚が増加すると同体積の水道水の低減率との差が小さくなるという傾向が見られた。

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

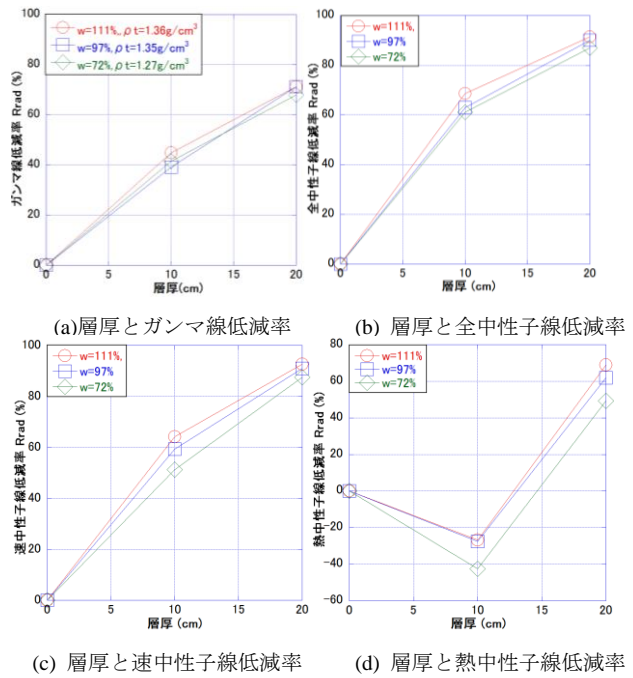


図 3 層厚と各放射線の低減率の関係

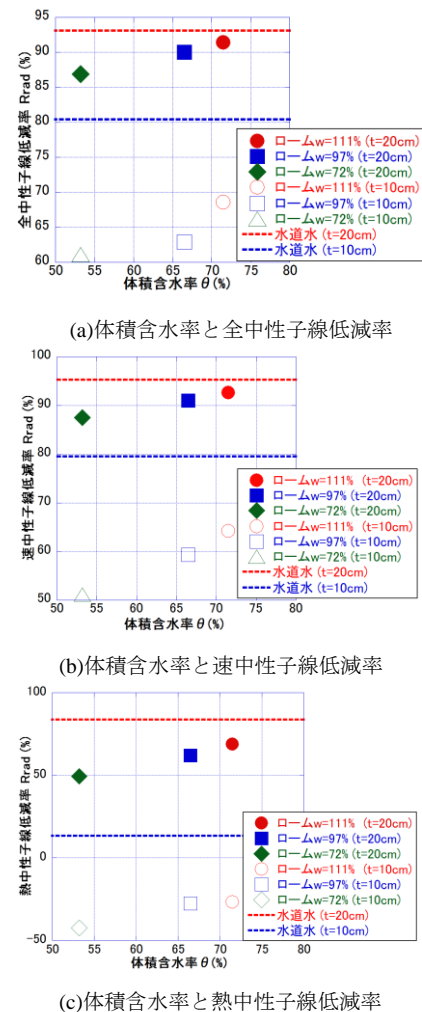


図 4 体積含水率と各中性子線低減率の関係