

ミュオン探査で得たフィルダムの密度と試験値との比較 Comparison between the density of earth-fill dam obtained from muon exploration and experimental values

○高橋健, 柴田俊文, 西村伸一, 珠玖隆行

○Ken Takahashi, Toshifumi Shibata, Shinichi Nishimura and Takayuki Shuku

1. 背景と目的

地震被害からインフラ施設を守るための対策と維持管理が不可欠である。インフラ施設の状態把握には内部探査が必要であるが、例えば土構造物において従来の探査手法では深度と精度を満足できない区域が存在しており、また間接的に地下構造を推定するため結果が定性的になるという課題がある。こうした従来の手法の能力が及ばない探査区域の情報や、定量的な結果を得る方法として宇宙線ミュオンを用いた探査手法がある^{1,2)}。

本研究ではフィルダムを透過するミュオンの数を測定し、その精度から本手法の土構造物に対する維持管理手法としての適用可能性を検討することを目的とする。

2. 探査原理

ミュオン探査は、ミュオンが透過する物質の面密度(密度×透過距離)に応じて物質透過後に飛来数が減少するため、その減少程度から面密度を算出するという原理に基づいた手法である。本研究では湊によって提案された半理論式³⁾を用いて面密度を算出する。

$$I_{\mu}(h, \theta) = I_{\mu 00} \cos^{\alpha + \beta h} \theta \cdot \exp\left(\frac{-h}{A + Bh + Ch^2}\right) \quad (1)$$

ここで、 $I_{\mu}(h, \theta)$: フラックス($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$)、 θ : 天頂角(degrees)、 h : 面密度(hg/cm^2)、 $I_{\mu 00}$ 、 α 、 β 、 A 、 B 、 C : 定数、である。

3. 実験方法

本研究では広島県にある M ダム(中心遮水ゾーン型ロックフィルダム)の監査廊にて、上流・下流の両側に対し天頂角 0° から 60° まで 10° 毎に、ダム堤体及び貯水を透過したミュオンの飛来数を測定した。天頂角の増加に伴い測定範囲に占める水の割合が変化するため、飛来数によりこの変化を捉えることで本手法の精度を検証する。ただし透過距離は断面図から読み取り、堤体材料の密度は過去に実施した試験結果の値(試験値とする)を用いた。Table 1 にフィルダムの材料特性、Fig. 1 にフィルダムの断面と測定角度を示す。

Table 1. フィルダムの材料特性
Material properties of fill-dam

凡例	ゾーン名称	ゾーン区分	築堤材料	密度(g/cm^3)
①	Zone 1	遮水性ゾーン	まさ土	2.07
②	Zone 2	遮水性ゾーン	まさ土	2.08
filter	フィルタゾーン	フィルター	粒度調整碎石	1.97
③	Zone 3	透水性ゾーン	風化花崗岩	2.11
④	Zone 4	透水性ゾーン	花崗岩	2.14

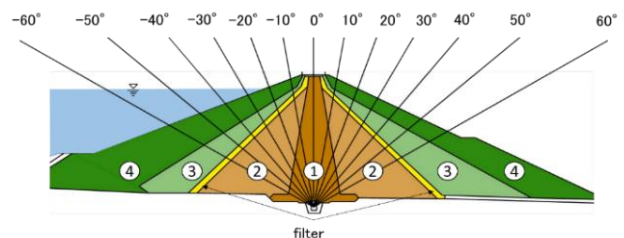


Fig. 1 フィルダム断面図及び測定角度(天頂角)
Cross-sectional view of fill dam and zenith angle of observation

岡山大学大学院環境生命自然科学研究科 Graduate School of Environmental Life, Natural Science and Technology, Okayama Univ.

キーワード: 土構造物の解析, 土構造

4. 結果と考察

測定結果を実測値とし、これと試験値から算出した面密度を Table 2 に示す。Table 2 を見ると全ての角度において試験値と比較して実測値の方が大きいことが分かる。Fig. 2 に、これらの値からフラックスを算出し、横軸に天頂角、縦軸にフラックスをとったグラフを示す。Fig. 2 より天頂角の変化に伴ってフラックスが変化していることが分かり、実測値と試験値を比較すると両者の推移が同様の傾向を示していることが分かる。特にフィルダム上流側にあたる $-30 \sim -60^\circ$ では試験値がほぼ同じように推移していることが確認できる。また下流側では、誤差は増大しているものの、 $20 \sim 30^\circ$ にかけて増加しその後減少するという推移が実測値と試験値で一致しており、変化を捉えられていることが分かる。フラックスの推移はダム形状に対応しており、両者の推移が似ていることから測定によってダムの形状を捕捉することができたと考えられる。

以上よりフィルダムを透過するミュオンを測定することによってダムの形状を把握できたことから、フラックスの推移を比較することで空洞や地質不良の区間を感知できる可能性が高いと考えられる。

Table 2 湊の式により算出した面密度と試験値の面密度の比較

		Comparison between area density calculated by Minato's formula and test values													
degree		-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	
面密度 (hg/cm ²)	試験値	85.15	90.56	94.77	98.53	101.31	108.19	110.88	107.11	98.77	90.74	82.53	73.57	62.79	
	実測値	89.68	96.32	100.29	105.05	106.36	114.62	113.45	109.08	99.97	94.79	87.97	80.23	72.55	

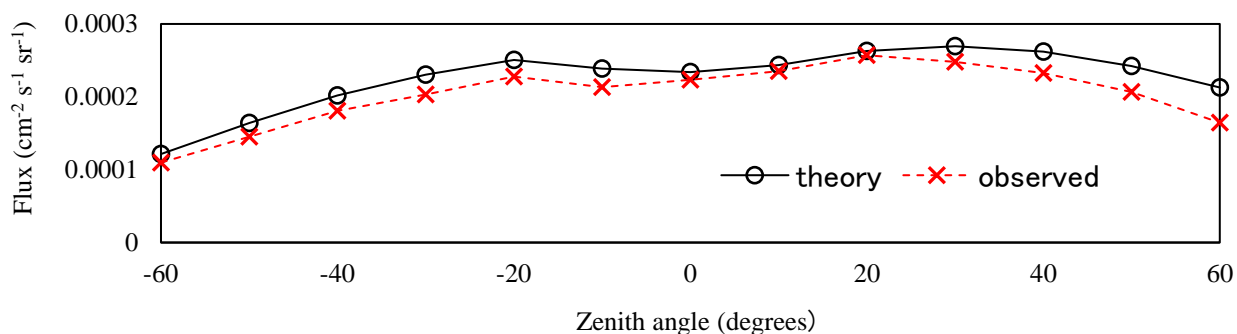


Fig. 2 実測値及び試験値より算出したフラックスの比較

Comparison between flux calculated from observed results and test values

5. 結論

本研究ではフィルダム上流・下流の両側に対して、角度を変化させながら透過するミュオンの数を測定し試験値と比較した。比較の結果、実測値と試験値で誤差が大きいことが判明した。一方で角度の変化に対するフラックスの推移は試験値に近いことが分かった。以上のことからミュオン探査法を実用化するにあたって、複数地点・複数角度で測定した結果から相対的に空洞や地質不良の区間を推定できる可能性が示された。

参考文献

- 1) 湊進, 宇宙線透視像, 放射線, Vol.19, No.1, pp.49-56, 1992.
- 2) 鈴木敬一, ミュオン粒子による土木物理探査の可能性, 物理探査, 第 65 巻, 第 4 号, pp.251-259, 2012.