

河川堤防の内部構造可視化へ向けたミュオン粒子観測

中央大学大学院 学生会員 ○福田 竜平
 中央大学 フェロー会員 山田 正
 川崎地質(株) 正会員 鈴木 敬一
 川崎地質(株) 非会員 草茅 太郎

1. はじめに

河川災害を予防するためには、河川堤防の幾何形状と内部状態の空間的な連続把握が重要である。宇宙線ミュオン粒子を利用した探査技術は、従来の技術では不可能であった数十 m の探査深度と数十 cm の解像度を実現できる。本稿では、宇宙線ミュオン粒子を利用した探査技術の河川堤防への適用の第一歩として、実河川の河川堤防においてミュオン粒子の観測を実施した結果を示す。

2. 宇宙線ミュオン粒子による探査原理

宇宙線ミュオン粒子を利用した探査の原理は、ミュオン粒子の検出器をトンネル等の地下空間に置き、角度ごとにミュオン粒子の数を計測し、その場所までの地盤の厚さから、それぞれの角度方向の面密度(密度×高さ)を計算するというものである(湊(1992))。このときの角度は天頂角といい、鉛直方向を 0° とし、水平に近くなるにつれて数値が大きくなる方向として定義される。宇宙線ミュオン粒子は、常にほぼ一定の量が地表に到達している。そのため地表面が水平であり地盤の密度が一定であれば、透過距離が大きくなるほど地盤による吸収される量も大きくなり、検出器まで到達するミュオン粒子の数は少なくなる。そのため、同じ深さでの計測においては、天頂角が大きくなるほどミュオン粒子の計数は少なくなる。一方、地盤の密度が一定ではなく、密度が小さい領域が存在する場合、そこを通過する測線では、地盤による吸収量が少なくなるため、検出器に到達するミュオン粒子数が増えることになる。以上のように、天頂角ごとにミュオン粒子の計測を行い、計数結果の天頂角分布を得ることで地盤の土被りを推定することができる。

3. 観測概要

ミュオン粒子の検出器は鈴木他(2011)が開発したマルチ検出器を用いた。写真-1に検出器の写真を示す。球形の主検出器と5つの副検出器で構成され、同時に5方向から飛来するミュオン粒子を計測することができる。いずれの副検出器から見ても主検出器の断面積が同じになるように主検出器は球形となっている。いずれの検出器も直径は24.5cm、主検出器と副検出器の間隔は1.4mであり、主検出器の中心と5つの副検出器との角度は 15° ずつである。図-1に観測場の河川堤防の断面図

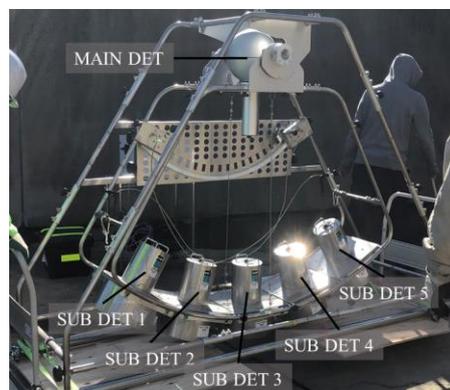


写真-1 ミュオン粒子マルチ検出器

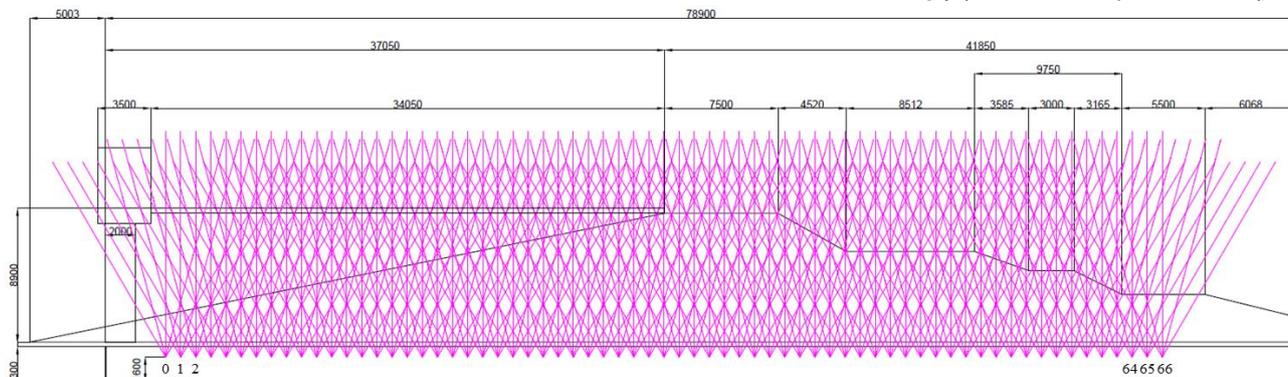


図-1 観測場の河川堤防の断面図

キーワード 河川堤防, ミュオン粒子, 密度分布

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 理工学部 河川・水文研究室 TEL03-3817-1805

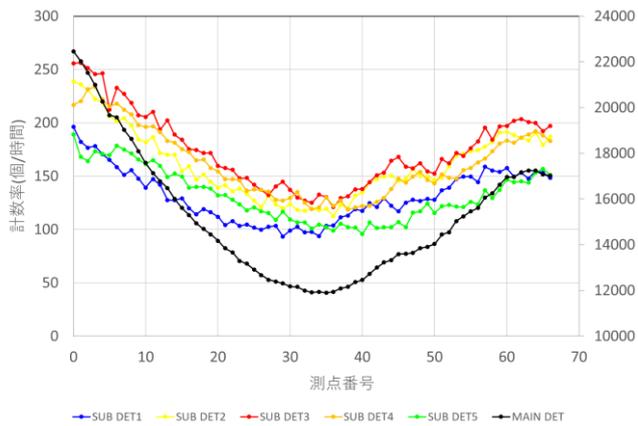


図-2 測点ごとのミュー粒子計数率

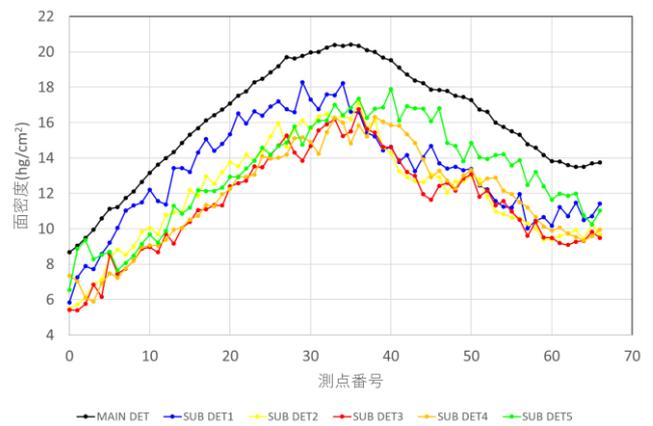


図-3 測点ごとの面密度

と波線を示す。波線は主検出器と副検出器の中心同士を結んだ線と定義する。測点の間隔は1.0mであり、全67地点(測点番号0~66)でミュー粒子観測を実施した。計測時間は変動係数を考慮して奇数の測点で8時間、偶数の測点で15時間とした。

4. 観測結果

図-2に各測点におけるミュー粒子の計数率(1時間当たりのミュー粒子計数)の結果を示す。同図より、真上が天端である図面中央でミュー粒子の計数率が最小となっていることがわかる。図-3に計数率から求めた面密度を示す。用いた式は湊(1992)の式である。計数率とは反対に、土被りの大きい図面中央で面密度が最大となった。全方位(MAIN DET)のデータより、直上が天端である測点33~40の面密度の平均値は20.1hg/cm²となった。仮に地盤の密度が2.0g/cm³であるなら、土被りにして10.05mとなる。図-1より、天端高は約9mであり、約1mの差異がある。これは、地下通路が厚さ30cmのコンクリートで覆われている影響により土被りが過大に評価されたものと考えられる。全方位のデータは、堤防の厚さ(土被り)を相対的に反映しており、河川堤防の幾何形状をよく捉えられている。これらのデータから、ミュー粒子を利用した探査技術により、河川堤防の幾何形状を捉えられたといえる。

5. まとめ

実河川の河川堤防においてミュー粒子の観測を実施した。それによりミュー粒子の計数データが得られ、堤防の幾何形状を空間的に連続把握できることが示された。今後は、得られたミュー粒子計数のデータを用いてトモグラフィ解析を行い、河川堤防の内部状態(密度分布)の可視化を検討する予定である。

また、本研究で用いたミュー粒子のマルチ検出器を使用するためには、トンネルのような地下空間が必要である。大きな地下空間が存在する河川堤防は限られており、適用範囲を広げるためには、地下空間がないもしくは小さい場所でも観測を行うために検出器の小型化が重要である。このため、シンチレーションファイバと光電子半導体を用いて小型化した新型検出器を開発中である。さらにこの新型検出器を用いた基礎実験を実施し、計測時間や空間解像度について検討していく予定である。

謝辞

この研究は日本学術振興会(JSPS)科研費(挑戦的研究(開拓)「ミュー粒子を活用した河川堤防及び土木構造物の内部構造可視化技術の開発」)の助成を受けたものです。また、利根川上流河川事務所からは観測場の提供をしていただきました。川崎地質(株)には機材の提供及び計測の指導をしていただきました。関係者各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 湊 進：宇宙線透視像，放射線，第19巻，第1号，pp.49-56，1992
- 2) 鈴木 敬一，大沼 寛，奥村 忠彦，宮川 彰彦：宇宙線ミュー粒子を利用したマルチ計測器と三次元トモグラフィ技術の開発，平成23年度土木学会全国大会第66回年次学術講演論文集，2011