

ミュー粒子を利用した探査技術による河川堤防の内部構造可視化

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。宇宙線ミュー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。本研究の目的は、ミュー粒子による探査を河川堤防に適用することである。本稿では、ミュー粒子を利用した探査技術により、河川堤防の内部構造を可視化した結果について示す。

2. 宇宙線ミュー粒子による探査原理

宇宙線ミュー粒子を利用した探査の原理は、ミュー粒子の検出器をトンネル等の地下空間に置き、角度ごとにミュー粒子の数を計測し、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¹⁾。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。宇宙線ミュー粒子は、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ー粒子の数は少なくなるため、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ー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ー粒子数が増えることになる。以上のように、天頂角ごとにミュー粒子の計測を行い、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. ミュー粒子によるトモグラフィ解析

検出器は鈴木他(2011)が開発したマルチ検出器³⁾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ー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にミュー粒子の計測を実施した観測場

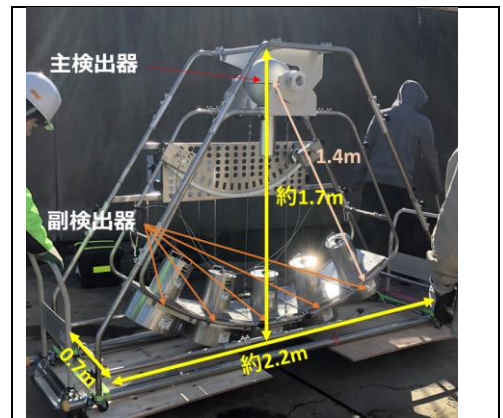


写真-1 ミュー粒子マルチ検出器

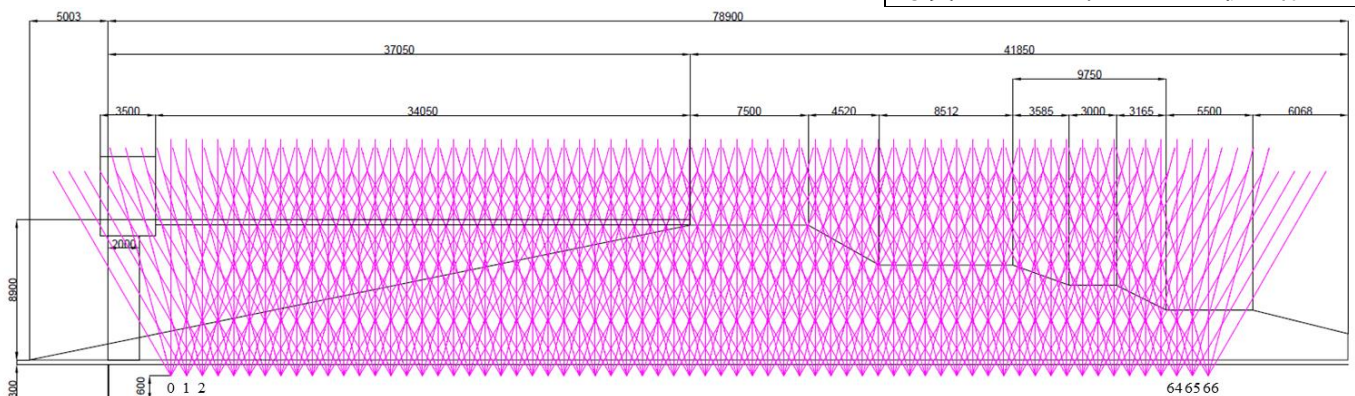


図-1 観測場の断面図と波線図

キーワード 河川堤防, ミュー粒子, トモグラフィ, 密度分布

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL : 03-3817-1805 E-mail : a15.a6aa@g.chuo-u.ac.jp

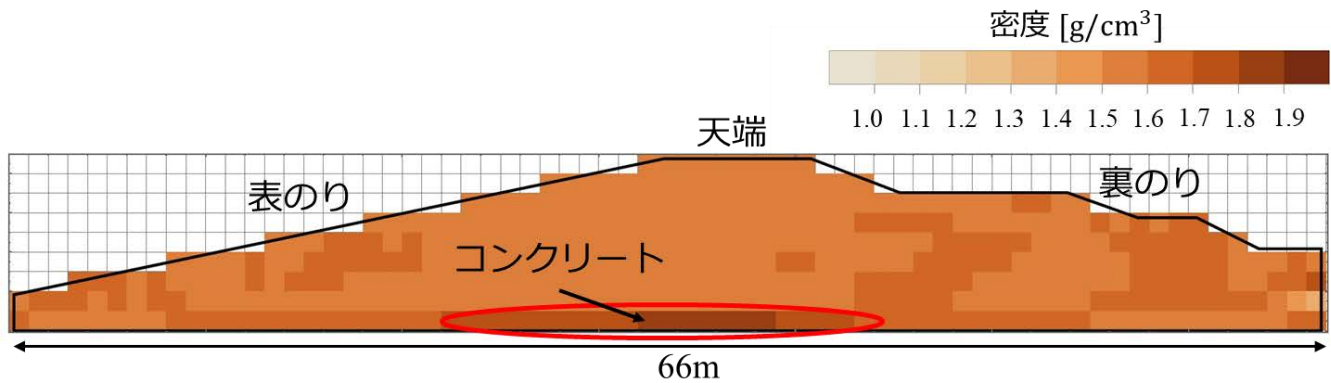


図-2 トモグラフィ解析による堤防地盤の密度分布

の断面図と波線図を示す。観測場の堤防は天端高約 9m で、全長およそ 80m の樋管が通っている。樋管に検出器を設置してミュ粒子の計測を実施し、トモグラフィデータを得た。波線は主検出器と副検出器の中心同士を通る直線と定義する。計測区間は 66m、測点の間隔は 1.0m とした。

図-2 にミュ粒子によるトモグラフィ解析の結果を示す。縦 9m、横 66m の長方形領域のうち、堤防地盤領域の密度分布を示している。トモグラフィ解析は $9\text{m} \times 66\text{m}$ の長方形領域を 1m 四方の正方形のセルで行った。逆解析には、非線形最小二乗法を用いた。密度の初期値には、地盤には $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ を、空気に $0.0\text{g}/\text{cm}^3$ を与えた。同図より、地盤の密度は $1.5 \sim 1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 程度を示している。空洞のような密度が著しく小さい領域は見られない。真ん中の下には、周りに比べて高密度な領域が見られる。これは堤防を通る樋管の壁材であるコンクリートの影響だと思われる。図-1 よりコンクリートの厚さは 30cm であるから、高密度領域のセルの 70% が地盤、30% が密度 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ のコンクリート³⁾であるとして計算すると、セルの平均密度は $1.81\text{g}/\text{cm}^3$ となり、解析結果と合う。

4. まとめ

河川堤防においてミュ粒子の計測を実施した。得られたトモグラフィデータを基にトモグラフィ解析を行い、河川堤防地盤の密度分布を可視化した。解析結果から、地盤密度は $1.5 \sim 1.6\text{g}/\text{cm}^3$ を示した。堤防下部を通る樋管の壁材であるコンクリートと思われる高密度領域が見られた。空洞と見られるような低密度な領域は見られなかった。

課題としては、まず解像度の向上が挙げられる。数十 cm の解像度で解析できるように逆解析手法を検討する必要がある。また、本研究で用いた、ミュ粒子による探査をはじめとした物理探査は、複数の手法で得られた結果や既存のデータと比較、統合することが重要である。今後は解像度の向上とともに、解析から得られた地盤密度の値と既存の土質データ等との比較を進めていきたい。

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、解析について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
- 3) 田沢栄一：エース コンクリート工学 改訂新版，2015