

宇宙線ミュー粒子を利用した空洞探査システム

川崎地質株式会社	正会員	○鈴木 敬一
川崎地質株式会社		大沼 寛
(財)エンジニアリング振興協会	フェロー	奥村 忠彦
川崎地質株式会社	正会員	宮川 彰彦

1. はじめに

都市部のインフラストラクチャの老朽化などにより、その上部の地盤が空洞化し、陥没事故に至ることがある。このような空洞を探査する方法として、物理探査が適用されている。しかし、現状技術にも課題があるため、新たな空洞探査手法として、宇宙線ミュー粒子に着目した空洞探査を考案し、基礎実験を行った。

2. 現状技術の問題点

地盤の空洞化を調査する方法には様々な手法があり、空洞の規模や深さに応じて使い分けられている。深さ3m程度までは、分解能数十cmの地中レーダ探査が有効である。それより深い場合には電気探査や浅層反射法探査などが使われている。これらの探査手法では10m以上の探査が可能であるが、分解能は数mであり、空洞探査に適さない場合もある。物理探査を都市部で適用する場合には、振動や電気ノイズなど探査の障害も多く、効果的な適用が困難な場合も多い。

宇宙線ミュー粒子は、高エネルギーの素粒子であり、振動や電気ノイズなどに全く影響を受けない。これを空洞探査に利用することで現状技術の課題を克服できる可能性が高い。

空洞探査だけでなく、社会インフラ施設周辺の健全性をモニタリングする技術として使うことも考えられる。社会インフラ施設の管理者側から、その上部の健全性を確認する確立された調査技術は、現状ではほとんどない。ミュー粒子は時間変動が少ないため、地盤の密度変化を調べるには適したものと考えられる。

3. 宇宙線ミュー粒子の概要と探査原理

ミュー粒子は宇宙から到来する宇宙線が大気中に突入したときに生じる素粒子の一種である。X線や中性子などに比べて透過能力に優れ、地中を数百mから数千m透過する。ミュー粒子の時間変化は大きく見積もっても5%程度であり、一定量が常に地表に到達している。ミュー粒子は天頂角によって数が異なすが、その分布は詳しく調べられている。物質中では密度が大きいほど、あるいは透過距離が長くなるほど吸収も大きくなる。そのため、物質を透過してきたミュー粒子の数を測定すると、密度×土被り（これを面密度という）を推定することができる（湊,1992）。従って、土被りがわかれば密度が推定でき、空洞探査に応用することが可能である（大沼ほか,2009）。

4. 基礎実験

図-1にミュー粒子の測定器を示す。ふたつの検出器を同時に透過したミュー粒子だけを測定する。全体を回転させることにより、天頂角ごとのミュー粒子を測定することができる。使用した機器の詳細と若干の実験結果については鈴木ほか(2009)で既に報告してある。本報告は、空洞探査技術を確立するための基礎実験を行った結果である。



図-1 ミュー粒子の測定状況

キーワード 宇宙線, ミュー粒子, 物理探査, 空洞探査, 密度

連絡先 〒108-83374 東京都港区三田 2-11-15 川崎地質株式会社 探査技術部 TEL 03-5445-2090

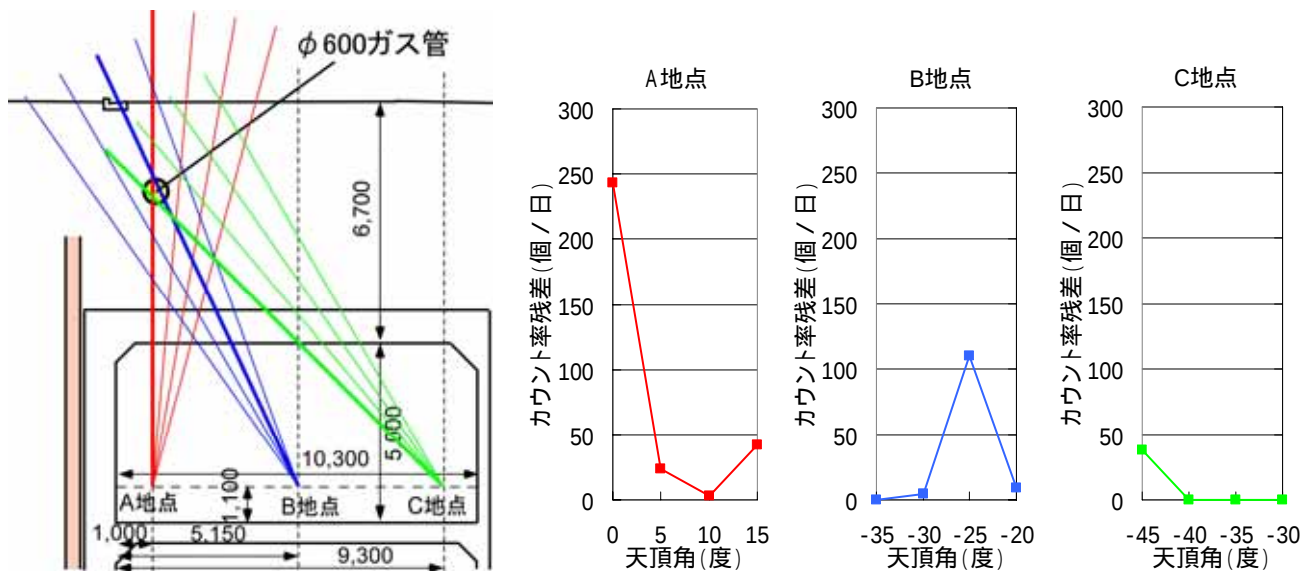


図-2 実験場の断面と測定結果

図-2 左に実験場の断面を示す．土被りは6.7mである．天頂角0度付近のミュー粒子の測定データから，湊(1992)の方法を用いて面密度の平均値を求め，それを土被りで除して求めたところ $1.66\text{g}/\text{cm}^3$ であった．この平均密度を用いて，土被り6.7mにおける各天頂角の理論値と，測定値との残差を求めたのが図-2の右のグラフである．A地点の天頂角0度方向にはφ600mmのガス管が埋設されている．ガス管は，空洞と同じように密度が小さいため，ミュー粒子の単位時間当たりのミュー粒子の数(カウント率)が大きくなっている．B地点ではガス管は-25度の方向にあり，その方向でカウント数残差も大きくなっている．同様にC地点では-45度方向でカウント数残差が大きくなっている．天頂角が大きくなると残差が小さくなっていることは，理論的にも確かめられている(大沼ほか，2009)．これらのデータからミュー粒子の測定により地盤内部の低密度(ガス管)を検出できたといえる．

5. まとめと今後の展望

宇宙線ミュー粒子を利用した空洞探査システム開発のため，基礎実験を行った．それによりガス管のような低密度を検出することが示された．

ミュー粒子の測定には，測定時間と測定器の大きさ・土被り・地盤の密度など様々な条件によって，測定精度が左右される．そのため地下における測定の最適条件を検討する必要がある．また，地下での使用条件(温度・湿度・粉じんなど)を考慮した測定器を検討する必要がある．さらに，ジオトモグラフィ解析のためのアルゴリズムやデータの蓄積・実データでのジオトモグラフィを行い，空洞探査や社会インフラ施設周辺の健全性モニタリングシステムとして実用化する予定である．さらに測定効率向上のためのマルチチャンネル化や三次元探査への可能性なども検討する予定である．

謝辞

この研究は(財)JKAより(財)機械システム振興協会が，競輪補助金の交付を受け，(財)エンジニアリング振興協会が実施した事業です．関係各位に感謝いたします．

参考文献

- 1) 大沼 寛・鈴木敬一・湊 進・久保田隆二・東谷 謙(2009)：宇宙線ミュー粒子を利用した地盤探査システム開発のための理論的検討，物理探査学会第121回学術講演会論文集，pp.231-234.
- 2) 鈴木敬一・湊 進・大沼 寛・久保田隆二・東谷 謙(2009)：宇宙線ミュー粒子を利用した地盤探査システム開発のための試作機製作と基礎実験，物理探査学会第121回学術講演会論文集，pp.235-238.
- 3) 湊 進(1992)：宇宙線透視像，放射線，19，1，pp.49-56.