

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

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
 一般財団法人 エンジニアリング協会 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

地下社会インフラ施設の老朽化により、その周囲に空洞が発生し、陥没事故などが社会問題となっている。陥没が生じる前に空洞を調査し、事故を未然に防ぐことが必要である。しかし、現状技術では探査深度や分解能の点で完全な調査方法がない。そこで、それらのニーズに対応するため、筆者等は宇宙線ミュー粒子を利用した空洞探査システムを開発してきた（鈴木他(2010)¹⁾）。本研究は、探査時間の短縮と地盤内部の三次元可視化を目的として、マルチ計測器と三次元トモグラフィ解析アルゴリズムを開発したものである。

2. マルチ計測器の開発

鈴木他(2010)¹⁾の研究では、一方向のミュー粒子を捉える方法であったため、計測に時間を要した。計測時間の効率化のため、一度に複数の方向からのミュー粒子を捉えることができるマルチ計測器を開発した。図-1 にマルチ計測器の外観を示す。上部に球形の主検出器を配置し、下部に5台の副検出器を配置し、同時に5方向から到来するミュー粒子を計測することができる。ど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、主検出器は球形とした。いずれの検出器も直径は $\phi 24.5\text{cm}$ 、検出器間の距離は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度ずつとした。マルチ計測器の開発により、データの品質を低下させることなく、従来の計測装置の5倍の効率で、計測することができる。



図-1 ミュー粒子マルチ計測器

3. 三次元トモグラフィ解析アルゴリズムの開発

ミュー粒子計測器は、検出器の断面積と二つの検出器との距離で決まる円錐の範囲に到来したミュー粒子を捉える。計測そのものが円錐という三次元空間で行われる。一方で、地盤内部に発生する空洞は、二次元ではなく三次元であり、空洞探査に適用する場合には、三次元の効果を考慮する必要がある。そのため地盤を可視化するための三次元トモグラフィ解析アルゴリズムを開発した。検出器に入射するミュー粒子のカウント数は、入射角依存性があるため、それを予めモンテカルロシミュレーションで求めて、入射角依存性を考慮することとした。

4. 現地測定

前述のマルチ計測器を用いて、地下で三次元トモグラフィのためのデータを取得した。図-2 に平面図（左）と断面図（右）を示す。土被り11.1mの地下の通路の上に、幅約3.5mの通路が屈曲している。その右側には直径 $\phi 1.3\text{m}$ の下水管がある。この両者の下部の通路に計測器を設置し、平行に三本の測線で計測した（同図の3本の赤線）。縦断方向の測線長は12mであるが、ミュー粒子を捉える範囲が円錐状であるため、縦断方向・横断方向とも少し広がった範囲を計測することができる。測定ピッチは1m、天頂角（鉛直からの角度） $-40^{\circ} \sim +40^{\circ}$ まで5度刻みで計測した。計測は平成22年8月29日から平成23年1月21日の期間で行った。

キーワード 地盤探査, 陥没事故, 空洞調査, ミュー粒子, 三次元可視化, 密度分布

連絡先 〒108-83374 東京都港区三田 2-11-15 川崎地質株式会社 探査部

TEL 03-5445-2090

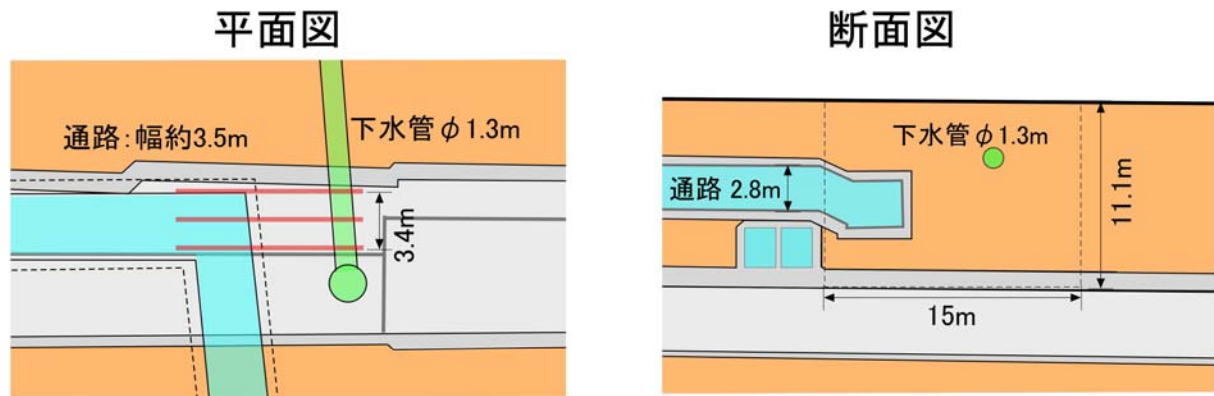


図-2 実験場の平面図と断面図

5. 三次元トモグラフィ解析結果

図-3 に三次元解析による密度分布を示す. 暖色系は高密度であり, 密度 1.0g/cm^3 以下は透明にした. 縦断方向は 15m , 横断方向は 5m , 深さ方向は 11m である.

トモグラフィ解析の初期モデルには地盤の平均密度 1.81g/cm^3 を与えた. 計測した通路の上部には鉄筋コンクリート 2.35g/cm^3 を, 通路や埋設管の部分は 0.3g/cm^3 をそれぞれ与えた.

同図の左側に通路, 右や上方に下水管がそれぞれ可視化できている. ミュー粒子の透過経路に偏りがあるため, 若干の偽像が現れているが, 空洞に見立てた通路や下水管の低密度異常がはっきりと確認できる. 左右の端には高密度異常が見られるが, これは地表を平坦と仮定したため, 周囲の建物などの寄与分が現れたものと考えられる.

三次元で解析すると, 上述のように地下空洞を三次元で可視化できることが示された.

6. まとめと今後の課題

宇宙線ミュ粒子を地下で計測し, 三次元解析アルゴリズムを用いて, 地下空洞を含む地盤内部を可視化することが可能となった. さらに5方向を同時に計測できるマルチ計測器を用いることにより, データの品質を低下させずに計測効率を5倍に向上させることができた.

今後の課題としては, 以下の項目を検討する必要がある.

- ① 計測器のマルチ化をさらに推し進め, 計測時間の短縮化を図る.
- ② 地下の苛酷な環境に対応した計測装置の改良を図る.
- ③ 電源の安定確保を検討する.
- ④ 空洞調査やそれ以外のニーズを開拓し, 事業化を図る.

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, 一般財団法人エンジニアリング協会が実施した事業です. 関係各位に感謝致します.

参考文献

- 1) 鈴木敬一, 大沼 寛, 奥村忠彦, 宮川彰彦(2010): 宇宙線ミュ粒子を利用した空洞探査システム, 平成22年度土木学会全国大会土木学会第65回年次学術講演会論文集, V-184