

ミュー粒子計測による空洞を含む地盤密度の推定

NTT 正会員 ○小林 大樹

NTT 非会員 山下 翔平, 櫻田 洋介, 荒武 淳

1. 背景と目的

地盤陥没は周辺の社会基盤に被害を及ぼす事象である。日本では令和3年度には約1万件程度発生しており¹⁾, 社会問題となっている。未然に地下空洞を発見することで陥没防止の対処が見込めるが, 地盤調査に使われるマイクロ波による探査はその原理上, 計測範囲が数mの範囲に限定される。一方で, 透過性の高い2次宇宙線の一種であるミュー粒子の計測により地盤調査をする研究が報告されている²⁾。ピラミッドや火山の内部探査の加えて, に地中空洞の探査といった応用地質分野にも研究が発展している。しかしながら, 未だに地盤の空洞調査方法として実用化には至っておらず, 研究例も少ない。特に道路陥没を想定すると, 埋設物は多くの埋設物は土被り10m内に存在するものの, 定量的な計測精度の評価例は極めて少ない。そこで, 道路下を想定した浅い地盤に空洞が存在する環境にて, ミュー粒子計測による地盤密度の計測精度を検証した。

2. 方法

図1の通り空洞を有する最大深さ7.2m地盤を対象にミュー粒子計測をした。この地盤の真下にはトンネルがあり, そこへプラスチックシンチレータを具備したミュー粒子計測器を設置し, 鉛直方向のミュー粒子を計測した。1点当たりの計測時間を12時間とし, 0.5m間隔で0から16mまで移動させてミュー粒子の時間当たりの検知数を連続計測した。さらに, コンクリートボックスと塩化ビニル管を土中に設置した。

ミュー粒子の検知数から密度を換算するには, 複数の式が提唱されているが, 今回は浅い地盤への適用例のある湊による式(1)³⁾を用いた。

$$I(h, \theta) = I_{00} \cos^n \theta e^{\frac{-h}{\Lambda(h)}} \quad (1)$$

ここで, $\Lambda(h) = A + Bh + Ch^2$, $n = \alpha + \beta h$ であり, I はミュー粒子の鉛直強度 ($\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$), θ は天頂角を示しており本研究では 0° , h は面密度 (g/cm^2)である。各定数は $I_{00}=0.00723$, $A=17.61$, $B=0.1404$, $C=-7.069 \times 10^{-5}$, $\alpha=1.495$, $\beta=0.002018$ である。そして, 計測時間および検出器の断面積当たりのミュー粒子検出数から I および h を求めた。さらに, h を地盤深さにて除算することで, ミュー粒子検出数からの換算に基づく密度 D_m を得た。

3. 結果と考察

図1に計測位置ごとにミュー粒子数からの換算に基づく密度を比較したグラフを示す。計測位置 $L=3.0 \sim 5.0$ m および $L=12.0, 12.5$ mには高さ1.3mのコンクリートボックスがあり, 他の計測位置に比べて, D_m は低い結果を示した。また, $L=6.5, 8.5$ mの内径0.6m塩化ビニル管の位置においても, D_m はコンクリートボックス下の計測位置に比べて変化は少ないものの, 他の計測位置に比べて低い結果を示した。加えて, コンクリートボックスの壁面に位置する $L=13.0$ mにおいては, 他の計測位置とよりも D_m が大きな値を示した。以上より, 空洞の直下では, 空洞の大きさに応じて D_m は小さくなり, さらに構造物の密度に応じて, D_m は高くなることがわかった。ミュー粒子計測によって, 地盤密度を相対的に推定可能であることを確認できた。

しかしながら, 空洞が存在せずに同一環境と仮定される場所を比較すると D_m の大きさは測定位置ごとに変動していた。よって, ミュー粒子検出数から推定される地盤密度の精度は, 検討の余地が残されているといえ

キーワード: ミュー粒子, 地盤空洞, 地盤密度, 地盤探査法

連絡先 〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 NTTアクセスサービスシステム研究所 TEL 029-868-6218

る. ミュー粒子検出数から正確な密度を推定するには, 計測時間やその他の外乱に対するノイズ除去などを検討する必要がある.

4. まとめ

ミュー粒子計測により空洞を含む地盤密度の精度検証をした。空洞を有する構造物により空洞を模擬した環境を構築し、その直下のトンネル内にてミュー粒子計測をし、ミュー粒子計測数から地盤密度を換算した。その結果、空洞下では密度が小さく示され、コンクリート壁面では密度が大きく示されたため、相対的には地盤密度を推定できたといえる。しかし、空洞が存在しない同一環境下の密度は変動が大きく、正確な地盤密度の推定には課題が残った。

引用文献：

- 1) 国土交通省：道路の陥没発生件数とその要因（令和3年度），2022.
- 2) 鈴木 敬一，金沢 淳：宇宙線ミュオン粒子を利用した探査技術の応用地質分野への適用，*応用地質*，第57巻，第6号，pp.266-276，2017.
- 3) 進 湊：宇宙線透視像，*放射線*，第19巻，第1号，pp.49-56，1992.

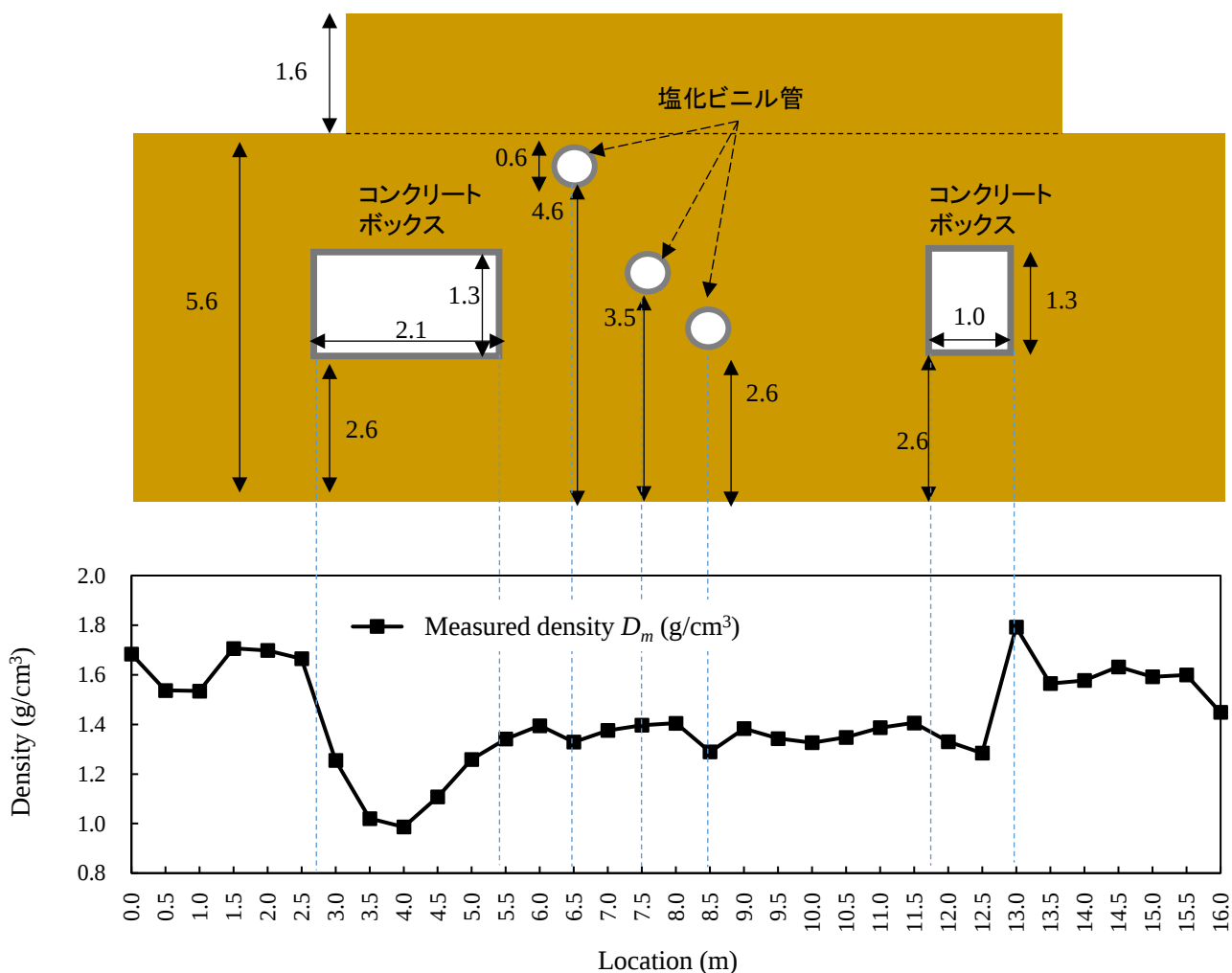


図1 上:計測した地盤の断面図、下:ミュー粒子数からの換算に基づく地盤密度