

散乱型 RI 密度計・水分計の不陸補正とダム遮水材への適用性に関する検討

(株)熊谷組 正会員 ○沼宮内 雅人, 高木 秀和, 中出 剛, 北原 成郎
 ソイルアンドロックエンジニアリング (株) 正会員 池永 太一

1. はじめに

ロックフィルダムの遮水材の密度管理は、砂置換法による測定が一般的である。また、河川土工および道路土工における盛土の締固め管理は砂置換法に加えて透過型 RI (Radio Isotope) 法 (以下、透過型と記す) による計測が主流である。一方、砂置換法は試験孔、透過型は線源挿入孔を必要とし、削孔する時間や手間がかかることが課題であった。そこで、線源棒挿入孔を必要としない散乱型 RI 法 (以下、散乱型と記す) に着目したが、散乱型は、幾つかの文献^{1),2)}により測定面の不陸の影響を受けやすい特性があることが確認されている。本稿では、放射線挙動シミュレーション PHITS と、2次元レーザースキャナ LiDAR を活用することで、散乱型の不陸補正とダム遮水材への適用性に可能性を得たのでその検討結果について報告する。

2. 概要

2.1 使用した測定器

本検討では、散乱型密度計および水分計 CONG-II (何れも、ソイルアンドロックエンジニアリング社製) を使用した (図-1 参照)。比較基準となる透過型は、一般にロックフィルダムの密度管理に用いられる自動走査式 RI 密度水分計 SRID (ソイルアンドロックエンジニアリング社製) を用いた (図-2 参照)。RI 法の詳細については参考文献を参照されたい。なお、SRID にはレーザーセンサによる不陸補正機能が搭載されている。2次元 LiDAR には、レーザー式測域センサ UST-05LA (北陽電機社製) を使用した。測定面の鉛直上方に設置し、図-1 中の赤色の線を通してのようにスキャニングを実施した。LiDAR の測距結果は角度 0.5 度毎に得られ、三角関数にて測位点毎に鉛直方向の距離 (図-3 中、 $r \cdot \cos \theta$) に換算し測定地盤面の凹凸を評価した。

2.2 シミュレーション解析

本検討に用いた PHITS (Ver3.24) は、放射線挙動を核反応モデルや核データなどを用いて模擬するモンテカルロ計算コードである³⁾。散乱型密度計・水分計それぞれの計器底面の測定中心を原点とし、図-1 の赤色線 (LiDAR 走査方向) を X 軸、奥行き方向を Y 軸、鉛直高さ方向を Z 軸とした。空隙を幅 3cm 固定で X 軸方向に 3cm ずつ 10 水準、Z 軸方向に -0.6, -1.2, -1.8, -2.4, -3.0cm の 5 水準、Y 軸方向は空隙がそのまま連続するように設定し、不陸無しの場合の基準値に対する各水準の増減比を算出した。図-4 に不陸補正モデルの一例を

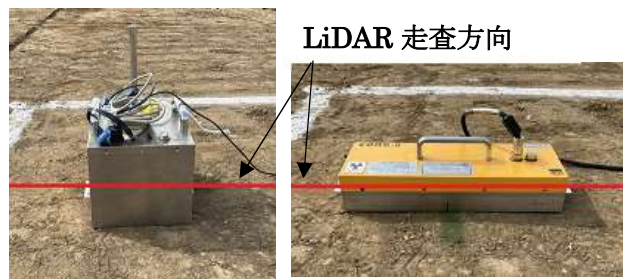


図-1 散乱型密度計 (左) 水分計 (右)



図-2 透過型 (SRID)

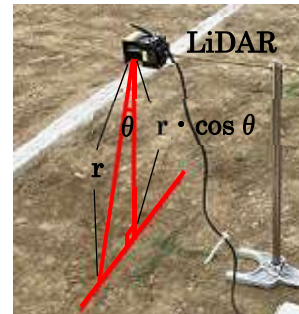
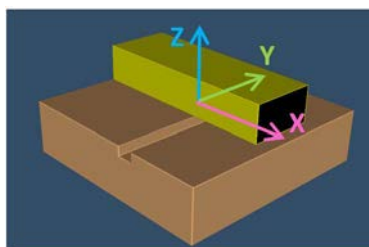


図-3 LiDAR



左: PHITS 3D モデル
 下: XZ 断面イメージ

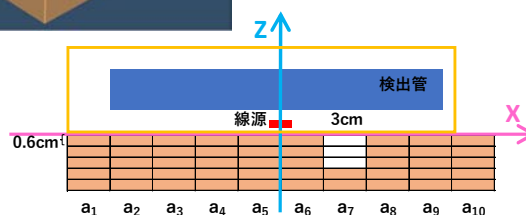


図-4 不陸補正モデルの一例 (水分計, X:a7, Z:-1.8cm)

キーワード 透過型 RI, 散乱型 RI, ロックフィルダム, 密度計, 不陸補正

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組土木事業本部 TEL03-3235-8622

示す。得られた増減比を表-1, 2に示す。

2.3 不陸補正手法

実際の不陸補正の計算は、得られた LiDAR データに対して、シミュレーションと同様にメッシュを区切り、X 軸方向の左右5つずつの増減比を算出し、RI 出力値(cpm)に対して計10個の増減比をかけ合わせて不陸補正後 RI 出力値を求める。式-1に不陸補正式を示す。

$$N = N_0 \times a_1 \times a_2 \times \dots \times a_{10} \quad (\text{式-1})$$

N_0 : RI 出力値(cpm)

N : 不陸補正後 RI 出力値(cpm)

$a_1 \sim a_{10}$: 密度計あるいは水分計の増減比

3. 現場実験結果

大切畑ダムの遮水材仮置き場にて現場実験を行った。まず、なるべく平らな測定面にて散乱型を0.6cmずつ地表面から浮かせて、測定器底面を基準とした地表面座標と増減比の関係を確認した。図-5に密度計の結果を、図-6に水分計の結果を示す。密度計、水分計共に、解析値と実測値の増減比の傾向は概ね一致している。

次に、散乱型と透過型の比較検証を5点実施した。密度計の比較結果として図-7に湿潤密度の相関図を、水分計の比較結果として図-8に含水量の相関図を示す。密度計に着目すると、図-7中の赤で囲った箇所、不陸補正によって湿潤密度の誤差低減が見られた。図-9に精度改善が見られた地点での LiDAR 測定結果を示す。 a_1 から a_{10} のメッシュを区切り、地表面座標が-0.6を下回ったメッシュを青で着色した。密度増減比への影響が大きい a_6 付近に存在した空隙の影響で補正前湿潤密度の過小評価誤差が生じたと考えられる。水分計に着目すると、図-8中の青で囲った箇所、やや含水量の過大評価箇所が見られるが、現場実験時の降雨の影響もあり、実際に地表面近傍の散乱型測定領域で水分が過大な状態が影響したものと考えられる。比較検証の結果、今回検証した不陸補正式によって一部データの誤差を低減することができた。

4. まとめ

今回の検討では、PHITSによるシミュレーション解析と、LiDARによる測定面の距離測定により、散乱型の高度な不陸補正を試行し、不陸が原因と思われる誤差データの低減を試みた。本不陸補正手法は、計器の底面と地表面の密着性を確保することが難しい現場状況にて、散乱型の計測誤差を低減させるための一手法となり得ると考えられる。解析値と実測値の差異の原因としては、実験誤差以外に、メッシュの粗さ、単純に増減比をかけ合わせるという不陸補正式の問題などが考えられる。今後は、これらの課題解決を目指すと共に、3D LiDARによる2次元拡張、補正が適用可能な材料条件や計器形状についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, 第9編現場密度試験第6章 RIによる土の密度試験, 2013.
- 2) 千葉力, 大村啓介, 池永太一, 塩見篤志: 自動現場密度試験ロボット開発のための改良散乱型 RI 試験機評価, 土木学会第72回年次学術講演会, VI-700, pp.1399-1400. 2017.
- 3) Tatsuhiro Sato, Yosuke Iwamoto, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiro Ogawa et al. : Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02, J. Nucl. Sci. Technol. 55, pp.684-690. 2018.

表-1 密度計増減比

Z \ X	a1,a10	a2,a9	a3,a8	a4,a7	a5,a6
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
-0.6	0.998	0.997	0.998	1.004	1.088
-1.2	0.998	0.996	0.996	0.996	1.156
-1.8	0.998	0.997	0.996	0.990	1.182
-2.4	0.998	0.996	0.996	0.986	1.160
-3.0	0.999	0.997	0.993	0.978	1.137

表-2 水分計増減比

Z \ X	a1,a10	a2,a9	a3,a8	a4,a7	a5,a6
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
-0.6	0.996	0.993	0.989	0.986	0.980
-1.2	0.992	0.987	0.981	0.970	0.967
-1.8	0.989	0.983	0.975	0.956	0.950
-2.4	0.985	0.976	0.970	0.950	0.936
-3.0	0.981	0.972	0.965	0.940	0.926

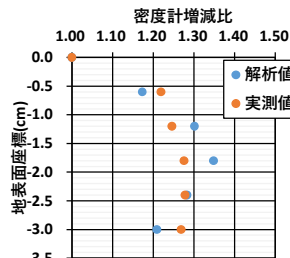


図-5 地表面座標と密度計増減比の関係

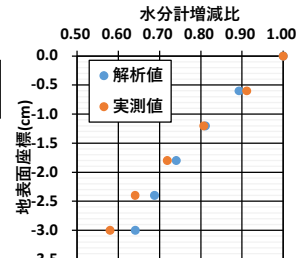


図-6 地表面座標と水分計増減比の関係

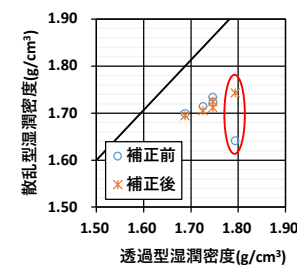


図-7 湿潤密度相関図

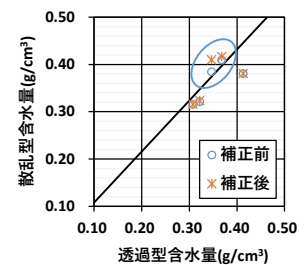


図-8 含水量相関図

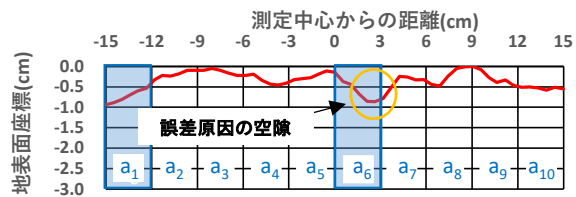


図-9 精度改善が見られた地点の LiDAR 測定結果