

キャパシタ型電極の比抵抗計測深度に関する実規模検証実験

鹿島建設(株) 正会員 ○松本聡碩 小林一三 岡本道孝 小原隆志
坂本 諭 米丸佳克 福島 陽

1. はじめに

筆者らは、盛土の品質管理（現場密度試験など）の迅速化・省力化を目的として、移動計測が可能な車輪型電極によって盛土の比抵抗を計測し、乾燥密度を容易かつ面的に算出する手法（以下、比抵抗法）を提案している¹⁾。別報²⁾では、車輪型よりも計測の作業性に優れるキャパシタ型電極と称する計測装置を用いて施工中の台形CSGダムのCSG打設面において比抵抗法を試行し、その適用性を確認した。

比抵抗法の特長として、電極配置によって計測深度が可変であることが挙げられる。そして、比抵抗法の目的は施工中の盛土品質の計測であり、その計測深度は盛土1層分であることが望ましい。従って、キャパシタ型電極の適切な電極配置を決定するために、まずはその計測深度を評価する必要がある。

本報では、薄層かつ多層に施工した盛土を対象に比抵抗法を適用し、キャパシタ型電極の計測深度を実規模で検証した結果を述べる。

2. 比抵抗の計測深度に関する既往の研究

キャパシタ型電極の電極配置を図-1に示す。これは、一般に電気探査における四電極法のうちダイポール・ダイポール法と呼ばれるものであり、その比抵抗計測深度は式(1)で表される³⁾。なお、 a は電極間隔、 N は隔離係数を表す。 a は電極の寸法によって決まる定数で、 N は通常整数で設定する。

$$H = \frac{a(N+1)}{2} \quad (1)$$

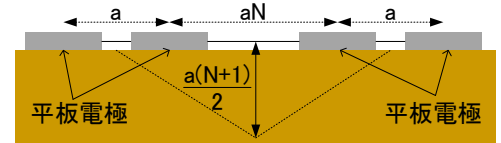


図-1 キャパシタ型電極の電極配置

ここで、本研究で使用したキャパシタ型電極の場合、 $a=0.7\text{m}$ 、 $N=2$ であり、式(1)より得られる計測深度は1.05mである。

一方で、木佐貫らは有限要素法を用いた汎用物理シミュレーションソフトウェアであるCOMSOL Multiphysics[®]を用いて、キャパシタ型電極と同一の配置となるように転圧面上に接地させた線状の電極から均質な盛土へ直流電流を流して比抵抗を計測する場合の感度分布を計算している⁴⁾。その中で、 a に該当する長さを2.9m、 aN に該当する長さを5.0mとしたとき、正の感度が強いのは深度が約2.2mまでの範囲であるとしている。これは、式(1)によって算出される計測深度(3.95m)よりも浅い。木佐貫らは直流電流を流す条件で検討しており、交流電流を用いるキャパシタ型電極と条件が異なるため両者を単純に比較することは出来ないが、比抵抗法の計測深度について複数の見解が示されている状況である。

3. 計測深度の検証方法

計測深度の検証のために、図-2(a)(b)に示す盛土を造成しながら、キャパシタ型電極による比抵抗計測を行った。盛土は1層あたりの仕上がり厚を0.2mとし、4t級コンパインドローラで4回転圧して締め固めた。1層目は盛土材として碎石(C40)を、2~8層目は含水比が高くC40よりも比抵抗が小さい関東ローム($w_n=81.3\%$: JISA 1210のA-c法による $\rho_{dmax}=0.833\text{g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=74.7\%$)を使用した。

各層の転圧完了後に、図-2(a)に示す長さ20mの計測線上でキャパシタ型電極を移動させながら比抵抗を計測した。電極配置(計測深度)が同条件の場合、計測する転圧面と

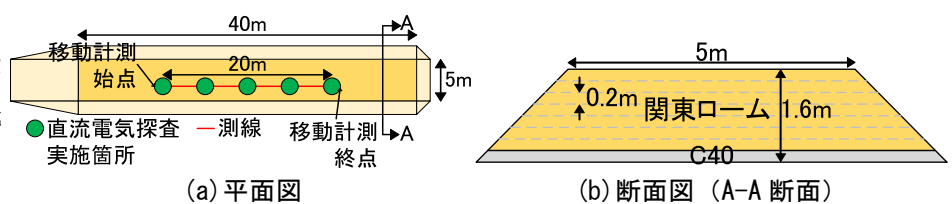


図-2 盛土のイメージ

キーワード：盛土、品質管理、電気特性、比抵抗

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-485-1111

1層目(C40)の距離が長くなるほど、比抵抗の計測値に対するC40の影響が小さくなり、関東ローム単体の比抵抗計測値に漸近すると考えた。そこで、盛土高さに応じた比抵抗計測値の変化傾向からキャパシタ型電極の計測深度を評価することとした。

また、転圧面と非接触状態で移動しながら計測するキャパシタ型電極によって得られる結果の確からしさを確認するために、棒状の電極を転圧面へ直接挿入して比抵抗を計測する直流電気探査を同一測線上において5m間隔で実施した。棒状電極は、探査深度が1.05mとなるように配置し、本研究で使用したキャパシタ型電極の式(1)から得られる計測深度と一致させた。比抵抗計測位置の平面配置を図-2(a)に示す。

4. 検証結果

図-3に盛土材として関東ロームを用いた2~8層目のうち、3層目における比抵抗計測結果を示す。図-3によると、キャパシタ型電極の移動計測結果と直流電気探査の結果が概ね整合していることが分かる。紙面の都合で割愛したが、他の層でもキャパシタ型電極と直流電気探査とで比抵抗に有意差が無かった。従って、キャパシタ型電極によって得られる結果は移動計測に伴う計測誤差を含まず、盛土の物性を反映しているものと判断した。

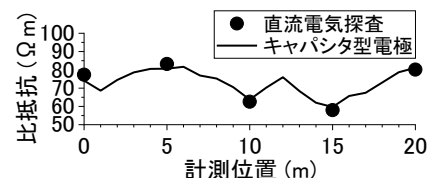


図-3 3層目(盛土高さ0.6m)の比抵抗計測結果

次に、キャパシタ型電極を用いて移動計測した各層の比抵抗の平均値を図-4に示す。平均値は、移動計測の始点より5mごとに算出した。この区間内で、比抵抗は約30cmおきに16~17点で計測した。図-4に示すように、C40を転圧した1層目で計測した比抵抗の平均値は、200Ωm以上と比較的大きいが、2層目以降は盛土高が高くなるに従い比抵抗の平均値は小さくなり、6層目ではいずれの区間においても40Ωm程度となった。これ以降は、比抵抗の平均値に変化は見られなかった。

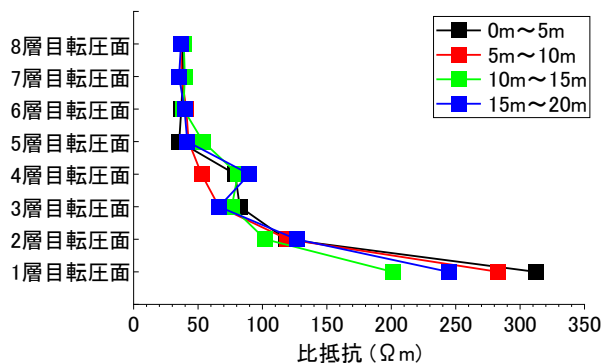


図-4 各層で計測した比抵抗の平均値

以上より、6層目以降はキャパシタ型電極による比抵抗計測値がC40の影響を受けなくなり、関東ローム単体の比抵抗が得られたと考えられる。10m~15m区間の平均値を除けば、比抵抗は5層目から一定となる傾向も見られることから、比抵抗計測深度は5層目と6層目の盛土高さに基づく1.0m~1.2mと推定され、式(1)において $a=0.7m$ 、 $N=2$ としたときに求められる計測深度と概ね一致した。従って、式(1)で求まるキャパシタ型電極の計測深度が概ね正しいことを、実規模の盛土における試験によって確認することができた。

5. おわりに

本報では、薄層かつ多層に施工した盛土を対象に比抵抗法を適用し、キャパシタ型電極の計測深度を実規模で検証した結果について述べた。キャパシタ型電極の電極間隔 $a=0.7m$ 、隔離係数 $N=2$ とした場合の比抵抗の計測深度は、1.0m~1.2mであると考えられる。この計測深度は、既往の研究において提唱されている計測深度の算出式に概ね合致する値であった。

一方で、盛土の一般的な締固め層厚は0.2m~0.3m程度であることから、今後はこのような締固め層厚に適した深度を対象とした計測を実現するための検討に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 松本ら：土工の工場化に向けた電気特性による盛土の全量品質管理 II:比抵抗の計測による盛土の乾燥密度の評価, 土木学会第76回年次学術講演集, pp.113-114, 2021.
- 2) 小原ら：比抵抗によるCSG現場密度の面的評価, 土木学会第77回年次学術講演集, 2022. (投稿中)
- 3) 社団法人物理探査学会標準化検討委員会：新版物理探査適用の手引き—土木物理探査マニュアル 2008—, pp.166-167, 2008.
- 4) 木佐貫ら：線電極を用いた電気探査のシミュレーション, 物理探査学会学術講演会講演論文集, pp.83-86, 2020.