

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

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

1. はじめに

前報¹⁾のとおり、盛土の全量品質管理のために、本研究では盛土の比抵抗および比誘電率に着目した。本報では、このうち比抵抗の計測による盛土の乾燥密度評価の概要と、その有効性の確認結果を報告する。

2. 検量線の取得

本研究では、後述の4極法を用いて盛土の比抵抗を計測した。この比抵抗 ρ から乾燥密度 ρ_d を算出するために、両者の関係を表す検量線 ($\rho \sim \rho_d$ 関係) を取得する必要がある。図-1に、砂と粘土を8:2で混合した試料の検量線を例示する。乾燥密度の増加に従い、比抵抗は減少することが分かる。比抵抗は、地盤を構成する土粒子や岩石の電気的な特性ならびに間隙に存在する地下水などの電気的特性に強く影響される²⁾ため、盛土に用いる材料やその含水比の変化に合わせ検量線を取得する必要がある。

検量線の取得には、「サンプルホルダー（以下、SH）」と称するモールド状の比抵抗測定装置を用いた。SHは、内径300mm、内部高さ575mmであり、ジュラコンを内貼りすることで絶縁した。SHへ試料を投入後、所定の乾燥密度まで静的に締め固め（図-2）、その後、底部と蓋に取り付けた電流電極から試料に電流を流し、側面に取り付けた電位電極によって両電極間の電位差を計測した。電位電極の間隔を L 、SHの内空断面積を A 、流した電流を I 、計測した電位差を V としたとき、比抵抗 ρ は次の式(1)で表される。

$$\rho = \frac{V}{I} \times \frac{A}{L} \quad (1)$$

これまでに、SHを用いて、砂や粘土から最大粒径80mmの礫質土まで様々な材料の検量線を取得した。

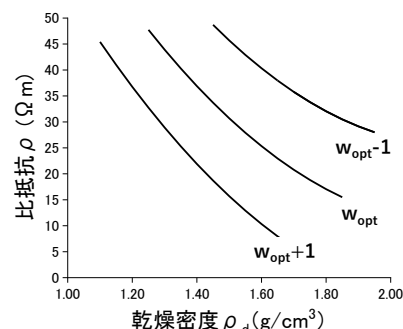


図-1 砂と粘土の混合土の検量線のイメージ



図-2 SH内部への試料の締め固め

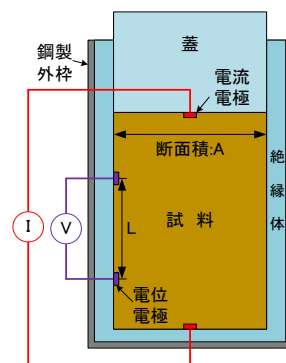


図-3 SHによる検量線取得のイメージ

3. 盛土の比抵抗計測

盛土の比抵抗は、4極法¹⁾（ウェンナー一法）により計測した。その電極配置を、図-4に示す。

本研究では、土工現場における4極法での比抵抗計測装置として、「車輪型電極（図-5）」を作製した。本機は、4つの電極がいずれも回転可能な車輪型であり、例えば、当社が開発した自律・自動運転システム A⁴CSEL[®]を搭載した転圧機械に装備することで、施工と同時に自動で転圧面全体の比抵抗を計測することも可能である。

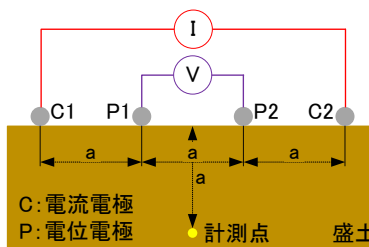


図-4 4極法の電極配置



図-5 車輪型電極

キーワード：土工，品質管理，電気特性，比抵抗，乾燥密度

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 TEL042-489-8504

4. 比抵抗計測と従来法の比較実験

4.1 試験概要

当手法の計測精度を確認するために、同一地盤において比抵抗法および従来法（コアカッター法：JGS 1613, RI法：JGS 1614）によって乾燥密度を取得した。ここでは、コアカッター法から得られる乾燥密度を真値であると見なした。計測対象は、砂と粘土を 8:2 で混合した混合土（ $\rho_{dmax}=1.814\text{g/cm}^3$, $w_{opt}=14.6\%$ ：JIS A 1210 A-c 法）を締め固め度 90%に締め固めた、W2.0m×D0.9m×H0.4m の模擬地盤である。図-6 に示す 7 つの測点（赤丸）に車輪型電極を静置して比抵抗を計測（静的計測）するとともに、測点①～⑦の間を定速で移動しながらの計測（動的計測）を実施した。RI 法とコアカッター法による密度測定は、比抵抗の静的計測を行った位置と同一の 7 つの測点で行った。

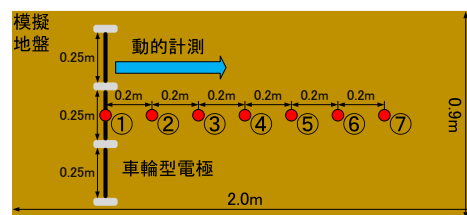


図-6 試験ヤード模式図

図-6 に示す 7 つの測点（赤丸）に車輪型電極を静置して比抵抗を計測（静的計測）するとともに、測点①～⑦の間を定速で移動しながらの計測（動的計測）を実施した。RI 法とコアカッター法による密度測定は、比抵抗の静的計測を行った位置と同一の 7 つの測点で行った。

4.2 静的計測の結果

比抵抗の静的計測結果から算出した乾燥密度と、RI 法およびコアカッター法で測定した乾燥密度を図-7 に示す。比抵抗から乾燥密度を算出する際は、図-1 に示した検量線を用いた。比抵抗の静的計測結果から算出した乾燥密度と、コアカッター法で測定した乾燥密度との差は、最大で 0.038g/cm^3 （測点①）と僅かであり、本手法の妥当性を確認した。一方、RI 法とコアカッター法とで測定した乾燥密度の差は、最大で 0.119g/cm^3 （測点②）となった。このことは、比抵抗を計測することにより、これまでに多くの実績を有する RI 法と同等以上の精度で乾燥密度を管理できる可能性を示唆している。

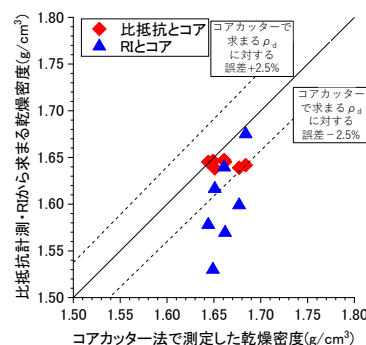


図-7 静的計測結果と従来手法の比較

4.3 動的計測の結果

次に、図-6 に示した測点①～⑦の区間で比抵抗の動的計測を行った。電極を 0.80km/h で移動させ、同区間で 23 回比抵抗を計測（約 5.5cm 毎）した。この区間全体で計測した比抵抗から、図-1 の検量線を用いて算出した乾燥密度を、図-8 に示す。測点②と③の間に、やや乾燥密度が小さい（比抵抗が大きい）箇所がある。この原因として、実際の乾燥密度の大小とは別に、地表面の乾燥によって電極と地盤の接触面の抵抗が増加したことが影響した可能性がある。また、比抵抗の動的計測結果（計 23 データ）のうち、コアカッター法での測定を実施した測点①～⑦にて計測した比抵抗から算出した乾燥密度と、コアカッター法で測定した乾燥密度を比較した結果を図-9 に示す。動的計測から算出した乾燥密度の値やバラつき方は静的計測と異なるものの、コアカッター法で測定した乾燥密度との差は最大で 0.059g/cm^3 （測点④）であり、電極を移動させながらの全量計測も十分な精度を有していると考えられる。

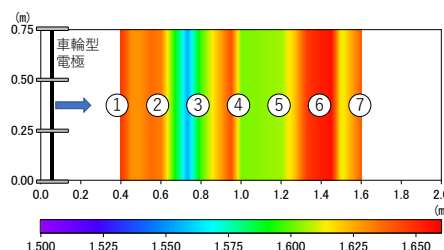


図-8 動的計測結果（乾燥密度）

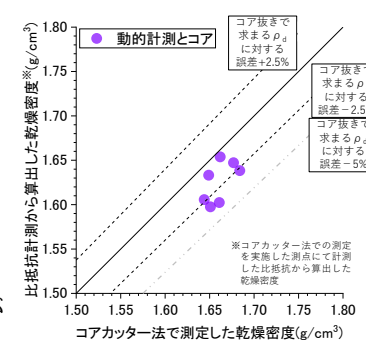


図-9 動的計測結果とコアサンプリングの比較

図-9 に示す。動的計測から算出した乾燥密度の値やバラつき方は静的計測と異なるものの、コアカッター法で測定した乾燥密度との差は最大で 0.059g/cm^3 （測点④）であり、電極を移動させながらの全量計測も十分な精度を有していると考えられる。

5. おわりに

本報では、土工の工場化に向けて開発した盛土の全量品質管理手法のうち、比抵抗の計測による乾燥密度評価手法について述べた。盛土上で電極を移動させながら比抵抗を計測することで、乾燥密度の評価が可能であることが実験により確認された。なお、第2章で述べたとおり、比抵抗と乾燥密度の関係を示す検量線は、含水比状態に応じて取得する必要がある。電気特性による盛土の含水比の評価手法については、連番の続報にて報告する。

参考文献

- 1) 小林ら：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 I:盛土の全量品質管理の要件, 土木学会第76回年次学術講演集, pp.111-112, 2021.
- 2) 財団法人災害科学研究所トンネル調査研究会：地盤の可視化と探査技術, pp.22-23, 2001.