

## 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

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

#### 1. はじめに

国土交通省では、土工分野に対して ICT の全面的な活用による生産性向上を推進しており、近年では、計画や検査に係る測量において 3D スキャナやドローンなどが積極的に導入されつつある。また、施工に関しても、ダム現場を中心に重機の自動化や遠隔操作に関する技術開発が進められている。しかしながら、これらの ICT 土工で取り扱われているデータの多くが、地形や土構造物の形状データであり、品質データに関しては依然として人力によって離散的な計測がなされている状況である。図-1 に示す土工の流れに鑑みれば、品質管理の効率化の達成なくして、土工事全体の生産性向上は難しいであろう。逆説的には、品質管理が施工と同時に、瞬時にできる技術があれば、無人の盛立場で生産性の高い土工事が進む“土工の工場化”を達成できる。

そこで、本報では土工の工場化に向けて開発を進めている盛土の全量品質管理手法の概要について報告する。

#### 2. 新しい盛土の品質管理の要件

盛土の品質は、乾燥密度と含水比で代表される。現行の品質管理手法では、砂置換法や RI 法などで多大な手間と時間を掛けて、離散的にこれらを取得している。このような現状を踏まえて、新たに開発する品質管理手法の要件として、以下の4つを掲げた。

- ① 計測時間：計測が瞬時、かつ連続的で全量管理が可能
- ② 計測深度：表面的（局所的）ではなく、締固め層厚程度の深度までの平均値が計測可能
- ② 計測環境：粉塵、振動、ノイズ、金属の有無などに対して鈍感
- ③ 適用土質：粘土から礫まで、さらにはセメントなどの固化材を含む幅広い地盤材料に適用可能

これらの要件に加えて、盛土の品質が乾燥密度と含水比の2つの物性で決まるため、この2つの代替物性を計測しなければ盛土の品質を一意に決定できない。そこで、表-1 に示すように、盛土の品質（乾燥密度、含水比）と相関がある力学、電気、水理、熱などの各特性とその計測技術について、文献調査や簡易的な実験によって上記の要件の観点で評価（◎：優，○：良，△：可，×：不適）を行い、2つの電気特性（比抵抗と比誘電率）を抽出した。以下に、比抵抗と比誘電率による盛土の品質管理の概要について示す。

表-1 盛土の品質の代替特性とその計測の特徴

	計測時間	計測深度	計測環境	適用土質
変形・硬さ	△	△	○	○
強度	×	△	○	△
振動特性	○	×	△	△
電気特性	比抵抗	◎	△	◎
	誘電率	◎	△	◎
放射線	△	○	○	△
宇宙線	○	×	△	○
カation・透水・透気性	×	○	○	△
熱特性	×	×	△	○

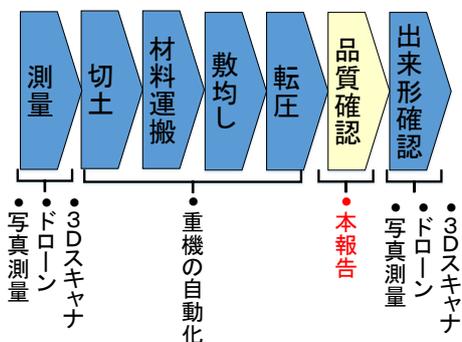


図-1 土工の流れと ICT 土工技術

キーワード 土工, 品質管理, 電気特性, 比抵抗, 比誘電率

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 TEL080-1265-4412

### 3. 電気特性による盛土の全量管理

#### 3.1 比抵抗計測による乾燥密度の評価

本研究では、比抵抗を用いた地盤評価方法として図-2に示す4極法を採用した。この4極法による比抵抗計測は、4つの電極のうち両端から交流電流を流した際の中央の2電極間の電位差を計測するものである。例えば交流電流の周波数が1kHzであれば、1秒当たり1000回計測でき、全量管理に十分な空間分解能で比抵抗を取得できる。さらに、電極間隔を変えることで計測深度を制御できる特長を有する。

図-3には、木節粘土に対して得られた含水比ごとの比抵抗と乾燥密度の関係を示す。図-3に示すように、含水比が別途計測されれば、比抵抗から乾燥密度が一意に取得できることがわかる。

#### 3.2 比誘電率計測による含水比評価

本研究では、前記の要件から盛土の水分量計測手法としてマイクロ波による比誘電率計測を採用した。地盤内のマイクロ波の速度は、(光速)/√比誘電率であり、通常の締固め層厚程度であればナノ秒オーダーで地盤内を進むことになる。したがってマイクロ波を用いれば、瞬時に地盤の比誘電率を取得できる。さらに、一般的に地盤材料の比誘電率と体積含水率は一意の関係にあるとされるため、比誘電率から体積含水率に換算できる。

図-4には、体積含水率をパラメータとして締固めた木節粘土にマイクロ波を送信し、透過波が受信アンテナに到達する時間から材料内のマイクロ波の速度を計算して取得した比誘電率と体積含水率の関係を示す。図中には、既往の研究<sup>1)</sup>によって取得された様々な粘土や砂の比誘電率と体積含水率の関係も併記する。図-4に示すように、マイクロ波の地盤内速度から算出した木節粘土の比誘電率は、既往の研究結果と整合しており、比誘電率-体積含水率関係の一意性が示唆される。

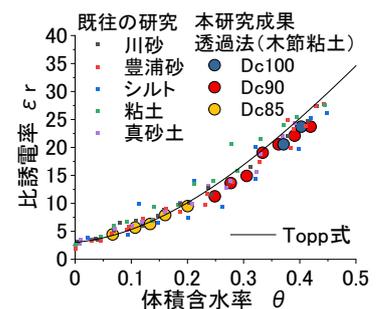
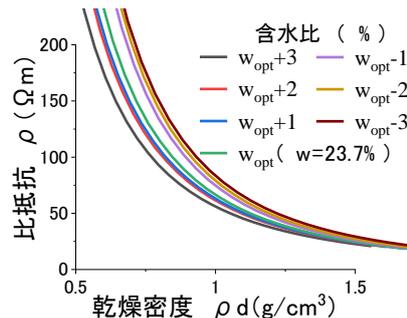
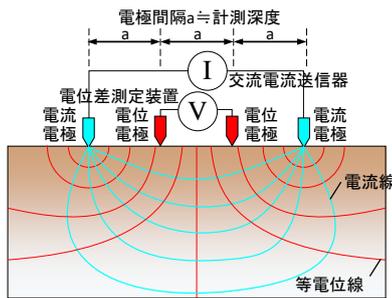


図-2 4極法による比抵抗計測のイメージ 図-3 比抵抗と乾燥密度の関係 図-4 マイクロ波による比誘電率計測結果

### 4. おわりに

本報告では、土工の工場化の達成に向けて開発中の盛土の全量品質管理手法の概要について述べた。図-5には、電気特性による品質管理システムのイメージを示す。まき出し直後の盛土に地中レーダなどからマイクロ波を送信し、前層の転圧面での反射波の到達時刻から比誘電率を算出できる(図-5左)。まき出した直後に1度だけ比抵抗分布と比誘電率分布を計測し、その結果から含水比分布を取得すれば、転圧中に含水比が変化しない土の場合、それ以降は比抵抗計測だけでも品質管理が可能となる(図-5右)。このように、比抵抗と比誘電率を組み合わせると盛土の品質管理を行えば、施工と同時に品質管理が完了できるため、盛土の全量管理が可能となる。

電気特性による品質管理方法の詳細については、連番の報文で説明する。

#### 参考文献

- 1) 西垣ら：岩盤内の不飽和領域のメカニズムに関する研究, JNC TY8400 2003-011, 2003.

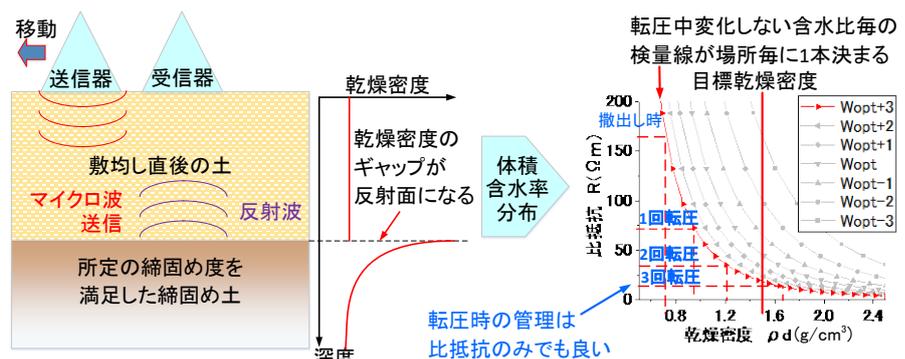


図-5 電気特性による品質管理システムのイメージ