

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

IV : CSGへの適用事例

鹿島建設(株) 正会員 ○米丸佳克 小林一三 松本聡碩 福島 陽 藤崎勝利
岡本道孝 小原隆志 大井 篤 小林弘明 藤田祐作

1. はじめに

前報^{1), 2), 3)}では、電気特性（比抵抗・比誘電率）を用いた盛土の全量管理手法の概要を述べた。本報では、このうち、比抵抗計測技術を台形 CSG ダムの建設において実施された CSG の転圧試験で試行した結果について報告する。

2. 開発目的

CSG は、最大粒径 80mm に調整された土質材料（CSG 材）とセメント、水を混合した材料である。CSG の施工では、振動ローラによって締め固めた CSG（1 層 0.75m）を対象に RI 法などの現場密度試験によって湿潤密度を測定して品質管理を行う。この現場密度試験は、1 回（3 点）/日の頻度で行われるが、離散的かつ局所的な測定値によって施工品質を判断しているのが現状である。また、セメントの水和反応の観点から、CSG 製造から転圧までを 6 時間以内に完了する必要があるが、この施工時間の制約を考慮すると従来の現場密度試験の多頻度化によって締め固め品質の全量管理を志向することは現実的ではない。一方、前報²⁾で紹介した比抵抗計測技術によって、施工と同時に CSG の湿潤密度を計測できれば、工程に影響を与えることなく CSG の全量品質管理を実現できる。

3. CSG を対象とした比抵抗計測

3.1 検量線の取得

CSG の単位水量は、目標値 $\pm 15\text{kg/m}^3$ （含水比換算で $\pm 0.8\%$ ）の範囲で管理されるため、CSG の施工では締め固め品質として湿潤密度を管理する。これを踏まえて、締め固めた CSG の比抵抗と湿潤密度の相関性について実験を行った。ここでは、前報²⁾で述べたサンプルホルダー（以下、SH）内で締め固めた CSG の比抵抗を 4 電極法によって測定した。

図-1 に異なる粒度の CSG（最大粒径 80mm）に関する比抵抗と湿潤密度の関係（以下、検量線）を示す。前報²⁾では、土質材料の比抵抗が乾燥密度の増加に従って低下することを報告したが、CSG の比抵抗も湿潤密度の増加に伴って、低下していることがわかる。ここでは CSG の粒度が比抵抗に及ぼす影響が小さいと見做して、検量線を設定した。

3.2 比抵抗の経時変化

CSG は製造後からセメントの水和反応に伴って自由水の量が変化し、これによって比抵抗が刻々と変化することが予想された。製造からの経過時間が比抵抗に及ぼす影響を確認するため、CSG の比抵抗連続計測実験を行った。図-2 に計測結果を示す。前述の試験同様に、製造完了後（0 時間）、SH に CSG を締め固め、製造から約 1 時間後に比抵抗計測を開始した。さらに遅延剤の影響把握を目的として、これを湿潤重量比で 2%添加した CSG についても実験を行った。図-2 に示すように、遅延材 0%の場合は製造から約 4 時間で、遅延材 2%の場合は約 8 時間で比抵抗がピークを示した。このピーク発現までの時間内であれば、経過時間と比抵抗の関係を一つの曲線で評価可能と考えられる。つまりこの曲線を使って図-1 の検量線を経過時間に応じて補正すれば、水和反応による水量変化を考慮した上で CSG の湿潤密度を計測することが可能と考えられる。

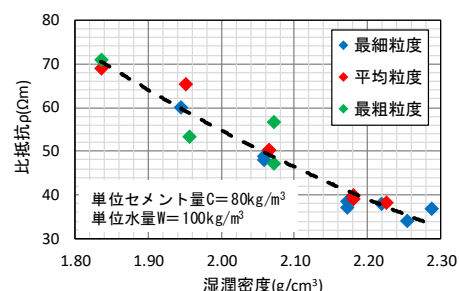


図-1 湿潤密度と比抵抗の関係

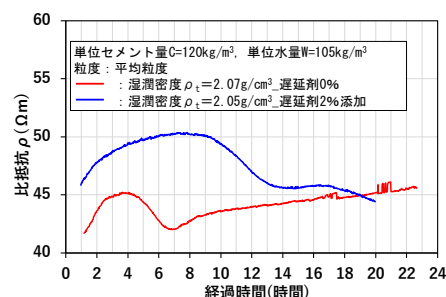


図-2 比抵抗の経時変化

キーワード：土工，品質管理，電気抵抗，CSG，湿潤密度

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 TEL 042-489-6542

3.3 静的計測の結果

室内試験で CSG の比抵抗と湿潤密度の良好な相関が確認できたことから、現場で測定した CSG の比抵抗値と湿潤密度の関連性について検討することとした。ここでは、図-2 に示した CSG のうち、遅延剤を2%混合した場合を対象とした転圧試験において、車輪型比抵抗装置²⁾を用いて比抵抗計測を行った。比抵抗は転圧回数 $N=4, 8, 12$ 回時に計測した。図-3 は、当試験で測定した湿潤密度の平面分布である。ここでは、電極間隔 (=計測深度) 0.75m とした車輪型比抵抗装置を図-3 に示した口の位置に静置して計測を行った。この図に示すように、転圧回数の増加に伴って、湿潤密度が大きくなる様子が分かる。また、8 回転圧から 12 回転圧に至る際に一部の領域でオーバーコンパクションによると思われる湿潤密度の低下が発生していることもわかる。

図-4 に、12 回転圧時の CSG の湿潤密度について RI 法と比抵抗法の測定値を比較した結果を示す。比抵抗から算出した湿潤密度は、RI 法の計測値と比べて小さい傾向がある。これは、両者で計測深度が異なることが影響していると考えられる。

3.4 動的計測の結果

車輪型比抵抗装置は、移動しながら連続的に比抵抗を計測する動的計測が可能である。図-5 に動的計測から得られた湿潤密度分布図を示す。これは図-3 (c) 点線部において電極電極間隔 0.75m の車輪型電極を 0.5km/h で牽引して計測した結果で、奥行き 3.5m の測定を約 30 秒で完了した。比抵抗の異常によりデータを棄却した箇所が一部見られるが(図-5 (上) の白色範囲)、0.07m ごとに湿潤密度が得られた。湿潤密度の平均値は、静的計測結果の平均値に比べて約 8% 小さくなったが、これは計測装置の稼働部の抵抗が静的測定時と異なるためと推定している。今後はこの影響についても検討する予定である。

4. おわりに

本報では、CSG を対象に室内試験及び転圧試験で比抵抗を計測した結果を紹介した。その結果、比抵抗計測による CSG 締固め品質の全量管理の可能性を見出した。比抵抗計測から得られる膨大なデータの処理方法や評価方法は今後の課題であるが、全量管理のためのシステムが完成すれば、土工の品質管理が大きく変化し、土工技術が大きく進化するものと考えられる。

謝辞：国土交通省東北地方整備局成瀬ダム工事事務所の皆様には成瀬ダムでの比抵抗計測にご協力頂きました。ここに記して謝意を示します。

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，2021。（投稿中）
- 2) 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，2021。（投稿中）
- 3) 福島ら：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 III:比誘電率の計測による盛土の体積含水率の評価，土木学会第 76 回年次学術講演集，2021。（投稿中）

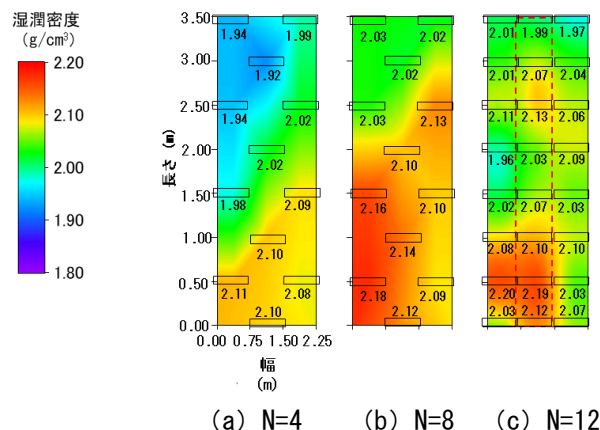


図-3 比抵抗から算出した湿潤密度分布

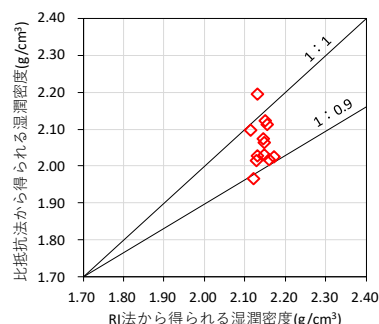


図-4 湿潤密度の比較結果

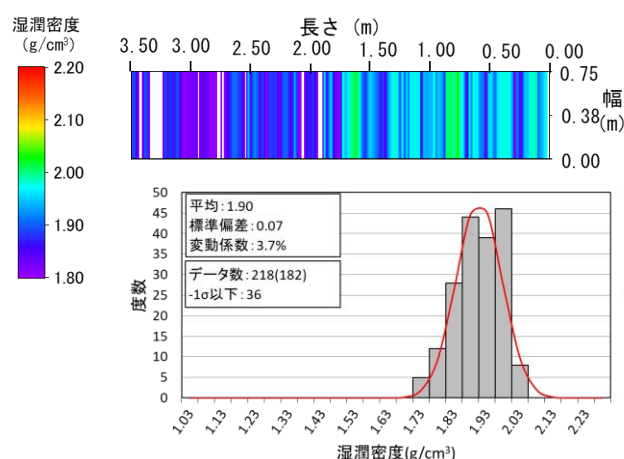


図-5 全量計測による湿潤密度分布