

36. 電磁波を利用した土の現場密度試験の適用性

－ 2 種類の砂質土による実験結果－

(独) 土木研究所
(独) 土木研究所
(独) 土木研究所

○ 橋本 毅
茂木 正晴
藤野 健一

1. はじめに

盛土の締固めにおける品質管理は、現場密度試験によって土の乾燥密度を測定し、土の締固め試験（JIS A1210）により得られる最大乾燥密度との比（締固め度）を用いて行われるのが一般的である。主な現場密度試験法には砂置換法（JIS A 1214）、水置換法（JGS 1612）、コアカッター法（JGS 1613）、RI 法（JGS 1614）等があるが、RI 法以外は含水比測定に約 1 日を要するため即日性に劣るという欠点がある。一方、RI 法は約 1～2 分程度で乾燥密度を得ることができるが、放射線を使用しており届け出及び管理に注意が必要であることと、機器が非常に高価であることが普及上の課題となっている。

そこで近年、電磁波を利用した新しい現場密度試験法が提案されている。この方法は RI 法と同様に非破壊試験法であり測定時間も 1 カ所当たり約 2 分程度と即日性に優れているのみならず、放射線を使用していないため安全であり、届け出が必要なく、比較的安価であるといった利点がある。

本稿では、この電磁波を利用した現場密度試験法の適用性を把握することを目的とし、コアカッター法との比較実験結果について報告する。

2. 使用機器（電磁波を用いた密度試験器）



写真-1. SDG

本実験では TRANSTECH SYSTEMS 社製 Soil Density Gauge(以下 SDG) を使用した。本機器は複数周波数の電磁波を用いて地盤の静電容量を測定し、その値から地盤表面～300mm 深さまでの地盤の湿潤密度と含水比を算出するものである¹⁾。散乱型 RI 密度計と同様に、対象地盤に測定孔を開けずに測定面を地盤上に接地するだけで測定を開始することができ、1 箇所を約 2 分程度で測定できる。（写真-1）

3. 実験概要

3.1 実験土質

本実験で使用した土の物理特性を表-1 に、粒径加積曲線を図-1 に示す。

表-1. 土質材料の物理特性

試験項目	材料 A	材料 B
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.666	2.647
細粒分含有率 F_c (%)	14.8	4.3
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.625	1.571
最適含水比 w_{opt} (%)	17.8	18.2
地盤材料の工学的分類	砂質土 (SF)	砂質土 (SF)
実験時含水比 (%)	17.0 程度	16.0 程度

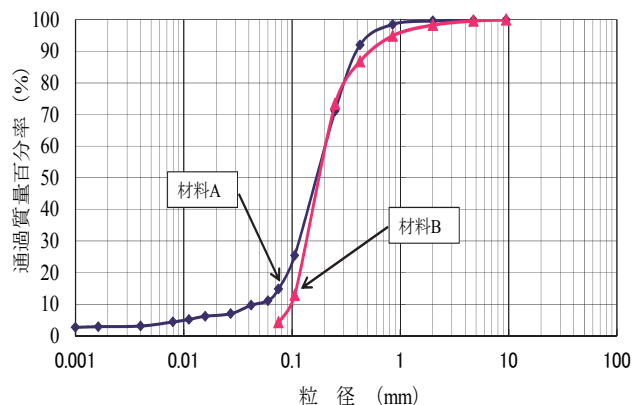


図-1. 粒径加積曲線

3.2 実験フィールド

本実験は土木研究所土工実験施設内の実験ピット(幅 5m, 長さ 44.8m, 深さ 5m)を使用した。まず山砂を用いてピット底面より高さ 2.8m まで十分に締固められた基礎地盤をピット内に製作し、その上に表-1 に示す実験材料を仕上がり厚さ 300mm になるよう盛り立てて実験フィールドを製作した。(図-2)

3.3 含水比・湿潤密度計測

上記実験フィールド上を、表-2 で示す締固め機械にて 16 回締固めを行い(8 往復)、0,2,4,6,8,12,16 の各締固め回数時の湿潤密度と含水比を SDG とコアカッター法にて測定した。コアカッター法による測定は JGS 1613 に準じて行い、カッターは内径 100mm, 高さ 100mm のものを用いた。その際、表面から 100mm 毎に 300mm 深さまでを測定し、300mm 深さまでの平均値を算出した。(写真-2)

表-2. 使用締固め機械

	名称	質量 (kg)	起振力 (kN)	メーカー・型式
小型機械	プレートコンパクタ	66	10.1	三笠 MVC60
	ランマ	62	—	三笠 MT55L
	ハンドガイドローラ	600	10.8	三笠 MRH600
	前後進コンパクタ	330	45	三笠 MVH306
大型機械	タイヤローラ	11000	—	日立 CP210
	振動ローラ 11t	11050	226	酒井 SV512D
	振動ローラ 9t	9000	160	BOMAG BW141AD4

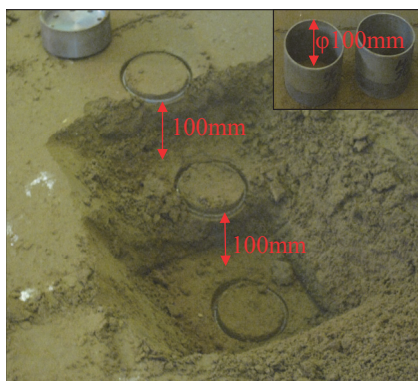


写真-2. コアカッター

各測定点は、締固め回数毎に 3 点ずつとし、SDG とコアカッター法は別個の場所にて測定を行った。また、実際の施工状況と同様に、大型機械は試験ピットの側壁(鉄筋コンクリート製)から 1.7m 離れた位置を、小型機械は側壁に沿ってそれぞれ走行し、密度測定もそれぞれ側壁から 1.7m, 0.3m の位置にて行った。(図-2, 写真-3, 4)

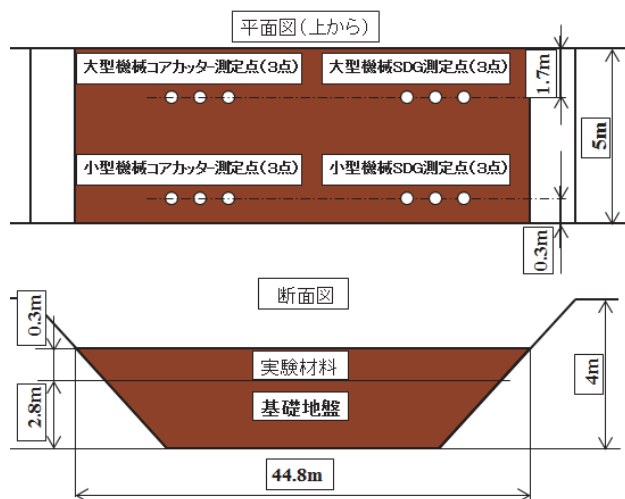


図-2. 実験フィールド



写真-3. 大型機械走行状況と密度測定状況



写真-4. 小型機械走行状況と密度測定状況

実施した実験パターンを、表-3 に示す。

表-3. 実験パターン

	名称	材料 A	材料 B
小型機械	プレートコンパクタ	○	○
	ランマ	○	○
	ハンドガイドローラ	○	○
	前後進コンパクタ	○	○
大型機械	タイヤローラ	○	—
	振動ローラ 11t (振動有)	○	—
	振動ローラ 11t (振動無)	○	—
	振動ローラ 9t	○	○

4. 実験結果

4.1 同一締固め回数でのばらつき

同一締固め回数にて測定した 3 点のデータの最大値と最小値の差を図-3, 4 に示す. データ数は「測定締固め回数 (0,2,4,6,8,12,16 の) 7 種」×「表-3 に示した実験パターン 13 種」の 91 個となる. 各実験パターンにおいて, 材料は十分に攪拌した上で盛り立てを行っているので, 同一締固め回数における測定点間での材料のばらつきは少ないものと考えられる. したがって図-3, 4 に示す値は, 各測定手法 (SDG およびコアカッター法) のばらつきを表しているといえる.

図-3, 4 によると, 含水比, 湿潤密度ともに同一締固め回数におけるデータのばらつきは, コアカッター法による測定結果より SDG による測定結果の方が大きいことがわかる.

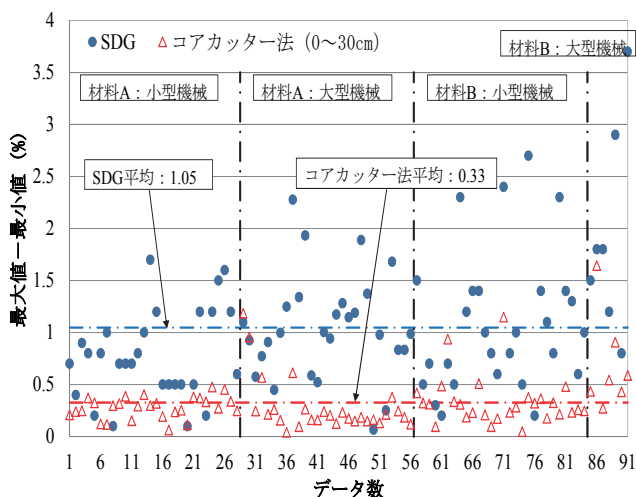


図-3. 同一条件での最大値－最小値 (含水比)

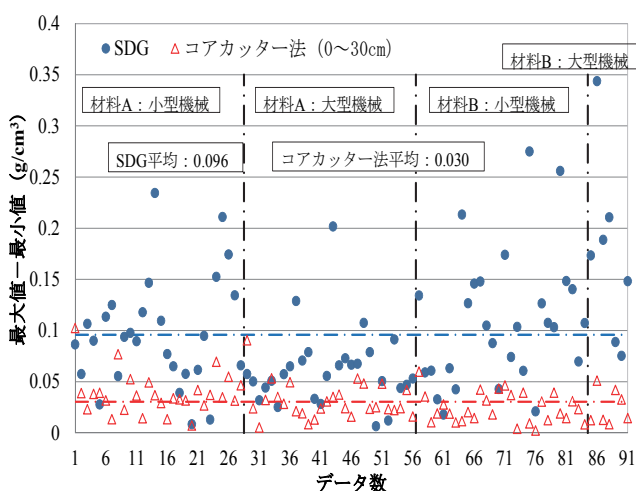


図-4. 同一条件での最大値－最小値 (湿潤密度)

4.2 SDG とコアカッター法による測定値の相関

同一締固め回数にて測定した 3 点のデータを平

均し, その平均値を用いてプロットしたグラフを図-5, 6 に示す. データ数は前章と同様に 91 個となる. 前章で述べたように, 同一締固め回数における測定点間での材料のばらつきは少ないものと考えられるため, 図-5, 6 はほぼ同一の含水比と湿潤密度を持つ地盤を測定した場合の SDG とコアカッター法による測定値の相関を表しているといえる. また図中の実線は, 「SDG による値＝コアカッター法による値」を示しているため, プロットした点を実線に近いほど SDG による測定値がコアカッター法による測定値と同等の値を示していることになる.

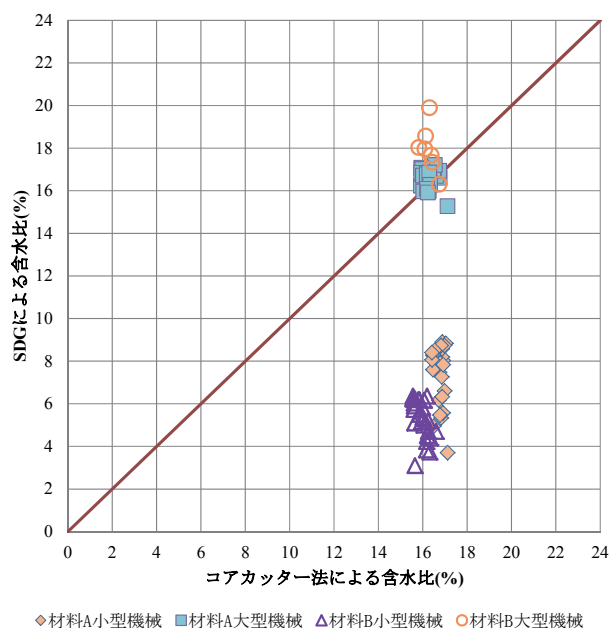


図-5. SDG－コアカッター法 (含水比)

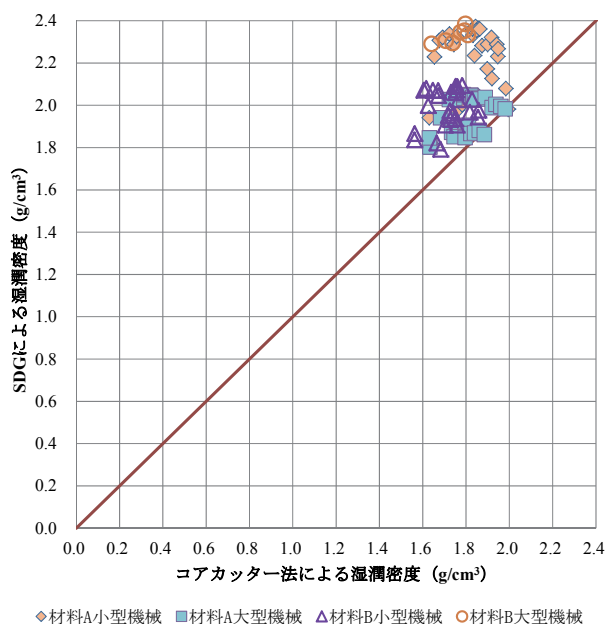


図-6. SDG－コアカッター法 (湿潤密度)

図-5によるとSDGによる含水比は、大型機械すなわちコンクリート壁から十分離れた場合ではコアカッター法による含水比とほぼ同等の値を示しているが、小型機械すなわちコンクリート壁近傍の場合ではコアカッター法による値に比べ著しく低い値となっている。これは、SDGの測定原理が電磁波により測定した静電容量を用いているため、測定値がコンクリート壁内の鉄筋に影響を受けていると考えられる。

また、図-6によるとSDGによる湿潤密度は、コアカッター法による値に比べ、全体的にやや高い値を示している。その差違すなわちグラフ上の実線からの距離は、「材料A 大型機械」と「材料B 小型機械」の場合が比較的少なく、「材料A 小型機械」と「材料B 大型機械」は比較的大きくなっており、材料・測定環境によって一意的になっていない。したがってSDGとコアカッター法による測定値の差違は、材料・測定環境の影響である可能性は低く、その他の要因によるものと推測できる。

次にSDGの有用性を向上させるために、測定値の補正（校正）を行うことを考えた。図-5, 6を見ると、材料・測定環境によって分けた4グループのデータが、それぞれグループ毎にまとまりを持っているため、補正はグループ毎に行えばよいことがわかる。そこで補正は、各グループのSDGによる平均値がコアカッター法による平均値と等しくなるように、SDGの値をオフセットすることで行った。補正後の値を図-7, 8に示す。

図-7, 8より、材料および測定環境毎にSDGの値に補正を行うことによって、コアカッター法による値とおおむね同等の値を得ることが可能であると考えられる。

5. まとめ

2種類の砂質土を用いて、電磁波を利用した新しい現場密度試験法（SDG）とコアカッター法にて得られた測定値の関係を調査した結果、以下のことがわかった。

- ① ほぼ同一の湿潤密度と含水比をもつ砂質地盤を、SDGとコアカッター法にて複数回測定した場合、データのばらつきは、コアカッター法による測定結果よりSDGによる測定結果の方が大きい。
- ② SDGは測定場所近傍に金属構造物が存在する場合、含水比測定値に著しい影響を受けるが、湿潤密度測定値にはほとんど影響を受けない。
- ③ 材料および測定環境毎にSDGの値に適切な補正（校正）を行うことによって、コアカッター法による値とおおむね同等の値を得ることが可能である。

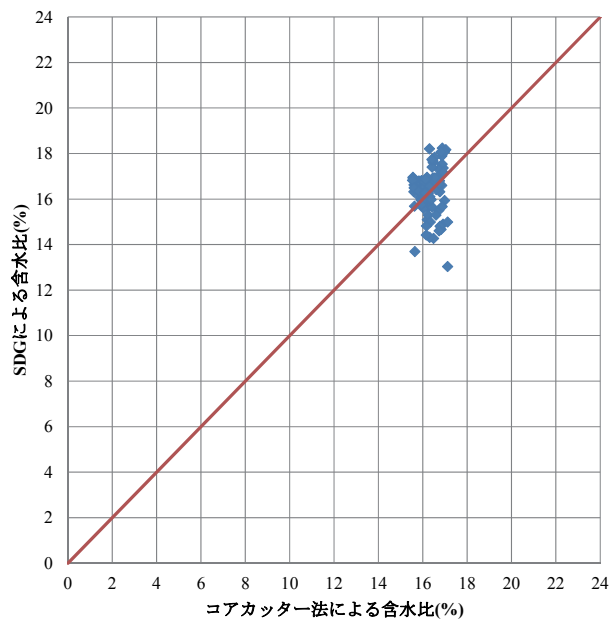


図-7. SDG－コアカッター法（含水比：補正後）

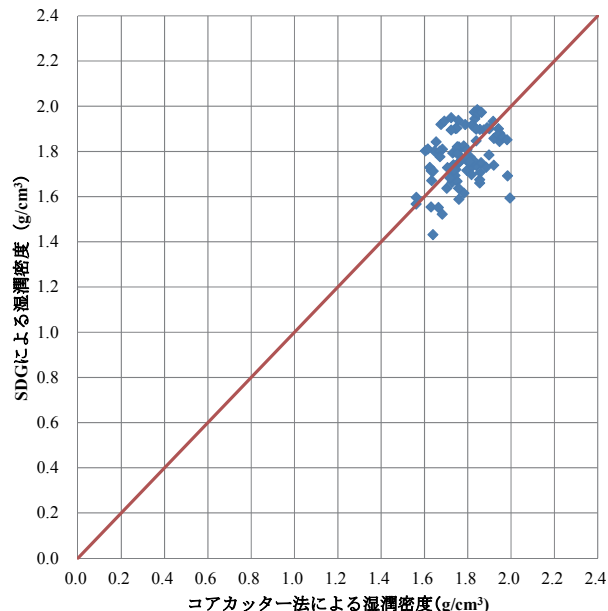


図-8. SDG－コアカッター法（湿潤密度：補正後）

今後は、砂礫系や粘性土など幅広い密度と含水比を持った材料にて実験を行い、SDGと従来手法との相関について引き続き調査を行いたい。

また、同一の条件におけるRI計器との比較実験を行い、SDGとRI計器との差異についても検討を行いたい。

参考文献

- 1) Pluta, S. and Hewitt, J.: Non-Destructive Impedance Spectroscopy Measurement for Soil Characteristics, Characterization, Modeling and Performance of Geomaterials, pp. 144-149, ASCE, 2009