

## 透過型 RI 計測器と散乱型 RI 計測器で計測した検討結果の報告

清水建設（株）正会員○齋藤 諒平  
地水開発（株） 岡本 昌弘

## 1. はじめに

通常の盛土の締固め管理では RI (Radio Isotope) 計測による密度管理が標準化され、締固めた盛土中に線源棒を人力で約 20cm 挿入して線源から地表面に設置された検出器に向かって透過してくるガンマ線や中性子線を検出して密度や含水量を計測する透過型計測器と線源、検出器ともに地表面上にあり、地中から散乱されてくるガンマ線や中性子線を検出して測定する散乱型計測器の二つのタイプがある<sup>1)</sup>。土工の現場では、前者での計測が主流となっているが、線源棒を締固めた盛土中に挿入するための孔あけ作業が必要となり、計測に時間を要してしまう。一方、後者は測定の際、孔あけ作業が生じないため、測定手間が掛からないというメリットがあるが、前者よりも計測実績は少ない。また、この透過型計測器と散乱型計測器の乾燥密度  $\rho_d$ 、含水比  $w_n$  の計測データを比較検証した事例はほとんどない。以上より、両計器で計測した乾燥密度  $\rho_d$ 、含水比  $w_n$  のデータを検証する目的で実施した試験施工結果を報告する。

## 2. 試験方法

試験施工に用いた盛土材料は粒度調整した母材にベントナイトを添加した混合土である。図 1 に母材の物性と粒径加積曲線を示す。図 2 に母材の締固め曲線と飽和度曲線を示す。表 2 にベントナイトの物性と添加率および添加量を示す。現場でのベントナイト混合土の作成は、母材とベントナイトを自走式土質改質機に投入し、混合した。ベントナイト混合土はダンプトラックで試験施工ヤードに運搬し、表 3 に示す敷均し厚、転圧機種および転圧回数で施工した。締固め施工後は、図 4 に示す箇所では透過型計測器と散乱型計測器の両方で計測した。

## 3. 試験結果および考察

表 4 に透過型計測器と散乱型計測器の両計器を用いて同一箇所では測定した乾燥密度  $\rho_d$ 、含水比  $w_n$  の平均値  $\mu$ 、標準偏差  $\sigma$  および変動係数 CV を示す。図 5

に両計器を用いて同一箇所では測定した乾燥密度  $\rho_d$  を比較した結果を示す。図 6 に母材の締固め曲線と飽和度曲線上にプロットした乾燥密度  $\rho_d$  と含水比  $w_n$  の関係を示す。

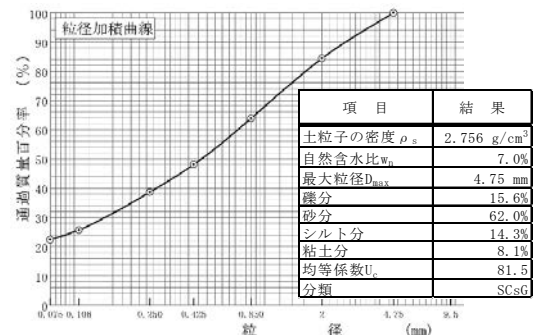


図 1 母材の物性一覧と粒径加積曲線

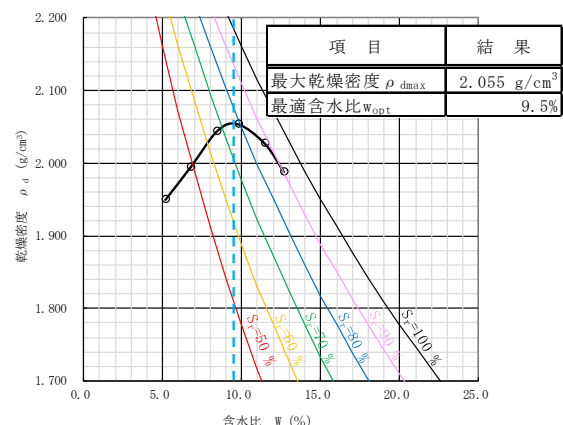


図 2 母材の締固め曲線と飽和度曲線

表 2 ベントナイトの物性、添加率および添加量

項目	結果
ベントナイト メッシュ	250
土粒子密度	2.500 g/cm <sup>3</sup>
粒度	63 $\mu$ m 残留分 4.1 %
かさ密度	0.65 g/cm <sup>3</sup>
pH	10.5
含水比	6.0 %以下
ベントナイト添加率	9.9 %
ベントナイト添加量	194 kg/m <sup>3</sup>

表 3 敷均し厚さ、転圧機種および転圧回数

敷均し厚さ	敷き均し時	35.0 cm/層
	転圧後	30.0 cm/層
転圧機種	起振力 300kN 級 振動ローラ	
転圧回数	8 回	

キーワード 透過型 RI 計測器、散乱型 RI 計測器、乾燥密度、含水比

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16 番 1 号 清水建設株式会社 土木技術本部基盤技術部地盤グループ

表 4 より、散乱型で計測した乾燥密度  $\rho_d$  の変動係数 CV は透過型と比較して 1.71 倍大きくなった。散乱型で測定した含水比  $w_n$  の変動係数 CV は透過型と比較して 0.91 倍となった。含水比  $w_n$  は両計器で同程度となり、バラツキは少ないと考えられる。一方、乾燥密度  $\rho_d$  は含水比  $w_n$  と比較して計器によるバラツキは大きくなると考えられる。また、図 5 より相関係数  $R^2$  は 0.3 以下となり、相関性については確認できなかった。次に散乱型で測定した乾燥密度  $\rho_d$  は、表 4 より透過型の計測値よりも平均で 1.1 倍程度大きくなった。

上記結果を踏まえると、本検討条件での乾燥密度  $\rho_d$  は含水比  $w_n$  よりも計測器による変動幅が相対的に大きくなる。また、散乱型で計測した乾燥密度  $\rho_d$  は透過型よりも相対的に大きくなる傾向がある。計測器によって計測値のバラツキが生じた原因は、盛土を放射線源と検出器で挟み込むように配置して計測する透過型と計器に内蔵された線源から放射線を盛土中に散乱させて計測する散乱型とそもそもの測定原理が異なるためであると考えられる。次に散乱型で計測した乾燥密度  $\rho_d$  が大きくなる傾向の原因は、「土の締固め 地盤工学・実務シリーズ 30 地盤工学会 2」の記載同様に散乱型は転圧エネルギーがより大きくなる地表面付近の密度を計測しようとして、撒きだし層内の深部の密度が計測に反映されなかったためであると考えられる。

4. まとめ

本検討では、透過型計測器と散乱型計測器の計測データを比較検証するために試験施工を実施した。

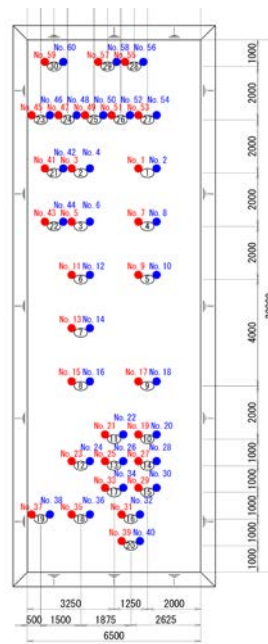
①乾燥密度  $\rho_d$  は含水比  $w_n$  よりも計測器による変動幅が相対的に大きくなり、相関性については確認できなかった。

②散乱型で測定した乾燥密度  $\rho_d$  は、透過型の計測値よりも相対的に大きくなる傾向を確認した。

今後の課題は様々な盛土材料で盛土の層厚を変えた試験施工を実施し、土質ごとのバラツキと乾燥密度  $\rho_d$  の影響を定量的に把握し、検証する必要があると考えている。

【参考文献】1) 旧建設省技調発第 150 号:RI 計器を用いた盛土の締固め管理要領 (案) 1996. 8

2) 地盤工学会:土の締固め 地盤工学・実務シリーズ 2012. 4



測定箇所：30 箇所

計測数：1 箇所に対して 2 点測定

計 60 点

※透過型および散乱型の両方で測定



写真 1 転圧状況



写真 2 RI 測定状況

図 4 RI 測定箇所

表 4 計測器ごとの計測結果一覧

項目		乾燥密度 $\rho_d$	含水比 $w_n$
透過型	①平均 $\mu$	1.903 g/cm <sup>3</sup>	13.8 %
	②標準偏差 $\sigma$	0.0400 g/cm <sup>3</sup>	0.61 %
	③変動係数 CV (=②/①)	0.0210	0.0442
散乱型	①平均 $\mu$	2.032 g/cm <sup>3</sup>	12.9 %
	②標準偏差 $\sigma$	0.0729 g/cm <sup>3</sup>	0.52 %
	③変動係数 CV (=②/①)	0.0359	0.0403

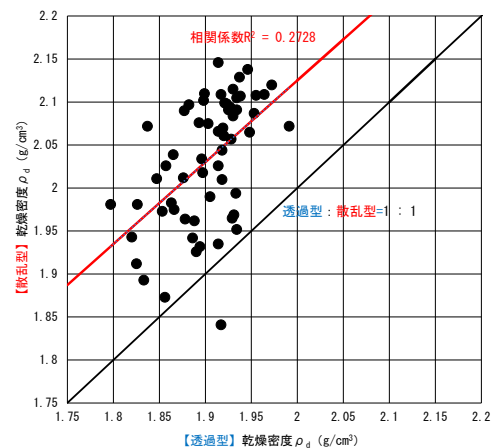


図 5 計測器ごとの乾燥密度  $\rho_d$  の計測結果一覧

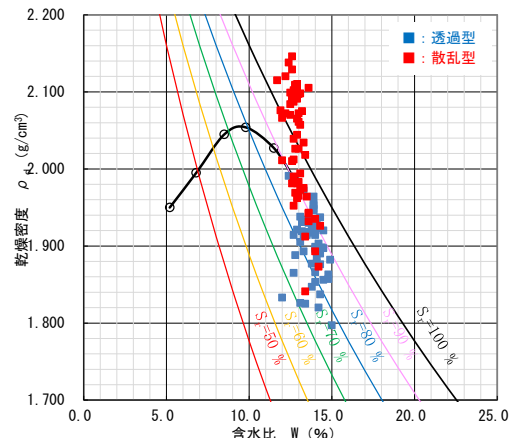


図 6 計測器ごとの乾燥密度  $\rho_d$  と含水比  $w_n$