

## 3D スキャナーによる現場密度試験孔体積の計測 Measurement of soil density test hole volume using 3D scanner

佐藤 寛

SATO Hiroshi

1. はじめに 現場密度試験は、土木工事における盛土の締固め管理に広く利用されている。ため池の施工を行う際には、実施工の前に予め盛立試験を行い、各転圧ブロックで現場密度試験を実施し、転圧後に管理基準値(通常は『ため池整備』<sup>1)</sup>に記載された  $D$  値 95%)を満たす転圧仕様を決定する。実施工の際にも品質確認として日常的に現場密度試験を行い、管理基準値を満たすことを確認する。

現場密度試験では、試験孔に含まれる土の重量、含水比、体積を求める必要がある。特に、体積については直接測定することが難しいため、間接的に求める方法として、①砂置換法(JIS A 1214)、②突き砂法(JGS1611)、③水置換法(JGS1612)等の様々な規格が定められている。

他方、近年では3D スキャナーの技術が発展し、3D スキャナーで直径 80cm 程度の掘削孔の体積を測定したところ、水置換法と比較して 0.8% の誤差であった事例もある(前田建設工業<sup>2)</sup>)。本論では孔体積の測定方法による誤差を検討すること、また、3D スキャナーによる孔体積計測が既存試験法の代替となるか確認することの2点を目的として、ため池改修盛土の転圧仕様決定を目的とした盛立試験で3D スキャナーによる現場密度試験孔の体積測定を行い、通常突き砂法と結果を比較した。

### 2. 計測方法 現場密度試験( $\phi 20\text{cm}$ , 突き砂法)

は、改修堤体の小規模盛土材料(周辺の土取場材料)で実施し、試験孔は全 12 孔(4 転圧回数 $\times$ 3 孔)であった。なお、転圧機種は 1t 級振動ローラ、撒出し厚さは 10cm であり、現場密度試験孔内に礫はほとんど見られなかった。3D スキャナー計測では、第 4 世代の iPad Pro に Scaninverse という無料アプリをダウンロード

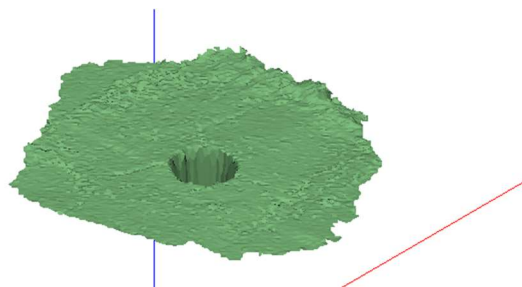


図-1 3D モデル  
3D model

して試験孔の 3D モデル(図-1)を作成し、3Dcad を使用して 3D モデルの体積を計測した。本検討では、突き砂法(方法①)による試験孔体積 $V_1$ 、3D スキャナー計測結果より作成した 3D モデルの体積 $V_2$ (方法②、以下、3D モデル法)を比較した。

3. 計測結果 各計測方法による孔体積の相関図を図-2 に示す。また、 $V_2$  の誤差 $e_2(\%)$ を(1)式で算定した。

$$e_2 = |V_2 - V_1|/V_1 \quad (1)$$

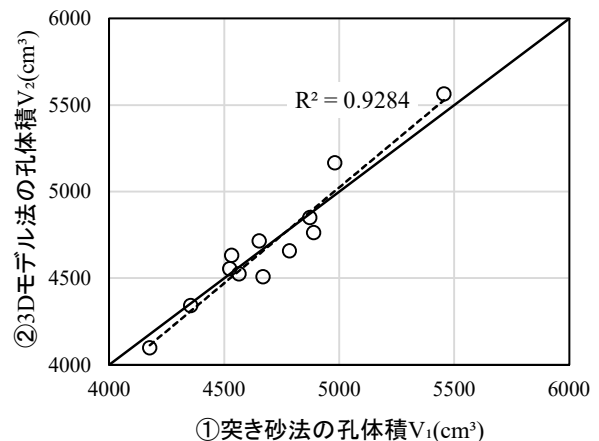
$V_2$  は、 $V_1$  に対して、決定係数 $R^2$ が高くなった( $R^2 = 0.93$ )。また、孔体積が小さい領域では $V_1 > V_2$ 、大きい領域では $V_2 > V_1$ となる傾向が見られた。これは方法①(突き砂法)ではプレートと試験面(地表面)の密着性の影響で地表面での体積を過大評価しやすく、試験孔深さが浅く孔体積

が小さい場合にはこの影響が大きく受け、過大評価した体積にて土の密度を評価してしまうためと考える。また、 $e_2$ の最大値は3.7%であった(図-3)。更に、 $V_1$ と $e_2$ の $R^2$ は低くなった( $R^2 = 0.11$ )。以上より、 $V_1$ と $V_2$ の相関は強い一方、 $e_2$ は孔体積の相関は弱いことがわかった。

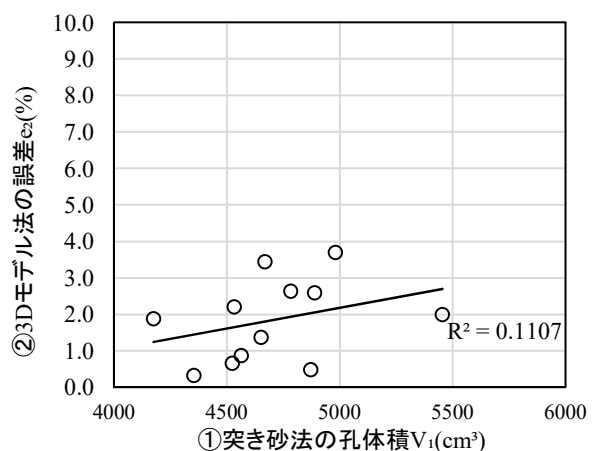
$V_2$ を用いた方法②(3Dモデル法)においても湿潤密度を求め、これより乾燥密度および締固め度( $D$ 値)を算定した。方法②(3Dモデル法)では、方法①(突き砂法)と管理基準値( $D$ 値 $\geq 95\%$ )の適否が異なる(図-4の着色部、方法①(突き砂法)と方法②(3Dモデル法)の片方でのみ $D$ 値 $\geq 95\%$ を満たす)孔は12孔中1孔にとどまった(図-4)。これらより、方法②(3Dモデル法)は、方法①(突き砂法)に対して孔体積に若干の誤差は見られたが $D$ 値による管理基準値の適否の判定は概ね一致しており、方法①(突き砂法)の代替手段となり得ると評価する。

4. おわりに 3Dモデル法は突き砂法の代替手段となり得て、さらに $V_2$ を補正すれば $V_1$ を高い精度で予測できるため、今後誤差のデータ蓄積を行えば、3Dモデル法は更なる精度向上が可能であると考え。更に、3Dモデル法は従来法と比較して、①汎用性あるiPadで計測可能であること、②孔体積計測の手間が小さいこと、の2点で優位性があると考え。ただし、今回計測対象とした試験孔には、歪な形状の試験孔(孔内に大きな礫が見られるもの、孔壁に凹凸が見られるもの等)が少なかったため、今後そのような孔でも3Dモデル法の精度を確認する必要があると考える。

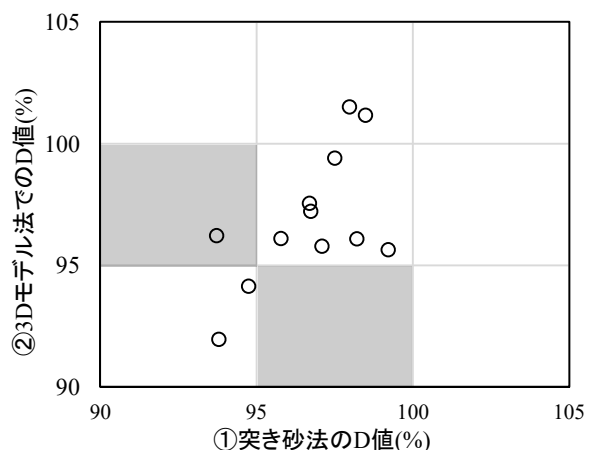
また、 $e_2$ は数%程度となり、既往事例よりも1オーダー大きくなった。既往事例と今回の誤差の差は掘削孔の孔径の違い(既往事例： $\phi 80\text{cm}$ 、今回： $\phi 20\text{cm}$ )に起因する可能性があると考え。そのため、今後は大孔径の掘削孔( $\phi 30, 50\text{cm}$ の現場密度試験孔等)についても3Dモデル法の精度を確認することが望ましいと考える。



①突き砂法の孔体積 $V_1(\text{cm}^3)$   
**図-2 孔体積の相関図**  
 Correlation of hole volume



①突き砂法の孔体積 $V_1(\text{cm}^3)$   
**図-3 孔体積と誤差の相関図**  
 Correlation between hole volume and error



**図-4 突き砂法と他方法とのD値の関係**  
 Correlation of D value between the sand replacement method and other methods

引用文献

- 1)農林水産省農村振興局(2015):土地改良事業設計指針『ため池整備』, P14
- 2)前田建設工業株式会社(2016):地下空洞等の寸法・形状・体積を測定するリングビームスキャナーを開発