

粗粒土の締固め密度推定法に関する検討

立命館大学大学院 学生員 ○齋藤章人
立命館大学大学院 学生員 藤代浩二

立命館大学大学院 学生員 増井 久
(株)吹上技研コンサルタント 小川聖治
立命館大学理工学部 正会員 福本武明

1. はじめに 近年、ロックフィルダムや宅地造成工事、道路・鉄道などの盛土工事等を行う際、かなり大きな礫を含む粗粒土が頻りに用いられるようになっており、その密度管理が実施において重要な問題になっている。許容最大粒径より粗な粒子を多く含む粗粒土の締固め密度は直接室内試験で求められないため、これまで種々の締固め密度推定法（式から推定する方法、実験値による外挿法、重回帰分析による方法など）が提案され、利用されている。しかし、どの方法が最も精度がよく実用性に富むかを明確にするための総合的な比較検討が未だ行われておらず、不明なままである。

本報では、その解決に向けての一考察として、著者らの実測データに基づき、福本¹⁾が提案した密度推定式、中岡ら²⁾が提案した外挿法、及び後藤ら³⁾が主張する重回帰分析法をそれぞれ代表として取り上げ、それらの推定精度についての比較検討を行ったので、その結果について報告する。

2. 各種密度推定方法の概説

2. 1 福本の密度推定式 Walker-Holtz の式⁴⁾ (式(1)) が、一般的に広く用いられてきたが、適用範囲の狭さが以前から指摘されていた。福本らは、式(1)に含まれる不合理な点を改善し、礫混入率 P の広い範囲にわたって適用できるような式(2)を提案した。ここで、 ρ_{d1} は土のみを締固めた場合に得られる乾燥密度、 ρ_{d2} は礫の比重に相当する。 ρ_{dg} は礫のみの場合の実測乾燥密度である。式(2)は既報¹⁾で述べたように、実測値との適合性が概ね良好で、式中の係数 α (式(3)) と β (式(4)) が、礫と土との粒径比 D_{50}/d_{50} と材料特性値 ($\rho_{d1}, \rho_{d2}, \rho_{dg}$) さえ既知であれば、容易に求められる。したがって、本文中では式(2)からの推定値を基に、後述の推定法との比較検討を行う。

$$\rho_d = \frac{\rho_{d1} \cdot \rho_{d2}}{P \cdot \rho_{d1} + (1-P) \cdot \rho_{d2}} \quad \dots(1)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_{d1} \cdot \rho_{d2} \cdot (1 - \alpha P^\beta)}{P \cdot \rho_{d1} + (1-P) \cdot \rho_{d2}} \quad \dots(2)$$

$$\alpha = 1 - \frac{\rho_{dg}}{\rho_{d2}} \dots(3), \quad \beta = \left(\frac{D_{50}}{d_{50}} \right)^\xi \dots(4)$$

$$\xi = \left(\frac{\rho_{d1}}{\rho_{dg}} \right) \cdot \left(1 - \frac{\rho_{d1}}{\rho_{d2}} \right) \dots(5)$$

2. 2 相関関係からの外挿法 原粒度を基準に調整した試料に対し、締固め特性値と粒度特性値との相関関係を求め、それから外挿して原粒度の締固め特性を推定する方法である。今回は、中岡らの乾燥密度と最大粒径との相関関係に着目し、検討を行う。

2. 3 重回帰分析法 礫質土の締固め密度 $\rho_d = 0.5222 + 0.0836 \ln E_c - 0.109 \ln U_c + 0.0197 \ln D_{\max} \dots(6)$

ρ_d を 2 個以上の説明変数で表現して予測する方法である。後藤らは、説明変数として、締固めエネルギー E_c 、均等係数 U_c 、最大粒径 D_{\max} 、礫混入率 P を選んで式(6)、式(7)のような回帰式を示し、これを使って精度よく推定可能と述べている。

$$\rho_d = 0.2258 + 0.0863 \ln E_c - 0.114P \quad \dots(7)$$

3. 試料と実験方法

3. 1 試料 今回の試料は、滋賀県栗太郡栗東町丸塚の土（以下、栗東土）、兵庫県芦屋市芦有道路周辺の土（以下、六甲土）の 2 種類である。栗東土の最大粒径は 75mm、六甲土の最大粒径は 112mm で、それぞれ試料の最大粒径を 37.5mm, 19mm, 9.5mm, 4.75mm のせん頭試料となるように粒度調整を行い用いた。

キーワード；粗粒土、締固め、密度、室内試験

住所；滋賀県草津市野路東 1-1-1, 電話；077-566-1111 (内線 8717), FAX；077-561-2667

3. 2 実験方法 本実験は、突固めによる締固め試験により非繰返し法⁵⁾で締固めた。直径 30cm, 高さ 30cm のモールドを使用し、普通の締固め試験の規定にないので、現行規定の 15cm 径及び 10cm 径モールドと同一の締固め仕事量 ($E_c \approx 550\text{kJ/m}^3$) となるように各要素を設定し (表-1 参照)、大型締固め試験装置⁶⁾を用いて行った。

表 - 1 締固め仕様

モールド	直径30cm×高さ30cm
突固め条件	ランマー重量 8.1kgf, 落下高 45cm
突固め方法	7層×46回/層

表 - 2 密度推定式で用いた諸量及び推定乾燥密度

試料	細粒と粗粒の境界 (mm)	粒径比 D_{50}/d_{50}	係数		材料特性値			礫混入率 P (%)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	
			α	β	ρ_{d1}	ρ_{d2}	ρ_{dg}		式(1)	式(2)
					(g/cm ³)	(g/cm ³)	(g/cm ³)			
栗東土	37.5	10.4	0.331	1.702	2.175	2.676	1.791	11.9	2.225	2.205
	19	9.2	0.329	1.664	2.167	2.676	1.795	25.6	2.278	2.200
六甲土	37.5	10.0	0.269	1.708	2.050	2.618	1.914	13.8	2.113	2.094
	19	8.6	0.263	1.692	2.004	2.619	1.929	26.6	2.138	2.078

4. 実験結果と考察 密度推定式で用いた諸量及び推定乾燥密度を表-2に、重回帰分析による回帰式で用いた諸量及び推定乾燥密度を表-3に記載する。

表 - 3 重回帰分析による回帰式で用いた諸量及び推定乾燥密度

試料	細粒と粗粒の境界 (mm)	礫混入率 P (%)	最大粒径 D_{max} (mm)	締固め仕事量 E_c (m ³ kgf/m ³)	均等係数 U_c	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	
						式(6)	式(7)
栗東土	37.5	11.9	75	560000	66	1.257	1.354
	19	25.6	75	560000	177	1.150	1.339
六甲土	37.5	13.8	112	560000	17.3	1.411	1.352
	19	26.6	112	560000	17.0	1.413	1.338

今回の実験結果に基づき、諸家の密度推定法を比較検討する。紙面の都合上、一例として六甲土の最大粒径 19mm の場合について図を交えて述べたい。まず、図-1は式(1)と式(2)を比較したものである。このように式(1)は、礫混入率 P が大きくなるにつれ、乾燥密度 ρ_d が上昇し続ける。いま、最大粒径 19mm のせん頭粒度から得られる原粒度の乾燥密度は、礫率 $P=26.6\%$ のとき、式(1)は $\rho_d=2.138\text{g/cm}^3$ 、式(2)は $\rho_d=2.078\text{g/cm}^3$ となり、前者は後者よりも相当大きな値を示す。栗東土においても同様の傾向が認められる(表-2参照)。

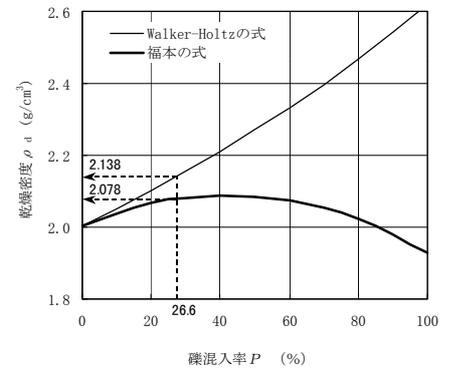


図 - 1 密度推定式から求まる乾燥密度 (六甲土の場合)

次に、相関関係からの外挿法による推定密度を図-2に示す。図より、直線関係が成り立つとして外挿すれば、栗東土における原粒度の乾燥密度は、 $\rho_d=2.204\text{g/cm}^3$ となり、式(2)から算出される $\rho_d=2.200\text{g/cm}^3$ とほぼ同値になる。一方、六甲土においては原粒度の乾燥密度が、外挿法の場合 $\rho_d=2.131\text{g/cm}^3$ に対し、式(2)の場合 $\rho_d=2.078\text{g/cm}^3$ となり、外挿法から求まる ρ_d の方が大きな値を示す。これは、最大粒径と乾燥密度の間に比例関係があると見なし、単純に直線近似して求めることに危険が伴うことを示唆している。

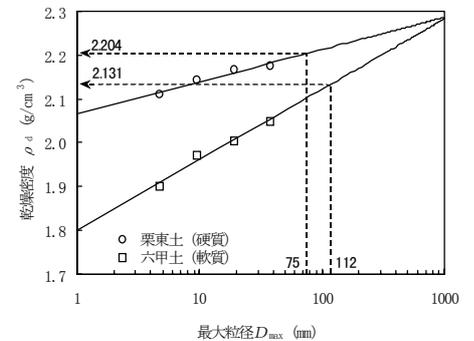


図 - 2 外挿法から求まる乾燥密度

重回帰分析による方法は、表-2と表-3を見てわかるように今回の場合、式(2)から算出される ρ_d に比べて、式(6)及び式(7)から算定される ρ_d が非常に小さな値を示し、精度が良くないと考えられる。

5. 結び 以上より、式(2)は式(1)に比べ礫率 P の広い範囲で適合性も良く簡単に利用できること、相関関係からの外挿法は単純に直線を延長する場合によっては危険が伴うので慎重を要すること、重回帰分析法は多種多様な粗粒土に常に適用できるとは限らないこと、などが判明した。今後は、更に条件を変えて多くの実験を行い、様々な視点から実証的検討を深めてゆきたい。

【参考文献】 1) 福本武明, 増井久: 二要素混合問題における粒径比の影響, 第36回地盤工学研究発表会講演集, 2001. 2) 中岡時春, 望月秋利, 阪口理: 粗粒材を含む盛土材料の締固め密度の推定, 土木学会論文集 No.499/III-28, pp.177-185, 1994. 3) 後藤茂, 宮本武司, 玉置克之: 軟岩ずりの締固め特性に及ぼす粗粒分の影響, 土と基礎, Vol.32, No.7, pp.45-57, 1984. 4) Walker, F.C and Holtz, W.G.: Control of Embankment Material by Laboratory Testing Proc. ASCE, No.180, 1951. 5) 地盤工学会編: 土質試験の方法と解説-第一回改訂版-, 2000. 6) 増井久, 小川聖治, 福本武明: 粗粒土を用いた大型室内締固め試験, 第35回地盤工学研究発表会講演集, pp.979-980, 2000.