

最大粒径が小さくなる場合における Walker-Holtz 法による礫補正の応用について

神戸大学大学院 正会員 ○澁谷 啓
 株式会社フジタ 正会員 堀田 崇由
 神戸大学大学院 正会員 片岡沙都紀
 神戸大学大学院 非会員 高島 光平

1. はじめに

室内締固め試験ではモールドの直径に合わせて地盤材料の粒度を調整する。また、実地盤の原材料が巨礫を含む場合、Walker-Holtz 法¹⁾(以下、WH 法)等による礫補正を行い、原材料の最大乾燥密度 ρ_{dmax} を推定し、設計・施工に反映している。一方、強度試験用の供試体作製等で締固め試験よりも最大粒径 D_{max} を小さく調整する場合には、室内供試体の ρ_{dmax} が必要であるが、 D_{max} の大きい試料から小さい試料の任意の締固め度における密度を求めた研究例は意外と少ない。そこで本研究では、各種地盤材料の19mmふるい通過試料(以下、-19mm試料)と2mmふるい通過試料(以下、-2mm試料)のそれぞれに対して標準プロクター(1.0Ec)に対応する ρ_{dmax} を求めた。さらに、WH法を変形した補正式を用いて、-19mm試料の ρ_{dmax} から-2mm試料の ρ_{dmax} を算出し、-2mm試料の実験値と比較検討した。

2. Walker-Holtz 法による礫率補正について

図1は、Walker-Holtzの礫率補正法^{2),3)}の概念である。任意の粒径の地盤材料を土と礫とに分けて考えると、礫混入に対する補正後の密度 $[\rho_d]_{all}^*$ は以下となる(図1(a))、

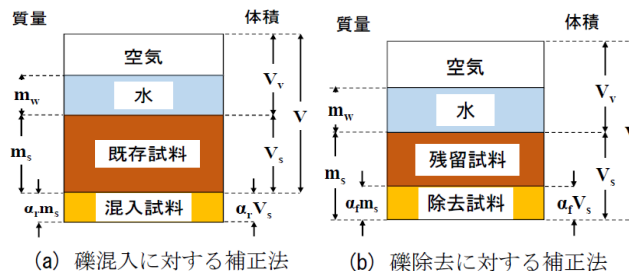
$$[\rho_d]_{all}^* = \frac{(1+a_r) \cdot m_s}{V + a_r \cdot V_s} = \frac{(1+a_r) \cdot [\rho_d]_{fine}}{1+a_r \cdot \frac{[\rho_d]_{fine}}{\rho_{s2}}} \quad (1)$$

ここで、 $[\rho_d]_{fine}$: 既存試料の乾燥密度、 ρ_{s2} : 混入礫の粒子密度、 a_r : 混入礫の既存試料に対する質量割合($a_r = P/(1-P)$, P : 混入後試料の礫率)である。また、礫除去に対する補正後の密度 $[\rho_d]_{fine}^*$ は以下となる(図1(b))、

$$[\rho_d]_{fine}^* = \frac{(1-a_f) \cdot m_s}{V - a_f \cdot V_s} = \frac{(1-a_f) \cdot [\rho_d]_{all}}{1-a_f \cdot \frac{[\rho_d]_{all}}{\rho_{s2}}} \quad (2)$$

ここで、 $[\rho_d]_{fine}$: 補正前試料(残留試料+除去試料)の乾燥密度、 ρ_{s2} : 除去礫の粒子密度、 a_f : 補正前試料の礫率($a_f = P$)である。なお、式(1),(2)中の乾燥密度 ρ_d は全て同一の締固めエネルギー(CEL)で得られる値である。また、礫の含水比は0%と仮定しているため、実質的に $\rho_{d2} = \rho_{s2} = \rho_{s1} = \rho_s$ となる。

3. 試験概要

図1 Walker-Holtz 法³⁾の概念図 (黒岩ら³⁾)

WH法を応用して、 D_{max} の大きい試料の ρ_{dmax} から小さい試料の ρ_{dmax} を求める方法の検証は、9種類の土を用いて行った。それぞれの土の-19mm試料と-2mm試料で締固め試験を行い、1.0Ecに対する ρ_{dmax} を求めた。図1で示す(礫)は19mm~2mm試料、(土)は-2mm試料に相当するので、式(1)は

$$\rho_{dmax}^{-19*} = \frac{(1+a_r) \cdot \rho_{dmax}^{-2}}{1+a_r \cdot \frac{\rho_{dmax}^{-2}}{\rho_s}} \quad (3)$$

と表すことができ、同様に式(2)は

$$\rho_{dmax}^{-2*} = \frac{(1-a_f) \cdot \rho_{dmax}^{-19}}{1-a_f \cdot \frac{\rho_{dmax}^{-19}}{\rho_s}} \quad (4)$$

となる。ここで、 ρ_{dmax}^{-19*} : -19mm試料の ρ_{dmax} (計算値)、 ρ_{dmax}^{-2*} : -2mm試料の ρ_{dmax} (計算値)、 ρ_{dmax}^{-19} : -19mm試料の ρ_{dmax} (実験値)、 ρ_{dmax}^{-2} : -2mm試料の ρ_{dmax} (実験値)である。上記の式を用いて求めた計算値を実験値と比較し、両者の整合性を検討した。

4. 試験結果・考察

実験および計算結果を表1に示す。 R は計算値と実験値の比である。また、WH法の適用範囲は $P \leq 30 \sim 40\%$ とされており、精度を確認するために図2に P と R^{-19} , R^{-2} の関係を示す。まず、礫混入に対するWH法である式(3)による R^{-19} と P の関係は、全体的に P が大きくなると、 R^{-19} が1.0から乖離することが分かる。加えて、式(4)による R^{-2} と P の関係も、 R^{-19} と同様に P が大きくなると1.0から乖離しており、全試料で $R^{-19} > 1.0 > R^{-2}$ となっている。 $R^{-19} > 1.0$ となることは、あるCELで締固めた土にその締固め状態を変えないで礫を混入するには、礫粒子の相互作用を考慮すれば、元々のCELよ

キーワード: Walker-Holtzの礫率補正, 締固め, 最大粒径

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL078-803-6023

表 1 実験及び計算結果

試料名	礫率 P (%)	実験値 $\rho_{dmax}^{-19}(\text{g/cm}^3)$	実験値 $\rho_{dmax}^{-2}(\text{g/cm}^3)$	計算値 $\rho_{dmax}^{-19}(\text{g/cm}^3)$	計算値 $\rho_{dmax}^{-2}(\text{g/cm}^3)$	計算／実験 R^{-19}	計算／実験 R^{-2}
多可町 A-2	39.0	2.050	1.860	2.099	1.798	1.024	0.966
豊楽公園	19.5	1.936	1.870	1.983	1.818	1.024	0.972
剣谷第六公園	22.8	1.954	1.881	2.013	1.815	1.030	0.965
新池北公園	25.1	1.935	1.863	2.009	1.779	1.038	0.955
仮置土 A-下	35.2	1.800	1.773	2.016	1.525	1.120	0.860
仮置土 C	50.3	1.957	1.855	2.198	1.534	1.123	0.827
No.62 盛土材	50.0	2.118	2.037	2.335	1.729	1.102	0.849
額田	34.8	1.937	1.783	2.020	1.686	1.043	0.945
佐保	29.1	1.780	1.715	1.919	1.562	1.078	0.911

りも大きな CEL が必要となることを意味している。一方、 $R^2 < 1.0$ となることは、ある CEL で締め固めた礫混じり試料の内部の土は、礫粒子の相互作用に妨害されて、それよりも小さな CEL しか受けていないことを意味している。また、 R^{-19} 、 R^{-2} ともに $P=30\%$ 程度でも締め固め度での数%の誤差を有しており、この誤差の強度・変形特性に及ぼす影響は無視できないであろう。

一方、同一試料の R^2 が R^{-19} に比べて 1.0 から大きく乖離していることは、黒岩ら³⁾の論文に示すデータと同様な傾向である。図 3 には、式(3)、(4)中の P を変化させた場合の ρ_d の計算値を示している。この図には、 R の値が 1.0 に近い豊楽公園 ($R^{-19}=1.024$, $R^{-2}=0.972$) と 1.0 から大きく離れている仮置土 C ($R^{-19}=1.123$, $R^{-2}=0.827$) および No.62 盛土材 ($R^{-19}=1.102$, $R^{-2}=0.849$) の計算曲線と実験値をプロットしている。 ρ_{dmax}^{-2*} の曲線を見ると分かるように、式 (4) が $P=100\%$ の時に $\rho_{dmax}^{-2*}=0$ となっているが、実現象としては ρ_{dmax}^{-2} が 0 となることは無く、 P の増減に伴って式中の ρ_{dmax}^{-19} も変化するはずであり、同一試料を粒度調整または異なる CEL を用いた締め固め試験で得られる ρ_{dmax} に対応する飽和度 S_{ropt} は一定であるという龍岡ら²⁾によると、式(3)、(4)には間隙の量を補正する係数が必要であると指摘している。しかしながら、この係数を求めるには複数回の締め固め試験が必要となる。

5. まとめ

本研究では Walker-Holtz 法により最大粒径 D_{max} が小さくなる場合の最大乾燥密度 ρ_{dmax} が算出可能かを検証した。その結果、礫除去の場合の補正は礫混入よりも実験値との差が大きくなり、せん頭粒度試料の強度・変形特性は締め固め度 D_c を原粒度試料と同等とすることで評価ができることを勘案すると、 $P=30\%$ 程度でも無視できない誤差である。

参考文献

- 1) Walker, F.C. and Holtz W.G: Control of embankment material by laboratory testing, Proc. ASCE, No.108, pp.1-25, 1951.
- 2) 龍岡文夫, 澁谷啓, 菊池喜昭: 土の締め固め特性の飽和度に基づく各種法則性と締め固め管理への適用, 第 53 回地盤工学研究発表会, 2018 (印刷中)。
- 3) 黒岩祐介, 木田匠紀, 兵動太一, 菊池喜昭, 龍岡文夫, 三反畑勇, 永井裕之, 西尾竜文: 土の締め固め率補正の実験的検討, 第 53 回地盤工学研究発表会, 2018 (印刷中)。
- 4) 上本雄也, 澁谷啓, 橋元洋典, 川尻峻三: 砂礫盛土材の締め固め特性および変形・強度特性に及ぼす粒度特性の影響, 地盤工学ジャーナル Vol.6, No.2, pp.181-190, 2011.

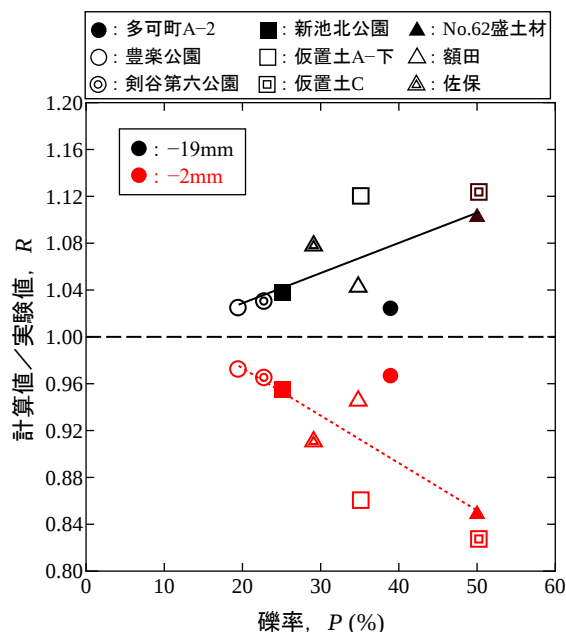
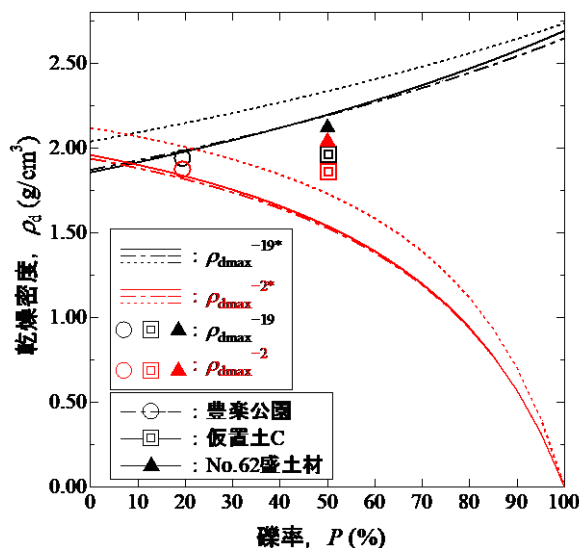


図 2 礫率と (計算値／実験値) の関係

図 3 礫率を変化させた場合の ρ_d の計算値と実験値の関係