

粗粒材料の締固め密度補正に関する実験的考察

水資源開発公団試験研究所	正会員	曾田	英揮
同上	正会員	佐藤	信光
(株)アイ・エヌ・エー	正会員	中安	智洋
(株)地盤解析研究所	正会員	大森	晃治
東京工業大学	正会員	太田	秀樹

1. はじめに

ロックフィルダムなどの盛土構造物において、施工管理上現場の締固め密度の推定は重要である。締固め密度の推定には従来 Walker-Holtz 式¹⁾が多く用いられているが、礫率 $P=30\sim40\%$ を超えると適用が困難になることが指摘されている。これについて礫率の影響を考慮した似内²⁾や福本³⁾らの補正式が提案されている。

今回粗粒材料の礫率および最大粒径を変化させて締固め試験を行い、似内の式を用いてその影響について検討を行った。

2. 試験方法

試験に使用した試料はフィルダムのロック材である。現場管理試験から得られた粒度分布(42点)の平均値を図-1の点線で示す。試験粒度は図-1の現場粒度からカット粒度として作成した。

試験は表-1および図-1に示す試験1から試験7までの粒度分布で行っている。試験1、4は最大粒径を63mm、4.75mmとした試料である。試験では

表-1 材料の粒度特性と振動締固め試験結果

	単位	試験 1	試験 2	試験 3	試験 4	試験 5	試験 6	試験 7
D60	mm	21.2	15.8	10.4	2.1	28	20	12.1
D50	mm	15.3	12.1	8.7	1.6	22.8	16.6	10.8
D30	mm	6.73	6.22	5.69	0.79	13.87	11.09	8.18
D10	mm	1.21	1.21	1.21	0.14	7.28	6.55	5.66
Uc		17.6	13.1	8.6	14.7	3.8	3.1	2.1
Uc'		1.77	2.04	2.58	2.08	0.94	0.94	0.98
Gb	g/cm ³	2.654	2.65	2.644	2.621	2.668	2.663	2.655
wn	%	1.33	1.37	1.42	1.94	1.14	1.19	1.26
G	G	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
pd	g/cm ³	2.199	2.155	2.06	2.015	1.939	1.857	1.74
eb		0.207	0.23	0.283	0.296	0.376	0.434	0.526

4.75mm以下を細粒分とし、4.75mm以上を礫分として区分している。試験2、3は試験1の粒度に対して、4.75mm以下の含有量(24.4%)を一定として最大粒径を37.5mm、19mmとした試料である。試験5～試験7は試験1～試験3の粒度から4.75mm以下を取り除いた試料(最大粒径63mm、37.5mm、19mm)である。

3. 密度補正式(礫補正)

現場ロック材の粒度分布は、粒径4.75mm以上が82%を占める。礫の混入に伴う乾燥密度の補正(礫補正)には種々の方法がある。(似内²⁾、福本³⁾など)ここでは似内の補正式(式(1))を用いて検討した結果を示す。ここで P は礫率、 ρ_{d1} は4.75mm以下を締固めた時の ρ_{dmax} 、 ρ_{d2} は礫分のみを締固めた時の ρ_{dmax} 、 ρ_{d2} は礫の乾燥密度(G_b より算出)である。

G_b : 礫の絶対比重、 wn : 含水比、 G : 加振加速度、 ρ_d : 乾燥密度、 eb : 間隙比

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

$$\alpha = 1 - \rho_{dg} / \rho_{d2}$$

$$\beta = 1 + ((\lambda - 1) + \rho_{dg} / \rho_{d1})$$

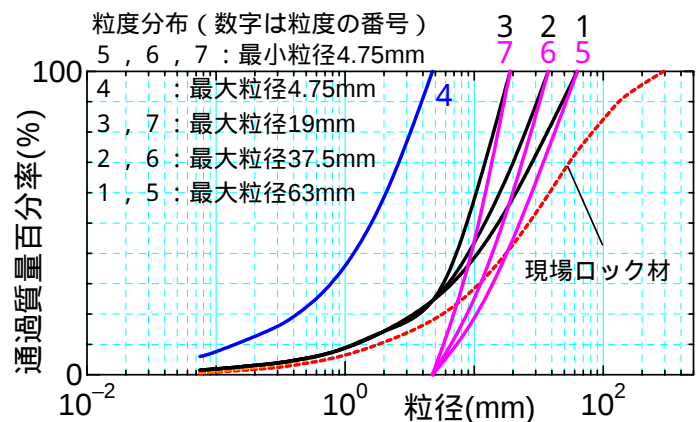


図-1 試験試料の粒度分布

キーワード：粗粒材料、締固め密度、礫補正

連絡先（埼玉県さいたま市桜区大字神田 936 番地 TEL:048-853-1785 FAX:048-855-8099）

4. 試験結果

試験結果を表-1に示す。試験は振動締固め試験（2.01Gの加振加速度）で行っている。試験結果を式(1)に代入して求めた α 、 β 、 λ の各係数の値を表-2に示す。ここで試験4から ρ_{d1} を求め、試験5～7から各最大粒径ごとの ρ_{dg} を求めている。試験1から試験3は同じ礫率75.6%の試験である。最大粒径が大きくなると乾燥密度 ρ_d が大きくなる傾向があり、それに伴って求まる各係数も変化する。 α 、 β 、 ρ_{dg} の各値と最大礫径の対数との関係を図-2、図-4に示す。また α 、 β 、 ρ_{dg} の各値と50%粒径の対数との関係を図-3、図-5に示す。各図とも α 、 β 、 ρ_{dg} と粒度特性（最大粒径、50%粒径）とが良好な相関関係にあることがわかる。紙面の都合で割愛したが、均等係数の対数と α 、 β 、 ρ_{dg} の各値とも良好な相関関係を示す。このことは粒径の小さい試験結果と以上の相関関係とから現場の粒径の大きい材料の締固め特性をある程度想定出来る可能性を示していると考えられる。

仮に、各図の直線関係が現場ロック材の最大粒径、50%粒径まで外挿できるものとして、 α 、 β 、 ρ_{dg} を求めると表-2に示す現場の欄の値となる。図-6にこれらの結果を礫率と乾燥密度との関係として示す。最大粒径が大きいほど乾燥密度が大きくなる結果となった。また、粒度特性（最大粒径、50%粒径、均等係数）と乾燥密度とが良好な相関関係にあることから重回帰分析を行い、予測式を求めた。

（記号：表-1参照）

$$\rho_d = A \cdot \log(D_{\max}) + B \cdot \log(U_c) + C \cdot \log(G) + D \cdot W_n + E$$

$$A=0.0810, B=0.426, C=0.433, D=-0.0737, E=1.504$$

$$\rho_d = A \cdot \log(D_{50}) + B \cdot \log(U_c) + C \cdot \log(G) + D \cdot W_n + E$$

$$A=0.0678, B=0.399, C=0.429, D=-0.0737, E=1.512 - (2)$$

加振加速度Gの影響は別の試験を実施して求めている。分析の結果、粒度分布のうち U_c の影響が高いことを示した。

5. まとめ

粒度特性と乾燥密度とが良好な相関関係にあり、外挿法で現場粒度に対応する乾燥密度を検討できる可能性があることがわかった。今後さらに定量化に向けた検討を行いたい。

参考文献：1)地盤工学会編：土質試験の方法と解説-第一回改訂版-pp.260-261,2001 2)似内 他：締固め密度の補正式に関する検討,第35回地盤工学研究発表会,pp.981-982,2000. 3)福本 他：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,pp.549-550,2001

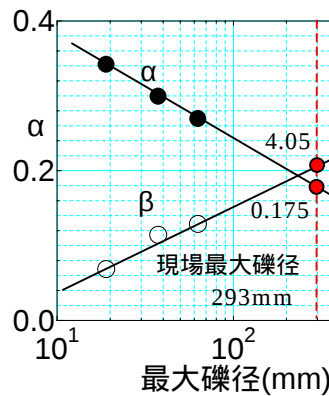


図-2 最大礫径と α 、 β との関係

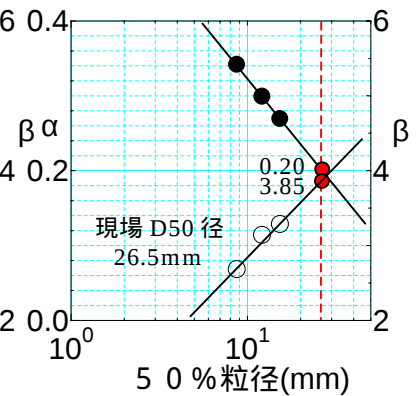


図-3 D50径と α 、 β との関係

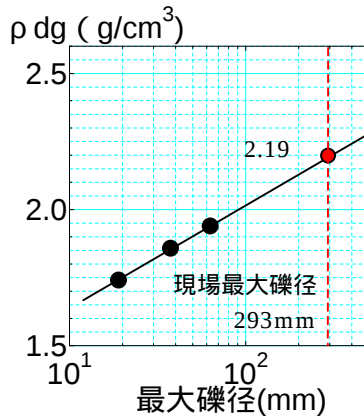


図-4 最大礫径と ρ_{dg} との関係

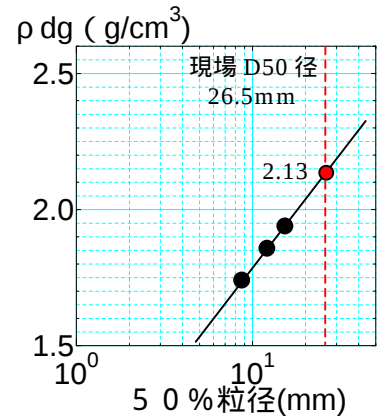


図-5 D50径と ρ_{dg} との関係

表-2 礫分補正の各係数値(*1:最大礫径から想定、*2:D50径から想定)

	単位	試験 1	試験 2	試験 3	現場 *1	現場 *2
最大粒径	mm	63	37.5	19	293	293
均等係数		17.6	13.1	8.6	22.3	22.3
ρ_d	g/cm ³	2.199	2.155	2.060	2.314	2.276
ρ_{d1}	g/cm ³	2.015	2.015	2.015	2.015	2.015
ρ_{d2}	g/cm ³	2.654	2.650	2.644	2.654	2.654
ρ_{dg}	g/cm ³	1.939	1.857	1.740	2.190	2.130
λ		0.654	0.719	0.713		
α		0.269	0.299	0.342	0.175	0.200
β		3.288	3.142	2.686	4.050	3.850

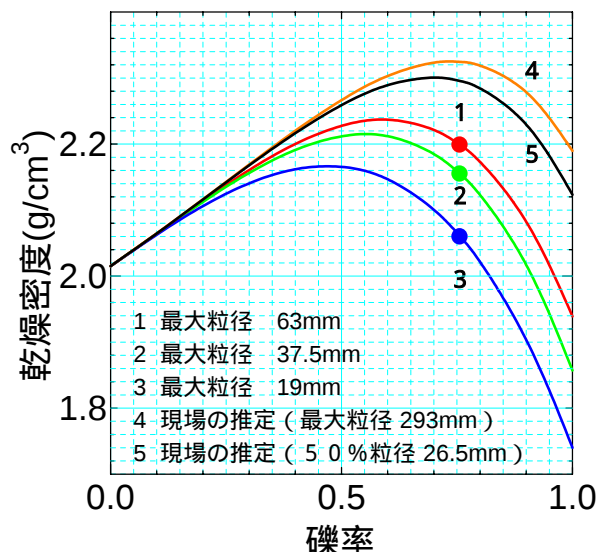


図-6 礫率と最大乾燥密度との関係