

地盤工学実験 実験報告書 締固め試験

ゆり* (@81suke_)

実験日 2019/12/20(金)

Contents

1	実験目的	2
2	実験理論	2
3	実験	2
3.1	実験器具	2
3.2	実験手段	2
4	実験結果	3
5	考察	5
6	感想	6
	References	6

1 実験目的

締固め試験を行うことで締固めのメカニズムを理解し、締固め特性に及ぼす土粒子、水、土の基本量に関する理解を深め、締固めにより土の工学的特性が変化することを体験する。

締固めによる土の乾燥密度と含水比の関係を確認し、最適含水比を導出する。

2 実験理論

通常の土の乾燥密度と含水比の関係を表す締固め曲線は上に凸な曲線を示す。このため、締固めにより乾燥密度を最大まで高めるためには、曲線の極大値付近で締固めを行うのが理想である。この極大値は実験的に決定されるものであるから、実際に締固め試験を行うことで極大値をとりうる最適含水比は導出される。

3 実験

3.1 実験器具

- 実験試料
 - － 関東ローム
 - － 混合砂
関東ロームと豊浦砂の混合土であった。
- 締固め試験器具
 - － モールド
質量 4.596kg、体積 998.2cm³ であった。
 - － ランマー
質量 2.5kg であった。
- ポータブルコーン
先端角 30°、コーン試験に用いた。校正係数は 3.066[N/0.01mm] であった。

3.2 実験手段

本実験は、繰返し法、湿潤法により締固め試験を行った。大まかには JIS A 1210[2] に従った。

1. 締固め試験に用いる器具（モールド、ランマー）および土の初期状態（土粒子密度、初期含水比、質量）を確認、測定した。
2. 目標含水比を決定し、その値になるよう加水し混ぜ合わせる。
3. 落下高さ 30cm で 1 層あたり 25 回を 3 層分ランマーをモールドに落下させて締固めを行った。（A 法）

4. 締固めを行った試料について湿潤密度および乾燥密度（後日）を測定した。
5. 試料に対してコーン貫入試験を実施した。
6. 次の目標含水比を決定し、その値になるよう加水し混ぜ合わせる。
7. 以下繰り返した。

4 実験結果

締固め試験における含水比と乾燥密度の関係、および含水比とコーン指数の関係は以下の通りとなった。

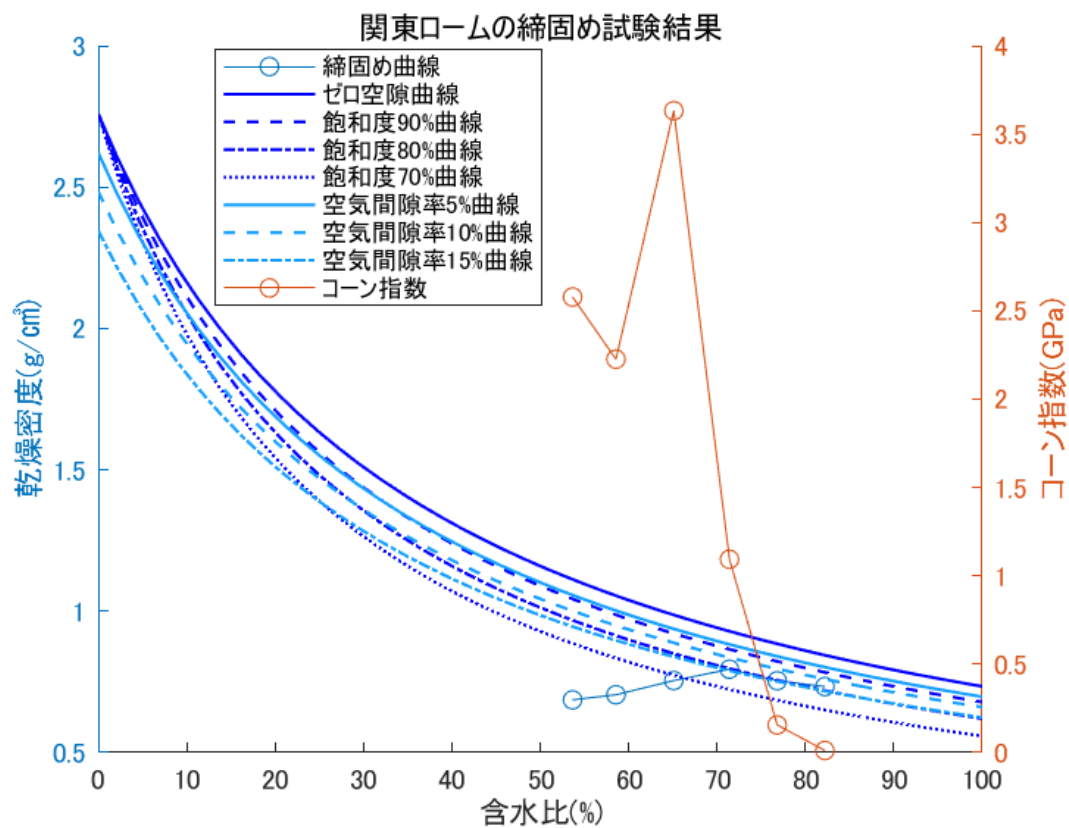


Figure 1: 関東ロームの締固め曲線とコーン指数

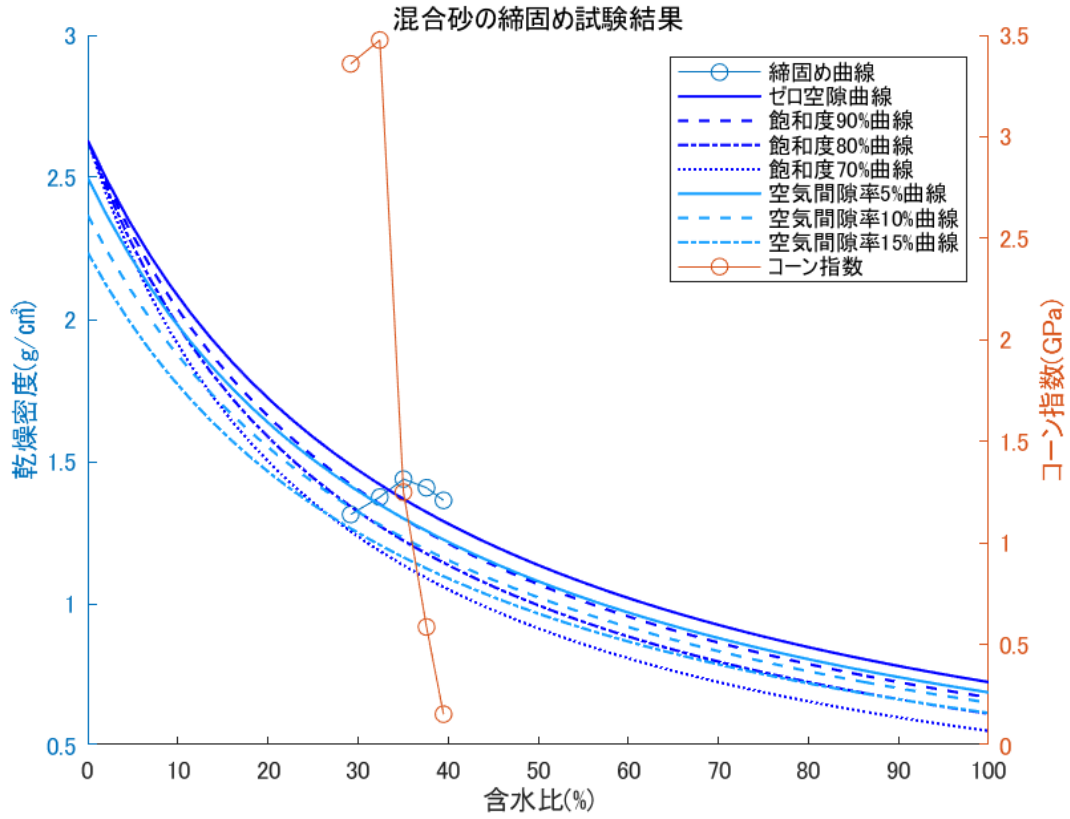


Figure 2: 混合砂の締固め曲線とコーン指数

なお、ゼロ空隙曲線は飽和度 $S_r = 100\%$ 、空気間隙率 $v_a = 0\%$ のときの ρ_d と ω の関係を表し、

$$\rho_{dsat} = \frac{\rho_w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{\omega}{100}} \quad (1)$$

で表される関数である。

飽和度一定曲線は土の飽和度 S_r が一定となる ρ_d と ω の関係を表し、同様に

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{\omega}{S_r}} \quad (2)$$

と表される。

空気間隙率一定曲線は土の空隙間隙率 v_a が一定となる ρ_d と ω の関係を表し、同様に

$$\rho_d = \frac{\rho_w(1 - \frac{v_a}{100})}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{\omega}{100}} \quad (3)$$

と表される。

5 考察

各試料について整理する。締固め前の土の状態は混合砂に比べて関東ロームはサラサラしていた。このため、関東ロームの方が細粒分が多いと考えられる。また、2種類の砂を混合している混合砂の方が粒径幅が広いと考えるのが自然である。締固め後は、各試料ともに固くなっていた。また、色も黒っぽくなった。

次に4節の締固め曲線をを比較すると以下の点が言える。

- 乾燥密度が最大となる最適含水比は関東ロームでは71.4%程度、それに対し混合砂の最適含水比は35.0%程度であり、混合砂の最適含水比が小さいことが確認できる。理論的には粒径幅の広い粗粒土ほど締固め曲線は鋭く切り立った形状を示し左上方に位置する¹とあるが、粒径幅の広い混合砂の締固め曲線が左上方に位置し形も鋭くなっており、理論と合致していることが確認できる。
- 混合砂と比較して関東ロームの方がなだらかな締固め曲線を描いた。理論的には細粒分が多い土ほど締固め曲線はなだらかな形状を示し右下方に位置する²とあるが、サラサラしており細粒分が多いと考えられる関東ロームの締固め曲線の方が右下方に位置するため、理論に概ね合致する。
- ゼロ空隙曲線に近いほど飽和度100%に近い理想の締固めといえる。このため締固め曲線の極大値がゼロ空隙曲線に近いことが要求される。関東ロームの最適締固めはおおよそ飽和度80%、空気間隙率15%付近に位置している。それに対し、混合砂の最適締固めはゼロ空隙曲線より大きいが、ゼロ空隙曲線に近い乾燥密度を示している。ゼロ空隙曲線を超えているのは理論上あり得ない話であるが、今回の締固め試験のA法ではゼロ空隙曲線により近い値をとった混合砂の方が効率よい締固めができたと推測できる。その理由について、関東ロームは細粒分が多いことによりサクシオンによる力が生じるため締固め難いと推測できる。
- コーン指数は土の貫入抵抗の指標を表すものである。つまり、コーン指数は土の強度、支持力と関係があると考えられる。今回の締固め試験では、コーン指数は最適含水比より左側つまり乾燥側で最大値をとった。一般に強度、支持力は最適含水比より若干乾燥側で最大となる³とあり、今回は同様の結果が得られた。このような結果となる要因として、不飽和土に含まれるサクシオンで生じる力が強度および支持力の一部として寄与するためと考えられる。
また、コーン指数は最大値を過ぎると含水比の増加に応じ急落していることが両試料の実験結果から確認できる。これは、余分に加わった水が土の締固めの邪魔となり、十分な締固め強度を得られなくなるためと考えられる。

混合砂の締固め試験結果において締固め曲線がゼロ空隙曲線を超えてしまっていることについては、モールド体積の計測誤差によるものと考えられる。どのような土であれゼロ空隙曲線は超えないはずであるから土に原因があるとは考え難い。今回の締固めはA法に

¹土質試験-基本と手引き-[1]p.76 参照

²土質試験-基本と手引き-[1]p.76 参照

³土質試験-基本と手引き-[1]p.76 参照

従ったが、A 法の規定ではモールド体積は 1000cm^3 で行うことになっているが、測定では 998.2cm^3 となっており-1.8%程度の誤差が生じており、この差が計算結果に影響を及ぼしたと考えられる。

締固め試験により得られた最適含水比および最大乾燥密度は、現場締固めでの品質管理に用いる。

最適含水比は締固めを行う際に加水する目安として用いる。ただし、実際にはコラプス沈下を避けるために、最適含水比から若干湿潤側を含水比目標とする。

締固め度 $D_c[\%]$ は以下の式により定義される。

$$D_c(\%) = \frac{\text{現場締固めによる } \rho_d}{\text{締固め試験による } \rho_{dmax}} \times 100 \quad (4)$$

締固め度は現場の締固めがどの程度理想の締固めに到達しているかの指標であり、基準を設けることで締固め品質の保持に貢献している。

6 感想

本実験により、JIS で規定されている締固め試験の流れをつかむとともに、土の締固めによる諸物性を理解することができた。また、締固め曲線から土の状態などを考察することもできた。

また、最適含水比および乾燥密度を測定することで、粒径幅や細粒分の把握、逆算の手法も考えることができるのではとも思った。

References

- [1] 公益社団法人 地盤工学会 土質試験-基本と手引き- 丸善出版 2010
- [2] JIS A 1210 突固めによる土の締固め試験方法 2009