

現場密度勾配の影響を飽和度に基づき考慮した現場と室内で締固めた砂質土の強度特性の比較

東京大学 正会員 ○富田 佑一 フェロー会員 古関 潤一
東京理科大学 名誉会員 龍岡 文夫

1. はじめに

近年、盛土構造物のより高い性能が強く求められている¹⁾。このためには、設計で適切に定めた要求性能を満足する施工管理が必要であり、現場で測定・評価する間接的な物性値と三軸圧縮試験などで設計条件(通常湿潤・飽和条件)の下で測定した強度・変形特性の相関が必要となる。最近の研究²⁾によると、現場不飽和盛土での CBR や K_{30} 値は、 ρ_d に加えて締固め時の飽和度 S_r に強く影響されるため、締固め時の S_r の影響を考慮する必要がある。筆者らは大型鋼製土槽内に小型締固め機械を用いて作製した試験盛土から採取した不攪乱試料と同一の土質を用いて室内の鋼製モールド内で締固めた不飽和供試体の圧密排気・排水三軸圧縮試験を行い、両者の強度変形特性の違いを調べている³⁾。本研究では、原位置締固め層に生じる深さ方向の乾燥密度の低減と締固め時の飽和度の影響を考慮して、両者の相関を検討した。

2. 試験盛土概要と供試体採取および室内供試体作製法

盛土材は最大粒径 $D_{max}=2.0\text{mm}$ 、平均粒径 $D_{50}=0.25\text{mm}$ 、細粒分含有率 $F_c=9.0\%$ の砂質土(稲城砂)であり、図 1 に 1.0Ec(A-c 法)、4.5Ec(E-c 法)、0.2Ec での締固め曲線を示す。1.0Ec では最適含水比 $w_{opt}=14.2\%$ 、 $\rho_{dmax}=1.684\text{g/cm}^3$ であり、最適飽和度(S_r)_{opt} は CEL によらず 64%程度である。試験盛土³⁾は、幅 2.2m×延長 3.2m×高さ 0.6m の鋼製土槽内でハンドガイドタイプの 1ton 振動ローラーで締固めて作製した。三軸圧縮試験の供試体($\phi 100\text{mm}\times h 200\text{mm}$)は、試験盛土から押切式ブロックサンプリングで採取した不攪乱試料と、室内で鋼製モールド内に 5 層に分けて重量調整した盛土材を投入して均等に突き固めて作製した供試体である³⁾。これらの供試体は、 $w=4\sim 17\%$ 程度、飽和度 $S_r=15\sim 75\%$ 程度に含水調整している。

3. 三軸供試体内の乾燥密度の勾配定

飽和化後の強度変形特性に与える ρ_d と締固め時の S_r の影響を調べるために、各々の供試体を上下2分割して ρ_d と S_r を測定した。図 2 に、締固め曲線とともに、試験盛土供試体と室内突固め供試体の供試体全体に対する平均乾燥密度(ρ_d)_{ave} と上下部それぞれの局所乾燥密度(ρ_d)_{local} の測定値を示す。試験盛土供試体では上部の(ρ_d)_{local} は下部よりも 0.1g/cm^3 程度大きく、盛土中の鉛直乾燥密度勾配が確認できる。また、上下部の w にはほとんど差がないため、上部の S_r は下部よりも大きい。一方で、室内突固め供試体では、試験盛土供試体に比べて上下部の(ρ_d)_{local} に大きな違いは見られなかった。

4. 三軸圧縮試験の方法

供試体は不飽和状態で自立させて、基底応力 $p_{net}=(\sigma_{v,net}+2\sigma_{h,net})/3=10\text{ kPa}$ から 50 kPa まで 1 kPa/min 以下の速度で等方圧密し、 $\sigma_{h,net}$ を保持したまま軸ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_v=0.02\%/min$ で排気・排水条件で単調載荷した。局所軸(鉛直)ひずみ ϵ_v は外部変位計(EDT)に加えて、供試体の直径両端に配置した 2 つの局所変位計(170mm LDT)でも測定した。

キーワード 盛土, 締固め, 振動ローラー, 飽和度

連絡先〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名 3062-1 東急建設(株)技術研究所土木材料グループ TEL 042-763-9507

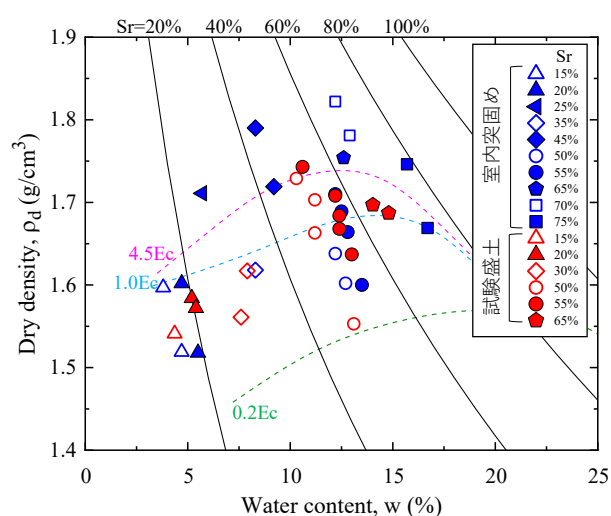


図 1 締固め曲線と三軸供試体の締固め状態

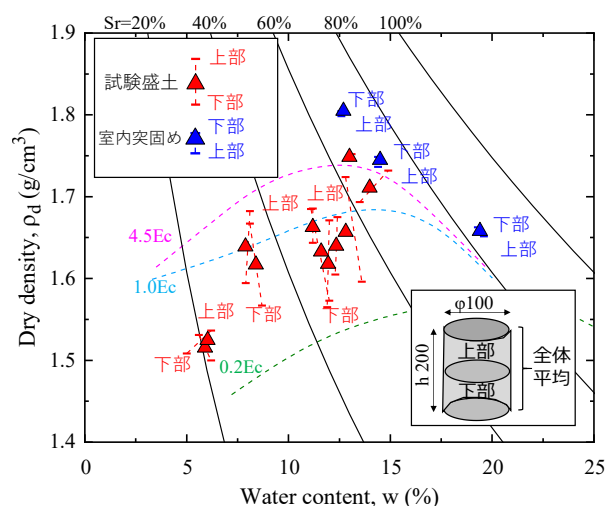


図 2 供試体上部下部に分けて測定した供試体の
平均乾燥密度(ρ_d)_{ave}と局所乾燥密度(ρ_d)_{local}

5. 三軸圧縮試験の結果

図3に、代表的な試験盛土供試体と室内突固め供試体の軸差応力と鉛直ひずみの関係の比較を示す。鉛直ひずみは外部変位計で測定したものである。同等の平均乾燥密度 $(\rho_d)_{ave}$ および供試体作製時の供試体平均飽和度 $(S_r)_{ave}$ に対して、試験盛土供試体の最大軸差応力 q_{max} は235.8kPa、室内突固め供試体は252.2kPaで類似している。しかし、ピーク前の剛性は室内突固め供試体が試験盛土供試体よりもかなり大きい。これは、同一の $(\rho_d)_{ave}$ に対して、試験盛土供試体では上部は S_r が高いため剛性が低いこと、室内突固め供試体では下部は累積突固め回数が多いことによる硬化現象で局所的に剛性が高いためである可能性がある⁴⁾。

図4に、全ての最大軸差応力 q_{max} と平均乾燥密度 $(\rho_d)_{ave}$ の関係を、締固め時の $(S_r)_{ave}$ 別に異なる記号で示す。 q_{max} と $(\rho_d)_{ave}$ の関係に対する $(S_r)_{ave}$ の影響は非常に強く、 $(S_r)_{ave}$ が低いほど同じ $(\rho_d)_{ave}$ で q_{max} が大きくなり増加率 $dq_{max}/(\rho_d)_{ave}$ も大きくなる。この傾向は、既往の研究²⁾でのCBR等の地盤剛性指標での傾向と一致している。供試体上下での局所的 q_{max} は測定できないので、以下では平均 q_{max} と $(\rho_d)_{ave}$ 及び $(S_r)_{ave}$ との相関を検討し、局所的な相関を推定する。図4中の曲線群は既往の研究²⁾を参照して、 q_{max} を ρ_d の関数 f_{pd} と S_r の関数 f_{Sr} の積とした式(1)によるものである。関数 f_{pd} は図4に示すように式(2)でフィットした。

$$q_{max} = f_{Sr} \cdot f_{pd} \quad (1): \quad f_{pd} = (\rho_d / \rho_w - 0.4)^{9.0} \quad (\rho_w \text{ は水の密度}) \quad (2)$$

式(1)に基づき $f_{Sr} = "q_{max} \text{の測定値}" / ("(\rho_d)_{ave} \text{の測定値}" / \rho_w - 0.4)^{9.0}$ を計算し $(S_r)_{ave}$ の測定値に対してプロットした(図5)。同一の $(\rho_d)_{ave}$ で $(S_r)_{ave}$ が増加すると q_{max} が大きくなり低下することが分かる。図4から、 $(S_r)_{ave}$ の影響を考慮すれば試験盛土供試体と室内突固め供試体の平均 $q_{max} \sim (\rho_d)_{ave}$ 関係は類似していることが分かる。この結果は、現場締固め層には鉛直方向に ρ_d 勾配と対応する S_r 勾配があるため ρ_d と S_r の同一の局所的な値に対して比較すれば、試験盛土供試体と室内突固め供試体の局所的な q_{max} は類似傾向にあることを示唆している。

6. まとめ

- ① 現場各締固め層内では鉛直方向に ρ_d は低減するが w はほぼ一様なため、表層に近いほど S_r は大きくなる。
- ② 試験盛土供試体と室内突固め供試体は、ともに同等の ρ_d 条件で S_r が増加すると q_{max} は大きく低下する。
- ③ 試験盛土供試体と比較的均質な室内突固め供試体の q_{max} は、同等の ρ_d と S_r 条件で比較すると類似している。

参考文献 1)龍岡文夫・平川大貴 (2019): 土構造物の要求性能の実現を目指した盛土締固め管理の合理化に関する研究委員会活動報告, 第16回地盤工学会関東支部発表会 2) Tatsuo, F. & Gomes Correia, A. (2018): Importance of controlling the degree of saturation in soil compaction linked to soil structure design, *Transportation Geotechnics* 17, pp.3-23. 3)富田佑一・古関潤一 (2019): 小型締固め機械で転圧した試験盛土から採取した土の変形強度特性, 第54回地盤工学研究発表会 4)富田佑一・古関潤一・龍岡文夫 (2020): 飽和度に基づき現場密度勾配を考慮した現場と室内で締固めた砂質土の変形特性の比較, 第55回地盤工学研究発表会(投稿中)

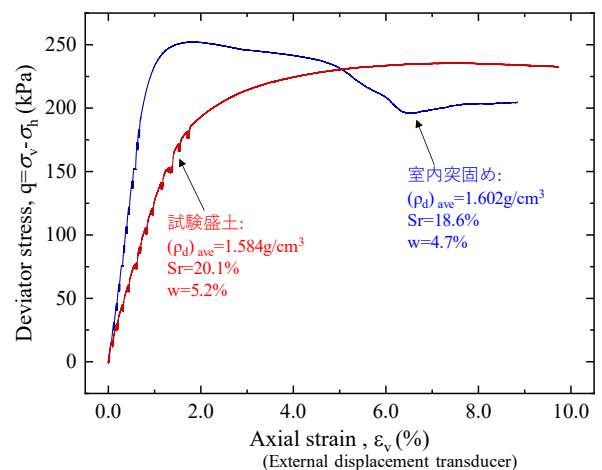


図3 試験盛土採取供試体と室内突固め供試体の軸差応力 q と鉛直ひずみ ε_v (外部変位計)の関係

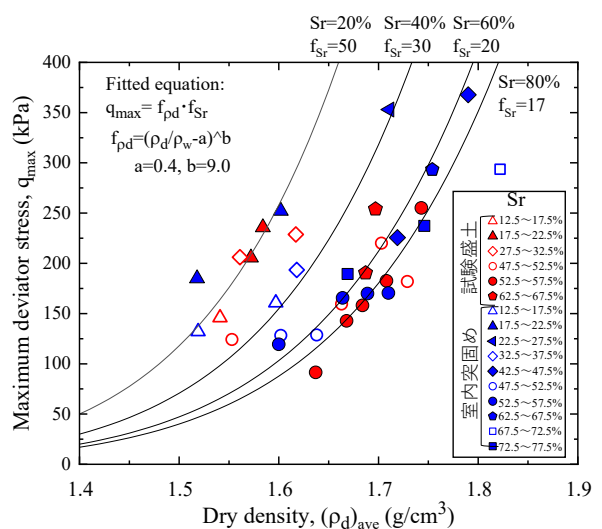


図4 最大軸差応力 q_{max} と平均乾燥密度 $(\rho_d)_{ave}$ の関係

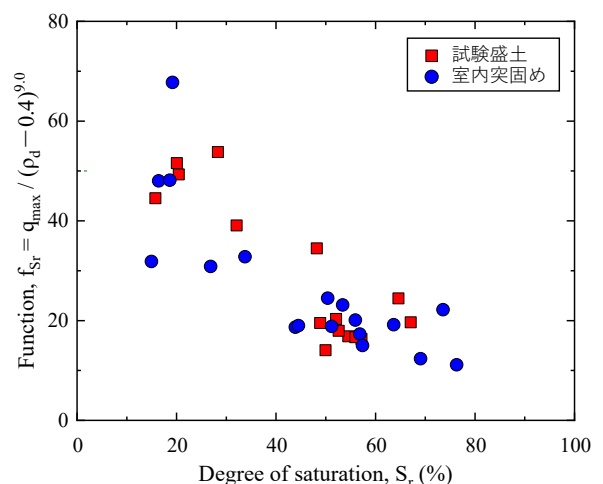


図5 q_{max} に対する f_{Sr} と $(S_r)_{ave}$ の関係