

豊浦・相馬標準砂の壁効果を考慮した最大・最小密度試験

名城大学理工学部 正会員 ○板橋一雄 学生員 内藤充則
学生員 森 隆 学生員 山脇秀仁

1. はじめに 土の密度や間隙比は、その工学的性質と密接な関係があり、特にせん断強度をはじめとする種々の力学的特性を支配する重要な要素である。著者らは、比較的粗粒の均一粒状体の最大密度試験結果に対して、壁効果の重要性を指摘している¹⁾。また、粗粒土質材料の粒子形状と最密充填特性の関係も明らかにしている²⁾。ここでは、細粒な豊浦標準砂と相馬標準砂について、最小・最大間隙率に対する壁効果の影響を示すとともに、同粒径の細粒な2種類の標準砂について間隙率の相違があることを示したので、ここに報告する。

2. 日本工業規格(JIS A 1224)³⁾による最大・最小密度試験 試料は粒径0.212~0.250mm (JISふるい1個分)に粒度調整した豊浦標準砂と相馬標準砂を用いた。試験方法は日本工業規格(JIS A 1224)³⁾に従い実施した。得られた平均密度 ρ_d g/cm³(最大密度試験4回、最小密度試験2回以上)から豊浦標準砂の土粒子密度 $\rho_s=2.650$ g/cm³、相馬標準砂の土粒子密度 $\rho_s=2.648$ g/cm³とした場合の間隙率を図-1に●、◎で示した。豊浦標準砂の平均密度 ρ_d g/cm³は、最大・最小密度試験とも目標値⁴⁾より下回っていた。これは粒度を揃えたことが原因のひとつとして考えられる。

3. 壁効果を考慮した最大・最小密度試験 最大密度試験として、著者らは粗粒土質材料を用いて容器に詰める試料を僅かずつ増加させる最密充填実験を実施してきており、間隙率 n に対する壁効果を明らかにしている⁵⁾。豊浦標準砂と相馬標準砂についても同様の実験方法を用い実験を行った。実験方法は、フロー試験機にセットされた内径 $D=6$ cm、深さ8cmのステンレス製の容器に試料を最初、一層目が完全に充填された状態から約0.738g増加させ、50回(1回/秒)さらに落とし蓋を載せて150回(1回/秒)衝撃を与える。次に、落とし蓋までの深さを最小読み0.01mmのノギスを用い容器円周上の3箇所測定を行い、間隙率 n を計算する。この操作を容器が完全に満たされるまで繰り返し行った。

最小密度試験として、豊浦標準砂と相馬標準砂について内径 $D=6$ cm、深さ2, 3, 4, 5, 6, 7cmの6つのステンレス製容器を用いて、日本工業規格(JIS A 1224)³⁾と同様の試験方法で行い、得られた平均密度 ρ_d g/cm³から間隙率 n を計算した。

図-1は、最大・最小密度試験より得られた間隙率 n と供試体高さ h の関係が描いてある。最大密度試験により得られた豊浦標準砂と相馬標準砂の間隙率 n は供試体高さが3cm程度までは不規則な増減を繰り返し、それ以降から僅かな減少傾向を続けている。つまり、供試体高さによって間隙率が異なることを示している。

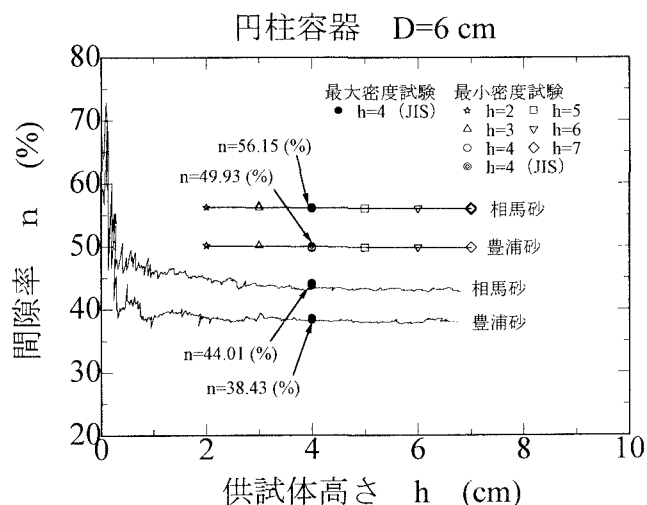


図-1 間隙率と供試体高さの関係

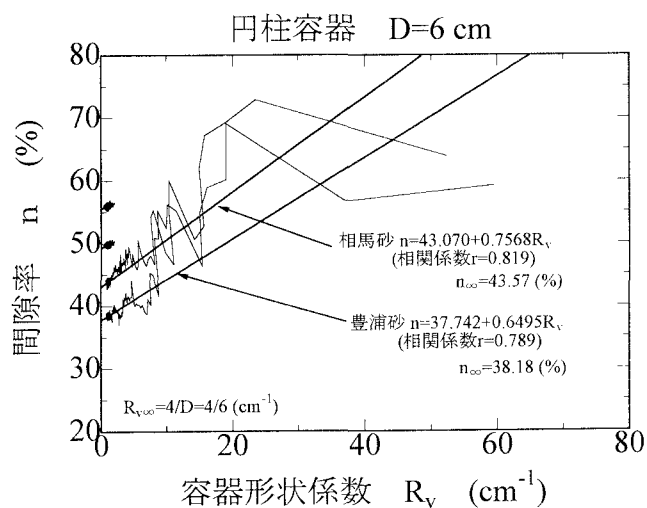


図-2 間隙率と容器形状係数の関係

一方で最小密度試験により得られた間隙率 n は、供試体高さの増加に関わらずほぼ同じ値を示している。なお、JIS による最大・最小密度試験から得られた間隙率 n が $h=4\text{cm}$ でほぼ同じ値を示している。

図-2 は、供試体高さによって間隙率 n が異なることに対して、著者らは内径 D 、深さ h の容器形状を表現する 1 つの係数（容器形状係数 $R_v=A/V=2/h+4/D$ ）を考え、 n と R_v が直線関係を描くことを明らかにしている⁵⁾ ことから、豊浦標準砂と相馬標準砂について同様の整理を行い、 n と R_v の関係を描いた。豊浦標準砂、相馬標準砂とも不規則な増減を繰り返し収束する傾向がみられる。ここに、 n と R_v の直線関係から容器内径 $D=6\text{cm}$ であり、供試体高さ h を無限大としたときの R_v の極限值 $R_{v\infty}=4/D=0.667(\text{cm}^{-1})$ における間隙率（極限間隙率 n_{∞} ）を示している。

図-3 は、図-2 の $R_v=0\sim5(\text{cm}^{-1})$ の範囲を示してある。破線は $R_{v\infty}=0.667(\text{cm}^{-1})$ の直線であり、壁効果を考慮した最大・最小密度試験における豊浦標準砂と相馬標準砂の n と R_v の直線関係との交点が各々の極限間隙率 n_{∞} である。 $h=4\text{cm}$ のときの豊浦標準砂と相馬標準砂の間隙率 n および JIS による最大・最小密度試験より得られた間隙率 n と極限間隙率 n_{∞} を比較すると、どちらも極限間隙率 n_{∞} の方が僅かに小さいかほぼ同じ値であることがわかる。つまり豊浦標準砂と相馬標準砂のような細粒な砂でも僅かな壁効果の影響があるといえる。

また、豊浦標準砂と相馬標準砂の最大・最小密度試験における極限間隙率 n_{∞} を比較すると、どちらも相馬標準砂の方が大きくなっている。著者らは粗粒土質材料の粒子形状と最密充填特性について、粒子形状を表現する指標の 1 つであるフラクタル次元 FD （繰り返し回数 $N_f \geq 10$ ）と極限間隙率 n_{∞} の間に、表面凹凸の激しいほどフラクタル次元 FD と極限間隙率 n_{∞} の値が大きくなることを示している²⁾。そこで、同様に豊浦標準砂と相馬標準砂についてフラクタル次元 FD を求めた。

表-1 は、豊浦標準砂と相馬標準砂

（各 20 粒子）におけるフラクタル次元 FD の平均値、標準偏差 σ 、変動係数 V を示してある。この表から豊浦標準砂に比べ相馬標準砂の方がフラクタル次元 FD は大きく、表面凹凸は激しいといえる。つまり、豊浦標準砂に比べ相馬標準砂の方がフラクタル次元 FD と極限間隙率 n_{∞} が大きいことがわかった。なお、変動係数はほぼ同じでバラツキは小さいといえる。

表-1 豊浦標準砂と相馬標準砂のフラクタル次元 FD

試料	粒径 mm	粒子数	フラクタル次元 FD の平均値 ($N_f \geq 10$)	標準偏差 σ	変動係数 V
豊浦標準砂	0.212~0.250	20	1.02269	0.0074	0.0072
相馬標準砂	0.212~0.250	20	1.03030	0.0072	0.0070

4. まとめ 2 種類の標準砂を用いて JIS 規格による最大・最小密度試験および壁効果を考慮した最大・最小密度試験を行なった結果、①細粒の標準砂では間隙率に対する壁効果の影響は小さいことがわかった。②最小密度試験において間隙率は供試体高さに関係なくほぼ同じ値になることがわかった。③粒径が同じ 2 種類の標準砂の極限間隙率 n_{∞} とフラクタル次元 FD の関係に特徴的な関係がみられた。

参考文献 1) 木村哲晃・板橋一雄他：均一粒状態の間隙率に対する壁効果の分類～その定式化と数値シミュレーション～, 第 12 回地盤工学会シンポジウム論文集, pp. 87-94, 2000. 2) 板橋一雄・姫野圭・神谷圭吾：粗粒土質材料の粒子形状評価と最密充填特性, 礫質土の力学的特性に関するシンポジウム, pp. 183-190, 2001. 3) 土質試験の方法と解説～第 1 回改訂版～, 地盤工学会, pp. 136-145. 4) 土質試験の方法と解説, 土質工学会, pp. 110. 5) 姫野圭他：粒状体の粒子形状と充填特性, 第 36 回地盤工学研究発表会, pp. 555-556, 2001.

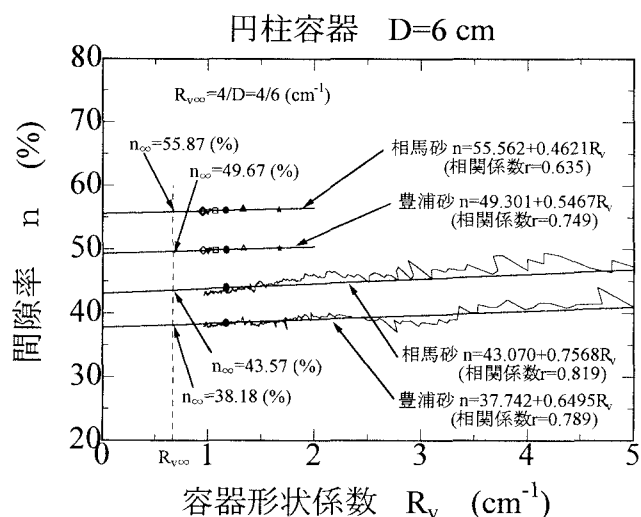


図-3 間隙率と容器形状係数の関係 ($R_v=0\sim5$)