

壁効果を考慮した豊浦標準砂の最大・最小密度試験

名城大学理工学部 学生員○大石康雄 学生員 姫野 圭
学生員 塚本将康 正会員 板橋一雄

1. はじめに 現在の地盤工学会基準となっている最大・最小密度試験法は、測定装置や測定方法の簡便さ、粒子破碎の無いこと、結果の再現性がよく個人誤差が少ないこと、などの条件によって決定され、有効に利用されてきている¹⁾。また最近では、最大粒径の制限値を拡大する研究も進められている²⁾。一方、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³⁾。そこで、本研究では、細粒の豊浦標準砂でも、最小間隙率に対する壁効果が多少現われることを示すとともに、余盛部分をカットしない最大間隙率を求める方法(写真から体積を測定)を試行したので、ここに報告する。

2. 地盤工学会基準による最大・最小密度試験 実験で用いた試料は、水洗いした後 JIS 規格ふるいでふるい分け、粒径 0.212～0.250mm(JIS 規格ふるい 1 個分)の間の豊浦標準砂であり、炉乾燥したものを使用した。試験方法などは学会基準⁴⁾によったが、最大密度試験は 5 回、最小密度試験は 10 回実施した。この結果を表-1 に示すが、最大密度試験の結果は僅かに目標値より小さくなっているが、粒度を揃えたことが原因の一つとして考えられる。一方、最小密度試験では目標値の範囲内に入っており、適切な実験結果であることがわかる。この表には、土粒子密度を 2.650 とした場合の間隙率の最大値、最小値の範囲、平均値も示してある。

表-1 豊浦標準砂による試験の目標値と実験値						
最大密度試験	目標値	1.645±0.010	間隙率	変動係数	最大値	最小値
	結果	1.634	38.35	0.001945	1.638	1.630
最小密度試験	目標値	1.335±0.005		0.003以下		
	結果	1.332	49.75	0.000442	1.333	1.331

3. 壁効果を考慮した最大密度試験 著者らは、粗粒土質材料を用い、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、間隙率に対する壁効果の影響を明らかにしている⁵⁾。豊浦標準砂に対しても同様の実験方法を用い、その実験方法は以下の通りである。内径 D=60mm、深さ 80mm のステンレス製のモールドを用い、試料を 0.738g ずつ増加させた。この理由は、従来の実験結果より、充填材料のわずかな量の違いで間隙率を大きく変化させることが分かっているためである。そこで、供試体高さが 8cm 程度になる間に約 400 点のデータを取ることを目標に値を設定した。まず、上記の量の試料を加え、供試体にフロー試験機で 50 回 (1 回/秒) の衝撃を与える。次に、落とし蓋を載せ 150 回 (1 回/秒) の衝撃をさらに与え、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 箇所で測定を行い、間隙率を計算する。この作業を繰返し行った。なお、この方法は粒子破碎を生じやすいまさ土などにも適用することを考えたため採用した。

図-1 には、得られた間隙率と供試体高さとの関係が描いてある。程度の差異はあるが、粒径 4～4.75mm の粗い海砂、川砂、まさ土と同様の結果を示している⁵⁾。すな

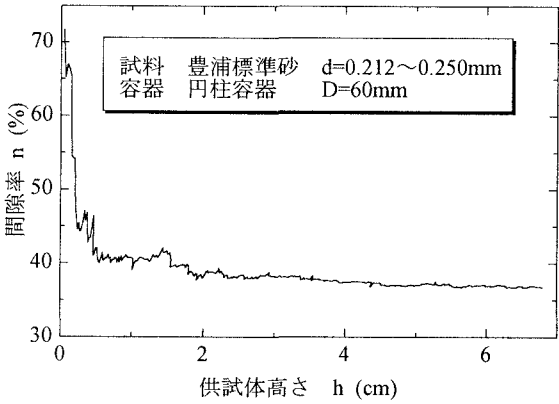


図-1 間隙率と供試体高さの関係

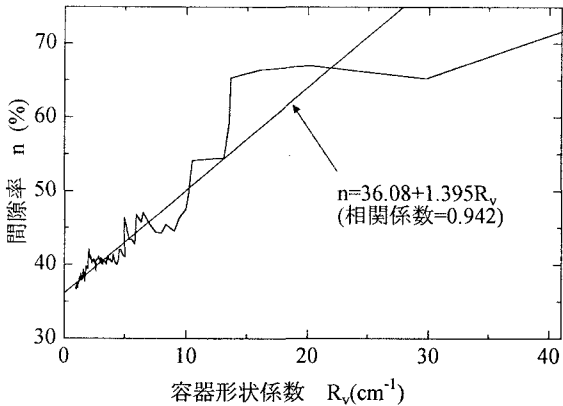


図-2 間隙率と容器形状係数の関係

わち、供試体高さが小さい内は間隙率の急激な減少が見られ、また供試体高さ 2cm 程度までは大きな増減が認められる。それ以降では、ほぼ一定の値を示しているが、僅かな減少傾向を続けている。問題は供試体高さによって得られる間隙率が異なることである。このような結果に対して、著者らは、内径 D、高さ h の容器の大きさを表現する単一の係数（容器形状係数 $R_v=A/V=2/h+4/D(\text{cm}^{-1})$ ）を考え、間隙率と R_v が直線関係を描くことを明らかにしている⁵⁾。そこで、同様の整理を行ない、結果を図-2 に示した。図に示すような、直線関係 $n=36.08+1.395R_v$ （相関係数 0.942）が得られ、この式に $h=4\text{cm}$ 、 $D=6\text{cm}$ を代入すると、 $R_v=1.167$ 、 $n=37.71\%$ を得る。また、 h を無限大とすると $R_v=0.667$ 、 $n=37.01\%$ を得る。この間の間隙率に対する壁効果が 0.70% あることになる。また、これらの間隙率は、前述した学会基準法で得た値より 0.64～1.34% 小さくなっており、密になっている。

4. 余盛部分をカットしない最小密度試験 内径 60mm、外径 90mm、深さ 0, 20, 40, 60mm の 4 つのステンレス製モールドを用いた。最初に、モールド底面中央に真鍮製の漏斗を立て、漏斗の中に試料を入れ、漏斗を一定速度で鉛直に上げていき、20～30 秒でモールドの上端面全周から試料をあふれさせる。次に、デジタルカメラを用いてモールドの真横から斜面形状を撮影する。続いて、学会基準の方法と比較することを目的として、モールドの上端面の縁に直ナイフをのせ素早く滑らせて一気に試料の余盛り部分を除去し、余盛り部分とモールド内部とを分けて試料の質量を測った。こうした実験を各容器に対して 3～4 回実施した。

撮影した画像をビットマップデータとしてパソコンに取り込み、外形座標をビットマップで読み取る。その外形座標をグラフ化し、底辺の midpoint で 2 つに分ける。この左右の斜面を別個の 3 次曲線によって近似し、回転体の体積を余盛り部分の体積とした。なお、斜面形状に関しては、粒状体の安息角の研究^{6, 7)}などを参考にして、今後の検討課題としたい。さらに、粗粒な材料での斜面形状の捉え方についても今後検討したい。

表-2 には、上述した実験で得られた平均の間隙率を余盛り部分とモールド内部に分けて示してある。余盛り部分を比較すると、モールド深さの無い場合が最も小さな値となっている。これは、この場合余盛り部分の底がステンレスと接しており、摩擦が少ないために詰まってしまうと考えられる。逆に、モールド深さがある場合には、余盛り部分の底は砂と接するためその部分の摩擦が大きくなり、緩くなると想像できる。また、モールド内部の間隙率は、49.34～49.42% を示している。なお、深さ 40mm のモールド内部の間隙率は、学会基準法の結果よりも、0.38% 低い値となっている。さらに、余盛り部分の間隙率は 50.91～51.74% を示しており、学会基準より 1.16～1.99% 緩くなっている。

表-2 最小密度試験結果

モールド (D=60mm)		平均密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)	
高さ (mm)	測定部		平均値	データ範囲
0	余盛り部	1.301	50.91	49.92～51.40
20	余盛り部	1.294	51.18	50.56～51.51
	モールド内部	1.343	49.34	49.08～49.61
40	余盛り部	1.280	51.71	51.24～51.96
	モールド内部	1.342	49.37	49.30～49.41
60	余盛り部	1.287	51.43	50.69～52.61
	モールド内部	1.340	49.42	49.32～49.52

5. まとめ 本研究の結果から、明らかになった事項は以下のことである。①細粒の豊浦標準砂でも、間隙率に対する壁効果を確認できた。②ここで提案した最密充填実験では、学会基準法よりも 0.64～1.34% 密になった。③ここで提案した余盛り部分の間隙率は、学会基準法よりも 1.16～1.99% 緩くなった。

参考文献 1) 吉見吉昭・砂の相対密度測定法小委員会: 砂の相対密度測定法の試案, 第 12 回土質工学研究発表会, pp. 157-160, 1977. 2) 奥山一典・藤原身江子他: 砂の最大・最小密度試験における最大粒径制限値の拡大に関する研究, 土木学会論文集 No. 638/III-49, pp. 11-27, 1999. 3) 木村哲晃・板橋一雄他: 均一粒状体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 回地盤工学シンポジウム論文集, pp. 87-94, 地盤工学会中部支部, 2000. 4) 地盤工学会編: 土質試験の方法と解説—第一回改訂版—, pp. 136-145, 2000. 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. 6) 坂口秀・村上章他: 粒状体を作る斜面の勾配について, 土木学会論文集 No. 511/III-30, pp. 221-227, 1995. 7) 松倉公憲・恩田裕一: 安息角, 定義と測定法にまつわる諸問題, 筑波大学水理実験センター報告 No. 13, pp. 27-35, 1989.