

メスシリンダー反転法による細粒砂の最大間隙率

名城大学理工学部 学生員○石井亮介 正会員 板橋一雄

学生員 荒金 聡

1. はじめに 礫質地盤の液状化現象が確認されて以来、礫質材料の最大密度・最小密度を知るための試験方法の確立が望まれている。礫質材料に対して、現行の「砂の最小密度・最大密度試験方法」を適用しようとすると、容器の大きさと最大粒径の問題ならびに容器上部にできる円錐部分のカット操作の問題が生じる。歴史的に見ると、現行法(漏斗法)が提案された時には、簡便法としてメスシリンダー反転法が提案されている¹⁾。この簡便法では1000gの試料と1000ccのメスシリンダーが用いられており、カット操作の無いことが最大の特徴であるが、測定値にばらつきが多かったため、簡便法となった経緯がある¹⁾。そこで、メスシリンダー反転法について詳細に検討したので、ここに報告する。

2. 試料と試験方法 用いた試料は、粒径 0.212~0.250mm (JIS ふるい一つ分)の①豊浦標準砂、②相馬標準砂、③木曽川砂、④フリマントル砂、⑤フラタリ砂、の5種類である。木曽川砂は河口から45km地点の川原から採取したものである。またフリマントル砂とフラタリ砂はオーストラリアの海岸から採取されたものであり、シリカ質に富み、ガラス用原料として輸入されたものである。これらの試料の土粒子密度はそれぞれ①2.650g/cm³、②2.648g/cm³、③2.663g/cm³、④2.652g/cm³、⑤2.646g/cm³であり、それほど大きな差異はなかった。

メスシリンダー反転法の試験方法の模式図を図-1に示してある。上記の試料を炉乾燥し常温に冷ました乾燥試料とメスシリンダーを準備する。なお、予備試験を実施した結果、細粒の砂の場合には、静電気が発生しガラス表面に試料が付着する様子が見られたので、メスシリンダー内面には静電気防止剤を塗布しきれいに拭いてある。そのメスシリンダーに重量を測定した試料を投入し十分に攪拌し、蓋をした状態でメスシリンダーをほぼ水平にする(B, C)。次いで、砂試料がゆっくりと移動・堆積するよう、机上でメスシリンダーに振動を与えないようにしてゆっくりと立ててゆく(D)。メスシリンダーを立てた後、砂試料の表面形状が直線状であることを確認し、斜面上下のメスシリンダーの目盛りを読む(E)。この操作を10回繰り返した。なお、メスシリンダーの大きさの影響を見るために、5種類のメスシリンダー(ガラス製、スーパーグレード)を用いた。それらの容量と許容誤差はそれぞれ、25±0.15ml、50±0.25ml、100±0.4ml、200±1.0ml、300±1.5mlである。また、投入する試料の量の影響を見るために、試料を2.5~5.0gずつ規則的に増加させた。その結果、試料重量間隔は、25mlメスシリンダーでは10~30g、300mlメスシリンダーでは40~300gの範囲となった。なお、上述した方法での結果と学会基準の結果を比較するために、5つの

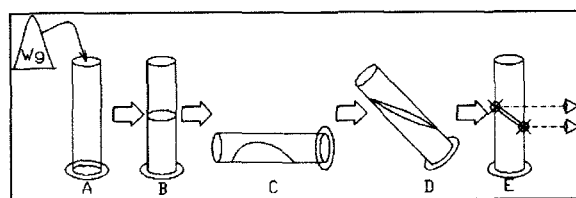


図-1 メスシリンダー反転法の模式図

砂の最小密度試験(JIS A 1224)も多数回実施した。

3. 実験結果と考察

図-2(a)には、5種類の砂について、試験結果の一例を間隙率と供試体高さの関係で示してある。どの試料の場合も多少のばらつきと思われる変動はあるが、供試体高さの増加に伴う

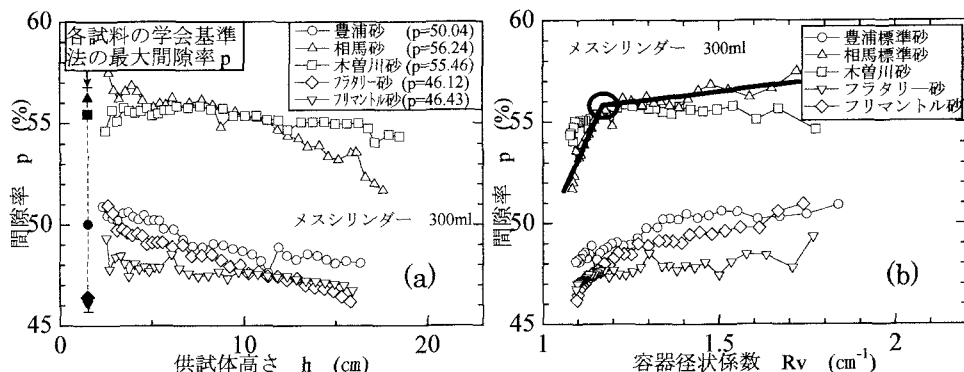


図-2 メスシリンダー反転法(300mlメスシリンダー)の実験結果

伴う間隙率の直線的な減少傾向が認められる。重要なことは、同一粒度にもかかわらず、試料によって間隙率が異なること、供試体高さの低い内は学会基準の方法で得られる値よりも大きな値を取っていることである。これらの原因としては、過去の研究成果²⁾を考慮すれば、粒子形状の相違と壁効果の影響と考えられる。

また、図-2(b)には、同図(a)に示した結果を容器形状係数 R_v との関係で描いてある。直径 D 、高さ h の円柱形容器の場合には、 $R_v = (A/V) = (2/h) + (4/D)$ となり、容器の小ささを表現する指標であるため、小さな供試体ほど大きな値を取る。したがって、紙幅の都合で図示はしないが、メスリンガーの大きさによって異なる位置にプロットされることが特徴の一つである。また、 R_v の減少に伴い間隙率が減少してゆくが、小さな R_v の範囲では、より大きな勾配で間隙率が減少する傾向を読み取ることができることも特徴である。すなわち、この間隙率の大きな減少の原因は供試体の自重(高さ)の影響と考えられるが、同図(a)では明確には読み取れないことである。そこで、同図(b)の関係が二本の直線で表現できると仮定し、折れ点の間隙率を求めてみた。視覚的に引いた二本の直線の例が図中に示してある。ここではこの折れ点の間隙率を限界の値と考え、限界間隙率 p_{∞} (%) と呼ぶこととする。学会基準の結果と比較するために、この値との関係を図-3に示してある。全体的に見れば、45° 線上にばらついてはいるが、豊浦標準砂と相馬標準砂では学会基準法の値の方が1~2%程度大きな値を示しているが、残りの3試料ではメスリンガー反転法による値の方が1~3%程度大きくなっている。今後さらに試料を増やし、メスリンガー反転法の精度を明らかにする必要がある。

過去の研究成果を考慮して²⁾、図-4には、粒子形状パラメタ³⁾の代表値として、フラクタル次元 FD 、凹凸係数 FU 、残差一定係数 M_i を考え、限界間隙率 p_{∞} との関係を示してある。なお、粒子形状に関しては、それぞれ20粒子を測定したので、その平均値と±(標準偏差)の範囲で示してある。フラタリー砂の一例を除けば、メスリンガーの大きさが異なっても各試料によってほぼ同様の p_{∞} が得られること、さほど明確ではないが粒子形状パラメタと p_{∞} との関係が得られることが特徴である。すなわち、丸い粒子ほど FD 、 M_i が小さく、 FU は大きくなり、それに対応して p_{∞} が小さくなっている。ただし、今後異なる試料を用いて、データを補強する必要がある。

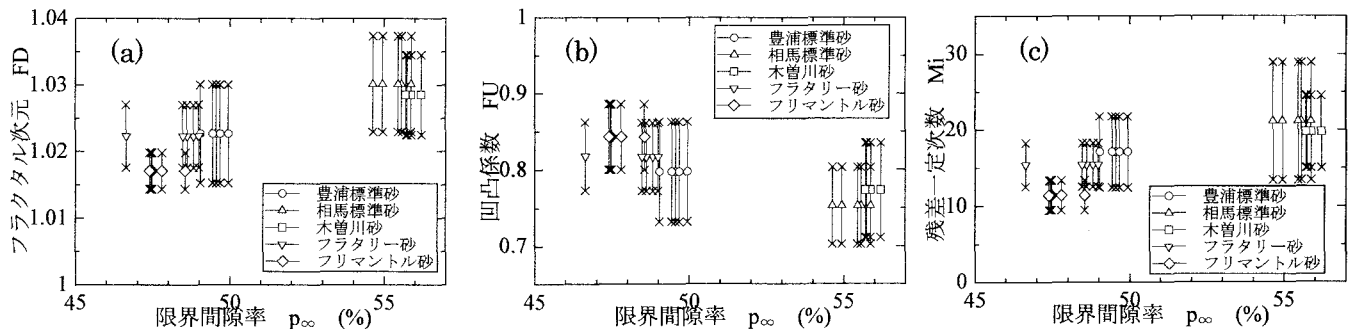


図-4 様々の粒子形状パラメータと限界間隙率の関係

4. まとめ 本研究で明らかになった事項は以下の通りである。①間隙率と供試体の高さならびに容器形状係数との間に特徴的な関係がある。②供試体高さが低い内は、学会基準の結果よりもメスリンガー反転法の結果の方が緩く詰まる。また、そのばらつきも小さく、この方法が試験法として有用である可能性がある。さらに、砂の種類によって得られる間隙率の値に大きな違いもある。③メスリンガー反転法で得られる間隙率を供試体高さで整理すると、ある容器形状係数の値までは間隙率が緩やかな勾配で減少し、そのあと急激に減少する傾向がある。このことより、容器形状係数の限界値の存在が示唆された。④また、それに対応する値を限界間隙率と定義すると、大局的に見れば、その値と学会基準法での値との差がほとんどないため、壁効果を考慮したメスリンガー反転法の有用性が示唆された。⑤この限界間隙率は、フラタリー砂を除けば、多少ばらつきは認められるが、メスリンガーの大きさにほぼ関係なく、試料毎でほぼ一定の値を取った。

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) 板橋一雄他: 均一な粗粒材料の粒子形状評価と充填特性, 地盤工学会論文報告書集, 43(1), pp. 115-127, 2003. 3) 荒金聡他: 5種類の砂の粒子形状に関するクラスター分析, 平成15年度研究発表会(投稿中)土木学会中部支部, 2004.