

山砂，川砂，海砂の最大間隙率と安息角の測定

砂 最小密度 安息角

名城大学大学院 学生会員 ○湯貫 敬
名城大学 国際会員 板橋一雄
名城大学 国際会員 小高猛司

1. はじめに

JIS に規定されている最小密度試験¹⁾では，モールドから試料を溢れさせた後，余盛り部分を直ナイフで除去することになっている．それは，余盛部の体積測定が困難と考えられていたことが原因と思われる．しかし，十分に注意して余盛り部分を除去してもモールド内の砂層の沈下がしばしば見られた．本報では余盛り部分の体積測定の方法を提案し，現行法の最小密度との比較を行うこと，余盛り部の形状から安息角を求めることを目的とした．

2. 用いる試料と試験方法

試料には矢作川上流域で採取した川砂，三河の山砂，愛知県の渥美半島の海岸で採取した海砂を用いた．粒度を均一にするため，JIS ふるいを用い，狭い粒度をもつ試料(表-1)とした．

試験は以下の順に行った．

現行法と同様，漏斗を用いて砂を容器に充填する．振動を最小限にするため，漏斗の上昇には昇降台を用いた．また，余盛り部の形状をなるべく一定にすることを目的として，試料の量はモールド周辺から均一に溢れる量とした．

- ① モールド真横から余盛りの砂を写真撮影する(図-1(b))．この写真から後述する方法で余盛りの体積を算出する．その後，直ナイフで余盛りを除去し，除いた砂を集め質量を測定する．
- ② ①で測定した質量と余盛りの体積から余盛り間隙率 $pc(\%)$ を計算する．
- ③ モールド内に残った砂の質量を測定する．この質量とモールドの体積から間隙率を計算する(図-1(a))．これを現行法間隙率 $pa(\%)$ として示す．
- ④ 最後に，余盛り部とモールドの体積の和と全ての砂の質量を用いて，間隙率を計算する(図-1(b))．これを提案法間隙率 $pb(\%)$ として示す．

なお，余盛りの体積は写真と画像解析ソフト(areaQ)を用いて求めた．図-2 には余盛りの形状を示した．余盛りの形状はほぼ左右対称なため，中央で折り返すことにより高い相関性(0.96~0.99)を持つ二次関数に近似できることが分かった．この二次関数を用いて，数値積分を行い，余盛りの体積を求めた．なお，以上の操作を5回繰り返し，再現性やばらつきをみた．

図-1 の(a)と(c)には余盛りの除去の影響が現れていると予想したため，モールドの裏を利用した試験も行った(図-1(d))．この方法は余盛りの除去をしない余盛りの間隙率を求めることが可能である．これをモールド裏間隙率 $pd(\%)$ として示す．この試験方法は上記の方法とほぼ同様である．

3. 安息角の計算方法

余盛りの形状は図-2 の一例に示すように相関性の高い二次関数で近似できることが分かった．そこで，二次関数の最急勾配の値を安息角とした．

表-1 本研究で使用する試料

粒径番号(No.)	粒径範囲(mm)	平均粒径(mm)
32	0.600~0.710	0.653
34	0.425~0.500	0.461
36	0.300~0.355	0.326
38	0.212~0.250	0.230

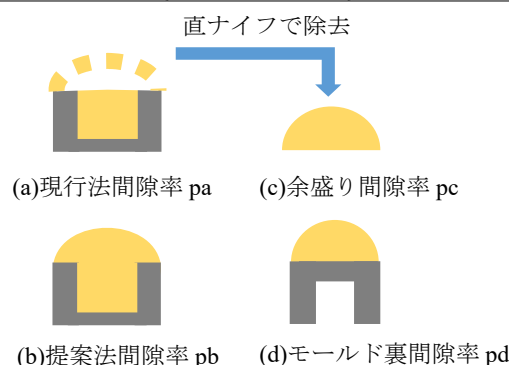


図-1 4つの間隙率

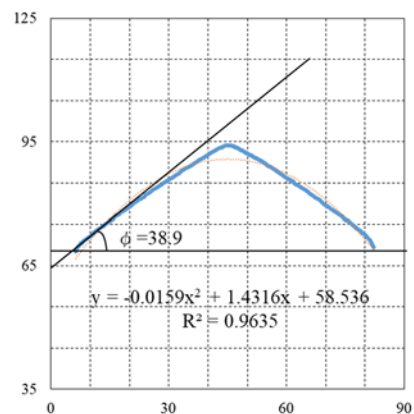


図-2 余盛りの形状

また、その値は、砂斜面の最下部、モールド端部で得られることも分かった。ここでは、図-1(b)と(d)の状態で安息角が求められるので、それぞれを ϕb° 、 ϕd° と示す。この両者の間には、余盛り部底面の状態の差が現れると考えられる。

4. 試験結果と考察

図-3には、現行法間隙率 pa と提案法間隙率 pb の関係を示した。3種類の砂、粒径の異なる4種類の試料それぞれ5回の結果をプロットした。

図-3から3種類の砂のどの粒径でも pa より pb が大きくなっており、余盛り部の体積や質量が適切に測定されたと仮定すると、 pb の方が最大間隙率ということになる。

図-4には現行法間隙率 pa と余盛り間隙率 pc の関係を示した。すべての条件で、 pa より pc が大きくなることが分かる。図-3と4の両者から現行法の間隙率に余盛りの除去の影響が現れている。また、図示はしないが、 pc は pb よりも大きくなっている。すなわち直ナイフでの余盛りの除去により余盛りの砂がモールド内に沈み込み、モールド内は密になり、余盛り部は疎になったと考えられる。

そこで余盛り間隙率 pc とモールド裏間隙率 pd の関係を図-5に示した。ほとんどの場合 pc が pd より大きくなる傾向が確認された。この2つの間隙率の差の原因は2つ考えられる。1つは余盛りの除去の有無である。もう一つは図-1(b)の余盛りと図-1(d)の余盛り形状が異なることである。図-6には Vb (提案法の余盛りの体積)と Vd (モールド裏の余盛りの体積)の関係を示した。 Vb と Vd の体積差があることがこの図から確認できる。

両者の余盛り形状が異なる原因は余盛りの底面状態が関係していると考えられる。 Vb の余盛りの底面は砂の粒子同士が噛みあい摩擦が生じ、 Vd の余盛りの底面はステンレス製のモールドの裏面であるため、摩擦が少ないと考えられる。2つの原因により両者の余盛り形状が異なるため、 Vb と Vd の比較方法は今後検討する必要がある。

図-7には安息角 ϕb と ϕd の関係を示した。 ϕb が ϕd より大きくなる傾向が得られた。この原因は先述した底面状態の違いが関係していると考えられる。また、 Vd の余盛り形状が Vb より小さくなった原因は余盛りの底面状態と述べたが、安息角にもその影響が現れたものと考えられる。

5. おわりに

ここで示した提案法は、JISの方法より手間はかかるが、より緩い状態の間隙率を求めることができること、さらには安息角まで求めることができるという利点がある。今後は砂の種類や粒径、粒度の影響を考慮し、事例を増やしていきたい

参考文献：1)地盤工学会編:地盤材料試験の方法と解説、第10章、最小密度・最大密度試験、pp.195-225, 2013

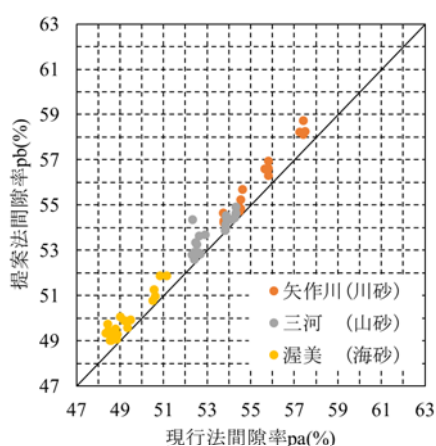


図-3 現行法と提案法の比較

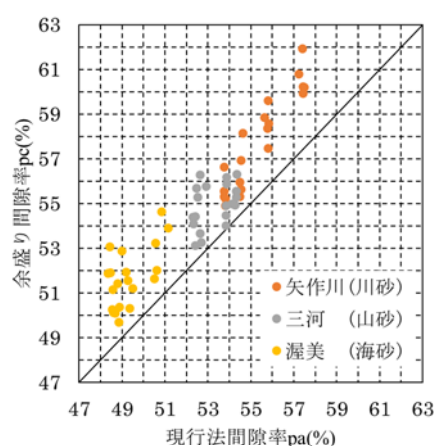


図-4 現行法と余盛りの比較

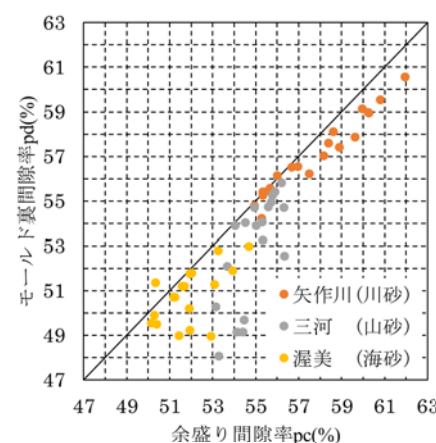


図-5 余盛りとモールド裏の比較

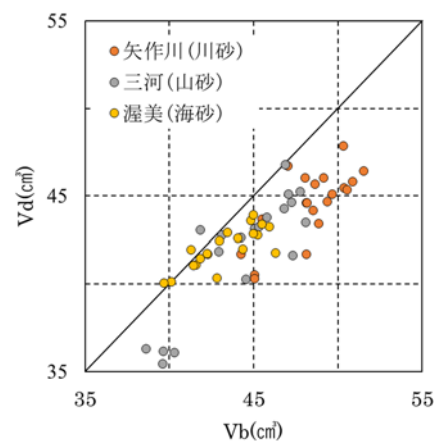


図-6 Vb と Vd の体積比較

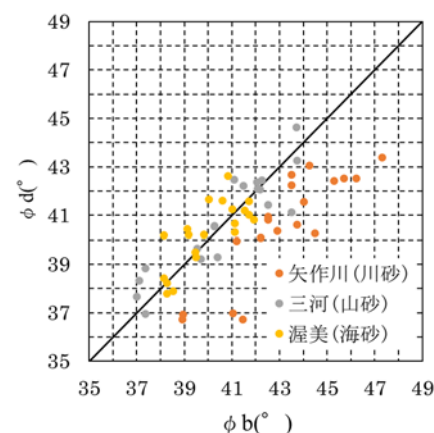


図-7 ϕb と ϕd の比較