

砂の最小密度と安息角の測定法の提案

名城大学 学生会員 ○湯貫 敬

名城大学 正会員 板橋 一雄, 小高 猛司

1. はじめに

JISに規定されている砂の最小密度試験法¹⁾では、モールドから試料を溢れさせた後、余盛り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、十分注意して余盛部を除去しても、モールド内の砂層の沈下がしばしば見られる。そこで、ここでは余盛部の体積測定の方法を提案し、現行法の結果との比較を行うことを目的とした。

2. 用いる試料と試験方法

試料には豊浦砂を用いた。粒度を均一にするため、JISふるいでふるい分け、狭い粒度をもつ試料とした。粒径範囲を表-1に示すが、以下では試料番号で示す。

試験の手順は以下のようにした。

- ① 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に、漏斗の上昇には昇降台を用いた。また、余盛部の形状をなるべく一定にすることを目的として、試料の量は容器周辺から試料が均一にこぼれる量とした。
- ② モールド真横から余盛部の砂を写真撮影する。この写真から後述する方法で余盛部の体積を求める(図-1(b))。その後、直ナイフで余盛部をカットし、除いた砂を集めて重量を測定する。
- ③ この重量と余盛部の体積から余盛り間隙率 $p_c(\%)$ を計算する(図-1(c))。
- ④ 容器内に残った砂の重量を測定する。この重量と容器体積から間隙率を計算する(図-1(a))。ここでは、これを現行法間隙率 $p_a(\%)$ として示す。
- ⑤ 最後に、余盛部の体積と容器体積の和と全砂重量を用いて、間隙率を計算する(図-1(b))。ここでは、これを提案法間隙率 $p_b(\%)$ として示す。

なお、余盛部の体積は写真と画像解析ソフト(areaQ)を用いて求めた。まず、図-2に一例を示すように、余盛部の形状を241~251点の外形座標点の組とした。ほぼ左右対称で得られるので、中央で折り返せば、高い相関性(相関係数0.989~0.997)を持つ

二次曲線で近似できることがわかった。そこで、その二次曲線を用いて、数値積分により余盛部の体積を求めた。なお、以上の操作を5回繰り返し、再現性やばらつきの程度をみた。

図-1(a)と(c)には、余盛部のカットの影響が現れていることが想定できるので、図-1(d)に示すように、モールド底面を利用した余盛の実験も行った。ここでは、これをモールド裏間隙率 $p_d(\%)$ として示す。

表-1 本研究で使用する試料

試料番号№	粒径(mm)
№37	0.160~0.250
№39	0.126~0.180

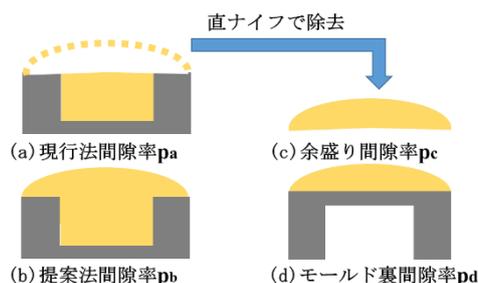


図-1 四つの間隙率

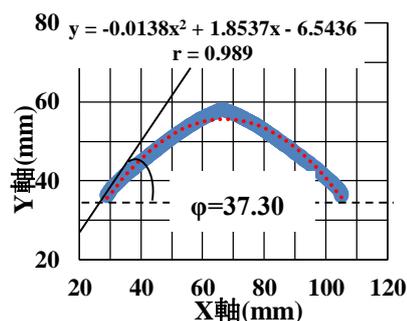


図-2 余盛りと安息角

3. 安息角の計算

余盛部の形状が相関性の高い二次式で近似できることが分かったので、この式の最も大きな勾配を安息角と考えた。ここでは、図-1(b)の状態での安息角を $\phi_b(\circ)$ として示す。図-2に例示するように、砂斜面の最下部で勾配の最大値が得られ、その角度 $\phi_b=37.30^\circ$ が得られる。

また、図-1(d)の場合についても同様に安息角を求め、 $\phi d(^{\circ})$ として示した。

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。粒径(No.37, 39)の異なる二種類の試料それぞれ5回の結果とその平均値をプロットした(以下の図には同様の表示をした)。

粒径によって異なるが、間隙率の値で0.08~0.58%程度、現行法より提案法の方が大きくなっている($pa < pb$)。

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。粒径によっても異なるが、間隙率の値で0.19~2.20%程度、余盛部の間隙率が高くなっている($pa < pc$)。

図-3, 4の両者から分かることは、余盛部のカットの影響である。すなわち、現行法間隙率を基準に考えると、提案法間隙率よりも余盛り間隙率の方が大きくなっており($pb < pc$)、直ナイフでのカット操作によって、余盛部の砂がモールド内に沈み込み、モールド内は密に、余盛部は疎になったことが考えられる。

そこで、図-5のように、余盛り間隙率 $pc(\%)$ とモールド裏間隙率 $pd(\%)$ との関係を示してみた。粒径によっても異なるが、間隙率の値で0.52~2.05%程度、余盛部の間隙率がかなり高くなっていることがわかる($pd < pc$)。この二つの間隙率の差の原因は二つ考えられる。一つは、前述したようにカット操作の有無の影響である。もう一つは余盛底面の粗度の状態が異なることである。この点については、今後検討していきたい。

表-2 には、二種類の粒径試料について計算された二つの安息角(ϕb , ϕd)の値の範囲と平均値を示してある。この表から分かることは、どの場合もばらつきが少ないこと、 ϕb と ϕd で大差のないこと、 ϕb については多少粒径の影響が現れていること、などである。

5. おわりに

ここに提案する方法は、JISの方法より多少手間はかかるが、自然堆積したよりゆるい状態の間隙率を測定できること、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。ただし、実験事例が少ないので、今後、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

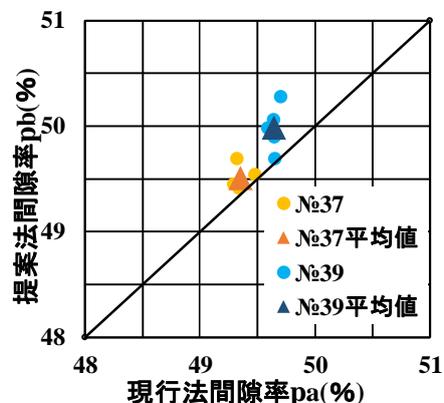


図-3 現行法と提案法の間隙率

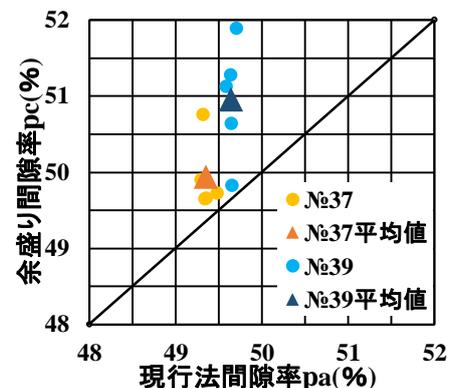


図-4 現行法と余盛りの間隙率

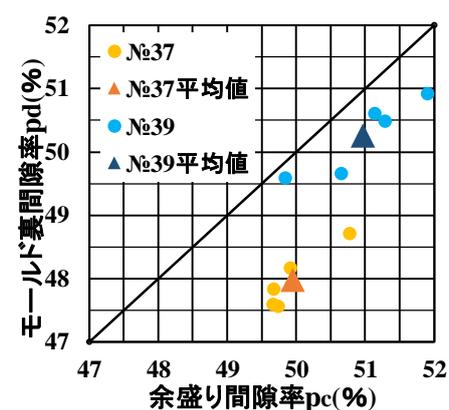


図-5 余盛りとモールド裏の間隙率

表-2 安息角の範囲と平均値

$\phi b, \phi d$	試料番号No	安息角 ϕ 範囲	安息角平均値
ϕb	No.37	37.24~38.06	37.50
	No.39	36.37~37.30	36.83
ϕd	No.37	36.94~38.36	37.67
	No.39	37.14~37.66	37.53