

III-40 一面せん断試験機を用いた粒状体のせん断特性について

九州大学 工学部

正員 内田一郎

フジタ工業(株) 技術開発センター 正員 酒見徳行

1 まえがき

最近、土、特に砂を粒状体の集合として考える、粒状体の力学が盛んになってきている。そして、その試料として理論的に扱いやすい球体である、ガラスビーズ、鋼球等が利用されており、その実験のほとんどが、三軸圧縮試験で行われている。そこで、今回は多くの欠点(即ち、周辺摩擦の影響、進行性破壊、供試体内部の応力状態が明確でない等)が指摘されてはいるが、その反面、試験の容易な一面せん断試験機を用いて実験を行い、一面せん断試験における粒状体のせん断特性について求めてみることにした。

予備実験の段階で、同一の条件(粒径、初期間けき比、垂直荷重)の供試体にもかかわらず、最大せん断応力に非常なバラツキが生じることが判明したので、このバラツキがどんな要因に影響されているのかを求めてみることにし、その要因として、載荷時垂直変位、水平変位、容積変化の効果(ダイレイタンス効果)等を採用した。以下、この実験について報告したいと思う。

2 実験概要

・使用機械 下部移動式一面せん断試験機

・使用材料 ガラスビーズ

比重

粒径

503K

2.473

1410~2000 μ

502K

2.497

710~1000 μ

・供試体寸法 直径 5 cm、高さ 2 cm

・せん断速度 1.9%/min.

・供試体初期間けき比 0.570, 0.610, 0.650

3 実験結果

a) 最大せん断応力のバラツキについて

表-①に示してあるように、 σ_n が大きくなるほど、変動、分散、標準偏差は大きくなっているが、変動係数をみると、 $\sigma_n = 1.0$ の

場合が特に大きくなっている。これは、実験誤差が特に大きい

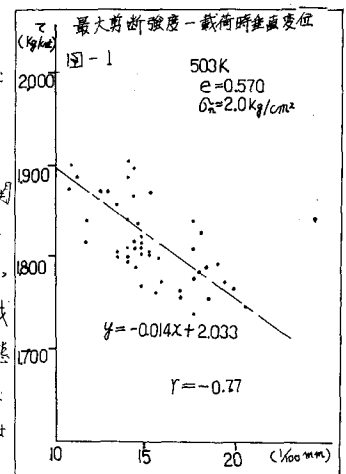
ためと思われる。 τ_{max} の平均値及び標準偏差より ϕ を求めてみると

$\phi = 40^\circ 58' \pm 40'$ ($C = 0.080 \text{ kg/cm}^2$) となり、 ϕ の値もかなり変化することになる。

b) 最大せん断応力と載荷時垂直変位の関係 (図-1に示す)

この一連の実験の範囲では、相関係数 $r = -0.77$ という、かなりの負の相関を示しており、載荷時垂直変位が大きいほど、最大せん断応力が小さくなるという結果を示している。この実験は、供試体の突き固め方法を一定として行っているが、初期間けき比や粒子の配列等によりかなりの相違が生じ、この相違が載荷をした際の垂直変位の違いとなって現われると考えられ、作製時の密な状態(安定)のものの方が、載荷時垂直変位は小さく、最大せん断応力は大きくなる傾向があると考えられるのである。つまり、載荷による粒子間の溝底変化は余り、起らないと考えられる。

σ_n	2.0 (kg/cm ²)	1.0	0.5
実験回数	50	30	20
平均値	1.817	0.945	0.516
変動	0.0810	0.0229	0.0020
分散	0.001653	0.0007897	0.0001053
標準偏差	0.041	0.028	0.010
変動係数	0.0226	0.0296	0.0193



c) 最大せん断応力とその時の水平変位との関係

最大せん断応力時の水平変位はある範囲(503Kの場合60~130mm)にわたって分布しており、せん断応力が最大となるのに必要な水平変位量は存在すると考えられるが、最大せん断力時の水平変位と、最大せん断応力との相関は認められない。

d) 最大せん断応力とその時の垂直変位の関係

この関係は図-2に示しているように、垂直変位が大きいほど、最大せん断応力も大きくなっていくのが解る。

しかし、最大せん断応力は垂直変位(容積変位)の絶対量、すなわち、ピークに達するまでに、どれほどの垂直変位(容積変位)が起ったかということには直接、左右されないのではないかと考えられる。

e) 最大せん断応力とダイレイタンスー初めの関係

Taylorは、応力-ひずみ曲線における、最大応力と究極応力との相違が垂直圧に対して、膨脹を生ぜしめるに必要なエネルギーを考へることによって計算できるとしている。

この考えに従って、Bishopは直接せん断試験に対して次式を表わしている。

$$\frac{\tau_{max}}{\sigma_n} = \tan \phi_f + \left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)_{max} \quad \text{ここに} \quad \Delta = \frac{\Delta V}{V} \quad \varepsilon : \text{せん断ひずみ}$$

そこで、このせん断破壊時の容積変化の初め $\left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)$ と最大せん断応力との関係をプロットしたのが図-3、4、5である。

図から解るように、各々、かなりの相関関係が認められる。このことは、最大せん断強度のバラツキに対して、 $\left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)$ の値が、かなり影響していることを示しているのである。また、平均値をみると、初期間キ比の小さい供試体ほど $\left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)$ の値は大きくなっており、この実験の範囲で、その関係は、ほとんど直線的に変化している。

尚、図には示していないが、粒径別にみると、粒径の大きいほどダイレイタンスー(容積変化)は大きくなっていく。この事実は、今までに報告されている、三軸試験のそれと比べてみると反対の傾向を示しているのである。これは、一面せん断試験におけるせん断面というのが決まっているので、せん断面の凹凸、すなわち、粒径の大小が直接、容積変化に結びついたのであると考えられる。

4. まとめ

図-1、2、3、4、5をみると解るように $\left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)$ の値にはバラツキがみられ、最大せん断強度と $\left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)$ との間には、かなりの相関が認められるのである。

ここで、 $\left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)$ のバラツキが最大せん断強度のそれの原因であるとするならば、 $\left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)$ 自体のバラツキは係数によって生じるものであるか？

この原因として考えられるのは、初期間キ比の差異、粒子の詰り方、配列、せん断力の作用方向、破壊に至るまでの粒子の相対位置の変化のしかた等である。そして、これらの要因を処理するためには、やはり、統計力学的な手法の助けを借りなければならないと考えられるのである。

