

砂の塑性仕事～表面積関係について

山口大学 工学部
同 大学院

正員 三浦 哲彦
学生員 ○安福 規之

1. まえがき

これまでの研究により、三軸圧縮応力下の粒子破砕量は試料になされた塑性仕事と密接な関係にあることがわかってい。すなわち、粒子破砕量を試料表面積の増加 ΔS で表わすと、これと塑性仕事 W との関係は拘束圧の大きさに依らず一本のユニークな曲線と表わせることが示されている。もし、この関係が三軸圧縮応力下以外の場合にも成り立つならば、砂のせん断特性に及ぼす粒子破砕の影響を調べる上で都合がよい。そこで、この関係の普遍性を調べるために、拘束一軸圧縮試験によって $S \sim W$ 関係を調べ、この結果を高圧三軸圧縮試験における $S \sim W$ 関係と比較検討した。

2 拘束一軸圧縮試験

2.1 試料及び実験方法 実験試料として、 $210 \sim 149 \mu m$ に粒度調整した豊浦砂を用いた。おもな性質は、土粒子比重 2.638 、均等係数 1.33 、 50% 粒径 $0.22mm$ である。この試料 $30.0g$ を試験容器に詰め、図1に示すようにして拘束一軸圧縮試験を行った。

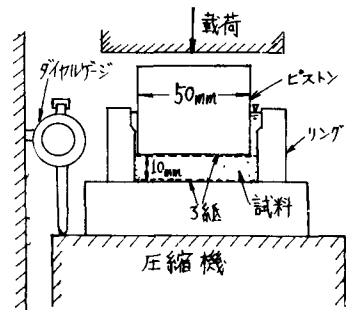


図1 拘束一軸圧縮試験

2.2 表面積の測定 粒子破砕量を数値で表わすために、試料の表面積 S (m^2/m^3) の増加 ΔS を用いた。 S の値は、まず比表面積 S_w (m^2/g) を測定し、この値に供試体の乾燥密度 ρ_d (g/cm^3) をかけて求めた。 S_w の値は、炉乾燥した試料を一組 ($177, 149, 105$ 及び $74 \mu m$) のふるいでふるい分け、このうち $74 \mu m$ 以上の試料については各粒径ごとにその平均粒径の粒子を球形とみなして比表面積を計算し、一方 $74 \mu m$ 以下の試料についてはブレーン装置を用いて比表面積を測定した。

2.3 供試体になされた仕事 図2は 載荷応力 p_c と軸ひずみ ϵ_1 の関係の一例を示している。ここで粒子破砕は不可逆的現象であるので、仕事としては塑性仕事 W を用いた。上に述べた方法により、試料の含水条件及び飽和液の種類をかえて $S \sim p_c$ 関係及び $S \sim W$ 関係を調べ、図3及び図4の結果を得た。

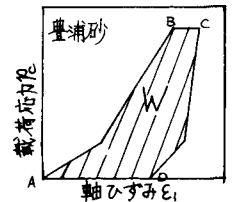


図2 塑性仕事の求め方

図3 から、水分子吸着の量が多いほど表面積(粒子破砕量)が多くなることかわかる。これは、水分子がクラックに侵入してへき面を容易にし、水分子吸着によるクラック壁面の表面エネルギーが低下するためと考えられる¹⁾

次に、図4 から含水状態や飽和液の違いによらず $S \sim W$ 関係は一本の曲線となり、粒子破砕量と塑性仕事の間にユニークな関係があることがわかる。

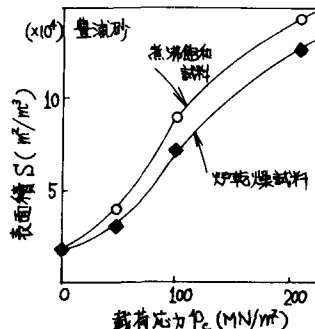


図3. $S \sim p_c$ 関係

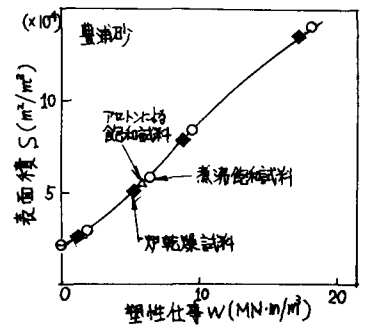


図4 拘束一軸圧縮試験と $S \sim W$ 関係

3 三軸圧縮試験

3.1 試料及び実験方法 豊浦砂を用

い、初期間隙比0.60～0.61の飽和盤づめ供試体を作って実験に供した。

試験方法は、ある拘束圧(10～50MN/m²)のもとで等方圧密した後、側圧一定、排水条件によるせん断試験を行った。

3.2 表面積の測定 排水せん断中の軸ひずみの大きさが所定の値に達したら試験を停止して、その試料の表面積を測定するという方法を取り、せん断中の軸ひずみの進行に伴う粒子破砕の推移を調べた。

表面積の測定は、2.2で示した方法で行った。

3.3 塑性仕事 有効主応力 σ'_1 , $\sigma'_3 (= \sigma'_2)$, 主ひずみ増分 $\delta \epsilon_1$, $\delta \epsilon_3 (= \delta \epsilon_2)$ 及び体積ひずみ増分 δv を用いると、全エネルギー変化 $\delta E'$ は次式で表わされる。

$$\begin{aligned}\delta E' &= \sigma'_1 \delta \epsilon_1 + 2\sigma'_3 \delta \epsilon_3 \\ &= (\sigma'_1 - \sigma'_3) \left(\delta \epsilon_1 - \frac{\delta v}{3} \right) + \left(\frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3} \right) \delta v \\ &= q \delta \epsilon + p \delta v\end{aligned} \quad \text{----- (1)}$$

ここに q 軸差応力, p 平均有効主応力

塑性仕事は、可逆的せん断ひずみ増分 $\delta \epsilon_e$ を無視すると次式で表わされる。

$$W = \int q \delta \epsilon + \int p \delta v - \int p \delta v_e \quad \text{----- (2)}$$

ただし 添字 e は可逆的成分を示す。

実際には、せん断試験で得た $q \sim \epsilon$ 曲線及び $p \sim v$ 曲線を描き、これらの曲線で囲まれた面積を測ることによって全塑性仕事 W を求めた。(図5)。

4 考察

上述の方法によって求めた $S \sim W$ 曲線を図6に示す。この図から、 $S \sim W$ 関係は破壊に至るまでは拘束圧の大きさに無関係に1本の曲線で表わされることがわかる。²⁾³⁾ この曲線を拘束一軸圧縮試験による $S \sim W$ 曲線と比較すると次のことがわかる。

両曲線とも塑性仕事が大きくなると公差が次第に小さくなるという共通の特性を示している。これは粒子破砕に限界があることを示唆するものである。

また、拘束一軸圧縮試験における粒子破砕量は、三軸圧縮試験における粒子破砕量に比べて少ない。これは、前者においては壁面摩擦の影響が出たためと思われる。

5. おわりに

以上のように、拘束一軸圧縮試験、及び三軸圧縮試験で得られた $S \sim W$ 曲線は、試料条件あるいは拘束圧の大きさによらずそれぞれユニークな曲線で表わされることがわかった。2本の $S \sim W$ 曲線が一致しなかったのは、拘束一軸圧縮試験における試料と側壁の摩擦に原因があると考えられ、今後この点について検討したい。

参考文献

- 1) 久保輝一郎。メカニクスミストリー概論, 東京化学同人
- 2) 三浦哲彦, 山内豊聡: 砂のせん断特性に及ぼす粒子破砕の影響, 土木学会論文報告集, 第260号, 1977年
- 3) 三浦哲彦, 山内豊聡, 上田邦彦: 高圧三軸応力下における粒状材料の粒子破砕について, 「材料」, 第26巻, 第288号

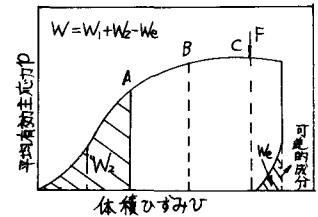
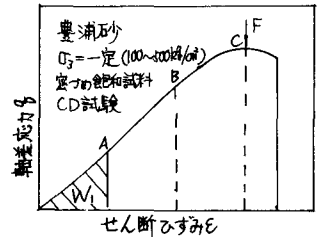


図5 塑性仕事の求め方

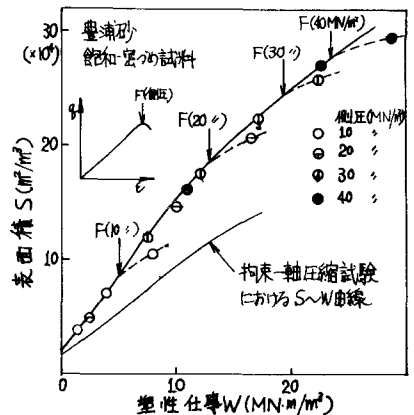


図6. 2種類の $S \sim W$ 曲線の比較