

III-12 粒状土のせん断強さと土粒子硬さの関係

神戸大学工学部 正員 輕部大蔵
神戸大学大学院 米永義孝

研究の目的とこれまでの成果 同じ母岩から得られた相似粒度の試料A, B (粒径比 r_B/r_A) の一方だけを三軸圧縮試験すれば, 任意の初期間隙率にある他方の試料の圧縮強さが推定できる方法を確認したい。

そのために, 数年来, いろいろな母材料を落下重錘によって粉碎したものを相似粒度に調整し, これらを飽和させて, 排水三軸圧縮試験してきた。また同時に, 三軸試験中の粒子破砕量を定量的に表現すべく, さまざまな方法を試みてきた。前報¹⁾までに明らかにされたことを列挙すると

①破壊時における次式中の諸値は, 粒径にかかわらず次式を満足する:

$$\left(\frac{q}{p}\right) = -a \left(\frac{dv}{d\varepsilon}\right) + M_0 \quad (1)$$

ここに, q : 主応力差, p : 平均主応力, $(dv/d\varepsilon)$: ダイレイタンシー係数, a および M_0 は, 粒径にかかわらず母岩と相対的粒度分布に固有の正の定数。

②初期間隙率 n を一定にし, 側圧 σ_3 をかゝると, $(dv/d\varepsilon)$ は,

$$\left(\frac{dv}{d\varepsilon}\right)_{n_A} = b \log \sigma_3 + C_A, \quad \left(\frac{dv}{d\varepsilon}\right)_{n_B} = b \log \sigma_3 + C_B \quad (2a), (2b)$$

ここに, n_A, n_B は, それぞれ試料A, Bの初期間隙率, b は母岩と相対粒度に固有の係数, C_A, C_B は試料と間隙率で決まる定数。

③側圧 σ_3 を一定にし, 初期間隙率 n を変えると, $(dv/d\varepsilon)$ は,

$$\left(\frac{dv}{d\varepsilon}\right)_{\sigma_3} = b'n + C' \quad (3)$$

ここに, b', C' は母岩と相対粒度に固有の値。

つぎに, 式(2), (3)を統一的に説明できる理論をMarsalの圧裂荷重に関する半経験式をもとにして考え, 最終的に, 試料Aのみを試験すれば試料Bのダイレイタンシー係数が推定できる式として次式を得た:

$$\left(\frac{dv}{d\varepsilon}\right)_{n_B} = b \log \sigma_{3B} + m b \log \left(\frac{r_B}{r_A}\right) + b'(n_B - n_A) + C_A \quad (4)$$

ここに, m は試料が弾性の等大球から成るときは0.5となるべき係数である。したがって, もし m が何らかの方法で推定できるならば, 式(4)を式(1)に代入することにより目的が達せられることになる。

ところで, 経験によれば, 硬い粒子から成る試料の圧縮強さは, 粒径の大小にあまり影響されない。一方, 式(1)と式(4)によれば, 粒径比が圧縮強さに与える影響の大きさは, 係数 m の大きさで決まる。したがって, 母岩の硬さを何らかの方法で定量化し, この量と m との相関を見つけることが当面重要である。

今回の試料 前項により, 式(4)の係数 m の性質を調べるために, 三軸圧縮試験と透水試験を行った。試料は, 硬質砂岩(以下, 硬材という, $G_s = 2.67$)と風化凝灰岩(以下, 軟材という, $G_s = 2.38$)を母岩とする相似粒度の大・小粒径(粒径比5.67)それぞれ2種類とした。小粒径試料の粒度範囲は $0.074^{mm} \sim 0.84^{mm}$, 粒径加積曲線は直線(均等係数3.40)である。

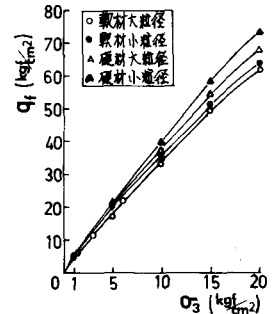


図-1

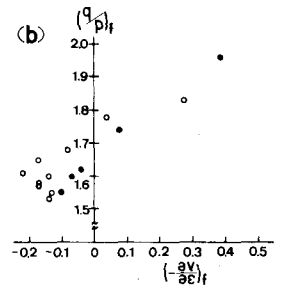
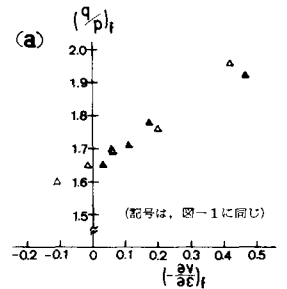


図-2 (a) 硬材 (b) 軟材

三軸圧縮試験 供試体の寸法は、直径 35mm ×高さ 80mm である。4種類の試料は、式(3)の検討に用いたもの以外は、すべて同じ締固めを受けた。三軸試験の側圧は $\sigma_3 = 1 \sim 20 \text{ kgf/cm}^2$ 、軸圧縮速度は $0.27\%/\text{min}$ 、軸ひずみが25%に達するまで軸圧縮を続けた。軟材大粒径試料の $\sigma_3 = 15, 20 \text{ kgf/cm}^2$ では、主応力差はピークに達しなかった。図-1は、同一の締固め方法で作製された供試体の σ_3 と主応力差の最大値 q_f の関係を示している。各試料の平均初期間隙率は、軟材大粒径：0.528、同小粒径0.515、硬材大粒径0.375、同小粒径0.383である。 σ_3 が小さい範囲では、軟材の強度が粒径によりかなり違っている。図-2は、すべての三軸圧縮試験結果を $(q/p)_f$ と $(dv/de)_f$ の間に整理して、式(1)の成立を検討したものである。軟材大粒径試料(白丸)が乱れているが、これは初期間隙率を小さくするために多数回締固めた供試体を含んでいることにもよる。図-3は、同一締固めを受けた供試体の三軸圧縮試験結果を σ_3 と $(dv/de)_f$ の間に整理し、式(2)の成立を検討したものである。硬材(白丸)では、傾きが同一とならなかった。また軟材大粒径の $\sigma_3 \leq 5 \text{ kgf/cm}^2$ の結果は、ばらついており、しかもそれ以上の σ_3 については、 $(dv/de)_f$ は一定値をとった。図-4は、軟材大粒径の初期間隙率を変え、 $\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$ のもとで三軸圧縮試験し、式(3)の成立を検討したものである。以上、まとめると、式(2)に問題があることがわかる。

透水試験と表面積比の計算 三軸圧縮試験中に起こる粒子破砕量を定量化するために、試料の三軸圧縮試験前後における透水係数を測定して、それぞれの比表面積を計算し、両者の比(表面積比)をとった。

供試体の透水係数 k (cm/sec)と比表面積 S_w (cm^2/g)は、Cozeny-Carmanの式で関係づけられている。²²⁾この式には、実験定数などが含まれているが、 S_w がわかっているガラスビーズの検定試験によれば、この式は正確であった。三軸圧縮試験前後の透水係数を k, k' 、比表面積を S_w, S_w' とすると、表面積比は

$$\left(\frac{S_w'}{S_w}\right) = \sqrt{\left(\frac{k}{k'}\right) \left(\frac{n'}{n}\right)^3 \left(\frac{1-n}{1-n'}\right)^2} \quad (5)$$

ここに、 n, n' は三軸圧縮試験の前後に行う透水試験中の試料の間隙率。

図-5は、三軸圧縮試験の側圧 σ_3 とその前後における表面積比(S_w'/S_w)の関係を示している。硬材(三角印)は、粒径による差も側圧による変動も少ない。軟材大粒径は、 $\sigma_3 > 5 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で急激に破砕している。

係数 m と表面積比の関係 式(4)は、本来、試料Bの (dv/de) を推定する式であるが、今回は、これも測定されているので、式(4)から m を逆算できる。 m と母岩の硬さの関係を求めたいのであるが、現在のところ適当な「硬さ」の尺度が見つかっていない。そこで、偶然にも $\sigma_3 = 5 \text{ kgf/cm}^2$ の表面積比が粒径の影響を受けていない(図-5参照)ので、これを硬さの尺度と見なした。図-6は両者の関係を示している(図中の「マサ土」は前報¹⁾のもの)。粒子が硬いと m が小さくなる傾向がうかがえるであろう。

今後は、三軸試験容器の中で透水試験を行うなど、実験作業の簡略化を進めたい。

文献 1)土木学会第38回年次学術講演会、Ⅲ-7, 1983。

2)たとえば、久保他「粉体」丸善、p530, 1979。

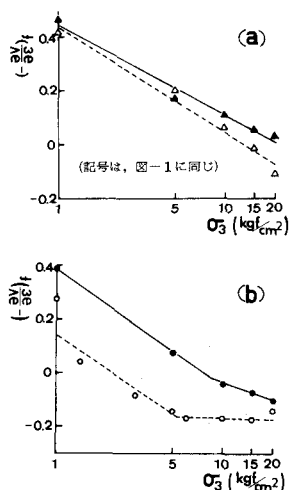


図-3 (a)硬材 (b)軟材

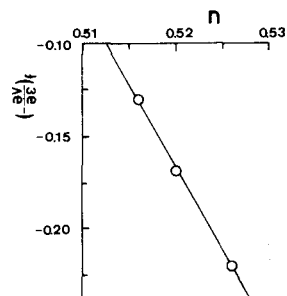


図-4

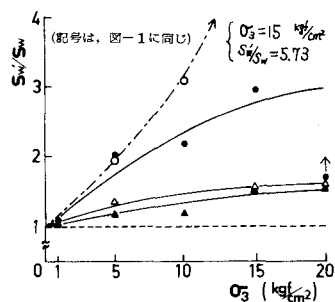


図-5

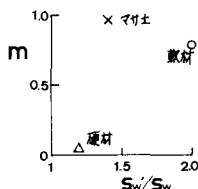


図-6