

山口大学工学部 正員 ○三浦哲彦

同上 正員 山本哲朗

1. まえがき

粒状材料は高拘束圧下でせん断される際に著しい粒子破砕を生じるが、これを量的に把握するために、せん断中の砂の粒子破砕に消費される仕事量を求めることを試みた。本報告では、先に行なった豊浦標準砂についての高圧三軸圧縮試験結果¹⁾を用いて検討を進める。議論の前提として、せん断中の粒子破砕に消費される仕事量はRittingerの粉砕理論によって求めることができると考えている。

2. せん断中に供試体になされる仕事量

三軸圧縮試験中に、供試体の単位体積当りに生じる全エネルギー変化 dE は、供試体内部で消費されるエネルギー変化 dW と可逆的エネルギー変化 dU の和として次のように表わされる²⁾

$$dE = dW + dU = \sigma_1' d\epsilon_1 + 2\sigma_3' d\epsilon_3 = (\sigma_1' - \sigma_3') d\epsilon_1 + \sigma_3' dV \quad \text{----- (1)}$$

$$dU = p dV \text{ とすれば; } W = \int (\sigma_1' - \sigma_3') d\epsilon_1 + \int \sigma_3' dV - \int p dV \quad \text{----- (2)}$$

式(2)の右辺において、第1項は軸差応力～軸ひずみ(自然ひずみ)曲線から、第2項はせん断中に生じた体積ひずみ V と有効側圧 σ_3' との関係から、また、第3項は p (平均主応力)～ V 関係曲線における除荷曲線を利用することによって、それぞれ求めることができよう。

3. 粒子破砕に消費される仕事量

$$\text{Rittingerの粉砕理論は次のように表わされる}^{3)}: Wc = C \cdot \Delta S \quad \text{----- (3)}$$

ここに Wc は材料の粉砕に使われる仕事量、 C は材料の種類と粉砕の方法等によって決まる定数、および ΔS は材料の表面積増加量である。さて、飽和密づめ砂を等方的に圧縮・除荷したときの圧力 p と体積ひずみ V との関係は図-1のようであった。先の研究によつて、 p が 150 kg/cm^2 を超えると顕著な粒子破砕を生じ始めることが分かっている⁴⁾で同図曲線で囲まれる面積の中で斜線を付した部分が粒子破砕に使われ仕事量を表わしていると考えるところにする。

次に、圧縮試験前後の試料の比表面積を測定し、圧縮による比表面積増加量 ΔS を求めた。この値と図-1に基づいて得た Wc との関係を直線で近似し、式(3)によって C の値を求めたところ、 $C=0.056$ という結果を得た。この C 値はせん断中の粒子破砕現象にも適用できると考えると、せん断中に生じた試料の比表面積増加量 ΔS を調べることによって粒子破砕に消費された仕事量 Wcs を推定することができる。図-2は、密づめ飽和砂をいろいろな側圧のもとで排水せん断したときの ΔS の値を示したものである。

上述の方法により、せん断中に供試体単位体積当りになされた全仕事量ならびに粒子破砕に消費された仕事量を求め、それらを側圧 σ_3 との関係で表わして図-3に示すような結果を得た(この図において、弾性的変形に使われた可逆的仕事量は実験データの不備で求めることはできなかった。しかし、乾燥供試体について調べた可逆的仕事量から推定するとその値は他の2者に比べて小さいようである)。図-3中に示される破線は、全仕事量 W に対する粒子破砕仕事量 Wcs の割合を示したものである。 50 kg/cm^2 以上の拘束圧のもとでせん断し

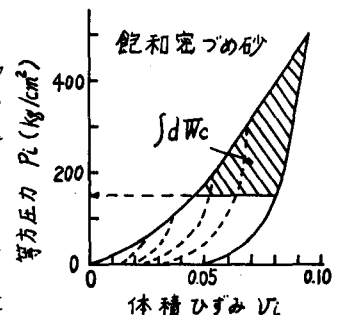
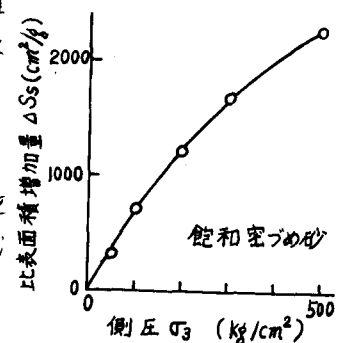


図-1 粒子破砕仕事

図-2 $\Delta S \sim \sigma_3$ 関係

た場合には、 W_{cs}/W_r はおよそ 30% の値を示している。 W_{cs}/W_r の値は $\sigma_3 = 75 \text{ kg/cm}^2$ において最も大きくなっているが、これが特別な意味を持つものかどうかは今のところ明確でない。というのは、 W_c を求めるにあたって、ここでは一定の C 値を用いたのであるが、 C の値は粉碎の程度が高くなるに伴って大きくなることも考えられ、もしそうであれば W_{cs}/W_r 値は σ_3 の高いところでより大きな値をとることになるからである。このことは今後検討してみる必要があるにしても、ここで得られた所に対する W_{cs} の割合が、先にモール図上で検討したせん断抵抗に占める粒子破碎に起因するせん断抵抗の割合と大きな違いのないことは注目される。

4. せん断中の応力レベルと粒子破碎量との関係

せん断過程で粒子破碎がどのように進行していくかについての検討はこれまでのところほとんどなされていまいようである。そこで、粒子破碎量を表わす一つのインデックスとして試料の比表面積増加量 ΔS_s をとり、これと平均主応力 p との関係を調べてみたところ図-4 にみられるような結果を得た（図中の軸ひずみ ϵ_1 は自然ひずみ）。 $\sigma_3 = 200 \text{ kg/cm}^2$ の条件で排水せん断した場合、せん断中の数段階で調べた ΔS_s と p との関係は両対数図上でほとんど直線になる。乾燥密づめ試料を $\sigma_3 = 300 \text{ kg/cm}^2$ で試験した場合についても同様な直線関係が認められている。 p と ΔS_s との間に上述のような特異な関係が存在することは、これまで 2 つの条件についてのみ確かめられたに過ぎないが、同様な関係が他の材料についても見出せるのではないかという期待は十分のもてそうである⁶⁾。このことが確かめられると、せん断中の任意の応力レベルにおける粒子破碎量を推定するのに役立つと思われるので現在実験を進めている。

5. ちすひ

Rittinger の粉碎理論がせん断中の粒子破碎現象に適用できると考えて、粒子破碎に消費された仕事量を求めることを試み、一定妥当と思われる値を得た。しかし、 C の値は実際には一定でないと考え、むしろ田中の粉碎理論⁷⁾を用いることがより適切であるとも考えられ今後検討していく予定である。

文献

- 1) 三浦・山内：土木学会論文報告集，No.193，1971.
- 2) R.H. Roscoe et al. : Geotechnique, Vol.13, 1963.
- 3) 又保孝一 ほか：粉体，理論と応用，丸善，1962.
- 4) Miura & Yamanouchi : Tech. Rep. of the Yamaguchi Univ., Vol.1, No.2, 1973.
- 5) 三浦・山内：26th 土木学会，Ⅲ-23，1971.
- 6) 三浦・山本：山工工学部研究報告，Vol.25, No.1, 1974.
- 7) 田中達夫：化学工学，Vol.18, No.4, 1954.

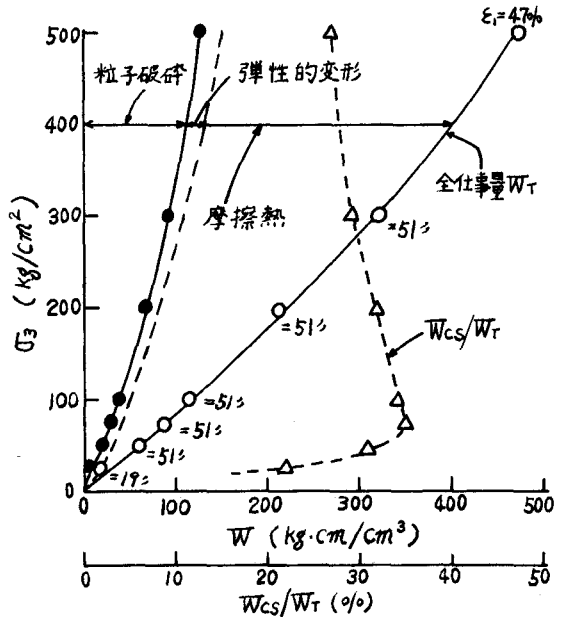


図-3 供試体単位体積当り仕事量

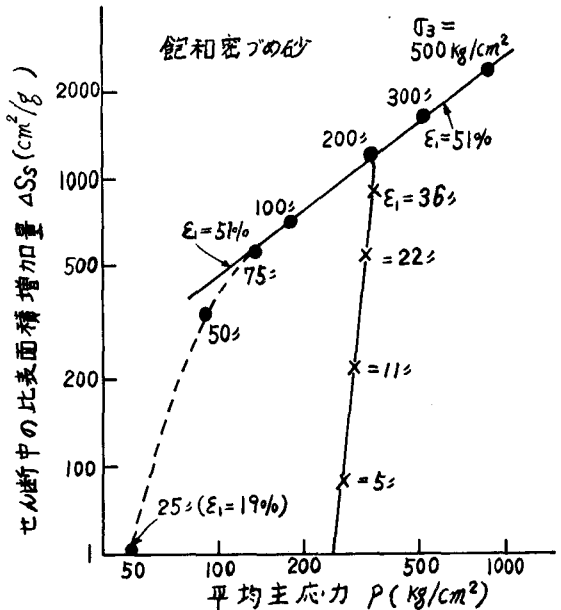


図-4 せん断中の粒子破碎量変化