

W-1 三軸圧縮試験における砂粒子の破砕特性(続報)

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 前報¹⁾において、筆者らは高拘束圧下でせん断された豊浦標準砂の鉱物学的検討を行ない、砂を構成している主要鉱物(石英、長石)の破砕特性は、試験条件(拘束圧の大きさ)や試料条件(供試体の初期間隙比の大きさ、粒子間水分の有無)と密接な関係があることを明らかにした。本報はその後行なったいくつかの実験結果をも含めて、せん断過程における砂粒子の破砕特性について検討を進めたものである。

2.等方圧縮圧力およびせん断力を受けた試料の粒度組成 その後の実験によって得た試料の粒度組成は、図1に示すとおりであり、等方的に圧縮された試験試料は、あまり粒子破砕を受けていないが、せん断試験(CDテスト、拘束圧 σ_3 一定)試料は、著しく粒子破砕を受けていることがわかる。 $\sigma_3=100\text{ kg/cm}^2$ の条件下でせん断された試料の粒度変化は、飽和ゆるづめ砂(初期間隙比 $e_0=0.83$)、飽和密づめ砂($e_0=0.61$)、乾燥密づめ砂($e_0=0.61$)の順に大きい。しかし、 $\sigma_3=50\text{ kg/cm}^2$ の条件下でせん断された試料の場合その粒度変化は、大きい方から順に飽和密づめ砂、飽和ゆるづめ砂、乾燥密づめ砂というものであった。飽和試料に関しては上述のように初期間隙比の大きさとせん断中に受ける粒子破砕量の多さとの対応関係は、拘束圧が低い場合には必ずしも見出されない。このことは $\sigma_3=50\text{ kg/cm}^2$ の条件下では、密づめ試料に対する試験軸ひずみ($E_1=55\%$)が、ゆるづめ試料に対するそれ($E_1=5\%$)よりいく分大きいことにも一部起因しようが、後述するように両者のせん断中の粒子破砕の違いにより密接な関係があると考えられる。次に飽和砂の粒子破砕の程度が、乾燥砂のそれより大きいのは、粒子間水分が鉱物粒子表面に吸着することによって粒子表面エネルギーが低下し、その結果粒子に微細なクラックが生成されやすく、粒子破砕が促進されたためである。

3.鉱物組成による破砕特性の検討 いろいろな条件下で破砕された各試料の破砕特性を検討するために、74 μ フルイに残留する各鉱物粒子の重量パーセントに注目して、次のようなことが分かった。まず、 $\sigma_3=100\text{ kg/cm}^2$ の条件下でせん断された試料について比較すると、乾燥密づめ砂の石英および長石粒子の74 μ フルイ残留量は、飽和密づめ砂および飽和ゆるづめ砂のそれより多い。また飽和ゆるづめ砂の74 μ フルイ残留石英量は飽和密づめ砂のそれよりおよそ3%少ないが、長石については逆に1%多い。一方 $\sigma_3=50\text{ kg/cm}^2$ でせん断された試料においては、乾燥密づめ砂の石英粒子の74 μ フルイ残留量は飽和ゆるづめ砂のそれとほぼ等しく、長石粒子の74 μ フルイ残留量は飽和密づめ砂のそれとほぼ等しい。飽和密づめ砂および飽和ゆるづめ砂について同様に検討すると $\sigma_3=100\text{ kg/cm}^2$ でせん断された場合と逆の関係であった。これは粒子間水分の粒子破砕強度への影響、ならびに石英および長石粒子の破砕強度の違いに起因するものと考えられる。上述のように試験ならびに試料条件によって鉱物粒子の破砕特性が変化することから、後述する粒子破砕に使われる仕事量を考察する上に石英および長石粒子の破砕強度を知っておく必要がある。さて当初均等な粒子からなっていた試料は、圧縮またはせん断力を受けて破砕されると良い粒度を呈するようになる。すなわち各試料についての粒度頻度分布を示す図2において、石英および長石粒子の各粒

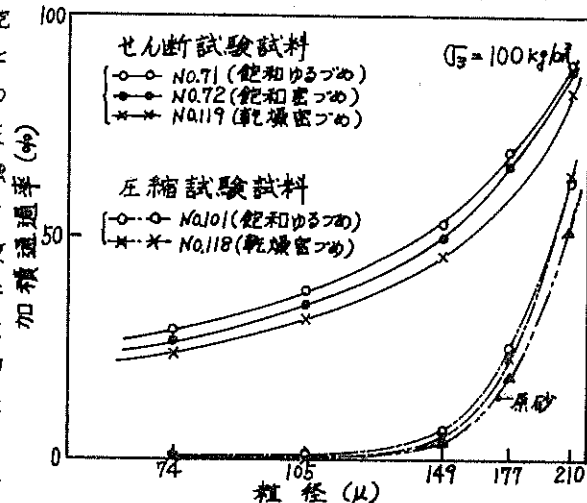


図1. 試験試料の粒度曲線

径ごとの頻度は一定値に近づく。そこで乾燥密づめ砂について74μ以上残留試料の算術平均粒径と最大平均主応力との関係を求めると図3のようになる。この図において関係曲線の曲率半径が最小になる点に相当する最大平均主応力を仮に試料の破砕強度と呼ぶことにする。それによれば石英および長石粒子の破砕強度はそれぞれ425 kg/cm²および135 kg/cm²であった。これらの数値を用いて石英粒子と長石粒子の破砕強度の比を求めるとおよそ425/135=3となる。

4. 粒子破砕に使われる仕事量 砂粒子がせん断中に破砕されるとその試料の比表面積は増加する。筆者らはせん断過程における粒子破砕に使われる仕事量 W_c に Rittinger の粉砕理論を適用することと検討しつつあるが、その際単純に $W_c = C \Delta S$ (ここに C は材料によって決まる定数、 ΔS は比表面積増加量) として W_c を求めるのは適当でないと考えられる²⁾。このことを考慮し、破砕強度の異なる石英および長石粒子からなる試験試料の W_c と次の関係 $W_c = C_q \cdot \Delta S_q + C_l \cdot \Delta S_l$ により求めたところ表1に示されるような結果を得た。ここに C_q および C_l は石英および長石粒子の破砕性を表わす定数であり、前節3.における検討より $C_q \approx 3C_l$ と考えてよいであろう。 ΔS_q および ΔS_l は各々石英、長石粒子の比表面積増加量を示す。

表1より、 $\sigma_3 = 50 \text{ kg/cm}^2$ でせん断された試料の粒子破砕に使われる仕事量は大きい方から飽和密づめ砂、飽和ゆるづめ砂、乾燥密づめ砂の順であり、飽和密づめ砂の粒子破砕に使われる仕事量は乾燥密づめ砂のおよそ1.5倍であることが分かる。一方、 $\sigma_3 = 100 \text{ kg/cm}^2$ でせん断された試料についての粒子破砕に使われる仕事量は、飽和ゆるづめ砂、飽和密づめ砂、乾燥密づめ砂の順に大きく、飽和ゆるづめ砂の粒子破砕に使われる仕事量は、乾燥密づめ砂のそれのおよそ1.5倍となる。このように試験条件、試料条件によって粒子破砕に使われる仕事量が異なることは、2節および3節で述べたことと密接な関係があるものと考えられる。今後、石英粒子および長石粒子単体からなる試料について同様の検討を行ない、砂のような粒状材料の高圧条件下におけるせん断特性と粒子破砕現象との関係について検討を進めていきたい。終りに本実験を手伝っていただいた松本寛君に感謝の意を表します。

文献 1) 三浦・山本：土木学会第28回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ (1973)

2) 久保輝一郎：メカノグミストリー概論、東京化学同人 (1973)

3) 三浦・山本：山口大学工学部研究報告、Vol.24, No.3 (1974)

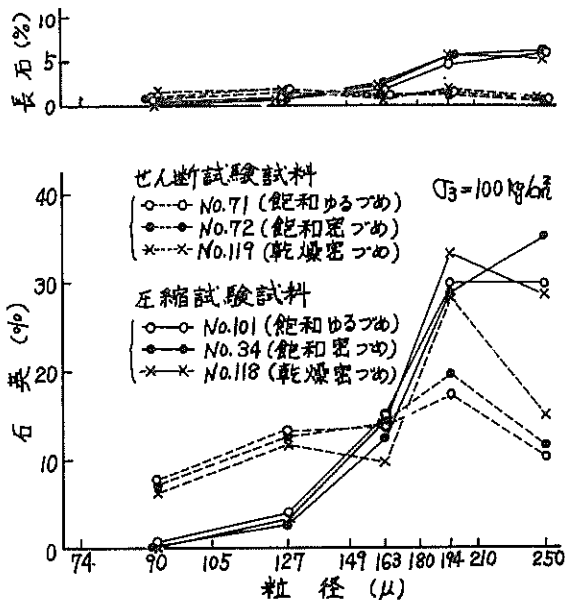


図2. 石英および長石の粒径頻度分布

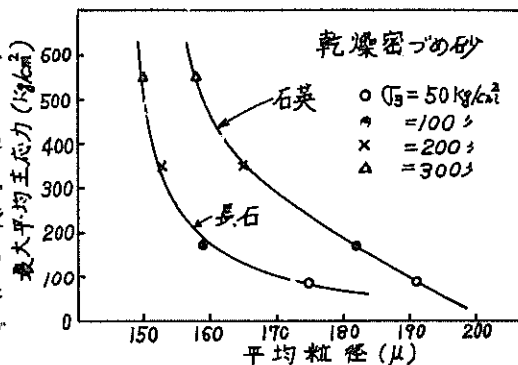


図3. 最大平均主応力と平均粒径との関係

表1. せん断中の粒子破砕に使われる仕事量

試験番号	試料	試験条件	せん断によって生じた比表面積増加量 (cm²/g)		せん断中の粒子破砕に使われた仕事量 (kg/cm²)	
			石英 ΔS_q	長石 ΔS_l	$3C_q \Delta S_q + C_l \Delta S_l$	$C_q \Delta S_q + 3C_l \Delta S_l$
115	50	乾燥密づめ	47	96	59	347 C_f
63	50	飽和密づめ	55	137	112	533 C_f
60	50	飽和ゆるづめ	51	71	145	358 C_f
119	100	乾燥密づめ	51	246	145	883 C_f
72	100	飽和密づめ	51	267	242	1043 C_f
71	100	飽和ゆるづめ	60	366	244	1342 C_f