

三軸応力下における粗粒材の粒子破碎について

佐賀大学 学○重岡龍王 正 三浦哲彦 三上欽也

1. まえがき

ロック材料のように粗大粒子からなる土質材料では、粒子破碎現象がその圧縮特性やせん断特性に大きな影響を及ぼすことが知られている<sup>1)2)</sup>。本実験は、九州電力(株)「天山ダム」で用いられた試料について一連の三軸圧縮試験を実施し、その粒子破碎現象について検討したものである。

2. 実験方法

実験装置は中型三軸圧縮試験装置(供試体直径10cm、高さ25cm)を用いた。この装置は2重セル構造をもち、各種の排水条件で試験を行うことができる。供試体は、天山ダムロック材料の緑色片岩を均等粒度の粒径9.52~4.76mmおよび4.76~2.00mmに調整し、これを初期間隙比( $e_0=0.840$ )になるように締め固めて作製した。三軸試験は側圧 $\sigma_3=0.5, 2.0, 6.0 \text{ kgf/cm}^2$ で等方圧密し、拘束圧一定、排水条件で0.5%/minの軸ひずみ速度で行った。粒子破碎を調べるために公称ひずみ $\epsilon=2.5, 5, 10, 15$ の軸ひずみのとき、せん断を中止し、取り出した試料をロータップふるい振とう機にかけて20分間ふるい分けした。試料表面積 $S (\text{cm}^2/\text{cm}^3)$ はふるい分けした材料の各粒径ごとの、平均粒径 $d_m = \sqrt{d_1 \times d_2}$  ( $d_1, d_2$ は2つのふるいのひらき目寸法)から推定する。すなわち、各粒径は直径 $d_m$ の球体であると仮定して、1個の球体の比表面積を求め、この値に供試体の乾燥密度( $\text{g/cm}^3$ )を乗じるという方法で推定できる。

後で必要となる、供試体の単位体積当りの全塑性仕事 $W (\text{kgf/cm}^3)$ は、 $\sigma_2=\sigma_3$ なる三軸圧縮供試体では、主応力 $\sigma_1, \sigma_3$ および主ひずみ増分 $d\epsilon_1, d\epsilon_3$ を用いると次式で表される。

$$W = \int (\sigma_1 d\epsilon_1 + 2\sigma_3 d\epsilon_3) - \int (\sigma_1 d\epsilon_1 + 2\sigma_3 d\epsilon_3)^e \\ = \int (q d\epsilon + p dv) - \int (p dv)^e \quad (1)$$

ここに、軸差応力 $q = \sigma_1 - \sigma_3$ 、平均有効主応力 $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ 、せん断ひずみ $\epsilon = \epsilon_1 - (\nu/3)$ 、体積ひずみ、 $\nu = \epsilon_1 + 2\epsilon_3$ である。また脚符 $e$ は弾性成分を意味し、 $\int q d\epsilon^e = 0$ を仮定している。本実験試料においても個々の三軸圧縮試験で得られた応力ひずみ曲線を整理して塑性仕事 $W$ を求めた。

3. 実験結果と考察

図-1および図-2は応力ひずみ曲線とモール破壊包絡線を示す。一般に粗粒材の粒子破碎領域への過渡領域で著しくカーブする。図-2より本試料では $\sigma_3=2 \text{ kgf/cm}^2$ の下ですでに粒子破碎が生じていることが推測される。次に軸ひずみ $\epsilon_1$ と表面積 $S$ の関係

は、図-3に示すようであった。この図において、拘束圧が高いほど試料の表面積増加は大きいこと、および供試体が破壊応力に達した後もなお試料の表面積は増え続けていることがわかる。このことから粒子破碎率は、試料になされた仕事と密接に関係していることがわかる。せん断中の表面積 $S$ と供試体になされた塑性仕事 $W$ との関係は図-3の $\epsilon_1-W$ 、 $\epsilon_1-S$ 関係から定めることができる。図-4は $S-W$ 曲線である。同図でみられるように拘束圧条件の異なる各供試体の $S-W$ 関係はほぼ一本の曲線

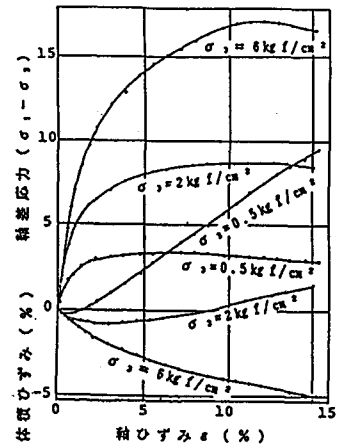


図-1 応力ひずみ曲線

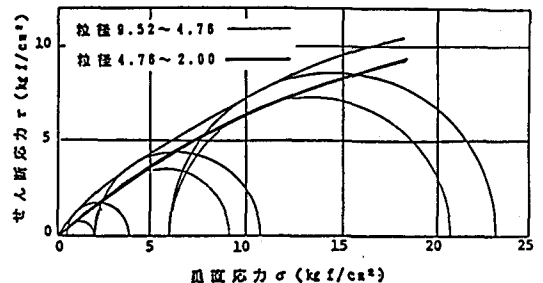
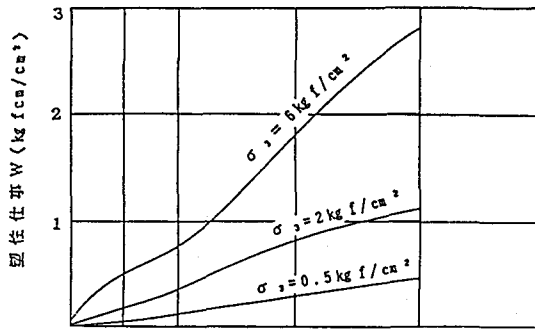
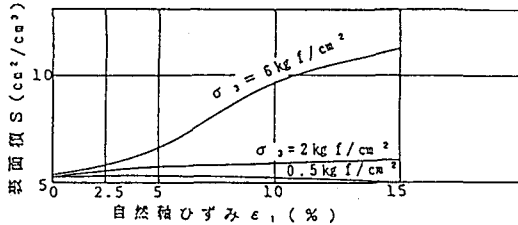


図-2 モール破壊包絡線



塑性仕事～自然軸ひずみ関係



表面積～自然軸ひずみ関係

図 - 3

に沿って変化する。このことから、三軸圧縮応力下における本試料の表面積は、等方圧縮およびせん断の両過程を通じて供試体になされた塑性仕事と密接な関係にあることが確認できた。粒子破砕率 ( $ds/dw$ ) および破壊時有効応力比 ( $\sigma_1/\sigma_3$ )<sub>f</sub> は体積変化率 ( $dv/de_1$ ) と直線関係にあることが他の試料についてわかっているので、本実験についても両者の関係を調べた。その結果、図-5-6に示すようにほぼ直線になることが確かめられた。

#### 4. まとめ

供試体が破壊応力に達したときの粒子破砕率とダイラテンシールイトおよび最大有効応力比の関係を調べ、天山ダムロック材においても、これら三者の間には直線的な関係があることがわかり、その挙動は本質的には高圧下の砂の粒子破砕現象<sup>1)</sup>と同じである事が確認できた。

最後に、本研究を行うにあたって、九州電力(株)田野 襄一郎課長、西日本技術開発(株)赤司六哉部長に大変御世話になりました。記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 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, 土木学会論文集, NO. 260, pp. 109, 118, 1977.

2) 三浦哲彦, 村田秀一, 原田 敦: 含水比変動に伴う破砕性土のせん断特性変化, 土木学会論文報告集, No. 336, pp. 105, 112, 1983.

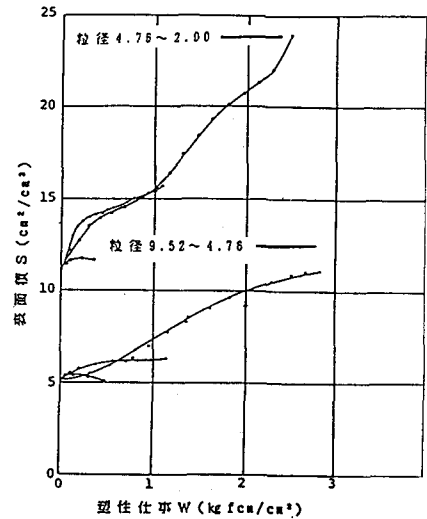
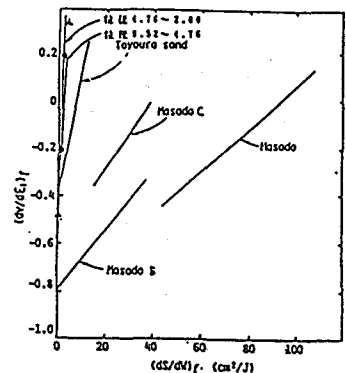


図 - 4 試料表面積～塑性仕事関係



体積変化率 ( $dv/de_1$ )<sub>f</sub> と粒子破砕率 ( $ds/dw$ )<sub>f</sub> の関係

図 - 5

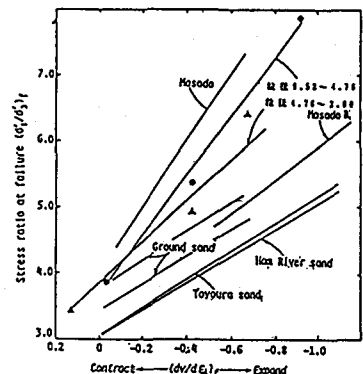


図 - 6 破壊時応力比～体積変化率関係