

九州電力株式会社 総合研究所 正員 〇赤司六哉

" " " 中島 隆

西日本炭坑開発株式会社 " 山下伸二

1. まえがき

フィルム用代表ロック材について、大型三軸圧縮試験を実施した。この試験では、飽和条件と排水条件を変えた3ケースについて、強度係数および変形特性と比較検討するとともに、側圧を一定にした軸差応力の繰返し載荷も実施し、とくにその変形特性と考察してみた。さらに、筆者らは粒状体の基本的なせん断試験の一種として市販のアルミナボールを使用した三軸圧縮試験を実施中であるから、極めて初歩的研究ではあるが、2. 3まとめてみた。

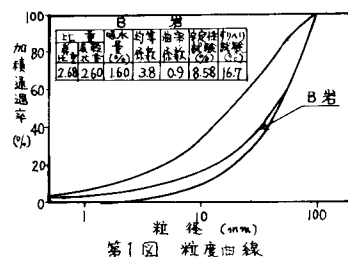
2. ロック材料の強度係数について

今回、報告の対象としたB岩(仮称)は、チャート質砂岩で、試験に使用した数種のロック材の中では、代表的な工学的特長を示すものである。第1図および第2図は、粒度分布と実固め特性を示したものであるが、破砕率が10%程度の値で、ある程度脆い岩であると考えよう。

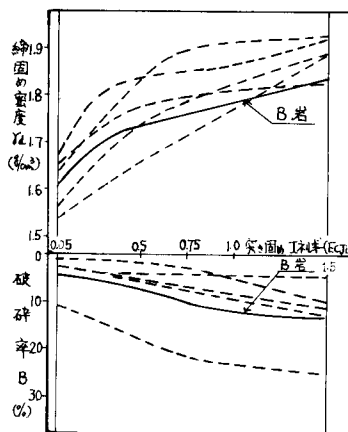
さて、三軸圧縮試験であるが、供試体の寸法は $\phi 300^{\text{mm}} \times 700^{\text{mm}}$ 、最大粒径は 63.5^{mm} 、側圧は1, 2, 4, 6 (kg/cm^2)、締固めのエネルギーは 0.5 EcJis ($2.812 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg/cm}^2$)とし、さうにCU試験(不飽和)、 σ_{cu} 試験(飽和・非排水)およびCD試験(飽和・排水)の3種の試験方法を採用してみた。この試験法にもとづいた結果をモールの応力円で表示したものが第3図であるが、ロック材料の強度係数として主軸切片 C と内部摩擦角 ϕ が求められる。しかし、ロック材料の強度係数として測定される主軸切片 C は、ロックフィルムの設計に際して種々問題と提起している係数で、現在のところ、 $C=0$ として円形スベリを足検討を実施しているのが常識のようであるから、内部摩擦角 ϕ だけに着目する考え方をとり、原点を通り各側圧別の破壊時のモールの円に接する直線の勾配 ϕ を求めてみた(第3図の表を参照のこと)。いずれにしても、ロック材料の内部摩擦角は 40° 以上の値が求められる。高側圧になると幾分 ϕ の値が低下するようである。

3. ロック材料の変形特性について

第4図は、3種の試験について $\epsilon \sim (\sigma - \sigma_0)$ 曲線と比較してみたものである。これらの曲線について詳しく考察してみるとつぎの



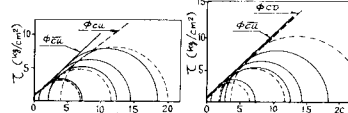
第1図 粒度曲線



第2図 実固め特性

側圧 (kg/cm^2)	ϕ_{cu} ($^\circ$)	破砕率 (%)	$\phi_{\sigma_{cu}}$ ($^\circ$)	側圧 (kg/cm^2)	ϕ_{CD} ($^\circ$)
1.0	48°-56°	1.00	47°-04°	1.0	43°-28°
2.0	44°-25°	1.96	43°-40°	2.0	41°-09°
4.0	42°-10°	2.27	43°-17°	4.0	41°-43°
6.0	40°-42°	2.95	42°-18°	6.0	41°-01°

※エネルギーは0.5 EcJis



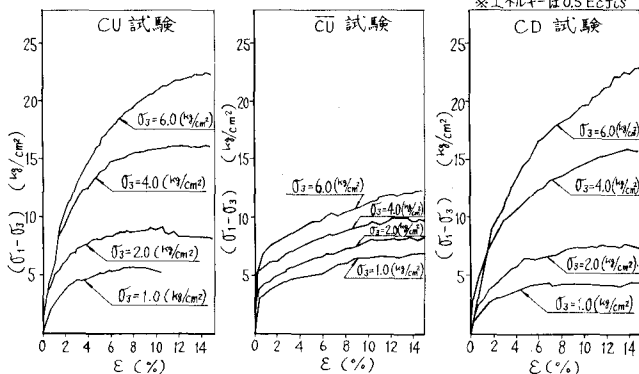
第3図 モールの円と包絡線

ようなことが言えよう。すなわち、CU試験とCD試験とでは、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の絶対値および曲線の形状ともに比較的共通。というようである（ただし、その小さい曲線の立上りの節分は問題がある）。しかし、間ゲキ水圧が発生するCU試験では、極端に異なった曲線が認められる。いま、仮に $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の値だけに注目してみると、 $\sigma_3 = 2 \text{ kg/cm}^2$ 程度まではCU試験値はCU・CD試験値とほぼ等しいが寧ろ大きいようである

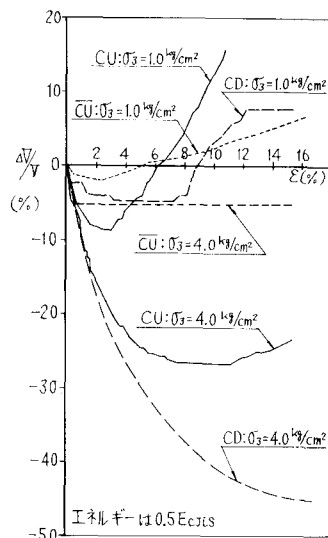
第1表 変形係数表

試験側圧方法	$E_{0.5}$ (kg/cm^2)	$E_{2.5}$ (kg/cm^2)	$E_{5.0}$ (kg/cm^2)
CU	1.0	352	174
	2.0	749	279
	4.0	925	436
	6.0	1015	480
	1.0	430	182
CU	2.0	796	220
	4.0	1115	292
	6.0	1226	334
	1.0	295	130
	2.0	418	192
CD	4.0	850	367
	6.0	1000	402
			589

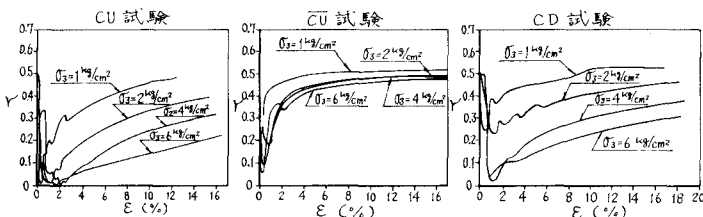
が、 $\sigma_3 = 4 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$ の高い値になるとこの均衡が破れ、 $\overline{CU} = 1/2 (CU \text{ or } CD)$ と表わされるような関係に近ついていく。これらの現象はつぎのように説明できると考える。ある程度泥に飽和かつ材料が非排水条件を受けると、せん断面における粒子の移動により、試料が膨張（ダイヤランシー現象）し、負圧が働く。すなわち、 σ_3 が小さい間では、この負圧が供試体内に発生する間ゲキ水圧とある程度バランスし、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の値で $\overline{CU} \geq CD$ という現象がみられるが、 σ_3 が次第に大きくなると、ダイヤランシー現象が顕著でなくなり（第5図参照）、負圧が小さくなるとともに逆に間ゲキ水圧が増大し、大幅にそのバランスがくずれ、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の値あるいは $\varepsilon \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$ の曲線に大きな変化が起るものであろう。さらに、 $\varepsilon \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$ 曲線は、 ε が極く小さい範囲では、その直線性と仮定することができ、いわゆる弾性係数に相当する変形係数を求めることができる。第1表は、 ε が0.5%と2.5%に相当するものおよび $(\sigma_1 - \sigma_3)_f / 2$ に対応するものに相当するものの変形係数をそれぞれ計算し、これと $E_{0.5}$ 、 $E_{2.5}$ および $E_{5.0}$ と表示して一覽にしたものである。また、第6図は、3種の試験についてポアソン比 ν を計算し、 $\varepsilon \sim \nu$ 曲線の比較を行なってみたものである。これらの結果をみると、 ε あるいは ν ともに、 σ_3 、飽和条件および排水条件などが、その値と左右する外的要因となっていることが良くわかる。もちろん、これらの値に影響を与える内的要因として、粒度、粒径、間ゲキ水圧などが考えられるが、今回の試験ではこれを一定としたので、この問題は別の機会に譲ることとした。



第4図 $\varepsilon \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$



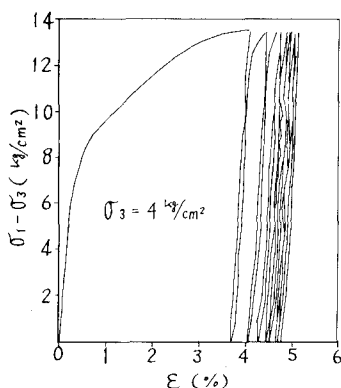
第5図 $\varepsilon \sim \Delta V/V$



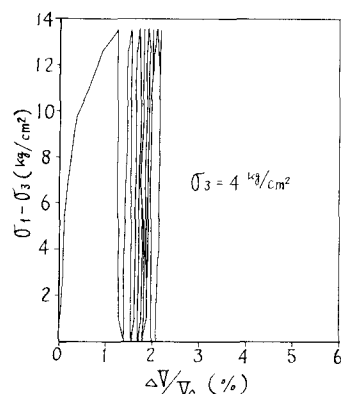
第6図 $\varepsilon \sim \nu$

4. 繰返し載荷試験

現在、フェルタイ7°グラムの各足解析手法として大きな比重を占めているものに入ベリ各足解析があるが、しかし、弾塑性解析手法による堤体内部の応力分布と変形とに焦点を合わせようとする、問題になるのが前述の変形係数とポアソン比である。そこで、前記の



第7図 $\varepsilon \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$



第8図 $\Delta V/V_0 \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$

静的な試験と同じBロッド材料と使用し、側圧を一定にした軸差応力の繰返し載荷試験を実施して見た。試験機は大型三軸圧縮試験機(φ300mm × 700mm)を使用し、供試体の締固のエネルギーは0.5 E_{cds}とした(C = 0.51)。また、側圧は、 $\sigma_3 = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ と一定におき、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ を0 ~ 13 kg/cm²の間で繰返し載荷を実施した。なお、供試体は飽和されており、圧縮あるいは膨張時の水の出入りは自由である。第7図および第8図は

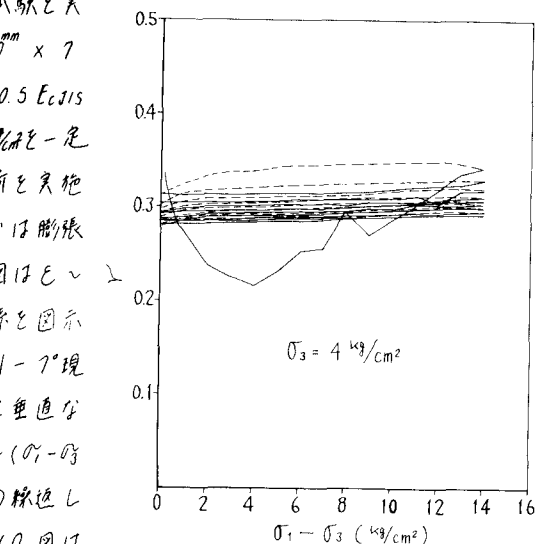
$\varepsilon \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$ の関係あるいは $\Delta V/V_0 \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$ の関係と図示したものであるが、4 ~ 5回の繰返しで殆んどクリープ現象がみられなくなり、とあるいは $\Delta V/V_0$ ともに横軸に垂直な線を描かれるようになる。つぎに、第9図は、 $\gamma \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$ の関係を描いたものであるが、これも4 ~ 5回の繰返しで0.3前後のポアソン比に落ち着くようである。第10図は軸差応力をパラメーターにして、繰返し回数Nと割線変形係数との関係を図示したものであるが、全体的に

みた場合Nが大きくなるにつれてEが大きくなる傾向が認められ、しかも、その増加の割合は、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ が高いところで大きく(約10倍)、低いところで小さい(約2倍)ようである。

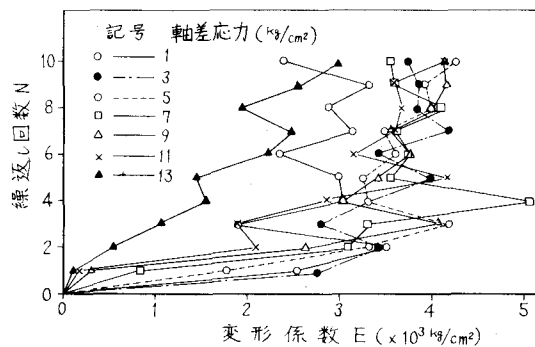
5. アルミナボールを使用した三軸圧縮試験

様々な粒状体のせん断特性と比較検討するために使用されている材料としては、現在、鋼球、鉛球、ガラスビーズなどがあるが、これらの仲間に入る

ことができる材料として、筆者らは、市販されているアルミナボール(日本化学陶業製)を採用して見た。このアルミナボールは、2mm ~ 80mmの各種粒径(ほぼ完全な球形とみなされる)が自由に得られること、比重が比較的小さい($G = 3.62$)こと、圧潰強度が非常に大きくせん断時の粒子の

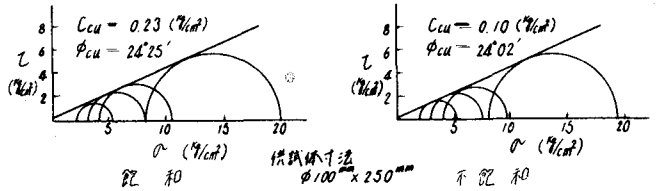


第9図 $\gamma \sim (\sigma_1 - \sigma_3)$



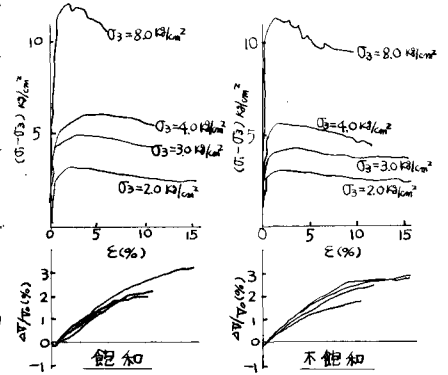
第10図 $E \sim N$

破壊が全くないことなどの数種の利点
 をもっている。そこで、この粒状体と
 使用して一連の試験研究を計画し、そ
 こに着手しているが、今回の報告では
 極めの初步的なつぎの数点にしぼって
 みることにした。すなわち、1) ロック

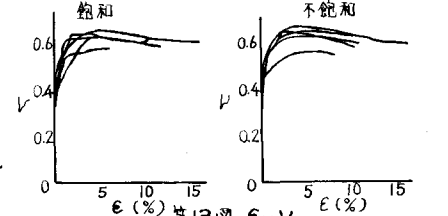


第11図 エルの内と飽和線

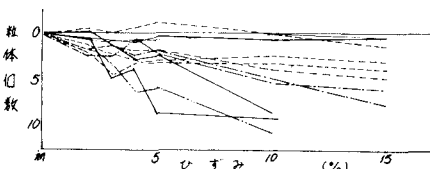
材料に対する土軸切片があるのか、2) 粒径と揃えた場合
 のダイレタンシー現象、3) 飽和した場合ロック材料に対す
 る間欠圧の発生があるのか、4) 各粒体の動きはどうであ
 るか、ということである。いま、上記の1)から3)までの問題
 を図示したものが第11図～第13図であり、僅かながらの
 土軸切片がみられ、せん断時の各種変化はすべて膨張(間
 欠圧の発生なし、負圧は測定装置がないため測定できな
 かった)である。第14図～第16図は、せん断時の各粒体の
 動きに着目したもので、トランジットにより三個の粒体の
 動きと観測したものが第14図、6層の着色(赤)層の動きと
 写真により、と捕えてみたものが第15、16図である。とくに、
 第15図の各層ごとの粒体数の変化とみると、破壊時の $\epsilon =$
 2～4%付近の粒体の動きが著しい。今後は、粒体の変位と
 同時に回転の問題にまで発展させ、さらに、大型単純せん断
 試験による変形特性の解明を実施する予定である。



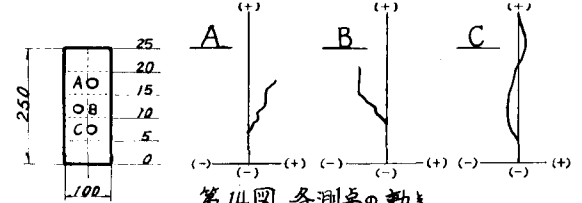
第12図 $\epsilon \sim (\sigma - \sigma_3)$, $\epsilon \sim \sigma_3$



第13図 $\epsilon \sim \nu$



第15図 各層ごとの粒体個数の変化



第14図 各測定の動き

初期	ひずみ 2%	ひずみ 3%	ひずみ 4%	ひずみ 5%	ひずみ 10%	ひずみ 15%

第16図 各球の動き