

九州工業技術試験所 正員 ○三浦哲彦
九州大学 工学部 正員 山内豊聡

1. まえがき

最近築造されるようになった、高さが200mにもおよぶ大ダム（アースダム、ロックフィルダム）においては、その底部の材料は 40 kg/cm^2 に近い圧力を受ける。また、高層建築物を支えるクイの先端圧力は、数百 kg/cm^2 に達することがある。トンネルや地中深部の掘削に際してもまた、前述の場合と同様に、高い拘束圧を受けた土やレキの力学的性質を調べておく必要がある。このほか、土のような材料の高圧特性に関する研究は、岩の力学的性質との関連において、さらには工業材料の分野においても重要な課題とされている。

筆者らは先に、試作した高圧三軸圧縮試験機を用いて豊浦標準砂の排水せん断試験を行ない、密に圧固めた供試体の圧密・せん断特性について報告した¹⁾。本報告では、その後に行なった実験のデータを加えて、供試体初期間けき比の大きさが標準砂の圧密・せん断特性にどのような影響をおよぼすかについて述べる。実験に用いた試料の最大間けき比は0.91、最小間けき比は0.58である。したがって、図表に示す供試体の相対密度は、密づめ ($e_0 = 0.60 \sim 0.63$) の場合 $D_r = 0.94 \sim 0.85$ 、ゆるづめ ($e_0 = 0.82 \sim 0.85$) の場合 $D_r = 0.27 \sim 0.18$ となる。せん断条件は、側圧一定、飽和供試体に対する圧密排水試験である。なお、試験装置は前報に比べて次の点で改善されている、a) 圧密・せん断中の供試体への潤液漏水はなくなった、b) ヒストマグラフが簡化した、c) 圧密・せん断中の側圧変動が小さくなった。

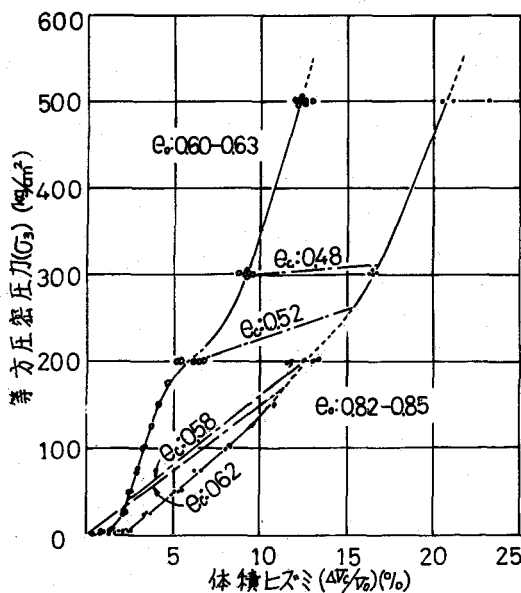


図-1 等方圧密圧力と体積ヒズミの関係

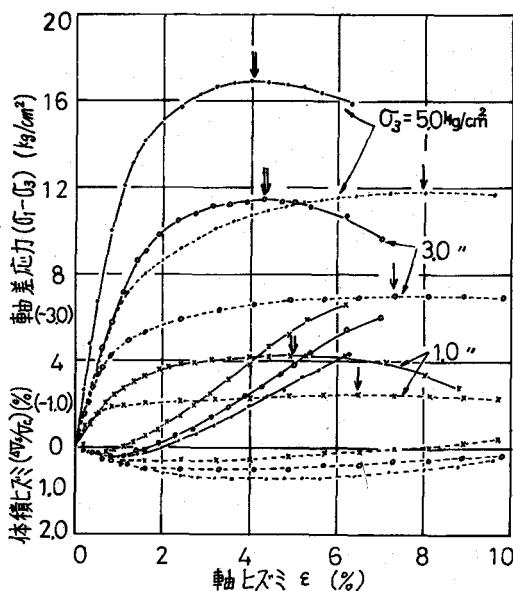


図-2 応力～ヒズミ曲線 ($G_3: 1 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$)

2. 実験結果と考察

2.1 等方圧密圧力と体積ヒズミの関係(図-1):

密づめの場合にみられる 200 kg/cm^2 付近の急化は、標準砂のような均等で硬質な粒子が、初めかう自由度の低い状態におかれたときに見せる圧縮破砕特性下と考えられる。圧密後にある間ゲキ比 e_c に到達せしめるのに要する圧密圧力を、密づめとゆるづめで比較して、次のことがいえる。ゆるづめ供試体を密づめの初期間ゲキ比まで締固めるのに、実は 170 kg/cm^2 の等方圧力と 300 分の時間¹⁾とを要する。これは、圧密圧が増加しても粒子間圧力も同時に各粒子接触部で増加し、しかも粒子の移動に対するマザン抵抗も大きくなって粒子を拘束するからである。

この場合、もし圧密圧力が異方性ならば、もっと容易に間ゲキは小さくなると思われる。 170 kg/cm^2 の圧力は、密づめ材料が等方圧密で急激に破砕作用を受ける圧力 200 kg/cm^2 に近いことから、このようにして密づめと同一間ゲキ比になったゆるづめ試料は、粒度がすでにこの粒度でないことに注意しなければならない。

2.2 応力ヒズミの関係: 図-2 は、低圧域における応力ヒズミ曲線で、高拘束圧の場合(図-3)と対比するため示したものである。図-2(A)に見られるように、 $\sigma_3 = 25 \text{ kg/cm}^2$ の密づめ供試体は低圧域のそれと同様にセリ断中に体積は膨張する。 σ_3 が 50 kg/cm^2 の範囲では、セリ断中に体積は収縮し、 300 kg/cm^2 以上の拘束圧のもとでは、あるヒズミとすると体積変化はしなくなる($dV/d\varepsilon = 0$)。Vesic²⁾ et al. のいう限界平均垂直応力は、本試料の場合約 $25 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ の間にあるとき存在する。

σ_3 が $75 \sim 125 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で、標準砂の応力ヒズミ曲線は主わめて特徴的である。この圧力範囲においては、初期密度の大小にかかわらず、最大軸差応力はまったく同じ値を示す。

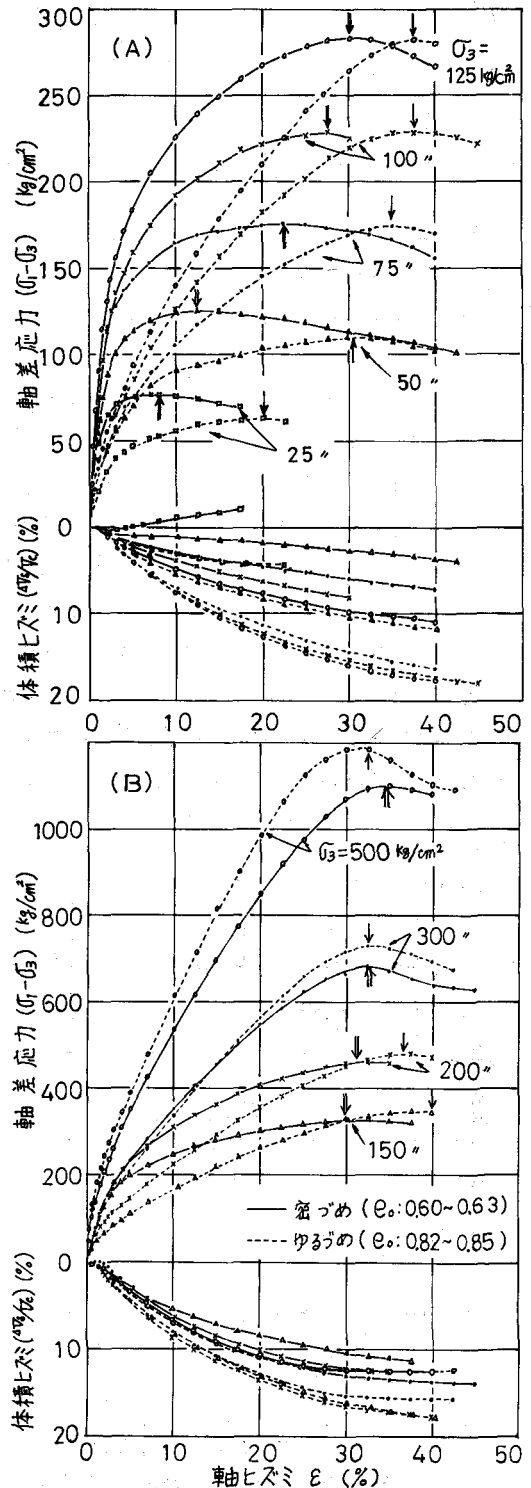


図-3 応力ヒズミ曲線 ($\sigma_3: 25 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$)

しかも、応力～ヒズミ曲線の形は初期密度の違いによって明らかに差がある。表1は、3段階の拘束圧における初期間ゲキ比 e_0 、圧密後間ゲキ比 e_c 、および最大軸差応力時間ゲキ比 e_f を示す。セリ断直前の間ゲキ比 e_c はいずれも密づめの方がゆづめにもつかわらず、 e_f 値は逆にゆるづめ供試体が小さくなっている。

一方図-4に、別の試料で求めたセリ断試験後の試料粒度を示す。軸ヒズミ40%のときの粒度は、当然最大軸差応力時より細くなっているから、これを表-1と直接結びつけることはできない。しかし、最終的にゆるづめの方が細粒分を多く含むことはほぼ間違いないであろう。このことから、一応次のように考えることができる。ゆるづめ供試体においては、セリ断前の間ゲキ比が相対的に大きいので、一度公セリ断荷重に加えられると（異方性圧縮）急速に間ゲキを減じる。この際、粒子の自由度は密づめに比べて高く、かつ最終間ゲキ比に達するまでに動く粒子の移動距離は長いので、粒子は破壊よりもむしろ相互にマメツシあう。その結果得られる粒度が密づめより良いので e_f は小さくなる。マメツ作用を含めたすべりマサソカがゆるづめの試料のセリ断抵抗の支配的要害となっているのではなからうか。これと反対に、密づめ供試体では粒子の自由度は低いので、各粒子は供試体とダイレトさせる方向に移動しようとする。その結果、接触数を減じた粒子は一接触あたり当りの応力が破壊強度をこえて破壊される。したがって、密づめ供試体のセリ断強度を構成するのは、すべりまさかの他に、ダイレタレンと、ダイレタレンのエネルギーを吸収する形で生じる粒子破壊、が考えられるのではなからうか。図3(4)の応力～ヒズミ曲線のうち密づめのものは、低圧域のそれと類似の形をしているということは前述の推論と矛盾しない。セリ断過程における粒度の変化を調べることもこの間の現象を説明するよい手段と思われるので、現在検討中である。

次に、図3(A)図は、 σ_3 が150 kg/cm²以上の場合を示す。この圧力範囲では、ゆるづめの方がいずれも高い軸差応力を示すのが特徴である。このような両者の大きな開きが何によって生じるのか未だよく分らない。現在考えられることは、ゆるづめ試料では、セリ断直前の間ゲキ比 e_c は $\sigma_3=500$ kg/cm²においてもいせんとして密づめのものより大きい(0.423と0.429)ことと、先に述べたように、セリ断前の粒度分布はおそらく密づめより良いこと、はたが図3(4)の実験事実と関係があるのではないかと思われる。Vesic²⁾らは、初期間ゲキ比の影響を消える応力を Breakdown stress として、彼らの用いた河砂については200 kg/cm²がそれに相当する圧力だとしているが、その応力～ヒズミ曲線図でみれば、標準三軸圧縮試験の $\sigma_3=211$ kg/cm²のときと、八面体セリ断試験の $\sigma_3=351$ kg/cm²のとき、

表-1 各段階の間ゲキ比

σ_3 kg/cm ²	75		100		125	
	密づめ	ゆるづめ	密づめ	ゆるづめ	密づめ	ゆるづめ
e_0	0.597	0.845	0.609	0.832	0.598	0.846
e_c	0.550	0.725	0.556	0.686	0.538	0.672
e_f	0.472	0.457	0.436	0.399	0.388	0.377

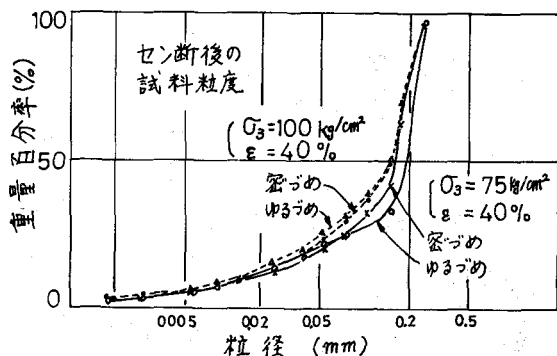


図-4 セリ断試験後の試料粒度

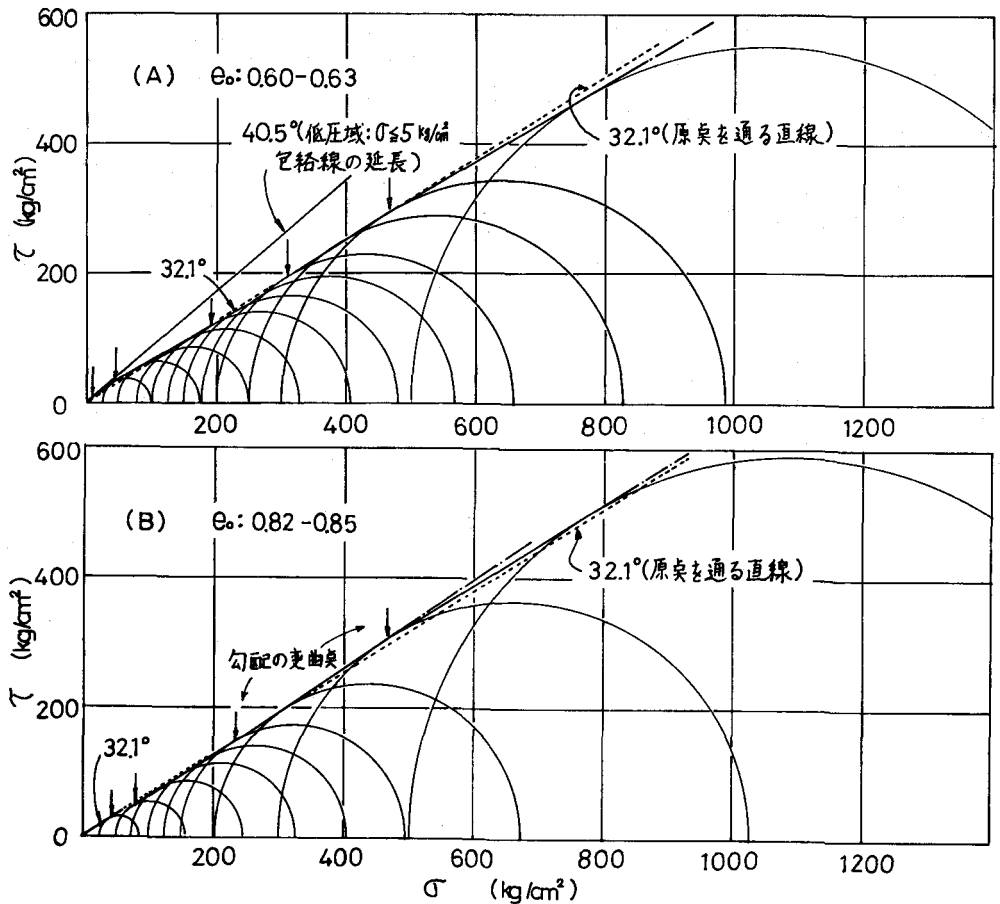


図-5 モールの応力円

それぞれ初期間ゲキ比の大きい方が高い強度を示している。

2.3 モールの応力円： 図-5(A),(B)にみられるように、4.5 更の σ で勾配が変化している。そしてそれらをつねに、ゆるづめの低圧域の勾配 32.1° を中心に変化しているように見受けられる。

3. 結論

(1) 標準砂のような均等で硬質の砂が等方圧力をかけると急激に破壊を受け異常な体積変化を起す圧力が存在する。(2) ゆるづめの供試体と等方圧で密づめにするには高い圧力と長時間を要し、この間に粒子破壊による粒度変化がある。(3) 限界平均垂直応力は、標準砂では $\sigma_3 = 25 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ の条件下で存在する。(4) $\sigma_3 = 75 \sim 125 \text{ kg/cm}^2$ の同の圧力条件で、ゆるづめと密づめ供試体の軸差応力は一致するが、応力～ヒズミ曲線は低圧における両者の関係と似ている。その原因として、セリ断過程における粒子の移動の仕方が考えられる。(5) $\sigma_3 = 150 \text{ kg/cm}^2$ 以上でゆるづめの軸差応力が密づめのそれと上まわる。(6) 標準砂においては、 $\sigma_3 = 500$ 以下では Breakdown stress は存在しない。(7) モール包絡線は、軸差で勾配と変えるが、つねにゆるづめ低圧域包絡線の勾配を中心にして変動する。

4. 文献 ①三浦山田村等25日地球惑気学村講演会講演集Ⅲ-31, 1970. ② A.S. Verrill & G.W. Clough: Proc. ASCE, Vol. 94, No. SM3, 1968