

(株) 東京電力 高瀬川水力総建設所

二重作主 税
○ 代 田 昌 徳

1. ま え が き

粗粒材料のせん断強さを評価するには、せん断試験値自体にいくかの構成要素がからみあい、決して単純なものではない。今日ではこれら要因が吟味されその影響度を定量的に把握しようと試みられ成果が発表されている。筆者らはT.Nダム堤体材料のせん断特性を把握するために、モデル化した材料により三軸圧縮、一面せん断、安息角試験等一連の試験を実施したので、そのせん断特性、変形特性についての検討結果を紹介するものである。

2. 粗粒材料のせん断強さ、変形特性の支配要因

粗粒材料のせん断強さ、せん断変形に影響する要因として従来指摘されているものを列挙すれば

- 1) 粒子の材質(材料自体の強度)、形状、粒度、密度、含水状態など材料自体の物性、状態に起因するもの。(内的要因)
- 2) 三軸圧縮、一面せん断、単純せん断試験機などせん断機構あるいは供試体の最大粒径と大きさの関係などせん断試験機特性に起因するもの。(外的要因)
- 3) 拘束条件、排水条件などいわゆるせん断試験方法に起因するもの。(外的要因)

これら要因の複雑な組合せが実際のせん断強さとして得られるものと考えられるが、その影響度を把握し試験結果を適切に評価する必要がある。

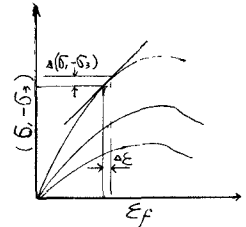
そこで外的要因を三軸圧縮、一面せん断、安息角試験と比較し、この場合の内的要因の影響を検討してみた。

また、変形特性の評価(三軸圧縮)には変形係数を下図に示す様に定義し、応力～ひずみ曲線から求めて関係表示を行った。これはフィルダムの様な盛立、湛水時等の応力解析には有限要素法(非線型、インテグラル荷重載荷法)が採られているがその物性値を求める手法を採ったものである。

$$\text{変形係数 } E = \frac{\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)}{\Delta \epsilon}$$

と定義し $E = f(\gamma_d, S_r, \sigma_1, \sigma_3)$ と与える。

なおここでは γ_d, S_r はパラメーターから外し $E = f(\sigma_1, \sigma_3)$ とした。



3. 試験概要

- 1) 試験機 表-1に示すとおり。
- 2) 試験材料 図-1表-2に示す円レキ、角レキを用いた。

注) 破碎損失率: 材料をJISA1121 ロンゼルス試験機のスリヤリ試験方法のE粒度に調整し3×EcJISの空筒にエリギーを加えた場合の40^{mm}フル通過量(破碎損失)の全体に対する百分率。

最大岡ゲキ比: Leesの $\bar{A}_n$ を推定するために9.52～4.76^{mm}の材料をφ30^{mm}×h35^{mm}のモールドに自然落下させて求めた。これによると 円レキ $\bar{A}_n = 1300$ 角レキ $\bar{A}_n = 2600$ で粒子形状の差は明らかである。

4. 試験結果と考察

- 1) 粒子の形状 図-2は円角レキの相対密度を一定として粒子形状がせん断強さ、安息角に与える影響を比較したものである。

α安息角ではつねに $\left[\frac{\text{円レキ}}{\sigma_R} \right] > \left[\frac{\text{角レキ}}{\sigma_R} \right]$ であり安息角では粒子のかみあい効果が主要なものと思われる。

表-1 試験機仕様

試験機仕様	供試体	拘束圧	軸荷重	付属機器	試験方法
大型三軸圧縮	300 ^{mm} φ ×600 ^{mm} h	蓄圧水槽式 $G_{max}=30MPa$ $G_{min}=80kPa$	$\sigma_{max}=10MPa$ $\sigma_{min}=80kPa$	体積変化 三軸室内 水位変化測定	試料最大径 63.5 ^{mm} 突回方法 バイブレータ縮固め せん断速度 1 ^{mm} /min ゴムスリーブ 2 ^{mm} ~10 ^{mm} (ネリ併用)
大型一面せん断	1500 ^{mm} φ ×1500 ^{mm} h ×600 ^{mm} h	$\sigma_{max}=9MPa$ (10 ^{MPa} まで) (200 ^{mm} ×200 ^{mm})	$\tau_{max}=1.3MPa$ (300 ^{mm})	体積変化 ダイヤルゲージ法	試料最大径 63.5 ^{mm} (200 ^{mm} まで)
安息角測定	2000 ^{mm} φ ×1000 ^{mm} h ×300 ^{mm} h			衝撃 側面打撃アーム 加速度計(5g) 動歪測定装置	試料最大径 63.5 ^{mm} (100 ^{mm} まで) 突回方法 バイブレータ 傾斜角 0~30° 10/10° 30°~40° 10/5° 40°~ 10/2° 傾斜速度 10/分(30°まで), 1/分(30°以上)

図-1
実験用粒径加積曲線

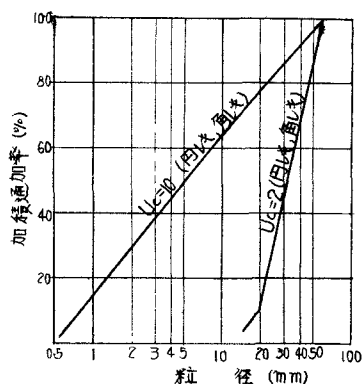


表-2 試験材料の物性

	岩種	比重	吸水率	破砕損失率	e_{max}
円レキ(河砂研削)	花崗岩	2.57	0.81%	10%	0.868
角レキ(掘削研削)	内緑岩	2.61	0.75%	16%	1.008

b. 三軸圧縮、一面せん断では低拘束圧部で σ_A [円レキ] $>$ σ_R [円レキ] であるが高拘束圧部では逆に $\sigma_A < \sigma_R$ となる傾向があり特に三軸圧縮で顕著である。(図-2) これは低拘束圧条件では、安息角の場合と同様に粒子のガミあい効果を発揮するが、高拘束条件になると偏平、細長な角レキはせん断に破碎しやすいためであろう。(破砕損失率、体積変化図-3参照)

c 変形係数 ϵ はつねに $E_A < E_R$ であり角レキの方が変形しやすく応力のモビライズされるひずみも角レキの方が大きい。(図-6)

2) 粒度ならびに密度 今回の一連の試験結果ならびに現地材料の試験結果から、せん断抵抗、変形係数と密度は主要な影響要素であり、ダルタンソーも巨視的にはほぼ同様な傾向を示す。また拘束係数とせん断強さ、変形係数との関係についても結果的には密度とせん断強さの問題に帰結される。

3) 含水状態 円レキ、角レキを飽和の状態とし、排水条件で三軸圧縮、一面せん断試験を行なった結果、同一試料でしかも含水状態により材料自体の強さが変化しないという条件であれば含水状態に関係なくせん断強さはほぼ一定である。ただし変形係数 ϵ は $E_{sat} < E_{dry}$ でありこれは粗粒材料の粒子間に水が浸入することにより固体まわりの特性が変化するためではないが、(図-5.6)

また安息角では空中および水中安息角を比較すれば円角レキ両方とも(空中) $>$ (水中)でありその理由は次の二点が考えられる。(図-7)

a 粒子間の浸水により固体まわりの特性が変化するうえ、三軸、一面せん断に比し拘束条件が微小であるためではないが。

b 空中安息角では材料がわずかに表面水をもっているとこれによるわずかなサクションが安息角に大きな影響を及ぼす。

4) せん断試験機特性 図-4に模式化して示すように

i) 三軸圧縮と一面せん断のせん断強さを比較すれば一面せん断の方が大きい。

ii) 安息角と三軸圧縮、一面せん断より求めた低拘束圧部でのせん断抵抗角を比較すると安息角の方が大きい。これらの結果は次のように考えられる。

a. 一面では粒子配列に無関係に特定の面での強引せん断のためせん断面での粒子のガミあい効果、ダルタンソーが最も大きい。

b 三軸では一面と同様にガミあい効果、ダルタンソーはあるが最も弱いゾーンでせん断されると変形が拘束され

に、くいたため一面よりせん断強さは小さい。

c) 安息角は三軸と一面の中間的な強度を示す。三軸、一面せん断では破砕による強度低下が主要因となる。

図-2 粒子形状と最大せん断強さ、安息角の関係

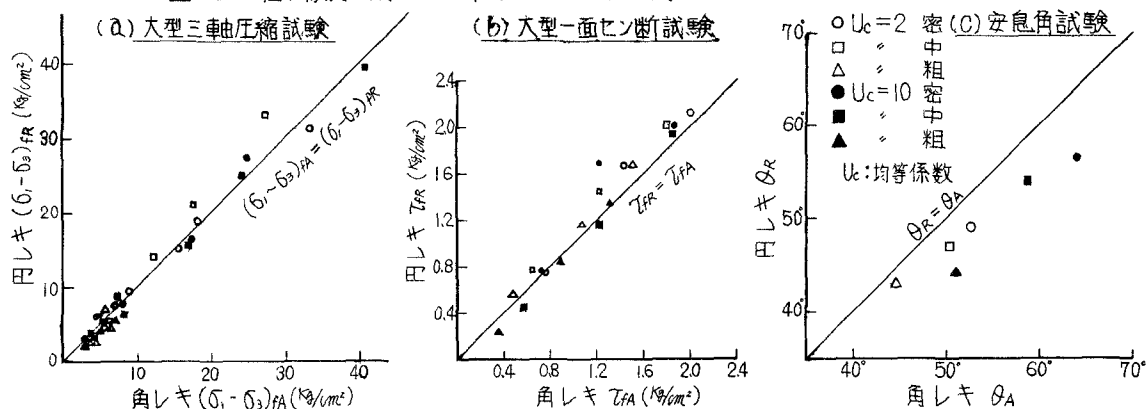


図-3 三軸圧縮による円角れき材料の側圧と体積変化の関係

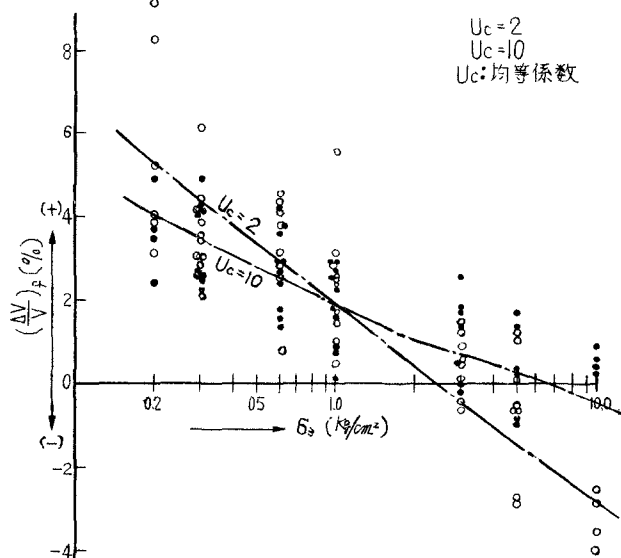


図-4

大型一面せん断、三軸圧縮、安息角試験結果比較

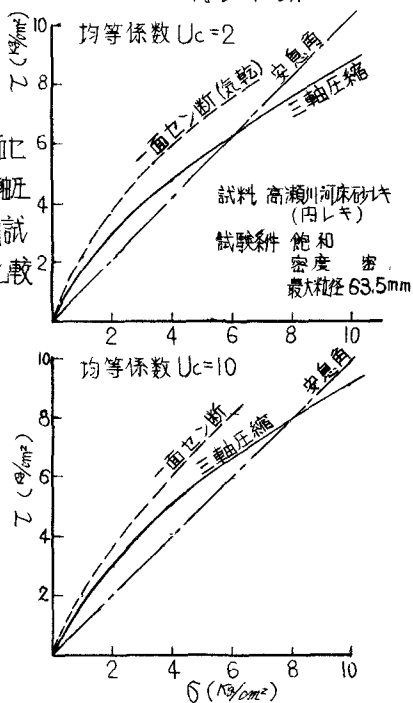


図-5 (a) 応力レベルと変形係数

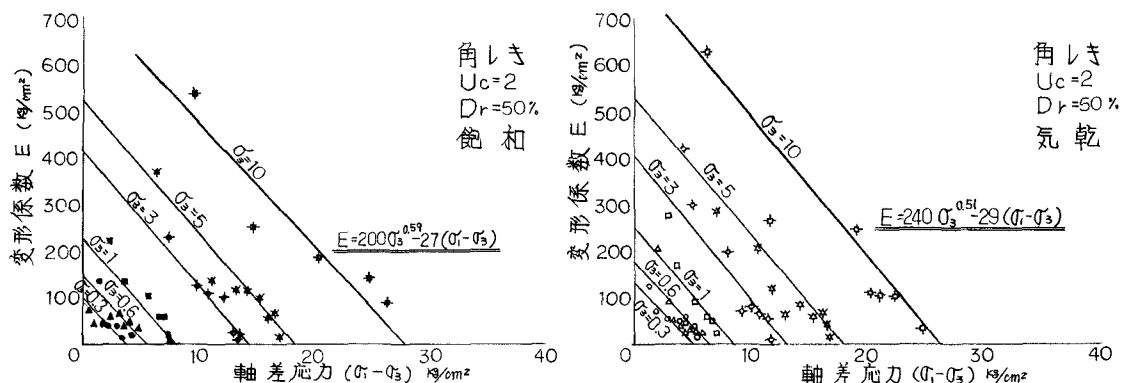


図-5(b) 応力レベルと変形係数

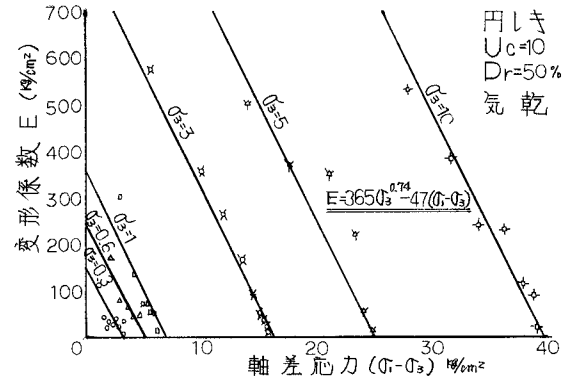
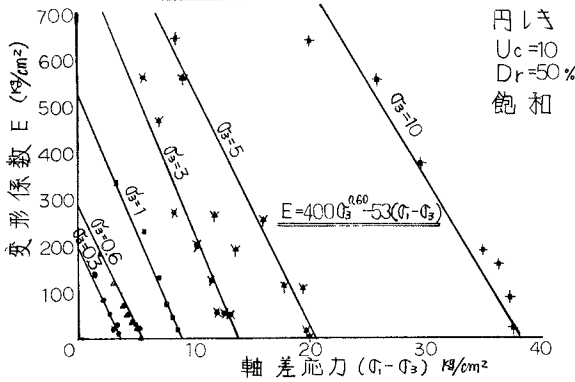


図-6(a) 粒子形状と変形係数(E50)

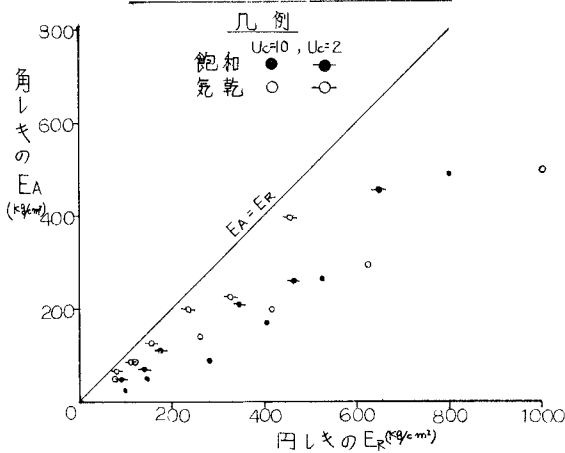
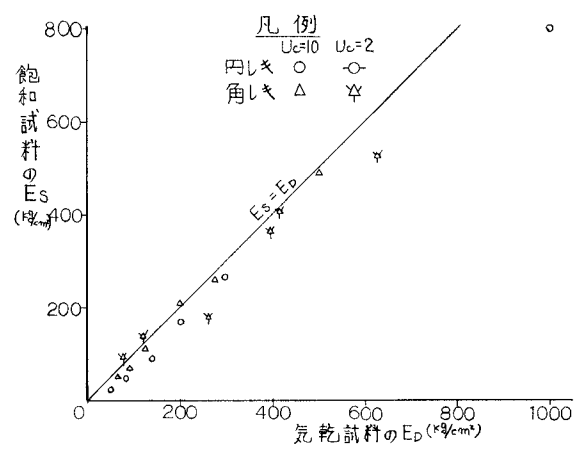


図-6(b) 含水状態と変形係数(E50)



5 ま と め

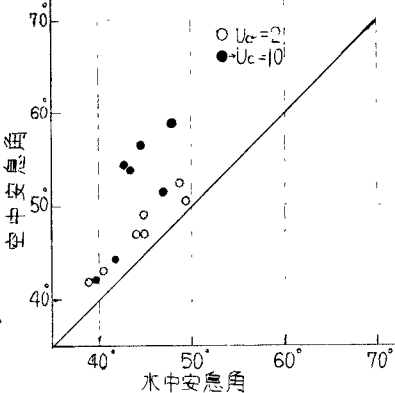
粗粒材料のせん断強さ・変形係数に及ぼす影響について円しき角しきのモデル化材料よりせん断特性を試験検討した結果、内的要因としては、材質および含水状態を別にすれば、他の要因すなわち粒子形状および粒度はいずれも密度を規制するファクターとして取扱うことができる。さらに含水状態の違いは、変形特性・安息角等には著しい差が見られ、せん断強さの影響は軽微のためこれを無視すると、粗粒材料の力学的特性は次式で表わされる。

粗粒材料の力学的特性 = f_1 (粒子の材質・密度)

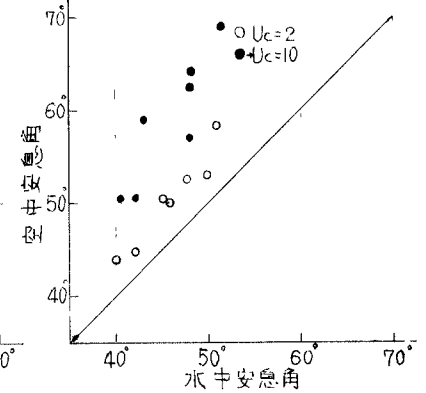
ここに密度 = f_2 (粒子形状・粒度)

また、外的要因についても、試験機特性を吟味して、せん断強さを評価する必要がある。

図-7 含水状態と安息角 (円しき)



(角しき)



参考文献

- 1) 吉越 洋：粒状体の内部摩擦角に影響する諸因子について 東大工学部論文集 第2巻、1972
- 2) ND Monarch, C.K. Chan, H.B. Seed & J.M. Duncan: "Strength and deformation characteristics of rockfill" Report No. TE-47-5 to State of Cal. from Department of Water Resources, Univ. of California, 1969
- 3) 岩片 透：粗粒材料のせん断試験の課題点とその結果の適用性、土基礎 66(2) 1964
- 4) 岩片 透・森 泰：粗粒材料のせん断試験の課題点 第8回土質工学研究発表会
- 5) 最上武雄：土質力学