

粗粒材料の繰返しせん断強度に及ぼす初期せん断力の影響

前 国土交通省 土木研究所 (現 水資源開発公団) 正会員 ○松浦 旬  
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 岩下友也  
 独立行政法人 土木研究所 正会員 山口嘉一

はじめに

現在、ロックフィルダムの耐震設計では、非地震時と地震時をかねて震度法によるすべり安定解析法を用いている。より合理的な手法の1つとして非地震時と地震時を分けて設計解析する方法が考えられる。地震時の解析には、動的な繰返しせん断強度を用いるのがより厳密である。ロックフィルダムのこれまでの地震変状、模型振動実験、および動的解析事例から初期せん断力を受けている上流法面付近の表層部に変状が生じることが多く見られる。そこで、本研究では、ロックフィルダムの粗粒材料を用いて繰返し非排水ねじりせん断試験を行い、初期せん断力が密詰め粗粒材料の繰返しせん断強度特性に及ぼす影響について評価した。

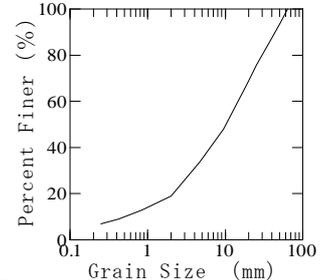


図-1 試験材料の粒度分布

試験概要

試験粗粒材料には、実ロックフィルダムの透水性材料である斑れい岩の砕石(A材)と安山岩質の河床砂礫(B材)を用いた。A材、B材の各粗粒材料を最大粒径  $D_{max}=63.5\text{mm}$ 、均等係数  $U_c=30$ 、平均粒径  $D_{50}=10\text{mm}$  の同一粒度分布に調整した。試験粗粒材料の粒度分布を図-1、物性を表-1に示す。試験には大型ねじりせん断試験装置を使用した。供試体は内径 40cm、外径 80cm、高さ 80cm の大型中空円筒体である。供試体は6層に分けて振動ランマーで、設定した相対密度  $D_r$

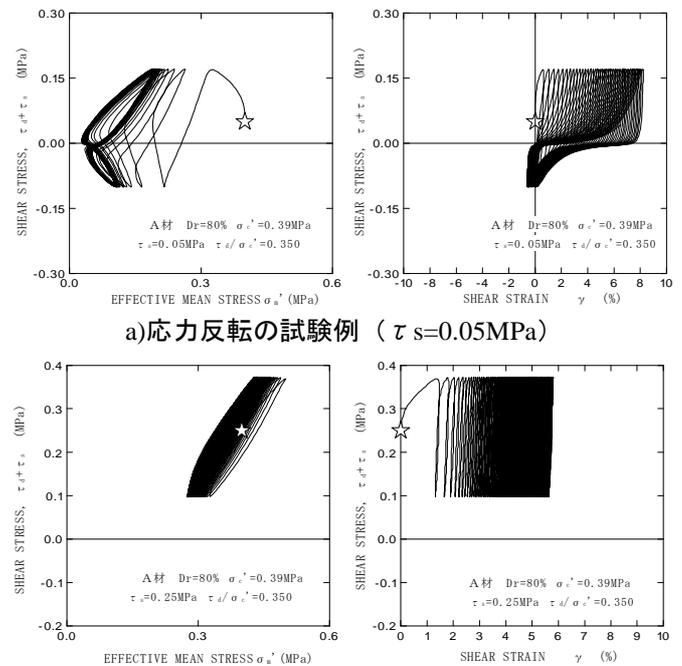
表-1 粗粒材料の物性値

材料名	A材	B材
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.931	2.584
吸水率 (%)	0.653	2.523
締め特性	最大間隙比 $e_{max}$	0.569
	最小間隙比 $e_{min}$	0.113
	$e_{max} - e_{min}$	0.456
	0.456	0.265

(A材: 80%、B材: 85%)に締め固めて作製した。供試体は有効拘束圧  $\sigma'_c$  (0.1, 0.39MPa) で等方圧密した後、排水条件でねじり力载荷し初期せん断応力 ( $\tau_s=0\sim 0.3\text{MPa}$ )を加えた。この状態から、非排水条件で軸方向応力、内側圧、外側圧一定のもと応力制御で 0.05Hz の正弦波の繰返しねじり力载荷 (応力振幅:  $\tau_d$ ) した (繰返し非排水ねじりせん断試験)。

試験結果と考察

図-2にA材の初期せん断応力が異なり、せん断応力が反転する試験ケースと反転しない試験ケースのストレスパス及びせん断応力 ( $\tau_d + \tau_s$ ) とせん断ひずみ  $\gamma$  の関係の例を示す。図-3に各繰返し载荷回数毎の最小平均有効応力  $\sigma'_{m,min}$  の推移、図-4に繰返し载荷回数毎の最大のせん断ひずみである、ピークせん断ひずみ  $\gamma_p$  の推移をそれぞれ異なる初期せん断応力の試験ケース毎に示す。応力非反転とは、せん断応力の正負の交番がなく、 $\tau_d + \tau_s$  が常に正 (応力载荷開始方向) であることを表す。応力反転する  $\tau_s=0, 0.05, 0.1\text{MPa}$  の試験ケースでは、 $\tau_d + \tau_s = 0$  付近で、 $\sigma'_m$  が 0 近くまで低下することにより剛性が低下し、繰返し载荷回数  $N$  が増加するにつれ、せん断ひずみ量が大きく増加する。一方、応力非反転の  $\tau_s=$



a) 応力反転の試験例 ( $\tau_s=0.05\text{MPa}$ )

b) 応力非反転の試験例 ( $\tau_s=0.25\text{MPa}$ )

図-2 CUTS 試験結果の時刻歴の例 A材

キーワード: 粗粒材料、ねじりせん断、せん断強さ、繰返し载荷、初期せん断、ダム

連絡先: 国土交通省 国土技術政策総合研究所ダム研究室, 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番, TEL 0298-64-2211, FAX 64-1168

0.25,0.3MPa の試験ケースでは  $\sigma_m'$  は 0 近くまでは低下せず、N が増加してもひずみの増加は少ない。このように  $\tau_s$  の違いによる応力反転、非反転の試験条件により、供試体の非排水せん断挙動は大きく異なり、生じるせん断ひずみ特性も異なる。これらの現象は初期せん断力が大きいほど初期応力状態が変相線に近くなることから説明できる。サイクリックモビリティ状態（以下 CM 状態）ではせん断応力が 0 付近で最も有効応力が低下する。応力反転の試験ケースでは、 $\tau_s$  を载荷すると少ない N で CM 状態になり、 $\sigma_{m,min}'$  は 0 に近くなり、剛性低下を生じる。ところが、応力非反転の試験ケースでは  $\tau_s$  が大きいことから繰返し载荷直後に CM 状態に入るものの、 $\tau_d + \tau_s = 0$  にせん断応力が達しないため、 $\sigma_{m,min}'$  は 0 近くまでは低下せず、剛性の低下が小さい。

図-5 に A 材、B 材についての繰返しせん断強度  $\tau_d/\sigma_c'$  と初期せん断応力比  $\tau_s/\sigma_c'$  を  $\sigma_c' = 0.1, 0.39\text{MPa}$  の試験ケースの各々について示す。ここに、繰返しせん断強度は N=10 回の繰返し载荷で、基準ピークせん断ひずみ  $\gamma_p$  が生じるのに必要な繰返しせん断応力比とした。なお、粒径の大きな粗粒材料の試験であるため、メンブレン・コンプライアンスの補正として、繰返しせん断応力比を一律 10% 低減した<sup>1)</sup>。また、応力反転と非反転の境を図中に示した。応力反転の領域では  $\tau_s/\sigma_c'$  がある程度の範囲までは、 $\tau_d/\sigma_c'$  は減少し、極小値をとっている。その理由は図-3 での説明のように応力反転内で  $\tau_s$  が载荷されると少ない N で CM 状態となり、急激に  $\sigma_{m,min}'$  が減少するからである。ただし、図-5 では N=10 を基準载荷回数としたケースを示したが、N の設定をより大きくとれば図-3 での各  $\tau_s$  に対応する  $\sigma_{m,min}'$  の差が小さいことから、 $\tau_s$  による  $\tau_d/\sigma_c'$  の減少傾向は小さくなる。応力非反転の領域では  $\tau_s$  が大きくなるほど、の全範囲で  $\tau_d/\sigma_c'$  は増加している。これは、図-3 の説明で述べたように  $\tau_s$  が大きいほど、 $\sigma_{m,min}'$  の低下が小さいためである。また、応力反転の試験ケースとは異なり、図-3 に示すように、 $\tau_s$  毎の  $\sigma_{m,min}'$  の差に N による変化はない。従って、応力非反転領域では基準回数 N を変えても、 $\tau_s$  による  $\tau_d/\sigma_c'$  の増加傾向は変わらない。今回、粒子形状の異なる A 材、B 材の 2 種類の粗粒材料で試験を行ったが、繰返しせん断強度に及ぼす初期せん断力の影響の傾向に差はなかった。また、砂の繰返し非排水ねじりせん断試験による結果<sup>2)3)</sup>と比較すると、応力反転領域における  $\tau_d/\sigma_c'$  が極小値をとる  $\tau_s/\sigma_c'$  が、今回の粗粒材料では、砂よりも大きい。全体的な傾向はほぼ同じであった。

まとめ

粒形の異なる 2 種の密な粗粒材料の中空円筒供試体を用いた繰返し非排水ねじりせん断試験を行い、初期せん断力を与えた繰返しせん断強度特性について以下の結果を得た。

- 1) 応力反転領域では、初期せん断応力  $\tau_s$  がある程度の範囲までは大きくなるほど、繰返しせん断強度  $\tau_d/\sigma_c'$  は減少する。この傾向は、基準ひずみが大きく、基準繰返し载荷回数が少ないほど強い。
- 2) 応力非反転領域では、 $\tau_s$  が大きくなるほど、 $\tau_d/\sigma_c'$  は増加する。
- 3) 上記 1)2)は、既往の砂についての試験結果とほぼ同様であった。

参考文献

1) 安田成夫・中村昭 他：繰返しねじり単純せん断試験による粗粒材料の動的強度，第 29 回土質工学研究発表会講演集，土質工学会，pp.895-896，1993。 2) 龍岡文夫・村松正重 他：砂の平面ひずみ繰返しねじり単純せん断非排水試験，第 16 回土質工学研究発表会講演集，土質工学会，pp.585-588，1980。 3) 関眞一・松尾修・古賀泰之：初期せん断力を受けた飽和砂の動的強度特性，第 24 回土質工学研究発表会講演集，土質工学会，pp.795-796，1988。

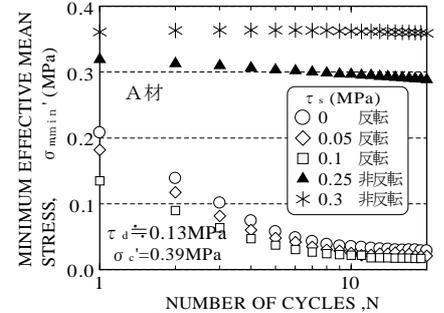


図-3 繰返し载荷回数毎の最小平均有効応力(A材,  $\tau_d=0.13\text{MPa}$ )

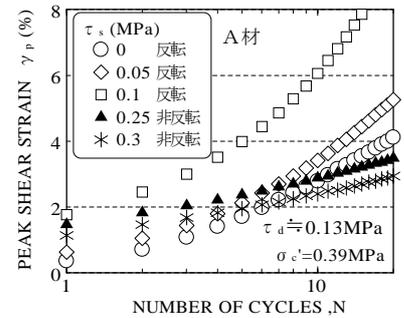


図-4 繰返し载荷回数毎のピークせん断ひずみ(A材,  $\tau_d=0.13\text{MPa}$ )

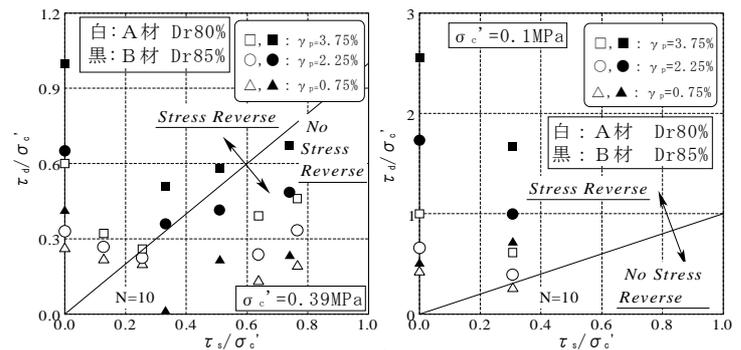


図-5 繰返しせん断応力比と初期せん断応力比の関係(N=10)