

Ⅲ - 228

粗粒材料の動的強度に及ぼす初期せん断応力の影響と間隙水圧の挙動

建設省土木研究所 正会員 高橋三津彦 安田成夫 岩下友也 中村 昭

1. まえがき

現在、ロックフィルダムの耐震設計においては震度法および修正震度法が用いられており、堤体材料の強度は室内の単調载荷の三軸試験によって求められる静的強度が用いられている。しかしながら、耐震設計手法をより合理的にフィルダムに適用するためには、堤体材料の動的強度特性を明確にする必要がある。本報告では、よく締固められたロック材料に対して、より原位置での応力状態に近い载荷が可能と考えられるねじり単純せん断試験装置により繰返し载荷試験を実施し、動的強度特性に対する初期せん断応力の影響を調べた。その際、特に間隙水圧の挙動に注目し、検討を行った。

2. 試験概要

試験装置は大型中空ねじり単純せん断試験装置¹⁾を使用した。供試体寸法は内径40cm、外形80cm、高さ80cmである。载荷方式は電気油圧サーボ方式を採用し、ひずみ制御、応力制御両方法による単調载荷試験、繰返し载荷試験が可能である。

試験に用いた試料は三国川ダムのロック原石山から採取されたもので、非常に堅硬かつ良質の斑れい岩である。その物性値を表-1に、粒度分布曲線を図-1に示す。

表-1 材料の物性値

Specific gravity	G _s	2.933
Water content	ω	0.54(%)Air-dry
Maximum void ratio	e _{max}	0.569
Minimum void ratio	e _{min}	0.142
Maximum grain size	D _{max}	63.5mm
Coefficient of uniformity	U _c	30
Dry density of specimen	γ _d	2.46g/cm ³

供試体の形状は、外径80cm、内径40cm、高さ80cmの中空供試体となっている。供試体の相対密度はDr=85%とした。図-1にはBanerjee *et al.*²⁾がOrovilleダム堤体材料を用いて非排水の繰返し三軸試験を実施した供試体の粒度分布曲線も示しており、今回の試験材料とほぼ同じ粒度分布になっている。彼らによれば、このような材料ではメンブレン・ペネトレーションの補正は100%の間隙水圧に達するときの繰返しせん断応力比を一律10%低減するとしており、今回の繰返し中空ねじり単純せん断試験においてもせん断応力比を一律10%低減することとした。飽和度はSkemptonのB係数によりチェックし、0.95以上の供試体を試験に用いた。また、試験は荷重振幅制御により周波数0.05または0.1Hzの正弦波で行った。初期せん断応力は0.0, 0.5, 1.0, 2.5, 3.2kgf/cm²の5種類とし、初期せん断载荷が終了して繰返し载荷をかける直前まで排水条件で、繰返し载荷時は飽和非排水条件とした。初期せん断载荷前の等方圧密時の有効拘束圧σ_mは4.0kgf/cm²とした。

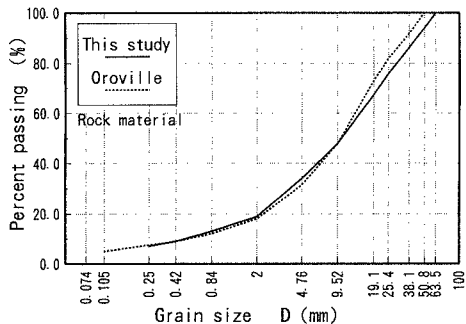


図-1 試験材料の粒度分布

供試体の形状は、外径80cm、内径40cm、高さ80cmの中空供試体となっている。供試体の相対密度はDr=85%とした。図-1にはBanerjee *et al.*²⁾がOrovilleダム堤体材料を用いて非排水の繰返し三軸試験を実施した供試体の粒度分布曲線も示しており、今回の試験材料とほぼ同じ粒度分布になっている。彼らによれば、このような材料ではメンブレン・ペネトレーションの補正は100%の間隙水圧に達するときの繰返しせん断応力比を一律10%低減するとしており、今回の繰返し中空ねじり単純せん断試験においてもせん断応力比を一律10%低減することとした。飽和度はSkemptonのB係数によりチェックし、0.95以上の供試体を試験に用いた。また、試験は荷重振幅制御により周波数0.05または0.1Hzの正弦波で行った。初期せん断応力は0.0, 0.5, 1.0, 2.5, 3.2kgf/cm²の5種類とし、初期せん断载荷が終了して繰返し载荷をかける直前まで排水条件で、繰返し载荷時は飽和非排水条件とした。初期せん断载荷前の等方圧密時の有効拘束圧σ_mは4.0kgf/cm²とした。

3. 試験結果および考察

ひずみ量をパラメータとして10回の繰返し回数で所定のひずみに達するのに要するせん断応力比SR₁₀と初期せん断応力τ₀の関係を示したものが図-2である。全体的に初期せん断応力が増加すると、SR₁₀、すなわち強度が上昇している。非排水試験での間隙水圧とダイレイタンスの間に密接な関係があると考えられる。この関係を見るため、図-2に単調载荷の

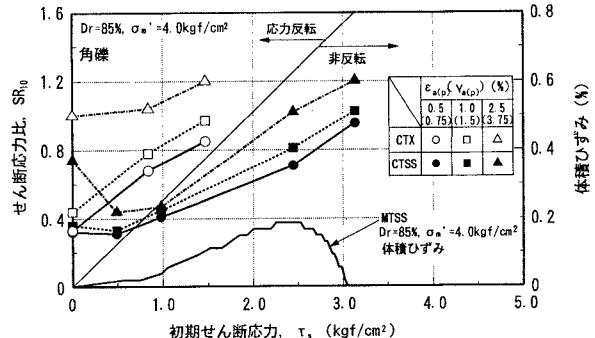


図-2 初期せん断応力の影響

排水条件下でのねじり単純せん断試験におけるせん断応力と体積ひずみの関係も併せて示してある。ここで、ひずみと間隙水圧の関係を明らかにするため、図-3に各初期せん断応力下で繰返し载荷初期の十数波程度のせん断ひずみに伴う間隙水圧の挙動を示した。 $\tau_s = 0.0, 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ では第1波から間隙水圧は上昇しており、以後は常に正の値をとっているのに対し、 $\tau_s = 2.5, 3.2 \text{ kgf/cm}^2$ では最初に減少方向に向かい、その後は各サイクルごとにせん断ひずみが最大になる点では負の値をとっている。次に角礫において各初期せん断応力と間隙水圧の最小値、すなわち各サイクルにおけるせん断ひずみが最大になる点での間隙水圧がどのような関係にあるのかを見るため、2波目及び10波目での間隙水圧の最小値とその時の繰返しせん断応力比の関係を示したものが図-4、図-5である。また、同図には参考のため、動的強度試験と同一の条件で作製した供試体に対する中空ねじり単純せん断試験機による非排水静的せん断試験での間隙水圧の挙動も示している。ここに見られるように、2波目、10波目の両者において動的な間隙水圧の最小値は静的試験での間隙水圧の動きに良く一致している。つまり、動的強度試験での間隙水圧の最小値は、初期せん断応力载荷を終了し、繰返し载荷を開始する直前までは排水条件であるため間隙水圧が0であったにもかかわらず、あたかも初期せん断応力载荷時にも非排水状態であったかのような値を示している。また、このような傾向があることは、初期せん断応力が上昇するにつれて強度が増加することが間隙水圧の影響であることも示している。しかし図-4と図-5を比較してみるとわずかではあるが各試験条件において間隙水圧の最小値は上昇しており、これがひずみの発生に程度に影響を与えていることも考えられる。また、図-2には繰返し三軸試験（CTX）の結果も併せて表示してあるが、三軸試験では応力反転領域で初期せん断応力の増加に伴ってせん断応力比が増加しているのに対して、ねじり単純せん断試験では応力反転領域では増加せず、非反転領域で急激に増加している点にも注目される。

4. まとめ

良く締固められたロック材料に対する繰返しねじり単純せん断試験を行った結果、繰返し载荷時の間隙水圧の各サイクルでの最小値は初期せん断応力载荷時において排水条件であっても、非排水条件であったと同様の値をとることが明らかとなった。そのため初期せん断応力が増加すると動的強度が上昇する傾向にあると考えられる。

【参考文献】

- 1) 松本徳久, 渡辺和夫, 大野一昭 (1984); 「大型せん断試験装置を用いた標準砂とロック材料の動的変形特性試験」, 土木研究所資料, 第2132号
- 2) Banerjee, N.G., See, d.H.B. and Chan, C.K. (1979); 「Cyclic Behavior of Dense Coarse-Grained Materials in Relation to the Seismic Stability of Dams」, College of Engineering, University of California, Berkeley, California, UCB/EERC-79/13

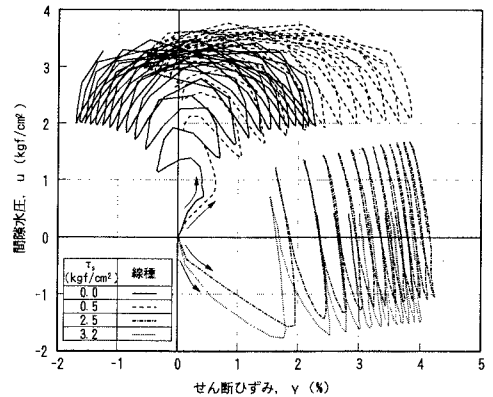


図-3 初期せん断応力による間隙水圧への影響

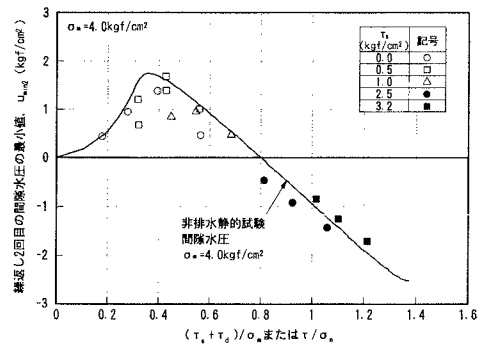


図-4 繰返し2回目の間隙水圧の最小値

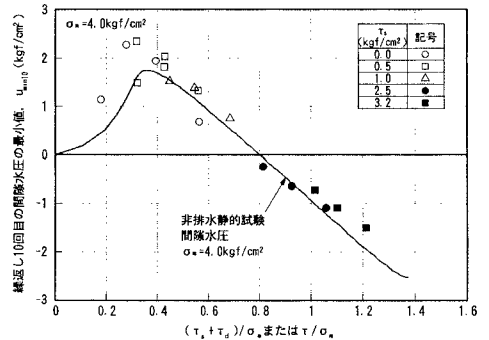


図-5 繰返し10回目の間隙水圧の最小値