

III-A 112 礫形状の異なる密な粗粒材料の動的強度特性

建設省土木研究所 正会員○館野 悟 建設省土木研究所 正会員 岩下 友也
 同上 津國 正一 建設省北陸地建 中村 昭

1. まえがき

ロックフィルダムの合理的な耐震設計を行う上で堤体の大半を占める粗粒材料の地震時の強度特性を明らかにすることは重要なことである。また、近年は堤体材料として碎石（角礫材）の他に、現場調達し易いサイトでは、河床砂礫（円礫材）を用いるダムもある。本研究では、よく締固められた角礫及び円礫材料を対象として繰返し三軸試験及び繰返しねじり単純せん断試験を実施し、礫形状の異なる密な粗粒材料の動的強度特性について検討した。

2. 試験概要

三軸試験に用いた供試体は径30cm、高さ60cmの円柱供試体であり、ねじり単純せん断試験では外径80cm、内径40cm、高さ80cmの中空供試体を用いた。供試体の作製は試料を6層分に分け、各層を振動ランマーで目標相対密度 $Dr=85\%$ に締固めた。最終層の端面のくぼみには0.8~2.0mm程度の粒径を用いて平滑に整形した。また、三軸試験ではメンブレンペネトレーションの影響を少なくするため、ゴムスリーブ（厚さ2mm）表面のくぼみにベントナイトを埋め、ゴムスリーブ（厚さ2mm）をもう一枚装着した。供試体はB値0.95以上に飽和させた。繰返し三軸試験（CTX）は、等方圧密後非排水条件で側圧を一定にし軸圧のみを応力制御により0.05Hzの正弦波形の繰返し载荷した。繰返しねじり単純せん断試験（CTSS）では、等方圧密後非排水条件で応力制御により0.05Hzの正弦波形の繰返しねじり载荷した。また、試料の礫材質は、堅硬な斑れい岩である角礫材Ⅰ（円磨度（粒子の角及び稜の平均半径/粒子の最大内接円の半径） $Rd=0.31$ ）、塊状の輝緑凝灰岩である角礫材Ⅱ（ $Rd=0.33$ ）及び安山岩質の河床砂礫である円礫材（ $Rd=0.63$ ）であり、その物理特性を表-1に示す。

本試験では、3種の粗粒材料に対して粒度分布（図-1）と相対密度（ $Dr=85\%$ ）を同じに設定し、その動的強度特性を比較検討した。

3. 試験結果と考察

3.1 動的強度の定義

10回の繰返し载荷で片振幅ひずみ（ ϵ_{SA} または γ ）を発生させるのに必要なせん断応力比を動的強度 SR_{10} とし、(1)、(2)式のように定義した。ここに、メンブレンペネトレーション補正として繰返しせん断応力比を一律10%低減することとした（詳細は文献1）を参照）。

$$SR_{10}(\epsilon_{SA}) = \tau_{d10}(\epsilon_{SA}) / \sigma_m' \quad \dots (1)$$

$$SR_{10}(\gamma) = \tau_{d10}(\gamma) / \sigma_m' \quad \dots (2)$$

ここに、 σ_m' : 圧密後の平均有効主応力、 τ_d : 繰返しせん断応力振幅、 ϵ_{SA} : CTXでの動的強度を規定する片振幅ひずみ、 γ : CTSSでの動的強度を規定する片振幅せん断ひずみ。

3.2 動的強度特性

図-2(a)に繰返し三軸試験（CTX）による $SR_{10}(\epsilon_{SA})$ と ϵ_{SA} の

表-1 材料の物性値

	角礫材Ⅰ	角礫材Ⅱ	円礫材
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.930	2.915	2.575
含水比 W (%)	0.54	1.27	1.03
目標間隙比 $e(Dr=85\%)$	0.206	0.281	0.207
最大間隙比 e_{max}	0.569	0.569	0.432
最小間隙比 e_{min}	0.142	0.230	0.167
最大粒径 D_{max} (mm)	63.5	63.5	63.5
均等係数 U_c	30	30	30
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	2.46	2.261	2.13
円磨度 R_d	0.31	0.33	0.63
圧裂強度 (MPa)	22.3	10.1	14.0

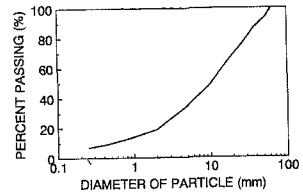


図-1 粒度分布

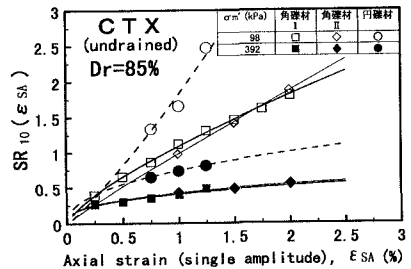


図-2(a) $SR_{10}(\epsilon_{SA})$ と ϵ_{SA} の関係

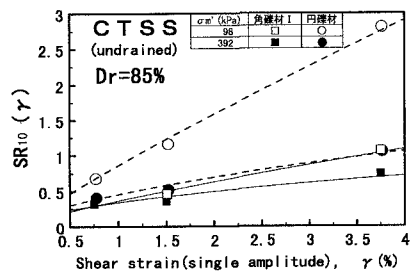


図-2(b) $SR_{10}(\gamma)$ と γ の関係

関係を示す。SR₁₀(ϵ_{SA})は、材質の異なる角礫材 I、II においても良く一致し、同一の σ'_m では角礫材より円礫材が大きい。また、これは繰返しねじり単純せん断試験 (CTSS) による結果 (図-2(b)) においても同様の傾向を示している。

3.2.1 礫強度の動的強度への影響

繰返し载荷試験による粒子の破碎は、Marsal の破碎率で角礫材 II が 0.07~0.49%、円礫材が 0.11% と少ない。繰返し载荷による粒子間接点で生じる破碎による動的強度への影響は少ないと考えられる。また、角礫材の圧裂強度は、角礫材 I では 22.3MPa、角礫材 II では 10.1MPa と礫強度に差があるが図-2(a) に示す動的強度 SR₁₀(ϵ_{SA}) は良く一致している。動的強度に及ぼす礫強度の影響は小さい。

3.2.2 過剰間隙水圧の動的強度への影響

SR₁₀(1.0%) にほぼ対応する試験ケースを例として角礫材 II と円礫材における過剰間隙水圧 PWP の履歴 (载荷 10 波程度) を図-3 に示す。両試料では、負の過剰間隙水圧の発生に大きな差がある。図中の * 印は载荷 10 波目において過剰間隙水圧の最小値 PWP_{10min} が生じる位置を示す。図-4(a), (b) は、CTX と CTSS による PWP_{10min} とこれにほぼ対応する SR₁₀(1.0%)、SR₁₀($\gamma=3.75\%$) の関係を示す。試料及びせん断試験法によらず SR₁₀(1.0%)、SR₁₀($\gamma=3.75\%$) は、PWP_{10min} が小さい程動的強度は増加し、同一 σ'_m では礫形状によらず直線的な傾向を示す。円礫材における PWP_{10min} は σ'_m によらず常に角礫材より小さい値を示し、SR₁₀(1.0%)、SR₁₀($\gamma=3.75\%$) は角礫材より大きい傾向にある。

図-5 に圧密排水条件の単調载荷ねじり単純せん断試験 (MTSS) によるダイレイタンスー係数 ($-dv/d\gamma$: 体積ひずみ増分/せん断ひずみ増分) と試料礫の円磨度 Rd の関係を示す。本試験の同一相対密度設定条件では、円礫材の方が角礫材 I よりダイレイタンスー係数が大きく、ダイレイタンスー特性が大きい。図-4 に示す密詰め粗粒材料の動的強度は、ダイレイタンスーに起因する負の過剰間隙水圧の発生特性に大きく影響を受ける。

4. まとめ

本試験条件における礫形状の異なる密な粗粒材料の動的強度特性は、以下のとおりである。

- ① 礫自体の強度の違いが動的強度に及ぼす影響は少ない。
- ② 同一粒度分布、同一相対密度に調整した円礫材料は角礫材料より、ダイレイタンスー特性に起因する負の過剰間隙水圧が大きく発生し、動的強度は大きい。

参考文献

1) 安田・中村ら: 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.

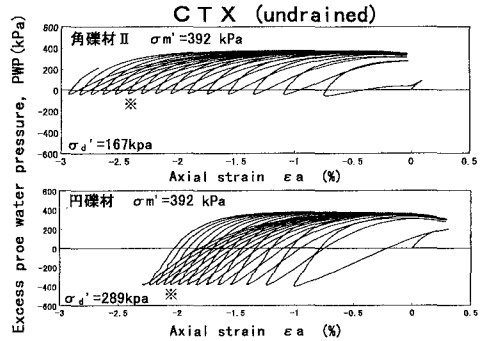


図-3 過剰間隙水圧 PWP の履歴 (CTX)

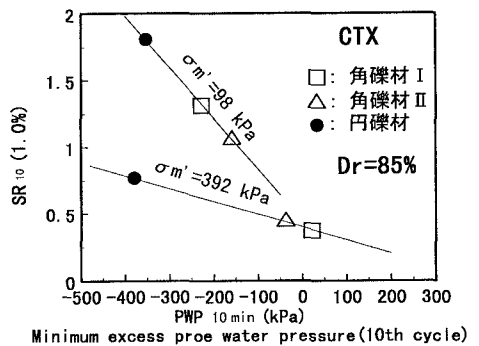


図-4(a) PWP_{10min} と SR₁₀(1.0%) の関係

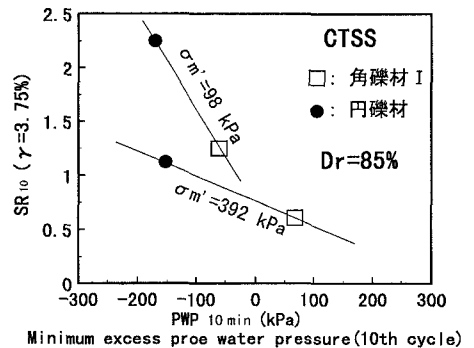


図-4(b) PWP_{10min} と SR₁₀($\gamma=3.75\%$) の関係

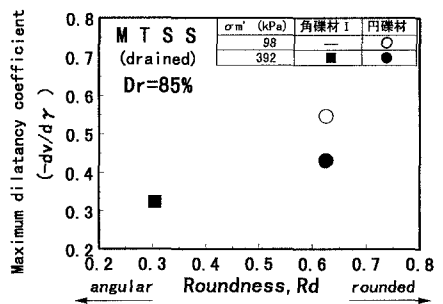


図-5 ダイレイタンスー係数と円磨度の関係