

(III-31) 粗粒材料の非排水繰返しせん断強度特性に及ぼす粒形の影響

国土交通省 土木研究所 正会員 松浦 旬 岩下友也 山口嘉一

はじめに

砂質土の液化強度については、多くの試験・研究がなされている。しかし、粗粒材料、特に締固めた粗粒材料の繰返しせん断強度についての試験は少ない。筆者らはロックフィルダムの堤体材料であるロック材を対象としてその動的強度特性について大型室内試験により実験的研究を実施してきた。本論文では、岩種（粒形、岩質）の異なる3種類の粗粒材料を用いて、大型三軸試験を実施し、粗粒材料の粒形や岩質が非排水繰返しせん断強度、および排水せん断破壊強度に及ぼす影響を評価した。

試験材料

試験粗粒材料には、斑れい岩の碎石であるA材、安山岩質の河床砂礫であるB材、輝緑凝灰岩の碎石であるC材の3種類を用いた。試験材料の物性を表-1に示す。点載荷試験により求めた3材の岩石の点載荷圧裂強度はA材が最も大きく、次いでB材、C材の順である。また、粒形を表す値として、凹凸係数 $FU^{1)}$ を用いる。 FU は、粒子投影断面の外周長が L 、断面積が A の形状係数 $f=A/L^2$ を円の形状係数 $f_c=1/(4\pi)$ で除し、 $FU=ff_c=4\pi A/L^2$ である。完全球の場合に $FU=1.0$ であり凹凸の度合いが激しくなるほど小さくなる。碎石であるA材、C材の FU はほぼ同じで、河床砂礫であるB材の FU は、A材、C材の FU より大きい。

試験方法

A材、B材、C材の各粗粒材料を最大粒径 63.5mm、均等係数 30 の同一粒度分布に調整した。最大間隙比 e_{max} と最小間隙比 e_{min} は締固め試験より算出した。締固め試験では $\phi 30\text{cm}$ のモールドに6層分に分けた材料を1層ずつ投入し各層毎に振動ランマーで所定の時間締固めた。 e_{max} は材料投入のみによる間隙比とし、 e_{min} は締固め時間 t による間隙比の減少がほぼ収まる $t=300\text{sec}$ (B材は $t=480\text{sec}$) 時の間隙比とした。その値を表-1に、また FU との関係を図-1に示す。供試体 ($\phi 30\text{cm} \times h 60\text{cm}$) は、異なる相対密度 Dr (A材: 56, 66, 80, 89%, B材: 75, 85, 95%, C材: 85%) で6層に分けて振動ランマーで締固めて作成した。各試料について相対密度 $Dr=85\%$ 相当の供試体を作成段階での Marsal の破砕率を図-2に示す。各材料とも破砕率は小さいが、3材料の破砕率を比較するとC材が最も大きく次いでB材、A材の順であり、凹凸係数との関連は見られない。試験は飽和条件で行い、有効拘束圧 σ'_c ($0.1 \sim 0.59\text{MPa}$) で等方圧密した。非排水繰返し三軸試験 (CTX 試験) は、側圧一定のもとで軸方向に $0.05 \sim 0.1\text{Hz}$ の正弦波を載荷した。同一条件の供試体を用いて排水単調載荷三軸試験 (MTX 試験) も行

表-1 試験粗粒材料の物性値

	A材	B材	C材
土粒子密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.931	2.584	2.901
吸水率 (%)	0.653	2.523	1.291
点載荷圧裂強度 (MPa)	22.3	14.3	9.69
凹凸係数 FU	0.861	0.911	0.852
最大間隙比 e_{max}	0.569	0.432	0.569
最小間隙比 e_{min}	0.113	0.167	0.140
$e_{max} - e_{min}$	0.456	0.265	0.429

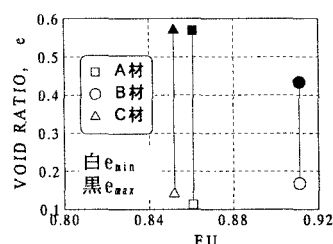


図-1 最大および最小間隙比と凹凸係数

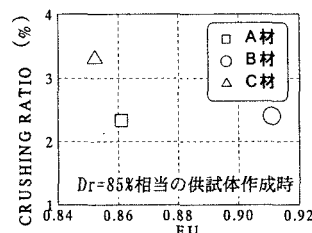


図-2 Marsal の破砕率と凹凸係数

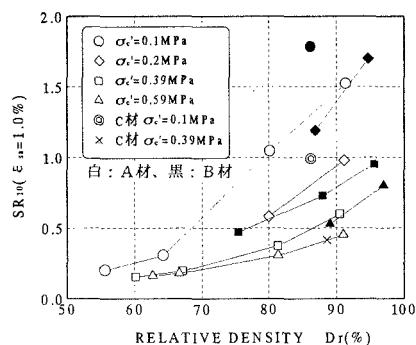


図-3 繰返しせん断強度と相対密度

キーワード：粗粒材料、三軸試験、繰返し載荷、粒形、せん断強さ、ダイレイタンシー

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市旭1番, TEL 0298-64-2211, FAX 0298-64-0164

った。

試験結果および考察

CTX 試験において、10 回の繰返し載荷で、規定した片振幅軸ひずみ ε_{sa} を発生させるのに必要なせん断応力比を、繰返しせん断強度 $SR_{10}(\varepsilon_{sa})$ とする。なお、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²⁾。3 種類の粗粒材料の $SR_{10}(\varepsilon_{sa}=1.0\%)$ と相対密度 Dr の関係を図-3 に示す。同じ Dr で比較すると B 材の $SR_{10}(\varepsilon_{sa})$ が A 材の値より大きく、C 材の値が最も小さい。繰返しせん断強度に及ぼす粒形の影響の度合いを見るため、凹凸係数 FU を指標とした $SR_{10}(\varepsilon_{sa}=1.0\%)$

を図-4 に整理した。 FU が小さい A, C 材に比べて FU が大きい B 材の $SR_{10}(\varepsilon_{sa}=1.0\%)$ が大きい傾向にある。

繰返しせん断強度 $SR_{10}(\varepsilon_{sa})$ は、粗粒材料のダイレイタンスー特性に関連している³⁾。異なる粒形の粗粒材料における傾向を見るため、3 材料の MTX 試験によって得られた $Dr=80\sim 90\%$ の最大ダイレイタンスー係数（〔体積ひずみ増分〕／〔軸ひずみ増分〕の最大値）と凹凸係数 FU の関係を図-5 に示す。 FU の大きい B 材は、A, C 材より最大ダイレイタンスー係数が大きい。 FU の大きい B 材は、図-1 に示したように $e_{max}-e_{min}$ が小さく、つまり体積収縮の余地が小さいため、ダイレイションによる体積膨張が大きくなり、 $SR_{10}(\varepsilon_{sa})$ が大きくなると考えられる。

MTX 試験によるせん断破壊強度 τ_f と FU の関係を図-6 に示す。図-4 に示した FU の大きな B 材の繰返しせん断強度 $SR_{10}(\varepsilon_{sa})$ が A, C 材に比べ明らかに大きいのに対し、せん断破壊強度 τ_f は同一の Dr 条件で比べると材料の FU との明瞭な関連は見られない。本論文で $SR_{10}(\varepsilon_{sa})$ を規定した片振幅軸ひずみ ε_{sa} は 1.0% であるが、MTX 試験における破壊時の軸ひずみ ε_a は 3%~6% である。ひずみレベルが大きくなると、載荷による材料の破碎が生じやすくなる。 $SR_{10}(\varepsilon_{sa})$ が試験材料の粒形に大きく影響するのに対し、 τ_f は、粒形の違いだけではなく、岩石強度（例えば、点載荷圧裂強度：A 材>B 材>C 材）や破碎性（図-2 より C 材>B 材>A 材）にも影響されとされる。

結論

凹凸係数 FU が大きい粒形の粗粒材料ほど、同一粒度分布および相対密度条件では、繰返しせん断強度が大きくなる。つまり、粒子が円みを帯びている河床砂礫は碎石よりも繰返しせん断強度が大きい。これは、粒形の違いが締め固め特性（最大・最小間隙比）の差になり、ダイレイタンスー特性が異なるためと考えられる。ただし、着目するひずみレベルが大きいせん断破壊強度 τ_f は材料の破碎性の相違もあり、粒形による差は規定ひずみレベルの小さい繰返しせん断強度より顕著に現れない。

【参考文献】 1) 吉村優治・松岡元：砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化法，土木学会論文集，No.463/Ⅲ-22，pp.95-103，1993.3. 2) 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.895-896，1993.6. 3) 岩下友也・館野悟他：粗粒材料の繰返しせん断強度とダイレイタンスー特性の影響，第 24 回地震工学研究発表会講演論文集，pp.529-532，土木学会，1997.7.

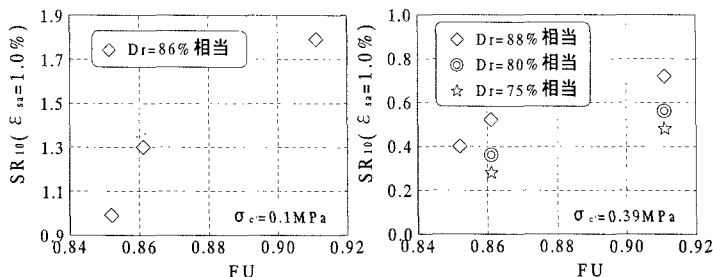


図-4 繰返しせん断強度と凹凸係数

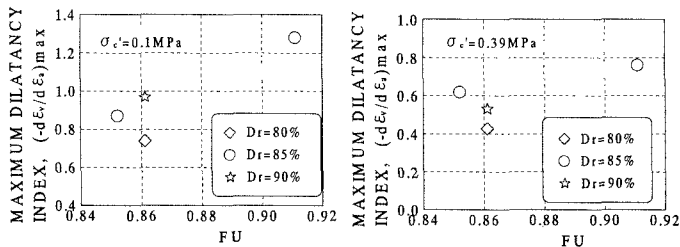


図-5 最大ダイレイタンスー係数と凹凸係数

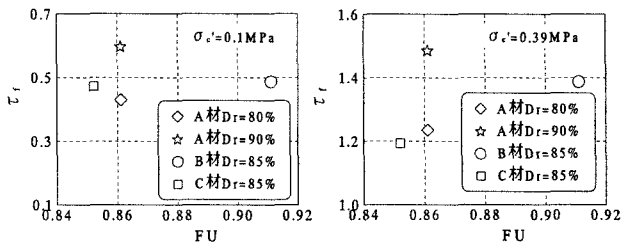


図-6 せん断破壊強度と凹凸係数