

III-242

繰返しおよび単調載荷のねじり単純せん断試験による粗粒材料のせん断剛性率の比較

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 多賀恭一

1. まえがき

ロックフィルダムや人工島など、粒径の大きな粗粒材料を使用した土構造物の地震時の動的挙動解析を実施する際、粗粒材料の微小ひずみ領域における動的物性値を把握する必要がある。しかしながら、このような材料の動的物性値を室内試験で得るには、測定精度が高くかつ大型の繰返し載荷試験装置が必要であり、多大の労力を要することから、研究事例は砂質土を用いた室内試験に比べ少ない。

さて、単調載荷試験は弾性領域から破壊に至るまでの塑性領域を対象とした試験であるが、微小ひずみ領域（せん断ひずみ $\gamma = 10^{-6} \sim 10^{-3}$ ）において繰返し載荷試験を包含した試験と言えなくはなく、微小ひずみ領域において単調載荷試験と繰返し載荷試験の関連性が注目される¹⁾。このことは単調載荷試験により材料の強度特性を求められるばかりでなく、動的物性値をも推定できるという試験の単純化につながる。

本報告は、大型のねじり単純せん断試験装置を使用し、粗粒材料を対象として実施した、微小ひずみ領域の物性値に着目した室内の繰返し載荷試験および単調載荷試験の結果について紹介するものである。

2. 試験材料および装置

試験装置は大型中空ねじり単純せん断試験装置²⁾を使用した。供試体寸法は内径 40cm、外形 80cm、高さ 80cm である。載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載荷試験、繰返し載荷試験が可能である。また、微小領域のせん断ひずみを計測するために最大計測容量が 4mm の渦電流型の微小変位計を設置している。

試験に使用した材料は表-1 に示したような 2 種類のもので、一方は堅硬かつ良質な斑れい岩（角礫材料）であり、他方は河床砂礫よりなる円礫材料である。粒度分布は両者が一致するように粒度調整を施しており、その粒度分布曲線を図-1 に示す。

3. 試験方法

試験は全て不飽和（気乾状態）の圧密排水（排気）試験であり、繰返し載荷試験はステージテストとした。各段階の平均主応力 $\sigma_m = 0.1, 0.2, 0.39 (0.59) \text{MPa}$ である。各拘束圧で圧密を行い、圧密完了後、0.1Hz の正弦波で繰返し応力を加え、その応力を段階的に大きくして（一段階につき 12 回繰返し、10 回目のデータを結果として採用）その時の発生ひずみが 5×10^{-4} 付近まで達すると次の拘束圧段階へ進み、同様の操作を繰り返すという手順で試験を実施した。

一方、単調載荷試験はねじりせん断ひずみ速度制御とし、ひずみ速度は 0.5%/min で、15% の軸ひずみまでせん断を継続して破壊強度を確認した。なお、圧密時の主応力比 σ_1 / σ_3 は全て 1 とした（ただし、 σ_1 ；軸応力、 σ_3 ；半径方向の拘束応力）。

4. 試験結果および考察

単調載荷と繰返し試験により求められたせん断剛性率とせん断ひずみの関係を図-2 (a), (b) に示す。角礫、円礫ともいずれの拘束圧においても、せん断ひずみ γ が小さい領域では単調載荷試験と繰返し載荷試験

表-1 材料の物性値

		ANGULAR ROCK	ROUND ROCK
Specific gravity	G _s	2.933	2.575
Water content	w (%)	0.54	1.03
Maximum void ratio	e _{max}	0.569	0.432
Minimum void ratio	e _{min}	0.142	0.167
maximum grain size	D _{max} mm	63.5	63.5
Coefficient of uniformity	U _c	30	30
Dry density of specimen	ρ_s g/cm ³	2.46	2.13

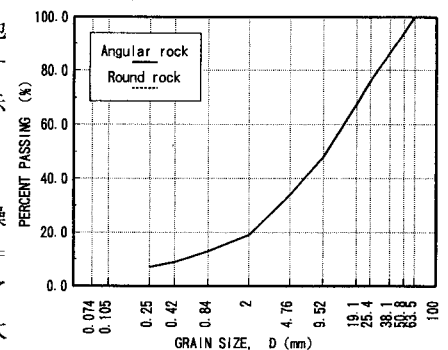


図-1 試験材料の粒度分布

の結果は良く一致している。このことより、単調載荷試験によって求められるせん断剛性率から繰返し載荷試験によるせん断剛性率をある程度推定できることが確認された。

図-3に角礫および円礫材料について $\gamma \approx 3 \times 10^{-6}$ のときの G を G_0 として正規化したせん断剛性率 G/G_0 と γ の関係を示す。低拘束圧では、角礫と円礫のせん断剛性率は一致しているが、拘束圧が大きくなるにつれて角礫と円礫の差が出てくる。すなわち、円礫は角礫に比べて拘束圧依存性が認められる。

岩崎³⁾や国生⁴⁾による豊浦砂の研究によれば、Hardin et al.⁵⁾の提案した e の関数 $\alpha = (2.17 - e)^2 / (1 + e)$ を用いて次式のように表し、 G の e に対する変化をかなり広いひずみにわたって良く説明できるとしている。

$$G = K(\gamma) \cdot \alpha \cdot \sigma_m'^m \quad \dots \dots \dots (1)$$

この関係がロック材料についても適用できると考え、間隙比の影響を取り除くため、 α で G を除いたものと σ_m' の関係を図-4に示す。ひずみが大きい部分ではせん断剛性率は円礫、角礫ともほぼ等しいが、ひずみが小さい部分では角礫が円礫のせん断剛性率を上回っている。また、各材料毎の回帰直線と各データとの相関性は高く、(1)式を適用したことの妥当性が確認された。

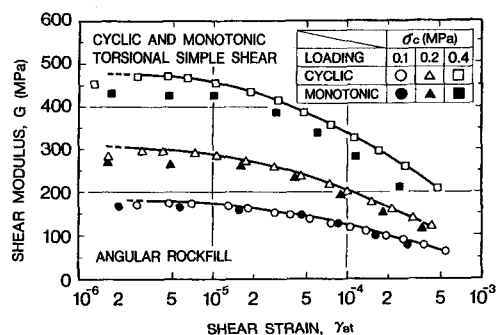
5. まとめ

良く締固められたロック材料に対する単調載荷および繰返しねじり単純せん断試験を行い、次のことが明らかになった。

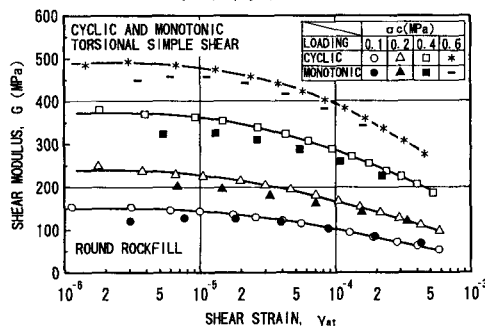
- ①単調載荷と繰返し載荷試験により求められたせん断剛性率は一致する。
- ②正規化されたせん断剛性率とひずみの関係から見ると、円礫材料は角礫よりも拘束圧依存性が認められる。
- ③間隙比の影響を取り除いたせん断剛性率で比較すると、粒度分布が同一であるにも拘わらずひずみレベルが小さい部分では角礫材料が円礫を上回っている。

【参考文献】

- 1) Teachavorasinskun, S., Shibuya, S. and Tatsuo, F. (1991); 「Stiffness of Sands in Monotonic and Cyclic Torsional Shear」, Geotechnical Engineering Congress 1991, Vol.2, Geotechnical special publication No.27, pp.863-878
- 2) 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
- 3) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 高木義和 (1976); 「広範囲なひずみ領域での砂の動的変形特性」, 土木研究所資料, 第1080号
- 4) 国生剛治, 桜井彰雄, 江差靖生 (1979); 「三軸試験装置を用いた微小ひずみから大ひずみまでの土質動的試験法の開発と砂の物性試験への適用」, 電力中央研究所報告, No.379002号
- 5) Hardin, B.O., Richart, F.E. Jr. (1963); 「Elastic wave velocities in granular soils」, Jour. of SMFD, Proc. ASCE, Vol.89, No.SM1, p33-65



(a) 角礫材料



(b) 円礫材料

図-2 繰返し載荷と単調載荷の比較

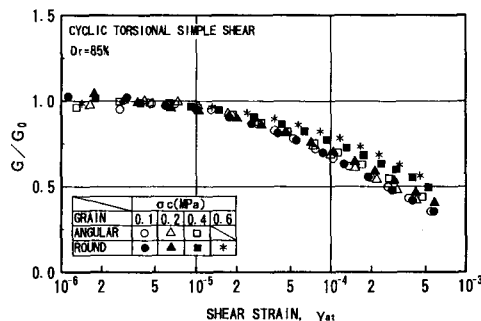


図-3 正規化されたせん断剛性率の比較

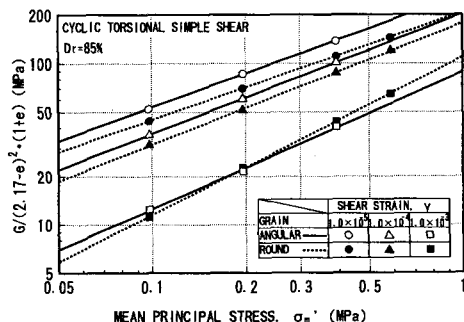


図-4 せん断剛性率と圧密応力の関係