

Ⅲ-233

粗粒材料の動的変形特性に及ぼす粒径の影響

東急建設技術研究所 正会員 ○董 軍 正会員 中村 和之

1. はじめに 著者ら^{1),2),3)}は、これまで大型三軸試験機(φ30x h60cm)を用いて、粗粒材料の単調荷重及び繰返し荷重三軸試験を行い、広いひずみ領域におけるその変形特性を検討してきた。今回は、相似粒度を有する4種類の砕石(角張った)と2種類の川砂利(丸い)に対して一連の繰返し排水試験を行った。その結果得られた繰返し変形特性(E_{eq} と h)に及ぼす粒径と粒度分布の影響について報告する。

2. 試料及び実験方法 用いた試料は山梨県で産出される安山岩の砕石(角砕石)と川砂利(円礫)である。その砕石と礫に対して粒度調整を行い、図-1に示す4種類の角砕石(A1~A4)と2種の円礫(R1~R2)試料³⁾を用意した。同図に豊浦砂、S.L.B.砂と名古屋砕石²⁾の粒径加積曲線を併せて示す。

砕石・礫の供試体は気乾試料をモールド内に6層に分けて、各層毎に小型バイブレーターを用いて十分密な状態になるように作製した。豊浦砂とS.L.B.砂の供試体は空中落下法により密に作製した(表-1)。

実験は大型三軸試験装置³⁾で、所定拘束圧(392kPa)まで等方圧密した後、側圧一定のもとで行った。繰返し荷重試験は、周波数0.1Hzの振幅一定の正弦波を排水条件で11サイクル与え、荷重振幅を段階的に増加させるステージテストにより行った。試験結果は繰返し荷重10波目で求めた等価ヤング率 E_{eq} と履歴減衰定数 h を採用した。

3. 結果および考察 初期ヤング率への粒径の影響

従来の研究⁴⁾によれば、軸ひずみ $=10^{-6}$ の時の弾性係数 E_{max} は次式で表すことができる。

$$E_{max} = A \cdot F(e) \cdot \sigma_c^m \quad (1)$$

ここで、 $F(e) = (2.17 \cdot e)^2 / (1 + e)$ 、 e ：間隙比

A と m ：軸ひずみ $=10^{-6}$ 時の材料に関する係数

σ_c ：有効拘束圧 (MPa)

間隙比 e と拘束圧 σ_c の影響を去除するため、式(1)を変形すると次式が得られる。

$$A = E_{max} / F(e) \cdot \sigma_c^m \quad (2)$$

図-2に試料A1~A4とR1~R2について、豊浦砂(A_T)に対する正規化した係数 $A^* (= A/A_T)$ と最大粒径 D_{max} の関係を示す。同図より、円礫の場合では、 A^* は $D_{max} = 10\text{mm}$ まで角砕石より大きく、ほぼ一定となっているが、角砕石では、 D_{max} が大きくなるにつれて全体的に増加する傾向を示している。

E_{eq} と h のひずみ依存性 豊浦砂と角砕石(A1とA2)のヤング剛性率 $E_{eq}/F(e)$ 、履歴減衰定数 h と片振幅軸ひずみ $(\epsilon_a)_{SA}$ の関係を図-3と図-4に示す。キャップ

の変位(GS)と局所変位(LDT)から求めた変形係数を比較したところ、豊浦砂の場合はLDTとGSから求めた E_{eq} に大きな差は認められないが、粒径が大きなA1とA2では明らかにLDTによる変形係数が大きくなっており、粒径が大きいほどベディングエラー(BE)の影響が大きいことが分かる。また、 $(\epsilon_a)_{SA}$ が 10^{-3} 程度

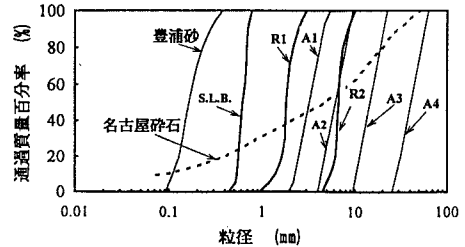


図-1 試料の粒径加積曲線

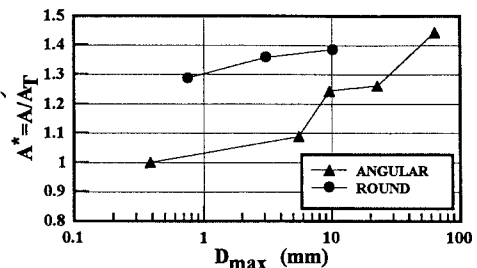
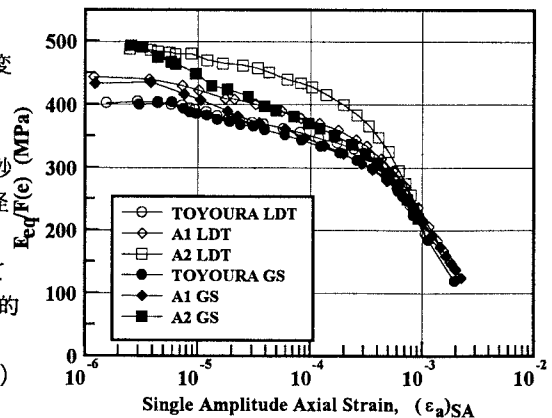
図-2 係数 A^* と最大粒径 D_{max} 関係

表-1 試験条件

	豊浦砂	A1	A2	A3	A4	S.L.B.	R1	R2	名古屋
間隙比 e	0.620	0.654	0.602	0.568	0.563	0.550	0.497	0.472	0.203
相対密度 D_r	95.3%	100%	100%	100%	100%	80%	92.6%	93.3%	100%

図-3 豊浦砂と角砕石の $E_{eq}/F(e) \sim (\epsilon_a)_{SA}$ 関係

まで粒径が大きくなるにつれて E_{eq} が増加する傾向を示している。一方、図-4より、 $(\epsilon_a)_{SA}$ が 10^{-3} より小さい範囲では減衰定数 h への粒径の影響が無視できるが、それ以上のひずみは大粒径の方が小さな減衰定数をとる傾向がある。また、軸ひずみが 10^{-4} より小さい範囲では、過去の報告^{1),2)}と同様に、GSによる h はひずみが小さくなるとかえって大きくなり、BEの影響が無視できない。

図-5は全ての試料について $(\epsilon_a)_{SA} = 10^{-6}$ のときのヤング率 E_{eq} を E_{max} として正規化したヤング率 E_{eq}/E_{max} と $(\epsilon_a)_{SA}$ (局所変位 (LDT)) の関係を示す。図中には参考までに Seed et al.⁵⁾ (1986) と国生⁶⁾ (1980) の試験結果を併せて示した。均等係数 U_c が小さい試料の場合はひずみ依存性は、粒径・粒子形状の違いによらず、ほぼ同様の傾向を示すことがわかる。一方、 U_c が大きい名古屋碎石 (×印) では、剛性低下は顕著である。これは粗粒材料のひずみ依存性への影響は粒度分布の方が粒径・粒子形状よりも重要であることを示唆している。また、今回の試験結果は従来報告された結果に比べて、全体的に剛性低下が小さいことがわかる。

減衰定数 h と $(\epsilon_a)_{SA}$ (LDT) の関係を図-6に示す。 h に関しては、 E_{eq} と同様に、 U_c が小さい試料の場合は、 $(\epsilon_a)_{SA}$ が 3×10^{-4} より小さい範囲では粒径・粒子形状の影響が殆ど認められないが、それ以上のひずみは円礫 (△と▽印) の方が急激に増加する傾向がある。名古屋碎石の h は、ひずみレベルが小さい部分では U_c が小さい試料より大きい値を示すことがわかる。また、本実験で得られた h は、他の研究結果に比べてほぼ同じ傾向を示しているが、 $(\epsilon_a)_{SA}$ が $10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ のひずみ範囲において小さくなっていることがわかる。特に、Seed et al. の h は他に比べてひずみの増加に対する増加の割合が大きい。

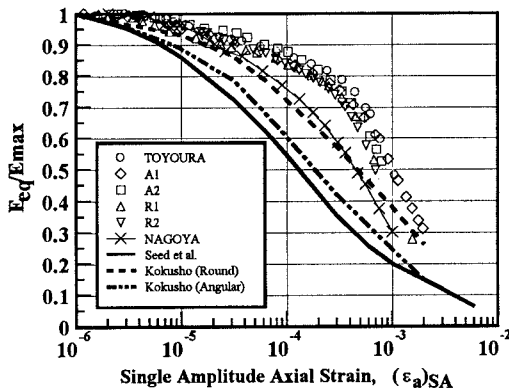


図-5 礫・碎石の $E_{eq}/E_{max} \sim (\epsilon_a)_{SA}$ 関係

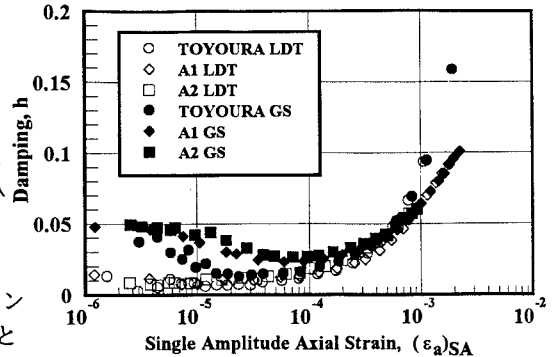


図-4 豊浦砂と角碎石の $h \sim (\epsilon_a)_{SA}$ 関係

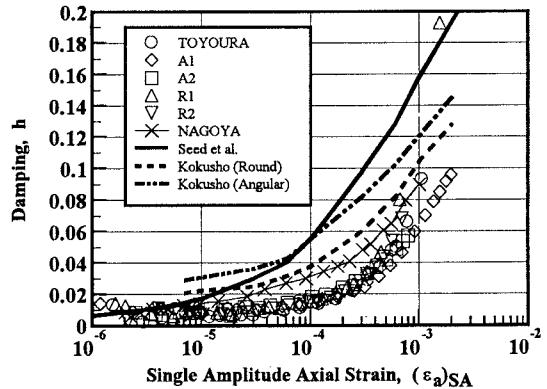


図-6 礫・碎石の $h \sim (\epsilon_a)_{SA}$ 関係

4. まとめ 本研究で行った実験結果から、以下のことが明らかになった。

- ①角碎石の場合では、初期剛性率 E_{max} は最大粒径 D_{max} の増加に伴い大きくなる傾向にあるが、円礫では、その変化は小さい。また、同一粒径に対して、円礫の E_{max} は角碎石よりやや大きい。
 - ②正規化された剛性率と減衰定数のひずみ依存性は粒径、粒子形状の影響が小さく、粒度分布の影響が大きい。
- 【参考文献】1) Dong, J., et al., (1993) "Stress-strain behavior of gravels for a wide range strain in triaxial tests" 第28回土質工学研究発表会。2) Dong, J., et al., (1994) "Deformation characteristics of gravels in triaxial compression tests and cyclic triaxial tests" Proc. of Int. Sympto. on Prefailure Deformation Characteristics of Geomaterials, pp.17-23. 3) 董軍：粗粒材料の弾性係数に及ぼす粒径の影響、第30回土質工学研究発表会、1995。4) 龍岡文夫：第3章土の動的変形特性、新体系土木工学18土の力学(II)、技報堂出版、1981。5) Seed, H.B. et al. (1986) "Moduli and damping factors for dynamic analysis of cohesionless soils" J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, Vol.112, No.1, pp.1016-1032. 6) 国生剛治：土の動的変形特性と地盤の非線形震動応答に関する研究、1980。