

異なる粒度分布による単粒度碎石の三軸せん断特性

室蘭工業大学工学部 正会員 木幡行宏

1. まえがき： 鉄道の軌道部で用いられる道床バラストの粒度分布は、基準となる上限と下限の粒径加積曲線の範囲内で規定されているが、沈下が生じにくい粒度分布については示されていない。本報告では、バラストの強度・変形特性の基礎的研究として、3種類の粒度分布に調整した単粒度碎石に対して三軸せん断試験を実施し、その強度・変形特性に及ぼす粒度分布の影響について検討した。

2. 実験： 本報告で用いた試料は、甲州産安山岩の単粒度碎石を実際の道床バラストの平均粒径に対して 1/5（2種類）および 1/3（1種類）の相似粒度に粒度調整して用いた。用いた試料の物理的性質は、1/3A 相似粒度で $D_{50}=13.8\text{mm}$, $D_{\max}=19.1\text{mm}$, $U_c=1.50$, 1/5A 相似粒度で $D_{50}=8.1\text{mm}$, $D_{\max}=13.2\text{mm}$, $U_c=1.52$, 1/5B 相似粒度で $D_{50}=6.2\text{mm}$, $D_{\max}=13.2\text{mm}$, $U_c=1.71$ である。それぞれの粒径加積曲線を図-1 に示す。供試体は、締固めエネルギーを一定にすることを目的として、直径 15cm、高さ 36cm の円柱モールドに碎石を6層に分け、各層毎に上載荷式振動バイブレーターによって3分間振動締固めを行って作製した。供試体作製終了後、等方応力状態で拘束圧 29.4kPa を負圧によって与え、10 時間程度圧密した。その後、繰返し載荷を与える場合には等方応力状態から繰返し載荷の中心荷重である $q=60\text{kPa}$ の異方応力状態にし、軸差応力振幅 100kPa ($q_{\max}=110\text{kPa}$, $q_{\min}=10\text{kPa}$)の正弦波載荷を載荷周期 0.25Hz で 10000 回与え、繰返し載荷終了後、

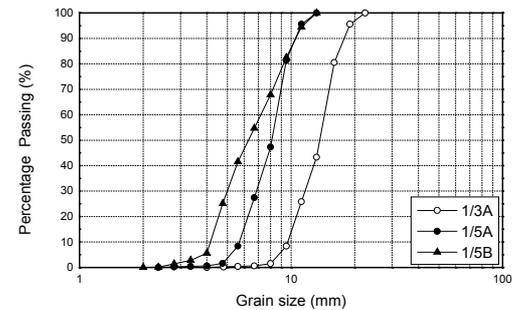


図-1 試料の粒度分布

表-2 供試体の初期乾燥密度

試料名	繰返し載荷の有無	初期乾燥密度
1/3A	Virgin	1.549 (g/cm ³)
	prestrained	1.522 (g/cm ³)
1/5A	Virgin	1.552 (g/cm ³)
	prestrained	1.561 (g/cm ³)
1/5B	Virgin	1.602 (g/cm ³)
	prestrained	1.609 (g/cm ³)

供試体を 29.4kPa の等方応力状態に戻した。等方圧密終了後、繰返し載荷履歴を与えない場合および繰返し載荷終了後の供試体に対して、軸ひずみ速度 0.02 (%/min) で単調載荷三軸圧縮試験（排気・排水条件）を行なった。表-1 に、各供試体の初期乾燥密度を示す。表中、Virgin は繰返し載荷履歴無し、Prestrained は繰返し載荷履歴有りの供試体をそれぞれ表している。供試体作製時の乾燥密度は、1/5B が 1/3A, 1/5A に比べて大きく、1/3A と 1/5A では顕著な差は見られない傾向にある。

3. 試験結果と考察： 図-2 は繰返し載荷試験中の累積軸ひずみ ϵ_a と繰返し載荷回数 N_c の関係を示している。なお、図中において、 q_{\max} は履歴ループにおける最大軸差応力時の累積軸ひずみを、 q_{\min} は履歴ループにおける最小軸差応力時の累積軸ひずみをそれぞれ示している。繰返し載荷中の ϵ_a は、1/5A, 1/5B で $N_c \approx 2000$ 程度で収束傾向となるのに対して、1/3A では $N_c \approx 6000$ 程度で収束傾向にある。また、繰返し載荷終了時の ϵ_a の値を比較すると、1/3A が最も大きく、1/5A, 1/5B の順に小さくなっている。図-3 は繰返し載荷試験中の累積体積ひずみ ϵ_{vol} と繰返し載荷回数 N_c の関係を示している。1/3A は載荷初期から繰返し載荷終了まで収縮傾向、1/5A は載荷初期に膨張傾向を示した後、わずかに収縮傾向に転じている。一方、1/5B は載荷初期にわずかに収縮傾向を示した後、 $N_c \approx 4000$ 程度から大きく膨張に転じている。図-4 に繰返し載荷履歴無し、図-5 に繰返し載荷履歴有りの単調載荷三軸圧縮試験による軸差応力 q と軸ひずみ ϵ_a の関係をそれぞれ示す。最大軸差応力 q_{\max} に注目すると、繰返し載荷履歴を与えない場合には、1/5B が最も大きく、1/5A と 1/3A は同程度であるが、繰返し載荷履歴を与えた場合には、1/5B > 1/5A > 1/3A となっている。さらに、1/5B の q - ϵ_a 関係では、ピーク後に q が大きく減少する傾向が見られるが、1/5A, 1/3A ではピーク後に q の減少があまり見られない。一方、小ひずみ領域における q - ϵ_a 関係は、繰返し載荷履歴を与えた場合には S 字型を示している。これは従

キーワード： 粒度分布，変形特性，三軸試験，単粒度碎石

〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 TEL:0143-46-5281 FAX:0143-46-5283

来の粗粒材料の変形特性に関する報告と同様であり、繰返し載荷時の q_{max} における範囲内で弾性的性質が卓越したためである。図-6は q - ϵ_a 関係に対する接線勾配で定義した接線変形係数 E_{tan} と軸差応力 q の関係である。繰返し載荷履歴無しの場合には（図-6 (a)）、 $q=50\text{kPa}$ 程度までは粒度によらず、 E_{tan} が急減した後、1/3A では単調減少、1/5A、1/5B では E_{tan} が一定値を示した後、減少傾向を示している。その際の E_{tan} の減少率は、1/5B のほうが1/5A に比べて小さい。繰返し載荷履歴を与えた場合には（図-6 (b)）、粒度にかかわらず、繰返し載荷時の q_{max} に相当する $q=110\text{ kPa}$ まで E_{tan} が増加傾向を示した後、単調減少傾向にあり、 E_{tan} の減少率は $1/3A > 1/5A > 1/5B$ となっている。

一般に、粗粒材料の室内力学試験では、試験装置の制約上、試料の最大粒径が大きいために原粒度で試験を行うことは不可能であることから、相似粒度やせん頭粒度が用いられる場合が多い。せん頭粒度で室内力学試験を行った場合には、力学特性に及ぼす粒径依存性があると報告が多いのに対して、相似粒度の場合には明確な解答が得られていない。本報告の結果では、強度特性については相似粒度の1/5Aと1/3Aは同様の結果となった。しかし、繰返し載荷中の変形特性および繰返し載荷履歴を与えた後の単調載荷時の変形特性については、相似粒度の1/5Aと1/3Aは異なる結果を示したが、これは、供試体の初期乾燥密度が1/3Aで小さかったためであると考えられる。

4. まとめ；

本報告の範囲内では、1/5B 粒度が変形特性や強度特性が最も優れていると言えるが、これは1/5Bの粒度分布における平均粒径が1/5A、1/3Aに比べて小さく、かつ均等係数が大きいため、せん断中に密になりやすく噛み合わせが良くなり剛性が増加したためであると考えられる。また、本報告で用いた3種類の試料においては、構成する粒子形状が多少異なることから、粒子形状も影響因子のひとつとなっていると考えられる。今後、さらなる検証を行っていく予定である。

<謝辞> 本研究の遂行にあたっては(財)鉄道総合技術研究所、関根悦夫氏、実験および結果の整理については、室蘭工業大学4年、長 宣和君（現 北海道庁）、田中洋子君（現 岐阜瓦棟）に多大な協力を得た。ここに記して深甚なる謝意を表します。

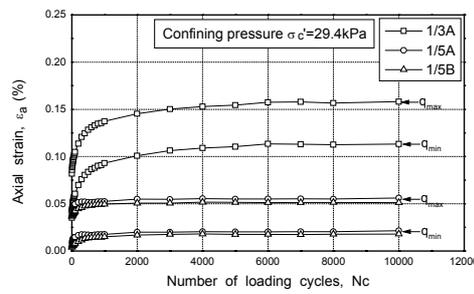


図-2 軸ひずみと載荷回数の関係

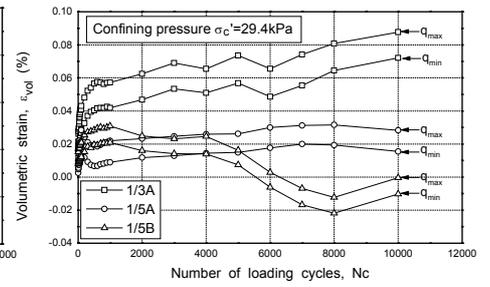


図-3 体積ひずみと載荷回数の関係

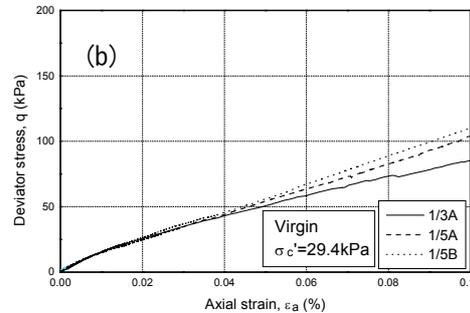
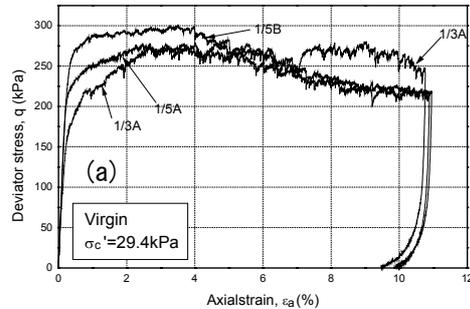


図-4 q- ϵ_a 関係 (virgin)

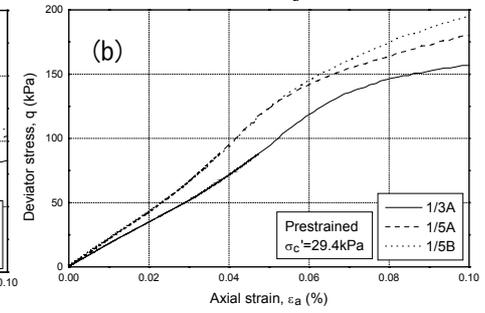
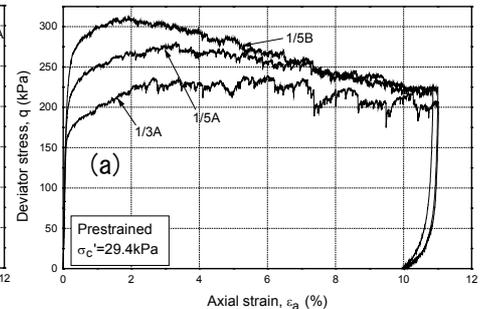


図-5 q- ϵ_a 関係 (prestrained)

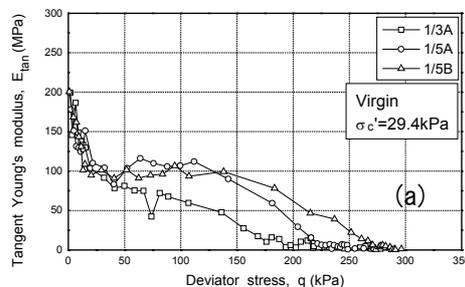


図-6 (a) E_{tan} - q 関係 (virgin)

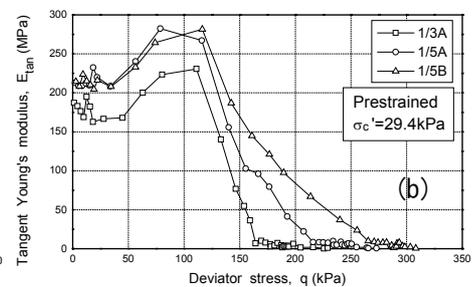


図-6 (b) E_{tan} - q 関係 (prestrained)