単粒度砕石の繰返し載荷中の変形特性に及ぼす粒子形状の影響

室蘭工業大学工学部　正会員　木幡行宏
水資源開発公団　　正会員　只野尚徳

１．まえがき；　著者らは，これまで三軸試験による単粒度砕石の強度・変形特性について詳細な検討を行ってきた[1~5]。その中での知見のひとつは，異なる材料での比較ではあるが，粒子形状が厚みのある棒状に近い粒子で構成されたバラストは初期剛性が大きく，粒子の移動が生じにくい傾向にあるという結果が得られた[1,2]。本報告では，これらの結果を検証するために，同一の単粒度砕石を４種類の粒子形状に分類し，繰返し三軸試験を実施して，繰返し載荷中の変形特性に及ぼす粒子形状の影響を検討した。

２．実　験；　実験に用いた単粒度砕石は，札幌市手稲金山産の安山岩砕石（最大の粒径 D_{max}=24.5mm，平均粒径 D_{50}=16.8mm，均等係数 U_c=1.25）で，図-１に粒度分布を示す。また，表-1 に繰返し載荷後に実施した単調載荷三軸圧縮試験後の Marsal の粒子破砕率を示す。図-1，表-2 より，未分類状態での粒子破砕はほとんどないことが分かる。本研究では，Zingg の方法を用いて４種類の粒子形状に手作業で分類した。分類された試料は，便宜上，板状（正方形の板に近い形状）をⅠ類（TypeⅠ），塊状（最も球形に近い形状）をⅡ類（TypeⅡ），葉状（細長い長方形の板に近い形状）をⅢ類（TypeⅢ），棒状をⅣ類（TypeⅣ），未分類の試料を０類（Type０）と呼ぶこととする。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 の円柱モールドに砕石を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された。その後，等方圧密を拘束圧 58.8kPa まで行った後，軸差応力振幅 100kPa（q_{max}=110kPa，q_{min}=10kPa）の正弦波載荷を載荷周波数 0.25Hz で１万回，排気条件で行った。圧密終了時の乾燥密度は，表-2 に示すように粒子形状が球形に近いⅡ類に近いほど大きい傾向にある。なお，拘束圧は負圧で載荷した。

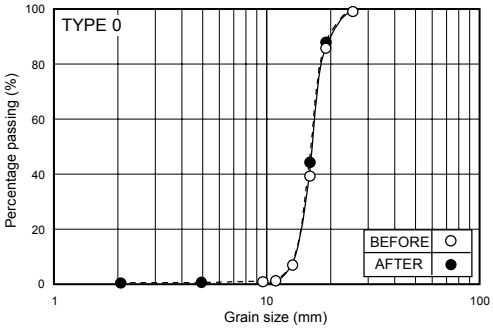

図-1　試料の粒度分布

表-1　破砕率

	破砕率 (%)
	Prestrained
Type 0	0.7%
TypeⅠ	5.8%
TypeⅡ	6.6%
TypeⅢ	29.1%
TypeⅣ	2.0%

表-2　供試体の乾燥密度

	Density
Type 0	1.56(g/cm^3)
TypeⅠ	1.52(g/cm^3)
TypeⅡ	1.58(g/cm^3)
TypeⅢ	1.51(g/cm^3)
TypeⅣ	1.54(g/cm^3)

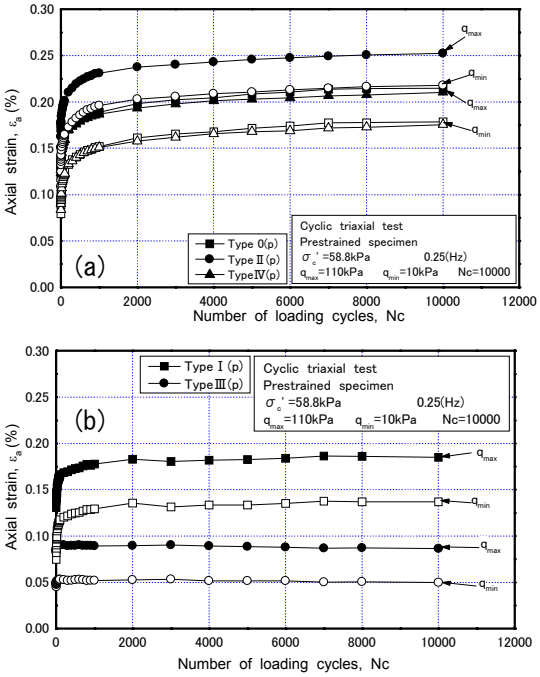

図-2　軸ひずみε_aと載荷回数の関係

３．試験結果と考察；　図-2(a)(b)は，繰返し載荷中の軸差応力 q～軸ひずみε_a関係における q_{max} 時の累積軸ひずみ（黒抜き），および q_{min} 時の累積軸ひずみ（白抜き）と繰返し載荷回数の関係を示す。０，Ⅱ，Ⅳ類で載荷初期から１万回まで増加傾向を示しているのに対して，Ⅲ類では載荷回数 100 回程度まで累積軸ひずみが増加傾向にあるが，100 回程度を超えると試験終了時の１万回まで減少傾向，Ⅰ類では 8000 回まで増加傾向を示した後，収束傾向を示している。累積軸ひずみは，Ⅰ，Ⅲ類に比べて，０，Ⅱ，Ⅳ類が大きい。図-3 は，復元ヤング率 E_{re} と載荷回数の関係である。復元ヤング率 E_{re} は，q～ε_a関係にお

キーワード:　粒子形状，繰返し三軸試験，変形特性，単粒度砕石
〒050-8585　室蘭市水元町 27-1　TEL:0143-46-5281　　FAX:0143-46-5283

ける履歴曲線のピークとピークを結んだ割線勾配である。Ⅰ類を除いて E_{re} の値に顕著な違いは見られず，2000 回程度まで増加傾向を示した後，収束傾向にある。Ⅰ類は載荷初期に E_{re} が増加した後，載荷の早い段階で収束傾向にある。E_{re} の値を，詳細に見ると，Ⅱ類，Ⅳ類，Ⅲ類，０類，Ⅰ類の順で大きい。図-4 には，繰返し載荷中の体積ひずみ ε_{vol} と軸ひずみ ε_a の関係を示す。Ⅱ類で載荷初期から１万回まで収縮傾向，０類，Ⅳ類では 1000 回程度まで ε_{vol} がほぼ一定で，その後，収縮傾向に転じ，Ⅰ類，Ⅲ類では載荷初期から 1000 回程度まで膨張傾向を示した後，収縮傾向に転じているのが分かる。図-5 には，復元ポアソン比 ν_{re} と載荷回数の関係を示す。復元ポアソン比 ν_{re} は，側方ひずみ ε_r～軸ひずみ ε_a 関係における履歴曲線のピークとピークを結んだ割線勾配である。載荷初期から 1000 回程度までは，０，Ⅱ，Ⅳ類の ν_{re} が減少傾向を示し，その後，ほぼ一定値に収束している。一方，Ⅰ，Ⅲ類の ν_{re} は載荷初期から１万回までほぼ一定値を示している。ν_{re} の値は，Ⅳ類，Ⅱ類，０類，Ⅲ類，Ⅰ類の順に大きい。以上より以下のことが推察される。すなわち，最も球形に近いⅡ類は，繰返し載荷中，顕著な収縮傾向を示し，累積軸ひずみが他の粒子形状に比べて大きく，復元ポアソン比も相対的に大きいことから，粒子配列の状態が緩いために粒子が移動しやすい状態にあったと推察される。したがって，Ⅱ類は乾燥密度は大きいが，締固め程度はもっとも小さいと考えられる。一方，Ⅲ類は累積軸ひずみが最も小さく，体積ひずみの発生傾向が膨張傾向を示していることから，締固め程度が大きく密な状態にあるが，表-2 に示すように他の粒子に比べて破砕率が非常に大きいことから，破砕性と乾燥密度の複合要因で，剛性が他の試料と比べて顕著に違わなかったと思われる。

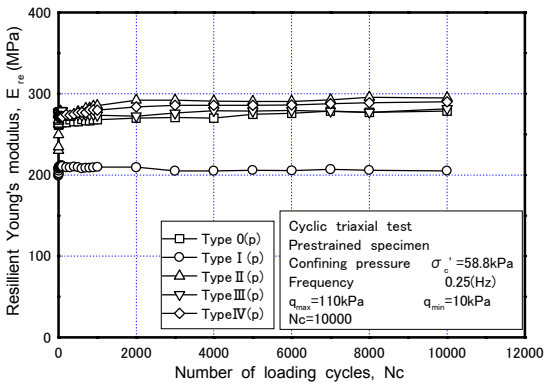

図-3　復元ヤング率 E_{re} と載荷回数の関係

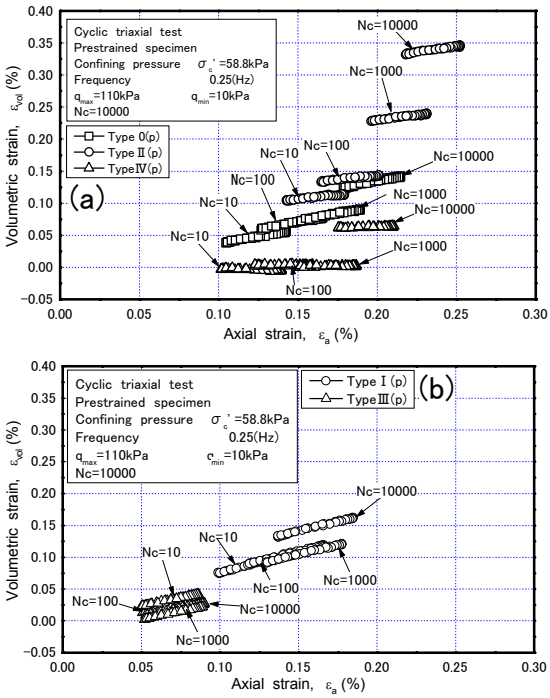

図-4　体積ひずみ ε_{vol} と軸ひずみ ε_a の関係

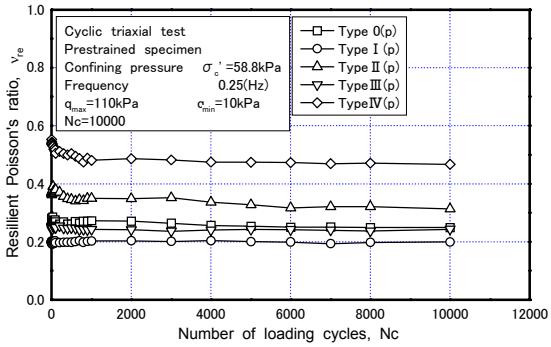

図-5　復元ポアソン比 ν_{re} と載荷回数の関係

４．まとめ；

単粒度砕石の繰返し載荷中の変形特性に及ぼす粒子形状の影響を検討するために，単粒度砕石に対して中型繰返し三軸試験を実施した結果，以下の知見を得た。

①復元ヤング率は，Ⅰ類で最も小さく，Ⅱ類，Ⅳ類が大きい傾向にある。　②本研究で用いた締固めエネルギーでは，Ⅱ類は締固め程度が小さく緩い状態にあったことが推察される。このことは，単粒度砕石の変形特性を検討する場合に，砂と同様に相対密度が重要な指標になることを示唆している。

＜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。

＜参考文献＞　1) 蒋・木幡・関根・宮本・長戸・鈴木：道床バラストの変形・強度特性に及ぼす繰返し載荷の影響，第 32 回地盤工学研究発表会講演集，pp.647-648，1997.　2) 木幡・蒋・関根・宮本・長戸・鈴木：道床バラストの繰返し載荷中の変形特性について，第 32 回地盤工学研究発表会講演集，pp.649-650，1997.　3) 木幡・蒋・須長・関根・宮本・長戸・鈴木：大型三軸圧縮試験による種々の道床バラストの強度・変形特性，第 32 回地盤工学研究発表会講演集，pp.651-652，1997.　4) 木幡・蒋・石塚：繰返し載荷履歴を受けた道床バラストの変形・強度特性，土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集，3-A，pp.204-205，1998.　5) 関根・木幡・蒋・矢崎・長戸：道床バラストの強度・変形特性，鉄道総研報告，Vol.14，No.4，pp.13-18，2000.