

様々な応力履歴下のまさ土の収縮挙動とエネルギー

山口大学大学院 学生会員 ○松井貫太
 山口大学大学院 正会員 吉本憲正 中田幸男

1. はじめに

日本の資源・エネルギー消費量は、生活を取り巻く社会・経済情勢の変化等を背景に増大している。東日本大震災での原発事故の影響で火力発電による発電量が増加しており、化石燃料に頼らざるを得ない状況となっている。枯渇していく化石燃料から得られるエネルギーは大変貴重であり、生産されたエネルギーは効率よく利用する必要がある。現在、様々な産業活動においてエネルギーを効率よく利用しようという試みがなされており、土木業界でも燃費効率の良い重機などが開発されている。しかし、締固め等の土木作業では、どのようにエネルギーを与れば効率よく高密度化できるのかという土の視点からの研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、エネルギーを効率的に使用し、地盤を高密度化する手法を開発することを最終目的とし、実験的に検討を行った。

2. 試験方法及びエネルギー式

2-1. 単調荷重及び繰返し荷重による排水三軸試験

単調荷重及び繰返し荷重による排水三軸圧縮試験は、盛土材料として多く利用されているまさ土を対象に、三軸圧縮試験機(供試体サイズ直径5cm, 高さ10cm)を用いて行った。また、相対密度 $D_r=38\%$ 、初期間隙比 $e_0=0.73$ を目標とした。試験条件は、背圧200kPa, 有効拘束圧50kPaであり、図1に示す5種類の応力経路で検討した。単調荷重の場合は、せん断時の軸ひずみ速度を0.1%/minとし、軸ひずみ $\epsilon_a=15\%$ に達するか、側圧の値が試験装置の能力の最高値に達したところで試験を終了した。繰返し荷重の場合は、せん断時の軸ひずみ速度を0.1%/minとし、平均有効主応力増分 $dp'=25\text{kPa}$ の振幅で繰返すよう荷重し、繰返し回数 $N=10$ 回を終えたところで試験を終了した。

2-2. エネルギー式

本研究では、文献2)に記載されている式(1)のエネルギー式を用いた。

$$W = \sum(p' |d\epsilon_v| + q |d\epsilon_s|) \quad (1)$$

ここで、 W : エネルギー (kPa), p' : 平均有効主応力 (kPa), q : 軸差応力 (kPa), $d\epsilon_v$: 体積ひずみ (%), $d\epsilon_s$: せん断ひずみ増分 (%) である。

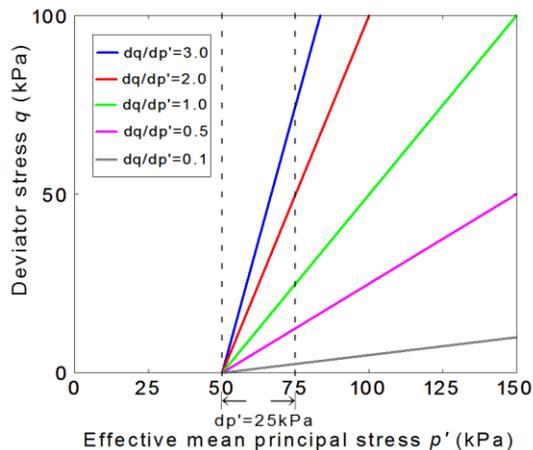


図1 荷重応力経路

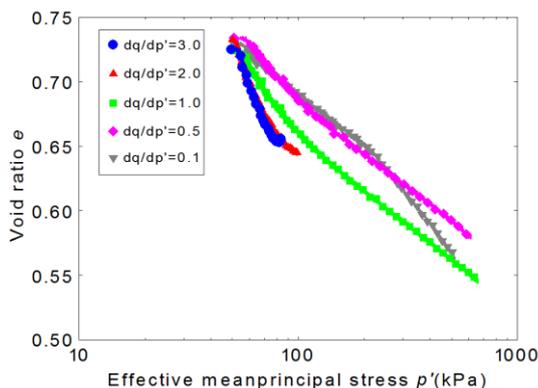


図2 単調荷重の e-logp' 関係

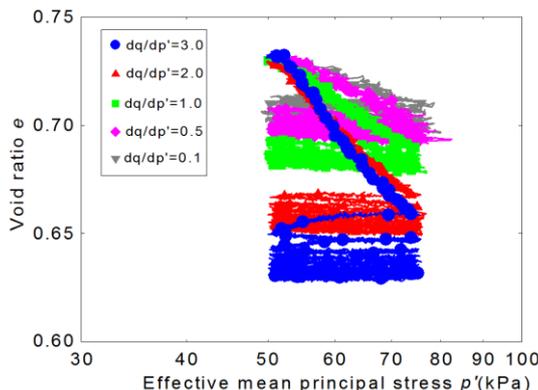


図3 繰返し荷重の e-logp' 関係

キーワード エネルギー, 応力履歴, 収縮挙動

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

TEL 0836-85-9344

3. 試験結果

図2に単調荷の e log p' 関係を示す。 $dq/dp'=3.0$ の結果をみると、荷を始めてからしばらくは間隙比が減少しているが、終盤には間隙比が増加していることが読み取れる。これは、正のダイレイタンシーによるものである。次にそれぞれの応力経路を比較すると、荷初期では dq/dp' の値が大きいほど p' に対する e の変化が大きくなっていることがわかる。また、 $dq/dp'=3.0$ 以外の応力経路では、 p' が増加するにつれて間隙比が減少し続けることから、収縮一方の挙動をみせていることが読み取れる。図3に繰返し荷の e log p' 関係を示す。各応力経路とも間隙比が減少しており、収縮一方の挙動を示していることがわかる。その中でも $dq/dp'=3.0$ の場合が最も間隙比の変化量が多いことがわかる。図4に単調荷の間隙比 e とエネルギー W の関係を示す。エネルギーが増加するに伴い、 $dq/dp'=2.0, 1.0, 0.5$ では間隙比が減少する勾配が緩やかであることがわかる。一方、 $dq/dp'=0.1$ ではその勾配が最も急になることが読み取れる。図5に繰返し荷の間隙比 e とエネルギー W の関係を示す。全ての経路においてエネルギーを増加させるにつれ、間隙比が減少した。図より、 dq/dp' が大きい順に、エネルギー W に対して間隙比 e が大きく減少する様子が見られる。図6に所定の間隙比変化量ごとのエネルギーと応力経路の傾きの関係を示す。単調荷において、各経路の傾向をみると、 $\Delta e=0.05$ までは dq/dp' の値が大きくなるほど所定の間隙比増分に達するのに要したエネルギーが大きくなっていることが読み取れる。また、この傾向については $dq/dp'=0.1, 0.5, 1.0$ の経路における $\Delta e=0.10, 0.15$ のプロットについても同じことが言える。繰返し荷では、 $\Delta e=0.01$ では等方に近い応力経路が少ないエネルギーで所定の間隙比増分を生じ、 $\Delta e=0.03$ において徐々に傾向が変わり、 $\Delta e=0.05$ において dq/dp' の値が大きいほど少ないエネルギーで所定の間隙比増分を生じた。これは、繰返すことによりダイレイタンシーによる体積変化が大きく影響したためと思われる。

4. まとめ

総合的に今回の実験条件において単調荷と繰返し荷のエネルギー効率を比較すると、 $\Delta e=0.01$ では基本的に繰返し荷の方がエネルギー効率が良いが、 Δe が大きくなるにつれ、単調荷の方がエネルギー効率が良くなる傾向にあることが明らかとなった。また、単調荷においては dq/dp' の値が小さくなるほど高密度化に対するエネルギー効率が良くなり、繰返し荷においては $\Delta e=0.01$ では等方に近い応力経路、 $\Delta e=0.05$ では dq/dp' の値が大きいほど高密度化に対するエネルギー効率が良くなることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁 (エネルギー白書)
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/> (参照年月日 : 2017/3/17)
- 2) 河野伊一郎, 八木則男, 吉国洋 : 土の力学, 技報堂出版, p.18, 2014.

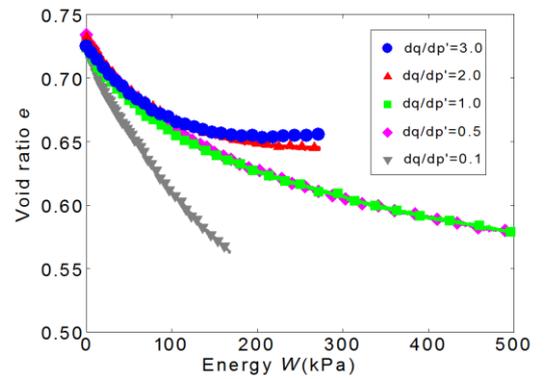


図4 単調荷の間隙比 e とエネルギー W の関係

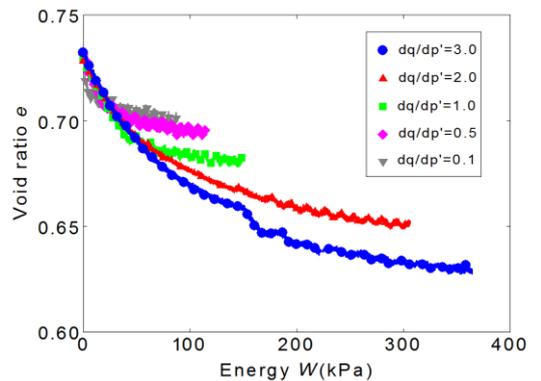


図5 繰返し荷の間隙比 e とエネルギー W の関係

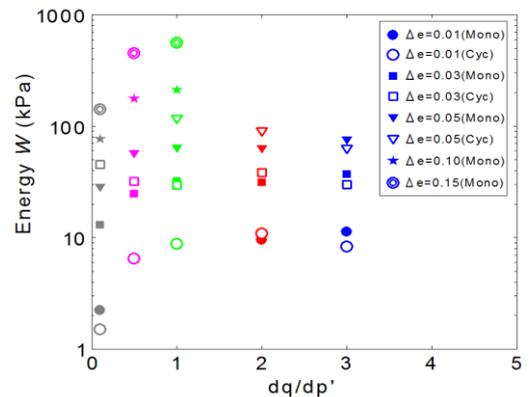


図6 エネルギー W と応力経路 dq/dp' の関係