

種々の拘束圧及び応力履歴を受けたまさ土の密度変化とエネルギー

山口大学 学生会員 ○石橋 弘康
 山口大学 正会員 吉本 憲正
 山口大学 正会員 中田 幸男

1. 目的

近年、日本の資源・エネルギー消費は増大している。東日本大震災での原発の事故以降、火力発電による発電量が大幅に増加しており、化石燃料から得られるエネルギーは大変貴重であり、効率よく利用する必要がある。現在、様々な分野で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、土木業界では燃費効率のよい重機や ICT 重機などが開発されている。しかし、土工作业において、どのようにエネルギーを与えれば効率よく密度増加させることができるかという地盤工学の視点での研究の例がほとんどない。本研究では、基礎的な検討として、まさ土を対象に、様々な拘束圧及び応力経路で圧縮力を加えることで、密度変化に着目し、エネルギー効率の良い応力経路を明らかにすることを目的とした。また、実工事を想定した場合、高密度化を行う地盤の深度も様々であることから、拘束圧に対する応力経路の影響を検討した。

2. 試験方法及びエネルギー式

2-1. 単調及び繰返し载荷による排水三軸試験

単調及び繰返し载荷による排水三軸試験は、良質な盛土材として多く活用されているまさ土²⁾を対象に、三軸試験機（供試体サイズ直径 5cm、高さ 10cm）を用いて行った。初期相対密度を 33%、試験条件は背圧を 200kPa、有効拘束圧を 70kPa、50kPa、30kPa の 3 種類とし、図 1 に示す 5 種類の応力経路を対象に、载荷時の軸ひずみ速度を 0.1(%/min) の下、単調载荷の場合は、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、繰返し载荷の場合は、 $dp'=0.5 p'_o$ の振幅で繰返すよう载荷し、 $N=10$ 回の繰返し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、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(kJ/m³)、 p' :平均有効主応力(kPa)、 q :軸差応力(kPa)、 $d\epsilon_v$:体積ひずみ増分(%), $d\epsilon_s$:せん断ひずみ増分(%)である。

3. 単調及び繰返し载荷による密度変化とエネルギー

3-1. 応力経路ごとのエネルギー効率の比較

図 2 に拘束圧 30kPa における単調载荷での乾燥密度変化 $\Delta\rho_d$ とエネルギー W の関係を示す。同じエネルギーを費やした場合、 dq/dp' の値が小さいものほど乾燥密度増分が大きくなることを読み取れる。

図 3 に拘束圧 30kPa における繰返し载荷での乾燥密度増分 $\Delta\rho_d$

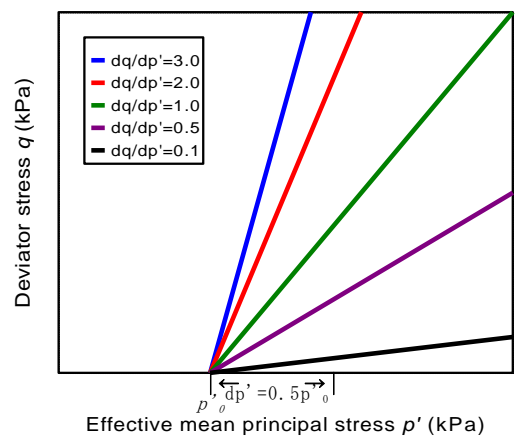


図 1 载荷応力経路

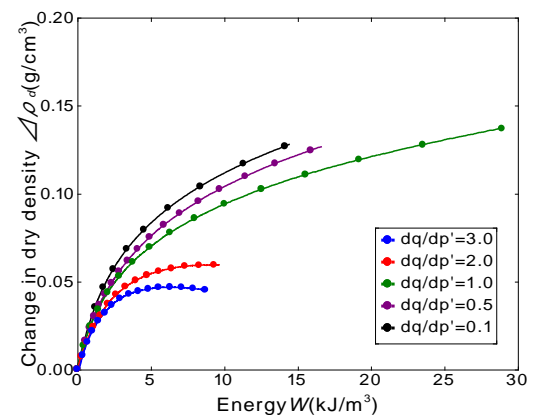


図 2 $\Delta\rho_d$ と W の関係
(拘束圧 30kPa 単調载荷)

キーワード エネルギー、密度、応力履歴

連絡先 755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 TEL 0836-85-9344

とエネルギー W の関係を示す。 $W=2\text{kJ/m}^3$ 付近からは dq/dp' の値が大きいものほど少ないエネルギーで密度増加していることが読み取れる。

図4に拘束圧30kPaにおける所定のエネルギーを要した際の乾燥密度増分と応力増分比の関係を示す。単調荷重は応力増分比が小さいほど効率的に密度増加していること、繰返し荷重は荷重終盤時には応力増分比が大きいほど効率的に密度増加していることが読み取れる。このことから単調荷重では、等方圧密に近い経路、繰返し荷重では、異方応力の経路においてエネルギー効率が良いことがわかった。また拘束圧30kPaにおいて等方圧密に近い経路で単調荷重を行った場合が最も効率的であることが分かった。

3-2 拘束圧が応力経路とエネルギーの関係に及ぼす影響

図5に単調荷重において所定の $W/p'_0=0.1[\text{kJ}/(\text{kPa}\cdot\text{m}^3)]$ を要した際の乾燥密度増分と応力増分比の関係を示す。図6に繰返し荷重において所定の $W/p'_0=0.05[\text{kJ}/(\text{kPa}\cdot\text{m}^3)]$ を要した際の乾燥密度増分と応力増分比の関係を示す。ここでは拘束圧の異なるものを比較するためにエネルギーと拘束圧の比 W/p'_0 を用いる。

図5から単調荷重では $dq/dp'=0.1$ のとき他の dq/dp' に比べて各拘束圧において所定の $W/p'_0=0.1[\text{kJ}/(\text{kPa}\cdot\text{m}^3)]$ を要した際の乾燥密度増分に差が生じてないことが読み取れる。また、どの拘束圧においても $dq/dp'=3.0$ が最も乾燥密度増分が小さくなることが読み取れる。単調荷重の際、拘束圧が大きい程、同じ W/p'_0 における $\Delta\rho_d$ が大きくなることわかった。

図6から繰返し荷重では拘束圧30kPaのとき拘束圧50kPaと70kPaに比べて各応力経路における所定の $W/p'_0=0.05[\text{kJ}/(\text{kPa}\cdot\text{m}^3)]$ を要した際の乾燥密度増分に差が生じていることが読み取れる。また、どの拘束圧においても応力経路が大きいほど乾燥密度増分が大きくなることが読み取れる。繰返し荷重では、同じ W/p'_0 における $\Delta\rho_d$ の変化に拘束圧の影響は明確には認められない。

4. 結論

単調荷重では、等方圧密に近い経路、繰返し荷重では、異方応力の経路においてエネルギー効率が良いことがわかった。また、拘束圧30kPaにおいて同じエネルギーを与えたとき単調荷重の等方圧密が最も効率よく密度増加することがわかった。単調荷重では拘束圧が大きい程、同じ W/p'_0 における $\Delta\rho_d$ が大きくなることわかった。繰返し荷重では、同じ W/p'_0 における $\Delta\rho_d$ の変化に拘束圧の影響は明確には認められなかった。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁 (エネルギー白書 2017)
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017pd> (参照年月日: 2017/2/12)
- 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.

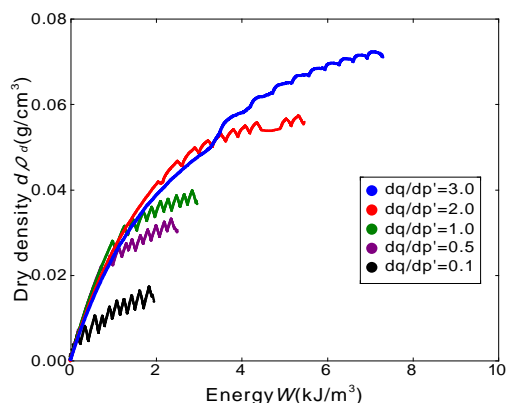


図3 $\Delta\rho_d$ と W の関係

(拘束圧 30kPa 繰返し荷重)

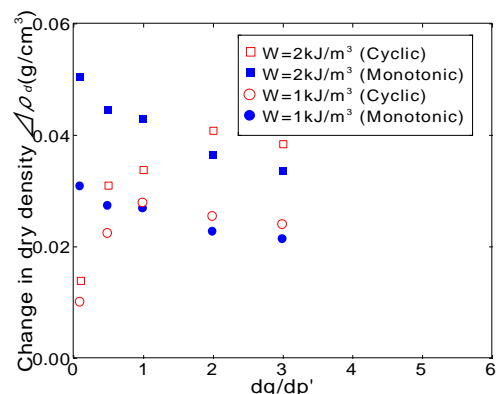


図4 $\Delta\rho_d$ と dq/dp' の関係

(拘束圧 30kPa)

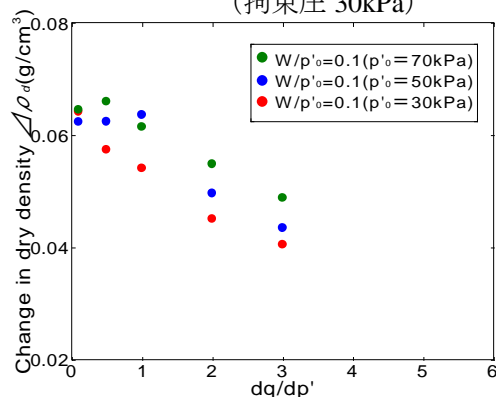


図5 $\Delta\rho_d$ と dq/dp' の関係

(単調荷重)

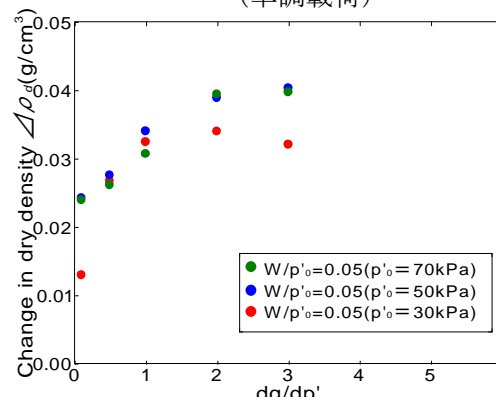


図6 $\Delta\rho_d$ と dq/dp' の関係

(繰返し荷重)