

様々な繰返し载荷を受ける緩い砂の乾燥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. 背景及び目的

近年、日本の資源・エネルギー消費は増大しており、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いる<sup>1)</sup>。建設業界でも建設工事の際の省エネルギー化のために、燃費効率の良い重機などが開発され、その省エネルギー型建設機械の導入が促進されている。しかし、締固めなどの土工作業において、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はほとんどない。そこで本研究では、基礎的な検討として、緩いまさ土を対象に、様々な応力経路で繰返し圧縮力を加えることによる密度変化に着目し、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、繰返し圧縮力を加える際の繰返しの振幅の影響を把握する事も目的とした。

2. 試験方法及びエネルギー式

2-1. 繰返し载荷による排水三軸試験

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。本研究において、用いたまさ土は宇部まさ土である。図-1に宇部まさ土の粒度分布、表-1に宇部まさ土の物理的性質を示す。供試体作製・設置から圧密までは、地盤工学会基準 JGS 0524「土の圧密排水三軸圧縮試験方法」<sup>2)</sup>に準じており、初期相対密度を33%、試験条件は背圧を200kPa、有効拘束圧は50kPaとした。図-2に示す4種類の応力経路を対象に、载荷時の軸ひずみ速度0.1(%/min)で载荷を行った。また、繰返し载荷振幅は、 $dp'=0.3p_o'$ ,  $0.5p_o'$ ,  $0.7p_o'$ の3種類とし、繰返し载荷を行った際の乾燥密度変化がほぼ定常に至ったと判断できた時点で試験を終了した。

2-2. エネルギー式

結果の整理に用いたエネルギー式を以下に示す。この式は密度増加に対するエネルギー変化を考察するために用いている。繰返し载荷における $p'$ の計算方法は、 $p'$ の絶対値の増分の積算により算出している。これは除荷時にも、荷重をコントロ

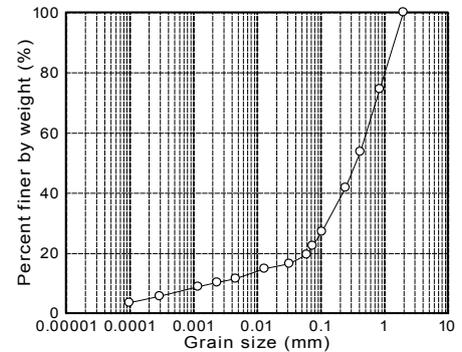


図-1 宇部まさ土の粒度分布

表-1 宇部まさ土の物理的性質

| $\rho_{dmax}$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_{dmin}$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_s$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $D_{50}$<br>(mm) | $F_c$<br>(%) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------|
| 1.709                                 | 1.279                                 | 2.448                            | 0.370            | 22.4         |

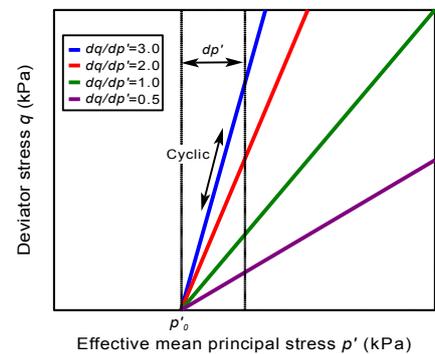


図-2 载荷応力経路

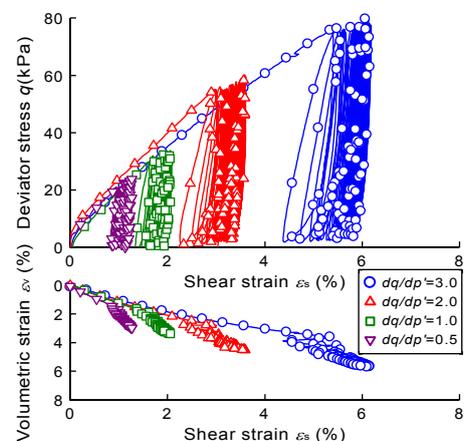


図-3  $\epsilon_s$  と  $q$ ,  $\epsilon_v$  の関係

キーワード 繰返し载荷, 高密度化, 省エネ

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

ールしエネルギーを費やしていることを想定しているためである。

$$W = \sum(p' d\varepsilon_v + q d\varepsilon_s) \quad (1)$$

ここで、 $W$ :エネルギー(kJ/m<sup>3</sup>)、 $p'$ :平均有効主応力(kPa)、 $q$ :軸差応力(kPa)、 $d\varepsilon_v$ :体積ひずみ増分(%),  $d\varepsilon_s$ :せん断ひずみ増分(%)

### 3. 繰返し载荷による密度変化とエネルギー

#### 3-1. 繰返し载荷による排水三軸試験

図-3 に拘束圧 50kPa における繰返し载荷でのせん断ひずみと軸差応力、体積ひずみの関係を示す。いずれも载荷の 1 波目で大きくせん断ひずみが生じ、2 波目以降のせん断ひずみの発生はわずかであることがわかる。体積ひずみの結果は、いずれも収縮している様子がうかがえる。いずれの結果においても、1 波目と 2 波目以降でその増加傾向に違いが認められることも確認でき、繰返すことにより、せん断ひずみの増分に対して体積ひずみの増分が大きいことが確認できる。

#### 3-2. 繰返し载荷の応力経路及び振幅が $\Delta\rho_d$ と $W$ の関係に及ぼす影響

図-4 に拘束圧 50kPa において振幅  $dp'=0.5 p_0'$  で繰返し载荷を行った際の乾燥密度増分  $\Delta\rho_d$  とエネルギー  $W$  の関係を示す。エネルギーが大きいところでは、 $dq/dp'$  の値が大きいものほど同じエネルギーで比較して、密度が増加していることが読み取れる。また、いずれの振幅においても同様の挙動を示した。

図-5 に  $dq/dp'=3.0$  における各振幅で繰返し载荷を行った際の乾燥密度増分  $\Delta\rho_d$  とエネルギー  $W$  の関係を示す。繰返し载荷回数が多いところでは、 $dp'$  の値が大きいほど同じエネルギーを与えた際の乾燥密度増分が顕著に大きくなっていることが読み取れる。このことから繰返し回数が多く、振幅が大きいほど同じエネルギーを与えた際の乾燥密度増分が大きくなることが分かった。

#### 3-3. 応力経路ごとのエネルギー効率の比較

図-6 に拘束圧 50kPa における所定のエネルギー  $W$  を要した際の乾燥密度増分  $\Delta\rho_d$  と応力増分比  $dq/dp'$  の関係を示す。 $dq/dp'$  の値が大きいものほど密度増加していることが読み取れ、いずれの振幅においても異方応力の応力経路において乾燥密度増分が大きくなることが分かった。また、(a)と(b)の比較から要したエネルギーが大きいほどその結果は顕著に表れることが分かった。

### 4. 結論

本研究では、三軸試験装置を用い、様々な応力経路と振幅で繰返し载荷した際の供試体の密度変化を調べた。その結果、いずれの振幅においても異方応力の応力経路で乾燥密度増分が大きくなる。また要したエネルギーが大きいほどその結果は顕著に認められる。繰返し回数が多い時、振幅が大きいほど同じエネルギーを与えた際の乾燥密度増分が大きくなる。

#### 参考文献

- 1) BP Statistical Review of World Energy : Statistical Review of World Energy June 2017, 66<sup>th</sup> edition, p.8, 2017.
- 2) 社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説—二分冊の 2—, pp.579-583, 2009

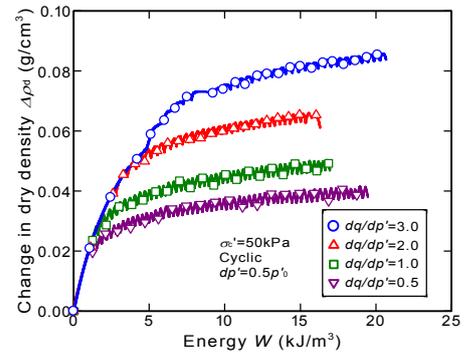


図-4  $\Delta\rho_d$  と  $W$  の関係

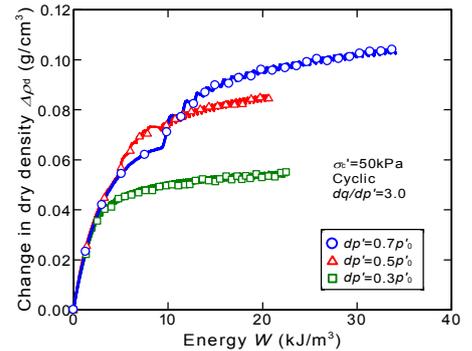
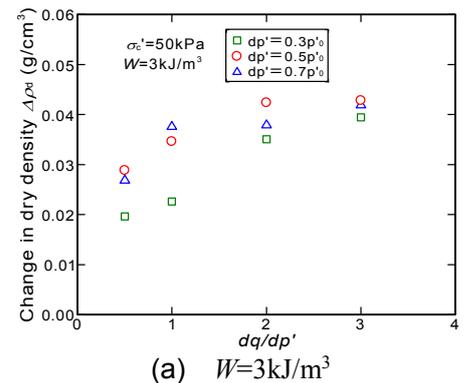
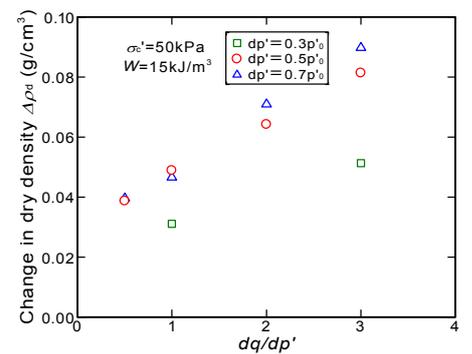


図-5 各  $dp'$  における  $\Delta\rho_d$  と  $W$  の関係



(a)  $W=3\text{kJ/m}^3$



(b)  $W=15\text{kJ/m}^3$

図-6 所定の  $W$  を要した際の  $\Delta\rho_d$  と  $dq/dp'$  の関係