

2方向繰返しせん断の位相差がせん断後の沈下に及ぼす影響

山口大学大学院 学生会員 ○玉田和也 新山馨紫 北山尚
山口大学 正会員 松田博 全南大学 白元珍

1. まえがき

地震時に観測される地盤内の載荷履歴は常に複雑な曲線を描く。¹⁾ 過去の研究において、多方向繰返しせん断(飽和砂)について直角2方向から入力するせん断ひずみ波の位相差を $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ として砂の繰返しせん断後の沈下特性について調べてきた。その結果、一方向せん断と多方向せん断では明らかに沈下量に差が生じることが分かった。そこで、本研究では豊浦砂を用い位相差をさらに $\theta = 0^\circ, 20^\circ, 45^\circ, 70^\circ, 90^\circ$ と変化させ「位相差の変化に伴う沈下特性への影響」について検討した。

2. 実験装置・試料及び試験方法

用いた装置は多軸単純せん断試験機である。この装置は供試体(直径75mm、高さ20mm)に2方向から独立してせん断変位を与えることができる。用いた試料の物理定数を表-1に示す。実験は、飽和試料を相対密度 $70(\pm 3)\%$ に調整してせん断箱に詰め、圧密圧力49kPaで予圧密した後、定体積条件のもとで繰返しせん断を行った。繰返しせん断波形はサイン波であり以下に示す2種類の試験を行った。

- (a) X方向のみで繰返し載荷を行う一方向せん断試験(一方向(X))
(b) X方向とその直角方向であるY方向より位相差を変化させて繰返し載荷を行う多方向せん断試験(多方向(Gyratory shear))

図-1にこれらの試験の繰返しせん断の載荷パターンを示す。せん断ひずみ振幅 γ の定義は、一方向繰返しせん断では、片振幅を供試体の高さで除した値とし、多方向繰返しせん断ではせん断中に供試体底面中央が描く円の半径を供試体の高さで除した値とした。

3. 試験結果

図-2に豊浦砂において液状化に必要な繰返し回数 n とせん断ひずみ振幅 γ との関係を示す。せん断ひずみ振幅 $\gamma = 1.0\%$ では繰返し回数 $n = 6$ 回以内、また、 $\gamma = 0.3\%$ のとき繰返し回数 $n = 7 \sim 24$ 回付近、 $\gamma = 0.1\%$ のとき繰返し回数 $n = 40 \sim 120$ 回付近で液状化することがわかる。

図-3(a)(b)は豊浦砂において繰返しせん断中の有効応力減少比 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ とせん断ひずみ振幅 γ との関係を示したもので、それぞれ(a) $n = 20$ 、(b) $n = 100$ 回の結果である。繰返し回数 $n = 20$ 回においては、せん断ひずみ振幅 $\gamma = 0.3\%$ の $\theta = 20^\circ \sim 90^\circ$ と $\gamma = 1.0\%$ の全ての条件で液状化していることがわかる。繰返し回数 $n = 100$ 回においては、せん断ひずみ振幅 $\gamma = 0.1\%$ の位相差 $\theta = 0^\circ$ を除く全ての条件で液状化していることがわかる。

図-4に豊浦砂について位相差の相違による繰返しせん断後の

表-1 試料の物理定数

	$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$
豊浦砂	2.637	0.991	0.63

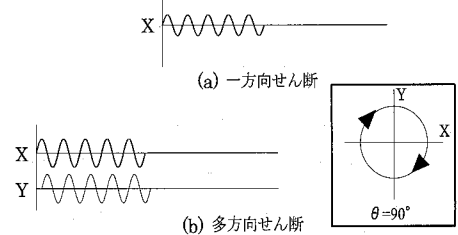
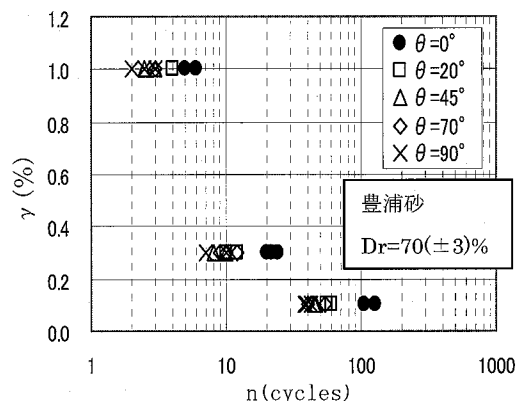
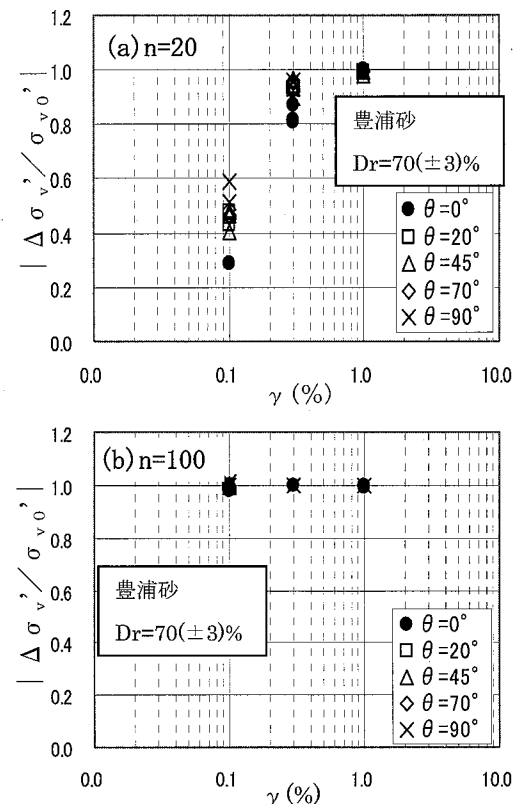


図-1 載荷パターン

図-2 γ と n の関係図-3 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ と γ の関係

沈下特性への影響として、沈下ひずみ ε_z とせん断ひずみ振幅 γ との関係を示す。せん断ひずみ振幅 $\gamma = 0.1\%$ において、位相差の影響が見られる。 $\gamma = 0.3\%$ においては、位相差

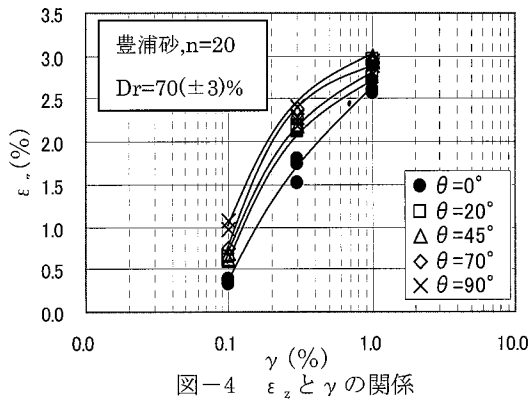


図-4 ε_z と γ の関係

の影響が見られるが、位相差 0° と 20° では沈下量に差が見られるのに対して、 $\theta = 20^\circ \sim 90^\circ$ においては位相差の影響はあまり見られないことがわかる。 $\gamma = 1.0\%$ において位相差の影響が小さくなっている。

図-5(a)(b)は豊浦砂について相対密度の違いが繰返しせん断後の沈下特性に及ぼす影響を示したもので、それぞれ(a) $\gamma = 1.0\%$ 、(b) $\gamma = 0.1\%$ の結果である。 $\gamma = 1.0\%$ においては、すべての条件において相対密度の変化に伴う沈下ひずみの差が小さいことがわかる。これは液状化により急激に沈下が進んだためと考えられる。 $\gamma = 0.1\%$ においては、ひずみ振幅が小さいため、相対密度の違いによる沈下量への影響が見られる。また図-6に沈下ひずみ ε_z と繰返しせん断後の相対密度との関係を示す。同図より、 $\gamma = 1.0\%$ において繰返しせん断前の $Dr_0 = 70\%$ については、液状化後の再圧密により相対密度が $82 \sim 87\%$ 付近まで上昇し、繰返しせん断前の $Dr_0 = 80\%$ については、液状化後の再圧密により相対密度が 90% 以上まで上昇している。このことから、まだ多少の相違は見られるが、双方ともある一定の値に収束すると考えられる。

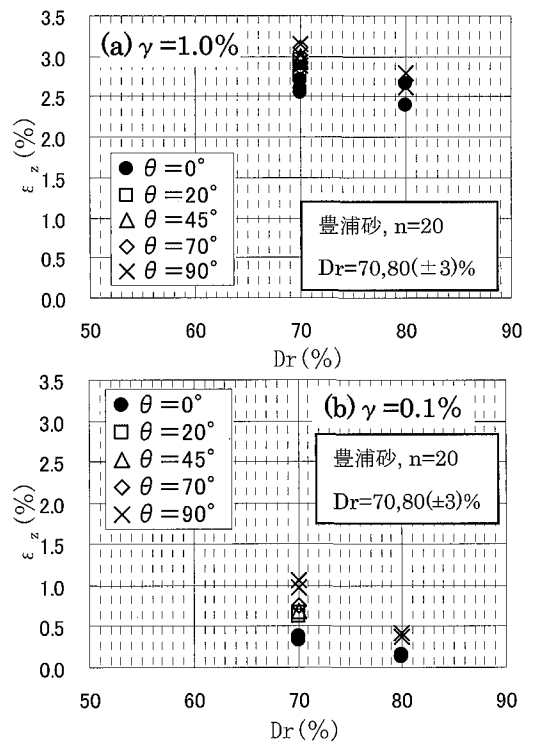


図-5 ε_z と Dr の関係

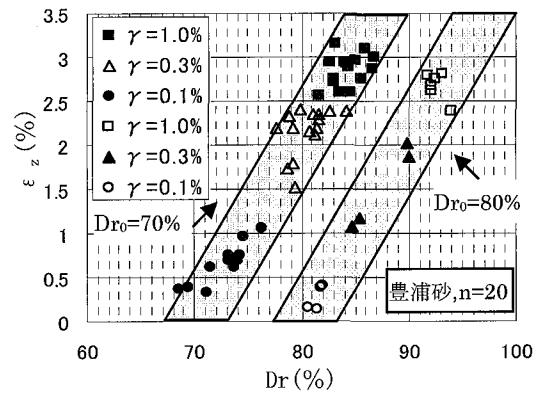


図-6 ε_z と繰返しせん断後 Dr の関係

図-7 は豊浦砂について繰返し回数 $n = 20$ 回時の沈下ひずみ ε_z と繰返しせん断中の有効応力減少比 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ との関係である。同図より、有効応力減少比 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ が 1 に近づくにつれて急激に沈下ひずみ ε_z が増加している。また、図中のプロットがほぼ同一の曲線上にあることが見て取れる。これらより、有効応力減少比が 1 未満のときは載荷パターンが異なっても繰返しせん断中に生じる有効応力減少量が同じであれば、その後生じる沈下量は同じであることがわかる。

4. 結論

本研究では、豊浦砂を用い繰返しせん断波の位相差と繰返しせん断中に生じる有効応力減少、繰返しせん断後の沈下特性の関係について調べた。その結果以下のことが明らかになった。1) せん断ひずみ振幅が大きくなると沈下量が大きくなる。2) 初期相対密度の相違により沈下ひずみに差が見られ、また液状化が発生することで過剰間隙水圧消散後は締固め効果によって相対密度が増加する。

参考文献：1) Robert Pyke, H. Bolton Seed, and Clarence K. Chan, Settlement of Sands under Multi-directional Shaking, Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol.101, GT4, pp.379-398 1975

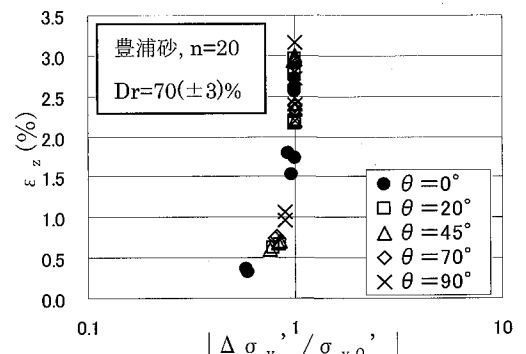


図-7 ε_z と $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ との関係