

愛媛大学工学部 フェロー会員 森 伸一郎
愛媛大学大学院 学生会員 ○門脇 慶典
京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男

1. はじめに

一般に液状化試験は、正弦波載荷により行われている。しかし、実際の地震波はさまざまな周波数成分を含んでいる。そのため、複数の異なる周波数成分を含んだ波の液状化特性を検討する必要がある。これまでに正弦波と正弦波ではない波を載荷として液状化特性の比較を行ってきた¹⁾²⁾³⁾。しかし結果の解釈には繰返し回数の定義の方法が重要な課題の1つであり、これには研究発表の際いろいろなご意見を頂いた。そこで、本研究では、さらに2種類の波を追加し4種類の載荷波で中空ねじり試験機を用いた実験により液状化特性を比較して正弦波ではない波で載荷したときの液状化特性と繰返し回数の定義を検討する。

2. 実験方法と載荷波

試料には豊浦砂($\rho_{\text{dmin}} = 1.343 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{dmax}} = 1.640 \text{ g/cm}^3$, $\rho_s = 2.650 \text{ g/cm}^3$)を用いて、漏斗による空中落下法で、 $Dr = 50\%$ を目標に供試体を作製した。実際には $Dr = 50.9 \sim 54.6\%$ となった。供試体は、外径 10 cm、内径 6 cm、高さ 12 cm の中空円筒状である。飽和化には、供試体の空気を二酸化炭素で置換した後、脱気水を注入した。背圧は 200 kPa とした。飽和の後、初期有効拘束圧 98 kPa で等方圧密した。その後、応力制御により、非排水状態で繰返しねじり試験を行った。

載荷波として、正弦波に加えて片側の載荷を増やした波を3種類、計4種類の波を採用した。これらの波を片側 n 半波($n = 1, 2, 3, 4$)と呼ぶ。4種類の載荷波の振幅は同じである。目標応力比は 0.2, 0.3, 0.4 の3通りである。また、繰返し回数の定義として2種類採用した。(A)は累積損傷度理論より載荷波がゼロを横切ったときを半波とした。(B)は載荷波の1山または1谷を半波とした。例として図-1に応力比 0.2 のせん断応力波形を示す。ただし横軸の載荷波数は(A)の定義による。片側 n 半波の載荷波は正負それぞれの片側で n 回の繰返し載荷が行われている。

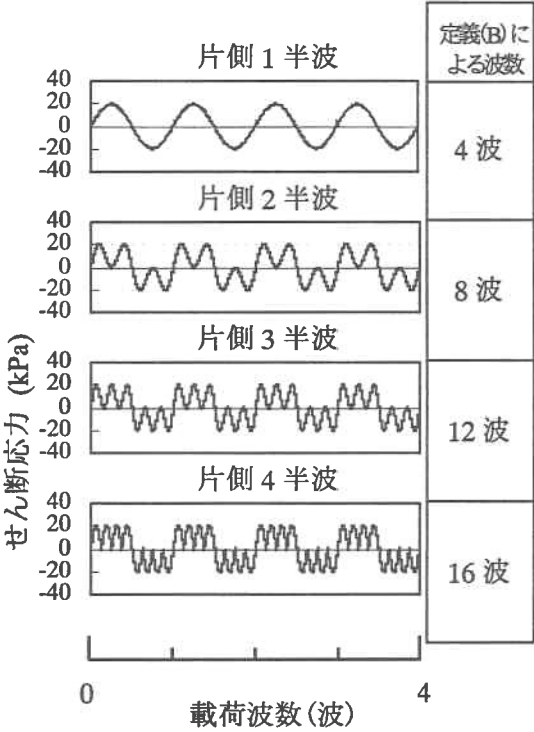


図-1 (A)の定義によるせん断応力波形

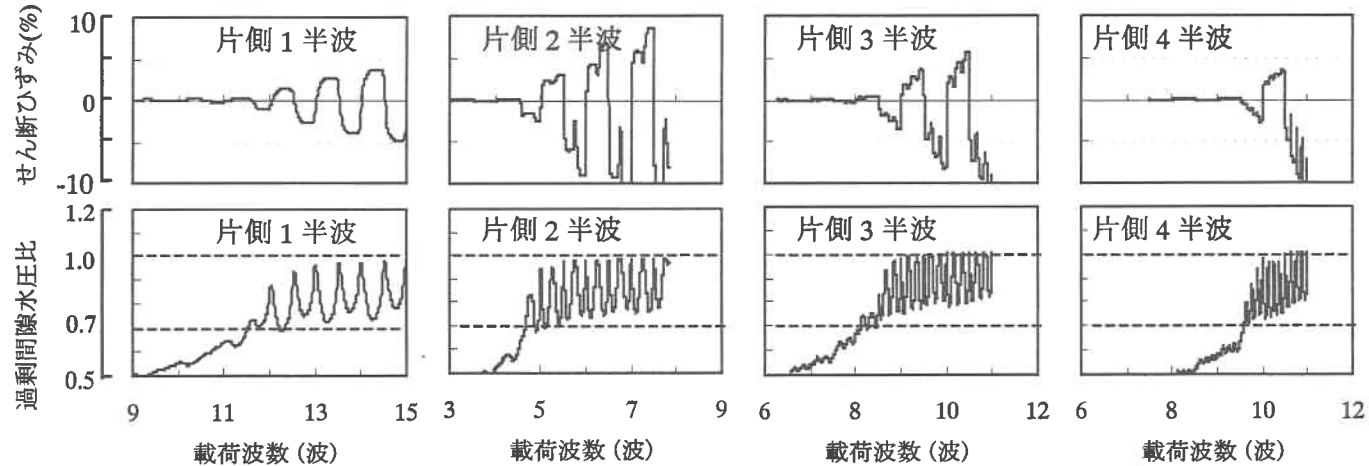


図-2 せん断ひずみと過剰間隙水圧比の時刻歴(ただし横軸の載荷波数は(A)の定義による)

3. 実験方法と载荷波形

液状化の判定基準はせん断ひずみの両振幅が5%のときと過剰間隙水圧比が0.95のときとした。以降、応力比0.2のケースに着目して結果の考察を述べる。図-2に過剰間隙水圧比が0.5以上のときのせん断ひずみ、過剰間隙水圧比と繰返し回数の関係を示す。ただし(A)の定義によるものである。これらの図から片側1半波の载荷では13回、片側2半波の载荷では5回、片側3半波の载荷では9回、片側4半波の载荷では10回を越えたあたりで液状化している。また、過剰間隙水圧比が0.7を越えたあたりから、片側での再载荷がせん断ひずみを大きく上昇させていることがわかる。

図-3に有効応力経路を示す。有効拘束圧が約75 kPa以上と破壊線に到達した以降の挙動については4種類ともよく似ている。また、有効拘束圧が約75 kPa以降から変相線に到達するまでは、片側2半波以外は経路の概形がよく似ている。また、片側1半波以外の3種類の有効応力経路に着目すると、片側1度目の载荷で有効拘束圧が減少しているが2度目以降の载荷ではあまり減少しない。

4. 液状化特性と繰返し回数の解釈

図-4にせん断ひずみの両振幅が5%のときの(A)の定義による液状化抵抗曲線を示す。

この図から片側2半波、片側3半波、片側4半波はほぼ同じ液状化抵抗である。またこの3種類の载荷波は片側1半波より液状化抵抗を小さく評価している。このことより、片側での再载荷により液状化抵抗を小さく評価することがわかった。また片側での再载荷の回数を増やしても、液状化抵抗の評価に影響がないことがわかった。一方、図-5に(B)の定義による液状化抵抗曲線を示す。片側1半波と片側2半波の液状化抵抗はほぼ同じである。しかし片側3半波、片側4半波では液状化抵抗を大きく評価するという矛盾が起こってしまう。このことより、繰返し回数の定義は(A)の方が妥当であることがわかった。

5. 結論

振幅の同じ4種類の载荷波で中空ねじり試験機を用いた要素試験を行うことにより、砂の液状化特性の比較と正弦波以外での波の繰返し回数の定義を検討し、次の結論を得た。(1)片側での再载荷は、過剰間隙水圧比が約0.7に到達するとせん断ひずみを増加させることや、過剰間隙水圧の上昇を促進させる傾向がある。

(2)正弦波以外の繰返し回数の定義は、载荷波がゼロを横切ったとき半波とすることが妥当である。

参考文献 1) 森 伸一郎, 門脇 慶典, 澤田 純男, 込山 貴士: 異なる周波数の調和波载荷による砂の液状化特性, 土木学会四国支部第7回技術研究発表会講演概要集, pp270-271, 2001.5 2) 森 伸一郎, 門脇 慶典, 澤田 純男, 込山 貴士: 異なる周波数の重合調和波载荷による液状化特性, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集, III, CD-ROM, 2001.10 3) 森 伸一郎, 門脇 慶典, 澤田 純男: 複数周波数の調和波载荷による砂の液状化特性, 第一回日本地震工学研究発表・討論会梗概集, p50, 2001.11

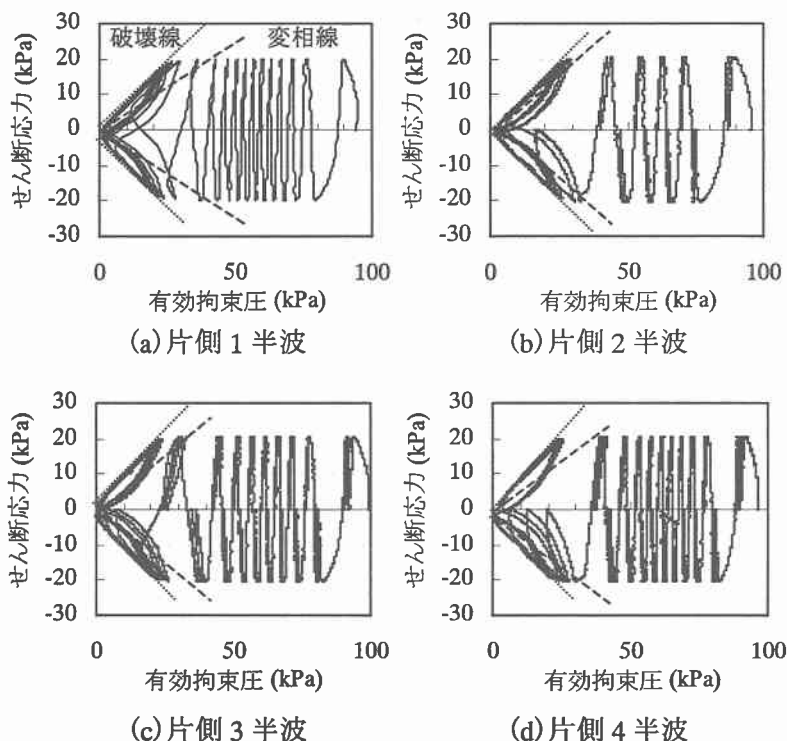


図-3 各载荷波の有効応力経路

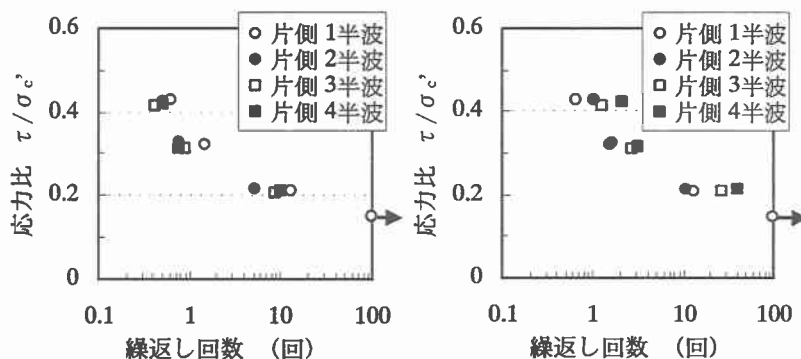


図-4 (A)の定義による
液状化抵抗曲線

図-5 (B)の定義による
液状化抵抗曲線