

異なる周波数の重合調和波載荷による砂の液状化特性

愛媛大学工学部	フェロー	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
中央コンサルタンツ	正会員	込山 貴士

(元、愛媛大学大学院)

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。

表層地盤に入射する地震波は複数の周波数成分から構成されているばかりではなく、表層地盤内の要素に作用するせん断応力波は地盤の基本固有周波数や高次のそれに支配される。すなわち、地盤の1次固有周波数を基本周波数とし、それに2次固有周波数が付加されているものと仮定すると、異なる周波数成分の正弦波を重ね合わせた混合波とみなせる。そこで、本研究では、このような混合波と正弦波を載荷波として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、検討する。

2. 実験概要

試料には豊浦砂 ($d_{min} = 1.345 \text{ g/cm}^3$ 、 $d_{max} = 1.658 \text{ g/cm}^3$ 、 $s_s = 2.650$)を用いて、空中落下法により、 $Dr = 50\%$ を目標に供試体を作製した。実際には $Dr = 48.5 \sim 57.6\%$ 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49 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。

載荷波には基本周波数0.1 Hzの正弦波と0.3 Hzの高次の正弦波を同じ振幅かつ位相差0度で重ね合わせた混合波と、0.1 Hzの正弦波の2種類を使用した。応力比は0.15、0.2、0.3、0.4の4通りである。

3. 実験結果

ここでは、液状化の判定基準を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。また、応力比0.3のケースに着目して結果の考察を述べる。図-1は載荷に用いたせん断応力波形である。図-2にせん断ひずみの図-3に過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。これらの図から正弦波載荷、混合波載荷共に1サイクルを越えたあたりで液状化していることがわかる。次に、図-1と図-3を比較すると、正弦波載荷、混合波載荷共にせん断応力が0付近のときだけ過剰間隙水圧比が1になっている

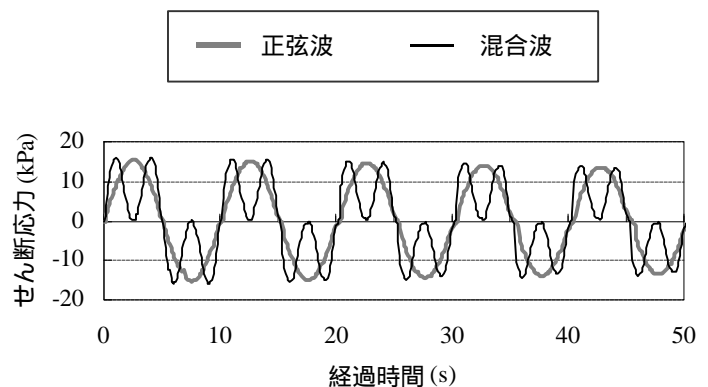


図-1 せん断応力の時刻歴

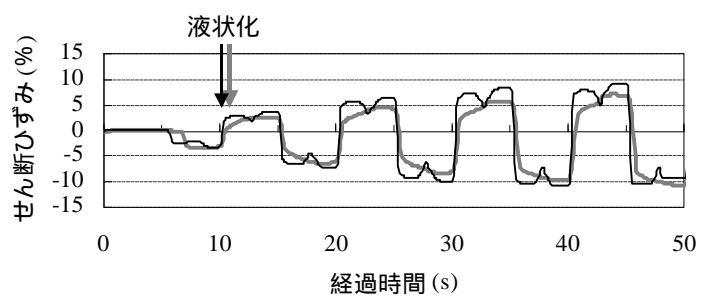


図-2 せん断ひずみの時刻歴

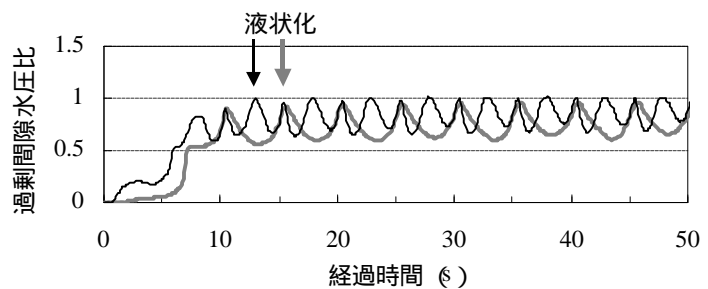


図-3 過剰間隙水圧比の時刻歴

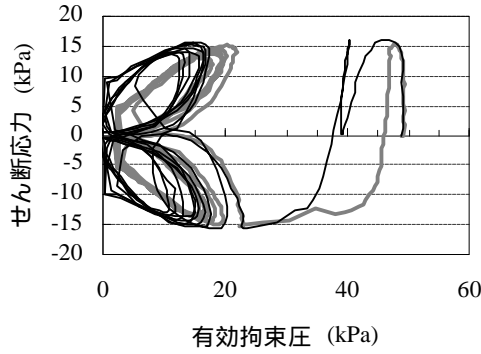


図 - 4 有効応力経路

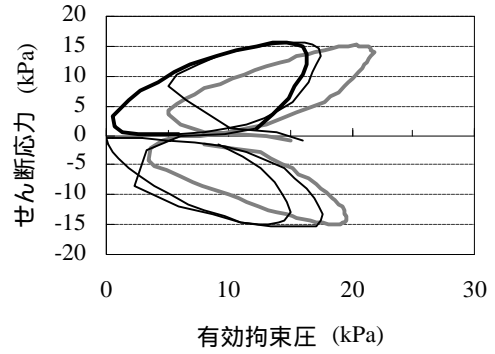


図 - 5 基本周波数 2 サイクル目の有効応力経路

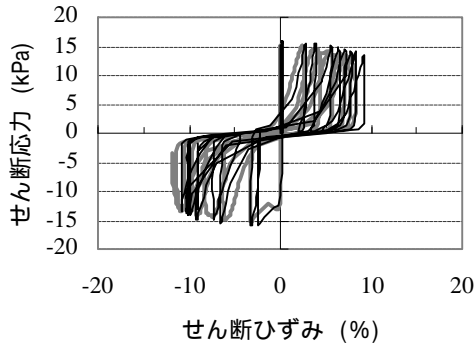


図 - 6 応力 - ひずみの関係

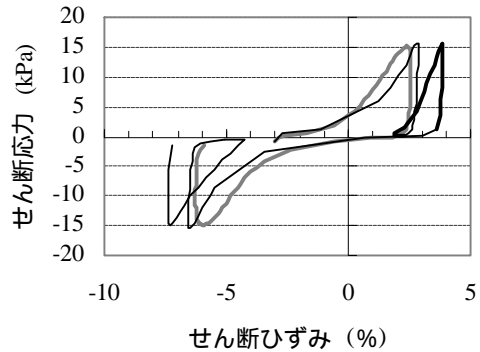


図 - 7 基本周波数 2 サイクル目の応力 - ひずみの関係

ことがわかる。図 - 4 に有効応力経路を示す。正弦波載荷と混合波載荷では有効拘束圧が 0 付近の挙動に違いが見られる。また、図 - 5 に基本周波数 2 サイクル目(経過時間 10 秒から 20 秒まで)の有効応力経路を示す。この図から、混合波は正負それぞれの片側で 2 度の繰返し載荷が行われる。1 度目の間隙水圧の大きさは正弦波載荷の間隙水圧と同等であるが、2 度目にはやや大きくなるという違いがある。図 - 6 に応力 - ひずみの関係を示す。また、図 - 7 に 2 サイクル目(経過時間 10 秒から 20 秒まで)の応力 - ひずみの関係を示す。混合波載荷では 1 度目のせん断ひずみの大きさは正弦波載荷のせん断ひずみと同等であるが、2 度目にはやや大きくなるという違いがある。

次に、せん断ひずみの両振幅が 5% のときの液状化抵抗曲線を図 - 8 に示す。この図からは基本周波数で整理した場合に正弦波載荷と混合波載荷に差はないことがわかる。

以上のことから、ある波に高次の波を重ね合わせても、影響があまりないということがわかる。これは、波の重ね合わせで液状化特性に影響を及ぼす要因は振幅であるということの意味している。波の重ね合わせで振幅に影響する要因として位相がある。つまり、混合波を載荷波としたとき、液状化特性に影響を及ぼす要因の一つとして、位相が考えられる。

4. 結論

振幅の同じ正弦波と混合波で砂の液状化特性の違いを調べるために、中空ねじり試験機を用いた要素試験を行うことにより、正弦波と混合波の砂の液状化特性を比較した。その結果、高次の波が付加された場合には間隙水圧やせん断ひずみを増加させる傾向があるが、液状化抵抗曲線を見た場合、大局的には違いはないことがわかった。

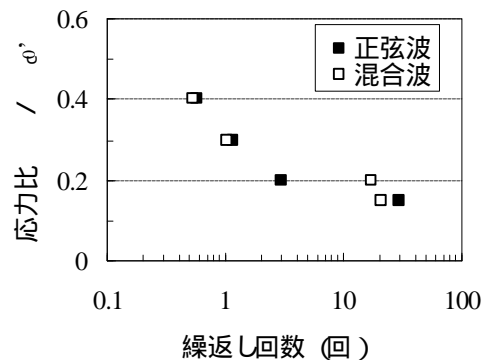


図 - 8 液状化抵抗曲線