

水平二次元せん断が液状化地盤の体積ひずみに与える影響

東北学院大学 学生員 ○伊東久雄 飯川聡美
東北学院大学 正会員 山口晶

1. はじめに

本研究では、水平二次元繰返しせん断試験を行い、繰返しせん断履歴が体積ひずみ量や残留せん断ひずみ量に与える影響と、残留せん断ひずみ量と体積ひずみ量の関係を求めた。さらに液状化時に発生し得る最大の残留せん断ひずみ量を求めることにより、砂の残留せん断ひずみ特性を評価する。実験は両軸ひずみ制御試験と X 軸応力・Y 軸ひずみ制御試験の 2 パターン行った。

2. 水平二次元繰返しせん断試験

図-1に実験に使用した水平二次元繰返しせん断試験機の写真を示す。供試体サイズは直径 60mm、高さ 25mm である。せん断力は下部ペDESTAL が水平方向にスライドすることによって与えている。アクチュエータはステッピングモータで、写真のように直角方向に設置してある。なお、本実験では、X 軸が正面から奥行きの方向軸、Y 軸が横方向軸としている。拘束圧は空圧と上部ペDESTAL に連結したロッドからベロフラムシリンダーにより、供試体に与えている。



図-1 水平二次元繰返しせん断試験機

使用した試料は豊浦砂である。空中落下法で供試体を作製した後、CO₂ 及び脱気水を通す。次に B 値 0.96 以上を確認し圧密する。圧密終了後、非排水状態でせん断を行い、排水量を計測する。

表-1に両軸ひずみ制御試験条件、表-2に X 軸応力・Y 軸ひずみ制御試験条件を示す。両軸ひずみ制御は残留せん断ひずみなし、X 軸応力・Y 軸ひずみ制御は残留せん断ひずみありの条件である。

3. 実験結果と考察

図-2に実験から得られた体積ひずみ量－累加せん断ひずみ量関係を示す。ここでの体積ひずみ量とは、せん断試験後に排水された間隙水の量から計算したものである。両軸せん断ひずみ制御試験の両軸ひずみ振幅 7%(X7Y7)と 10%(X10Y10)の両試験とも、体積ひずみ量がほぼ同程度となったことから、累加せん断ひずみ量が 254%のとき、体積ひずみ量が 4.4%(X7Y7 と X10Y10 の平均値)で頭打ちになることが分かる。この図から、体積ひずみ量－累加せん断ひずみ量は比例関係にあること、同じ累加せん断ひずみ量のとき残留せん断ひずみが発生した方が体積ひずみ量が小さくなること、が分かった。この理由は、砂のダイレイタンス特性により残留せん断ひずみの発生によって間隙水が吸収されるとともに間隙が膨張したためである。そこで、この体積ひずみ量の減少分が残留せん断ひずみの発生に寄与した分とし、その値（以下、体積ひずみ減少分）を求めた。図-3に計算した体積ひずみ減少分と残留せん断ひずみ量関係を示す。図-3を見ると、体積ひずみ減少分と残留せん断ひずみ量は比例関係にあり、初期せん断力の大きさに依存しないことが分かる。

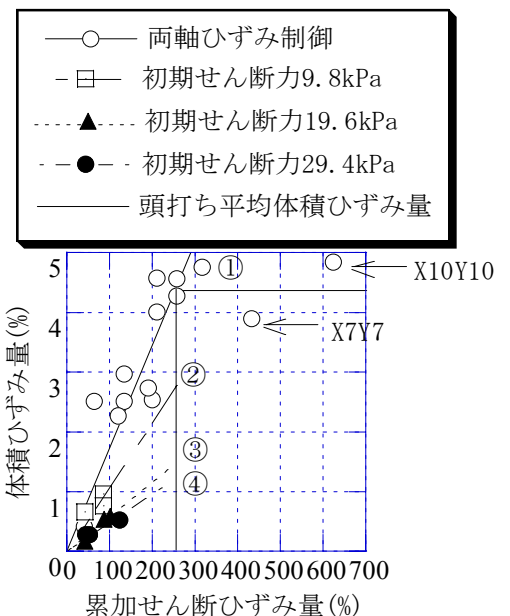


図-2 体積ひずみ量－累加せん断ひずみ量関係

図-4に残留せん断ひずみ量－累加せん断ひずみ量関係を示す。図-4を見ると、残留せん断ひずみ量と累加せん断ひずみ量は比例関係にあり、残留せん断ひずみ量の発生は、初期せん断力の大きさに依存しないことがわかる。以上から、体積ひずみ量や残留せん断ひずみ量を求める場合は、累加せん断ひずみ量を指標の一つとして考えることができる。

ここで、液状化時に発生しうる最大の残留せん断ひずみ量を求めることにより、砂の残留せん断ひずみ特性を評価する。図-2において、累加せん断ひずみ量が254%のときの残留せん断ひずみ量が発生しない実験(①)と初期せん断力を載荷し残留ひずみが発生した実験(②, ③, ④)の差が体積ひずみ減少分の最大値である。従って、この体積ひずみ減少分の最大値から求めた残留せん断ひずみ量は、各初期せん断力における残留せん断ひずみ量の最大値となる。図-5に最大の残留せん断ひずみ量-初期せん断力関係を示す。また、図中には頭打ち分の体積ひずみ量4.4%が全て残留せん断ひずみの発生に使われた場合の推定値も示した。残留せん断ひずみ量の最大値は、初期せん断力に依存することがわかる。つまり、初期せん断力が大きく載荷されている方が、残留せん断ひずみ量が大きく発生するため危険である。

4. まとめ

水平二次元せん断試験機により、両軸ひずみ制御試験およびX軸応力・Y軸ひずみ制御試験を行った。その結果、体積ひずみ量と残留せん断ひずみ量は累加せん断ひずみ量に比例することが分かった。また、残留せん断ひずみ量-累加せん断ひずみ量関係から、残留せん断ひずみの発生に寄与する体積ひずみ量を求め、最大で発生し得る残留せん断ひずみ量の値を求めた。本研究の実験で用いた豊浦砂供試体では、最大で95.2%の残留せん断ひずみ量が発生することが分かった。初期せん断力が大きく載荷されている方が最大の残留せん断ひずみ量が多いことから、初期せん断力がかかっている地盤では残留せん断ひずみ量に対して注意が必要である。

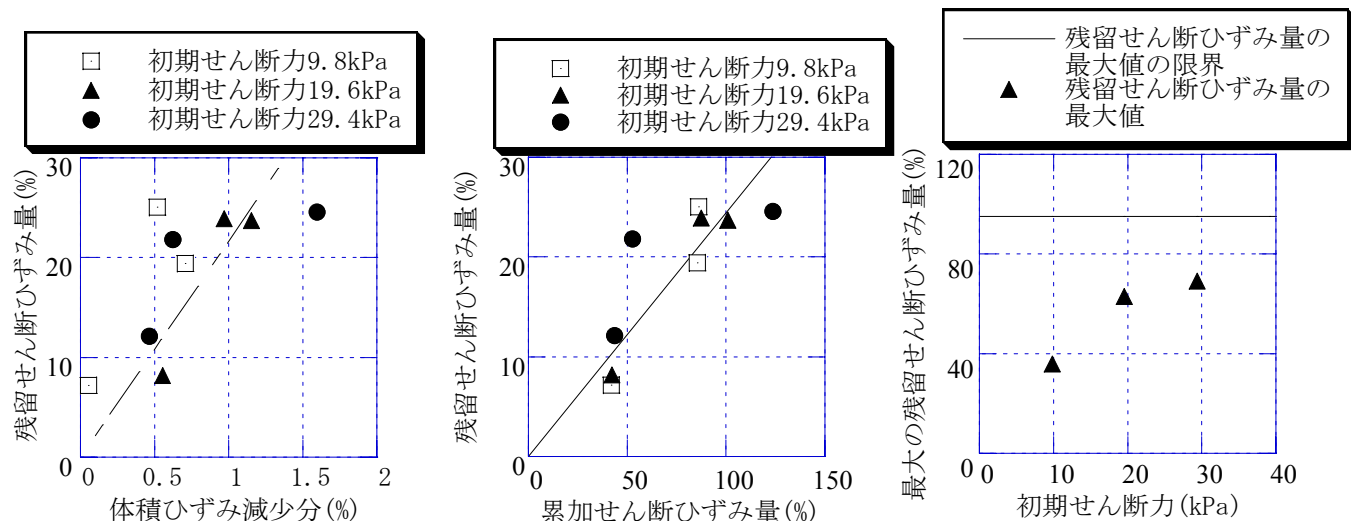


図-3 残留せん断ひずみ量-体積ひずみ減少分関係 図-4 残留せん断ひずみ量-累加せん断ひずみ量関係 図-5 最大の残留せん断ひずみ量-初期せん断力関係

表-1 両軸ひずみ制御試験条件

実験名	X1Y0	X3Y0	X5Y0	X1Y1	X1Y3	X1Y5	X3Y1	X3Y3	X3Y5	X5Y1	X5Y3	X5Y5	X7Y7	X10Y10
X軸振幅(%)	1	3	5	1	1	1	3	3	3	5	5	5	7	10
Y軸振幅(%)	0	0	0	1	3	5	1	3	5	1	3	5	7	10
相対密度(%)	32.1	46.2	60.1	46.0	56.3	59.0	46.5	34.0	47.4	55.3	60.1	38.0	63.5	34.2

表-2 X軸応力・Y軸ひずみ制御試験条件

実験名	X98Y5	X98Y3	X98Y1	X196Y5	X196Y3	X196Y1	X294Y5	X294Y3	X294Y1
X軸せん断応力(kPa)	9.8	9.8	9.8	19.6	19.6	19.6	29.4	29.4	29.4
Y軸振幅(%)	5	3	1	5	3	1	5	3	1
相対密度(%)	49.1	29.4	49.9	49.9	40.6	30.6	20.1	34.1	31.6