

直応力三方向成分並びにせん断応力を独立に制御する 中空ねじり試験制御システムの構築

東北大学 学生会員 ○森内 一生
東北大学 正会員 河井 正

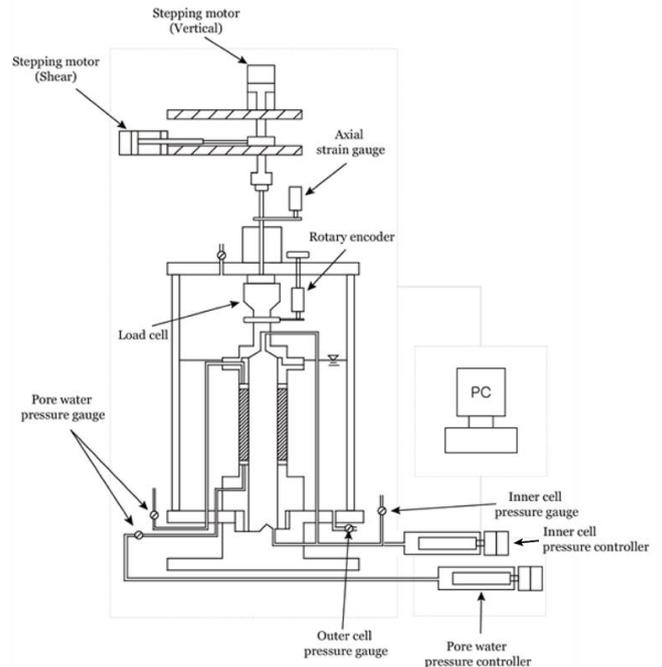
1. はじめに

土木構造物の場合、線状構造物とみなせるものが多く、平面ひずみ条件で解析が行われる機会が多い中空ねじり試験などで平面ひずみ状態での試験を実施する場合、試験の容易さから、鉛直変位を固定し非排水条件下でせん断を行うことにより、等体積の拘束より結果的に平面ひずみを実現されるという方法が採用される場合がある。しかし、この場合は、鉛直変位を固定したために、鉛直全応力の変動を許容しており、次の2点の理由により非現実的である。すなわち、①異方応力状態下での繰返しせん断に伴う沈下が再現されない、②そもそも地震中に上載部分がなくなるわけではないためその分の全応力は一定である、ということが考えられる。一方、上記①、②の解決ならびに装置制御の容易さから、鉛直全応力一定の制御下で平面ひずみ状態を保持する試験が試みられている（ここでは百間の修論を参照する）。しかし、原位置での地震時の状況を考えた場合、鉛直加速度の影響により鉛直全応力も変動することが想定されるため、より原位置の応力状態に近づけて試験を実施するためには、鉛直全応力も変動する状態で繰返しせん断がなされるべきである。そこで、本研究では、せん断応力だけでなく、鉛直応力も不規則波で制御できる中空ねじり試験システムの構築を目標とし、さらにはねじりせん断応力と直応力3成分の全ての応力成分を独立に不規則波で制御できる試験システムの構築を試みた。

2. 実験概要

実験には中空ねじり試験機を用いた。本研究で用いた中空ねじり試験機は、応力4成分独立制御と平面ひずみ制御を実現するため、外セル室は電空変換機を用いて、また、内セル室はピストンによる注排水を用いて、内セル圧と外セル圧を独立に制御できるよう構成されている。さらにせん断応力はモーターによるねじりでせん断ひずみを与えることにより、鉛直応力は軸モーターによる伸縮によって制御することができる

また、供試体とつながったピストンの注排水によって間隙水圧も制御することができる。



3. 実験手順

炉乾燥させた豊浦砂を用いて、高さ 100 mm、外径 70 mm、内径 30 mm の中空供試体を作製した。その際には、供試体を5層に分け、1層ごとに試料をモールド内にゆるく堆積させた後、側方からモールドを打撃することで供試体が所定の密度になるよう締め固めた。その後、作製した供試体の間隙を二酸化炭素ガス、脱気水の順で満たし、供試体を飽和させた。この際、B値が0.95以上であることを確認した。続いて初期平均有効拘束圧 49kPa で $K_0=0.5$ の異方状態になるように供試体を圧密し、载荷を行った。

4. 制御アルゴリズム

制御は全応力ではなく有効応力で行う。鉛直有効応力を制御、後に鉛直有効応力+間隙水圧（一定に制御）で鉛直全応力が制御通りに変動していることが確認できれば良いからである。そこで間隙水圧を一定に保つ

制御も導入する。応力4成分を独立に制御するプログラムの概要を以下に示す。

[目標応力値の設定]

- ・目標せん断応力、鉛直応力、水平2方向応力を設定する。ただし水平2方向成分は内セル圧、外セル圧に変換する。
- ・応力4成分の内、いずれかの成分でステップごとの応力差が2kPa以上あった場合、すべての応力成分に対して線形補完を実行する。

[制御ルーチン]

- ・せん断応力、鉛直有効応力、内セル圧、外セル圧、及び間隙水圧の内、目標値から0.5kPa以上かい離したものに対して制御を行う。

「せん断応力が0.5kPa以上かい離した場合」

せん断応力が目標応力より大きい場合は下げる方向にせん断ひずみを与える。小さい場合は上げる方向にせん断ひずみを与える

「鉛直有効応力が0.5kPa以上かい離」

鉛直有効応力が制御目標値より大きい場合、伸長方向に軸変位を与える。小さい場合、圧縮方向に軸変位を与える。

「内セル圧が0.5kPa以上かい離」

内セル圧が制御目標値より大きい場合、内セルにつながったピストンを用いて排水をする。小さい場合、内セルにつながったピストンを用いて注水をする。

「外セル圧が0.5kPa以上かい離」

外セル圧が制御目標値より大きい場合、外セル圧を減少させる。小さい場合、外セル圧を増加させる。

「間隙水圧が一定値に対して0.5kPa以上かい離」

間隙水圧が制御目標値より大きい場合、供試体につながったピストンを用いて排水をする。逆に、内セル圧が制御目標値より小さい場合、供試体につながったピストンを用いて注水をする。

これらの操作をすべての応力成分及び間隙水圧が制御目標値を満たすまで繰り返す。

6. 実験結果

6. 1. 使用材料の物理特性

炉乾燥させた豊浦砂を使用した。最大間隙比0.964, 最少間隙比0.631, 土粒子密度2.668 g/cm³で相対密度60%になるようにした。

6. 2. 波形作成

遠心模型実験から得られた原波形から入力波形を作成した。原波形の初期値を平均有効応力49kPa、K0=0.5の異方状態に補正した。また内部摩擦角30°を超えないように、振幅の増分を縮小した。せん断応力と鉛直応力について、入力波形を実線で結果のピーク値を抽出したものを点で表し図2に示す。

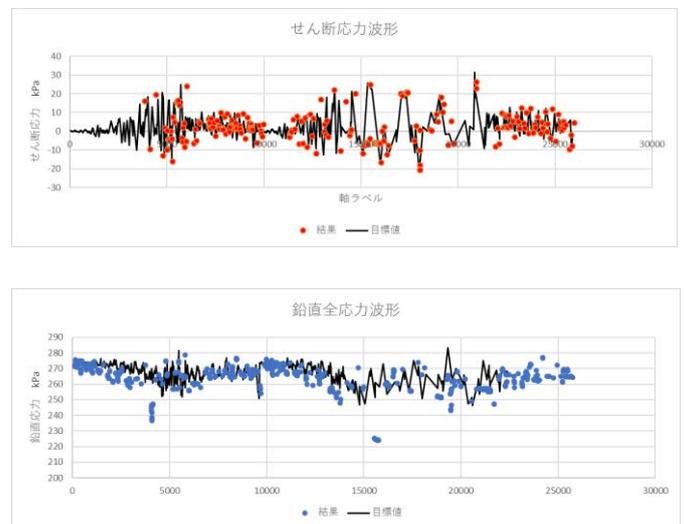


図2 入力波形と結果のピーク値を比較

参考文献

- 1) 百間幸晴：飽和地盤の地震時挙動解析の妥当性検証に向けて—密な礫質土で構成された盛土を有する護岸部地盤を対象とした検討—, 東北大学修士論文, 2019.