

中空ねじり試験機の使用法（圧密・ねじり過程）

実験技術グループ
波岸彩子

はじめに

土質力学実験室(防災研究所 E-101D)には地盤防災解析分野の保有する土質試験装置が設置されている。そのひとつである中空ねじり試験機について、同分野のルーベン バルガス氏(同分野 M2)から使用法を教示いただく機会があったので紹介する。本稿は2015年の川崎技術職員による報告の続報でもある。

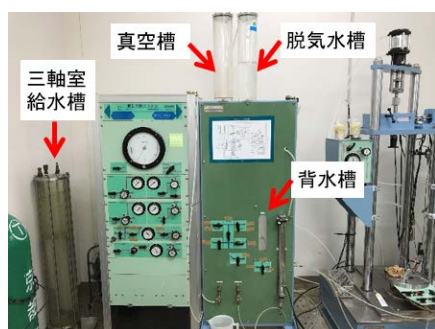
試験装置

電気計測制御装置および空気系装置(誠試工 平成19年製)

データ収録装置(東京測器研究所 DC-104R, Windows XP)



中空ねじり試験装置の概観



水槽の種類と位置



供試体作製用器具

使用方法

準備

試験前日に脱気水を作っておく。

ペDESTALと試料キャップのポーラスストーンが完全に乾いていることを確認する。

メンブレン(アウター・インナー)とOリング(大・小)にはベビーパウダーをはたいておく。

チューブの導通を確認する。

電気計測制御装置のうち、アンプの電源のみ入れる。

サーボ制御器の電源はまだ入れなくてよい。

計測用 PC 及び DC-104 の電源を入れる。

今回は例として下記の試験条件で実施した。

予圧密 (kPa)	背圧 (kPa)	セル圧 (kPa)	有効応力 (kPa)	相対密度 (%)	トルク (N・m)	DY-PEAK (°)
20	200	300	100	80	7.2	380

センサーの校正

荷重トルク検出器にキャップを取付ける。間隙水圧計は大気圧中へ開放状態にする。

各センサーのゼロバランスをとり、定格出力を以下の数値に合わせる。

	トルク計	垂直荷重計	間隙水圧計
GAIN (電圧)	5 V	50 V	10 V
MEAS (物理量)	20 N・m	100 kgf	10 kPa

供試体の作製と設置

供試体の設置方法については技術室報告第 16 号を参照されたい。

しかしながら同報告では樹脂製の供試体を用いていたので、ここでは砂試料による供試体作製の方法を述べておく。

(ア) 気中落下法による供試体作製

ペDESTALにバキュームグリースを塗布しインナーメンブレンをつける。

メンブレンの端部には O リングと、使用済みメンブレンをカットした手製 O リングによって 2 重に固定する。

ペDESTALを台座にねじで固定し、供試体(下)のチューブを接続する。

同様に、ペDESTALにアウターメンブレンをつける。

インナーモールドを組立て、砂がモールドとメンブレンの隙間に入らないよう輪ゴムをかけてメンブレンを折り返しておく。

アウターモールドをつけ、O リングをかける。

モールドサクシオンを作用させ、アウターメンブレンとアウターモールドの間に隙間ができないように

装着して折り返す。

アウターモールドに砂受けを被せ、気中落下法で砂試料をモールド内に入れていく。

砂が満杯になったら端面を整える。

メンブレンや砂受けに付着した砂は丁寧に刷毛で落とすこと。

残った砂の量から供試体の重量を求める。

キャップに供試体(上)のチューブを接続し、慎重に試料の上に置く。

キャップにメンブレンを被せ、モールドサクションを止める。

砂試料の崩壊を防ぐため、供試体に -20kPa の負圧を作用させる。

負圧は供試体(上)に真空槽を接続して作用させる。

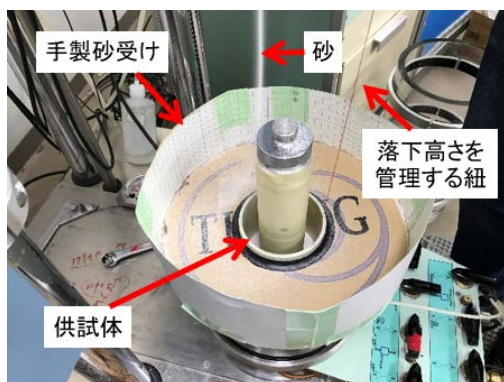
PC上で間隙水圧計をゼロバランスし、数値モニターを見ながらゆっくりと -20kPa まで下げるとよい。

-20kPa で5分ほど放置し、負圧が維持されることを確認してからモールドを解体する。

負圧を維持できない場合は、メンブレンの装着部分に隙間が生じているか、穴があいていることを疑う。

供試体の直径と高さを計測し、相対密度を求める。許容誤差は約 $\pm 2\%$ 。

メンブレン厚を忘れずに考慮すること。



気中落下の様子



完成した供試体

(イ) 三軸室の組立て

三軸室を組み立てるあいだも、間隙水圧計の値をこまめにチェックし異常があればメンブレンの装着状態を再確認すること。

センサーを結線する。

ピストンロッドのクランプを外し、トルクヘッドをゆっくりと降ろして試料キャップに近づける。

供試体に垂直荷重が加わらないよう慎重にねじで固定する。

触れるか触れないかの位置でねじを少しだけ締め(-)、ピストンロッドを少し下げる(+)ことを交互に繰り返すとよい。

ねじが締まり荷重計の値が0 となったら、クランプで固定しておく。

回転計の初期位置がレンジ($\pm 20^\circ$)の中央になるよう荷重トルク検出器の溝に設置し、ゼロバランスする。

一旦センサーを外し三軸室を組み立てる。

異常が無ければセンサーを再結線する。

横圧を利用し、供試体(上)のチューブの高さまで三軸室に注水する。

エアスライドで三軸室を載荷位置まで移動する。

供試体の崩壊を防ぐため、横圧を 10kPa に上げてから供試体の負圧を止める。

供試体(下)から排気する。

異常が無ければ横圧を 20kPa まで上げる。

垂直変位計を取り付け、ゼロバランスする。レンジに気をつけること。

垂直載荷用アクチュエーターの ZERO ダイヤルを-40 に合わせ、電源を入れる。

ダイヤルを-40 から-20 くらいまで上げるとロッドがゆっくりと降りてくる。

ロッドがカップリングに触れたのを確認し、ねじで締結する。

荷重トルク検出器のピストンランプを、荷重計の値が 0 で安定するかどうか注意しながらゆっくりと外す。

何らかの値が出ていれば ZERO ダイヤルを調整して 0 に保つ。



アクチュエーターとパネルの対応



垂直載荷用アクチュエーターのパネル

(ウ) 供試体の飽和

まずは供試体内の空気を CO₂ で置換する。

CO₂ を供試体(下)から供試体(上)へと注入し、出てきた気体はバケツの水でトラップする。

供試体(下)は 2 あるので片側 7 分間ずつ、計 15 分間程度注入を続ける。

試料の攪乱を避けるため CO₂ の流量を上げ過ぎないこと。

CO₂ 置換が終われば供試体を飽和する。

CO₂ と同様、供試体(下)から供試体(上)へと脱気水を浸透させるが、ここでは負圧を利用する。

供試体(上)に真空槽を、供試体(下)に脱気水槽を接続し、-20kPa 程度の負圧によって飽和を始める。

開始する際、バルブは極めてゆっくり開けること。

供試体(下)は 2 箇所あるので 2,3 分おきに交換するが、チューブを接続する際に空気が混入しないよう注意すること。

充分量の脱気水が浸透したら、供試体内に 1~3kPa 程度の間隙水圧が残るよう、供試体(下)、供試体(上)の順にバルブを閉じる。

(エ) B 値の測定

計測用 PC でビュレット体積をゼロバランスする。

供試体(下)とビュレットを接続し、排水状態にしてビュレット体積の増減を観察する。

体積計の値の増減は 0.08ml 以下であれば許容範囲である。

背圧(図 13)を 200 kPa まで上げる。

背圧が急上昇すると圧力が土粒子よりも先に間隙水に伝わって液状化するため、ゆっくりと背圧のダイヤルを回すこと。

200kPa まで徐々に上げ、体積変化が±1ml 以内に収まっていればよい。

それ以上の体積変化が見られたらメンブレンに穴があいていると判断し試験を中止する。また、あまりに圧力の変化が乏しければ供試体への空気の混入を疑う。

飽和度の指標となる B 値を測定する。

まずは現在の背圧のゲージダイヤル値、間隙水圧、ビュレット体積の値を記入する。

供試体を非排水にし、背圧を 240kPa まで上昇させて上記 3 項目を再び記入する。

B 値= Δ 間隙水圧/ Δ セル圧である。

圧密

有効応力を安定させ、自立した状態で試験をするために供試体を圧密する。

横圧を 300kPa まで上昇させる。

データ収録を開始し、供試体を排水条件にして約 5 分間放置する。

間隙水圧が 200kPa に落ち着いたことを確かめ、データ収録を停止する。

ねじり過程

ねじり载荷用アクチュエーターの電源を入れる。

VALVE OUT ZERO ダイアルを回しモニターの数値を 4.95 に上げるとロッドが左方向へ動きだす。

ロッドはねじになっていて、セルの上部に連結できるようになっている。

センサー値に突発的なノイズが生じるとアクチュエーターが暴走し、ロッドとセルの連結部の間に指を挟む恐れがあるため、隙間に絶対に指を入れないこと。

連結できたら、トルクの値を注視しながらクランプを外す。

数値が 0 から大きく外れるようであれば、VALVE OUT ZERO ダイアルを調整してトルクの値を 0 に合わせる。

供試体を非排水にする。間隙水圧が安定していることを確認する。

再現したい CSR レベルから必要なトルクの最大値を求める。

トルクと DY-PEAK の校正曲線から適当な DY-PEAK を求める。

校正曲線は一連の試験シリーズをおこなう前に得ておくといよい。

DY=PEAK のダイアルを目標値にセットする。

非排水条件であることを確認し、トルク・回転計・垂直荷重・間隙水圧が接続してある DC-104R のデータ収録を始め、载荷をスタートする。

载荷速度は 0.1Hz である。

回転系の値が $\pm 5^\circ$ まで動くようになったら载荷を終了する。これは 10% のひずみ量に相当する。

供試体を排水条件にし、ビュレット体積を計測しながら 5 分間再圧密させ、過剰間隙水圧の消散を待つ。

再圧密の計測が終われば、試験終了である。



ねじり载荷用アクチュエーターのパネル



ゆび注意

供試体の片付け

手順を誤ると怪我に繋がるため、気を抜かないこと。
ピストンロッドのクランプおよびねじり載荷用のクランプをしっかりと固定する。
ねじり載荷用アクチュエーターを操作し、ロッドを右方向へ収納する。
アクチュエーターを止め、電源を切る。
鉛直変位計を外す。
垂直載荷用アクチュエーターを操作し、4kgf 程度の力で供試体を下に押し付ける。
これは、ボルトを緩めると同時にロッドが上方向へ動く危険なためである。
ボルトを外し終えたら上方向にロッドを収納し、電源を切る。
二つのアクチュエーターの電源が切れたことを確かめ、センサーのプラグを外す。
横圧を利用して三軸室の水を排水する。
供試体を非排水にする。
背圧と横圧を止め、三軸室の圧力を開放する。
順次、三軸室と供試体を解体する。
ペDESTAL、試料キャップ、メンブレンや O リングに付着したグリースを洗剤で洗い落とす。
ただしポーラスストーンに洗剤をつけてはいけない。
水でよくすすいだ後、エアガンでポーラスストーン内の水を除去する。
メンブレンと O リングの水気を拭き取り、ベビーパウダーをはたいておく。

おわりに

本報告は防災研究所土質力学実験室の中空ねじり試験機の使用法について一例を記録したものであり、試験の目的によって細かな手順は異なってくるかと思えます。試験条件に合わせてその都度最適な手順を確認していただけますと幸いです。

地盤防災解析分野のルーベン バルガス氏とは遠心模型実験を通じて協力関係にありましたが、中空ねじり試験の試験方法をご教授いただいたことに改めて感謝申し上げます。

土質力学実験室をとりまく状況を少し記しておきます。2017 年末まで、土質力学実験室で土質試験を実施する際には技術職員 OB の故・清水博樹氏の協力が欠かせませんでした。しかしながら清水氏の逝去後、E-101D にある試験機の使用法を把握している人物は所内にほとんどいなくなってしまったのではないかと思います。そのような中、バルガス氏は応用地質株式会社でのインターン研修や同社の植村一瑛氏を招聘して直接指導頂くことで、中空ねじり試験の使用法を習得されたそうです。現在、バルガス氏が中心となって中空ねじり試験の実施回数を確実に増やしてきている模様です。筆者も遠心模型実験の支援の傍ら、土質試験の技術を少しでも吸収できるよう勉強してゆく所存です。