

## 中空ねじり試験機によるせん断変形後の地盤材料の水平方向透水係数測定に関する研究

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○高岡 慶人  
 広島大学大学院工学研究院 正会員 土田 孝  
 五洋建設株式会社 正会員 片山 遥平  
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 栗原 大

### 1. はじめに

福島第一原発事故により放射性セシウムで汚染された廃棄物が大量に発生し、除染作業により現在も発生し続けている。これらの処理を行うために人々の生活環境から離れ、大量の処分が可能な海面処分場の活用を目指して研究を行っている。廃棄物を安全に処分するためには、遮水性能に優れた材料で処分場の周りを遮水する必要がある。また、海面処分場では波浪や地震動により遮水層に大きな変形が生じることが予想されるため、変形を受けた遮水層の透水特性について検討する必要がある。過去に片山、許ら<sup>1)2)</sup>は、三軸圧縮試験機や中空ねじり試験機を用いてせん断変形を与えた粘土試料の透水係数について検討を行ってきた。せん断面に対して鉛直方向に透水している三軸圧縮試験機に対して、中空ねじり試験機を用いた検討法では、最も透水が大きくなると考えられる、せん断面に対して水平方向の透水が可能である。しかし、現在までに行われた中空ねじり試験機を用いた検討法では、十分な精度で実験が行えていない。そのため、本研究では問題点を改善し、実験法を確立することを目的とした。

### 2. 試験方法と透水係数の計算式

まず、本研究で用いる中空ねじり試験機の概要図を図-1に示す。この試験機は、図-2のように供試体をねじることによりせん断変形を水平方向に与えることができ、せん断後せん断面に対して水平方向に透水することが可能である。供試体は、含水比が液性限界の1.5倍になるように調泥した試料を予備圧密し、トリミングする。その後、供試体の内側と外側にドレーンペーパー、ゴムスリーブを装着し、中空ねじり試験機に設置する。ここで、供試体の上面、下面は非排水になっており、外側面及び内側面からドレーンペーパーを通して2本の二重管式ビュレットに排水する構造となっている。試験機に設置後、 $K_0$ 圧密を行う。自然状態の地盤では、鉛直方向のみの一次元的な圧密( $K_0$ 圧密)が起こるため、室内実験においても $K_0$ 圧密を正確に行う必要がある。方法としては、供試体の断面積が一定になるように圧密を行う。断面積は観測しやすいよう側方ひずみ $\varepsilon\%$ を用いて、セル圧、鉛直圧を調整しながら圧密を行う。側方ひずみ $\varepsilon\%$ は初期体積 $V_0$ 、排水量 $\Delta V$ 、初期断面積 $A_0$ 、初期高さ $h_0$ 、軸変位量 $\Delta h$ を用いて、式(1)であらわされる。

$$\varepsilon\% = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{V_0 - \Delta V}{A_0(h_0 - \Delta h)} \right) \times 100 \quad (1)$$

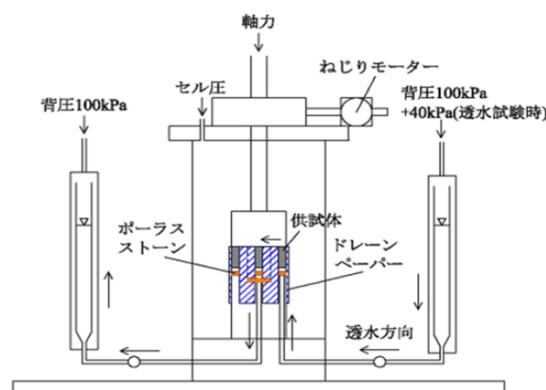


図-1 中空ねじり試験機概要

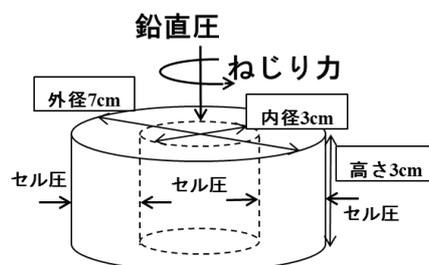


図-2 供試体に作用する力

キーワード 中空ねじり試験機,  $K_0$ 圧密, せん断変形, 水平方向透水係数

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 事務室  
 TEL : 082-424-7819・7828

ここで、**図-3**に  $K_0$  圧密時における側方ひずみの経時変化を示す。各段階の初期で、ひずみが正方向に大きくなっているのは、セル圧を作用させた結果、供試体が側方向に圧縮され、断面積が小さくなっているためである。この場合、鉛直圧を増加させ、供試体を鉛直方向に圧縮すると、断面積は元の大きさに戻り、ひずみが 0% 近くになっている。結果的に、各段階の初期を除くと、概ね  $\varepsilon = \pm 0.05\%$  以内で圧密を行うことができた。圧密終了後、非排水状態で供試体をねじることによってせん断変形を与える。せん断を与える速度は  $0.1\%/min$  とした。せん断後、供試体外側から内側に透水し、透水係数を算出する。透水係数  $k$  は、透水量  $\Delta q$ 、供試体高さ  $H$ 、透水時間  $\Delta t$ 、背圧差  $\Delta P_B$ 、供試体の内半径  $r$ 、外半径  $R$  を用いて式(2)より算出できる。

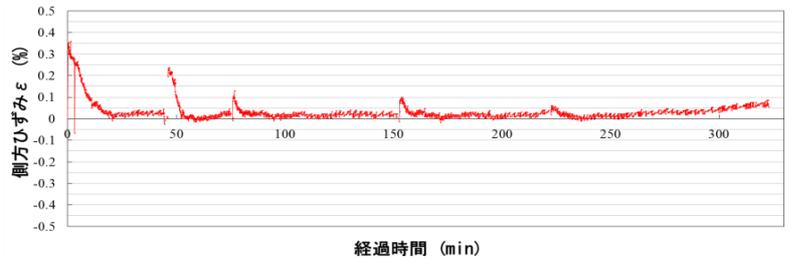


図-3 側方ひずみの経時変化

結果的に、各段階の初期を除くと、概ね  $\varepsilon = \pm 0.05\%$  以内で圧密を行うことができた。圧密終了後、非排水状態で供試体をねじることによってせん断変形を与える。せん断を与える速度は  $0.1\%/min$  とした。せん断後、供試体外側から内側に透水し、透水係数を算出する。透水係数  $k$  は、透水量  $\Delta q$ 、供試体高さ  $H$ 、透水時間  $\Delta t$ 、背圧差  $\Delta P_B$ 、供試体の内半径  $r$ 、外半径  $R$  を用いて式(2)より算出できる。

$$k = 9.8 \times 10^{-4} \frac{\Delta q}{2\pi H \Delta t \Delta P_B} \ln \frac{R}{r} \quad (2)$$

### 3. 試験結果

まず、**図-4**に  $K_0$  圧密中の排水量  $\Delta V$  と供試体の軸変位量  $\Delta h$  の関係を示す。**図-4**中に示す赤色の直線は断面積一定の場合を示しており、正確に  $K_0$  圧密が行えていれば、計測値は直線に漸近する。結果として計測値はこの直線とほぼ等しくなり、十分な精度で  $K_0$  圧密が行えたことが分かる。続いて、供試体をねじることによってせん断変形を与えた場合、せん断応力-せん断ひずみ関係は**図-5**のようになった。次に**図-6**にせん断ひずみ  $\gamma$  (%) と透水係数  $k$  (m/s) の関係を示す。試料は徳山港粘土を用いており、**図-6**には初期含水比が  $w_0 = 71.31\%$  と  $w_0 = 82.39\%$  のものを示している。**図-6**を見ると、せん断ひずみが増加すると、透水係数が減少している。これは、せん断により供試体が密実になり、透水しにくくなったためだと考えられる。また、初期含水比が小さいほうが透水係数も小さくなっている。含水比が小さいということは間隙比も小さいということであり、間隙が小さい分、透水係数も小さくなっていると考えられる。

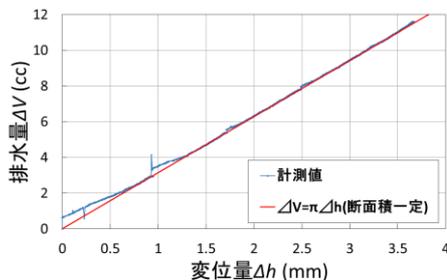


図-4 排水量—変位量関係

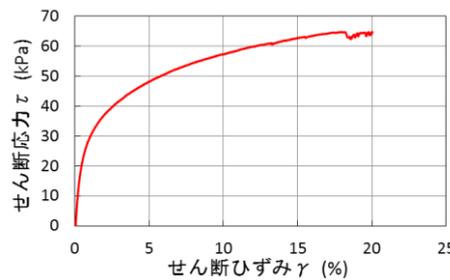


図-5 応力—ひずみ関係

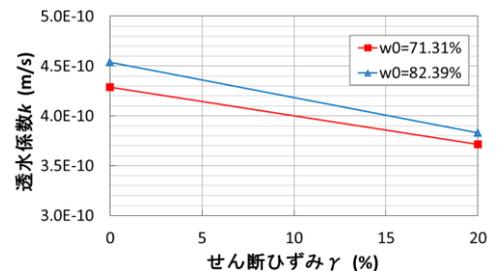


図-6 透水係数—せん断ひずみ関係

### 4. 結論

- (1) 断面積変化を観測しながらセル圧、鉛直圧を調整し圧密を行うことで、側方ひずみが概ね  $\pm 0.05\%$  以内の精度のよい  $K_0$  圧密を行うことができた。
- (2) せん断変形を与えたのちに透水係数を測定することができた。その結果として、せん断変形に伴って透水係数が低下した。

### 5. 参考文献

- 1) 片山遥平, 村上博紀, 土田孝: 変形を与えた遮水材料の透水特性について, 地盤と建設 Vol.32, No.1, pp.111-116, 2014.
- 2) 片山遥平, 許博皓, 土田孝, 村上博紀: 中空ねじり試験機による遮水地盤材料のせん断変形後の水平方向透水係数に関する研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.71, No.2, p.1\_1143-1\_1148, 2015.