

土要素試験から評価する交通荷重による地盤の沈下量

長岡技術科学大学大学院
長岡技術科学大学大学院
長岡技術科学大学大学院
長岡技術科学大学大学院

VO NGOC BAU
篠原 雅幸
豊田 浩史
高田 晋

1. はじめに

アスファルト等の道路舗装において、ひび割れやわだち掘れといった路面の損傷により路面下が構造的に崩壊したり、走行中の車両のハンドル操作が危険にさらされたりする恐れがある。舗装を安全に運用し、長寿命化を図るためには、路面損傷のメカニズムを把握することが重要といえる。路盤・路床の支持力が十分な場合、舗装は強固なものとなり路面の損傷は舗装の摩耗や流動が考えられるため、舗装工学分野による検討が必要となる。一方で、路盤・路床の支持力が不足している場合の路面の損傷は、舗装下の材料変形によるものと考えられ、地盤工学分野による検討が必要となる。しかしながら、地盤工学分野での基礎となるデータが不足しているため、本研究では、道路舗装下の路床・路体の粒状材料の変形について実験データを収集する。

荷重を受けた土要素の沈下量を求める方法として一般的な方法は、三軸圧縮試験による繰返し載荷が挙げられるが、この方法は応力が軸方向のみに変化するため、実際に交通荷重が要素上を通過した際の地中応力を再現できていないと難しい。本研究で用いる中空ねじりせん断試験機は、土要素に作用する荷重（以降、交通荷重と称す）を再現することが可能で、その繰返し載荷によって土要素の変形を求めることができる。そこで本研究では、砂供試体に交通荷重応力を作用させ、砂地盤における沈下量を評価することを目的とした。

2. 試験概要

2.1 試験装置

本研究に用いた試験装置の概略図を Fig. 1 に示す。

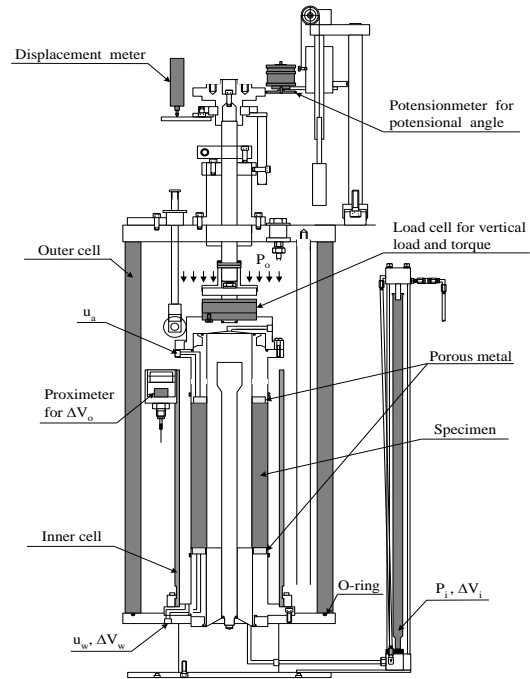


Fig. 1 中空ねじりせん断試験機の図

本試験機は中空円筒供試体にトルクを加えてねじることにより、円周方向にせん断応力を作用させることを主な目的とした直接型せん断試験の一種である。また、中空円筒供試体の外側と内側に異なった側圧を載荷することも可能である。

Fig. 2 に示すように中空円筒供試体に作用する軸力 F 、ねじり力 T 、外圧 P_0 、内圧 P_i を制御することにより、微小要素における 3 主応力とその方向が制御可能となる。また、最大、中間、最小主応力の相対的な大きさを示す中間主応力係数 $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ と、最大主応力 σ_1 の鉛直軸からの傾き α を用いて制御することができる。このように、中空ねじりせん断試験は載荷の自由度が大きいため、複雑な応力状態下での土の基本的な挙動を明らかにすることができる。

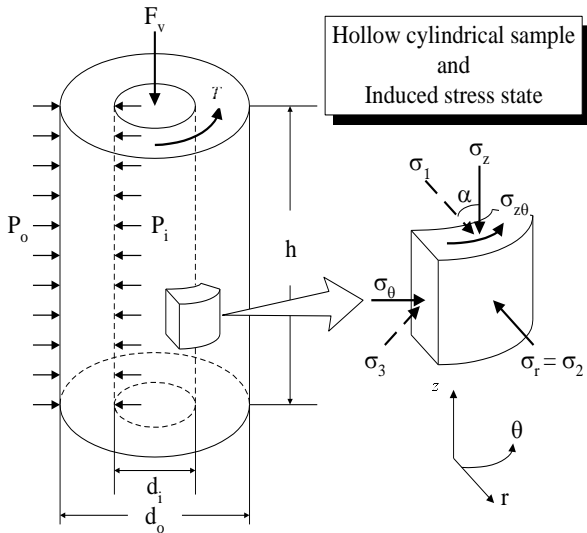


Fig. 2 中空供試体の応力状態

2.2 試料と供試体

本研究で用いた試料は豊浦砂である。供試体は、乾燥後 $425\mu\text{m}$ ふりを通過した試料のみを利用した。豊浦砂は、土粒子密度が $2.65(\text{g}/\text{cm}^3)$ となっており、ほぼ中砂で構成された、純粋な砂であることが分かる。供試体は空中落下法で作製した。空中落下法とは、乾燥した砂を、漏斗を用いて一定の落下高さ保ちながらモールド内に充填していき、所定の密度になるように作製する方法のことをいう。物性値については **Table. 1** に示す。

Table. 1 豊浦砂土の物理値

$\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'	細粒分含有率 F_c
2.65	0.99	0.597	1.55	1.05	0

間隙比を目安の値に調整するため、体積一定のモールドに詰める試料の質量を調整した。あらかじめ物理試験として行った砂の最小、最大密度試験結果から、計算により相対密度を換算し、モー

ルドに詰める試料の質量を決定した。

密な試料を作製するため目標は間隙比 $e=0.755$ と相対密度 $D_r=60\%$ になるようにモールドに試料を投入する。供試体の上端にキャップを置いてモールドを取り外す際、供試体を自立させるために 20kPa の負圧をかけ、その後、供試体の初期寸法を測定する。

2.3 試験方法

実験は、等方圧密と原地盤の応力状態を再現した異方圧密状態で行った。供試体を試験機に設置後、供試体内部に残存している空気を追い出し、飽和度を高めるために、二重負圧法を用いて B 値を 0.95 以上にした。その後供試体を安定させるために $p'=50\text{kPa}$ で予備圧密する。異方圧密では、定めた静止土圧係数 K ($K=0.43$) になるまで排水せん断を行い、 K 値を一定に保ちながら $p'=300\text{kPa}$ まで圧密を行った。交通荷重 P_0 の大きさを、 60kPa 、 70kPa 、 100kPa と変えて、排水条件で繰返し載荷した。圧密時の試験経路を **Fig. 3** に示す。

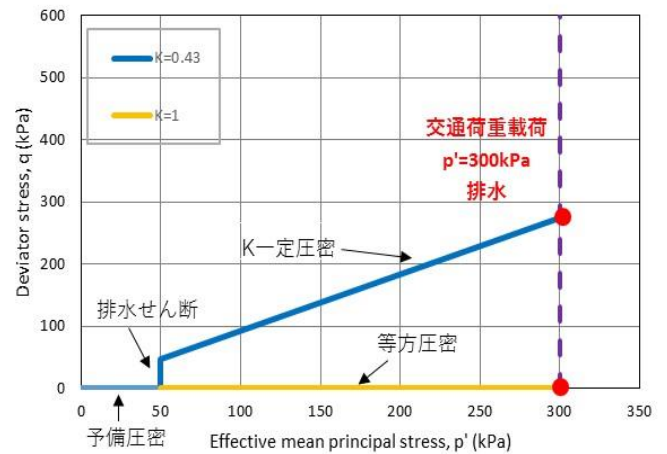


Fig. 3 圧密過程の応力経路

3. 試験結果

既往の研究 ¹⁾ より、交通荷重応力の再現が可能となった。Fig. 4 に実際の試験から得られた実測値と理論上で計算された交通荷重応力の挙動を示す。この応力経路の実測値は、供試体を異方圧密

($K=0.43$) した後、排気・非排水条件で2つの垂直応力（軸力、セル圧）と1つのせん断応力（トルク）を制御した状態で、交通荷重の大きさを100kPaと設定し载荷を行ったときに得られた結果である。Fig. 4は、縦軸に主応力回転を引き起こすせん断応力 τ_d 、横軸に軸方向応力と側方向応力の偏差応力をとったものである。交通荷重を载荷する際は、はじめに初期の応力状態を設定し、そこから交通荷重による理論的な応力経路を計算した。その1サイクルあたりの応力経路を32ステップに区切り、軸方向応力、側方向応力、せん断応力がそれぞれ目標とする値に到達するように自動制御を行う。各応力が目標値に到達すると、次のステップに進み、図の応力経路を描いていき、これが1サイクルとなる。ほぼ理論値に近い値で推移していることがわかる。

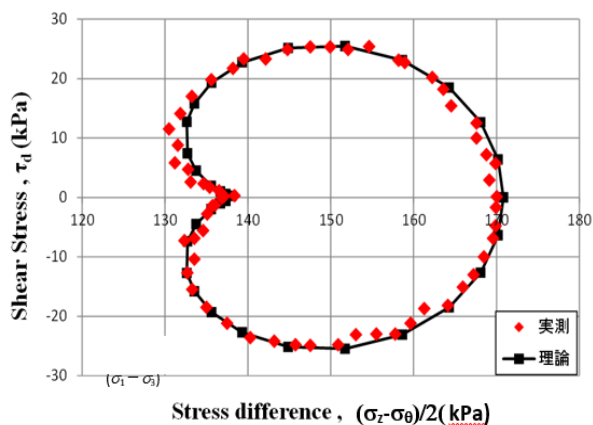


Fig. 4 実測値と理論値の比較

3.1 等方圧密($K=1$)のケース

交通荷重を、等方圧密供試体に作用させたときの軸変位の変化を Fig. 5 に示す。Fig. 5 を見ると、200 サイクル付近まで比較的大きな上昇傾向を示し、その後少し穏やかになるが、3000 サイクルを超えても上昇は続いている。その上昇の傾向は P_0 が大きいほど顕著である。軸ひずみについては、3000 サイクルで約 0.14% ($P_0=100\text{kPa}$)、0.059% ($P_0=70\text{kPa}$)、0.053% ($P_0=60\text{kPa}$) に至った。 P_0 の

大きさによる軸ひずみの違いが見られ、変形の進行は Fig. 5 で示したように、交通荷重の大きさが大きいほど大きくなる。

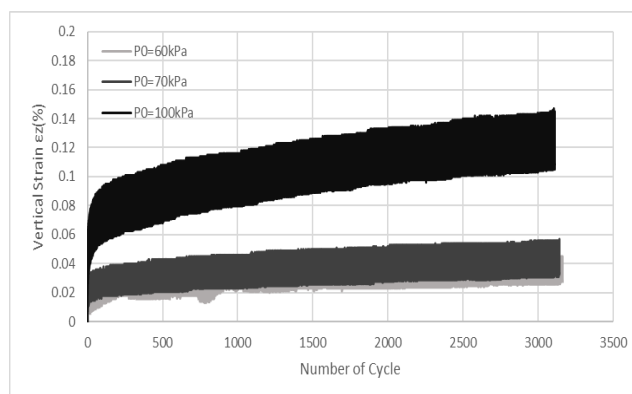


Fig. 5 軸ひずみーサイクル数関係 (等方圧密)

3.2 異方圧密($K=0.43$)のケース

交通荷重を、異方圧密供試体に作用させたときの、軸変位の変化を Fig. 6 に示す。200 サイクル付近まで比較的大きな上昇傾向を示し、その後少し穏やかになるが、3000 サイクルを超えても上昇を続けているのは、等方圧密のケースと同じである。

軸ひずみについては、3000 サイクルで約 0.54% ($P_0=100\text{kPa}$)、0.15% ($P_0=70\text{kPa}$)、0.11% ($P_0=60\text{kPa}$) となった。これより、異方圧密供試体の方が、等方圧密より大きな軸ひずみが発生していることがわかる。

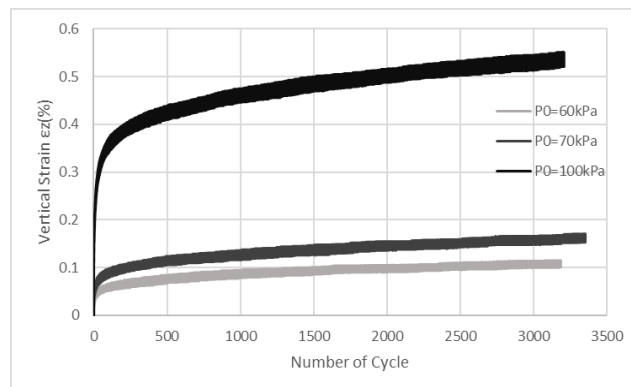


Fig. 6 軸ひずみーサイクル数関係 (異方圧密)

3.3 圧密状態の違いによる比較

等方圧密と異方圧密の条件の違いで、交通荷重を 3000 サイクル以上受けた土要素の軸ひずみーサイクル数関係をまとめたものを Fig. 7 に示す。実験ケースは $P_0=60\text{kPa}$ と $P_0=100\text{kPa}$ である。Fig. 7 より、交通荷重載荷後、等方圧密状態と異方圧密状態の軸ひずみが上昇していることが分かる。砂の場合はいずれのケースも、急激な破壊には至らず、軸ひずみは進展しながらも、落ち着いていっていることがわかる。等方圧密の $P_0=100\text{kPa}$ と、異方圧密の $P_0=60\text{kPa}$ がほぼ同じ軸ひずみの進展を示している。今回の実験では、異方圧密 ($K=0.43$) になると、等方圧密の 6 割程度の交通荷重の大きさにしか耐えられないこととなる。圧密状態の影響を議論するためには、今後、砂の密度や異方圧密の状態を変化させて詳細な検討を行う必要がある。

Fig. 7 より横軸のサイクル数の目盛りを 20 までとし初期の軸ひずみーサイクル数の関係を拡大し、図に示したのが Fig. 8 である。Fig. 8 より、交通荷重が 1 サイクル終わるごとに軸ひずみが増加と減少を繰り返しており、1 サイクルごとに、弾性的な変形を繰り返しながら、少しずつ残留軸ひずみが発生していることがわかる。

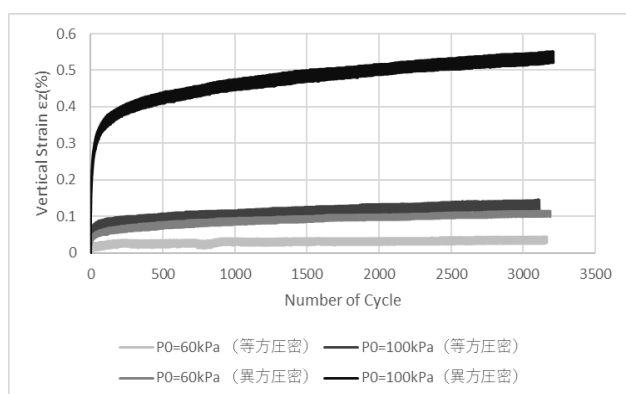


Fig. 7 軸ひずみーサイクル数関係

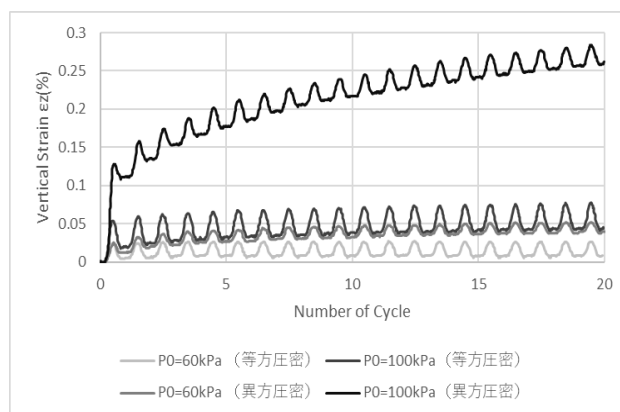


Fig. 8 軸ひずみーサイクル数関係 (拡大図)

4. まとめ

砂供試体に交通荷重 P_0 の大きさを変更して載荷した結果より、等方圧密、異方圧密 ($K=0.43$) のケースとも、軸ひずみの上昇傾向は初期ほど大きくサイクル数が増えるほど緩やかになっていく傾向が見られた。しかしながら、異方圧密の方が、大きな残留軸ひずみが残る結果となった。

今後は、異方圧密の状態 (K) の影響や拘束圧 p' の影響を調べていく予定である。

参考文献

- 1) LE LONG : 土要素試験を用いた交通荷重による粘性土と砂地盤の沈下評価, 平成 30 年度長岡技術科学大学修士論文, 2018.