

# 土要素試験で地盤沈下を評価するための交通荷重応力の再現

地盤工学研究室 河村 貴志  
指導教員 豊田 浩史

## 1. はじめに

### (1) 研究背景

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することや、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、基礎となるデータが未だ不足している現状となっている。そこで本研究は、道路舗装下の路床・路体の粒状材料の変形に着目した。

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荷重が挙げられるが、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応力を再現できていないとは言い難い。本研究で用いる中空ねじりせん断試験機は、要素上を通過する荷重（以降、交通荷重と称す）を再現することが可能で、その繰返し荷重によって土要素の変形を得ることができる。

### (2) 研究目的

本研究では、舗装下の粒状材料の変形を室内要素試験で評価するために、要素上を通過する荷重から真の交通荷重応力を再現する必要があると考えた。そこで、交通荷重応力の再現

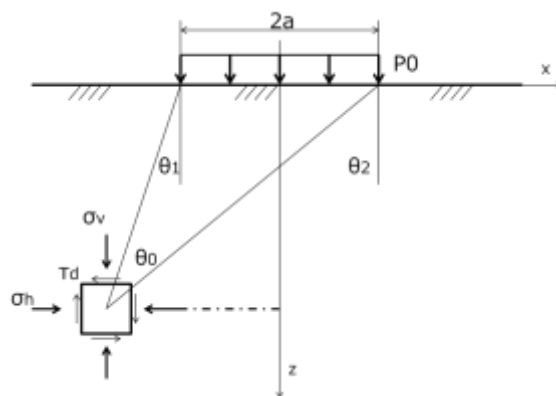


Fig.1 半無限弾性体を通る荷重  $P_0$

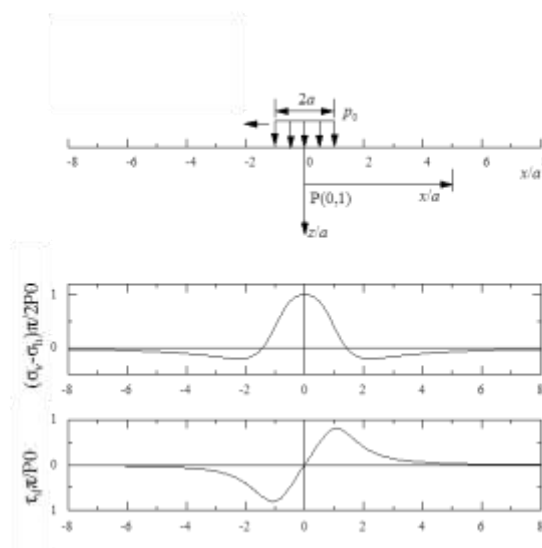


Fig.2 荷重通過時の応力挙動

を目的とし、中空ねじりせん断試験機を用いた試験方法の構築、及び試験機の改良を行った。

### (3) 交通荷重応力経路

地盤上の帯荷重（応力  $P_0$ 、幅  $2a$ ）により、地盤中の土要素に作用する応力を、Fig.1 に示すように定義する。この帯荷重が通過する際の地盤は、半無限弾性体であると仮定する。帯荷

重が通過したときに深さ  $a$  の位置で得られる軸差応力，せん断応力の挙動は Fig. 2 のようになる。この 2 つの応力の挙動を合わせると，Fig. 3 のような曲線の応力経路が得られる。要素上を荷重が通過したときの応力経路は，図から見てとれるように，一般的な三軸繰返し载荷時の挙動にせん断応力が加わったものとなり，主応力回転もともなった複雑なものとなる。交通荷重による材料変形を要素試験で検討する上でこの応力経路の再現は重要である。

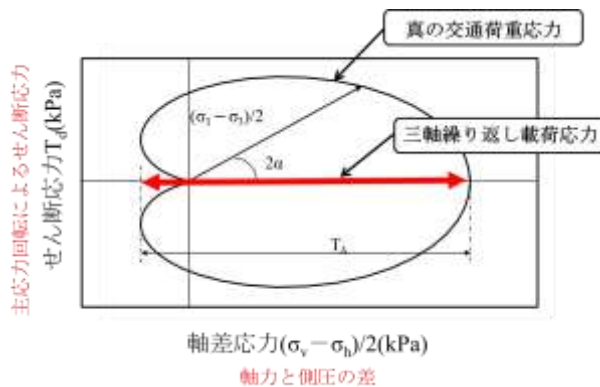


Fig. 3 三軸繰返し载荷と交通荷重応力経路

## 2. 試験概要

### (1) 試験装置

本研究では，3次元応力状態を再現できる中空ねじりせん断試験機を用いて実験を行った。中空ねじりせん断試験機の概略図を Fig. 4 に示す。この装置は，供試体の外側と内側で，独立して圧力の载荷も可能である。軸方向，側方向，回転方向の応力を制御することで，複雑な応力条件下での土の力学特性を明らかにすることができる。

### (2) 試料と供試体

本研究で用いた試料は，新潟県柏崎市米山付近より採取したラテライト系粘性土（以下，米山粘性土と称する）である。米山粘性土の物性値を Table. 1 に示す。供試体は，気乾状態の米山粘性土をスラリー状にしたものを試料圧密容器内で一次元圧密し，取り出した土塊をモールドで高さ 16cm，外径 8cm，内径 5cm の中空円筒形に整形した。

### (3) 試験の流れ

試験は等方圧密状態と原地盤の応力状態を再現した異方圧密状態で行った。行った試験について，等方圧密状態と異方圧密状態の試験経路をそれぞれ Fig. 5 と Fig. 6 に示す。等方圧密状態の場合は，試験機に供試体を設置した後，二重負圧法を用いて  $B$  値を 0.95 以上にし， $p'=50\text{kPa}$  になるまで予備圧密する。その後， $p'=300\text{kPa}$  で等方圧密し，その状態で非排水条

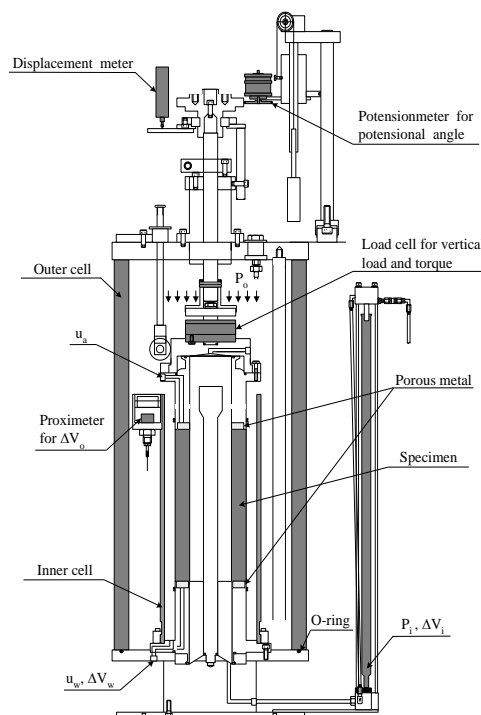


Fig. 4 载荷時の応力経路図

Table. 1 米山粘性土の物性値

土粒子の密度	$\rho_s$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.746
液性限界	$w_L$ (%)	46.2
塑性限界	$w_P$ (%)	31.0
塑性指数	$I_P$ (%)	15.2
粘土分	(%)	23.6
シルト分	(%)	57.0
砂分	(%)	19.4

件下のもと交通荷重を載荷した。異方圧密状態の場合は、予備圧密まで同様の工程で進め、定めた静止土圧係数  $K$  (以下  $K$  値) になるまで排水せん断する。  $K$  値を一定に保ちながら  $p'=300\text{kPa}$  まで異方圧密したところで、非排水条件下のもと交通荷重を載荷した。本試験で使用する米山粘性土の  $K$  値は、既往の研究<sup>1)</sup>で  $0.43$  と求められているため、その値で試験を行った。交通荷重は  $P_0=50\text{kPa}$  と設定した。これは、キャタピラの接地長が  $4\text{m}$  のブルドーザーが通過した際の、地中  $2\text{m}$  の位置の土要素に作用する交通荷重応力に相当している。

#### (4) 交通荷重載荷について

交通荷重を載荷する際は、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される。各応力が目標値に到達すると、次のステップに進み、応力経路のサイクルを描いていく。

#### (5) 試験機の改良

本試験を行う上で、2つの試験機の改良を行った。まず、データ計測器の変更を行った。従来の計測器は、最大1秒に1回の測定が可能であった。載荷速度が速い場合、測定時には、目標応力の値を大きく超過してしまうという問題があり、載荷速度を遅く設定していた。そのため、1サイクルに約600秒要した。そこで、新しく0.1秒に1回の計測が可能な計測機を導入した。載荷速度を速くできるようになり、1サイクル約80秒が可能となった。次に、圧力ブースターを新たに設置した。圧力ブースターの外観図をFig. 7に示す。中空ねじりせん断試験機の大容量三軸セルの約半分は空気が占めており、圧力レギュレーターにより、所定の圧力が作用しても、三軸セル内の圧力が変化するには時間がかかるというタイムラグが生じていた。ブースターの設置により、圧力を瞬時に供給排気することが可能となった。

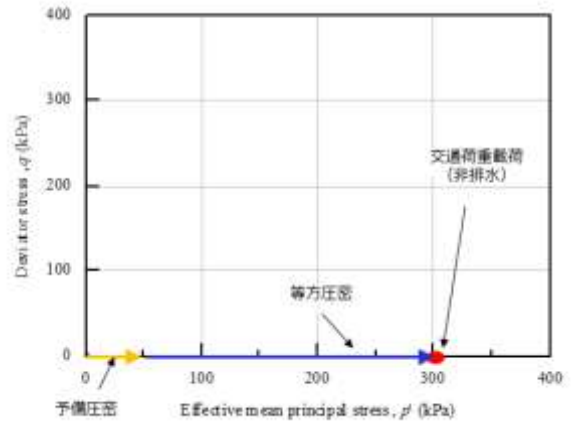


Fig. 5 試験経路 (等方圧密状態)

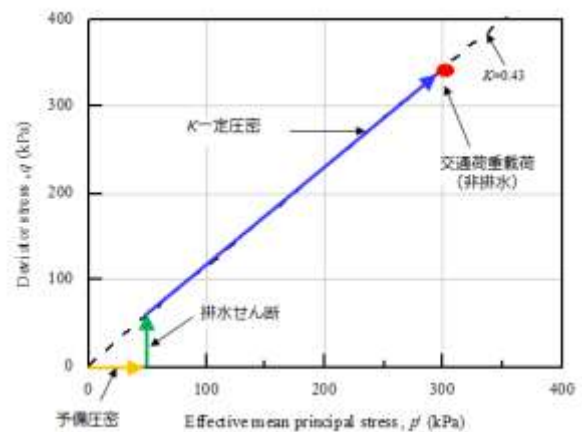


Fig. 6 試験経路 (異方圧密状態)



Fig. 7 圧力ブースター外観図

### 3. 試験結果

実際に試験を行い、得られた応力経路の実測値と理論上の値の比較したものをFig. 8に示す。Fig. 8より、実測値のプロットは、理論的な応力の挙動をおおむね再現できていることが確

認できる。

交通荷重を、等方圧密と異方圧密供試体に作用させたときに、間隙水圧の変化と鉛直ひずみの変化について、Fig. 9 と Fig. 10 に示す。間隙水圧について Fig. 9 を見ると、等方圧密供試体では荷重が 200 サイクル付近から安定し、収束している。一方、異方圧密供試体では 600 サイクル付近まで上昇傾向を示し、その後緩やかに減少している。鉛直ひずみについて Fig. 10 を見ると、等方圧密供試体では微小な鉛直ひずみしか発生していない。一方、異方圧密供試体では、500 サイクルあたりから、顕著な鉛直ひずみの増加が生じ、間隙水圧の安定に伴って鉛直ひずみの上昇傾向は緩やかになっているが、1000 サイクル以降も上昇は続いている。

#### 4. まとめ

中空ねじりせん断試験機を用いることで土要素上を通過する交通荷重応力をおおむね良好に再現することができた。また、試験において、計測器の変更、圧力ブースターの設置により試験時間の大幅な短縮に成功した。また、等方圧密供試体よりも原地盤に近い異方圧密供試体の方が、交通荷重荷重により、間隙水圧の上昇量や鉛直ひずみの量が大きい結果となった。

実地盤では、何千サイクルもの間非排水条件のままというわけではなく途中で少しずつ排水が起こっているが、試験でそれを再現することは困難といえる。今後、今回構築した試験方法を応用し、サイクル数の基準を設け、排水過程を入れるなどして、鉛直ひずみの増加傾向について検討を行う。その他、制御する応力をせん断応力または垂直応力だけのケースを行い比較することで、複雑な応力状態による影響を評価する。さらに粘性土以外に、砂質土を対象とした検討を行う予定である。

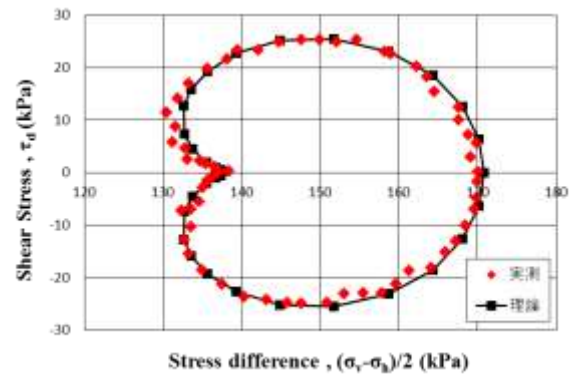


Fig. 8 交通荷重応力の再現

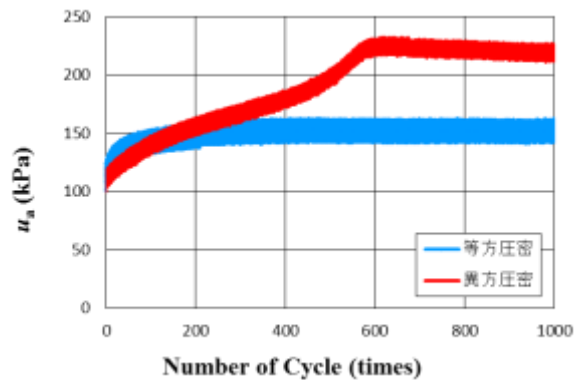


Fig. 9 間隙水圧ーサイクル数関係

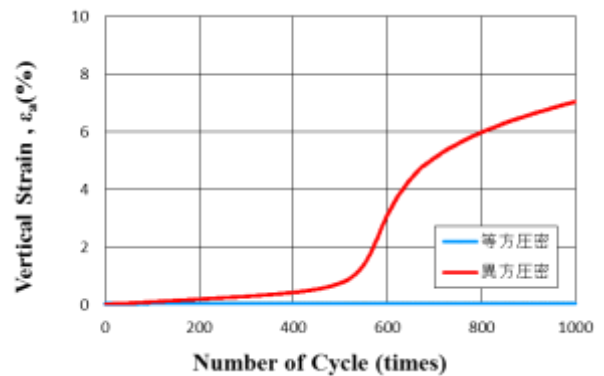


Fig. 10 鉛直ひずみーサイクル数関係

#### 参考文献

- 1) 水石舞衣子：不飽和粘性土の力学特性に及ぼす応力・サクシヨンの影響，平成 21 年度長岡技術科学大学修士論文，2009.3.