

# 土要素試験を用いた交通荷重による粘性土及び砂地盤の沈下評価

地盤工学研究室 LE LONG

指導教員 豊田 浩史

## 1. はじめに

アスファルト舗装では、交通量が増加することや車両の大型化により、ひび割れやわだち掘れといった路面の損傷が発生する。これらにより路面下が構造的に崩壊することや、運転中の車のハンドル操作が危険にさらされる恐れがある。安全な運用で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。路面の損傷は、路盤・路床の支持力が不足していると残留変形を起こすことがわかっているが、基礎データとなるものが未だ不足している現状となっている。

そこで本研究では、交通荷重応力によって変形する土要素に着目し、既往の研究より中空ねじりせん断試験機を用いて主応力回転を含んだ繰返し载荷によって地盤上を通過する交通荷重応力を再現した。それを用いて要素試験を実施し、結果から粘性土及び砂地盤における沈下評価について検討を行った。

## 2. 試験概要

### (1)試験装置

本研究では、中空ねじりせん断試験機を用いて実験を行った。この装置は、供試体の外側と内側で異なる側圧を载荷することが可能で、その他、軸力、ねじり力を制御することができる。試験機の概略を図-1に示す。

### (2)試料と供試体

本研究で用いた試料は、二種類である。一つは、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である。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の中空円筒形に成形し

た。物性値については表-1に示す。

もう一つは豊浦砂である。供試体は、乾燥後425 $\mu$ mふるい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(g/cm<sup>3</sup>)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距離を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。物性値については表-2に示す。

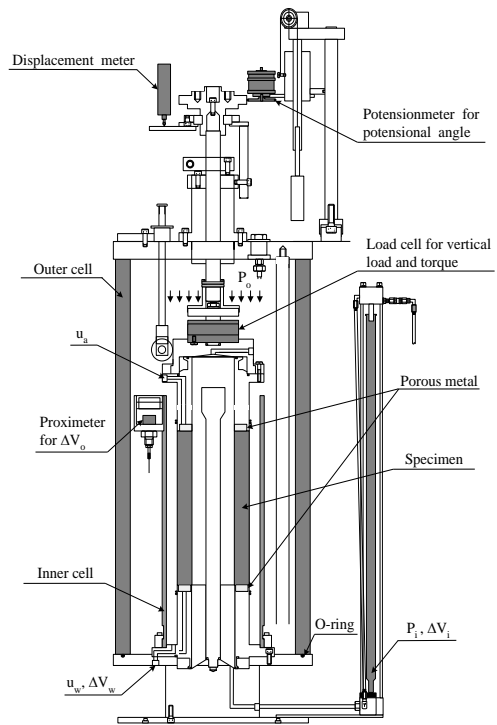


図-1 中空ねじりせん断試験機概略

土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	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

表 - 1 米山粘性土の物性値

土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.650
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.653
最小乾燥密度 $\rho_{dmin}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.340

表 - 2 豊浦砂の物性値

### (3)試験の流れ

実験は、原地盤の応力状態を再現した等方圧密と異方圧密状態で行った。供試体を試験機に設置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。粘性土の場合は、 $p'$ 一定でそれぞれ土圧係数  $K=0.43, 0.6, 0.7, 0.8, 1$  になるまで排水せん断し、 $K$  値を一定に保ちながら  $p'=300\text{kPa}$  まで圧密し、 $(P_0, p')$ をそれぞれ  $(50\text{kPa}, 300\text{kPa}), (33.3\text{kPa}, 200\text{kPa}), (41\text{kPa}, 200\text{kPa})$  として圧密し、交通荷重は非排水条件で載荷した。

豊浦砂の場合は、 $p'=50\text{kPa}$  で、土圧係数  $K=1$  (等方圧密)、 $K=0.43$  (異方圧密) になるまで排水せん断し、 $K$  値を一定に保ちながら  $p'=300\text{kPa}$  まで圧密し、交通荷重  $P_0$  (60kPa, 70kPa, 80kPa, 90kPa, 100kPa) の大きさを変えて、排水条件で載荷した。粘性土の試験経路を図-2 に示し、豊浦砂の試験経路を図-3 に示す。

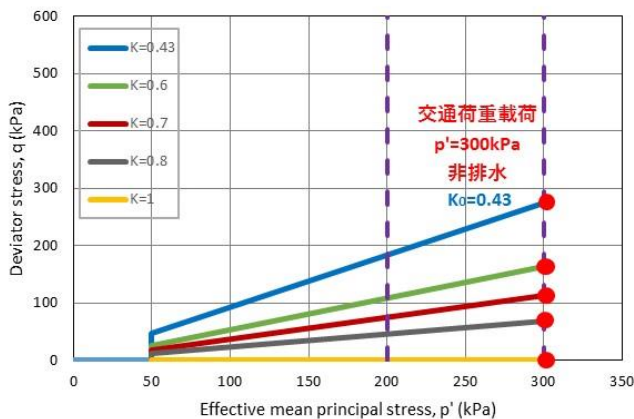


図-2 粘性土の試験経路

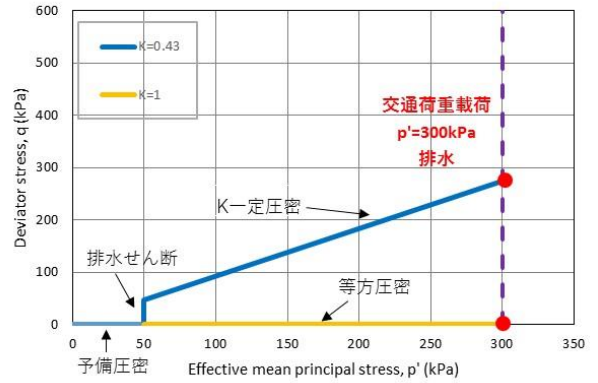


図-3 豊浦砂の試験経路

### (4)交通荷重載荷の制御

本研究の交通荷重応力は軸応力  $\sigma_v$ ・側圧  $\sigma_t$ ・せん断応力  $\tau$  の 3 種類の応力を制御し組み合わせることで再現している。この場合を Full ケースとし、その他、応力の組み合わせを変えたケースも行った。軸応力のみ制御するケースを  $\sigma_v$  ケース、せん断応力のみを制御するケースを  $\tau$  ケース、軸応力と側圧を組み合わせたケースを  $\sigma_v+\sigma_t$  ケース、軸応力とせん断応力を組み合わせたケースを  $\sigma_v+\tau$  ケースとする。応力の組み合わせごとの応力経路を図-4 に示す。なお、 $\sigma_v$  ケースは三軸試験機による繰返し載荷と同様の載荷となる。

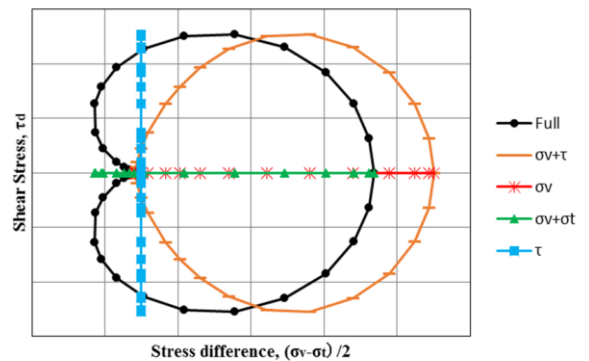


図-4 交通荷重応力理論値の応力経路

## 3. 試験結果

### (1)P0 の影響

粘性土で交通荷重を載荷したときの軸ひずみの変化を図-5 に示した。  $P_0=40, 50, 55\text{kPa}$  では、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た。一方で、 $P_0=60,$

65kPa では軸ひずみが約 0.2%から大きく増加し、供試体が荷重を支えられない不安定な状態となった。この場合は破壊と判断する。

豊浦砂地盤での交通荷重を載荷したときの軸ひずみの変化を図-6 に示した。砂地盤に対しては、破壊は起こらないで、発生した軸ひずみは、P0 の大きさによって変わることがわかる。

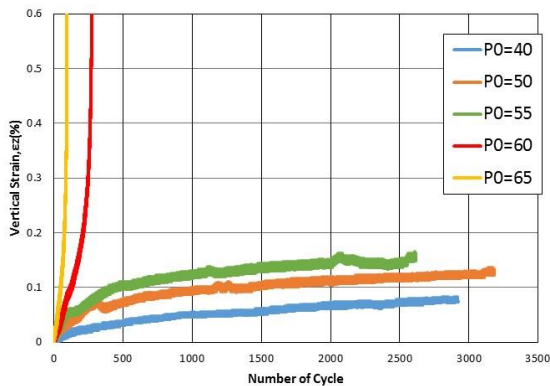


図-5 粘性土地盤の P0 大きさの影響

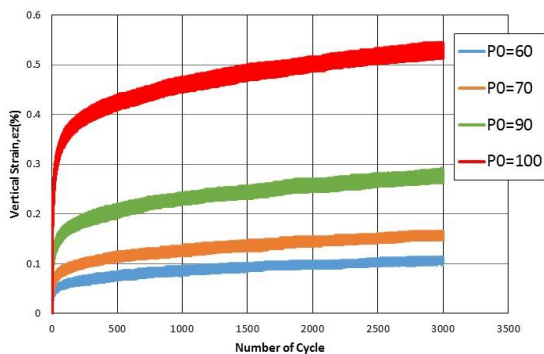


図-6 豊浦砂地盤の P0 大きさの影響

## (2) 応力の組み合わせの影響

各応力の組み合わせで交通荷重を載荷したときの軸ひずみの変化を図-7, 8 に示す。すべて P0=60kPa, p'=300kPa である。図-7, 8 より、 $\tau$  ケースはほとんど軸ひずみが発生していない。しかし、 $\sigma_v + \tau$  ケースは最も大きな軸ひずみが発生することがわかる。さらに、 $\sigma_v$  ケースと Full ケースを比較すると、Full ケースの方が軸ひずみは大きい。これは三軸試験では実際の沈下挙動を過小評価することを意味する。

図-7 より、 $\sigma_v + \tau$  ケースと Full ケースでは破壊が確認できる。 $\sigma_v + \tau$  ケースは軸ひずみの進行が早

く、これは Full ケースより軸差応力  $(\sigma_v - \sigma_t) / 2$  の最大値が大きくなる (図-4) ためであると考えられる。

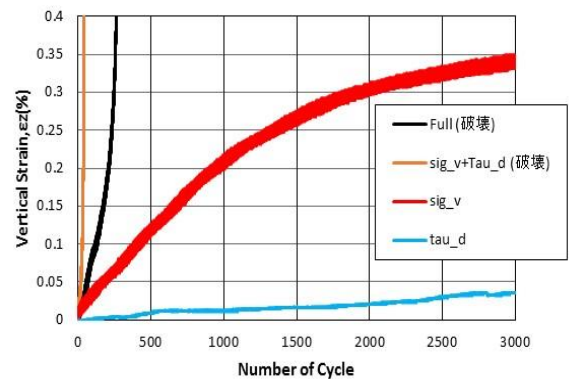


図-7 粘性土地盤の応力の組み合わせの影響

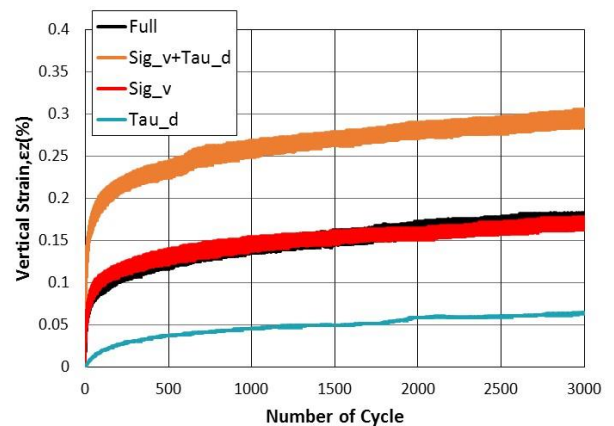


図-8 豊浦砂地盤の応力の組み合わせの影響

## (4) 所定の軸ひずみに到達するサイクル数

軸ひずみが 0.1% に到達するサイクル数を比較したものを図-9 に示す。結果より、直線関係を得ることができた。つまり、荷重が小さくなるとサイクル数は指数関数的に増加していることがわかる。これより、土の状態と繰返し応力のパターンがわかれば、一定ひずみに達する繰返し載荷数を推定できるといえる。

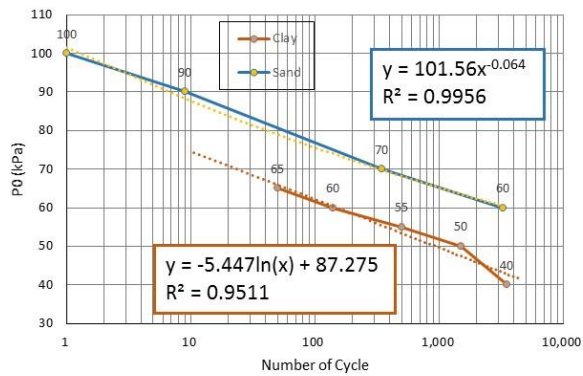


図-9 軸ひずみ 0.1%に到達するサイクル数

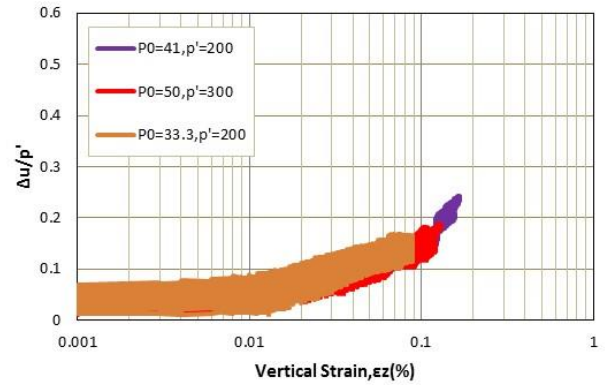


図-11 軸ひずみと過剰間隙水圧比の関係

### (5)3000 サイクルでの軸ひずみと荷重の関係

3000 サイクルでの軸ひずみと荷重大きさを比較したものを図-10 に示す。結果より、直線関係を得ることができた。また、粘性土では、破壊後は軸ひずみが急増するため、この直線関係には載らなくなる。

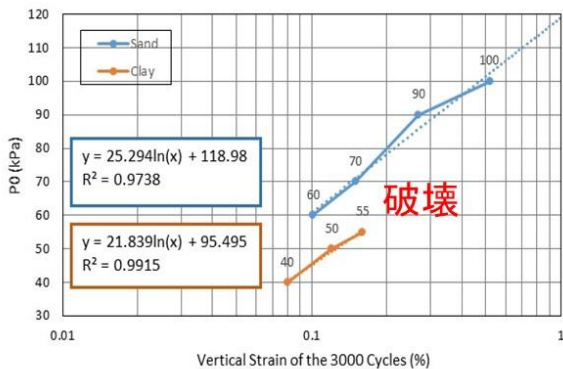


図-10 3000 サイクルでの軸ひずみと荷重

### (6)軸ひずみと過剰間隙水圧比の関係(粘性土)

図-10 に軸ひずみと過剰間隙水圧比の関係を示す。これらより、荷重の大きさを変えても同じ挙動を示すことがわかる。また、過圧密比ごとに関係性が見られ、土の状態と繰返し応力のパターンが決まれば、荷重の大きさにかかわらず、軸ひずみと過剰間隙水圧比は一義的な関係にあるといえる。

## 4. 結論

### ◆ 粘性土地盤に対して

1. 荷重と軸ひずみの対数が比例するが、ある荷重以上になると破壊が起こる。
2. 真の交通荷重を考えると、三軸試験では沈下を小さく見積もる。

### ◆ 豊浦砂地盤に対して

1. 荷重と軸ひずみの対数が比例し、破壊は起こらない。粘土より小さな沈下量となる。
2. 真の交通荷重は、三軸試験で行っても同等の結果となる。

## 5. 今後の課題

交通荷重による沈下は、地表面近くの地盤挙動であるが、試験装置の制約上、かなり大きな交通荷重  $P_0$ 、拘束圧  $p'$  で実験を行っている。今後  $p'$  の影響を評価することにより、小さな  $p'$  のもとでも沈下が評価できるようにする必要がある。

## 参考文献

- 1) 岡田 広大：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，平成 28 年度長岡技術科学大学修士論文，2017.3.