

## 排水動的せん断履歴を受けた細粒分を含む砂質土の液状化強度と等方圧縮膨潤特性に関する一考察

大成建設（株） 土木技術研究所 正会員 宇野浩樹 立石 章

1. はじめに： Oka et al.(1999)<sup>1)</sup>による砂の繰返し弾塑性モデルは、液状化強度特性や等方圧縮膨潤特性に基づいて砂質土の液状化挙動を表現する数値モデルである．一方で、細粒分を含む地盤の液状化強度特性を等方圧縮膨潤特性と関連づけて評価した研究例は少なく、現状ではデータの蓄積があまりなされていない．そこで、著者らは、室内三軸試験を通じて、細粒分を含む砂質土の液状化強度特性と等方圧縮膨潤特性を調べた．

2. 試料および供試体： 実験で用いた試料は、東京低地の有楽町層からサンプリングした砂質土の 2mm 以下の細粒分を K-15 に加えて細粒分含有率  $F_c$  が 30% になるよう調整した試料（以下、K-30）の 2 種類である．図 1 に試料の粒度分布を示す．また、三軸供試体は 50mm × H100mm の円筒供試体とし、ランマーによる突固めで作製した．

3. 検討方法： 詳細な説明は文献 2) に譲るが、液状化強度特性と等方圧縮膨潤特性の関係を再構成試料によって評価するためには、著者らは原位置の液状化強度を室内で再現させる必要があると考えた．後藤(1999)は、再構成試料に

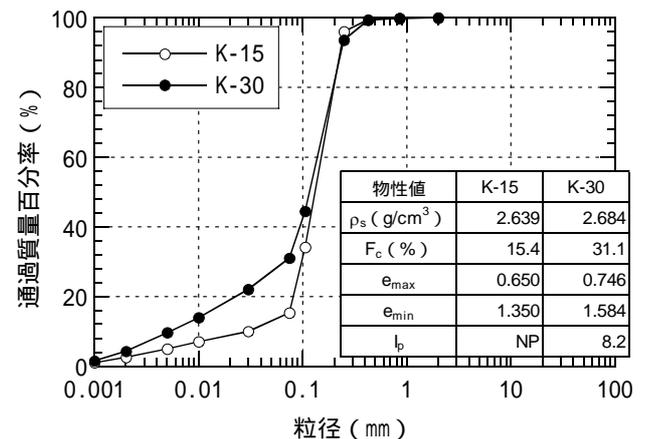


図 1 試料の粒度分布

排水条件下で応力振幅一定の繰返しせん断履歴（以下、排水動的せん断履歴）を与えることにより原位置凍結試料と同程度の液状化強度を再現させることを試みている<sup>3)</sup>．本研究では、原位置の液状化強度を道路橋示方書<sup>4)</sup>（以下、道路橋）による算定値とし、K-15 に対して排水動的せん断履歴における載荷条件を検討し、室内強度（圧密応力  $\sigma'_c = 98 \text{ kPa}$ ）を道路橋による算定値に一致させた．同様の載荷条件を K-30 にも適用して排水動的せん断履歴を与えた後、液状化強度を求めた（ケース 2）．なお、排水動的せん断履歴を与えないケースをケース 1 とした．また、後述のように、排水動的せん断履歴によって相対密度  $D_r$  が増加したことから、液状化強度に及ぼす  $D_r$  の効果を検討するため、ケース 3 として液状化試験時の  $D_r$  が処女載荷による等方圧密でケース 2 のものと等しくなるように供試体を作製し、液状化試験を行った．

さらに、別途供試体を準備し、段階的に  $\sigma'_c$  を変化させて等方圧縮膨潤特性を調べた．以下では、ケース 1 と 2 に対応する載荷パターンをパターン A、ケース 3 に対応するものをパターン B と呼ぶこととする．

## 4. 実験結果および考察：

4-1 液状化強度特性： 表 1 に液状化試験を行った際の  $D_r$  を示す．ケース 1 と 2 を比較すると、 $D_r$  は排水動的せん断履歴によって 4~6% 程度増加していることが分かる．

図 2 に室内試験で得られた液状化強度曲線を示す．ケース 1 と 2 の結果から排水動的せん断履歴によって液状化強度曲線が増加していることが分かる．また、K-15 に対するケース 2 と 3 の結果から、ほぼ同一の  $D_r$  にも関わらず、排水動的せん断履歴を与えたケース 2 の方が大きいことが分かる．図 3 に K-15 で得られたケース 2 と 3 に対する軸差応力～軸ひずみ関係および有効応力径路を示す．この図から、排水動的せん断履歴を受けたことにより、サイクリックモビリティに至るまでの過剰間隙水圧（塑性体積ひずみ）が蓄積しにくくなって、ひずみの発生が抑制されたため、液状化強度が増加したことが分かる．

表 1 液状化試験時の  $D_r$ 

実験ケース	ケース 1		ケース 2		ケース 3
	K-15	K-30	K-15	K-30	
$D_r$ (%)	64.0 ~ 65.1	62.9 ~ 64.7	68.5 ~ 69.6	68.5 ~ 70.2	67.9 ~ 69.3

キーワード：液状化、細粒分、砂、圧縮、圧縮指数

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1, Tel. 045-814-7236, Fax. 045-814-7257

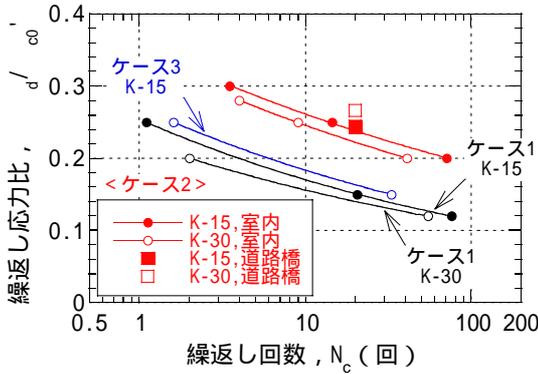


図2 液状化強度曲線

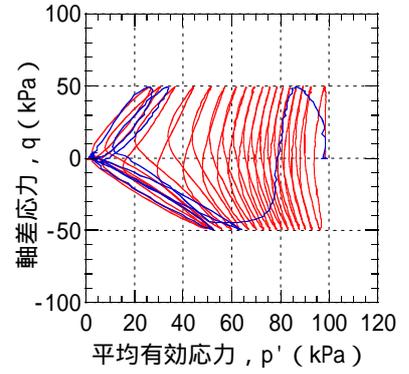
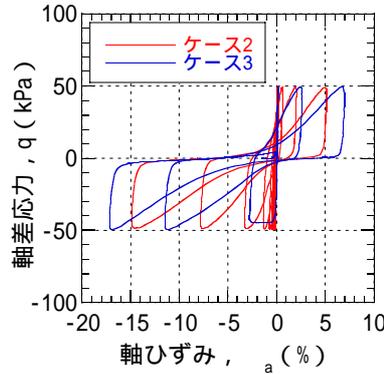


図3 軸差応力～軸ひずみ関係および有効応力径路 (K-15, 繰返し応力比 0.25)

4-2 等方圧縮膨潤特性: 図4にK-15で得られた間隙比  $e \sim \log \sigma'_c$  関係を示す. パターンAにおける点b 点d ( $\sigma'_c=98\text{kPa}$ )での間隙比変化は排水動的せん断履歴によるものであり, 点bがケース1に, 点dがケース2に, パターンBにおける点Bがケース3にそれぞれ対応する. ここで, 本研究で定義する圧縮指数 $\lambda^*$ および膨潤指数 $\kappa^*$ を  $e \sim \log \sigma'_c$  上の2点間の勾配  $\Delta e / \Delta \log \sigma'_c$  から算出した. すなわち, 排水動的せん断履歴なしに対しては $\lambda^*$ を点a ( $\sigma'_c=49\text{kPa}$ ) 点b (98kPa)で,  $\kappa^*$ を点b (98kPa) 点c (29.4kPa)で, 排水動的せん断履歴ありに対しては, それぞれ点d (98kPa) 点h (196kPa)と点d (98kPa) 点e (29.4kPa)で算出した.

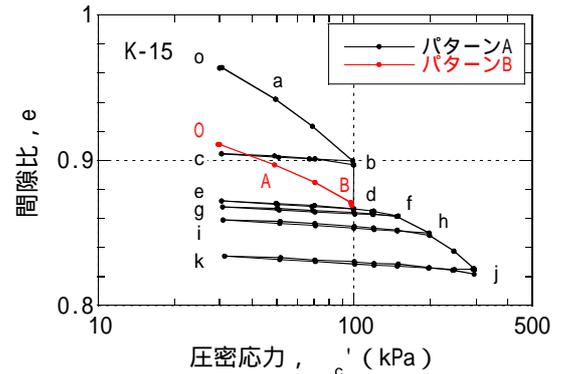


図4  $e \sim \log \sigma'_c$  関係 (K-15)

図5に算出結果を  $F_c$  に対して示す. なお, 本研究の  $F_c=0\%$  に対する値は豊浦砂  $D_r=50\%$  で得られたものである. また, 酒匂・畑中ら(1999)は凍結サンプリングによる数種類の砂質土で等方圧縮試験を行い, 圧密応力を原位置有効上載圧から 98kPa 増加させた際の体積圧縮係数  $m_v$  を求めている<sup>5)</sup>. 著者らはその結果から算定される  $\Delta e / \Delta \log \sigma'_c$  を  $\lambda^*$  と捉えて同図に示した. この図から,  $\lambda^*$  および  $\kappa^*$  は細粒分含有率の増加に伴って大きくなること, 排水動的せん断履歴なしに対する  $\lambda^*$  よりも, 「あり」に対する  $\lambda^*$  の方が不攪乱試料の値に近いことが分かる. また, 排水動的せん断履歴を受けたことによって  $\lambda^*$  および  $\kappa^*$  が低下しており  $e \sim \log \sigma'_c$  における圧縮性の低下と, 図3で示した塑性体積ひずみの抑制, さらに液状化強度の増加との間には関連性があるように推察されるが, 詳細な検討を行うためにはデータの蓄積が必要である.

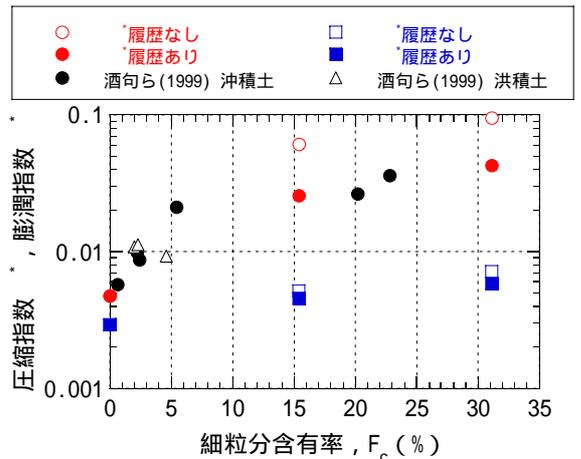


図5  $\lambda^*$  および  $\kappa^*$  と  $F_c$  の関係

5. まとめ: 最適な載荷条件の排水動的せん断履歴を,  $F_c=15\%$  の室内再構成試料に与えることにより, 道路橋による液状化強度を再現した. 排水動的せん断履歴を受けた細粒分を含む砂質土は液状化強度が増加し,  $e \sim \log \sigma'_c$  における圧縮性が低下した. 少ないデータではあるが, 細粒分を含む砂質土に対して液状化強度特性と等方圧縮膨潤特性に関するデータが得られた. 実地盤は非常に複雑な履歴を受けており, 今回得られた知見を実地盤に適用するためには, 高品質な不攪乱試料によるデータの蓄積とそれに基づいた詳細な検討が必要である.

参考文献: 1) Oka et. al.: A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic-strain dependence of the shear modulus, Geotechnique, Vol.49, No.5, pp.661-680, 1999. 2) 宇野・立石: 排水動的せん断履歴を受けた細粒分を含む砂質土の液状化強度に関する一考察, 第39回地盤工学研究発表会, 2004 (投稿中). 3) 後藤: 凍結採取試料による沖積および洪積の江戸川砂の液状化特性と動的なせん断履歴による液状化強度の再現, 液状化メカニズム・予測法と設計法に関するシンポジウム発表論文集, pp.379~384, 1999. 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 耐震設計編, 1996. 5) 酒匂・畑中ら: 不攪乱砂質土の体積圧縮係数, 第34回地盤工学研究発表会, pp.395-396, 1999.