

# 三軸圧縮試験による砂質土の 圧縮指数の決定

三隅 浩二\* 野村 将平\*\* 疋田 達郎\*\*\*

Determination of Compression Index for Sandy Soil  
by Triaxial Compression Test

Koji MISUMI\*, Syohei NOMURA\*\* and Tatsuro HIKIDA\*\*\*

The determination procedure of sandy soil's compression index is proposed newly in this paper. At first, a series of triaxial compression test datum are obtained under constant mean normal stress condition. Secondly, this method is carried out by fitting some equations to sandy soil's shearing behaviors (i.e., dilatancy behaviors). Finally, sandy soil's compression index is obtained by relationship between maximum positive volumetric strains and initial specific volumes. The validity of this method is confirmed by applying to local soil Shirasu.

**Keywords :** compression index, triaxial compression test, dilatancy, Shirasu

## 1. はじめに

### 1.1 研究の概要

地盤の変形・破壊予測を行うためには、事前に地盤を構成する土質材料の弾塑性パラメータを正しく評価しておくことが必要である。有限要素法による予測結果は用いたパラメータの数値に大きく依存し、従って、予測の精度はどのようにしてそれらのパラメータを決めたのかに大きく左右さ

れる。そこで、本研究では、土要素のひずみの発生量に関わる重要なパラメータ圧縮指数 $\lambda$ を決定するユニークな方法<sup>1) ~ 10)</sup>を提案する。そして、鹿児島県に広く分布する特殊土しらすの三軸せん断試験結果より圧縮指数 $\lambda$ を決定して提案方法の有効性を確かめる。

### 1.2 研究の特色

砂質土の正規圧密線を求めてその傾きから圧縮指数 $\lambda$ を決定するには、非常に大きな圧縮応力が必要になる<sup>11)</sup>。したがって、砂質土の圧縮指数 $\lambda$ を標準圧密試験や通常の三軸せん断試験装置による等方圧縮試験等の圧縮試験で決定することは極めて難しい。一方、限界状態線を求めて

---

2014年8月12日受理

\* 海洋土木工学専攻

\*\* 博士前期課程海洋土木工学専攻

\*\*\* 博士前期課程海洋土木工学専攻修了

その傾きから圧縮指数 $\lambda$ を決定する方法も考えられるが、三軸せん断試験装置で供試体を均質なまま限界状態に到達させることが砂質土の場合難しいので、やはり正確な圧縮指数 $\lambda$ を決定することはできない。

Taylorは一連のオタワ砂の単純せん断試験を実施して、砂の粒子間で発揮される真の内部摩擦角 $\phi$ や真の摩擦係数 $\mu$  ( $\mu = \tan \phi$ ) を、エネルギー消散式の仮定により推定することに成功している<sup>12)</sup>。この研究によりTaylorは、ピーク破壊時に得られる内部摩擦角 $\phi_m$  ( $\phi_m = \tan^{-1}(\tau/\sigma)$  ,  $\tau$ : せん断応力,  $\sigma$ : 鉛直応力) の等しい $v \sim \ln \sigma$  関係が限界状態線と同様な右下がりの曲線の傾向を示すことを見出している。このことは、砂の供試体が比較的均質なピーク破壊時の試験データより砂質土の圧縮指数 $\lambda$ を決定することができることを示唆している。

今回ここで提案する圧縮指数 $\lambda$ の決定法は、やはり複数のせん断試験結果が必要だが、精度を高めるため、ピーク破壊時の試験データは用いず、砂質土の供試体がさらに均質だと見なすことのできるせん断初期の試験データを使用する。弾塑性理論によれば、圧縮指数 $\lambda$ は地盤の沈下や側方変位の発生量を決める極めて重要なパラメータである。この圧縮指数 $\lambda$ は地盤のせん断変形時に発揮されるパラメータなので、非現実的な高圧による圧縮試験で決定せず、現場の応力レベルを反映した複数のせん断試験より決定することの方が妥当的であり、そのことは地盤の変形・破壊予測の精度を高めることに役立つ。

## 2. 砂質土の圧縮指数 $\lambda$ の決定

### 2.1 圧縮指数 $\lambda$ の決定の考え方

図1に示すように正規圧密線と限界状態線は、それぞれ $v = N - \lambda \ln p'$  ,  $v = \Gamma - \lambda \ln p'$  と

表される。ここに、 $v$ は体積比 ( $v = 1 + e$  ,  $e$ : 間隙比) ,  $p'$  は平均有効主応力であり、 $N$ と $\Gamma$ はそれぞれ $v \sim \ln p'$  空間における正規圧密線と限界状態線の位置を決めるパラメータである。

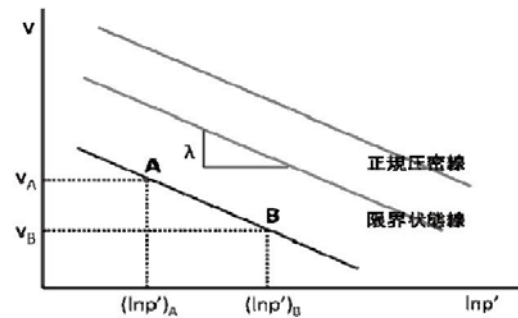


図1  $v \sim \ln p'$  関係概略図

$v \sim \ln p'$  空間では正規圧密線と限界状態線は互いに平行でその傾きを圧縮指数 $\lambda$ と呼んでいる。

さて、 $v \sim \ln p'$  空間において正規圧密線や限界状態線と同じ傾きを持つ直線 $v = v_\lambda - \lambda \ln p'$ は無数に引くことができる。例えば、ピーク破壊時の応力比 $\eta_{peak}' = (q/p')_{peak}$ が等しい線は図中のA-B線のように得られることが期待される。そこで、本研究では圧縮指数 $\lambda$ の決定にこのA-B線を利用する。

ところで、通常の応力レベルにおける砂質土の三軸せん断試験結果では $v_\lambda < \Gamma$ となることが多い。そこで、拘束圧と体積比の異なる複数の三軸せん断試験を実施して、例えば、ピーク強度時の応力比 $\eta_{peak}'$ の等しい2つの試験結果A, Bを得ることができれば、その時 $(v_\lambda)_A = (v_\lambda)_B$ が成り立つ。すなわち、 $v_A + \lambda (\ln p')_A = v_B + \lambda (\ln p')_B$ なので、これを変形して次式によりせん断中に発揮される圧縮指数 $\lambda$ を決定することができる<sup>3)</sup>。

$$\lambda = \frac{v_B - v_A}{(\ln p')_A - (\ln p')_B} \quad \dots (1)$$

## 2.2 三軸供試体の不均質性の考慮

前節では、ピーク破壊時の応力比  $\eta_{peak}'$  に着目した圧縮指数  $\lambda$  の決定法について述べたが、その他の方法も提案してきている<sup>7), 8)</sup>。実は、土のせん断挙動において、もっと一般的に、次のようなメカニズムが成り立っている。

粘性土でも砂質土でも、土は排水三軸せん断試験されるとき、応力比  $\eta' \sim$  せん断ひずみ  $\epsilon_s$  関係、体積ひずみ  $\epsilon_v \sim$  せん断ひずみ  $\epsilon_s$  関係が同じなら土のせん断開始の状態は  $v \sim \ln p'$  空間において  $\lambda$  の傾きを持つ同じ直線上にある。そして、A-B線の様な同じ直線上にある土は、どこにあっても過圧密の程度が等しい。今、せん断開始時点がA-B線上にあるとき、その時の拘束圧  $p_0'$  と体積比  $v_0$  で定義される  $v_{\lambda 0} (v_{\lambda 0} = v_0 + \lambda \ln p_0')$  はA-B線の位置を決めるパラメータであり、かつ過圧密の程度を表すパラメータともなっている。

この一般的なメカニズムに基づき、一連の三軸せん断試験のデータより砂質土の圧縮指数  $\lambda$  を決定することができるのだが、三軸供試体の上下端における端面拘束は、せん断が進むにつれて三軸供試体の応力とひずみの不均質を助長させる。この影響は粘性土よりも砂質土の場合に顕著であり、例えば、ピーク破壊を超える時点で三軸供試体はもはや不均質極まりなく、とてもエレメント試験などと言える状況ではない。従って、最初に提案したピーク破壊時のデータを用いて圧縮指数  $\lambda$  を決める方法<sup>3)</sup>は、値が決まらなかったり<sup>7)</sup>、決まったとしても精度にかなりの疑問が残った。

そこで、今回は三軸供試体が比較的均質な状況で圧縮指数  $\lambda$  を決定することを試みている。すなわち、三軸供試体がせん断中に圧縮から膨張に転ずる時点で砂質土の圧縮指数  $\lambda$  を決定する。この方法により圧縮指数  $\lambda$  の精度を以前より飛躍的に向上させることが期待される。この方法はせん断の前半に発生する圧縮時の最大体積ひずみ  $\epsilon_{v \max}$

に着目し、 $(\epsilon_{v \max})_A = (\epsilon_{v \max})_B$  ならば  $(v_{\lambda 0})_A = (v_{\lambda 0})_B$  と考えて、次の式 (2) より圧縮指数  $\lambda$  を決定する。

$$\lambda = \frac{(v_0)_B - (v_0)_A}{(\ln p_0')_A - (\ln p_0')_B} \quad \dots (2)$$

## 3. 特殊土しらすの圧縮指数 $\lambda$ の決定

### 3.1 三軸せん断試験の概要<sup>1, 3)</sup>

試料は鹿児島県垂水市で採取された地山しらすであり、850  $\mu\text{m}$  ふるいを通し75  $\mu\text{m}$  ふるいに残留したものを使用した。図2は今回用いたしらすの粒径加積曲線を示す。土粒子の密度2.42g/cm<sup>3</sup>、最大間隙比1.76、最小間隙比1.00である。三軸供試体は試料を水中落下させてモールドに体積したものを凍結して作製した。

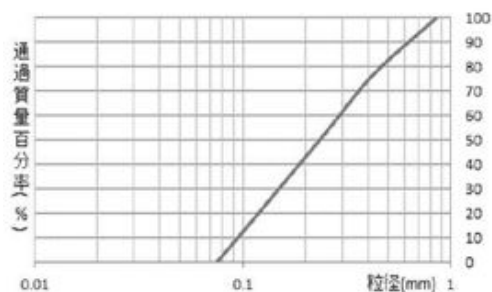


図2 しらすの粒径加積曲線

さて、図3、図4、図5は三軸供試体を所定の圧力まで等方圧縮した後に、平均主応力一定条件で段階载荷による三軸排水せん断試験して得られた結果を示している。図3は  $p' = 49.0 \text{ kPa}$  の場合の応力比  $\eta' \sim$  せん断ひずみ  $\epsilon_s$  関係ならびに体積ひずみ  $\epsilon_v \sim$  せん断ひずみ  $\epsilon_s$  関係を示す。図4、図5は  $p' = 98.1 \text{ kPa}$  と  $p' = 196.1 \text{ kPa}$  の場合の同様な試験結果を示す。

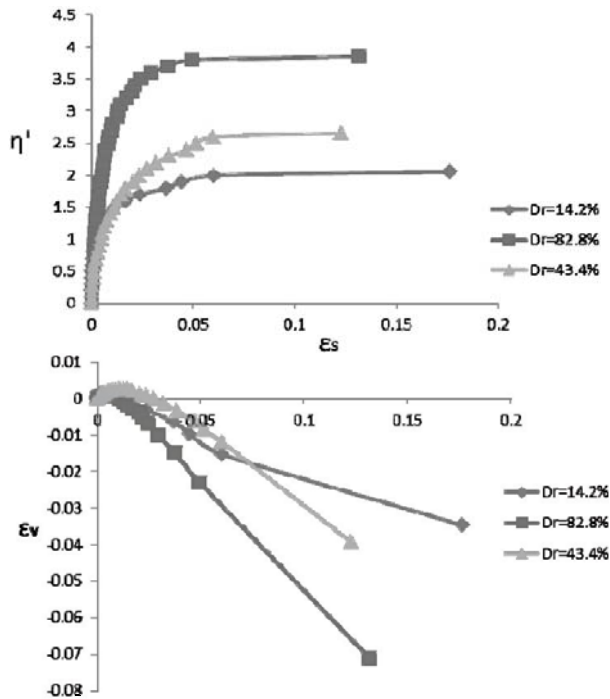


図3  $p' = 49.0 \text{ kPa}$  の  $\eta' \sim \varepsilon_s \sim \varepsilon_v$  関係

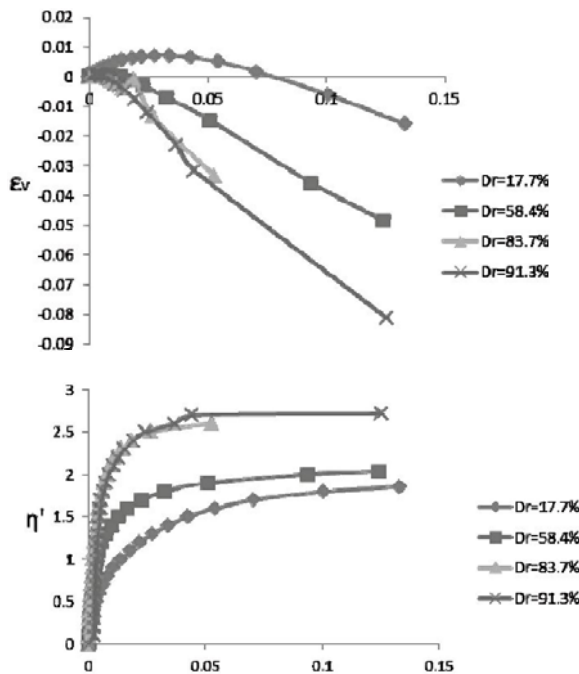


図4  $p' = 98.1 \text{ kPa}$  の  $\eta' \sim \varepsilon_s \sim \varepsilon_v$  関係

### 3. 2 試験結果への実験公式のあてはめと

#### 圧縮指数 $\lambda$ の決定

図に示すように、三軸せん断試験より得られる応力比  $\eta' \sim$  せん断ひずみ  $\varepsilon_s$  関係ならびに体積ひずみ  $\varepsilon_v \sim$  せん断ひずみ  $\varepsilon_s$  関係は、有限個のプロットで示される。圧縮指数  $\lambda$  はじめ各種の弾塑性パラメータの決定の精度を高めるため、本研究では、これらの試験結果に実験公式を当てはめている。すなわち、応力比  $\eta' \sim$  せん断ひずみ  $\varepsilon_s$  関係には式 (3)<sup>14)</sup> を、体積ひずみ  $\varepsilon_v \sim$  せん断ひずみ  $\varepsilon_s$  関係には式 (4)<sup>15)</sup> を非線形最少二乗法<sup>16)</sup>

$$\eta' = \eta'_{peak} + a_1 \exp(b_1 \varepsilon_s) + a_2 \exp(b_2 \varepsilon_s) \quad \dots (3)$$

$$\varepsilon_v = a_1 [1 - \exp(-\varepsilon_s / a_2)] + b_1 \varepsilon_s + b_2 \varepsilon_s^2 + b_3 \varepsilon_s^3 + b_4 \varepsilon_s^4 + b_5 \varepsilon_s^5 \quad \dots (4)$$

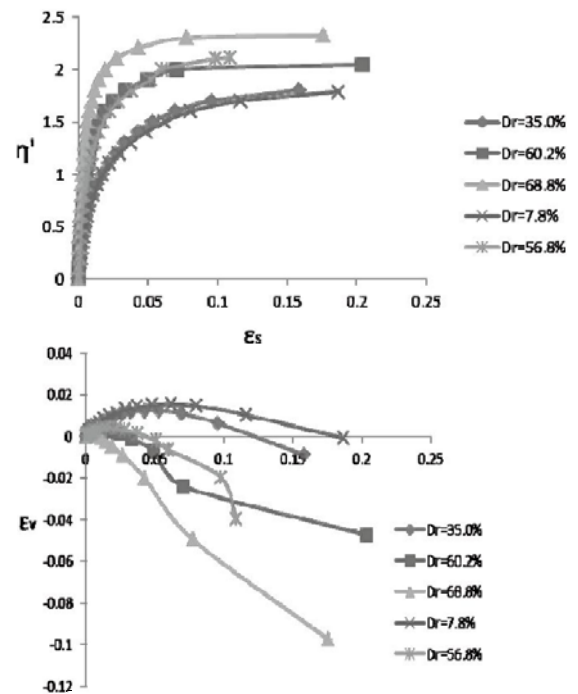


図5  $p' = 196.1 \text{ kPa}$  の  $\eta' \sim \varepsilon_s \sim \varepsilon_v$  関係

を利用して当てはめた。従って、三軸供試体が圧縮から膨張に転じるところの最大体積ひずみの値は相当に高い精度で得られていることになる。式(3)、式(4)を当てはめて得られたパラメータは付録の表1、表2にまとめて示した。

図6は三軸供試体が圧縮から膨張に転ずるときまでに生じた最大の体積ひずみ  $\varepsilon_{v\max}$  とせん断開始時の体積比  $v_0$  の関係を示している。■が  $p_A' = 98.1\text{ kPa}$ 、□が  $p_B' = 196.1\text{ kPa}$  の結果であり、それぞれに互いに平行な曲線の式を当てはめている。これらの曲線の隔たりが、式(2)の左辺の分子  $(v_0)_A - (v_0)_B$  となっている。

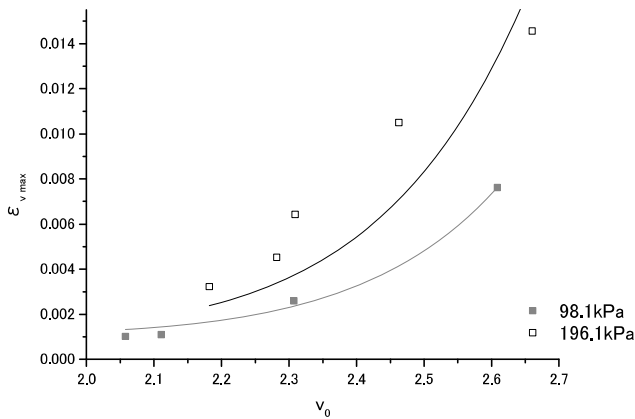


図6  $\varepsilon_{v\max} \sim v_0$  関係

実験公式の当てはめ、すなわち、カーブフィッティングの手順は以下の通りである。まず、データ数の一番多い  $p_B' = 196.1\text{ kPa}$  の結果に実験公式(5)を当てはめる。ただし、式(5)中のパラメータ  $c$  の値は、過圧密の程度が一番大きい、言い換えれば  $v_{\lambda 0}$  の値が一番小さい  $p' = 49.0\text{ kPa}$ 、 $v_0 = 1.97$  ( $v_{\lambda 0} = 2.03$ ) の  $\varepsilon_{v\max}$  の値 ( $c = 0.00102$ ) を採用した。結局、非線形最少二乗法<sup>16)</sup>を利用して、 $a = 2.0 \times 10^{-5}$ 、 $b = 6.90453$  が得られた。

$$\varepsilon_{v\max} = av_0^b + c \cdots (5)$$

次に、 $p_A' = 98.1\text{ kPa}$  の結果に実験公式(6)を当てはめて、式(6)中のパラメータ  $d = 0.1533$  を決定した。ここでは、式(6)中のパラメータ  $a$ 、 $b$ 、 $c$  の値は式(5)と同じ値を用いている。

$$\varepsilon_{v\max} = a(v_0 - d)^b + c \cdots (6)$$

先に述べた通り、パラメータ  $d$  は式(5)と式(6)の示す曲線の隔たりであり、 $d = (v_0)_A - (v_0)_B$  である。以上のカーブフィッティングの結果を用いて、式(2)より  $\lambda = 0.221$  を決定することができた。

### 3.3 状態量 $v_{\lambda 0}$ による三軸試験結果の考察

図7は、 $\eta' \sim \varepsilon_s$  関係と  $\varepsilon_v \sim \varepsilon_s$  関係を  $v_{\lambda 0}$  で整理した図である。図中の数字は  $v_{\lambda 0}$  の値を示す。これより  $v_{\lambda 0} = v_0 + \lambda \ln p_0'$  の値が小さいほど破壊時の  $\eta$  が大きく、圧縮時の  $\varepsilon_v$  は小さくなり、圧縮傾向が小さくなる傾向があることがわかる。また、 $v_{\lambda 0} = 3.45$  は  $v_0 = 2.28$ 、 $p_0' = 196.1\text{ kPa}$

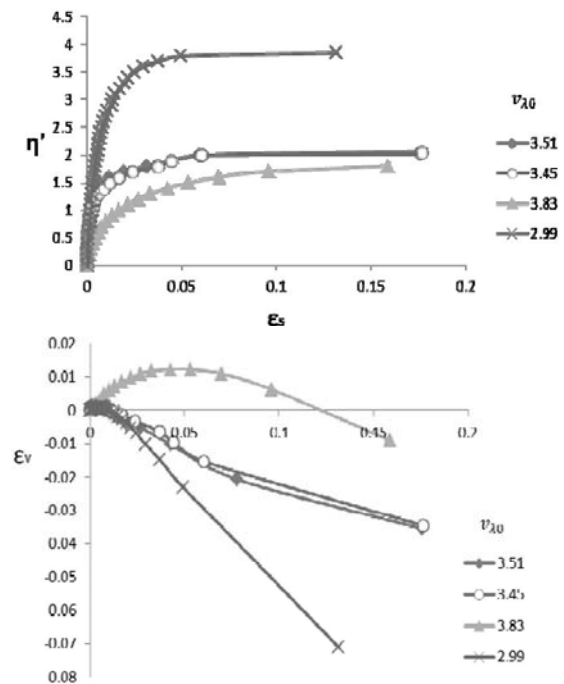


図7  $v_{\lambda 0}$  による考察

$v_{\lambda 0}=3.51$ は $v_0=2.65$  ,  $p_0'=49.0\text{kPa}$  である. せん断開始時点の平均主応力 $p_0'$ と体積比 $v_0$ の値が異なっているが、 $v_{\lambda 0}=v_0+\lambda \ln p_0'$ の値が同じであれば、 $\eta' \sim \varepsilon_s$ 関係と $\varepsilon_v \sim \varepsilon_s$ 関係がほぼ等しくなっていることも確認することができる。

#### 4. まとめ

1. 圧縮指数 $\lambda$ は圧縮だけでなくせん断に関わる重要なパラメータである. すなわち、 $\lambda$ はひずみの発生量を定める重要なパラメータであり、その精度は、地盤の変形解析結果に大きな影響を与える。
2. 砂質土の圧縮指数 $\lambda$ は標準圧密試験や通常の三軸せん断試験装置による等方圧縮試験で決定することは難しい. そこで、拘束圧 $p_0'$ と体積比 $v_0$ の異なる一連の三軸せん断試験の結果を用いて実施する砂質土の圧縮指数 $\lambda$ の決定法を提案した。
3. 砂質土の圧縮指数 $\lambda$ の決定では、限界状態やピーク強度時の試験データは用いず、供試体の応力とひずみの状態が均質だと思われるせん断初期の試験データを用いる. すなわち、せん断中に供試体が圧縮から膨張に転ずる所の最大圧縮体積ひずみ $\varepsilon_{v \max}$ をせん断開始時の体積比 $v_0$ 、平均有効主応力 $p_0'$ で整理して圧縮指数 $\lambda$ の決定を試みた。
4. 今回は、供試体が圧縮から膨張に転ずる時点の $v$ 、 $p'$ の代わりに、せん断開始時の体積比 $v_0$ 、平均有効主応力 $p_0'$ を採用した式(2)を用いて圧縮指数 $\lambda$ の決定を試みた。
5. 三軸せん断試験結果への実験公式の当てはめを行っている. すなわち、非線形最少二乗法によるカーブフィッティングにより、提案方法の精度の向上を期待することができる。

6. 提案手法を鹿児島県に広く分布する特殊土しらすの三軸せん断試験結果に適用して、特殊土しらすの圧縮指数 $\lambda$ を決定することができた。

7. 得られた特殊土しらすの圧縮指数 $\lambda$ を用いて過圧密の程度を表す状態量 $v_{\lambda 0}$ を求めた. この $v_{\lambda 0}$ を使って特殊土しらすの三軸せん断試験結果を考察し、提案手法の妥当性・有効性を確かめることができた。

最後に、土の構成式に必要な他の弾塑性パラメータやメカニズムは、圧縮指数 $\lambda$ の精度に依存して決まる<sup>10)</sup>. 従って、できるだけ多くの三軸せん断試験結果より圧縮指数 $\lambda$ を決定することが必要である. なお、平均主応力一定三軸せん断試験を行わなくても通常の拘束圧一定三軸せん断試験の結果を用いて今回と同様なアプローチが行えることを付記しておく<sup>10)</sup>.

#### 謝辞

参考文献に掲げる海洋土木工学科の卒業生ならびに海洋土木工学専攻の修了生の皆様に感謝いたします。

#### 付録

表1  $\eta' \sim \varepsilon_s$ 関係のフィッティングパラメータ

試験番号	$\eta'_{\text{peak}}$	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$
S1	1.8	-0.54511	-1.24365	-246.267	-26.831
S2	2.0454	-1.0252	-0.98387	-277.878	-41.9007
S3	2.32279	-0.92118	-1.36555	-52.9487	-334.559
S4	2.053	-1.05844	-0.94474	-48.3459	-1608.55
S5	1.85465	-1.33172	-0.49288	-31.6651	-404.318
S6	1.7871	-0.60311	-1.15898	-234.505	-23.0389
S7	2.18188	-0.99607	-1.18112	-53.328	-317.289
S8	3.85608	-2.32653	-1.51053	-75.409	-384.83
S9	1.90464	-0.43386	-1.44215	-232.624	-30.0795
S10	2.03294	-1.02692	-0.97271	-48.8076	-588.734
S11	2.1124	-1.20357	-0.85864	-37.4803	-280.288
S12	1.9889	-1.31835	-0.65645	-38.2565	-265.622
S13	2.6586	-1.96779	-0.65772	-47.1113	-609.583
S14	2.6286	-1.46767	-1.09297	-402.305	-86.7275
S15	2.71659	-9.61053	-1.45999	-954.777	-81.8118

表 2  $\varepsilon_v \sim \varepsilon_s$  関係のフィッティングパラメータ

試験番号	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$
S1	0.01456	0.02393	0.10382	-2.48446	5.65418	0	0
S2	0.41051	1.41818	0.40382	-41.8233	787.8136	-5697.16	0
S3	0.83165	1.96556	0.1326	-20.4377	167.1152	-416.03	0
S4	207.7667	1360.98	0.23002	-39.7352	919.2417	-7227.3	0
S5	0.34438	1.62409	0.37322	-14.1188	110.881	-331.672	0
S6	0.44101	1.22374	0.40192	-12.4256	80.14418	-186.56	0
S7	0.22928	0.83216	0.2056	-37.0123	546.8776	-2705.21	0
S8	0.02293	0.04488	-0.17396	-30.8732	486.7212	-2149.33	0
S9	0.56155	1.2004	0.5082	-14.8138	105.98	-291.126	0
S10	0.03527	1.54102	0.1709	-16.6768	163.17	-537.528	0
S11	0.38175	1.08557	0.3466	-33.7429	508.9838	-2630.93	0
S12	0.35669	0.52858	0.0781	-18.3833	152.7044	-396.119	0
S13	0.2483	1.41674	0.27951	-22.9481	268.4322	-1078.95	0
S14	11612	585040.6	0.67697	-126.139	4649.688	-52019	0
S15	0.00828	0.00468	-1.0138	16.93457	-440.102	2585.063	0

表 1, 表 2 中の試験 S1 は, 初期体積比  $v_0 = 2.46$ , 均有効主応力  $p_0' = 196.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.81$  である.

試験 S2 は,  $v_0 = 2.28$ ,  $p_0' = 196.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.45$  である.

試験 S3 は,  $v_0 = 2.22$ ,  $p_0' = 196.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.39$  である.

試験 S4 は,  $v_0 = 2.65$ ,  $p_0' = 49.0 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.51$  である.

試験 S5 は,  $v_0 = 2.61$ ,  $p_0' = 98.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.62$  である.

試験 S6 は,  $v_0 = 2.66$ ,  $p_0' = 196.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.83$  である.

試験 S7 は,  $v_0 = 2.12$ ,  $p_0' = 294.2 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.38$  である.

試験 S8 は,  $v_0 = 2.13$ ,  $p_0' = 49.0 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 2.99$  である.

試験 S9 は,  $v_0 = 2.53$ ,  $p_0' = 294.2 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.79$  である.

試験 S10 は,  $v_0 = 2.31$ ,  $p_0' = 98.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.32$  である.

試験 S11 は,  $v_0 = 2.31$ ,  $p_0' = 196.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.48$  である.

試験 S12 は,  $v_0 = 2.28$ ,  $p_0' = 294.2 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.54$  である.

試験 S13 は,  $v_0 = 2.43$ ,  $p_0' = 49.0 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.29$  である.

試験 S14 は,  $v_0 = 2.11$ ,  $p_0' = 98.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.12$  である.

試験 S15 は,  $v_0 = 2.06$ ,  $p_0' = 98.1 \text{ kPa}$  の試験条件で三軸せん断試験を実施している. 従って,  $v_{\lambda 0} = 3.07$  である.

## 参考文献

- 1) 三隅浩二, 疋田達郎, 山内知之, 林田匠, 特殊土しらすの弾塑性せん断挙動の考察, 第38回地盤工学研究発表会(秋田), pp. 443-444 (2003).
- 2) 三隅浩二, 川添隆志, 秋吉智文, 吉村公孝, 木村裕樹, 加藤浩司, 弾塑性構成式によるしらすの応力ひずみ曲線の再現, 平成15年度土木学会西部支部研究発表会公演概要集第1分冊, pp. A214-A215 (2004).
- 3) 三隅浩二, 秋吉智文, 木村裕樹, 吉村公孝, 三軸せん断試験による砂質土の圧縮指数の決定, 平成16年度土木学会西部支部研究発表会公演概要集, IIII-048, pp. 463-464 (2005).

- 4) 三隅浩二, 秋吉智文, 大川内一博, 圧縮から膨脹に転ずる時点で得られる砂質土の弾塑性パラメータ～砂質土の弾塑性パラメータを均質な応力とひずみの状態で決定する試み～, 土木学会平成18年度全国大会第61回年次学術講演会講演概要集, pp. 509-510 (2006).
- 5) 三隅浩二, 吉村公孝, 木村裕樹, 秋吉智文, 大川内一博, 三軸せん断試験時に発揮されるシラスの圧縮指数の決定, 平成17年度土木学会西部支部研究発表会公演概要集, III-6 pp. 387-388 (2006).
- 6) 三隅浩二, 有野亮, 砂質土の圧縮指数を複数のせん断試験結果より決定する試み, 土木学会全国大会第63回年次学術講演会, III-223, pp. 445-446 (2008).
- 7) 三隅浩二, 小田原市典, 砂質土の三軸試験データ解析法の開発に関する2, 3のアプローチ, 土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会講演概要集, III-057, pp. 113-114 (2009).
- 8) 三隅浩二, 小田原市典, 名和智彦, 久保信二, 林和孝, 野元優也, 砂質土の拘束圧・初期間隙比の組合せと三軸試験結果の関係, 土木学会平成23年度全国大会第66回年次学術講演会講演概要集, III-417, pp. 833-834 (2011).
- 9) 三隅浩二, 土質材料の評価方法, 特許第4691663号, (2011)
- 10) 三隅浩二, 久保信二, 三軸試験データ解析法の開発としらすの試験結果への適用, 平成24年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-033, pp. 407-408 (2013).
- 11) J. H. Atkinson and P. L. Bransby, The Mechanics of Soils, An Introduction to Critical State Soil Mechanics, McGRAW-Hill Book Company Limited, pp.235-262 (1978).
- 12) A. Schofield and P. Wroth, Critical State Soil Mechanics, McGRAW-Hill Publishing Company Limited, pp.124-127 (1968).
- 13) 疋田達郎, 特殊土しらすのせん断特性に関する理論的実験的研究, 鹿児島大学平成14年度修士論文, (2003).
- 14) 増山元三郎, 実験公式の求め方, 竹内書店, pp. 66-67 (1962).
- 15) 宇都一馬, 冬木衛, 桜井学, 長谷川晶弘, 村上清基, 小野洋, 第22回土質工学研究発表会, pp. 489-492 (1987).
- 16) 株式会社ライトストーン, ORIGIN ユーザーマニュアル, (2002).