

# 新規制定の学会基準案「土の圧密定体積一面せん断(DBS-CV)試験方法」と 「土の圧密定圧一面せん断(DBS-CP)試験方法」について

地盤工学会基準部

## 1. まえがき

今回公示する学会基準案は、新規制定の試験方法として提案するもので、「土の圧密定体積一面せん断試験方法」と「土の圧密定圧一面せん断試験方法」に関する学会基準案である。この基準の原案は、「土の一面せん断試験方法基準化委員会」（構成を下表に示す）において作成され、それを土質試験基準検討委員会および基準部会で審議したものである。以下に、当基準案作成の経緯、概要および基準案を作成する場合に議論された主な問題点について説明する。

ここに公示する基準案についての意見は、**書面にて平成9年3月31日までに地盤工学会基準部宛**に提出していただきたい。基準案は、会員から意見が提出された場合にはそれらを検討した上で、基準部および理事会における所定の審議を経た後、基準として制定される。

### 土の一面せん断試験方法基準化委員会

委員長	落合英俊	九州大学工学部建設都市工学科
委員兼幹事	梅崎健夫	信州大学工学部社会開発工学科
委員兼幹事	安福規之	九州大学工学部建設都市工学科
委員	浅田英幸	東亜建設工業(株)技術研究所
委員	大島昭彦	大阪市立大学工学部土木工学科
委員	北島明	(株)フジタ土木研究部土質グループ
委員	北村良介	鹿児島大学工学部海洋土木開発工学科
委員	澁谷啓	北海道大学工学部土木工学科
委員	鈴木耕司	ドラムエンジニアリング(株)
委員	藤井厚企	建設省土木研究所材料施工部
委員	本郷隆夫	(財)大阪土質試験所杭瀬試験室
委員	水上純一	運輸省港湾技術研究所土質部
委員	古谷保	農林水産省農業工学研究所
委員	矢田部龍一	愛媛大学工学部土木海洋工学科
委員	川崎了	(財)電力中央研究所我孫子研究所
委員	ブラダンテージ	横浜国立大学工学部建設学科
(旧)委員	田中幸久	(財)電力中央研究所我孫子研究所
(旧)委員	山口嘉一	建設省土木研究所ダム部

## 2. 基準案作成の経緯および基準案の概要

土のせん断試験のうち、供試体のあらかじめ定められた位置にせん断力を直接加える試験を直接型せん断試験といい、せん断時に主応力方向が回転する特徴を有している。一面せん断試験は、その代表的な試験であり、土の強度特性をクーロン式の形で直接的に求めることができ、原理的に分かりやすく、また、試験機、試験方法が簡便であることなどの利点を有している。また、学会出版の「土質試験法」や「土質試験の方法と解説」におい

て詳細に記述され、データシートも用意されていたために、これまでに広く利用され、データも豊富に蓄積されている。その一方で、この試験には、試験機、試験方法、結果の解釈などに関していくつかの問題点があることが早くから指摘され、平成2年の学会基準の改正の際には、基準化が見送られた。

このような状況のもとで、本試験の豊富な実績を活かし、既存の試験機とデータの有効活用方法を提示し、実用的な試験方法としての可能性を検討することが必要であるとして、「土の一面せん断試験方法検討委員会」が平成4年に設置された。試験の問題点、試験法の適用限界、対象土質などを中心にして試験方法の基準化の適否が検討された結果、この試験方法の基準化の必要性和期待度は高く、また基準化できる見通しにあることが示され、上記の基準化委員会が設置された。基準化委員会では、既存の試験機のほか、新たな試験機を試作して一斉試験を行うなど、一面せん断試験の問題点の把握とその改善策に取り組み、その成果に基づき、基準案の作成作業を進めてきた。

一面せん断試験では、二つの剛なせん断箱内に供試体を入れ、せん断箱間にすき間を設定して相対的に移動させることによりせん断を行うため、次の問題が生じる。

- 1) 供試体にせん断力を直接加えるため、せん断箱にモーメントが生じる。
- 2) せん断箱端部から進行性破壊が生じる。
- 3) 供試体とせん断箱内面の間に周面摩擦力が生じる。
- 4) 試料の粒径の影響を受けやすい。

これらのうち、1)、2)は一面せん断試験機の機構上の問題であり、避けることができない。3)、4)は今回の基準化に当たって最も議論された点であり、その影響は、「定体積試験と定圧試験」、「粘性土と砂質土」で大きく異なる。「粘性土の定体積試験」ではその影響は小さく、これまで実務において最も多く行われ、実用上十分な精度のデータが得られている。一方、「砂質土の定圧試験」ではその影響が顕著に現れる。このことから、基準化に当たって、「定体積試験」と「定圧試験」に分けることとした。また、適用範囲を直径6cm、高さ2cmの供試体に対して、最大粒径0.85mm以下の土と規定した。

圧密定体積一面せん断試験では、「せん断中に供試体の体積を一定に保つこと」を「非排水条件に保つこと」と等価とみなし、試験中に供試体の垂直変位が生じないように垂直力を制御するため、上記3)の問題は生じない。そこで、基準案ではこれまでに蓄積されている豊富なデ

一夕を活かすために、定体積制御が可能な試験機を対象にすることとし、垂直力を測定する荷重計は加圧板側あるいは反力板側のいずれに設置してもよいとした。

圧密定圧一面せん断試験では、せん断中に供試体の体積変化が生じるために、上記3)の問題によってせん断面上の垂直応力が変化する。そこで、基準案ではせん断中

にせん断面上の垂直応力を一定に保つように制御する試験を定圧一面せん断試験と定義し、せん断面上の垂直応力を正確に測定することとした。このため、垂直力を測定する荷重計は必ず反力板側に設置することとした。

以下にその基準案を公示する。

## 地盤工学会基準 (案)

JGS

### 土の圧密定体積一面せん断 (DBS-CV) 試験方法 T 560-199X

Method for Consolidated Constant Volume Direct Box Shear Test on Soils

#### 1. 総 則

##### 1.1 試験の目的

この試験は、せん断箱内で一次元圧密した土の体積を一定に保った状態で、垂直力を加える方向と直交する一つの面でせん断し、定体積せん断強さを求めることを目的とする。

##### 1.2 適用範囲

直径6 cm、高さ2 cmの供試体に対して、最大粒径0.85 mm以下の土を対象とする。

##### 1.3 用語の定義

一面せん断試験とは、直接型せん断試験の一つで、板状の供試体の上下面に垂直力を加えた状態で、垂直力の作用方向と直交する一つの面でせん断する試験をいう。定体積せん断とは、供試体の体積変化を生じさせずにせん断する方法をいい、その時のせん断強さを定体積せん断強さという。

#### 【付帯条項】

1. 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容を報告事項に明記しなければならない。

1.1 圧密応力と定体積せん断強さの関係を求めるためには、数個の供試体に対して異なる圧密応力のもとで試験を行う。

1.2 供試体寸法を付帯条項2.1(1)に示す条件の大きさに設定すれば、最大粒径0.85 mmを越える土に対しても本基準が準用できる。この試験に用いる土の最大粒径の確認には、JGS T 131「土の粒度試験方法」を参照する。

1.3 定体積せん断は飽和土の非排水せん断と等価とみなせる。圧密定体積一面せん断試験はDBS-CV試験と略記することができる。

#### 2. 試験用具

##### 2.1 一面せん断試験機

この試験機は、せん断箱、加圧板、反力板、

せん断箱ガイド装置、垂直力載荷装置、せん断力載荷装置、垂直力とせん断力を測定する荷重計、垂直変位とせん断変位を測定する変位計、およびすき間設定用スペーサーから構成される。いずれの部品も所定の荷重範囲内で十分な剛性を有すること。垂直力測定用荷重計は、加圧板側または反力板側に設置する。

- (1) せん断箱：直径6 cm、高さ2 cmを標準とする供試体を納める内面の滑らかな金属製の箱であり、上下に2分され、可動箱が固定箱に対して平行に移動でき、上下せん断箱間に隙間を設定できる機構を有すること。また、供試体作製時にはテーパピンなどによって上下せん断箱を一時的に固定できる機構を有すること。
- (2) 加圧板：供試体に垂直力とせん断力を伝える剛板であり、供試体の給排水とせん断力を伝えるために表面が粗い多孔板を有すること。垂直力載荷装置に固定され、せん断箱内を摩擦なく上下できること。
- (3) 反力板：加圧板から供試体に加えられる垂直力を受ける剛板であり、供試体の給排水とせん断力を伝えるために表面が粗い多孔板を有すること。
- (4) せん断箱ガイド装置：可動箱が固定箱に対して平行、かつ滑らかに所定の方向に動くように設置されたもの。
- (5) 垂直力載荷装置：加圧板に所定の垂直力を加えるものであり、供試体にせん断力が働いている時にも摩擦なく垂直力が加圧板に伝えられ、かつ加圧板が傾斜しない機構を持ち、せん断中に垂直力が制御できること。
- (6) せん断力載荷装置：可動箱を荷重計を介して一定速度で滑らかに変位させる装置であり、せん断変位速度を0.05~0.5 mm/minの範囲で設定でき、供試体に有害な振動を与えないこと。
- (7) 荷重計：垂直力および予想されるせん断力の最大値をそれぞれ±1%以下の許容差で測定できること。
- (8) 変位計：垂直変位とせん断変位をそれぞれ0.01

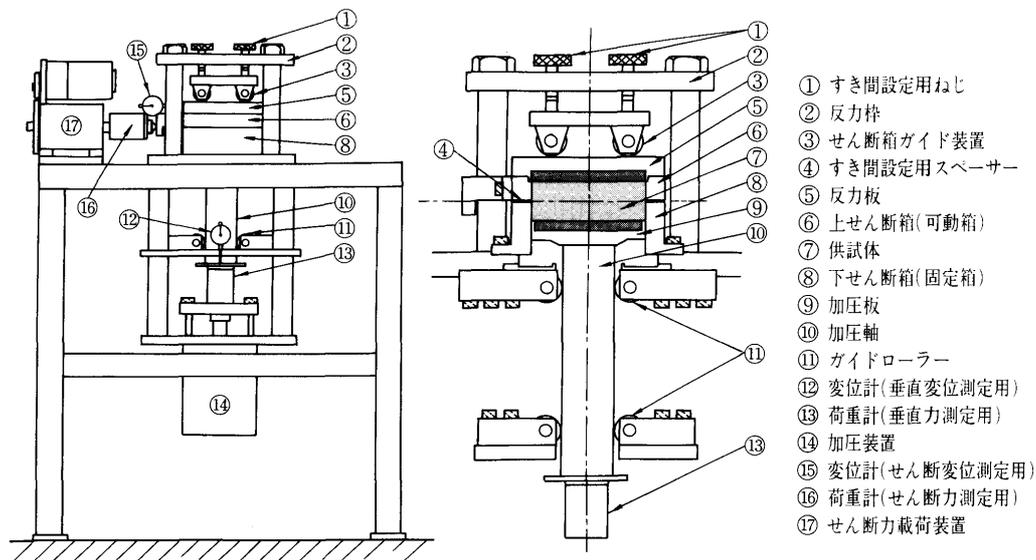


図-1 圧密定体積一面せん断試験機の例

mm以下の許容差で測定できること。

(9) すき間設定用スペーサー：上下せん断箱間にすき間を与えるための板状のもの。

### 【付帯条項】

2.1 定体積せん断試験における垂直力測定用荷重計は、加圧板側または反力板側に設置する（定圧せん断試験と兼用とする場合には反力板側に設置する）。垂直力測定用荷重計が加圧板側にあり、供試体の下面から垂直力を加え、上せん断箱が可動の場合の一面せん断試験機の構成例を図-1に示す。垂直力測定用荷重計を反力板側に設置した場合の構成例は、JGST 561「土の圧密定圧一面せん断（DBS-CP）試験方法」の付帯条項2.1に示す。

- (1) 最大粒径0.85mmを越える土に対しては供試体直径を最大粒径の70倍以上、高さを供試体直径の1/3程度とする。供試体の断面形状は矩形でもよいが、高さを長辺の1/3程度とする。
- (2) 直径が供試体に対して0.2mm程度小さく、多孔板の面積は加圧板面積の85%以上を有すること。多孔板は透水係数が $10^{-4}$ cm/s以上で、間に土粒子が入らない程度に細かいポーラスストーンがよい。また試験前に目詰まりがないことを確認する。
- (3) 多孔板は加圧板のそれと同じ要件を満たす。
- (4) 剛性の高いローラーまたは摺動装置で構成され、測定されるせん断力に有意な影響を与えないこと。
- (5) 加圧装置、加圧軸およびガイドローラーから構成される。加圧装置は垂直力を微調整できる空気圧式または重錘・レバー式を用いる。載荷能力は $800\text{ kN/m}^2$  { $8\text{ kgf/cm}^2$ }程度とする（直径6cmの供試体の場合には $2.2\text{ kN}$  { $220\text{ kgf}$ }程度に相当する）。定体積せん断は加圧軸を固定することによって行うこともできるが、その場合には垂直力測定用荷重計は反力板側に設置する。
- (6) 変位制御方式を標準とする。載荷能力は $800\text{ kN/m}^2$  { $8\text{ kgf/cm}^2$ }程度とする（直径6cmの供試体の場合には $2.2\text{ kN}$  { $220\text{ kgf}$ }程度に相当する）。

- (7) 垂直力測定用荷重計を反力側に設置する場合には剛性が特に高いものを選ぶ。
- (8) 最小目盛り0.01mmのダイヤルゲージ、またはこれと同等以上の性能を有する電気式変位計を用いる。直径6cmの供試体では10mm程度の容量が必要である。
- (9) 厚さは0.2~0.5mmとする。スペーサーの例を図-2に示す。砂質土の試験では、4枚の小片スペーサーをせん断箱の4隅に設置してもよい。やむを得ずスペーサーを入れない場合には、圧密後にすき間を設定する方法でもよい。

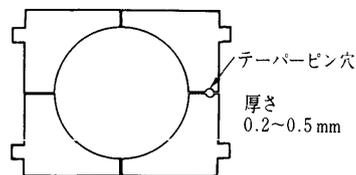


図-2 すき間設定用スペーサーの例

### 2.2 供試体作製用具

塊状試料の場合には(1)~(5)を、非塊状試料の場合には(6)、(7)を用いる。

- (1) トリマー：塊状試料を所定の供試体直径よりも少し大きめに成形でき、かつ成形した試料にカッターリングを垂直に圧入できるもの。
- (2) カッターリング：所定の大きさの供試体と同じ内径と高さを有する内面が滑らかなリングで、その一端は鋭利な刃をもち、他の一端はせん断箱に供試体中心を一致させて、一時的に固定できるもの。
- (3) ワイヤソー：直径が0.2mm程度の鋼線を張ったもの。
- (4) 直ナイフ：カッターリングに納めた供試体の端面を平面に整形するための刃を有するもの。
- (5) 供試体挿入具：供試体をカッターリングからせん断箱へ移すためのもの。
- (6) 空中落下法用具：空中落下法で供試体を作製す

るための漏斗とノズルからなるもの。

- (7) 締め固め用具：せん断箱の中で試料を締め固めて供試体を作製するためのもの。

### 2.3 その他の用具

- (1) はかり：感量0.01gのもの。  
 (2) 含水比測定用具：JGS T 121「土の含水比試験方法」の2.試験用具に規定するもの  
 (3) 時計：秒読みができるもの

#### 【付帯条項】

2.2 塊状試料に対する供試体作製用具は、JGS T 411「土の圧密試験方法」の付帯条項2.2に準ずる。

- (2) 質量  $m_R$ (g)、内径  $D$ (cm)、高さ  $H_0$ (cm)を計っておく。圧密度が5 mm以上と予想される場合には、供試体高さを大きめに設定できるカッターリングを用意する。  
 (3) 硬い試料の成形にはナイフやカッターを用いてもよい。  
 (4) 空中落下法用具の例を図-3に示す。  
 (7) 図-4に示すような平底の突き棒、供試体よりもわずかに直径が小さい円板など。

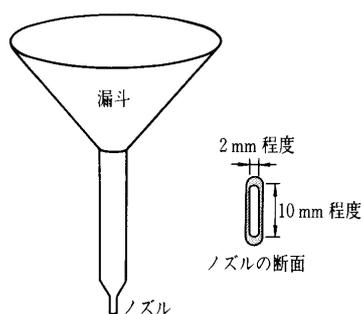


図-3 空中落下法用具の例

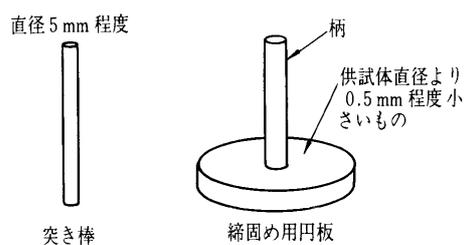


図-4 締め固め用具

### 3. 供試体の作製と設置

あらかじめ、上下せん断箱の間にすき間設定用スペーサーをはさみ、上下せん断箱をテーパピンなどを用いて固定し、周面摩擦力低減のためにせん断箱内面にシリコンオイルまたはグリースを薄く塗る。塊状試料はカッターリングから供試体をせん断箱に移す。非塊状試料はせん断箱内に直接供試体を作製する。

#### 3.1 塊状試料

- (1) 必要な供試体高さよりも5~10mm大きい試料をトリマーの回転板上に置き、ワイヤーソー、ナイフなどを用いて供試体の直径よりも3~5

mm 大きな円板状に成形する。

- (2) トリマー上の試料の上面にカッターリングを置き、刃先があたる部分の試料をワイヤーソー、ナイフなどを用いてカッターリングの内径よりも1~2mm大きく削り、トリマー上板を軽く押してカッターリングを試料に2~3mm押し込む。この操作を繰り返してカッターリング内に試料をすき間なく入れる。  
 (3) カッターリング両端から出ている試料をカッターリング端面に沿ってワイヤーソーで切り落とし、直ナイフで平面に仕上げる。  
 (4) カッターリングに供試体を入れた状態の質量  $m_1$ (g)を計る。  
 (5) 削り屑から代表的な試料を取り、含水比を測定する。  
 (6) せん断箱上にカッターリングを固定し、供試体挿入具で供試体をせん断箱内に移す。

#### 3.2 非塊状試料

- (1) 試料の初期含水比  $w_0$ (%)を測定する。  
 (2) 所定の供試体体積と密度が得られるように、試料を用意し、その質量を計る。  
 (3) 空中落下法：ノズルをふさいだ状態で漏斗内に試料を入れ、せん断箱内に所定の高さでノズルから試料を落下させる。せん断箱内に試料を満たした後、上面を直ナイフで平らに仕上げる。  
 (4) 締め固め法：せん断箱内に試料を投入し、締め固め用具を用いて動的または静的に土を所定の高さまで締め固めて供試体とする。必要に応じて上面を直ナイフで平らに仕上げる。  
 (5) 供試体以外の残量を計り、(2)の全質量から差し引いて供試体質量  $m_0$ (g)を求める。

#### 【付帯条項】

3. やむを得ない場合には、スペーサーを入れない方法を採用してもよい。また、多孔板に土粒子の侵入が懸念される場合には、圧縮性が小さい透水性高分子薄膜をフィルターとして用いるとよい。

3.1 塊状試料とはブロックあるいはサンプラーで採取された乱さない試料をいい、通常は粘性土試料であるが、乱さない砂質土試料も含まれる。供試体の作製は、JGS T 411「土の圧密試験方法」の3.供試体の作製に準じる。

- (5) 削り屑から測定する含水比は試験終了を待たずに試験結果を整理する場合、および試験後に求める供試体の初期含水比  $w_0$ (%)を確認するために用いる。

#### 3.2

- (3) 所定の密度が得られるための落下高さを予備試験によって求めておく。  
 (4) 供試体を所定の密度に均一に締め固めるために、試料を分割して2~3層に分けて行うとよい。締め固めに用いた方法は報告する。

## 4. 試験方法

### 4.1 準備

- (1) セン断箱ガイド装置を組み立て、垂直変位測定用変位計を取り付ける。
- (2) 供試体の飽和度を高める場合には、多孔板から給水を行う。

### 4.2 圧密過程

- (1) 垂直力測定用荷重計および変位計の原点を合わせる。
- (2) 所定の圧密応力  $\sigma_c(\text{kN/m}^2)\{\text{kgf/cm}^2\}$  に相当する垂直力を載荷して圧密を開始する。
- (3) 圧密中は適切な経過時間で圧密量  $\Delta H(\text{mm})$  を読み取り、時間  $t(\text{min})$  を対数として時間-圧密量曲線を描く。
- (4) 圧密は一次圧密終了後、圧密速度が十分小さくなるまで続ける。

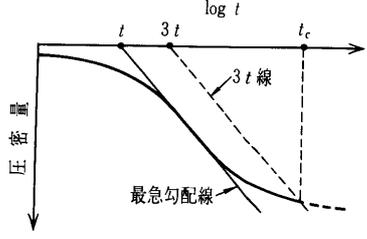
### 4.3 上下せん断箱のすき間設定

- (1) すき間設定用スペーサーを抜く。
- (2) 上下せん断箱を固定しているテーパーピンなどをはずす。

### 4.4 せん断過程

- (1) セン断変位測定用変位計を取り付け、変位計およびせん断力測定用荷重計の原点を合わせる。
- (2) 0.2 mm/min のせん断変位速度を標準とし、せん断を開始する。
- (3) せん断中は供試体体積を一定に保つために垂直変位が生じないように、垂直力を制御する。
- (4) せん断変位  $\delta(\text{mm})$ 、せん断力  $S(\text{N})\{\text{kgf}\}$ 、垂直力  $N(\text{N})\{\text{kgf}\}$  を適切な間隔で記録する。
- (5) せん断はせん断変位 7 mm まで行う。
- (6) せん断終了後、供試体をせん断箱から取り出し、せん断面の様子などを観察する。塊状試料では炉乾燥供試体質量  $m_s(\text{g})$  を測定する。

### 【付帯条項】

- #### 4.2
- (1) 垂直力の載荷に当たっては、衝撃的にならないように注意する。軟らかい供試体の場合には、所定の圧密応力まで段階的に載荷してもよい。
  - (2) 圧密量の初期補正および測定の経過時間は、それぞれ JGS T 411「土の圧密試験方法」の 5.2 および付帯条項 4.2 (3) に準じる。
  - (3) 粘性土の圧密の打ち切り時間は、図-5 に示す 3t 法を標準とする。3t 法は、片対数紙に測定値 ( $\Delta H$ ,  $\log t$ ) をプロットして  $\Delta H$ - $\log t$  曲線を描き、曲線の最急勾配線を図上で求める。最急勾配線に平行で、時間が 3t となる直線 (3t 線と呼ぶ) を引く。 $\Delta H$ - $\log t$  曲線が 3t 線に達した時を圧密打ち切り時間  $t_c$  とする。砂質土や過圧密粘土のように圧密量が少なく、一次圧密が明確に認められない場合には、圧密開始から 10 分程度記録をとり、圧密が十分落ち着いたことを確認できれば打ち切ってよい。
- 
- #### 4.3
- (1) やむを得ずスペーサーを用いなかった場合には、垂直変位測定用変位計を見ながらすき間設定用ねじを緩めて 0.2~0.5 mm のすき間を開ける。この時、過度な傾きや開けすぎが生じないように少しずつ均等にねじを緩める。
- #### 4.4
- (1) 重錘・レバー式の垂直力載荷装置を持つ試験機では、せん断中に垂直力を制御できるように、すき間設定後、垂直力載荷レバーを吊り、垂直力測定用荷重計の読みが変化しないようにレバーに重錘を追加する。追加量の目安は、せん断中に体積が収縮すると予想される正規圧密粘土や緩い砂質土では垂直応力 100 kN/m<sup>2</sup> {1 kgf/cm<sup>2</sup>}、せん断中に体積が膨張すると予想される過圧密粘土や砂質土では圧密応力の 2 倍、特に密な砂質土では 4 倍とする。
  - (2) 初期のせん断応力の増加速度が著しい硬い粘土や密な砂質土に対しては、0.1 mm/min 程度のせん断変位速度を選んでもよい。
  - (3) 定体積条件を満たすために、高さ 2 cm の供試体では垂直変位の変動幅が  $\pm 0.01$  mm (垂直ひずみで  $\pm 0.05\%$ ) 以下となるように制御する。
  - (4) 滑らかな応力-変位曲線が描けるように測定間隔を設定する。連続記録をしない場合には、せん断力の最大値まではせん断変位 0.1 mm 間隔、それ以降は 0.25 mm を越えない間隔が望ましい。特にせん断力の最大値を見落とさないように注意する。
  - (5) 直径 6 cm の供試体では、せん断変位 7 mm におけるせん断面積の減少率は約 15% となる。
  - (6) 塊状試料では炉乾燥後の供試体に対して最大粒径を測定して報告する。

確認できれば打ち切ってよい。

図-5 3t 法による圧密の打ち切り方法

### 5. 試験結果の整理

- #### 5.1 供試体の初期状態
- (1) 塊状試料に対する試験前の供試体の初期含水比  $w_0(\%)$ 、湿潤密度  $\rho_{t0}(\text{g/cm}^3)$ 、実質高さ  $H_s(\text{cm})$  を次式で算定する。

$$w_0 = \frac{(m_1 - m_R) - m_s}{m_s} \times 100$$

$$\rho_{t0} = \frac{m_1 - m_R}{\Delta H_0}$$

$$H_s = \frac{m_s}{A\rho_s}$$

ここに,

$m_1$  : 供試体とカッターリングの質量 (g)

$m_R$  : カッターリング質量 (g)

$m_s$  : 試験後の炉乾燥供試体質量 (g)

$A$  : 供試体の断面積 ( $=\pi D^2/4$ ) (cm<sup>2</sup>)

$H_0$  : 供試体の初期高さ (cm)

$\rho_s$  : 土粒子の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

- (2) 非塊状試料に対する試験前の供試体の湿潤密度  $\rho_{t0}$  (g/cm<sup>3</sup>), 実質高さ  $H_s$  (cm) を次式で算定する。

$$\rho_{t0} = \frac{m_0}{AH_0}$$

$$H_s = \frac{H_0 \rho_{t0}}{\rho_s \left(1 + \frac{w_0}{100}\right)}$$

ここに,

$m_0$  : 試験前の供試体質量 (g)

- (3) 試験前の供試体の間隙比  $e_0$ , 乾燥密度  $\rho_{d0}$  (g/cm<sup>3</sup>), 飽和度  $S_{r0}$  (%) を次式で算定する。

$$e_0 = \frac{H_0}{H_s} - 1$$

$$\rho_{d0} = \frac{\rho_s H_s}{H_0}$$

$$S_{r0} = \frac{w_0 \rho_s}{e_0 \rho_w}$$

ここに,

$\rho_w$  : 水の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

### 5.2 圧密過程

- (1) 横軸を時間  $t$  (min) の対数, 縦軸を圧密量  $\Delta H$  (mm) にとり  $\log t - \Delta H$  曲線を描く。  
 (2) 圧密後の供試体の高さ  $H_c$  (cm), 間隙比  $e_c$ , 乾燥密度  $\rho_{dc}$  (g/cm<sup>3</sup>) を次式によって計算する。

$$H_c = H_0 - \Delta H_c$$

$$e_c = \frac{H_c}{H_s} - 1$$

$$\rho_{dc} = \frac{\rho_s H_s}{H_c}$$

ここに,

$\Delta H_c$  : 最終圧密量 (cm)

### 5.3 せん断過程

- (1) 各せん断変位  $\delta$  (mm) に対するせん断応力  $\tau$  (kN/m<sup>2</sup>) {kgf/cm<sup>2</sup>}, 垂直応力  $\sigma$  (kN/m<sup>2</sup>) {kgf/cm<sup>2</sup>} を次式で算定する。

$$\tau = \frac{S}{A} \times 10 \quad \left\{ \tau = \frac{S}{A} \right\}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \times 10 \quad \left\{ \sigma = \frac{N}{A} \right\}$$

ここに,

$S$  : せん断力 (N) {kgf}

$N$  : 垂直力 (N) {kgf}

- (2) 縦軸にせん断応力  $\tau$ , 横軸にせん断変位  $\delta$  をとって, せん断応力-せん断変位 ( $\tau$ - $\delta$ ) 曲線を描く。  
 (3) (2)と同じ横軸で, 縦軸に垂直応力  $\sigma$  をとって, 垂直応力-せん断変位 ( $\sigma$ - $\delta$ ) 曲線を描く。  
 (4) 縦軸にせん断応力  $\tau$ , 横軸に垂直応力  $\sigma$  をとって, 応力径路 ( $\tau$ - $\sigma$  関係) を描く。  
 (5) 定体積せん断強さは, 最終せん断変位までの  $\tau$  の最大値とする。

### 【付帯条項】

#### 5.1

- (1) 削り屑によって含水比  $w_0$  を測定し, 試験後の供試体を炉乾燥しない場合は,  $H_s$  は (2) の算定式で求める。

#### 5.3

- (1) せん断中の供試体断面積の補正は行わない。

## 6. 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

- (1) 供試体の寸法
- (2) 試験機の形式 (垂直力測定用荷重計の位置, 垂直力載荷装置の加圧形式と位置, 可動箱の位置, すき間設定方法)
- (3) 試料の種類と最大粒径
- (4) 供試体の作製方法
- (5) 供試体の初期状態 (含水比, 間隙比, 湿潤密度, 乾燥密度, 飽和度)
- (6) 圧密応力, 時間-圧密量曲線
- (7) 供試体の圧密後の状態 (高さ, 間隙比, 乾燥密度)
- (8) せん断変位速度, 上下せん断箱のすき間の大きさ
- (9) せん断中の垂直変位の最大変動幅
- (10) せん断応力-せん断変位曲線, 垂直応力-せん断変位曲線, 応力径路, 定体積せん断強さ
- (11) 同一試料で数個の供試体に対して異なる圧密応力のもとで試験を行った場合は, 定体積せん断強さ-圧密応力の関係
- (12) 本基準と部分的に異なった方法を用いた場合は, その内容
- (13) その他特記すべき事項

### 【付帯条項】

- (11) 定体積せん断強さを縦軸に, 圧密応力を横軸にとりて図示する。応力径路図に重ねて書いてもよい。

## 地盤工学会基準 (案)

JGS

## 土の圧密定圧一面せん断 (DBS-CP) 試験方法 T 561-199X

Method for Consolidated Constant Pressure Direct Box Shear Test on Soils

## 1. 総 則

## 1.1 試験の目的

この試験は、せん断箱内で一次元圧密した土の垂直応力を一定に保った状態で、垂直力を加える方向と直交する一つの面でせん断し、定圧せん断強さを求めることを目的とする。

## 1.2 適用範囲

直径 6 cm、高さ 2 cm の供試体に対して、最大粒径 0.85 mm 以下の土を対象とする。

## 1.3 用語定義

一面せん断試験とは、直接型せん断試験の一つで、板状の供試体の上下面に垂直力を加えた状態で、垂直力の作用方向と直交する一つの面でせん断する試験をいう。定圧せん断とは、せん断面上の垂直応力を一定にして供試体の体積変化が十分に生じる速度でせん断する方法をいい、その時のせん断強さを定圧せん断強さという。

## 【付帯条項】

1. 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容を報告事項に明記しなければならない。

1.1 圧密応力と定圧せん断強さの関係を求めるためには、数個の供試体に対して異なる圧密応力のもとで試験を行う。

1.2 供試体寸法を付帯事項 2.1(1) に示す条件の大きさに設定すれば、最大粒径 0.85 mm を越える土に対しても本基準が準用できる。この試験に用いる土の最大粒径の確認には、JGS T 131「土の粒度試験方法」を参照する。

1.3 定圧せん断は飽和土の排水せん断と等価とみなせる。圧密定圧一面せん断試験は DBS-CP 試験と略記することができる。

## 2. 試験用具

## 2.1 一面せん断試験機

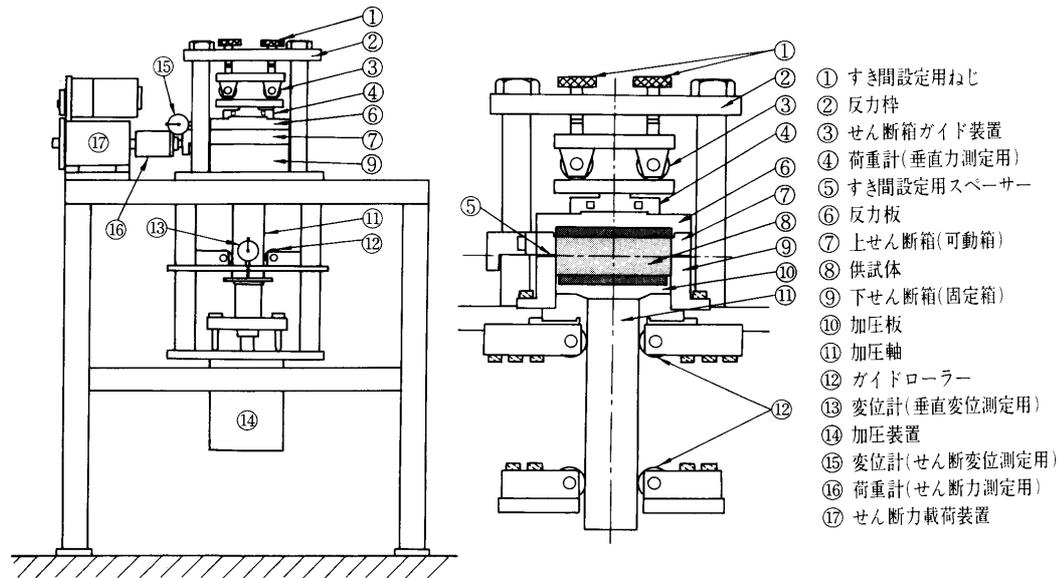
この試験機はせん断箱、加圧板、反力板、せん断箱ガイド装置、垂直力载荷装置、せん断力载荷装置、垂直力とせん断力を測定する荷重計、垂直変位とせん断変位を測定する変位計、およびすき間設定用スペーサーから構成される。いずれの部品も所定の荷重範囲内で十分な剛性を

有すること。垂直力測定用荷重計は、必ず反力板側に設置する。

- (1) せん断箱：直径 6 cm、高さ 2 cm を標準とする供試体を納める内面の滑らかな金属製の箱であり、上下に 2 分され、可動箱が固定箱に対して平行に移動でき、上下せん断箱間にすき間を設定できる機構を有するもの。また、供試体作製時にはテーパーピンなどによって上下せん断箱を一時的に固定できる機構を有すること。
- (2) 加圧板：供試体に垂直力とせん断力を伝える剛板であり、供試体の給排水とせん断力を伝えるために表面が粗い多孔板を有すること。垂直力载荷装置に固定され、せん断箱内を摩擦なく上下できること。
- (3) 反力板：加圧板から供試体に加えられる垂直力を受ける剛板であり、供試体の給排水とせん断力を伝えるために表面が粗い多孔板を有すること。
- (4) せん断箱ガイド装置：可動箱が固定箱に対して平行、かつ滑らかに所定の方向に動くように設置されたもの。
- (5) 垂直力载荷装置：加圧板に所定の垂直力を加えるものであり、供試体にせん断力が働いている時にも摩擦なく垂直力が加圧板に伝えられ、かつ加圧板が傾斜しない機構を持ち、せん断中に垂直力が制御できること。
- (6) せん断力载荷装置：可動箱を荷重計を介して一定速度で滑らかに変位させる装置であり、せん断変位速度を 0.02~0.2 mm/min の範囲で設定でき、供試体に有害な振動を与えないこと。
- (7) 荷重計：垂直力および予想されるせん断力の最大値をそれぞれ  $\pm 1\%$  以下の許容差で測定できること。
- (8) 変位計：垂直変位とせん断変位をそれぞれ 0.01 mm 以下の許容差で測定できること。
- (9) すき間設定用スペーサー：上下せん断箱間にすき間を与えるための板状のもの。

## 【付帯条項】

2.1 定圧せん断では、せん断中に供試体の体積変化に起因するせん断箱内面の周面摩擦力が発生するためにせん断面上の垂直応力は変化する。このせん断面上の垂直応力を測定するため、垂直力測定用荷重計は必ず反力板側に設置する。供試体の下面から垂直力を加え、上せん断箱が可動の場合の一面せん断試



図一 圧密定体積一面せん断試験機の例

試験機の構成例を図一に示す。

- (1) 最大粒径 $0.85\text{ mm}$ を越える土に対しては供試体直径を最大粒径の70倍以上、高さを供試体直径の $1/3$ 程度とする。供試体の断面形状は矩形でもよいが、高さを長辺の $1/3$ 程度とする。
- (2) 直径が供試体に対して $0.2\text{ mm}$ 程度小さく、多孔板の面積は加圧板面積の85%以上を有すること。多孔板は透水係数が $10^{-4}\text{ cm/s}$ 以上で、間隙に土粒子が入らない程度に細かいポーラスストーンがよい。また試験前に目詰まりがないことを確認する。
- (3) 多孔板は加圧板のそれと同じ要件を満たす。
- (4) 剛性の高いローラーまたは褶動装置で構成され、測定されるせん断力に有意な影響を与えないこと。
- (5) 加圧装置、加圧軸およびガイドローラーから構成される。加圧装置は垂直力を微調整できる空気圧式、または重錘・レバー式を用いる。載荷能力は $800\text{ kN/m}^2$  { $8\text{ kgf/cm}^2$ }程度とする(直径 $6\text{ cm}$ の供試体の場合には $2.2\text{ kN}$ { $220\text{ kgf}$ }程度に相当する)。
- (6) 変位制御方式を標準とする。載荷能力は $800\text{ kN/m}^2$  { $8\text{ kgf/cm}^2$ }程度とする(直径 $6\text{ cm}$ の供試体の場合には $2.2\text{ kN}$ { $220\text{ kgf}$ }程度に相当する)。
- (7) 垂直力測定用荷重計は剛性が特に高いものを選ぶ。
- (8) 最小目盛り $0.01\text{ mm}$ のダイヤルゲージ、またはこれと同等以上の性能を有する電気式変位計を用いる。直径 $6\text{ cm}$ の供試体では $10\text{ mm}$ 程度の容量が必要である。
- (9) 厚さは $0.2\sim 0.5\text{ mm}$ とする。砂質土の試験では、4枚の小片スペーサーをせん断箱の4隅に設置してもよい。やむを得ずスペーサーを入れない場合には、圧密後にすき間を設定する方法でもよい。スペーサーの例をJGS T 560「土の圧密定体積一面せん断(DBS-CV)試験方法」の付帯条項2.1(9)に示す。

## 2.2 供試体作製用具

塊状試料の場合には(1)～(5)を、非塊状試料

の場合には(6)、(7)を用いる。

- (1) トリマー：塊状試料を所定の供試体直径よりも少し大きめに成形でき、かつ成形した試料にカッターリングを垂直に圧入できるもの。
- (2) カッターリング：所定の大きさの供試体と同じ内径と高さを有する内面が滑らかなリングで、その一端は鋭利な刃をもち、他の一端はせん断箱に供試体中心を一致させて、一時的に固定できるもの。
- (3) ワイヤソー：直径が $0.2\text{ mm}$ 程度の鋼線を張ったもの。
- (4) 直ナイフ：カッターリングに納めた供試体の両端面を平面に整形するための刃を有するもの。
- (5) 供試体挿入具：供試体をカッターリングからせん断箱へ移すためのもの。
- (6) 空中落下法用具：空中落下法で供試体を作製するための漏斗とノズルからなるもの。
- (7) 締め固め用具：せん断箱の中で試料を締め固めて供試体を作製するためのもの。

## 2.3 その他の用具

- (1) はかり：感量 $0.01\text{ g}$ のもの。
- (2) 含水比測定用具：JGS T 121「土の含水比試験方法」の2.試験用具に規定するもの
- (3) 時計：秒読みができるもの

## 【付帯条項】

- 2.2 塊状試料、非塊状試料に対する供試体作製用具は、それぞれJGS T 411「土の圧密試験方法」の付帯条項2.2、JGS T 560「土の圧密定体積一面せん断(DBS-CV)試験方法」の付帯条項2.2に準じる。
- (2) 質量 $m_R(\text{g})$ 、内径 $D(\text{cm})$ 、高さ $H_0(\text{cm})$ を計っておく。圧密度が $5\text{ mm}$ 以上と予想される場合には、供試体高さを大きめに設定できるカッターリングを用意する。

### 3. 供試体の作製と設置

あらかじめ上下せん断箱の間にすき間設定用スペーサーをはさみ、上下せん断箱をテーパピンなどを用いて固定し、周面摩擦力低減のためにせん断箱内面にシリコンオイルまたはグリースを薄く塗る。塊状試料はカッターリングから供試体をせん断箱に移す。非塊状試料はせん断箱内に直接供試体を作製する。

#### 3.1 塊状試料

- (1) 必要な供試体高さよりも5~10mm大きい試料をトリマーの回転板上に置き、ワイヤーソー、ナイフなどを用いて供試体の直径よりも3~5mm大きな円板状に成形する。
- (2) トリマー上の試料の上面にカッターリングを置き、刃先があたる部分の試料をワイヤーソー、ナイフなどを用いてカッターリングの内径よりも1~2mm大きく削り、トリマー上板を軽く押し、カッターリングを試料に2~3mm押し込む。この操作を繰り返してカッターリング内に試料をすき間なく入れる。
- (3) カッターリング両端から出ている試料をカッターリング端面に沿ってワイヤーソーで切り落とし、直ナイフで平面に仕上げる。
- (4) カッターリングに供試体を入れた状態の質量  $m_1$ (g) を計る。
- (5) 削り屑から代表的な試料を取り、含水比を測定する。
- (6) せん断箱上にカッターリングを固定し、供試体挿入具で供試体をせん断箱内に移す。

#### 3.2 非塊状試料

- (1) 試料の初期含水比  $w_0$ (%) を測定する。
- (2) 所定の供試体体積と密度が得られるように、試料を用意し、その質量を計る。
- (3) 空中落下法：ノズルをふさいだ状態で漏斗内に試料を入れ、せん断箱内に所定の高さでノズルから試料を落下させる。せん断箱内に試料を満たした後、上面を直ナイフで平らに仕上げる。
- (4) 締固め法：せん断箱内に試料を投入し、締固め用具を用いて動的または静的に土を所定の高さまで締固めて供試体とする。必要に応じて上面を直ナイフで平らに仕上げる。
- (5) 供試体以外の残量を計り、(2)の全質量から差し引いて供試体質量  $m_0$ (g) を求める。

#### 【付帯条項】

3. やむを得ない場合には、スペーサーを入れない方法を採用してもよい。また、多孔板に土粒子の侵入が懸念される場合には、圧縮性が小さい透水性高分子薄膜をフィルターとして用いるとよい。そのほかは、JGS T 560「土の圧密定体積一面せん断(DBS-CV)試験方法」の付帯条項3.に準じる。

### 4. 試験方法

#### 4.1 準備

- (1) せん断箱ガイド装置を組み立て、垂直変位測定用変位計を取り付ける。
- (2) 供試体の飽和度を高める場合には、多孔板から給水を行う。

#### 4.2 圧密過程

- (1) 垂直力測定用荷重計および変位計の原点を合わせる。
- (2) 所定の圧密応力  $\sigma_c$ (kN/m<sup>2</sup>){kgf/cm<sup>2</sup>} に相当する垂直力を載荷して圧密を開始する。
- (3) 圧密中は適切な経過時間で圧密量  $\Delta H$ (mm) を読み取り、時間  $t$ (min) を対数として時間-圧密量曲線を描く。
- (4) 圧密は一次圧密終了後、圧密速度が十分小さくなるまで続ける。

#### 4.3 上下せん断箱のすき間設定

- (1) すき間設定用スペーサーを抜く。
- (2) 上下せん断箱を固定しているテーパピンなどをはずす。

#### 4.4 せん断過程

- (1) せん断変位測定用変位計を取り付け、変位計およびせん断力測定用荷重計の原点を合わせる。
- (2) 所定のせん断変位速度で、せん断を開始する。
- (3) せん断中は、せん断面上の垂直応力を一定に保つために垂直力を制御する。
- (4) せん断変位  $\delta$ (mm)、せん断力  $S$ (N){kgf}、垂直力  $N$ (N){kgf}、垂直変位  $\Delta H$ (mm) を適切な間隔で記録する。
- (5) せん断はせん断変位7mmまで行う。
- (6) せん断終了後、供試体をせん断箱から取り出し、せん断面の様子などを観察する。塊状試料では炉乾燥供試体質量  $m_s$ (g) を測定する。

#### 【付帯条項】

4.2 圧密過程は、JGS T 560「土の圧密定体積一面せん断(DBS-CV)試験方法」の付帯条項4.2に準じる。

#### 4.3

- (1) やむを得ずスペーサーを用いなかった場合には、垂直変位測定用変位計を見ながらすき間設定用ねじを緩めて0.2~0.5mmのすき間を開ける。この時、過度な傾きや開けすぎが生じないように少しずつ均等にねじを緩める。

#### 4.4

- (1) 重錘・レバー式の垂直力載荷装置を持つ試験機では、せん断中に垂直力を制御できるように、すき間設定後、垂直力載荷レバーを吊り、垂直力測定用荷重計の読みが変化しないようにレバーに重錘を追加する。追加量の目安は、圧密応力の0.5倍とする。
- (2) せん断変位速度は、砂で0.2mm/min、粘土で0.02mm/minを標準とする。砂と粘土の中間的な試料や

供試体高さが大きい場合には、供試体の体積変化が十分に生じる速度を予備試験によって求める。

- (3) セン断中は供試体の体積変化に起因するせん断箱内面の周面摩擦力のため、せん断面上の垂直応力が変化する。そのためにこの試験では垂直応力を一定に保つ制御が必要となる。その制御は、垂直応力の変動幅が圧密応力  $\sigma_c$  の  $\pm 3\%$  以下となるようにする。

また、破壊時のせん断応力と垂直応力の関係を求める目的であれば、せん断面上の垂直応力を制御しない簡便な試験方法を採用してもよい。ただし、この場合は圧密応力と破壊時の垂直応力は異なる。

- (4) 滑らかな応力-変位曲線が描けるように測定間隔を設定する。連続記録をしない場合には、せん断力の最大値まではせん断変位 0.1 mm 間隔、それ以降は 0.25 mm を越えない間隔が望ましい。特にせん断力の最大値を見落とさないように注意する。
- (5) 直径 6 cm の供試体では、せん断変位 7 mm におけるせん断面積の減少率は約 15% となる。ただし、定圧せん断強さのみを求める目的であれば、せん断力の最大値を確認した後、終了してもよい。
- (6) 塊状試料では炉乾燥後の供試体に対して最大粒径を測定して報告する。

## 5. 試験結果の整理

### 5.1 供試体の初期状態

- (1) 塊状試料に対する試験前の供試体の初期含水比  $w_0(\%)$ 、湿潤密度  $\rho_{t0}(g/cm^3)$ 、実質高さ  $H_s(cm)$  を次式で算定する。

$$w_0 = \frac{(m_1 - m_R) - m_s}{m_s} \times 100$$

$$\rho_{t0} = \frac{m_1 - m_R}{AH_0}$$

$$H_s = \frac{m_s}{A\rho_s}$$

ここに、

$m_1$  : 供試体とカッターリングの質量 (g)

$m_R$  : カッターリング質量 (g)

$m_s$  : 試験後の炉乾燥供試体質量 (g)

$A$  : 供試体の断面積 ( $=\pi D^2/4$ )( $cm^2$ )

$H_0$  : 供試体の初期高さ (cm)

$\rho_s$  : 土粒子の密度 ( $g/cm^3$ )

- (2) 非塊状試料に対する試験前の供試体の湿潤密度  $\rho_{t0}(g/cm^3)$ 、実質高さ  $H_s(cm)$  を次式で算定する。

$$\rho_{t0} = \frac{m_0}{AH_0}$$

$$H_s = \frac{H_0\rho_{t0}}{\rho_s\left(1 + \frac{w_0}{100}\right)}$$

ここに、

$m_0$  : 試験前の供試体質量 (g)

- (3) 試験前の供試体の間隙比  $e_0$ 、乾燥密度  $\rho_{d0}(g/cm^3)$ 、飽和度  $S_{r0}(\%)$  を次式で算定する。

$$e_0 = \frac{H_0}{H_s} - 1$$

$$\rho_{d0} = \frac{\rho_s H_s}{H_0}$$

$$S_{r0} = \frac{w_0 \rho_s}{e_0 \rho_w}$$

ここに、

$\rho_w$  : 水の密度 ( $g/cm^3$ )

### 5.2 圧密過程

- (1) 横軸を時間  $t(\text{min})$  の対数、縦軸を圧密量  $\Delta H(\text{mm})$  にとり  $\log t - \Delta H$  曲線を描く。
- (2) 圧密後の供試体の高さ  $H_c(\text{cm})$ 、間隙比  $e_c$ 、乾燥密度  $\rho_{dc}(g/cm^3)$  を次式によって計算する。

$$H_c = H_0 - \Delta H_c$$

$$e_c = \frac{H_c}{H_s} - 1$$

$$\rho_{dc} = \frac{\rho_s H_s}{H_c}$$

ここに、

$\Delta H_c$  : 最終圧密量 (cm)

### 5.3 セン断過程

- (1) 各せん断変位  $\delta(\text{mm})$  に対するせん断応力  $\tau(\text{kN/m}^2)\{\text{kgf/cm}^2\}$ 、垂直応力  $\sigma(\text{kN/m}^2)\{\text{kgf/cm}^2\}$  を次式で算定する。

$$\tau = \frac{S}{A} \times 10 \quad \left\{ \tau = \frac{S}{A} \right\}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \times 10 \quad \left\{ \sigma = \frac{N}{A} \right\}$$

ここに、

$S$  : セン断力 (N){kgf}

$N$  : 垂直力 (N){kgf}

- (2) 縦軸にせん断応力  $\tau$ 、横軸にせん断変位  $\delta$  をとって、せん断応力-せん断変位 ( $\tau - \delta$ ) 曲線を描く。
- (3) (2) と同じ横軸で、縦軸に垂直変位  $\Delta H$  をとって、垂直変位-せん断変位 ( $\Delta H - \delta$ ) 曲線を描く。
- (4) 定圧せん断強さは、最終せん断変位までの  $\tau$  の最大値とする。

### 【付帯条項】

#### 5.1

- (1) 削り屑によって含水比  $w_0$  を測定し、試験後の供試体を炉乾燥しない場合は、 $H_s$  は (2) の算定式で求める。

#### 5.3

- (1) セン断中の供試体断面積の補正は行わない。
- (3) セン断面上の垂直応力を制御しない試験を行った場合には、縦軸に垂直応力  $\sigma$ 、横軸にせん断変位  $\delta$  をとって垂直応力-せん断変位 ( $\sigma - \delta$ ) 曲線、縦軸にせん断応力  $\tau$ 、横軸に垂直応力  $\sigma$  をとって応力径路 ( $\tau - \sigma$  曲線) を描く。

## 6. 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

- (1) 供試体の寸法
- (2) 試験機の形式 (垂直力測定用荷重計の位置、垂直力載荷装置の加圧形式と位置、可動箱の位置、すき間設定方法)

- (3) 試料の種類と最大粒径
- (4) 供試体の作製方法
- (5) 供試体の初期状態（含水比，間隙比，湿潤密度，乾燥密度，飽和度）
- (6) 圧密応力，時間-圧密量曲線
- (7) 供試体の圧密後の状態（高さ，間隙比，乾燥密度）
- (8) セン断変位速度，上下セン断箱のすき間の大きさ
- (9) セン断中の垂直応力の最大変動率
- (10) セン断応力-セン断変位曲線，垂直変位-セン断変位曲線，定圧セン断強さ
- (11) 同一試料で数個の供試体に対して異なる圧密応力のもとで試験を行った場合は，定圧セン断強

さ-圧密応力の関係

- (12) 本基準と部分的に異なった方法を用いた場合は，その内容
- (13) その他特記すべき事項

#### 【付帯条項】

- (9) 垂直応力の最大変動率は，せん断中の垂直応力の最大変動幅（増分または減分）を圧密応力で除したもので表す。
- (10) セン断面上の垂直応力を制御しない試験を行った場合には，垂直応力-セン断変位曲線，応力径路，破壊時の垂直応力も報告する。
- (11) 定圧セン断強さを縦軸に，圧密応力を横軸にとって図示する。

## 書籍紹介

### 応用地学ノート

武田裕幸 今村遼平 責任編集

この本の前身は，1980年に自費出版され，反響が大きくなり，非売品にもかかわらず増刷につぐ増刷をかさねた。古本屋さんでも高値で取り引きされ，実務者に評判となった。この実績や経験を踏まえ，現在の技術ニーズをベースにして，新たに企画・出版されたのが「応用地学ノート」である。

90人の著者は民間のコンサルティング・エンジニアがほとんどであり，現場で汗にまみれ五感で得た技術の「術」を中心に，プロの視点からの「ノウハウ」「考え方」「見かた」「アドバイス」などが要領よくまとめられている。〈プロによる，プロの卵のための教科書〉といった面も出せたと思うと，編者は謙虚に言っている。

情報量の多い現在は，①なにが大切なのか？，②なにがポイントなのか？，③どのような流れで調査・計画・対策などを進めるべきか？，……などがわかりにくい。これらの課題に答え，建設の目的や事業の流れにそって，応用地質の果たすべき，技術的な役割やポイントを明確にしている。類書には見られない，卓越した実用的な内容で編集している。

都市部・地下水・地盤沈下・地質汚染・都市防災・土地造成・河川災害・砂防・急傾斜地・地すべり・土石流・雪氷・ダム・路線・送電線路・温泉・海洋・環境アセスメント・活断層などの調査，河川・湖沼・道路・海域・廃棄物・地球などの環境調査，調査方法（資料収集・リモートセンシング・写真判読・地形図判読・現地調査・現地計測・アンケート），データの解析法（リモートセンシング・GIS・地形・ステレオ投影・動的解析・シミュレーション・統計解析）など，地質・海洋・環境の分野を端的に扱った良書である

（島 博保）

平成8年9月25日発行

価格：9270円

体裁：B5判，447ページ

発行所：共立出版株式会社

住所：〒112 東京都文京区小日向4-6-19

電話：03-3947-2511