

一面せん断試験の供試体寸法と緩詰め細粒珪砂のせん断強度の関係

Relationship between Specimen Dimension of Direct Shear Tests and Shear Strength of Loosely Packed Fine Silica Sand

野 並 賢 別 處 大 志 鳥 居 宣 之
Satoshi Nonami Taishi Bessho Nobuyuki Torii

1. はじめに

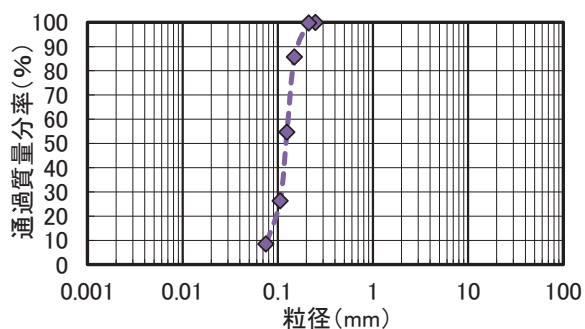
土のせん断強度定数を求めるための一面せん断試験は、一般に用いられる三軸圧縮試験よりも簡便に実施可能な特徴がある¹⁾。あらかじめせん断面の位置が決まっているため、地すべりや表層崩壊など、地層・水理境界ですべり面が規定されるような条件におけるせん断強度を求める際には、原位置と近い条件で試験ができるという利点がある。一方、二つの剛なせん断箱内に供試体を入れ、垂直力を載荷した状態で上下せん断箱を水平に相対移動させることによってせん断を行う機構となっていることに起因し、①せん断面発生自由度がない、②粗粒土の試験では、大きなせん断抵抗角が得られる、③供試体内の応力／ひずみが不均一であり、進行性破壊が生じやすい、などの課題がある²⁾。とりわけ②については、せん断箱がその周辺の粒子が拘束するため、粒径に比例して拘束効果を発揮することが主たる原因として挙げられている^{3), 4)}。そのことを考慮し地盤工学会基準¹⁾では、供試体直径 60mm、高さ 20mm の一面せん断試験試料の適用範囲を最大粒径 0.85mm までとしている、しかし、風化残積土の表層崩壊におけるすべり面付近の試料は、礫に相当する粒径(2mm)以上の土を混入することが多いことから、粒径の制限は一面せん断試験の適用性の大きな障害になっている。なお、筆者らは粒径効果の定量的な評価方法に関する実験的検討を実施しており⁵⁾、拘束効果は垂直応力に比例して発生することを確認している。

以上を背景に、筆者らの研究室では礫分を有する試料でも精度の高いせん断強度定数が得られるよう、大型一面せん断試験装置（供試体直径 120mm／200mm）を導入した。本試験装置は、研究室で保有している標準型の一面せん断試験装置（供試体直径 60mm）と比べ、加圧板の位置や載荷方法、反力板側のガイドローラーの形状や可動部のせん断箱の重量が異なっており、そのことが試験結果に影響を与えている可能性がある。要素試験としての適用性を確認し、実用に供するためには、試験手順の確立とともに、同一試料を用いた比較に基づく、試験結果の妥当性の検証を行う必要があると考えられる。そこで本稿は、緩詰め細粒珪砂を試料として、供試体寸法と一面せん断強度特性の関係に関する実験的検討を実施した。また、供試体が大きくなることによって与えるべきせん断変位量も大きくなるため、試験時間も増加し、一面せん断試験の特徴の一つである簡便さを損なってしまうが、省力化の一方策として標準型よりもせん断速度を速くすることが挙げられる。そこで、せん断速度が強度特性に与える影響についても検討を行った。

2. 大型一面せん断試験装置の概要と試験方法

2. 1 試料

市販の 8 号珪砂を試料として用いた。図-1 に粒径加積曲線を示した。最大粒径が 0.25mm と地盤工学会基準による粒径の制限よりも小さく、せん断箱による粒子拘束効果はいずれの供試体寸法でも十分に小さいと考えられる。表-1 に土の最大・最小密度試験に基づいて得られた最大間隙比 $e_{\max}$ ・最小間隙比 $e_{\min}$ と、両者の差である間隙比幅 Δe を示した。



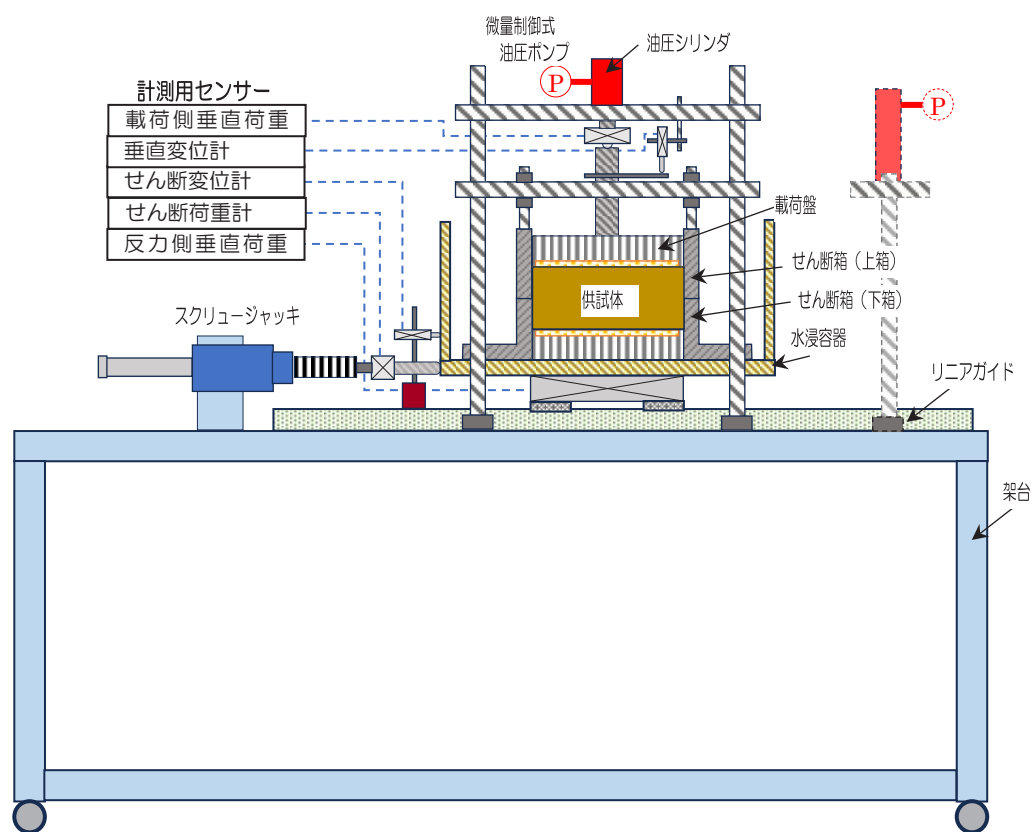
図－１ 試料の粒径加積曲線

表－１ 試料の最大間隙比・最小間隙比・間隙比幅

最大間隙比 $e_{\max}$	最小間隙比 $e_{\min}$	間隙比幅 Δe	$D_r=25\%$ での間隙比
1.321	0.701	0.620	1.166



写真－１ 大型一面せん断試験装置



図－２ 大型一面せん断試験装置概要図

供試体の密度は、相対密度 $D_r=25\%$ の緩詰めとしている。

２．２ 試験装置

図－２に大型一面せん断試験装置の概要図を、写真－１に大型一面せん断試験装置の写真を示した。上部のせん断箱は架台と剛結したフレームに固定しており、加圧軸はフレームおよび上部せん断箱と独立して加圧可能な構造となっている。せん断箱は直径 120mm と 200mm の２種類を取り付けられる仕様となっている。加圧板は加圧軸と剛結し、垂直方向のみに移動できるようになっており、給排水用の孔を設けている。加圧方法について、標準型は圧縮空気による荷重をペロフラムシリンダーで制御して载荷していたが、供試体が大きくなると一般的な可搬式のコンプレッサーで発生可

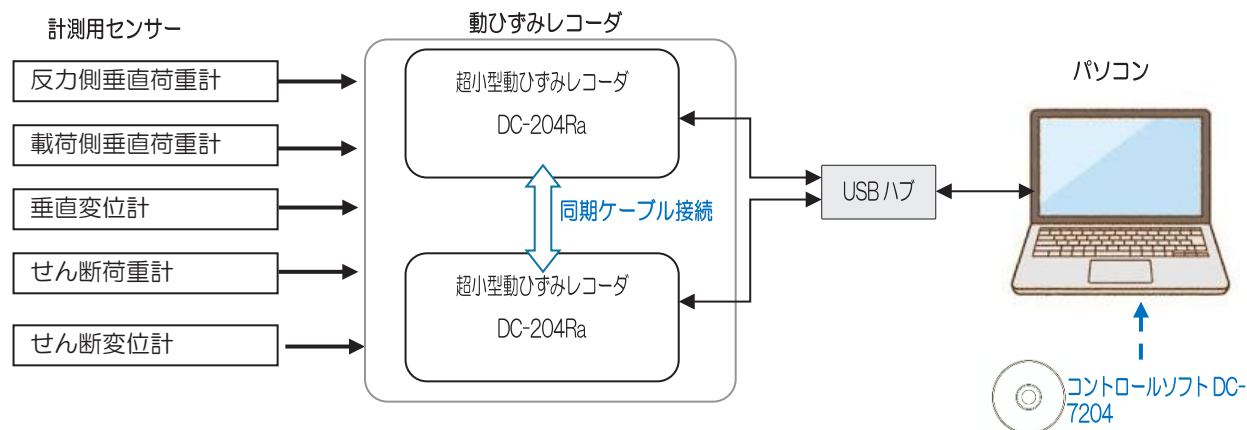


図-3 計測値のデータ収録過程説明図

表-2 計測センサーの仕様一覧

センサー	容量	分解能
反力側垂直荷重計	10kN/20kN	2.5N/5N
載荷側垂直荷重計	10kN/20kN	2.5N/5N
垂直変位計	25mm	0.002mm
水平荷重計	20kN	5N
水平変位計	50mm	0.005mm

能な空気圧では容量が不足することから、油圧によって加圧する方式とした。荷重は垂直荷重計を介した加圧軸を油圧シリンダー（最大荷重 20kN）が押すことで与えており、ハンドルレバーによって一気に加圧する系統と、回転式ハンドルで微細な荷重を制御できる系統の 2 つの油圧ポンプがつながっている。垂直変位は加圧軸に取り付けた治具の変位を、フレームに固定した変位計によって計測している。

下部のせん断箱は、供試体設置後に水浸による強度低下が再現できるように設置したステンレス製の水浸容器（高さ 175mm、幅 290mm、奥行き 480mm、板厚 5mm）と剛結している。水浸容器は反力側の垂直荷重計およびリニアガイドと剛結しており、上部せん断箱との隙間を一定に保つことができる構造となっている。

せん断荷重（水平方向の荷重）は任意の速度（0.05～3.0mm/min）に調整可能なスクリージャッキ（最大荷重 25kN）により作用させており、せん断変位は水浸容器の変位をフレームに固定した変位計によって計測している。また、ペDESTALの厚さを変えることで、直径 120mm は高さ 40mm と 80mm、直径 200mm は高さ 60mm と 120mm の供試体の試験が可能となっている。以上のように、本試験装置は地盤工学会基準で要求している 3 つの条件（加圧板が傾斜しない、固定箱が固定され上下せん断箱のすき間が一定、反力板側で垂直荷重を測定）を満たしていることを確認している。5 つの計測センサーは全て動ひずみ計を介して自動計測している。データ収録過程の説明図を図-3 に示した。表-2 には各計測センサーの容量および分解能の一覧を示した。垂直荷重計は供試体寸法および垂直応力に応じて容量の異なるタイプを利用可能な仕様としている。

なお、可動部のせん断箱が標準型と比べて大きいこと、水浸容器もステンレス製であることなどから、可動部の重量は標準型の一面せん断試験装置と比べかなり大きくなっている。このため、試験装置の重量に起因する摩擦力が、供試体の発揮するせん断力とは別に発生していることが懸念される。また、供試体に作用させる垂直応力に比例してリニアガイドの摩擦力も発生している可能性がある。それらの影響を確認するため、供試体を設置せずに強制的にせん断変位を与えることで、試験装置の重量および垂直力に起因して発生する摩擦力を求めた。図-4 に装置の重量とせん断力の関係を示した。これより、装置重量とせん断力は明確な比例関係が現れないことがわかる。また、1.0mm/min の方が 0.5mm/min よりせん断力はやや大きいもの、目立った差は見られなかった。そこで、試験装置（下部せん断箱および水

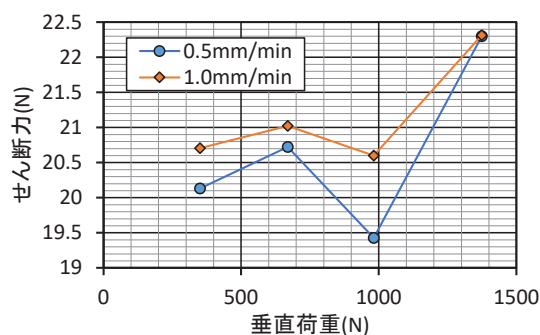


図-4 自重のみが作用した条件での垂直荷重～せん断力の関係

浸容器、荷重計)の重量に起因するせん断力を一律で21kNとし、これを差し引いた値を供試体が発揮するせん断力として評価した。ただし、 $\sigma=200\text{N}/\text{m}^2$ での定圧試験中に作用する荷重は直径120mmで2260N、直径200mmで6210Nであり、今回これらに相当する荷重は載荷できなかった。今後、垂直力荷重の載荷方法を工夫して、上記荷重が作用した時のせん断力を評価しておくことが望ましい。

垂直力について、供試体には油圧ジャッキからの荷重と、加圧板と加圧軸の自重の2つが作用している。ただし、測定値のバランス(測定値を0にする作業)を取るタイミングを、供試体のセッティングが完了し圧密過程に入る直前の時点、すなわち、加圧板と加圧軸の自重が供試体に作用した状態としているため、収録した計測値はこれらの荷重が反映されていない。そのため、計測データを取りまとめる際には、計測値に加圧板と加圧軸の自重を加えて垂直力を評価した。

2. 3 供試体作製方法および試験条件

供試体はせん断箱に気乾状態の試料を用いて、空中落下法で作製した。直径120mmの供試体の高さ40mm、直径200mmの供試体の高さ60mmであり、所定の質量を計測して取り分けた後、前者の供試体は試料を5等分、後者は試料を10等分し、スプーンを用いて一層当たりの供試体高さが均質になるように充填した。

一面せん断試験は気乾状態の試料を用いて定圧条件で行い、せん断速度を0.5mm/minと1.0mm/minの2種類で実施した。データの取得は0.1s毎に行っている。せん断箱のすき間について、すき間間隔 d は試料の平均粒径 D_{50} の15-20倍程度を確保しないと、せん断箱の拘束効果により ϕ を過大に評価するという指摘¹⁾や、試料のせん断帯の幅程度が最適とする見解²⁾や、急激にせん断抵抗角の値が減少するすき間の大きさと平均粒径の間にユニークな関係があるとする検討結果⁶⁾などが示されている。これらのことから、適切なすき間間隔の設定は一面せん断試験の適用性向上にあたって重要な課題であるといえるが、今回は単一の試料を用いて供試体寸法がせん断抵抗角に与える影響に照準をあてた検討を行うこととしているため、地盤工学会基準¹⁾を参考にいずれの供試体も0.5mmとした。その確保の仕方について、加圧板側のせん断箱とフレームを固定するねじをすき間幅だけ緩めて、せん断箱を浮かせることで設けた。垂直応力は50、100、150、200kN/m²とし、圧密過程は垂直応力 $\sigma=10\text{kN}/\text{m}^2$ で3分間載荷し、そこから所定の垂直応力まで一段階で3分間載荷した。

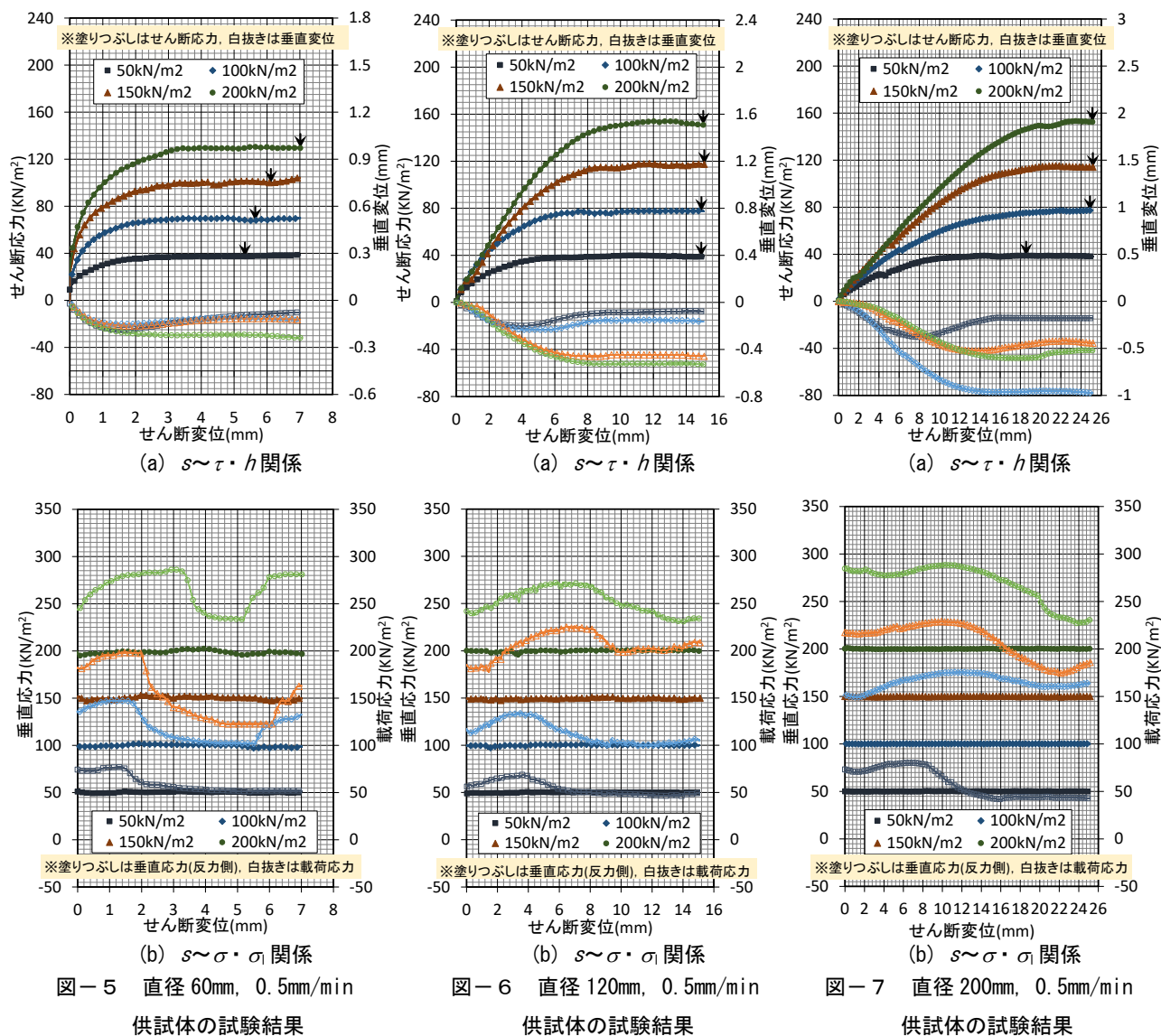
せん断変位は直径60mmで7mm、直径120mmで15mm、直径200mmで25mmまで与えた。このため、直径120mmの供試体は標準型と比べて約2倍、直径200mmは約3倍の試験時間を要することとなる。そこで、試験時間の短縮の可能性を検討するため、0.5mm/minと1.0mm/minの2種類のせん断速度で実施した。

3. 結果および考察

3. 1 せん断変位～せん断応力・垂直変位関係

図-5(a)に直径60mm、せん断速度0.5mm/min供試体のせん断変位 s ～せん断応力 τ ・垂直変位 h 関係を示した。図-5(b)にはせん断変位 s ～垂直応力 σ ・載荷応力 σ_1 の関係を示した。同様に、図-6(a)、図-6(b)に直径120mm、せん断速度0.5mm/min供試体の同関係、図-7(a)、図-7(b)に直径200mm、せん断速度0.5mm/min供試体の同関係を示した。なお、垂直変位、せん断応力共に微小な凹凸が見られ、せん断応力の最大値の評価やダイレイタンシー係数の算出に支障をきたしたため、ステンレス球を用いた試験⁷⁾と同様、任意のせん断変位における計測値を中心にせん断変位0.13mmの範囲の計測値を合計しその個数で割り戻すことで連続平均を行い、凹凸の補正を行っている。せん断変位～せん断応力関係について、プロット上の▼印はピーク値を示しており、このときを供試体の破壊としている。↓印は垂直変位増分が0になった時点である、残留強度におけるせん断応力の値を示している。

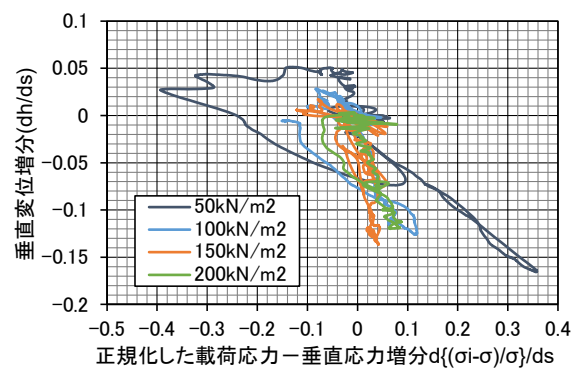
図-5(a)より、せん断応力はせん断変位が進むにつれて単調に増加し、破壊強度に近づくとせん断応力の増加量は鈍化することがわかる。このため、残留強度と破壊強度はほぼ同じ値となっており、緩い砂の典型的な挙動を示している。図-5(b)に着目すると、受圧板側で計測している垂直応力はほぼ一定値であり、定圧条件が確保できていることがわかる。一方、図-5(a)に示した垂直変位はいずれの垂直応力および供試体寸法においても、せん断過程に入ってすぐに圧縮方向に生じているため、垂直方向に固定されている上部のせん断箱は上向きの摩擦力を供試体に与え



＜(a)はせん断変位 s ～せん断応力 τ ・垂直変位 h 関係, (b)はせん断変位 s ～垂直応力 σ ・載荷応力 σ_l 関係＞

ることとなる。これを打ち消すための荷重を加圧板側から作用させているため、加圧板側で計測している載荷応力はこの摩擦力の分だけ垂直応力よりも大きくなっている。せん断変位が進んで圧縮方向への増分が小さくなると、載荷応力は減少に転じることに着目し、図-8に直径 120mm, 0.5mm/min 供試体のせん断変位に対する垂直変位増分 (dh/ds) と、載荷応力と垂直応力の差 ($\sigma_l - \sigma$) を垂直応力で除した正規化載荷応力-垂直応力増分 $d((\sigma_l - \sigma)/\sigma)/ds$ の関係を示した。これより、ばらつきは見られるものの、いずれの垂直応力においても垂直変位増分と載荷応力増分は概ね反比例関係にあることがわかる。したがって、載荷応力は供試体が圧縮しようすれば増加する方向に作用し、膨張しようすれば減少する方向に作用するといえる。

次に、図-5 (a)、図-6 (a)、図-7 (a) より、供試体寸法の違いが試験結果に与える影響に着目する。せん断応力について、供試体寸法が大きくなるにつれ、せん断過程開始当初のせん断変位とせん断応力の傾きが緩くなるこ



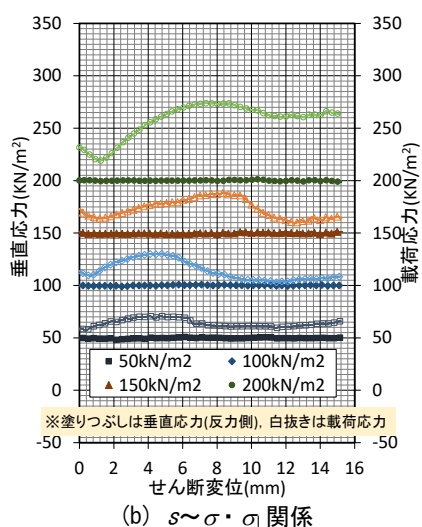
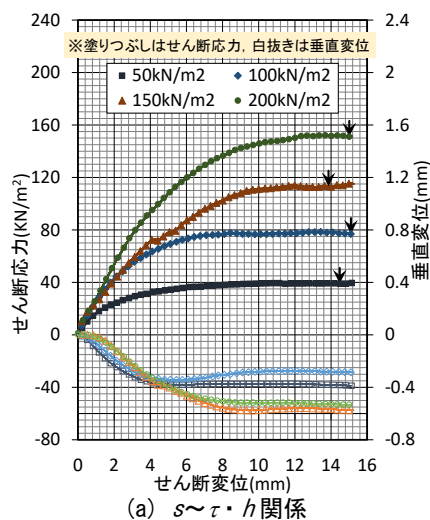


図-9 直径 120mm, 1.0mm/min 供試体の試験結果

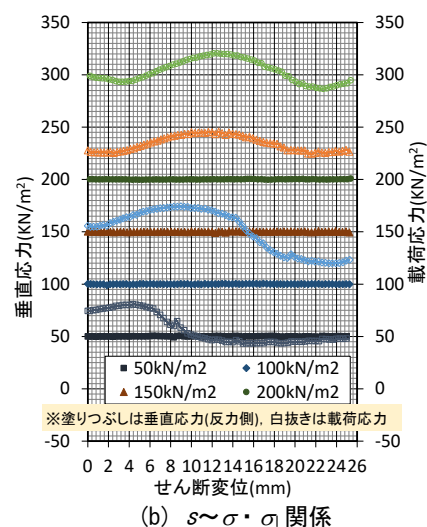
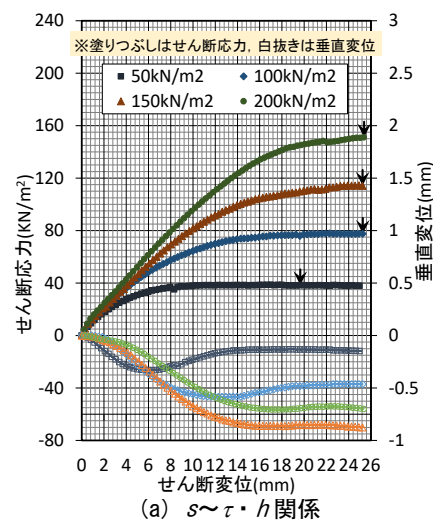


図-10 直径 200mm, 1.0mm/min 供試体の試験結果

< (a) はせん断変位 $s \sim$ せん断応力 τ ・垂直変位 h 関係, (b) はせん断変位 $s \sim$ 垂直応力 σ ・載荷応力 σ 関係 >

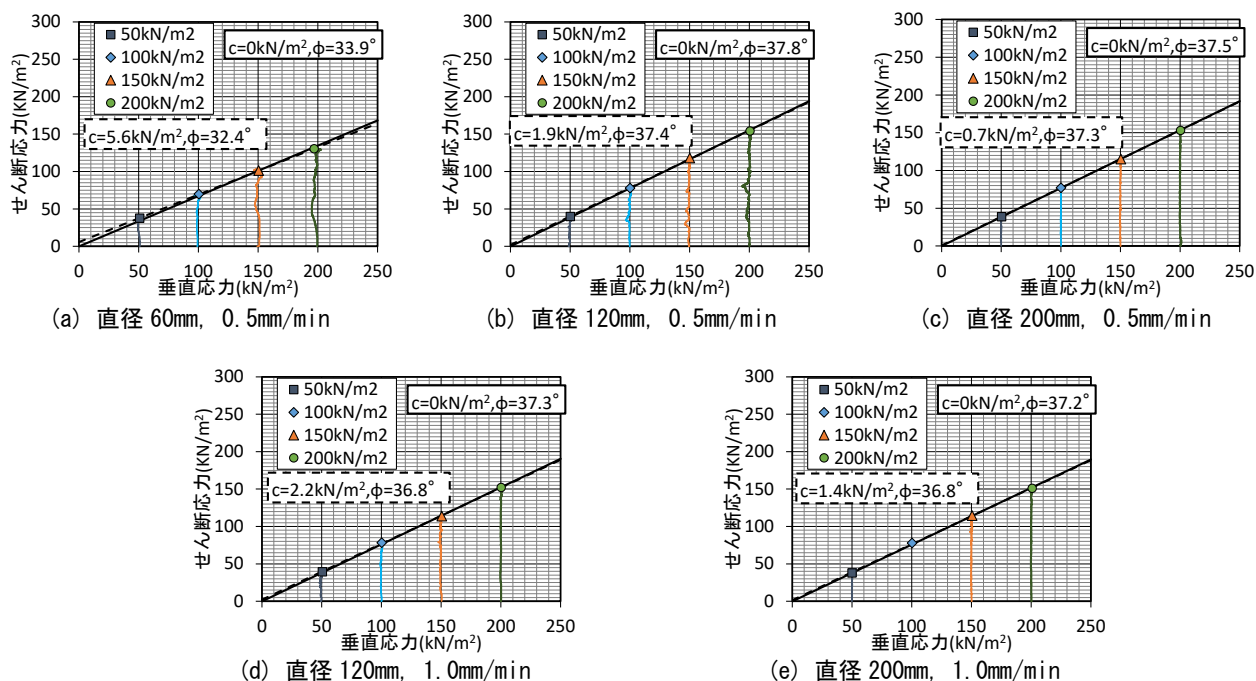
とがわかる。一面せん断試験は供試体端部から進行性破壊を生じることが指摘されている²⁾が、供試体中心部までせん断応力が発生するのに必要なせん断変位量が、供試体寸法に比例するため得られた傾向と考えられる。一方、垂直変位に着目すると、供試体寸法が大きくなるほど発生量のばらつきも大きくなっていることがわかる。このことは、供試体の不均質性が供試体寸法に関連していることを示唆するものと考えられる。その原因について、供試体作製時の偶発的なばらつきが供試体サイズに比例して発生することや、そのことに起因してせん断面の発生位置もばらつくことなどが考えられるが、どちらがどの程度影響しているかは現段階では不明である。ただし、後述するように、破壊時のダイレイタンス係数 dh/ds はいずれの供試体寸法でも垂直応力に拘らずほぼ 0 になっていること、破壊時のせん断抵抗角は、直径 120mm、直径 200mm に関しては供試体寸法に拘らずほぼ同じ値となっていることから、今回の試料および試験条件においては、供試体の不均質性はせん断強度にあまり影響を与えていないといえる。

3. 2 せん断変位速度の影響

図-9 (a) に直径 120mm、せん断速度 1.0mm/min 供試体のせん断変位～せん断応力・垂直変位関係を示した。図-

表-3 せん断抵抗角一覧

供試体直径	せん断速度	せん断抵抗角
60mm	0.5mm/min	33.9°
120mm	0.5mm/min	37.8°
	1.0mm/min	37.3°
200mm	0.5mm/min	37.5°
	1.0mm/min	37.2°



図－１１ 各供試体寸法の垂直応力～せん断応力の関係

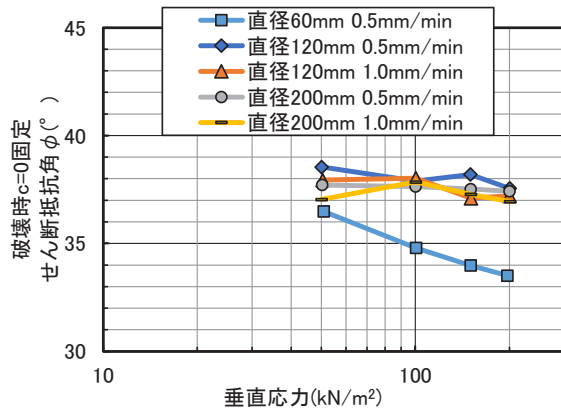
図 9 (b) にはせん断変位～垂直応力・載荷応力の関係を示した。図 9 は図 6 のせん断速度が異なる条件の試験結果である。同様に、図 10 (a)、図 10 (b) に直径 200mm、せん断速度 1.0mm/min 供試体の同関係を示した。図 10 は図 7 のせん断速度が異なる条件の試験結果である。同一寸法の供試体を比較すると、せん断応力および垂直変位の傾向にせん断速度の影響は表れないことがわかる。また、後述する破壊時のせん断抵抗角も 0.5mm/min と 1.0mm/min とではほぼ同じ値となっており、乾燥砂を用いた一面せん断試験では、今回設定したせん断速度では試験結果にほとんど影響を与えないことがわかった。したがって、今後乾燥砂を用いた試験を実施する際は、試験時間が短く労力が小さくて済む、せん断速度 1.0mm/min で実施すればよいと考えられる。

3. 3 せん断抵抗角の評価

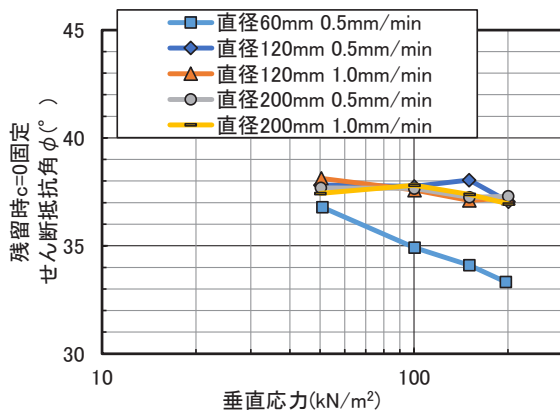
供試体寸法の違いがせん断強度特性に与える影響を評価するため、図 11 (a) ～ (e) までに垂直応力～せん断応力の関係を示した。図中の黒破線は粘着力を固定しない方法による最小二乗法で得た破壊線である。今回の試料は気乾状態で細粒分を含まない試料であり、本質的に粘着力を有さないとみなせるにもかかわらず、せん断強度の拘束圧依存性や、供試体拘束効果などにより、見かけの粘着力が計測されていることがわかる。そこで、 $c=0\text{ kN/m}^2$ に固定して最小二乗法による破壊線を図中の黒実線で示した。この方法によって得られるせん断抵抗角 ϕ を評価することとした。表 3 にせん断抵抗角の一覧を示した。

図 11 (a) ～ (e)、表 3 より、試験機構の異なる直径 60mm、0.5mm/min のせん断抵抗角 $\phi=33.9^\circ$ であるのに対し、他の供試体寸法は $\phi=37.2\sim 37.8^\circ$ と $3\sim 4^\circ$ 程度大きくなっている。このように、同一の試料、密度、含水状態であるにもかかわらず、 ϕ の値に差が生じている。図 12 には各供試体の垂直応力 σ 毎の破壊時のせん断抵抗角 ϕ の関係を示した。 ϕ の算出方法は図 13 を参照されたい、これより、標準型の ϕ は垂直応力が大きくなるにつれて小さくなる、いわゆる拘束圧依存性を呈しているのに対し、大型の ϕ にそのような傾向の見られないことわかる。この傾向差が、供試体寸法間の強度差の原因になっているといえる。図 14 には垂直応力 σ ～残留時のせん断抵抗角 ϕ_r の関係を示したが、緩結めの供試体であることもあり、残留時と破壊時に傾向差は見られなかった。

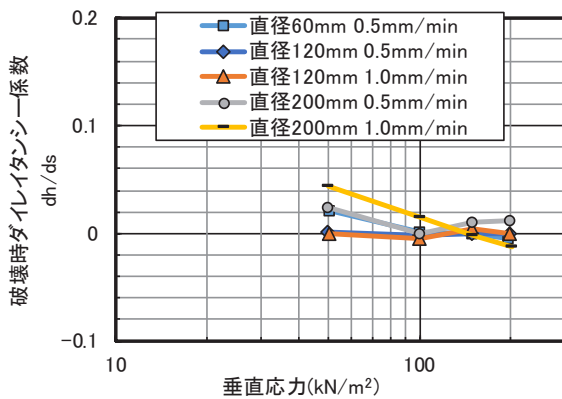
次に、破壊時の垂直応力～ダイレイタンス係数 dh/ds の関係を図 15 に示した (dh/ds の算出方法は図 16 を参照のこと)。これより、いずれの供試体も差がなく、0 に近い値になっている。一方、標準型の供試体において、粒径および密度が異なる試料を用いた検討では、粒子形状の違いに拘らず大粒径試料 (0.85 mm～2 mm) の方が小粒径試料 (0.075 mm～0.25 mm) よりも大きなせん断抵抗角が得られている。その主たる原因として、せん断箱が周辺粒子を拘束



図－１２ 垂直応力 σ ～破壊時のせん断抵抗角 ϕ の関係



図－１４ 垂直応力 σ ～残留時のせん断抵抗角 ϕ_r の関係

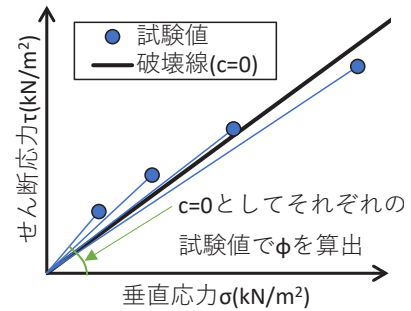


図－１５ 垂直応力 σ ～破壊時のダイレイタンス係数 dh/ds の関係

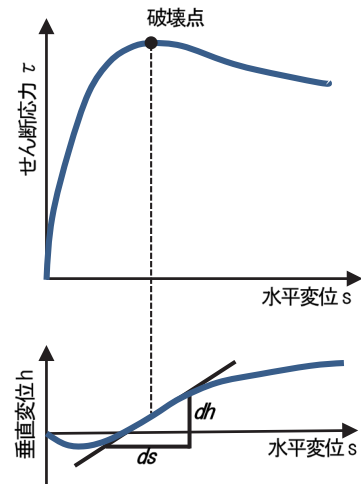
せん断力も大きくなっている可能性がある。今後、異なる密度、粒径の試料を用いて試験を実施した結果の比較などを通じて、大型一面せん断試験で得られるせん断強度の評価方法について検討を進めていくことが望まれる。また、供試体寸法に応じたせん断箱のすき間間隔 d が適切でなく、最適な間隔よりも小さめに設定していた可能性もある。適切なせん断箱にすき間間隔 d を試行的に設定し、供試体寸法と粒径に応じた最適な間隔を見出すことも今後の課題の一つであるといえる。

４．おわりに

本稿は礫分を含む試料でも適用可能な大型一面せん断試験装置で得られる試験結果の妥当性を検証するため、気乾状態



図－１３ せん断抵抗角 ϕ の算出手順模式図



図－１６ ダイレイタンス係数 dh/ds の模式図

し、ダイレイタンスの発生量を大きくしたためとしている⁵⁾。今回の試験結果は供試体寸法に拘わらずダイレイタンス係数がほぼ同じであることから、せん断箱による粒子拘束効果は供試体寸法間の強度差に影響を与えていないと考えられる。

上記および 3.1 節に示した考察に基づくと、供試体寸法間に生じた強度差の原因として、せん断面の形成過程の違いが挙げられる。すなわち、大型の供試体は標準型と比べて強度発現までのせん断変位を要するため、供試体内部に生じるせん断帯の形状が異なることが予想される。そのことがせん断強度に影響を与えている可能性がある。このほか、垂直応力が大きくなることによって、リニアガイドの

の緩詰め細粒珪砂を試料として、供試体寸法と一面せん断強度特性の関係を検討した。あわせて、試験労力の軽減を目標に、せん断速度がせん断強度特性に与える影響を評価した。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 地盤工学会基準の要求事項を満たした、直径 120mm、高さ 40mm の供試体寸法と、直径 200mm、高さ 60mm の供試体寸法を有する大型一面せん断試験を作製した。試験装置の重量および垂直力に起因してリニアガイドに発生する摩擦力を求めたところ、載荷荷重の範囲においては装置重量およびせん断速度に拘らず、摩擦力はほぼ一定値となった。測定値からその値を一律で差し引くことにより、供試体のせん断抵抗で発揮されるせん断応力を評価することとした。
- 2) せん断速度を 0.5mm/min と 1.0mm/min の 2 種類で試験を実施したところ、両者は類似の挙動を示し、得られたせん断抵抗角もほぼ同じ値となった。したがって、気乾状態の試料で試験を実施する際には、労力の小さい 1.0mm/min で行ってもよいことを確認した。
- 3) せん断過程に生じる垂直変位のばらつきは、供試体寸法に比例して大きくなる傾向から、供試体の不均質性の程度が供試体寸法に関連していることが示唆された。また、供試体が大きくなると供試体中心部までせん断応力が発生するのに大きなせん断変位量を要することから、せん断過程開始直後のせん断変位とせん断応力の傾きが緩くなる傾向が確認された。
- 4) 直径 120mm と直径 200mm 供試体は標準型の直径 60mm のものと比べて、同一の試料、密度、含水状態にかかわらずせん断抵抗角が 3~4° 程度大きいものとなった。破壊時のダイレイタンス係数はいずれも 0 に近い値であったことから、せん断箱による粒子拘束効果に差はないと考えられるため、その原因究明が課題として挙げられた。

今後、上記の 4) に示した課題の検討に着手することが望まれる。あわせて、せん断箱による供試体拘束効果と供試体寸法および粒径の関係についても検討を行う必要がある。そこで、試料の粒径や密度を変えた試験を行う予定である。また、供試体寸法と粒径に応じた最適なせん断箱のすき間間隔を見出すことも課題の一つといえ、これに取り組んだ試験も実施予定である。その上で、崩壊発生箇所での採取試料や、すべり面付近の不攪乱試料を用いた試験を実施し、表層崩壊のメカニズム把握や崩壊予測につながる検討を実施する予定である。さらには、標準型の一面せん断試験では実施できない、礫分を含んだ盛土材などの強度特性の評価も行いたいと考えている。

謝 辞

標準型一面せん断試験の実施にご協力いただいた、神戸高専都市工学科卒業生の元村 倫太氏（現熊谷組）と、大型一面せん断試験の実施にご協力いただいた児玉 卓謹氏（現神戸高専都市工学専攻 1 年）に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 例えば、澁谷 啓：土の一面せん断試験の方法と結果の解釈における最近の進展，直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム論文集，pp. 67-86，1995.
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，第 7 編 変形・強度試験，第 4 章 土の一面せん断試験，pp. 661-669 2009.
- 3) 大島昭彦，高田直俊，坂本佳理：砂の一面せん断定圧試験における供試体寸法と許容粒径の関係，土木学会第 51 回年次学術講演会概要集，Ⅲ-A16，pp. 32-33，1997.
- 4) 住 武人，大島昭彦，高田直俊，深見知亨：砂の一面せん断定圧試験における供試体寸法と許容粒径の関係（第 2 報）土木学会第 52 回年次学術講演会概要集，Ⅲ-A30，pp. 60-61，1998.
- 5) 野並 賢，高橋瑠夏，加藤正司，鳥居宣之：一面せん断強度特性に及ぼす粒子形状と供試体拘束効果の影響，Kansai Geo-Symposium 2023 論文集 一地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム，pp. 144~149，2023.
- 6) 金 秉洙，加藤正司，Seong-Wan PARK，竹下祐二：一面せん断試験の隙間幅の設定基準に関する解析的研究、土木学会論文集 A2（応用力学）、Vol. 76，No. 1，Pp. 1-6，2020.
- 7) 野並 賢，加藤正司，鳥居宣之，金 秉洙：一面せん断強度特性に及ぼす供試体作製方法と粒子の扁平率の影響，地

盤工学ジャーナル, Vol. 18, No. 4, pp. 395～406, 2023.

著 者

野並 賢	所員(非常勤) 神戸市立工業高等専門学校教授、博士(工学)、地盤工学
別處 大志	ジェイアール西日本コンサルタンツ、準学士、地盤工学
鳥居 宣之	所員(非常勤) 神戸市立工業高等専門学校教授、博士(工学)、山地防災工学