

## 95 高速リングせん断試験機による砂質土・粘性土のマサツ角の測定

京都大学防災研究所 ○福岡 浩・佐々恭二

### 1. はじめに

近年地すべり土塊の運動予測のための技術の向上が強く要望されている。より信頼性の高い運動予測を行うためには土の運動時のせん断特性、特に運動時のマサツ角の測定が不可欠である。現実の地すべり運動の数m～数百mのせん断距離についてせん断試験を行うためにはせん断距離に制限のないリングせん断試験が最も適している。京大防災研究所地すべり部門では1988年に開発した高速高圧リングせん断試験機を用いて試験を行っている。試験機の最大垂直応力は $4\text{kgf/cm}^2$ 、最高せん断速度は $150\text{cm/sec}$ 、せん断面の面積は $508.9\text{cm}^2$ 、サンプルボックスは外径 $33\text{cm}$ 、内径 $21\text{cm}$ 、高さ最大 $8.2\text{cm}$ （標準で $6\text{cm}$ ）、容積は最大 $4173\text{cm}^3$ である。御岳大崩壊の流下した伝上川の溪床堆積物の乾燥試料について、垂直応力 $\sigma$ を0から $3.5\text{kgf/cm}^2$ で行ったリングせん断試験試験結果では、 $0.01\text{cm/sec}$ から $10\text{cm/sec}$ までのせん断速度で $\phi_m=35^\circ$ の同じ直線上に重なった。ただし $100\text{cm/sec}$ のせん断速度の場合のみマサツ角が少し大きく、約 $36.5^\circ$ になった。せん断面では試料が破碎され細粒化した<sup>1)</sup>。また、地附山地すべりの土について行ったリングせん断試験結果では $0.01, 0.1, 1\text{cm/sec}$ で $32.8^\circ, 35.0^\circ, 36.5^\circ$ と速度を上げると共に運動時のマサツ角 $\phi_m$ が大きくなる傾向が認められた。御岳・地附山どちらもせん断にともなう粒子破碎が起こっており、せん断面には粉末状の試料が見られた<sup>2)</sup>。

そこで粒径の均一なガラスビーズ、豊浦標準砂、大学構内のテニスコートの土、ベントナイトという異なるサンプルについて高速高圧リングせん断試験を行いせん断速度によるマサツ角の変化を調べた。

### 2. 実験結果

#### 2. 1. ガラスビーズ

直径 $1\text{mm}$ と $0.2\text{mm}$ のものについておこなった。図1は $0.2\text{mm}$ のガラスビーズの試験結果であるが、せん断速度 $0.01\text{cm/sec}$ ～ $10\text{cm/sec}$ 、垂直応力 $0$ ～ $3.5\text{kgf/cm}^2$ でマサツ角はほぼ $23^\circ$ で一定している。試験後のサンプルを調べると粒子破碎及び粒子の変形等は起こっていなかった。

#### 2. 2. 大学構内の土

大学構内のテニスコートで使用している山砂を乾燥させた試料について試験した結果を図2に示す。 $0.01\text{cm/sec}$ から $10\text{cm/sec}$ までせん断速度を上げていってもほぼ同じ $35.1^\circ$ のマサツ角を示すが、 $100\text{cm/sec}$ でわずかにマサツ角が小さくなっている。試験後のサンプルを取り出すと、せん断面付近で粒子の破碎が起こっているのが認められた。

#### 2. 3. 豊浦標準砂

乾燥状態の豊浦標準砂について行った試験の結果を図3に示す。せん断速度を $0.01\text{cm/sec}$ から $100\text{cm/sec}$ まで上げるとマサツ角は $31.7^\circ$ から $33.8^\circ$ まで上昇した。そこで今度は速度を下げると $\phi$ が低い値に戻るか確かめるため $1\text{m/sec}$ の後、 $0.01, 0.1, 1\text{cm/sec}$ で試験したが、マサツ角はわずかしかが下がり $33.5^\circ$ で一定の値を示し、速度による変化を示さなかった。せん断速度とマサツ角とは1対1の

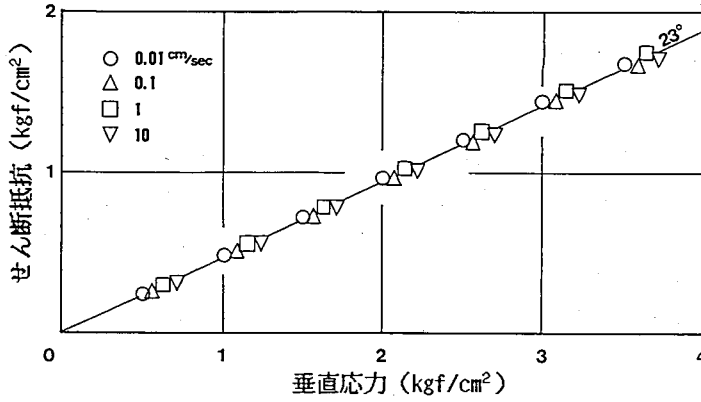


図1 0.2mmガラスビーズの  
高速高圧リングせん断試験  
結果

$$\gamma_d = 1.42 \text{ gf/cm}^3$$

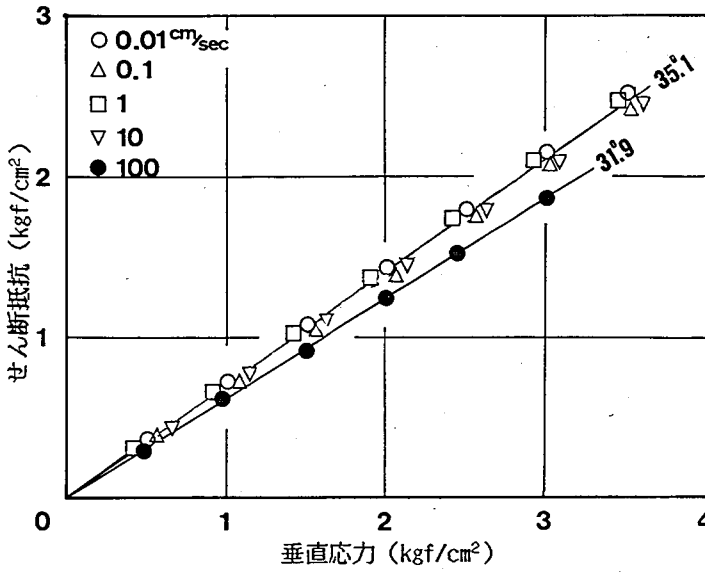


図2 大学構内の高速高圧リング  
せん断試験結果

$$\gamma_d = 1.55 \sim 1.72 \text{ gf/cm}^3$$

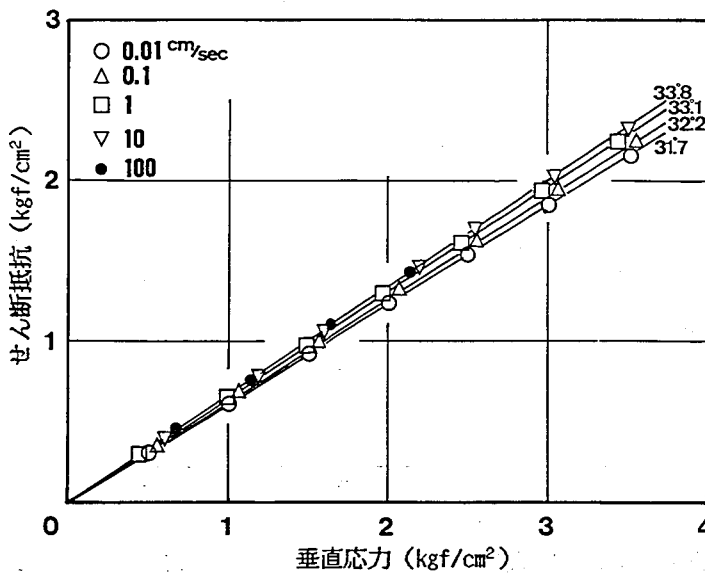


図3 標準砂の高速高圧リング  
せん断試験結果

$$\gamma_d = 1.42 \sim 1.58 \text{ gf/cm}^3$$

関係になっていると予想したが、実際にはマサツ角は速度だけにはよっていないことがわかった。試験後のサンプルを取り出してみると破碎が進んでいることがわかった。

#### 2. 4. ベントナイト

乾燥した粉末状の土木工用のベントナイト試料について試験を行った。マサツ角は図4に示すように、まずせん断速度0.01cm/secで28.5° だったが、0.1cm/secから10cm/secまでせん断速度を上げるにつれて、34.0° ~34.5° と大きく変化した。そのあと1 kgf/cm<sup>2</sup>の一定垂直応力下でせん断速度を上下させたが、速度とマサツ角の明確な関係は見られず、ほぼ一定の値を示している。試験後サンプルを取り出しせん断面を観察すると、細かい粒子の薄い層ができており粒子破碎が起こっていることがわかる。

図5にベントナイトの0.1cm/secでの試験の経時変化の図を示す。図中、マサツ係数はtanφを表わす。垂直応力を上げると徐々に体積も縮みマサツ係数が上がっている。ところが垂直応力を3.5kgf/cm<sup>2</sup>で一定にしても体積は減少し続け、マサツ係数は上昇し続けている。垂直応力を3.5kgf/cm<sup>2</sup>から下げた時に体積減少は止まり、マサツ係数はほぼ一定になった。垂直応力を上げるとサンプルの弾性により体積が減少する筈であるが、垂直応力一定でも体積が減少したこと、また、垂直応力を下げた場合に垂直応力を載荷前の状態に戻しても体積は元の体積には戻っていないことから、垂直応力の載荷中には粒子破碎が起こり、除荷中には粒子破碎が止まっていたと考えられる。したがって粒子破碎中にマサツ角が上昇していることから、粒子破碎とマサツ角が関係していることがわかる。

#### 3. 考察

以上の結果から、まず標準砂とベントナイトではせん断前の試料の粒径が揃っているのので、破碎され粒径が細くなった土粒子が空隙に詰まり密度が大きくなったものと考えられる。一般に密度が大きければマサツ係数は大きくなる。粒子形状も標準砂は海砂でありほとんどが球形の角の無い粒子で、ベントナイトも平たい粒子であるため、破碎に依って角ばりマサツ角の増加に寄与しているものと思

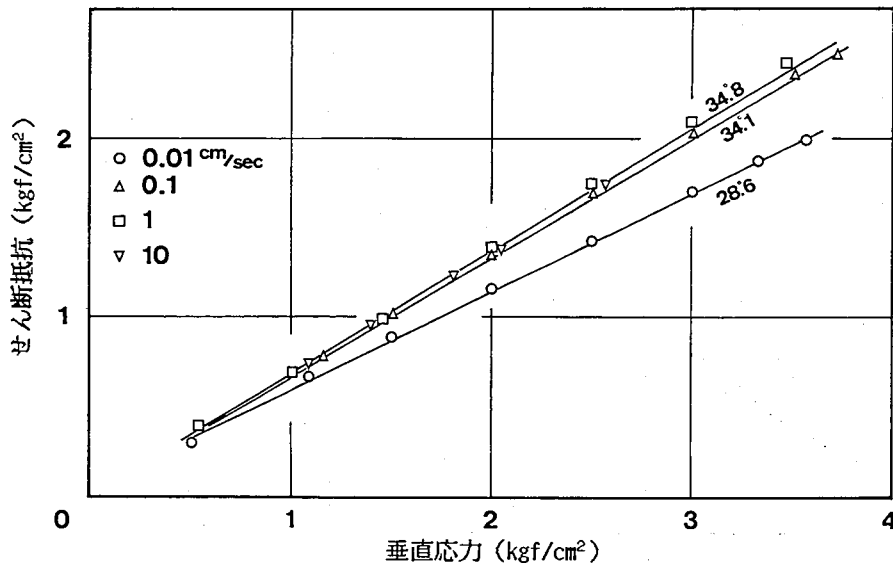


図4 ベントナイトの高速高圧リングせん断試験結果  $\gamma_d = 0.85 \sim 0.94 \text{ gf/cm}^3$

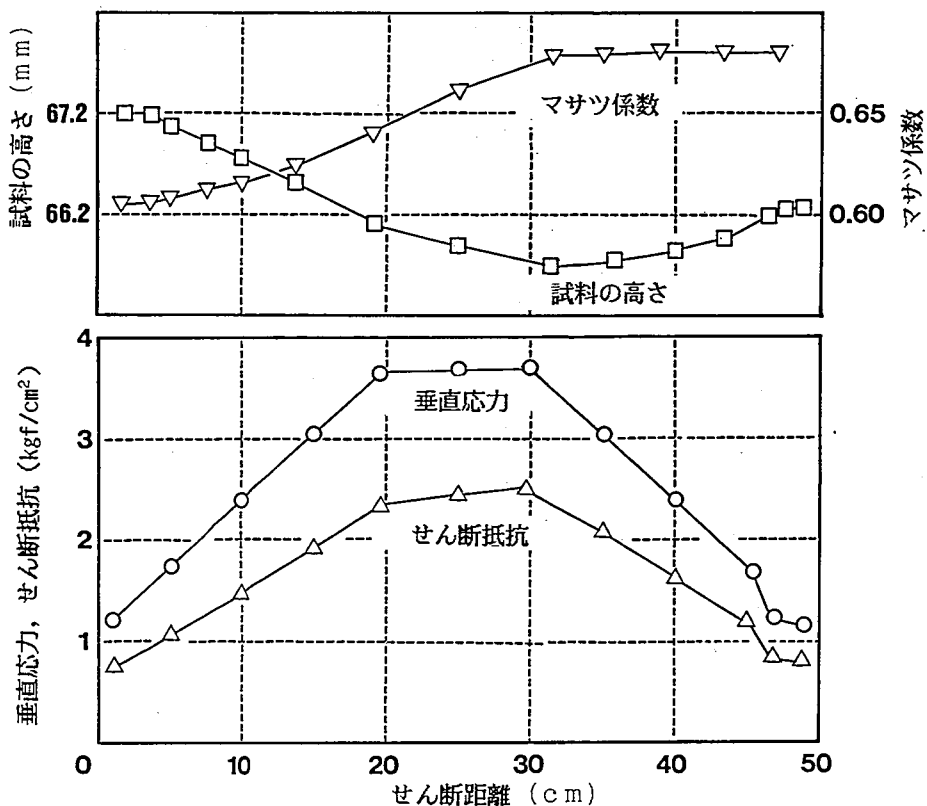


図5 ベントナイトの高速高圧リングせん断試験結果 (経時変化)  
せん断速度 0.1 cm/sec

われる。一方、大学構内の土は均一粒径ではなく幅広い粒度分布を持っているため、粒子破碎によっても密度が大きく変化することはない、粒子形状も山砂であるため角が多く、せん断による破碎で丸みを帯びたため 1 m/sec でマサツ角が小さくなったのかも知れない。ガラスビーズの場合は破碎が全く起こらず、粒径も粒子の形状も変わらないのでマサツ角は変わらなかったと考えられるが、更に各サンプルについてせん断前後の粒径分布・形状・密度について詳しく調べる必要がある。

#### 参考文献

- 1) 福岡 浩・佐々恭二他(1989): 高速高圧リングせん断試験機による地附山地すべり・御岳大崩壊の土質特性, 京都大学防災研究所年報第32号B-1, pp.183-195
- 2) Vibert C.・佐々恭二・福岡 浩(1989): 粒状体の高圧高速リングせん断特性, 平成元年度砂防学会概要集, pp.93-96
- 3) Vibert C.・佐々恭二・福岡 浩(1989): Friction Characteristics of Granular Soils Subjected to High Speed Shearing, Proc. Japan-China Symposium on Landslides and Debris Flows, 1989, Niigata and Tokyo pp.295-299
- 4) 福岡 浩・佐々恭二他(1990): 高速リングせん断試験機による砂質土・粘性土のせん断特性, 京都大学防災研究所年報第33号 (出版予定)