

異なるせん断速度における粒状土の強度特性に関する研究

岐阜大学大学院 学生会員 ○片岡 雅貴
 岐阜大学大学院 学生会員 小田 憲一
 岐阜大学工学部 正会員 八嶋 厚
 岐阜大学流域圏科学研究センター
 正会員 沢田 和秀

1. はじめに

斜面崩壊のような地盤の大変形問題では、土砂の流動開始から停止の間で地盤材料の強度特性が変化している可能性がある¹⁾。図-1に概念的な土砂の運動と流動速度の関係を示す。土砂流動時のせん断強度の速度依存性の有無を明らかにし、その関係を流動解析に適用すれば、より精度の高い流動予測が可能になると期待できる。地盤材料のせん断強度特性を調べる方法として、一面せん断試験が広く用いられている²⁾。しかし、近年、土の残留強度が斜面の安定解析に重要であると指摘されるようになった。そこで、せん断強度抵抗を調べる方法として、せん断面の面積が変化せず、残留強度の測定に適したリングせん断試験が用いられるようになってきた³⁾⁴⁾。本研究では、新しく作製したリングせん断試験機の性能を把握するため、粒径が均一なガラスビーズを試料として用いたリングせん断試験と一面せん断試験を行った。また、せん断速度の違いが、土の残留強度に与える影響を把握するため、異なるせん断速度で、豊浦砂を試料として用いたリングせん断試験を行った。

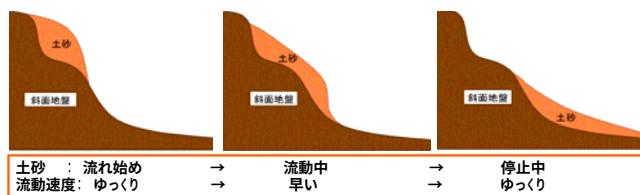


図-1 土砂の運動と流動速度の関係(イメージ)

2. 研究内容

本研究では、新たに作製したリングせん断試験機の性能を検証するために、異なるせん断速度で、ガラスビーズを試料として用いたリングせん断試験と一面せん断試験を行った。また、土の残留強度の速度依存性の有無を確認するために、異なるせん断速度で、豊浦砂を試料として用いたリングせん断試験を行った。

3. 試験試料

本研究では、リングせん断試験機の性能を検証するため、リングせん断試験と一面せん断試験に用いるガラスビーズの密度を等しくする。ガラスビーズの密度は 1.39g/cm^3 を目標とした。この値は、リングせん断試験機のせん断箱に緩詰め状態で供試体を作成し、供試体高さが 3.5cm となった時の試料質量を測定して求めた。前述した試料と同様にリングせん断試験では、せん断箱の容積は 343cm^3 であるので、ガラスビーズの質量は 480g 、一面せん断試験では、せん断箱の容積は 101.8cm^3 なので、試料であるガラスビーズの質量は 140g として、緩詰め供試体を作製した。また、リングせん断試験に用いる豊浦砂の見かけの密度は、上記と同様の方法を用いて求めた値である 1.34g/cm^3 とした。リングせん断試験では、せん断箱の容積は 343cm^3 であるので、豊浦砂供試体の質量は 460g として緩詰め供試体を作製した。

4. リングせん断試験概要

リングせん断試験では、外径 15cm ・内径 10cm ・高さ 3.5cm のリング型の供試体を用いる。用いたリングせん断試験機の最大変位は、 392.7mm (1回転 360deg に相当)である。表-1にリングせん断試験機の仕様を示す。供試体の上部を固定し、下部を $0^\circ \sim 360^\circ$ まで回転させることで、せん断することができる構造となっている。試験中の上下せん断箱の隙間は 0.4mm とした。表-2にリングせん断試験の試験条件を示す。

表-1 リングせん断試験機の仕様

垂直圧条件	垂直荷重一定
最大せん断変位	$392.7\text{mm}(360\text{deg})$
せん断速度	$0.03927 \sim 39.27\text{mm/min}$
供試体	高さ 3.5cm ・外径 15cm ・内径 10cm のリング型

表-2 リングせん断試験の試験条件

ガラスビーズ					
	せん断速度	垂直応力		せん断速度	垂直応力
case1	2.4mm/min	59kPa	case7	1.2mm/min	59kPa
case2		31kPa	case8		31kPa
case3		21kPa	case9		21kPa
case4	1.8mm/min	59kPa	case10	0.24mm/min	59kPa
case5		31kPa	case11		31kPa
case6		21kPa	case12		21kPa
豊浦砂					
	せん断速度	垂直応力		せん断速度	垂直応力
case1	240mm/min	118kPa	case9	2.4mm/min	118kPa
case2		59kPa	case10		59kPa
case3		31kPa	case11		31kPa
case4	24mm/min	21kPa	case12	0.24mm/min	21kPa
case5		118kPa	case13		118kPa
case6		59kPa	case14		59kPa
case7		31kPa	case15		31kPa
case8		21kPa	case16		21kPa

5. 一面せん断試験概要

一面せん断試験は、地盤工学会基準「土の圧密定圧一面せん断試験」(JGS 0561-2000)の方法を基本として試験を行った。供試体は、直径 6cm ・高さ 3.5cm とした。表-3に一面せん断試験機の仕様を示す。上記の基準では、一面せん断試験を終了するせん断変位は 7mm である。しかし、本研究では、土の残留強度の測定を行うために、せん断変位 18mm まで試験を行った。本試験で用いた試験機の構造上、せん断箱の隙間を開けられないため、せん断箱の隙間を開けないが、測定されたせん断力をそのまま採用する。一面せん断試験で得られたピーク強度後の最小のせん断応力を一面せん断試験での残留強度と仮定した。表-4に一面せん断試験の試験条件を示す。

表-3 一面せん断試験機の仕様

垂直圧条件	垂直荷重一定
最大せん断変位	18mm
せん断速度	$0.24 \sim 2.4\text{mm/min}$
供試体	高さ 3.5cm ・直径 6cm の円柱供試体

キーワード：リングせん断試験，一面せん断試験

連絡先：〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 (八嶋研究室) 電話 058-293-2422

表-4 一面せん断試験の試験条件

ガラスビーズ					
	せん断速度	垂直応力		せん断速度	垂直応力
case1	2.4mm/min	59kPa	case7	1.2mm/min	59kPa
case2		31kPa	case8		31kPa
case3		21kPa	case9		21kPa
case4	1.8mm/min	59kPa	case10	0.24mm/min	59kPa
case5		31kPa	case11		31kPa
case6		21kPa	case12		21kPa

6. 実験結果

6.1 ガラスビーズを試料として用いた試験

ガラスビーズを試料として用いたリングせん断試験および一面せん断試験で得られた残留強度から、それぞれ内部摩擦角 ϕ を求めた。図-2 に内部摩擦角と ϕ せん断速度の関係を示す。

図-2 より、リングせん断試験および一面せん断試験で得られた内部摩擦角 ϕ の大きさには違いがあるものの、せん断速度の違いによる内部摩擦角 ϕ の変化は両試験でほぼ同じであった。このことから、本研究で新たに作製したリングせん断試験機は、正常に内部摩擦角 ϕ を測定することが可能であると判断した。

また、両試験から得られた内部摩擦角 ϕ は、せん断速度が変化してもそれほど影響が見られないことがわかった。理由として、ガラスビーズが均一な粒径であるため、せん断速度が変化しても、粒子同士の摩擦抵抗がそれほど変動しないことが考えられる。また、0.24～2.4mm/min というせん断速度は、実際の斜面崩壊などの流動速度に比べてはるかに遅い速度であるということから、せん断速度の影響が現れにくいとも考えられる。今後はさらに速い速度のせん断試験を行い、せん断強度の速度依存性について検討しなければならない。

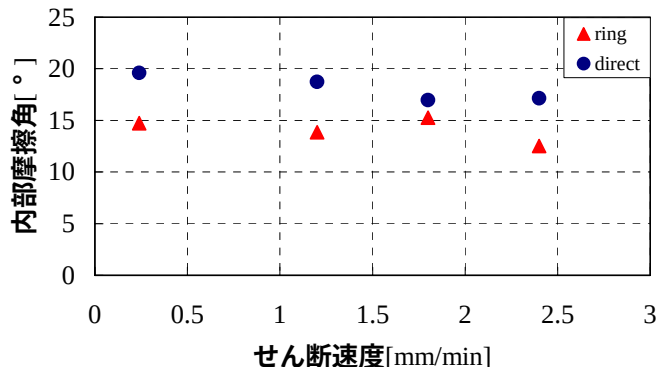


図-2 内部摩擦角—せん断速度の関係(ガラスビーズ)

6.2 豊浦砂を試料として用いた試験

豊浦砂を試料として用いたリングせん断試験で得られた残留強度から、内部摩擦角 ϕ を求めた。図-3 に内部摩擦角と ϕ せん断速度の関係を示す。

豊浦砂はガラスビーズと比べ、粒径が均一ではないため、粒子のかみ合いが増すと考えられるので、せん断速度の違いによって、摩擦抵抗が変化すると考えられたが、せん断速度の違いによる内部摩擦角の変化はそれほど見られなかった。0.24～240mm/min というせん断速度は、実際の斜面崩壊などの流動速度に比べてはるかに遅い速度であるということから、せん断速度の影響が現れにくかったのではないかと考えられる。今後は、さらに速いせん断速度の試験を行い、せん断強度の速度依存性について検討しなければならない。

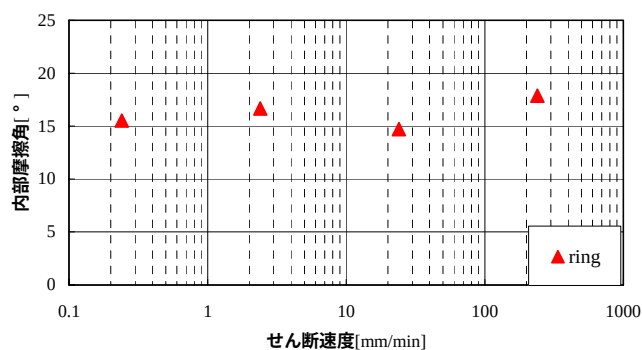


図-3 内部摩擦角—せん断速度の関係(豊浦砂)

7. まとめ

本研究は、土の残留強度定数のせん断速度変化による影響を把握し、その関係を流動予測解析に応用することを目的としている。そこで、新しく作製したリングせん断試験機の性能を把握するため、粒径が均一なガラスビーズを試料として用いたリングせん断試験と一面せん断試験を行った。また、せん断速度の違いが、土の残留強度に与える影響を把握するため、異なるせん断速度で、豊浦砂を試料として用いたリングせん断試験も行った。以下に、本研究で得られた成果をまとめた。

- 異なるせん断速度で、ガラスビーズを試料として用いたリングせん断試験と一面せん断試験の比較を行った結果、新たに作製したリングせん断試験機は、一面せん断試験より得られる内部摩擦角 ϕ を再現することがわかった。
- 異なるせん断速度で、ガラスビーズを試料として用いたリングせん断試験と一面せん断試験を行った結果、せん断速度 0.24～2.4mm/min の範囲では、ガラスビーズの残留強度定数に、速度依存は見られなかった。
- 異なるせん断速度で、豊浦砂を試料として用いたリングせん断試験を行った結果、せん断速度 0.24～240mm/min の範囲では、豊浦砂の残留強度定数に違いが見られず、せん断速度と内部摩擦角の関係は得られなかった。

本研究で行ったせん断速度は 4.0×10^{-3} mm/s から 4.0mm/s の範囲である。実際の土砂崩壊では、土は1秒間に数十 m のオーダーで移動しているため、本研究で行ったせん断速度では十分とは言えない。そのため、せん断速度をさらに速くするために、試験機を改良する必要がある。また、実際の流動中の密度変化はわからないが、せん断前の供試体の密度が高いと、粒子のかみ合いが増し、地盤材料の強度特性はせん断速度の変化に大きく影響を受ける可能性がある。そのため、供試体の作成方法を検討し、供試体の密度が異なる場合の試験を行わなければならない。

参考文献

- 鈴木素之・梅崎健夫・川上浩・山本哲朗：直接型せん断試験における土の残留強度，土木学会論文集，No.645，III-50，pp.37-50，2000。
- 澁谷哲：土の一面せん断試験と結果の解釈における最近の進展，直接せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，pp.67-86，1995。
- Skempton, A. W. : Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory, *Geotechnique*, Vol.35, No1, pp.3-18, 1985。
- 福岡浩・佐々恭二・島通保：高速高圧リングせん断試験機による砂質土・粘性土のせん断特性，京都防災研究所年報，No. 33，B-1，1990。