

定体積一面せん断試験による崩落法面の地山材料のせん断強度評価

地すべり 一面せん断試験 繰返し载荷試験

名城大学大学院 正会員 ○湯貫 敬
名城大学 国際会員 小高猛司
中部土質試験協同組合 国際会員 久保裕一

1.はじめに

本報では、豪雨により崩落した切土法面を対象とする。被災箇所では、下から砂礫層、シルト層、砂層の順に堆積し、緩勾配の流れ盤を形成しており、常時から地下水が透水性の低いシルト層上部に滞留し、シルト層上部は軟質化していると考えられている。想定された崩壊メカニズムは、豪雨による地下水位の上昇によって砂層表層で小規模崩壊が発生し、それに伴う応力解放により軟質化したシルト層と砂層の境界での大規模なすべり崩壊に進展したとするものである。本報では、被災箇所で採取した試料を用いて、軟質化したシルト層と砂層の境界面、砂層内部、シルト層内部のせん断強度について、定体積一面せん断試験を用いて評価するとともに、繰返し载荷試験の適用性についても検討する。

2.試験概要

2.1 試験装置

図1に一面せん断試験装置を示す。水平荷重、垂直荷重ともに1μm単位で制御可能な高容量メガトルクモーターを用いて载荷する。せん断中は上部せん断箱を固定し、下部せん断箱を水平に移動することにより直接せん断しており、さらに垂直荷重载荷用メガトルクモーターで垂直変位を固定することによって、高精度の定体積せん断が可能となっている。

2.2 試験条件

想定すべり面は砂層とシルト層の境界面と考えられるが、本研究では、砂層内部、シルト層内部、砂層とシルト層の境界面の3パターンのすべり面を再現した試験を実施した。表1に試験条件を示す。砂の供試体は、現地の乾燥密度となるようせん断箱内で突き固めて作製した。シルト供試体は、軟質化したシルト層を模擬するために現場で採取した不攪乱試料を乱し、現場の含水比に調節して練り返したものをカッターリングに隙間なく充填し、整形したものをせん断箱内に設置した。砂・シルト供試体は、シルトの圧密により、境界面でせん断されなくなることが考えられるため、被災箇所の地層順とは逆にシルト供試体を砂供試体の上に設置した。供試体作製後、供試体を水浸条件下で所定の垂直応力で圧密し、圧密終了後に定体積条件で単調载荷はせん断速度0.2mm/min、せん断変位6mm到達まで、繰返し载荷の場合は、せん断速度0.5mm/min、片振幅3mm、繰返し回数5回に達するまでせん断を行った。

3.試験結果

図2, 3, 4に砂、シルト、砂・シルトの単調载荷一面せん断試験による応力経路、せん断応力～せん断変位関係を示す。砂供試体では、いずれの圧密応力でも1mm以下のせん断変位で変相することが確認され、変相後には塑性膨張を伴う硬化挙動を示した。シルトならびに砂・シルト供試体は、せん断応力がピーク値に到達した後は塑性圧縮を伴う軟化挙動を示した。

表2に各試験から得られた強度定数を示す。有効応力のせん断抵抗角 ϕ は、砂、砂・シルト、シルトの順に小さく、逆に粘着力 c は砂の場合0kPa、砂・シルト、シルトの順で大きい。図5に単調载荷試験から得られた破壊規準線を纏めて示す。せん断抵抗角 ϕ が最も大きい砂でも、垂直応力0～20kPa付近の低垂直応力領域では、せん断強度が小さく、これは大規模崩壊前の砂層表層における小規模崩壊と一致している。切土の法勾配が1割5分程度（傾斜34°）であったことから、地下水位が上昇し、砂層の有効応力が低下した際には、砂層表層が小崩壊する可能性は十分

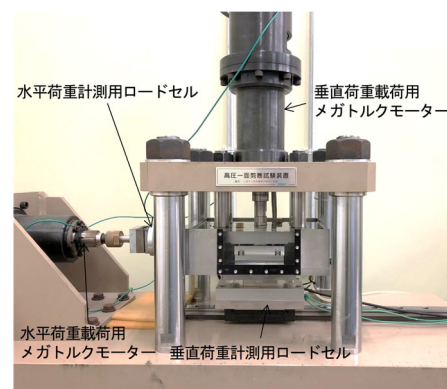


図1 一面せん断試験機

表1 供試体ならびに試験条件

供試体	砂	シルト	砂・シルト	
			砂	シルト
直径(mm)	60			
高さ(mm)	20		10	20
湿潤密度(g/cm ³)	1.73	1.81	1.73	1.81
初期含水比(%)	12.5	42	12.5	42
圧密時間	10 分	24 時間		
圧密応力(kPa)	50, 100, 150, 200			

表2 各試験から得られた強度定数

供試体	単調载荷		繰返し载荷	
	有効応力に基づく強度定数		せん断抵抗角 ϕ (°)	粘着力 c (kPa)
	せん断抵抗角 ϕ (°)	粘着力 c (kPa)		
砂	34.3	0.0	36.1	0.0
砂・シルト	19.6	8.6	21.4	10.9
シルト	18.4	11.9	22.9	13.0

Shear strength evaluation of geomaterials on collapsed slope by constant volume direct shear test:

K. Yunuki, T. Kodaka (Meijo Univ.), Y. Kubo (Geolabo-Chubu)

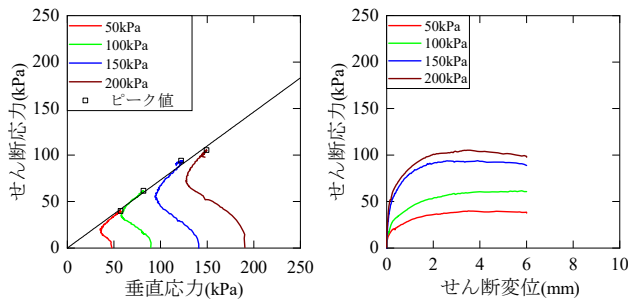


図2 砂の単調荷重一面せん断試験結果

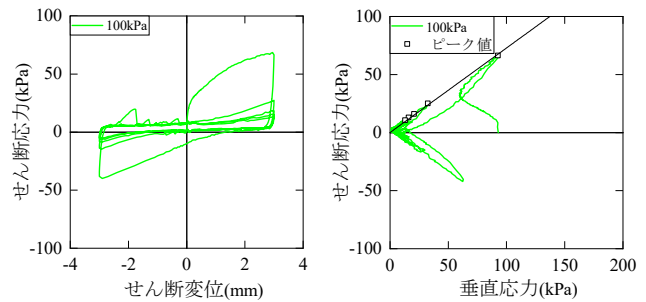


図6 砂の繰返し荷重一面せん断試験結果

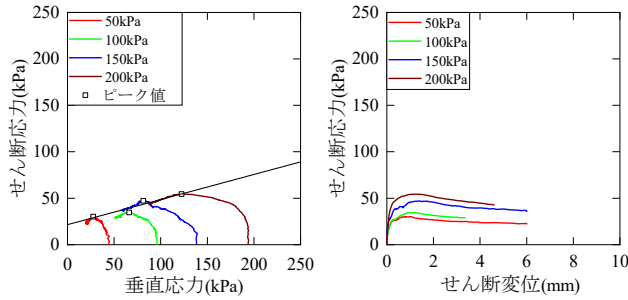


図3 シルトの単調荷重一面せん断試験結果

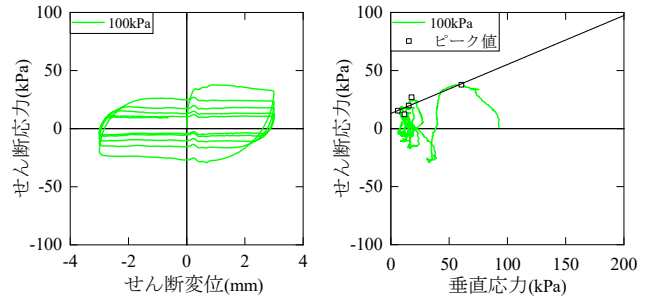


図7 シルトの繰返し荷重一面せん断試験結果

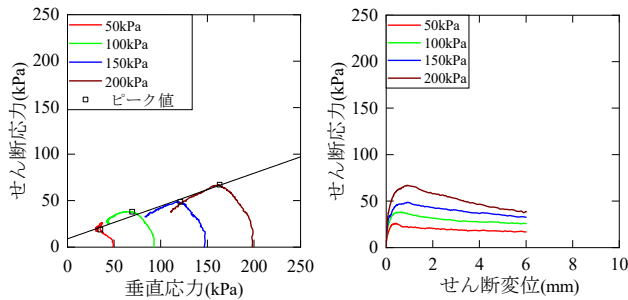


図4 砂・シルトの単調荷重一面せん断試験結果

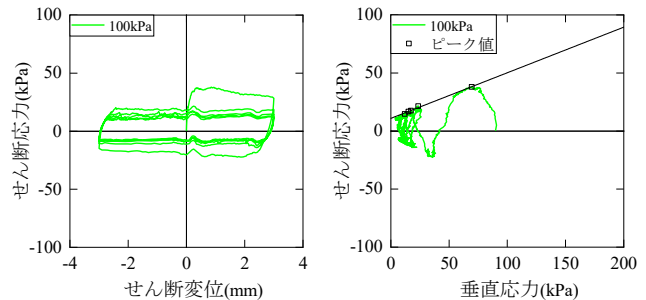


図8 砂・シルトの繰返し荷重一面せん断試験結果

にある。一方、崩壊法面の砂・シルトの境界層までの最も深い位置で12m程度であったことから、垂直応力 25~150kPa で砂・シルト供試体のせん断強度が最も小さくなる本試験と砂・シルト境界層で大規模すべりが発生したことは整合している。ただし、シルト供試体と砂・シルト供試体のせん断強度は近い値であることから、またシルト層上部の厚さ数 cm の軟質化領域ですべりが発生した可能性もあるが、いずれにしても境界層付近である。

図6, 7, 8にそれぞれの繰返し荷重一面せん断試験結果を示す。なお、全て圧密応力 100kPa の結果であり、応力経路にはせん断応力が正となる押し側のピーク値5点をプロットし、破壊規準線も引いている。砂の応力経路に示すピーク値5点は、一直線に並び、せん断抵抗角 ϕ は 36.1° と単調荷重試験の結果とほぼ同じ値となった。また、砂・シルト供試体でもピーク値は一直線に並び、繰返し荷重試験から得られた強度定数は単調荷重試験の結果と近い値を示した。これは繰返し荷重一面せん断試験によって、一つの供試体で単調荷重一面せん断試験と同様の強度定数が得られることを示している。すなわち、少ない試料の量で効率よく強度定数が求められることを示唆している。シルト供試体の強度定数は、単調荷重一面せん断試験と比べて、せん断抵抗角 ϕ は増加し、粘着力 c は低下している。これは繰返しせん断を受けることにより乱されたシルトが正規圧密化し、過圧密性が失われたと考えられる。ただし、試験誤差もあるので、試験数を増やしてさらなる検証を進めたい。

4.まとめ

被災箇所で採取した試料を用いて、境界層でのせん断強度を直接求めるために定体積一面せん断試験を実施した結果、砂層と軟質化したシルト層の境界面で大規模すべり崩壊が発生した事象をよく表す強度定数が得られた。今後は、これらの強度定数を用いて、数値解析によって崩壊事象をシミュレーションすることにより、試験結果の妥当性を検証する。また、繰返し荷重一面せん断試験では、一つの供試体のみで、効率よく強度定数が求められることが示され、今後定体積繰返し一面せん断試験が有用な試験方法となる可能性が示唆された。

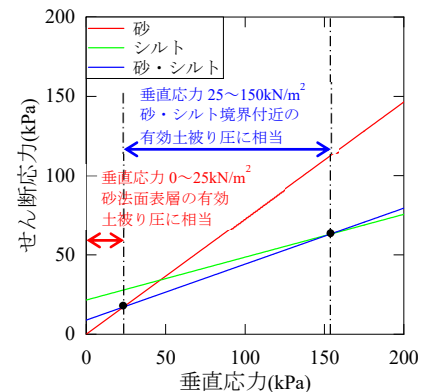


図5 単調荷重試験から得られた破壊規準線