

1. はじめに

平成 20 年岩手・宮城内陸地震では、平成 16 年新潟県中越地震と同様、中山間地で多数の崩壊が発生した。筆者ら(木下ら, 2009)が新潟県中越地震で発生した地すべりを対象に実施したリングせん断試験によると、せん断速度が上昇するとせん断強度が急激に低下する土質特性が確認されており、地震時に大滑動した原因となった可能性が示唆される。一方で、地震時の強度低下メカニズムについては、粒度分布との関係や間隙水圧の挙動等不明な点が多い。そこで、本研究では、岩手・宮城内陸地震で発生した崩壊のすべり面構成土を用いたリングせん断試験を行い、強度低下メカニズムの検討を行った。

2. 調査地の概要

図-1 に調査地平面図を示す。本実験に用いた試料は、耕英地区の御沢右岸の崩壊地内でボーリング調査 (BV-1) により採取した試料である。図-2 に、図-1 中の X-Y での縦断図を示す。調査地は、地震前から地すべり性の崩壊地形を呈し、硬質の溶結凝灰岩の露頭からなる滑落崖と、その直下に軟質な軽石質凝灰岩で構成される緩斜面が分布する。当調査地では、岩手・宮城内陸地震の際に、滑落崖の後退性の崩壊と崩壊地内の崩土の再移動が生じ、末端部では、押し出した土砂が流動化している。地質構造的には、北向きに緩やかな流れ盤を形成していることが地質調査により判明している。すべり面は、溶結凝灰岩の下位層に当たる軽石質凝灰岩に形成されており、移動土塊は、溶結凝灰岩と軽石質凝灰岩の崩土からなる。地内でのボーリング調査の結果、GL-6.0m 付近までは、N 値が 50 を大きく上回る溶結凝灰岩の転石を含む崩土が続く。6.0~9.5m 区間は、N 値が 10 を下回る軟弱な軽石質凝灰岩の強風化層が続く、この部分がすべり面に相当するものと判断される。

3. 崩壊地のすべり面構成土を用いたリングせん断試験

リングせん断試験用に、GL-6.5~7.6m の N 値 1 程度の区間から試料 (試料 A) を選定した。試料 A の粒度分布は、粘土分 22%、シルト分 25%、砂分 52%、レキ分 1% であり、液性限界は 44.9%、塑性限界は 31.0 であった。試験には、試料 A をフルイ処理し、425 μm 以下粒径分を用いた。汎用的な Bishop 型リングせん断試験機 (供試体外径 150mm、内径 100mm) を用い、0.02mm/min のせん断速度で残留せん断状態を確認した後に、せん断速度を 5 50 500mm/min と段階的に変更する実験を行った。実験方法は、木下ら (2009) の方法に準じ、垂直応力は 100kPa の一定圧とした。図-5(a) に結果を示す。せん断速度を上昇させた瞬間に、せん断強度の一時的なピーク強度を発現するが、せん断応力の収束値に着目すると、5、50mm/min では大きな変化はみられないが、500mm/min で強度が大きく低下した。

通常、リングせん断試験は、せん断箱を収めた水槽に水を満たし、供試体を浸水 (水没) させた状態で試験を実施するが、図-5(b) は、50 と 500mm/min の高速条件で、供試体を浸水させずに実施した結果である。浸水条件に比べ、強度の低下幅が小さいことが分かる。また、試験機構上、浸水条件では、せん断面からの試料流出が顕著となるが、試験後にせん断面を分離して観察すると、せん断面付近が高含水状態で軟質な状態となっている様子が認められた。せん断面付近と上盤側・下盤側の含水比を計測したところ、せん断面付近では、浸水条件の方が含水比が高く、塑性限界を大きく上回っていることが確認された (図-6)。

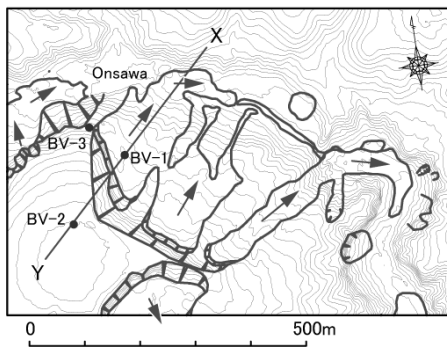


図-1 調査平面図

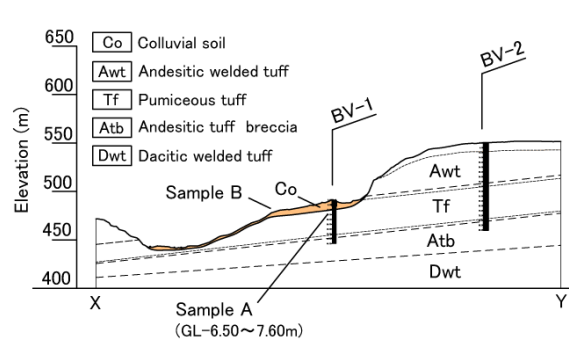


図-2 調査地縦断図

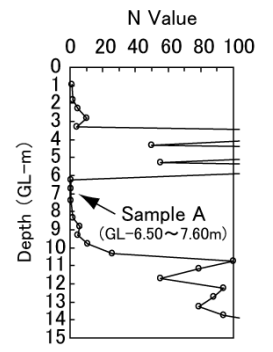


図-3 N値分布 (BV-1)

4.せん断速度の上昇に伴って土質強度が低下するメカニズムの検証

上記3の実験は、基本的には排水条件仕様の試験機を用いているため、せん断試験中に発生する間隙水圧の評価が難しく、せん断強度の低下メカニズムの検証が難しいという欠点がある。そこで、柴崎ら(2003)が改良した、非排水条件でも試験が可能なリングせん断試験機を用い、非排水/排水の両条件で、

100mm/minの一定のせん断速度で25m以上の大変位を与えたリングせん断試験を行った。排水条件の試験は、供試体上面側の排水弁を開放し排水を許した。柴崎ら(2003)の方法で、せん断中に、せん断面付近の間隙水圧(No.1, 2)と、供試体上面の間隙水圧(No.3)の計測も行った。この実験では、3の実験と同じ挙動を示した木下ら(2009)が使用した新潟県中越地震の地すべり現場の試料を用いた。垂直応力は、150kPaの一定圧とした。

図-7(a),(b)に実験結果を示す。両条件ともせん断初期は水圧の変動が複雑で不安定であるが、載荷盤側の排水弁を閉塞した非排水条件では、25mの変位量を経ても大きな過剰間隙水圧が維持され、せん断応力が低いままであるのに対し、排水弁を開放し排水を許す条件では、25mの変位量に至る過程で、過剰間隙水圧が消散し、せん断強度が増加していく様子が確認された。また、試験後の試料の含水比を図-8に示すが、図-6同様に、非排水条件の試料は、せん断面付近の含水比が高く、塑性限界を大きく上回る値を示した。

5. まとめ

岩手・宮城内陸地震で崩壊した耕英地区の土砂の実験結果より、木下ら(2009)が報告した新潟県中越地震の地すべり事例同様、せん断速度の上昇によりせん断強度が低下する土質特性が確認された。その原因としては、せん断面付近の含水比の増加による軟化と、過剰間隙水圧の上昇による有効応力の低下であることが分かった。

引用文献

- 1) 木下ら(2009): 2004年新潟県中越地震により大滑動した地すべりのすべり面の土質特性に関する研究, 地すべり, Vol.45, No.6, pp.6~15.
- 2) 柴崎ら(2003): 間隙水圧計測を目的としたリングせん断試験機の開発, 第38回地盤工学研究発表会講演集, p-p.231-232

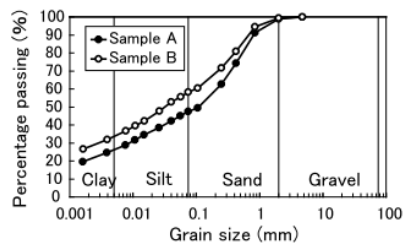


図-4 崩壊土砂の粒度分布

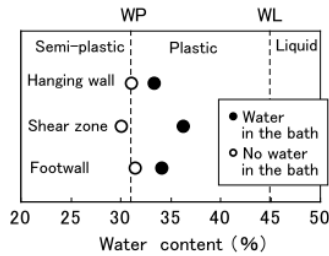


図-6 試験後試料の含水比 (図-5実験)

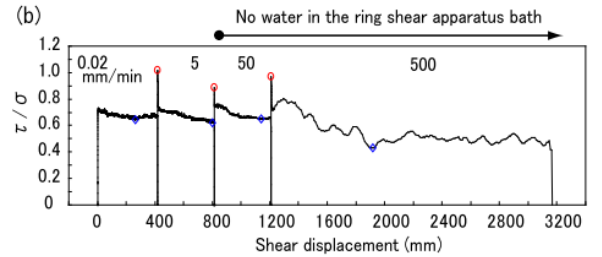
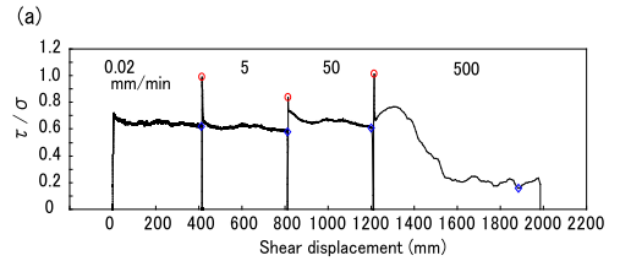


図-5 速度効果の検証実験の結果 (試料A)

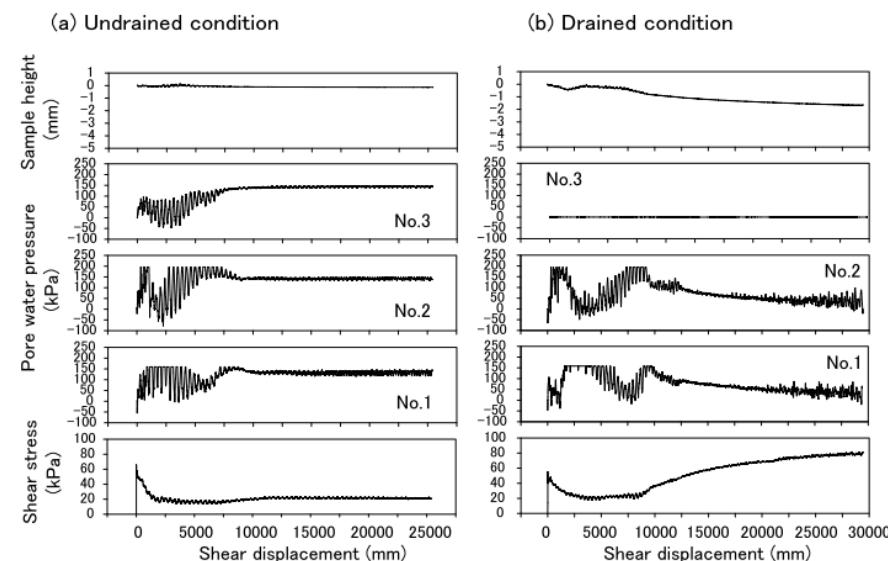


図-7 25m以上の大変位を与えたリングせん断試験 (a:非排水, b:排水)

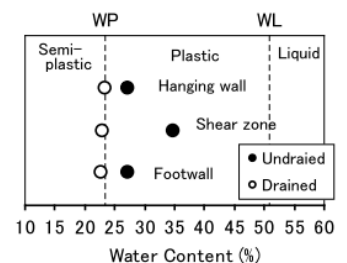


図-8 試験後試料の含水比 (図-7実験)