

# 荒砥沢ダム地すべりを起こしたシルトの非排水せん断特性の拘束圧依存性について

東北大学 学 〇高木聖人 フ 風間基樹  
正 河井 正 正 金 鍾官

## 1. はじめに

荒砥沢ダム上流部で発生した巨大地すべりは、幅約900m、長さ約1300m、移動距離は最大約320mを超え、地震を引き金とした地すべり規模としては国内有数である<sup>1)</sup>。また、この時の最大すべり面深度は、100mと深い場所に位置している。一般的に、拘束圧が増加すればするほど地盤の密度も大きくなるため、それに伴い地盤の剛性は増加する傾向を示すが、荒砥沢ダム地すべりは高い拘束圧に晒された地盤がすべり面を形成した。そこで本研究では、高い拘束圧に晒された地盤が地すべりを起こした原因を調査するため、すべり面を構成していたシルト質砂質土を対象に、高拘束圧で非排水三軸試験を実施した。併せて、200~50kPaの拘束圧で非排水三軸の試験を行うことで、すべり面を構成していた土試料の非排水せん断特性の拘束圧依存性について検討した。

## 2. 実験条件

対象とする試料は、現地調査により採取した、すべり面を構成していたシルト質砂質土(以下、荒砥沢シルトと称す)である。本研究では、試料はふるい分けを行い、106 $\mu$ m通過分を用いた。

三軸試験は、CU条件で行い、単調载荷と繰返し载荷の2種類を実施した。供試体は直径50mm、高さ100mmである。それぞれの試験における有効拘束圧、圧密前後の相対密度及び残留時の有効応力下限値を表1に示す。実験は全てひずみ制御で行い、载荷速度は全ケースで0.5%/minとした。繰返し载荷は、片振で振幅2%とし、波形は三角波で実験を行った。

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1 沈降分析による粒子破碎の確認

1MPaの拘束圧が加わった際に、粒子破碎が発生するかについて検証するために、case1の実験前と実験後の試料を対象に沈降分析を実施した。沈降分析の結果を図1に示す。粒子破碎が発生すれば、試験後の試料の粒径加積曲線は左側へシフトするが、図を見ると、試験前後で細粒分がやや減っているの、粒子破碎はしていなかったものと判断した。高压下での粒子破碎に

表1 実験ケース

| case | 载荷方法 | 有効拘束圧(kPa) | 相対密度(%) |      | 有効応力比<br>下限値 |
|------|------|------------|---------|------|--------------|
|      |      |            | 圧密前     | 圧密後  |              |
| 1    | 単調   | 1000       | 75.7    | 95.0 | 0.37         |
| 2    | 単調   | 500        | 75.4    | 90.7 | 0.36         |
| 3    | 単調   | 200        | 74.0    | 82.7 | 0.34         |
| 4    | 単調   | 100        | 76.0    | 80.8 | 0.44         |
| 5    | 単調   | 100        | 85.4    | 90   | 0.53         |
| 6    | 単調   | 50         | 75.2    | 78.1 | 0.36         |
| 7    | 繰り返し | 1000       | 77.2    | 96.5 | 0.019        |
| 8    | 繰り返し | 500        | 74.8    | 90.3 | 0.016        |
| 9    | 繰り返し | 100        | 85      | 88.5 | 0.036        |

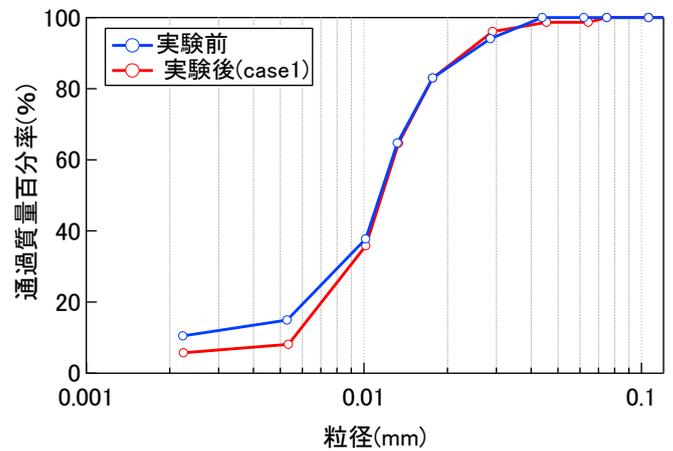


図1 試験前後の粒径加積曲線

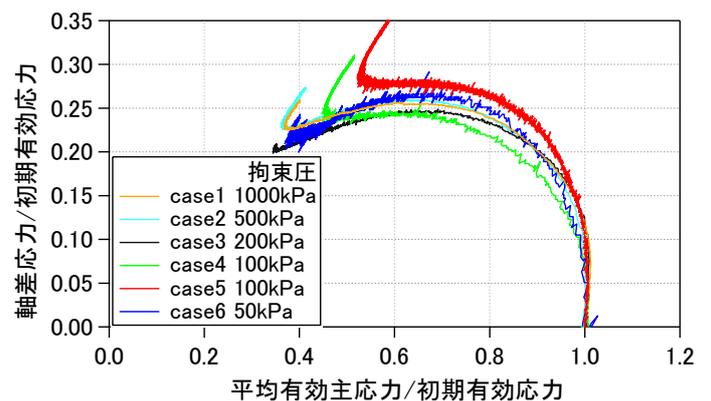


図2 単調载荷における有効応力比

について検証した萩原ら<sup>2)</sup>は、三軸試験のせん断過程において、砂礫土の粒子破碎を確認しているが、本実験で使用した試料は砂礫と比べて粒径が小さいことが、粒子破碎が発生しなかった理由とも考えられる。従って、地すべり中に粒状材料の圧縮・せん断特性が変化したとは考にくく、地すべりに影響した可能性は低い。

### 3. 2 単調せん断試験による拘束圧依存性の確認

拘束圧依存性を確認するために、単調せん断試験により得られた軸差応力と平均有効主応力を、各ケースの初期有効応力との比で表したグラフを図 2 に示す。単調載荷試験は、case5 を除いて、圧密前の相対密度が同程度となるように供試体を作成したため、圧密後の相対密度は、有効拘束圧が大きいケースほど高くなっている。本来であれば、相対密度が高いケースの方が圧縮性は小さくなるはずであるが、有効応力経路比及び最小の有効応力比は 5 つのケースではほぼ同程度となった。一方、圧密後の相対密度を拘束圧 1000kPa, 500kPa の case1,2 に近づけた拘束圧 100kPa の case5 は、他のケースと比較して圧縮性が小さくなった。また、表 1 に、図 2 から読み取った残留時の有効応力比下限値をまとめた。この値から、case5 のみ、残留強度が大きいことがわかる。これらのことから、荒砥沢シルトは、単調せん断時圧密圧力に応じた圧縮がせん断前に生じている場合は、拘束圧に依存しないが、せん断前の密度が同程度であると、高い拘束圧ほど有効応力が低下する可能性がある。しかし、この結果のみでは拘束圧の高低に明確な圧縮性の違いがあるとは言えない。

### 3. 2 繰返しせん断試験による拘束圧依存性の確認

単調せん断試験により得られた有効応力経路図を、拘束圧で正規化したグラフを図 3 に示す。図 3 から、どの拘束圧においても、正規化された応力経路が同様の傾向をとることがわかる。加えて、繰返し載荷時の累積変位量と有効応力比の関係を表したグラフを図 4 に示す。こちらの図においても、各ケースに明確な違いは表れず、高拘束圧に依存しないことが分かった。一方、表 1 に、図 3 から読み取った残留時の有効応力比下限値をまとめた。これを見ると、拘束圧 100kPa の case8 が拘束圧 1000kPa, 500kPa の case6,7 と比較して、残留時の有効応力比下限値が 2 倍近い値となった。したがって高い拘束圧をかけた場合、若干有効応力の低下が進行する可能性があるかと推察される。しかし、この差が地すべりの主要因であるとまでは結論できない。

### 5. まとめ

本研究では、荒砥沢ダム上流部で発生した地すべりの発生要因を調査するため、荒砥沢シルトを対象に非排水三軸試験を実施した。得られた結論を以下に示す。  
(1) 荒砥沢シルトは、高拘束圧下であっても粒子破碎

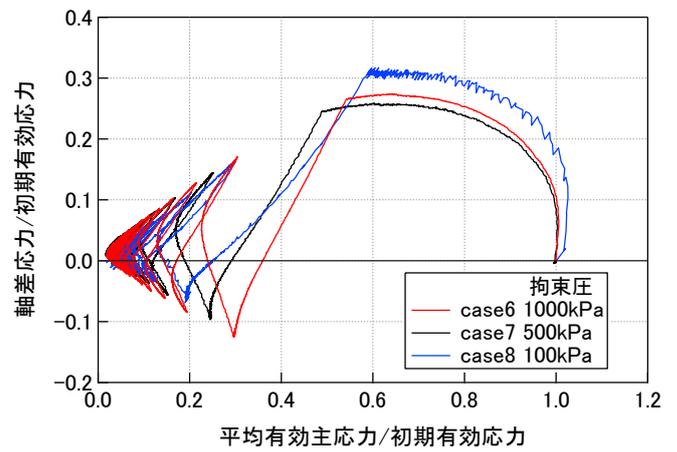


図 3 繰返し載荷における残留状態の有効応力比

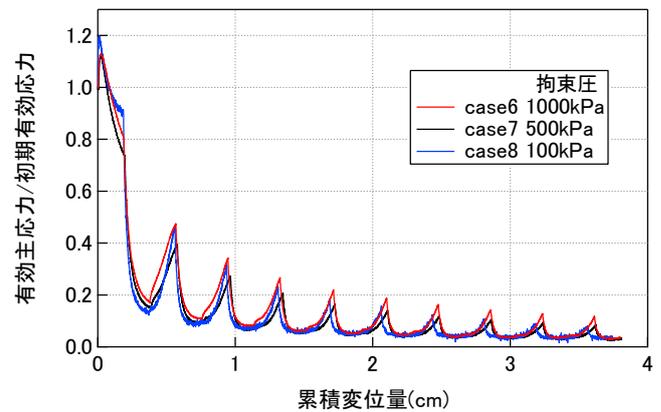


図 4 累積変位量と有効応力比の関係

が発生しない。従って、粒子破碎が地すべりの直接的原因である可能性は低い。

(2) 単調せん断試験の結果から、圧密圧力に応じた圧縮がせん断前に生じていた場合は、荒砥沢シルトに拘束圧の依存性はないことが確認された。一方、圧密後の密度が同程度であった場合、高拘束圧ほど有効応力が低下する傾向がある。

(3) 繰返しせん断試験の結果から、高拘束圧ほど有効応力の低下が若干進行する結果となった。

(4) (2), (3)の結果から、せん断前の密度が同程度である場合、高い拘束圧ほど有効応力が低下する可能性があることが示唆された。しかし、この圧縮性の違いから、地すべりの主要因であるとまでは結論できない。

### 6. 参考文献

- 1) 風間基樹, 森友宏, 株木宏明, 松井哲志: 荒砥沢ダム上流部で発生した地すべりの活動計算とその考察, 日本地震工学論文集 第 11 巻, 第 5 号 pp.68-79. 2011.
- 2) 萩原敏行, 北澤浩二, 日下部治: 砂礫土の高圧下での粒子破碎と粘着力の発達について, 土木学会論文集 No.541, pp47-55.1996.