

## 29 リングせん断試験機を用いたレスのクリープ挙動の研究

京都大学防災研究所 ○千代延真・福岡 浩・佐々恭二

### 1.はじめに

地すべり発生に先だって起こるクリープ変形の観測により崩壊時刻を予測する手法は齊藤・上沢 (1960) の発表以来、さまざまなクリープ変形式を用いた予測法が発表され (土屋・大村, 1988)、各々の有用性が示されてきた。しかし、これらの予測法のほとんどはクリープ曲線の形に注目して予測するもので、実用的だがクリープ破壊の力学的な検討は十分にされていない。本研究では、リングせん断試験機を用いてクリープ破壊の実験を実施し、土試料における過圧密比 (OCR) の違いによるクリープ破壊挙動の差異からクリープ破壊の力学的解釈を試みたものである。リングせん断試験機を用いた理由は、三軸圧縮試験と異なり直接せん断であるため実際の地すべりに近い状態が再現できること、およびせん断面が1つのドーナツ型であり、せん断面積がせん断中一定に保たれるため一面せん断試験よりも応力条件を保ちやすいことの2点からである。試料は地すべりが多発する中国黄土高原のレスを用いた。

### 2.実験方法

用いた試験機の制御・計測システムについてはShoaei and Sassa (1993)、佐々・福岡 (1995) に詳しい。供試体は中国・西安のレスを4.7mmのふるいにかけてのものを用い、実験は以下の手順で行った。

(1) 気乾状態の供試体をせん断箱に投入、所定の応力で圧密する。(2) 垂直応力を1.0kgf/cm<sup>2</sup>に保ち、初期せん断応力を与えて変位が止まるまで待つ。(3) さらにせん断応力を24時間で0.20kgf/cm<sup>2</sup>の一定載荷速度で連続的に増大させる。(4) 破壊後、せん断速度が15cm/secに達すると自動的にせん断応力を除荷する (図1)。

なお、計測に関してはサンプリング間隔が0.081秒で、破壊前5000個分のデータ (403sec) を保存するため、破壊の403秒前を0秒とし、その時点をせん断変位0mm、垂直変位0mmとした。今回、2回の実験 (Test 1, Test 2) を行った。OCRはTest 1が1.0、Test 2が4.0である。

### 3.実験結果

図2は正規圧密(OCR=1.0)で行ったTest 1の結果である。せん断抵抗が0.90kgf/cm<sup>2</sup>に達したところで破壊した。破壊時に体積が収縮し、垂直変位に伴うサイドフリクションの変化に垂直応力のサーボ制御が追いつかず、垂直応力、せん断抵抗ともに一度大きくふらいた。せん断変位は、はじめ3次クリープ的な曲線を描くが、応力のふらつきが収まった397秒以降は加速が悪くなり傾きが緩やかになった。

次に、OCR=4.0で行ったTest 2の結果を図3に示す。せん断抵抗のピークは1.02kgf/cm<sup>2</sup>であるが、破壊時に、0.80kgf/cm<sup>2</sup>まで低下した。垂直応力はTest 1同様、体積収縮によりいったん下がるが、すぐに元の値に戻っており、Test 1と異なり、せん断変位は加速し続けた。

両者を比較すると過圧密の方が破壊後の加速度は大きくなっている (図4)。この差は破壊後のせん断抵抗の低下が正規圧密では小さいのに対し、過圧密ではピーク強度からの低下が大きかったためと考えられる (図5)。

さらに、Test 1, Test 2の微小な範囲での変位を比較するために130秒以降の1cmまでの変位を同一グラフ上にプロットした (図6)。Test 1では変位の急増点 (破壊) 直前までほとんどクリープ的な変位がみられないのに対して、Test 2では130秒以降変位し続けており、クリープ変

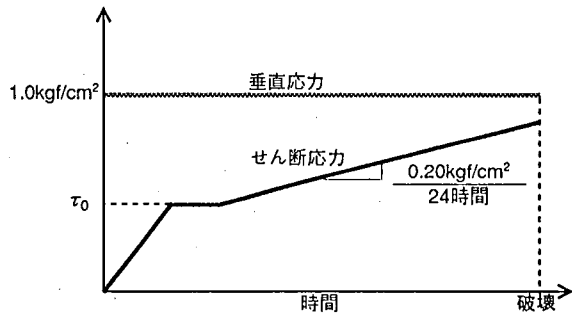


図1. 実験で与える応力の経時変化の模式図。

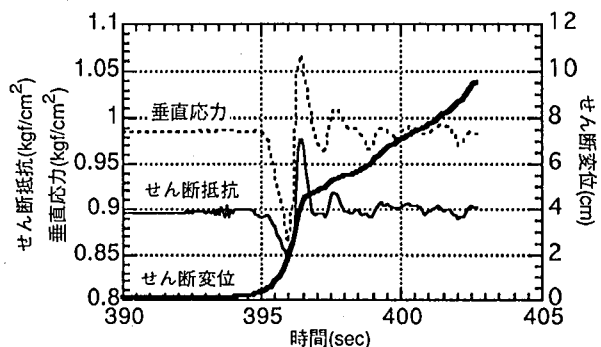


図2. Test 1の3次クリープ曲線と  $\sigma, \tau$ .

位の時間がTest 1と比べ格段に長くなっている。過圧密の土層では、土層のある部分で破壊が生じることにより、その部分が受け持っていたせん断抵抗力が小さくなり、そのために他の部分（特に隣接部分）にかかるせん断応力が増大し、さらにそこで破壊が起こるとい、いわゆる進行性破壊が起こると考えられている。過圧密のTest 2において破壊前のクリープが顕著に現れていることから、クリープ現象は、土層内の進行性破壊と関係していると考えられる。

#### 4.まとめ

リングせん断試験機を用いたレスのクリープ破壊実験から以下の知見を得た。

- 1) 破壊前のクリープ時間は、土のOCRが大きい方が長くなっており、クリープ変形は土層内での進行性破壊が進むことにより、せん断面が形成されていく過程であると考えられる。
- 2) OCRの違いによる土のピーク強度の変化によって破壊後の加速度に差異がみられることから、破壊に必要なせん断応力（ピーク強度）と破壊後に低下するせん断抵抗（残留強度）との応力差が加速に用いられると考えられる。

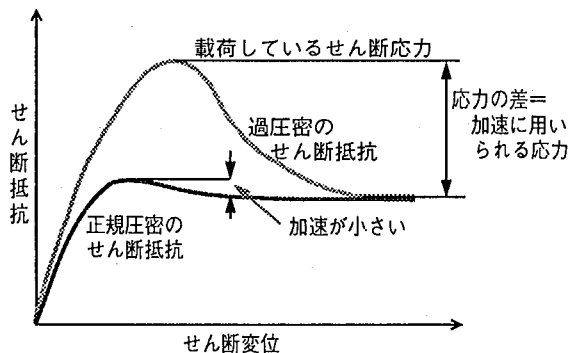


図5. ピーク強度と破壊後低下するせん断抵抗の応力差の概念図。

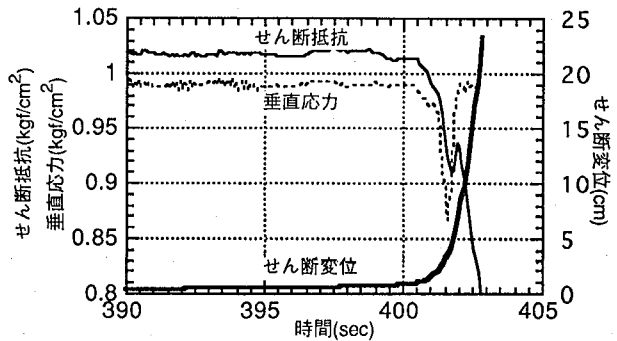


図3. Test 2の3次クリープ曲線と $\sigma$ ,  $\tau$ .

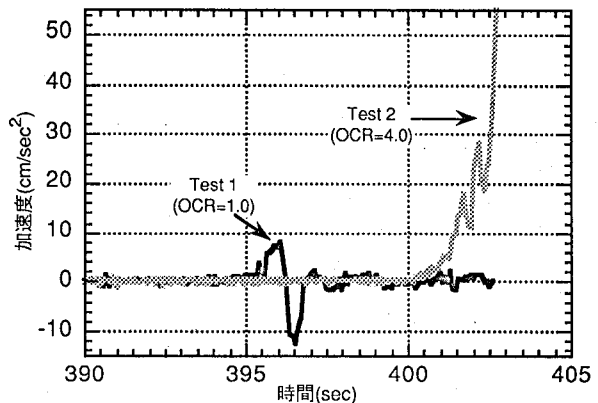


図4. Test 1, Test 2の加速度の比較。

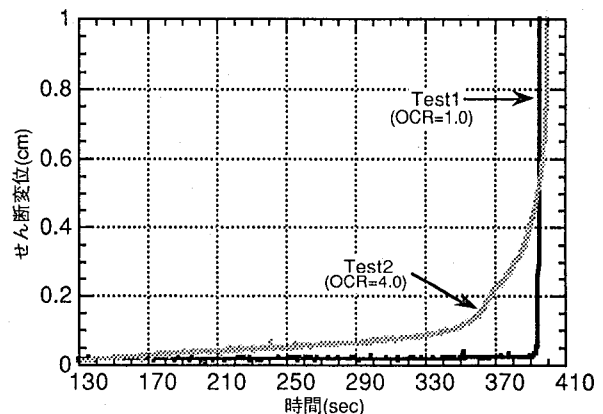


図6. Test 1, Test 2のせん断変位の比較。

#### 参考文献

- 齊藤迪孝・上沢 弘：斜面崩壊の時期の予知，地すべり，Vol. 2, No.2, pp.7-12, 1966.  
 土屋 智・大村 寛：斜面崩壊時刻の予測式とその力学的特徴に関する考察，地すべり，Vol. 25, No.2, pp.2-8, 1988.  
 Shoaie, Z. & K. Sassa：Basic Study on the Shear Behavior of Landslides During Earthquakes -Excess pore pressure generation in the undrained cyclic loading ring shear tests-, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol. 44, Part 1 (No.378), pp.1-43, 1993.  
 佐々恭二・福岡 浩：西宮市仁川地すべりと地震時地すべりの発生予測，兵庫県南部地震等に伴う地すべり・斜面崩壊研究報告書，地すべり学会，pp.145-170, 1995.  
 Kamai, T.: Failure propagation process in landslide clay, Proc. 7th International Conference & Field Workshop on Landslides, pp.234-248, 1993.  
 新井場公德・Z. Shoaie・佐々恭二：リングせん断試験機を用いた土のクリープ破壊の研究，第33回地すべり学会研究発表会講演集，pp.279-282, 1994.  
 大村 寛・土屋 智：すべり面拡大モデルによるクリープ現象の解析，地すべり，Vol. 25, No.1, pp.1-6, 1988.