

# 54 レス地帯における地震による地すべりの発生機構

京都大学防災研究所 ○張 得焯・佐々恭二

## 1. はじめに

第四紀更新世に風で運ばれ堆積したレスは中国、ヨーロッパ、北米、北アフリカ、ニュージーランドなどの地域で広く分布している。レスは侵食を受けやすい性質を持ち、地すべり・土石流などの斜面災害が多いことでよく知られている。一方、レス地帯は地震多発地域であるため、斜面災害のかなりの部分が、地震により発生したものである。例えば1920年12月16日に中国で発生した海原地震の際に無数の地すべりが発生し、それによって10万人が亡くなり、世界最大級の斜面災害と言われている。また、タジク共和国の首都ドウシャンベ (Dushanbe) の付近では、1989年1月23日に起きたM=5.9の地震の時に、レスで構成された非常に緩やかな斜面で多数の大規模な流動性地すべりが発生した。それによって数十戸の家屋が泥土に埋まり、270名の犠牲者が出た。このような災害事例から、地震が多発するレス地帯では、地震に伴う地すべりの発生機構を解明することは、この地域の防災のために極めて重要であると考えられる。そこで、発表者らは海原地震時のレス地すべり地から試料を採取し、繰返し非排水リングせん断試験機<sup>1)</sup>を用いて地震時のレス地すべりの発生機構を実験的に検討したので、それについて報告する。

## 2. 非排水繰返しリングせん断の試験結果

用いた試験方法および結果は次の通りである。

1) 現場で採取した試料を自然乾燥状態でリングせん断試験機のせん断箱に入れた。

2) 炭酸ガスを30分間通した後に20cmの水頭差で脱気水を試料全域にスムーズ上昇していくようにゆっくりと浸透させた。その後、約1.0kgf/cm<sup>2</sup>の背圧をかけ、2時間ほど通水して飽和させた。

3) 圧密完了後、傾斜13°の斜面に相当する初期せん断応力(図-1のI)を排水状態で載荷した。初期せん断応力の載荷によって生じた変形が見られなくなった後、せん断箱を非排水状態にし、一定な振幅の繰返しせん断応力を載荷した。繰返しせん断応力の周期は0.01Hzのサインカーブで与えた。図-1の応力経路を見ると、繰返しせん断応力の載荷とともに、過剰間隙水圧が累加されるために、有効応力は徐々に減少してその有効応力経路は左方に進行し、12サイクルの時(F)に破壊線に到達した。破壊後、さらに大きな過剰間隙水圧が発生し、せん断応力も大幅に低下し、(S)点に到達した。この試験結果から破壊時の内部摩擦角(粘着力を0とすると)は29.5°で、破壊後の最終的な有効応力は初期応力の約1/6まで低下したことがわかる。

図-2の経時変化に注目すると、破壊後では、せん断応力、間隙水圧ともに、ほぼ一定の値になった。すなわち、有効応力、せん断応力一定の下で、せん断変形のみ進行する定常状態(Steady State)となったことがわかる。また、破壊後の試料は停止することがなく高速にせん断し続けていることから、この試験ではレスが非排水せん断力を受けた時に、過剰間隙水圧の上昇によって有効応力が大幅に減少したため、高速の流動性地すべりが再現できたと考えられる。

## 3. 流動性が高い現象と定常状態(Steady State)

地震により発生したレス地すべりは流動性が高いことは、従来の研究において認識されている特徴である。このことから、地震により発生したレス地すべり機構を知る上で、その流動性が高い原因を解明しなければならない。そのために、レスの繰返しせん断時の強度特性を調べることで不十分である。破壊後、すなわち、大変位を受ける時のせん断特性を検討する必要があると考えられる。そこで、リングせん断試験機を用いてレスに

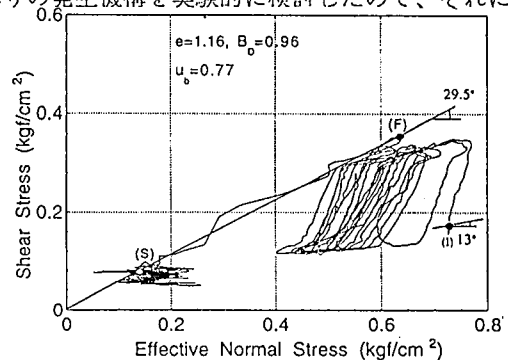


図-1. 非排水繰返しリングせん断の応力経路

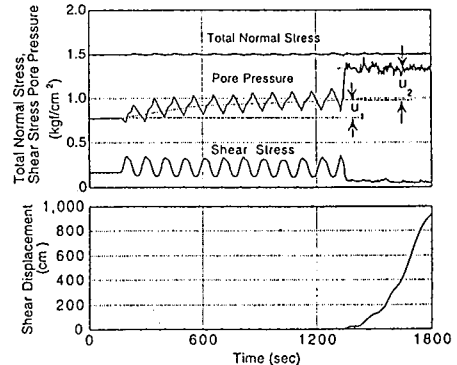


図-2. 非排水リングせん断試験の時間経過

ついて非排水条件の下で数mの大変形を与えた時のせん断強度について調べた。そこで、作製した飽和レスについて、1.0、2.0、3.0kgf/cm<sup>2</sup>の三種の垂直応力の下で試験を行った。試験方法は、まず、所定の垂直応力で正規圧密した後、約0.05cm/secのせん断速度でせん断した。図-3にはせん断応力とせん断距離の関係を0~10cm、10cm~500cmの二段に分けて示し、図-4には、間隙水圧とせん断距離の関係を示した。これらの図を見ると、3回の試験においては、いずれも1cm以内の小さなせん断距離でピークせん断応力を示した。その後、せん断距離の増加とともにせん断応力が低下している。一方、間隙水圧はせん断の開始と共に急激に上昇し、せん断距離の増大につれて増加し続ける。そして、せん断距離が2~3mを越え、せん断応力、間隙水圧ともに一定の値に落ち着いた。すなわち、有効垂直応力一定、せん断応力一定、かつ非排水試験なので体積も一定の条件の下で、せん断変形のみ進行する定常状態となったことがわかる。

またこの図からわかるように定常状態に達した時のせん断強度はかなり小さく、特に垂直応力のより大きな実験(大規模地すべり相当する)での強度低下が著しいことである。実際の地すべり現象においては、地すべり面の応力状態が定常状態に達すれば、地すべり土塊の自重によるせん断応力が、定常状態のせん断強度を少し上回るだけで地すべり変位が進行することになる。この現象がレスの地震時地すべりの流動性が高い原因と考えられる。図-4はこの試験結果の応力経路である。3回の試験とも、比較的大きなピークせん断応力を示した後、ほぼ同じ破壊線に沿って有効応力、せん断応力が減少し、非常に小さい応力状態に達した。定常応力時の見かけの摩擦角を求めると、3回の試験では同じ6.5度の線上にほぼ乗っていることがわかる。また、この状態は一定の応力の下で、せん断変位のみ進行する状態、斜面勾配が見かけの摩擦角6.5度より少し上回るだけで地すべり変位が進行する。斜面勾配がこれよりかなり大きくなると、地すべり土塊の加速が大きくなり高速的な地すべりになる。従って、流動性の高い地すべりの運動機構を説明できると考える。

図-5は異なった過圧密比で作成した試料の試験の応力経路である。この図を見ると、せん断し始めた時からピークせん断応力に達するまでの間の応力経路は過圧密と正規圧密が明らかに異なっている。つまり、この段階のせん断強度が土の初期構造(締固め度合)に影響されることが認められる。その後、有効応力経路が急に方向を変え、有効応力が減少した。そして、破壊包絡線に到達した後、さらに破壊包絡線に沿って有効応力が低下した。最終的な定常状態に達した点は、正規圧密試料と同じ値を示した。すなわち、定常状態に達した時の見かけの摩擦角が過圧密比に無関係であることを示している。言い換えれば、定常状態時の見かけの摩擦角は、大変形の進行中にせん断ゾーンで形成された新しい土構造の強度であり、当初の土構造には影響されず、粒子材料の性状のみに支配されるものである。

引用文献: 1) 張得宣・竹内篤雄・佐々恭二: 1920年海原地震時の際に発生したレス地すべりの運動特性, 地すべり, Vol. 32, No. 1, pp. 12-17, 1995 2) 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.

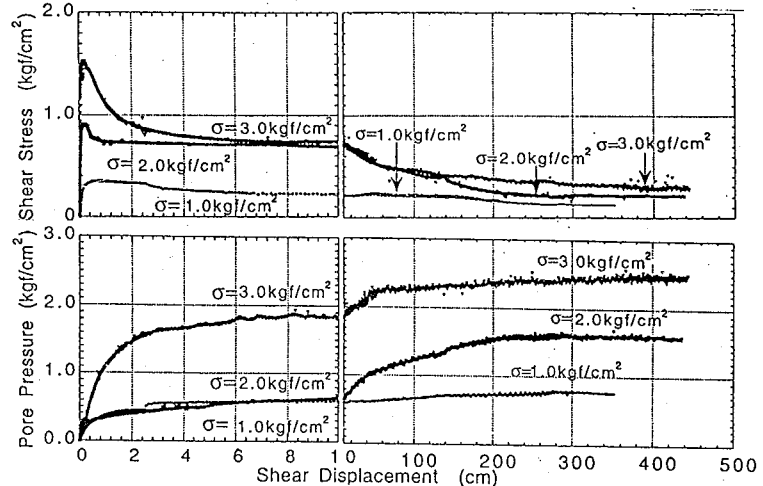


図-3. 非排水リングせん断試験の間隙水圧、せん断応力とせん断距離の関係

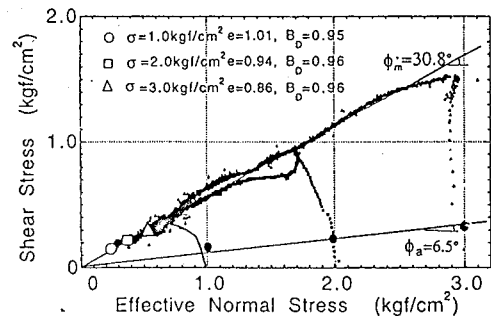


図-4. 圧密非排水リングせん断試験の応力経路

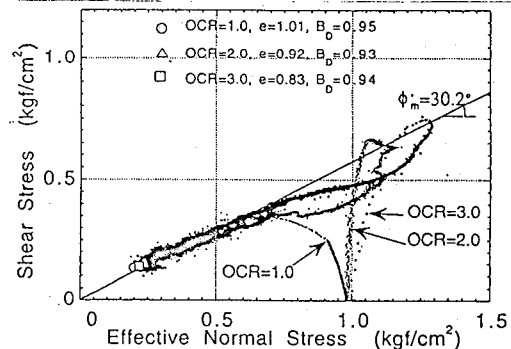


図-5. 異なった過圧密の下での応力経路