

1. はじめに

兵庫県南部地震では、34人の死者が出た西宮市仁川の地すべりほか、阪神間の住宅地で多数の地すべりが発生した。地震は土層に速い応力変化を与えるため、非排水せん断状態になる。佐々は地震時地すべりを再現することを目的として、先に繰返し载荷リングせん断試験機を開発し、御岳山の大崩壊や1995年の仁川地すべりなどに適用してきたが、この試験機は0.1Hz程度の周波数しか载荷・データ収録できなかった。兵庫県南部地震を契機として、地震時の地すべりの研究の必要性が認識されたことから、地震の実波形（～5Hz）での载荷・制御・データ収録のできる試験機を開発し、仁川地すべりで採取した大阪層群の砂質土試料で試験を行った。

2. 試験機の構造 斜面土層内のすべり面にかかる土層の自重と地震力を図1に示すリング状のサンプルにおおの垂直応力成分とせん断応力成分に分けて载荷する。この時、垂直応力のみでなく、せん断力もはトルク制御モーターを用いて、応力制御で载荷する。したがって、破壊が生じ、もし破壊後に強度低下が生じれば、高速のせん断が再現できる。せん断箱は非排水状態を保つ必要があるため、せん断面のエッジには合成ゴムが取り付けられており、サーボ制御で一定の圧力で接触させることによりせん断中も非排水状態を保つことが出来る。また、間隙水圧はせん断面の2mm上に溝を切り、これに3層のフィルターを被せることにより、水圧を外へ取り出し間隙水圧を測定している。図2は試験機と制御・収録・監視システムの全景であり、全高5.1mである。このままでは使用しにくいので、試験機の半分を地下に入れて用いている。試験機の制御はコンピューターにあらかじめ再現したい応力波形を入力しておき、これを垂直応力に関しては、装置上部に取り付けられた油圧ピストンに指令を送り、サーボシステムにより指令通りの応力が载荷されるよう自動制御される。せん断応力についても同様であり、制御信号と実際にかかっているトルクの差を検出して自動的に制御される。また、せん断箱上下のギャップは1/1000mmの精度で常に一定になるように油圧サーボピストンで制御されている。

3. 仁川地すべりへの適用 図3は仁川地すべりにもっとも近い地震観測点であったJR宝塚駅で観測された3成分（上下、南北、東西）の地震加速度記録より、仁川の地すべり斜面のすべり面の深さと方向に作用したと推定される垂直応力とせん断応力を算出したものである（活断層からの距離が近いこと、盛土であることを考慮して、観測加速度を2.1倍して用いている）。この応力を試験機に与えて地すべりの再現試験を行った。図4上の経時変化をみると、地震力が载荷後、直ちに移動が始まり、地震のピークが済んでからも次第に加速していき、高速の地すべりが発生することが実験的に再現出来た。間隙水圧は载荷と同時に大幅に上昇し、地震波形が小さくなってからも次第に上昇している。移動が生じるとせん断ゾーンで粒子破碎が生じ、粒子破碎が生じると体積収縮により間隙水圧が生じるので、地震力が小さくても間隙水圧の上昇と運動の加速が継続したと考えられる。有効応力経路（実線）を見ると、载荷が始まると大きく経路が振れているが、直ぐに破壊線上に移行し、破壊線上を下がってきている。すなわち地震力の载荷により間隙水圧が発生し、すべり面の強度が非常に小さい状態、「すべり面液状化」が発生している。载荷している垂直応力  $\sigma_0$  に対して運動時に発揮され

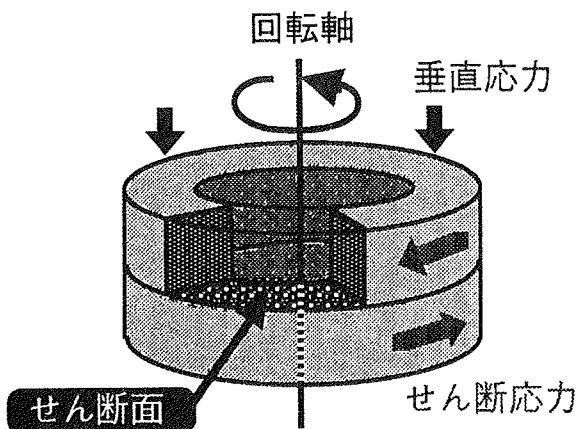


図1 リングせん断模式図

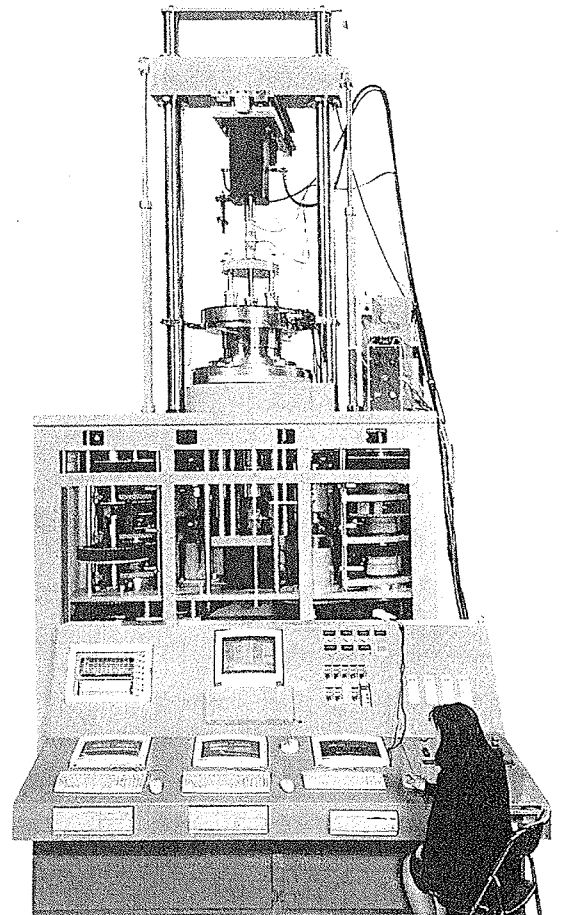


図2 地震時地すべり再現試験機の全景

る。載荷している垂直応力 $\sigma_0$ に対して運動時に発揮されている摩擦抵抗 $(\tau_m)$ はかなり小さく、 $\tan \phi_a = \tau_m / \sigma$ の関係より得られる見かけの摩擦角 $(\phi_a)$ は、 $6.1^\circ$ とかなり低い値になる。見かけの摩擦角は移動するかどうかの限界の勾配を示すので、約 $20^\circ$ の仁川の斜面で、地すべり運動が高速になることは、この応力経路からも説明できる。

参考文献：

Sassa: 第6回ISL特別講演「Access to the dynamics of landslides during earthquakes by a new cyclic loading ring shear apparatus」. "Landslides," Balkema, pp.1919-1939, 1996.

佐々恭二・福岡 浩・汪 発武：地震時地すべり再現試験機の開発，第36回地すべり学会研究発表会概要集，pp. 223-224, 1997.

佐々恭二・福岡 浩・汪 発武：地震時地すべり再現試験機の開発と観測波形載荷，第2回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集，pp.255-256, 1997.

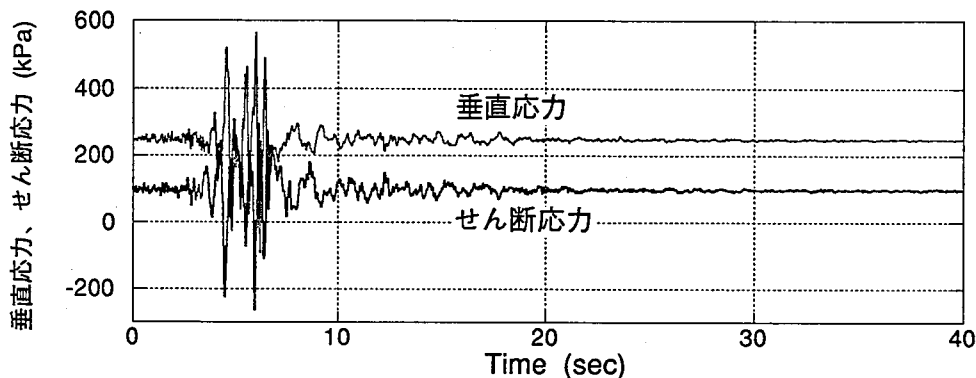


図3 載荷した垂直応力とせん断応力

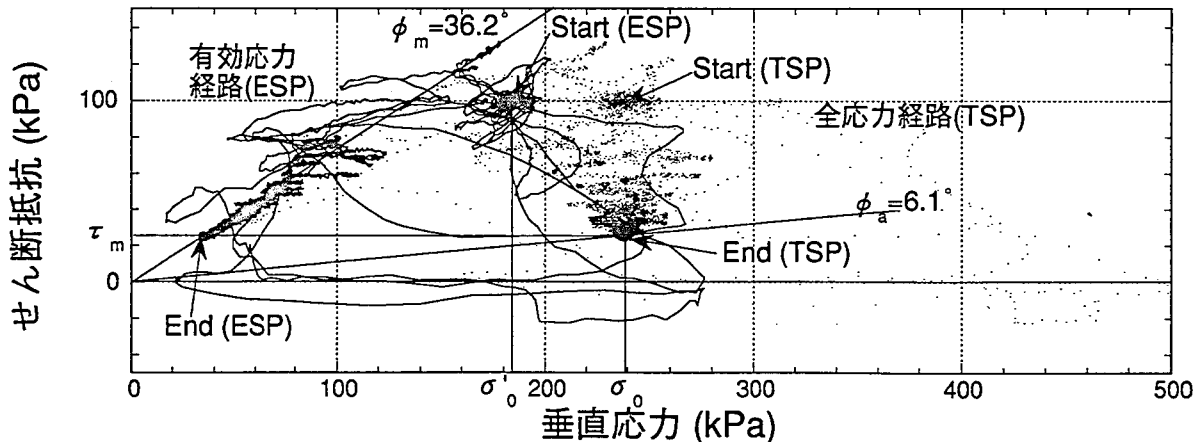
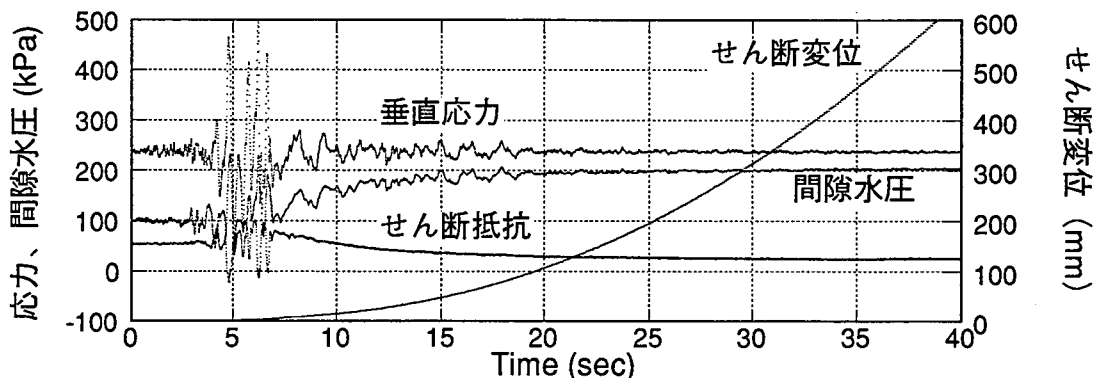


図4 JR宝塚駅の観測地震加速度波形を用いて、仁川地すべり斜面から採取した試料に適用した結果 (上：経時変化，下：応力経路)