

52 兵庫県南部地震時に発生した宝塚ゴルフ場地すべりの非排水載荷リングせん断試験による長距離運動機構の研究

京都大学防災研究所 ○福岡 浩・佐々恭二

1. はじめに

兵庫県南部地震で発生した宝塚ゴルフ場地すべり(図1)は推定土量2~3万立米で大きくはないが運動距離は約80mで高速運動した。土塊先端部では芝生を巻き込んだ形状が見られ、また土塊が到達していない地盤でも押されて表面はしわがよったような状況を示していた。その後、同ゴルフクラブの好意で測量・簡易貫入試験によるすべり面深度調査、先端部の縦断・横断方向のトレンチ調査を実施することができた。図2に調査結果から縦断面図を示す。滑落崖上端から先端までを結ぶ線の傾斜、すなわち見かけの摩擦角は 10.6° となり長距離運動地すべりであることがわかる。図3はトレンチ等の結果から推定した先端部の縦断模式図である。せん断面は2~3mの深さの飽和層内に形成され、かつ土塊前面に抉った土砂を押し出ししながら進んだ。また、運動経路の地盤は大阪層群主体の土による谷埋め盛土であり、トレンチ内の土が青灰色(還元状態)だったことから地下水水位は常に浅く飽和度は高かったと推定された。そこで地すべり運動時に地下水水面付近で佐々の「Self-Undrained Loading」すなわち過剰間隙水圧が発生したことによる見かけの摩擦角の低下が長距離運動の原因と考え、先端部のトレンチの底、図3の「Sample」と記した場所からせん断されていないゴルフコースの土を採取し非排水載荷リングせん断試験を実施した。

2. 非排水載荷リングせん断試験

非排水載荷リングせん断試験は図4(上・中)のように地すべり土塊が移動して来て載荷した時の地盤内の地下水水位の位置の土が非排水条件下で発揮するせん断強度を測定する。試験の手順は、1)土かぶり圧に相当する応力で圧密した飽和攪乱試料を排水条件・一定速度でせん断し、2)残留強度になったところ(図4(下)のA)で非排水条件に切り替え、3)地すべり土塊の厚さに相当する垂直応力($\Delta\sigma$)を載荷し、発生する過剰間隙水圧(Δu)と発揮されるせん断抵抗を測定し、見かけの摩擦角(図4(下)の原点とBを結ぶ直線の傾き= ϕ_a)を求める。その後排水条件に再び戻し過剰間隙水圧を消散させた後、垂直応力を下げ破壊線を求めた。

図5に $\Delta\sigma$ 載荷以後の応力経路を示す。A→B→Cは全応力経路、A→B'→C→Dは有効応力経路である。



図1 宝塚ゴルフ場地すべりの全景(産経新聞社による)

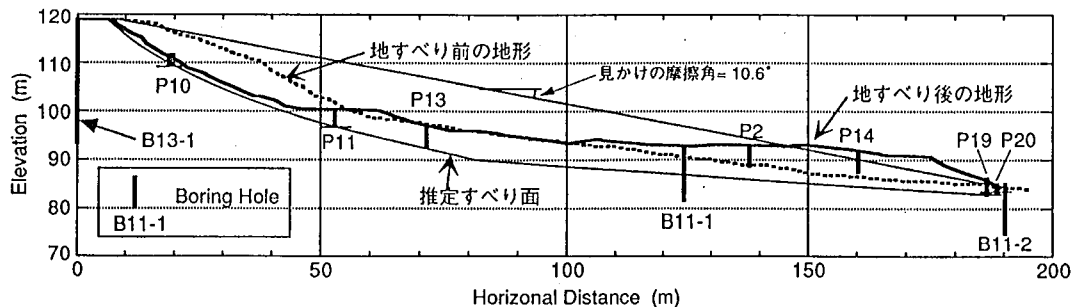


図2 宝塚ゴルフ場地すべりの縦断面図と見かけの摩擦角(10.5°)。P2~P20は簡易貫入試験のピット位置を表し、すべり面の位置は簡易貫入試験の結果から推定した。

A→B'→Cの有効応力経路が直線的に昇って行かなかったのは試料の透水性が低い事による間隙水圧計測上の遅延のためと思われる。排水条件に切り替える(B, B')と過剰間隙水圧の発散とともに全応力経路はまっすぐ上方(B→C)へと動き、C点で間隙水圧は0となり有効応力経路と出会い、 28.8° の破壊線に到達した。その後、排水条件のまま垂直応力をゆっくり減少させ、破壊線を求めた。C→Dはその有効応力経路である。応力経路がわずかに破壊線の上側をたどっているのは除荷過程なので負の間隙水圧が発生したためである。

見かけの摩擦角 ϕ_a は図5の原点と荷重過程の全応力経路の終端(B)とを結ぶ直線の傾きで 8.9° であり、ゴルフコースの平均傾斜(6.2°)より大きい、本地すべりの見かけの摩擦角(10.6°)よりずっと小さい。図6では源頭部で地すべり発生時に発揮された見かけの摩擦角についてはまだ試験が実施されていないので不明であるが、今回試験で得られた 6.2° の見かけの摩擦角とSelf-Undrained Loadingモデルは宝塚ゴルフ場地すべりの高速長距離運動を十分説明し得る。

参考文献

- 1) Sassa, K. (1992): Landslide volume-apparent friction relationship in the case of rapid loading on alluvial deposits, International Newsletter "Landslide News", No.6, pp.16-19.
- 2) Sassa, K., H. Fukuoka, J.H. Lee, and D.X. Zhang (1994): Prediction of landslide motion in Lishan, China based on self-undrained loading theory and measurement of geotechnical parameters using a new undrained ring shear apparatus, Proc. The North-East Asia Symposium and Field Workshop on Landslides and Debris Flows, pp. 143-175.
- 3) Lee, J.H. and K. Sassa (1995): A study on the apparent friction angle mobilized during the undrained loading in long run-out landslides. Bull., Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 45, Part 4: (in print).
- 4) 福岡浩・佐々恭二・G. Scarascia-Mugnozza・S.G. Evans(1995): 宝塚ゴルフ場地すべりの運動機構について、兵庫県南部地震等にもなう地すべり・斜面崩壊研究報告書, 地すべり学会, pp.49-59.
- 5) 福岡浩・佐々恭二・G. Scarascia-Mugnozza (1995): 阪神淡路震災における宝塚ゴルフ場地すべりの長距離運動機構, 第34回地すべり学会研究発表講演集, pp.37-40.

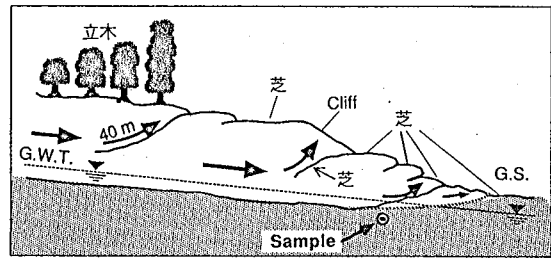


図3 トレンチ調査による先端部の縦断模式図と土試料採取位置。

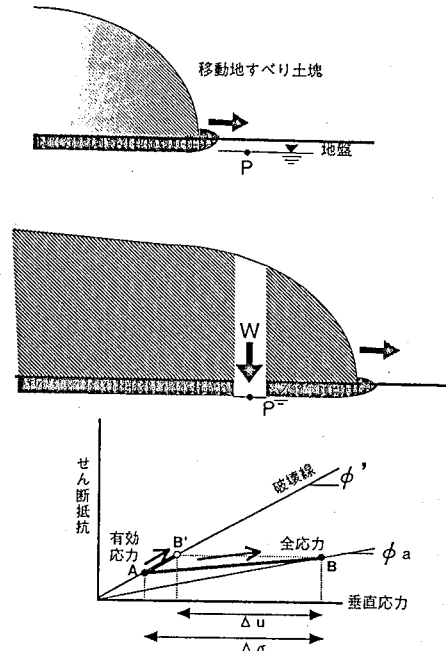


図4 地すべり土塊が地盤内の地下水面の点Pに荷重した場合の模式図(上・中)と非排水荷重リングせん断試験の応力経路の模式図(下段)。

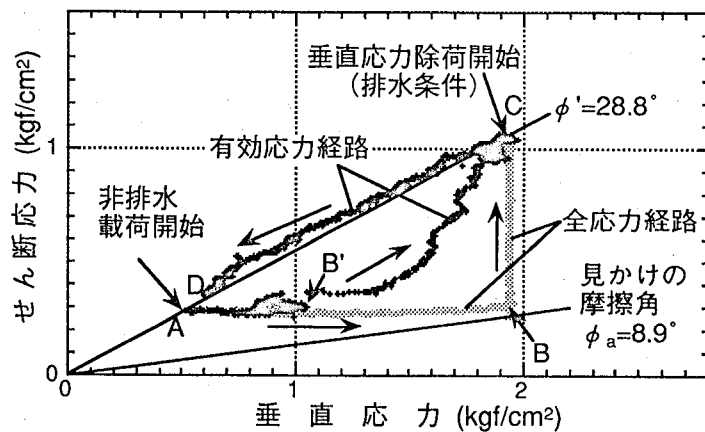


図5 非排水荷重リングせん断試験の応力経路図と見かけの摩擦角 ϕ_a 。