

## 53 地震時地盤崩壊災害危険斜面の判定

京都大学防災研究所 佐々恭二

1. はじめに：1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、冬の渇水期の地盤のもっとも安定した時期であったが、地震が住宅の密集する都市域であったため多くの災害を引き起こした<sup>1)</sup>。なかでも西宮市仁川地区の地すべりは死者34人の被害を出す大災害となった。日本では地すべり (Landslide) が狭い意味で使われるので、斜面での地盤崩壊災害すなわち地すべり・斜面崩壊・斜面液状化・落石のなかで特に災害が巨大化するものについて検討する。

2. 西宮市仁川地すべりとその調査結果：図1は兵庫県南部地震で発生した西宮市仁川地すべりの中央断面図である。斜面は約20度の比較的緩斜面であるが、平均で10度前後の低い見かけの摩擦角を持つ高速の高い運動性を示す地すべりとなった。図2は、すべり面直上の地すべり土塊から採取した土 (大阪層群の砂質土) について、繰り返し載荷リングせん断試験機を用いてすべり面にかかる斜面土層の自重に相当する応力を排水状態で初期応力として与え (Start点)、その後、地震力に相当する繰り返しせん断応力を非排水状態で徐々に振幅を増大させた時の試験結果である。破壊は31.0度の破壊線上で生じ高速のせん断が始まり、せん断変位の増大とともに高い過剰間隙水圧が発生して8.5度の見かけの摩擦角の応力点で定常状態 (Steady State) に達した。この現象は図3-1、図3-2に模式的に示すように、破壊後せん断の進行に伴いすべり面で粒子破砕が生じて土層構造の体積が収縮するため、過剰間隙水圧が発生する現象 (すべり面液状化) と推定された<sup>1) 2) 3)</sup>。この現象は通常の液状化と異なり、せん断応力増大時に負の間隙水圧の発生するような密な状態の砂でも発生し、かつ必ず破壊線に到達してから過剰間隙水圧の発生が始まる (通常の液状化では破壊線に到達する前に過剰間隙水圧が発生する)。

3. すべり面液状化の発生機構の定常状態線を用いた説明：非排水せん断を行った時に応力・間隙水圧の変化なし変形のみが進行する定常状態線は、粒度分布により変化し均等係数が高くなるとその位置は低下する。図4はカナダのアルバータ大学において三軸圧縮試験機を用いて行った定常状態線に関する実験結果である<sup>4)</sup>。石英砂の平均粒径を同じに保ちつつ均等係数を変化させた場合の定常状態線を求めたものであり、均等係数が高いほどすなわち粒径範囲が広がると定常状態線が下へ移行している。一般に比較的粒径の揃った材料が壊れて細粒部ができると均等係数は高くなる。したがって同じ拘束圧の下では体積が収縮し、同じ間隙比の下では拘束圧が減少する。図2、図3のように応力が破壊線に到達してすべり面が形成され、非排水状態の下ですべりゾーンの粒子が次第に壊れてその部分の均等係数が増大する場合の応力変化は、図4のA1-A2-A3-A4のようになる。すなわち、初期状態が密な場合には有効応力が増大して破壊時の (初期の均等係数  $U_{c0}$  における) 定常状態線に到達して破壊する (A1-A2)。粒子破砕が生じ、均等係数が高くなると、その粒度分布での定常状態線  $U_{cg}$  まで応力が移行する (A2-A3)。そしてそれ以下の応力では粒子破砕が生じない点で最終的な定常状態線 ( $U_{cu}$ ) に達する (A3-A4)。A4が図2上では見かけの摩擦角8.5度の応力点に相当する。

4. 地震時地盤崩壊災害危険斜面の判定について：地震時地すべり・斜面崩壊危険度の判定法として定量的な方法は地震時斜面安定解析である。地震時斜面案的解析方には、1) ピーク強度に基づく方法 (Serma & Barbosa 1985, Seed & Martin 1966, Ishihara et al 1986) 2) 変位に基づく方法 (Newmark 1965, Seed 1978, Ambraseys & Srbulov 1994) 3) 定常状態強度に基づく方法 (Castro et al 1985, Ishihara 1993, Robertson 1995)、4) 見かけの摩擦角に基づく方法 (Sassa 1996) があり、Sassa 1996<sup>5)</sup> の中で紹介されている。4) は3) と基本的に同じ考え方であるが、3) が飽和度のみを対象とし、また速度によるエネルギー損失を考慮に入れていないのに対し、4) は不飽和・部分飽和も対象にしていること、破壊後のせん断抵抗の中身はまだ明確ではないと考え見かけの摩擦角として表現している点が異なる。

大きな地盤崩壊災害を引き起こすのは、斜面勾配と破壊後の見かけの摩擦角の差が大きい斜面であり、破壊後の見かけの摩擦角は飽和度、間隙比 (通常の液状化では極めて重要)、粒子の破砕性に依存する。したがって斜面の危険性は場所毎・時期毎に検討しなければならないが、もっとも危険な斜面は、地震と豪雨が重なる確率は少ないので、1) 常時滞水層がある斜面や降雨によりすぐに飽和する斜面 2) 花崗岩や火山性堆積物のようにせん断による粒子が壊れやすい斜面 (逆に粘土層やすでにすべり面で粒子破砕が生じて粘土化した古い地すべりなどは地震時には安全) が挙げられる。

最後に本研究に協力いただいた兵庫県砂防課・西宮土木事務所及び京都大学防災研究所の皆様に感謝いたします。

引用文献 1) 佐々恭二他 (1996) : 第3章地盤災害、3.1はじめに及び3.2地すべり災害、阪神・淡路大震災—防災研究への取り組み—、京都大学防災研究所、pp.172-226。 2) Sassa, K., et al. (1996) : Rapid Landslides;

Distribution, Initiation and Motion. *Soils and Foundations* 兵庫県南部地震特別号, pp.53-64. 3) 佐々恭二 (1996) : 西宮市仁川で発生した地震時高速地すべり、土と基礎44-2, pp.83-85. 4) Matos, M.M.(1988): Mobility of Soil and Rock Avalanches. Ph.D. Thesis, Alberta University, 359 page. 5) Sassa, K.(1996): Prediction of Earthquake Induced Landslides, Special Lecture, Proc. 7th International Symposium on Landslides, Norway, 18 pages.

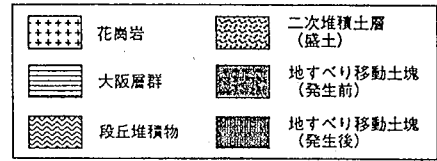
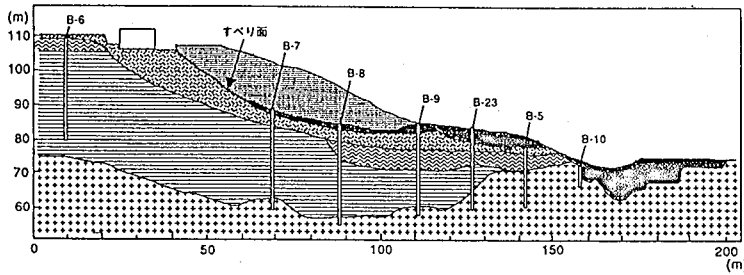


図1 西宮市仁川地すべりの縦断図

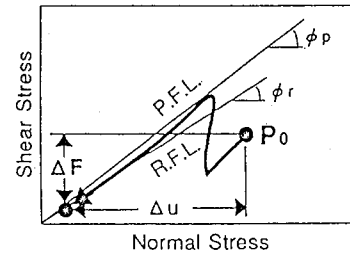
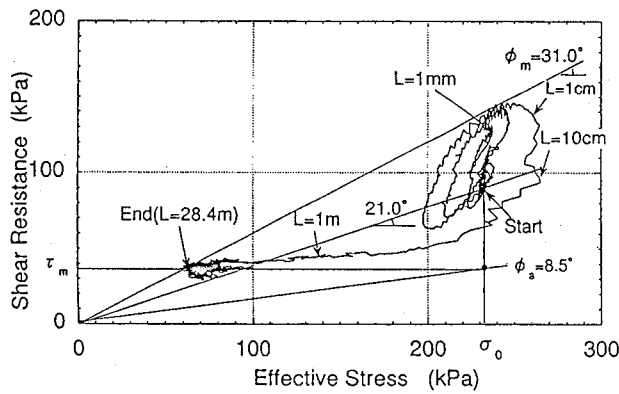


図3-1 すべり面液状化の応力経路模式図 (破壊線到達後に応力が大幅に減少)

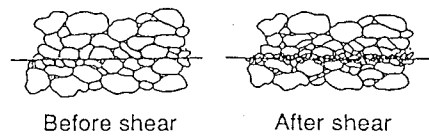
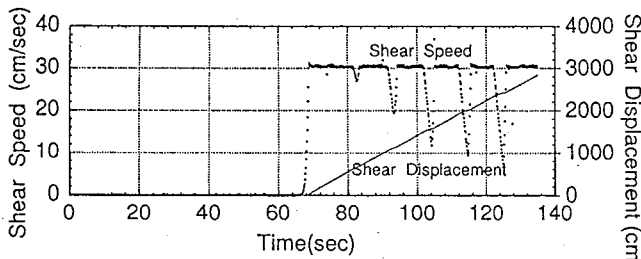


図3-2 すべり面液状化のせん断ゾーンの模式図 (せん断ゾーンで粒子破碎)

図2 非排水繰り返し载荷リングせん断試験の結果

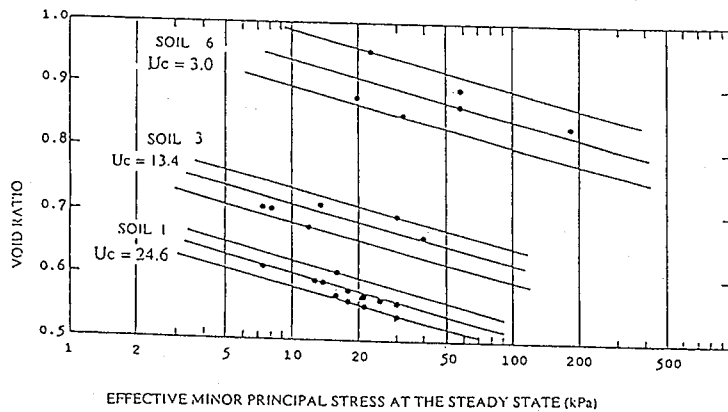


図4 均等係数による定常状態線の変化

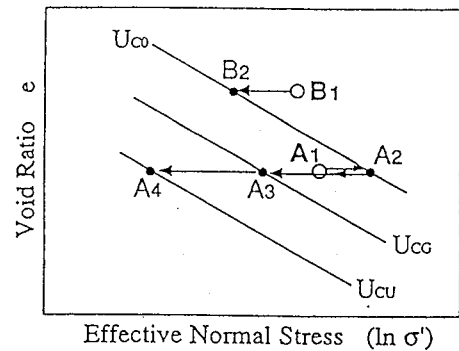


図5 粒子破碎に伴う非排水せん断中の応力変化