

22. 受け盤斜面における崩壊機構の検討

応用地質(株) 上野将司・○市原 健・森川倫人・山本定雄

1. はじめに

一般に層理面や片理面が受け盤構造を示す斜面は安定性が高いと考えられている。しかし、これらの面構造が急傾斜の受け盤斜面において、時として切土のり面崩壊¹⁾や地すべりの発生²⁾が認められる。このような崩壊や地すべりの先駆現象として、地層が転倒するような重力性の岩盤クリープの存在が知られている³⁾⁴⁾。また新津⁵⁾は転倒崩壊の発生条件について、二次元の模式化したブロックの安定問題として検討している。

筆者はいくつかの受け盤斜面において、切土直後に地層の転倒によるのり面変状観察や変状斜面の変位計測を行う機会を得た。これらの結果を総合して、受け盤斜面が崩壊に至るメカニズムについて考察した。

2. 変状、崩壊の調査事例

2. 1 転倒変位の発生例

のり面の切土直後に発生した転倒変位 2 事例について述べる。

事例 1 は、比較的新鮮で硬質な砂岩頁岩互層の切土面 (勾配 1:1.2, 40 度、直高約 30m)、において発生したものである。

切土直後初めてのまとまった降雨である連続雨量 71mm (最大時間雨量 28mm) の翌朝、変状が長さ 11m、幅 20m の範囲で発見された。のり面下部の断層ではさまれたくさび状の部分が前面にせり出し、その上位の地層が細かい逆向きの小崖 (2~5cm) を形成しながら転倒した状況であった。逆向きの小崖の上面および下面にはスリッケンラインが見られ、主に頁岩層が破碎され細片~粘土状を呈していた。

層理面のシュミットネットを図 2 にしめす。転倒した範囲の層理面と転倒していない周囲の地層の層理面とに分けた。両者の違いを転倒による地層面の回転と考えると、転倒によりおよそ 7° 回転していることがわかる。地層の回転角度と回転による変位量 (沈み込み、押し出し) から、三角関数を用いて転倒基部の深度を推定した。

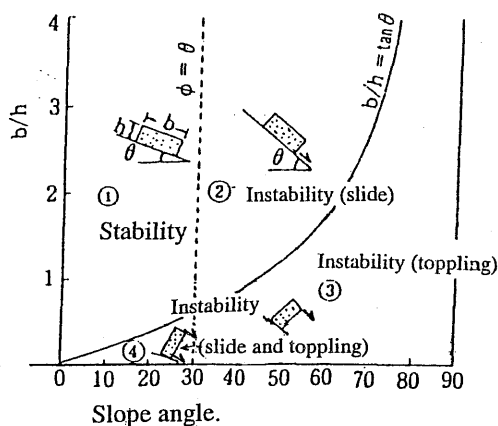


Figure 1. Occurrence area of slide and toppling of block on slope

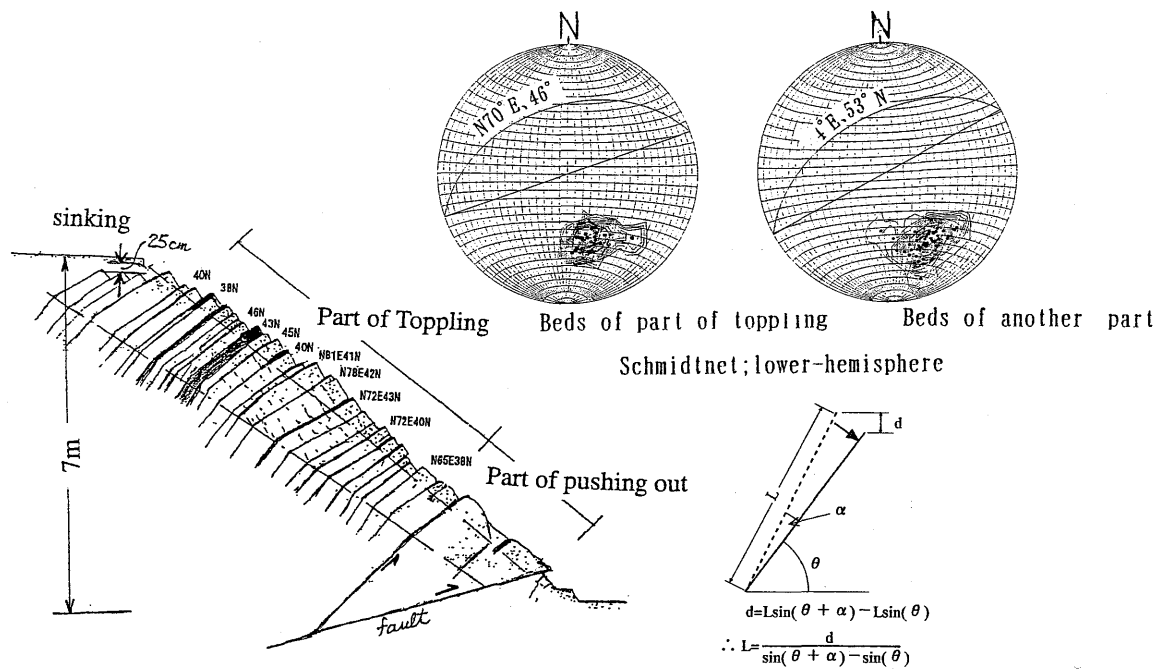


Figure 2. Toppling displacement on cut slope (case 1)

事例 2 はマサ状に風化した花崗岩の切土のり面であり、受け盤となる数枚の薄い変質シームが変位したものである(図 3, 写真 1)。切土のり面には数段の逆向きの小崖(20~30cm)があらわれ、背後の自然斜面では引張りによる開口亀裂を確認した。

このような変状は、自然斜面では長期にわたる斜面変動で形成されるものと考えられているが、切土のり面では急激に応力状態のバランスを崩すことになるので短期間で発生する。この時点では、すべり面となるような一連のせん断面は形成されていないものとする。

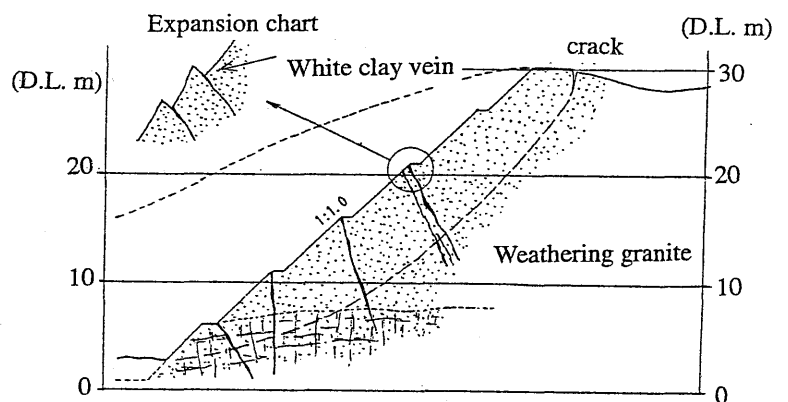


Figure 3. Toppling displacement on cut slope (case 2)

2. 2 開口割れ目に作用する水圧と斜面変動の測定例

開口割れ目へのわずかな流入水がアンカー工で抑止された地すべりを再度不安定化させた事例 ⑥について述べる。和泉層群破碎帯の切土のり面施工中に地すべり変位が発生したため、アンカー工の施工により地すべりを抑止して、平成 11 年 3 月には道路を供用した(図 4)。ところが平成 11 年 6 月末の連続雨量 241 mm の降雨によって地すべり変位が再発生し、アンカー緊張力が次第に増加するようになった。追加のアンカーを打設する余地はなかったことと降雨で再活動したことから、徹底的な排水対策を行う方針がとられた。

既設の集水井から頂部引っ張りクラック発生部に横孔ボーリングを行ったところ、ボーリング掘進のわずかな送水量(毎分約 20 リットル程度)で豪雨と同様な地すべり変位が発生

するに至った(図5)。このため極力送水量を絞って掘進し集水ボーリングを施工した結果、平成11年末には頂部付近の孔内水位は6mの大幅な低下が確認され、以降の降雨時において1年以上地すべり変位はみとめられない。

このように頭部引張り亀裂に作用する間隙水圧は、抑止対策が行われた斜面の安定を左右するほどの大きさであることがわかる。

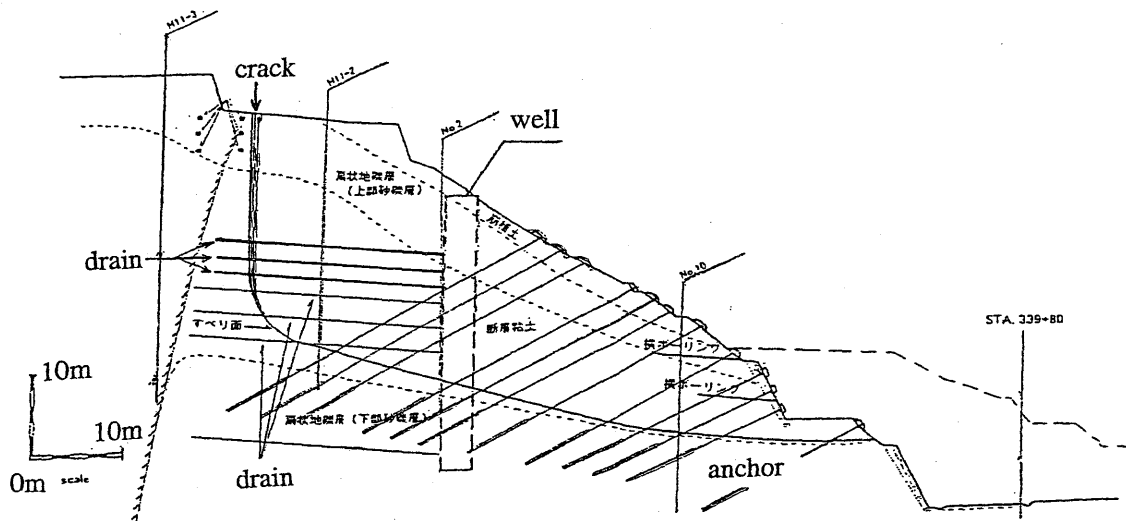


Figure 4. Landslide control by anchors and subsurface drainage works

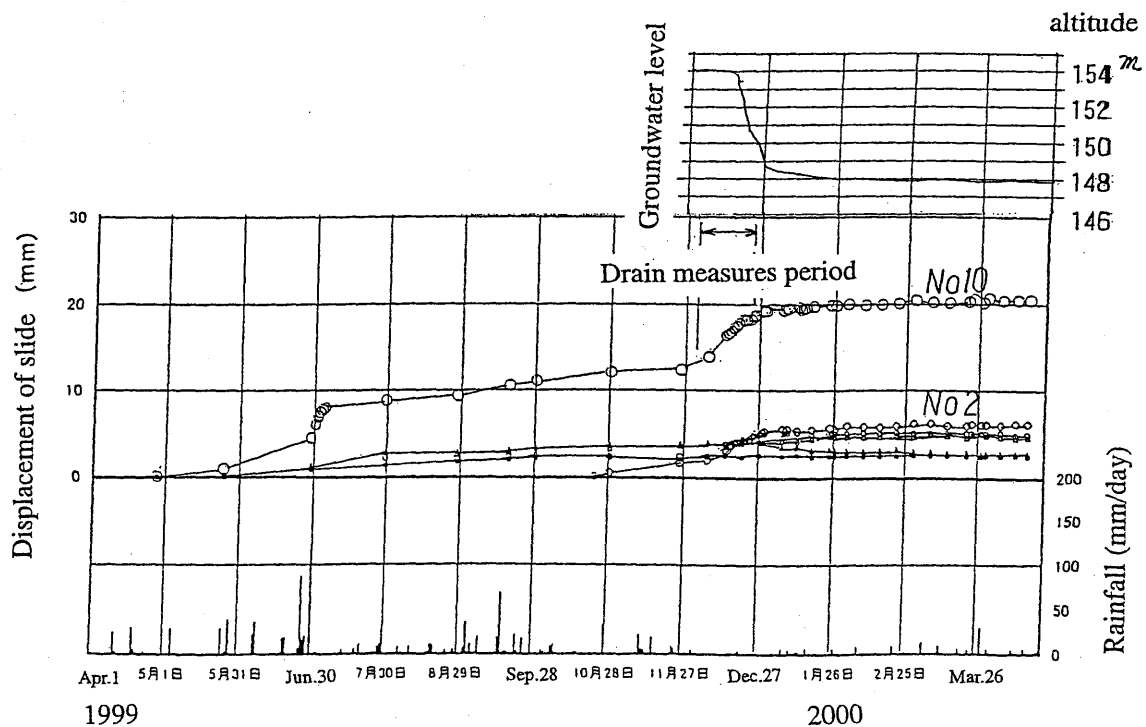


Figure 5. Displacement of slide by inclinometer and change in groundwater level

2. 3 降雨時の崩壊事例

香川県東部の自然斜面において、1970年8月の台風10号の降雨（日雨量122mm）により、斜面末端での小崩壊と斜面中腹の延長10m程度の平行亀裂数本が確認されたため、対策工として表層を整形して法枠工が施行された。その後の点検で1972年11月に標高55mの山頂部で延長40m、最大開口幅50cmの亀裂とこれに平行する2本の亀裂が確認された。このため地すべり伸縮計を設置して地質調査が行われ、対策工の準備が進められていた。

北東向き斜面の地質は和泉層群の砂岩頁岩互層であり、地層の走向傾斜はN80°W, 70~80°Sであることから、急傾斜受け盤である(図6)。崩壊発生前のボーリング調査結果から、崩壊部のコアは土砂~岩片状を呈し、一様に酸化されて黄灰色化していた。不動層のコアも一部で短棒状を呈するが、岩片状コアが主体であり、風化による酸化作用が進んでいる。弾性波探査結果のP波速度値(V_p)として、崩壊部では $V_p=1.0\text{km/s}$ 以下、不動層で $V_p=2.2\text{km/s}$ が得られており、地山全体が緩んだ岩盤であることがわかる。常時の孔内水位は崩壊面付近に位置することを確認している。

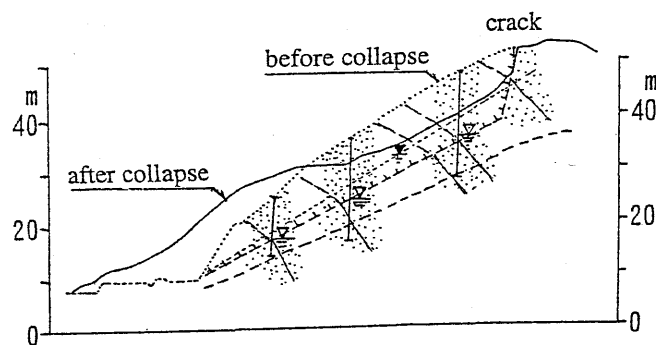


Figure 6. Longitudinal section of the collapsed slope

1974年7月6日午前4時から降り始めた雨は翌7日午前1時に連続雨量381mm（最大時間雨量70mm）に達し、記録的な豪雨となった。斜面の動きは伸縮計でとらえられているが、6日深夜までの動きはまったくなかった。伸縮計の記録は図7に示すとおり6日午後11時20分から急激な変位が発生して翌7日午前1時5分までに195.8mmの移動量が記録されている。その後は伸縮計のワイヤが切断されたために記録がとれていないが、斜面はその5分後の午前1時10分に大崩壊に至った。崩壊規模は60m、斜面長70m、深度13mであった。

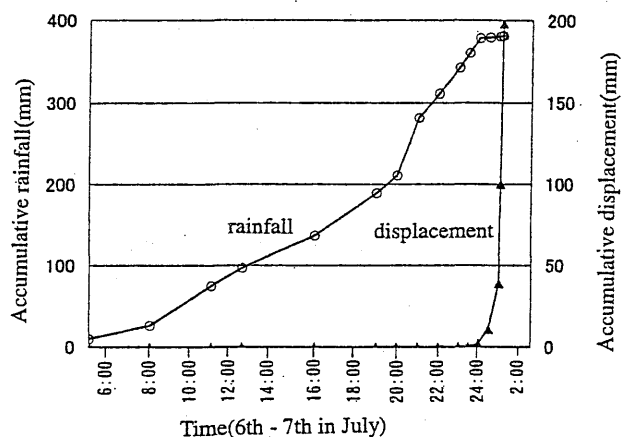


Figure 7. Accumulative rainfall and accumulative displacement until collapse time

以上のように、斜面には崩壊の2年以上前から斜面に平行する数本の亀裂が発生し、深

部まで著しい風化作用を受けていること、地層が急傾斜受け盤であることなどから、斜面には以前から転倒性のクリープ変位が発生していたものと推定する。

3. 崩壊機構の検討

受け盤斜面における転倒性の斜面変状、引張り亀裂に作用する間隙水圧による変位の発生、降雨時の崩壊記録を総合すると次のような崩壊機構が考えられる（図8）。

1) 地層の転倒変位による開口亀裂の発生

地層の転倒変位は自然斜面では長期的で緩慢な斜面変動であるが、切土のり面では短期間で発生する。これに伴い、斜面上部にはいくつかの引張り開口亀裂が発生する。

2) 開口亀裂への雨水流入と間隙水圧の発生

開口亀裂に流入する雨量の水量はわずかでも排水が悪い場合（透水性、亀裂の連続性が悪い場合）には事例に示すように大きな間隙水圧として作用することになる。このような間隙水圧が繰り返すことで亀裂は更に大きく開口して転倒層の基部を破壊（節理面等の引張り破壊）し、斜面は不安定化することになる。

3) 崩壊の発生

転倒層基部の破壊の進行は一連の分離面を形成し、開口亀裂への流入水による間隙水圧を広い範囲で伝播するようになる。最終的に、降雨時には開口亀裂や不安定岩塊底部全域に間隙水圧が作用するようになり崩壊に至るものと考えられる。

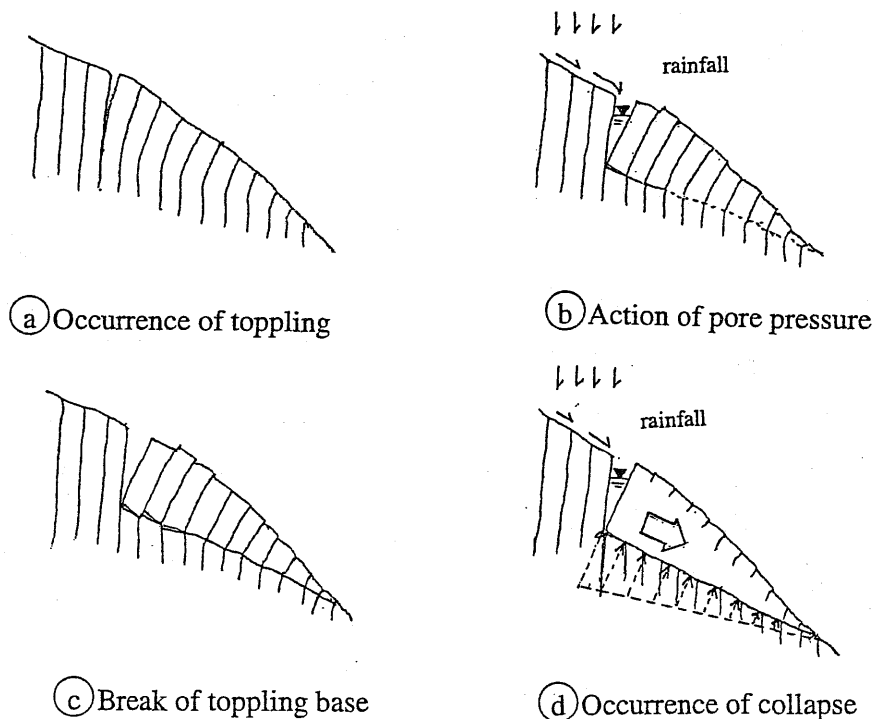


Figure 8. Explanation chart of slope collapse mechanism

4. 結論

いくつかの急傾斜受け盤斜面での調査事例をもとに、崩壊機構について考察した。その結果、重力性の転倒変位に伴う開口亀裂の発生、雨水流入の繰り返しによる不安定化の進行を経て崩壊に至るものと考察した。

しかし崩壊機構には地震の影響を無視することはできない。とくに急傾斜受け盤斜面では影響が大きいものと思われ、間隙水圧と同様に不安定化を促進し崩壊発生の直接的な誘因になるものとする。現実問題としては斜面崩壊の誘因となるような降雨および地震の再来周期は著しく異なるものであり、降雨に対する警戒が重要であろう。

不安定化した受け盤斜面は地質構造や斜面のクリープ現象（線状凹地、開口亀裂の存在等）によって抽出することができる。降雨に対する不安定の程度は開口亀裂の水位変動の大きさにあり、水位変化が大きいものほど大きな水圧が作用し危険な状況にあるものといえる。逆に水位変化の小さいものは亀裂の透水性が良いものであり、地震時に危険な斜面といえよう。

参考文献

- 1) 細木康夫・光田剛史・谷正昭・中川祐司(1999):和泉層群地盤の切土工事における法面崩壊事例について、地盤工学会四国支部平成11年度研究発表会論文集、pp.15-16
- 2) 田辺淳・大津直・雨宮和夫・和田茂(2001):重力曲げ褶曲による硬質頁岩層の斜面変動、北海道知内町尾刺建川線の例、地すべり、第37巻、第4号、pp41-16
- 3) 千木良雅弘(1995):風化と崩壊、近未来社、pp68-88
- 4) 横山俊治・柏木健司(1996):安部川支流関の沢流域の瀬戸川層群に発達する斜面の傾動構造の運動像、応用地質、第37巻、第2号、pp:20-32
- 5) 新津誠(1986):斜面の転倒崩壊、地質学論集、第28号、pp.77-86
- 6) 上野将司・橋野直二・中村晃一(2000):断層破碎帯の地すべり対策例、第39回地すべり学会発表講演集