

63 九州四十帯切取り斜面の岩盤崩壊過程

京都大学防災研究所 ○諏訪 浩・奥西一夫

大阪市立大学文学部 平野昌繁

宮崎県東臼杵郡西郷村山須原の耳川右岸を通過する国道327号線の山側斜面が1990年5月31日に崩壊した。この崩壊は事前に予知されていて、道路は通行止めになっていたもので、幸い人命にかかわるような災害には至らなかった。いっぽう、宮崎県日向土木事務所は斜面のクリープの測定などの調査を続け、同事務所と九州電力(株)宮崎電力所がビデオカメラで崩壊の様子を撮影した。両者に加え、ライト工業(株)の厚意で提供された崩壊記録の検討結果と現地調査結果について報告する。

1. 崩壊に至る経過

崩壊地は日向市から 国道327号線を椎葉村に向けて約30Km西へ入ったところに位置し、崩壊斜面は四十帯古第三紀神門層の輝緑凝灰岩からなる受盤斜面である。道路は以前は県道であったが、1969年に国道に昇格している。国道の改良工事にともない、1988年から1990年の間に図1と図2に示すように斜面の切取りが行われ、1989年に斜面の一部に格子枠コンクリート・ノリ面工が施工された。そして1990年にラス張モルタル吹き付け工の施工中であった。岩体にはもともと大小様々な節理が発達していたが、4月12日に 日雨量162mmという4月としては記録的な降雨のあったあと、4月20日頃にモルタル吹付工の上を含め、顕著な亀裂が認められるようになった(図1参照)。そこで、日向土木事務所では、伸縮計、傾斜計、歪計、光波距離計を駆使して斜面の動きをモニターしていた。崩壊が近づくにつれ、個別的な落石や集合的な崩落が前兆現象として頻発するようになったが、崩壊の前夜からはこの様子を記録にとどめるべくビデオカメラによる撮影が始められた。夜間は録音だけに限られたが、当日早朝以降は崩落の経過が映像記録としても残された。その記録によると、崩壊時刻が近づくにつれ、落石や岩屑の崩落頻度がおおむね増大していったが、一様には増大せず、活発期と静穏期が交互に現れた。そして、崩壊は15時14分53秒に、図2に示すように 河床から高さ110mの斜面の上部(比高約70mの部分)で発生した。切取り斜面の傾斜角は 58° (勾配6.4分)であったが、この崩壊は斜面の脚部に比高70mで傾斜角 35° の崖錐を形成し、危うく耳川を堰止めるところであった。

2. 3次クリープと崩壊直前のクリープ

伸縮計S-3(図1参照)の記録を図3に示すが、このデータから求めた崩壊15分前までの歪速度と崩壊に到るまでの時間の関係を図4(t_R が10分よりも大きい領域のプロット)に示す。この図は、崩壊に至る岩盤のクリープが、斉藤迪孝(1968)の3次クリープ説、すなわち、崩壊時刻が近づくにつれて、2次クリープ斉藤式(1966)の表す曲線に沿って歪速度が増大してゆくとの説にほぼ合致する経過をたどったことを示す。

一方、岩盤が崩落する寸前の20秒間の岩盤の運動をビデオ記録から判読して得られた歪速度の変化を、同じ図の右下方部分に示す。この図から、崩壊直前の岩体の運動もおおむね同じ関係、すなわち歪速度が破壊時間 t_R の減少とともに、 t_R にほぼ反比例して増大してゆくという関係は成立しているものの、斉藤式から予測される歪速度よりもかなり大きな歪速度が出現しており、運動の様相に変化が生じていることをうかがわせる。

伸縮計S-3の変位データを用いて、斉藤(1968)の方法で崩壊時刻を予測すると、図3に示すようになる。4日前以降に予測時刻が実際の崩壊時刻よりかなり遅れたことが分かる。いっぽう福園(198

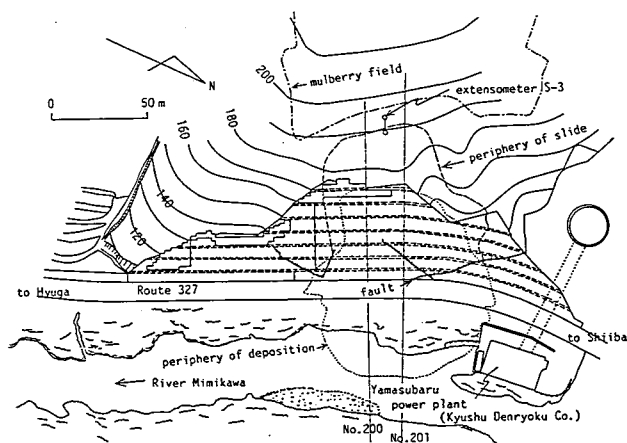


図1. 崩壊地付近の平面図。
滑落崖の輪郭を破線で、
崩落岩屑で形成された
崖錐を点線で示す

図2. 崩壊斜面の断面形。
切取り前の断面形を
鎖線で、崩壊ブロック
の底面を破線で示す

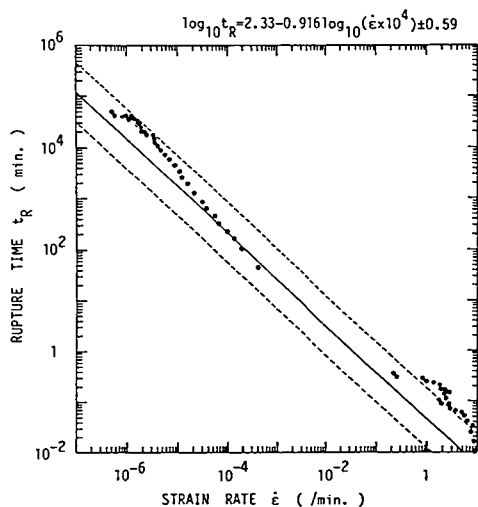
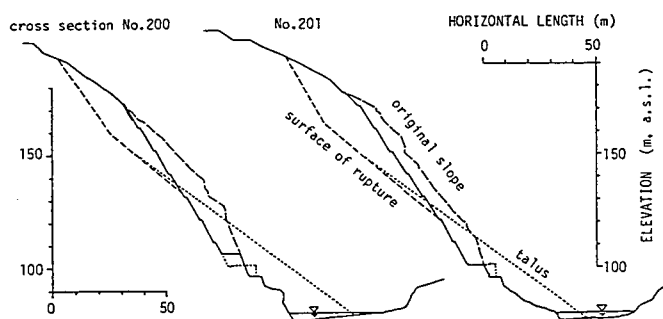


図4. 歪速度と破壊時間の関係。

図上に記す2次クリープ斉藤式(1966)を実線で、その95%信頼幅を破線で示す

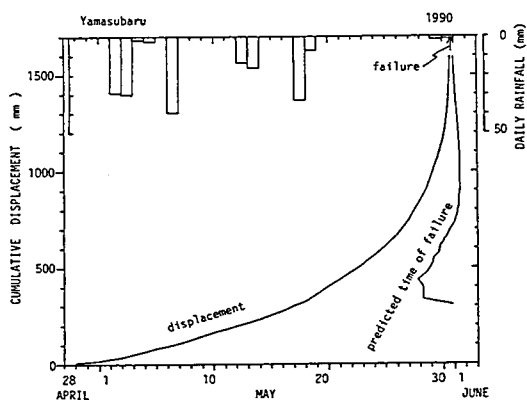


図3. クリープ曲線と斉藤(1968)
の方法による崩壊時刻の予測

5) にならない、同じ伸縮計のデータを用いてクリープ速度の逆数の時間変化をプロットすると図5と図6ようになる。崩壊時刻に近づくとも崩壊推定時刻の精度がますます向上することが分かる。ビデオから得た崩壊直前のデータをプロットすると図7ようになる。図6と図7とはプロットまたはプロット群の中ほどを連ねる曲線の2階の微分係数の符号が異なるが、このことはやはりクリープの質の違いを示唆する。

3. 前兆現象としての岩屑の崩落経過

岩盤が最終的に崩落するまでの約10時間にわたるビデオ映像記録には、前兆現象としての間欠的な岩屑の崩落の様子がつぶさにとらえられていた。403回に及ぶこれらの崩落の体積別ランクを判読し、崩落岩屑量の経時変化を求めた。すなわち、個々の崩落の幅をビデオ画像から読み取り、これを3乗して岩屑の体積の相対値とした。これを小さいほうから大きいほうへ桁を異にする第1ランクから第5ランクの5段階に分けて計数し、崩落岩屑の体積の累積値(相対値)を求めた。幅が求まらない崩落については、体積の相対値を画像から直接推定することにしたため、このようなランク分けという便宜的な方法を用いた。そして間欠的に撮影されたスチール写真のうち、12時と15時14分の2枚を用いて求めた両時刻の堆積岩屑量で較正して体積の絶対値とした。なお崩壊岩屑の総体積(bulk volume)は最終的に 56000m^3 に達した。第2ランク以上の崩落の毎10分間の発生頻度を図8に示し、堆積岩屑量の増加の様子を図9に示す。崩落経過の特徴を記すと、前兆現象としては、①最終的に崩落した岩盤を取り巻く亀裂部分からの落石や崩落が頻発した。②クリープの変位は連続的に増大したが、崩落の発生は間欠的で、活発な時期と休止期・小康状態期があった。③岩屑の崩落頻度は早くから増大したが、崩落量(体積)は崩壊のクライマックス期(15時14分53秒～15時23秒)に集中した。崩落量と崩落速度の推移は下記のようにであった。

4月28日～5月31日5時	約33日間に	200 m^3 ($0.0042\text{ m}^3/\text{分}$)
5月31日 5時～10時	5時間に	56 m^3 ($0.186\text{ m}^3/\text{分}$)
5月31日10時～15時	5時間に	991 m^3 ($3.3\text{ m}^3/\text{分}$)
15時00分～15時14分	14分間に	1872 m^3 ($133\text{ m}^3/\text{分}$)
15時14分～15時14分19秒	19秒間に	1200 m^3 ($3789\text{ m}^3/\text{分}$)

④崩壊のクライマックスのあと、崖錐斜面上での岩屑の流動が10分以上にわたってつづき、滑落崖の冠頂部や側方崖からの副次的な崩壊はクライマックスのあとも数時間にわたって間欠的につづいた。ビデオ撮影はクライマックス後30分で終了しているが、副次的な小崩壊はこの30分間に17回以上に達した。などである。

あとがき 拡幅や直線化など、道路の改良のために斜面の切取りが必要になることがある。切取りは基本的には斜面の安定度を低下させることが多い。本報告の事例は残念ながらこの該当例である。しかし、いっぽうでまさに崩壊するときの斜面の動きに関する学術的に大変貴重な記録を残すことになった。本研究を進めるに当たり、大阪教育大学 石井孝行教授には貴重なご教示をいただいた。ここに記し、謝意を表する。

引用文献 1) 斉藤迪孝・上沢 弘(1966)斜面崩壊時期の予知：地すべり，2(2)，7-12.

2) 斉藤迪孝(1968)第3次クリープによる斜面崩壊時期の予知：地すべり，4(3)，1-8.

3) 福岡輝旗(1985)表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法：地すべり，22(2)，8-13.

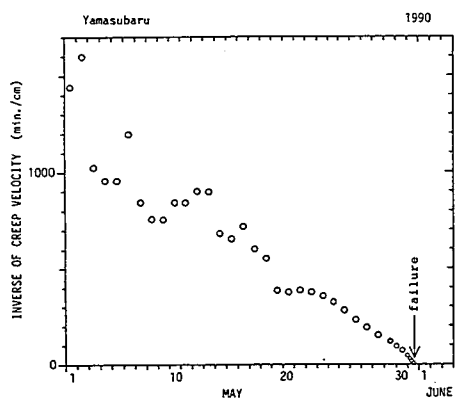


図5. クリープ速度の逆数の時間変化
(5月1日～31日)

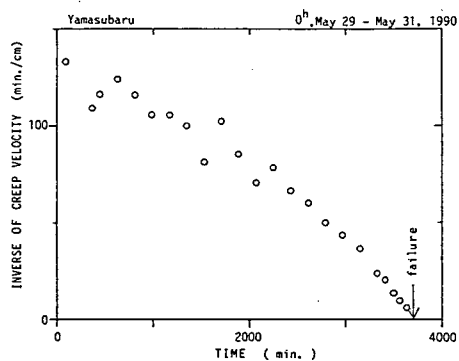


図6. クリープ速度の逆数の時間変化
(5月29日～31日)

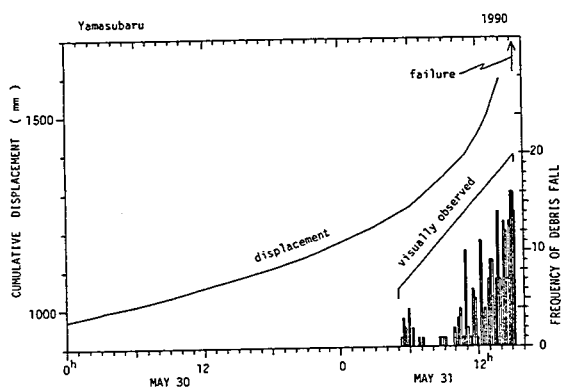


図8. 岩屑の崩落頻度 (第2ランク以上のもの)

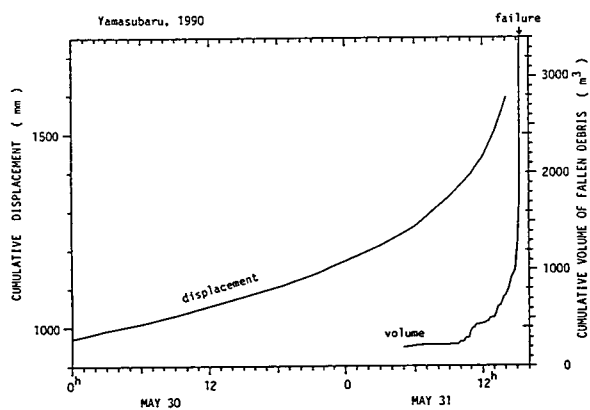


図9. 崩落岩屑量の増加

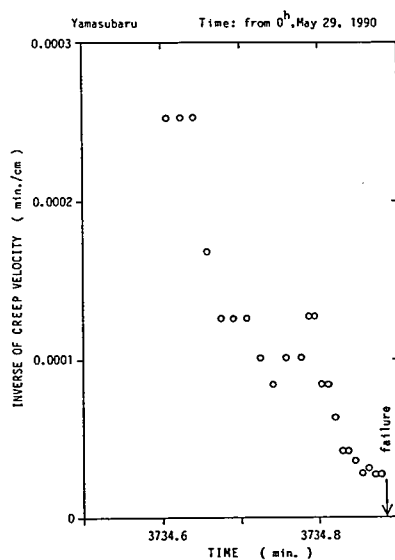


図7. クリープ速度の逆数の時間変化
(崩壊直前20秒間)