

# 豪雨による切土斜面の進行性破壊と数値解析による再現

岐阜大学	正会員	張 鋒
岐阜大学	正会員	八嶋 厚
日本地質コンサルタント(株)	正会員	鷺見武富
岐阜大学	学生会員	大野和英
岐阜大学	学生会員○	池村 猛

## 1. はじめに

岩盤斜面の崩壊には、掘削後数年を経た斜面が突然崩壊に至る事例や、豪雨時などに発生した崩壊が数時間をかけて斜面上方へ拡大していく事例が少なくない。このような岩盤斜面崩壊は、進行性破壊によるものと考えられており、その発生機構の解明が大きな課題となっている。本研究では、このような進行性破壊の原因となる地盤の応力-ひずみ関係の時間依存性を、岩盤内部の間隙水圧の経時変化に伴う有効応力状態の変化として捉えた。その上で、軟岩のひずみ軟化およびダイレイタンス特性を記述できる足立・岡<sup>1)</sup>のひずみ軟化型弾塑性構成式を *Biot* の方程式に組み込んだ土-水連成有限要素解析により、岩盤斜面の進行性破壊のシミュレーションを行った。

## 2. 解析対象斜面の概要

解析には、1999年の台風17号に伴う集中豪雨により大規模崩壊が発生した JH 東海北陸自動車道美濃 IC-美並 IC 間の岩盤斜面を用いた。この岩盤斜面では、豪雨後に、斜面下部に構築された切土法面部分で幅 40m、長さ 50m の 1 次崩壊が発生した。その後、崩壊が段階的に拡大し、1 次崩壊発生から約 3 時間後に崩壊崖が斜面頂部に達した。崩壊の最終形は幅 120m、長さ 125m に及んだ。この斜面の地質は、強風化～風化を被ったチャート为主体とし、砂岩や泥岩を伴う。ボーリング調査と弾性波探査結果を基に想定された崩壊前の地質断面を図-1 に示す。

## 3. 解析方法

本研究では、崩壊の中軸部を通る断面において平面ひずみ状態を想定し、二次元有限要素解析を実施した。

**解析モデル：**斜面形状と地質断面を考慮し、図-2 に示す解析モデルを構築した。接点数は 1520、要素数は 1422 であり、要素は風化岩盤、強風化岩盤、コンクリートブロック擁壁付き強風化岩盤の 3 種からなる。岩盤材料パラメータには表-1 の値を用いた。風化岩盤の透水係数は現位置透水試験の値を使用した。境界条件は、モデルの両側面は水平方向のみ変位を拘束し、底面は水平、鉛直方向とも変位を拘束した。また、モデル両側面と底面を非排水境界とし、地表面を排水境界とした。

**地下水条件：**初期地下水位は、ボーリングで確認された地下水位のモデル底面からの高さを全水頭として、そのコラムの全要素に与えた。この条件は、解析対象斜面内が初期から完全飽和状態にあることを想定している。しかし、通常の斜面では、地下水位以高の地盤は不飽和状態にある。したがって、解析における経過時間は、降雨開始からの時間ではなく、降雨が継続し岩盤斜面内が飽和状態となった時点からの経過時間を表すことになる。また、降雨時の岩盤斜面内の間隙水圧状態は、初期地下水位線がとおる要素に、地表からの深度分の正の圧力水頭を与えることによって変化させた。これは、後背山地から供給された地下水が、斜面内の地下水位を全体的に押し上げることを想定している。

## 4. 解析結果

進行性破壊の進展は、せん断ひずみの卓越領域の発達および残留状態領域の一体化として捉えられる。そこで、本研究では、斜面全体の進行性破壊の進展状況をせん断ひずみの観点から検討し、残留状態への到達度に関しては、要素レベルで検討した。図-3 にせん断ひずみの卓越領域の拡大状況を示す。この図から、斜面内に断片的に生じたせん断ひずみの卓越領域が時間経過とともに拡大し、円弧状のせん断帯に発達していく様子がわかる。図-1 と比較すると、せん断帯と崩壊面位置が良く一致している。また、図-4 は、せん断帯上部に位置する要素群のせん断ひずみの経時変化を示したものである。まず要素 1201 でせん断ひずみが大きくなり、その後、せん断ひずみの増加が両側の要素へ伝播していく様子がわかる。図-5 に代表的な強風化岩盤要素の応力履歴経路を示す。要素 1237 は解析時間内 ( $t=7662\text{sec}$ ) に破壊しなかった要素であり、要素 1256 は破壊した要素である。破壊要素 1256 では応力履歴経路が  $M^*$  線に接近して破壊に至っている。一方、非破壊要素 1237 の応力履歴経路は、一旦  $M^*$  線に向かった後、 $M^*$  線から離れる方向へ変化している。これらのことから、破壊要素内ではひずみ軟化が進行し、残留状態に近づいて破壊に至っていることがわかる。

## 5. おわりに

本解析により得られた知見を以下に列記する。①ひずみ軟化弾塑性構成式に基づいた土-水連成解析により、実岩盤斜面の進行性破壊現象を表現できることが確認された。②岩盤斜面の崩壊は、斜面内部に断片的に形成されたせん断ひずみの卓越領域が互いに連結し、せん断帯を形成することによって進行する。③岩盤のせん断帯は、岩盤材料のひずみ

Soil-water coupled analysis of progressive failure in rock slope based on strain-softening constitutive model, Sumi, T. (Nihon-chishitsu Consultants Co. Ltd.), Ono, K. and Ikemura, T., Yashima, A., Zhang, F. (Gifu Univ.)

表-1 材料パラメータ

	透水性係数 (cm/sec)	ひずみ硬化-軟化 パラメータ $M_f'$	応力履歴 パラメータ $\tau$
コンクリートブロック擁壁付き強風化岩盤	$10 \times 10^{-6}$	15	0.05
強風化岩盤	$10 \times 10^{-4}$	$+\infty$	-
風化岩盤			

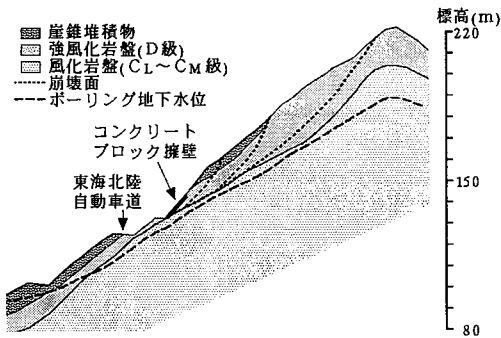


図-1 解析対象斜面の地質断面

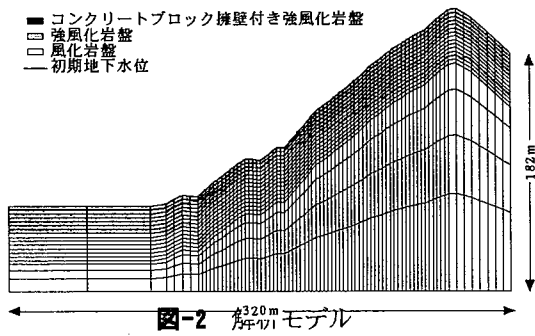


図-2 320m 方向のモデル

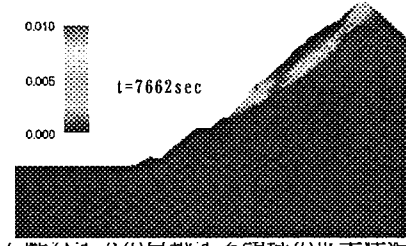
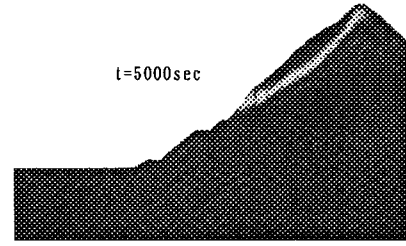
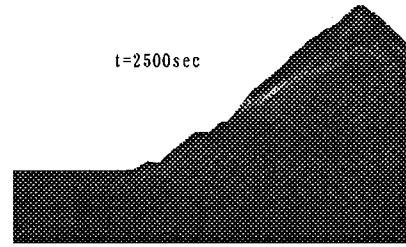


図-3 せん断ひずみの早越する領域の拡大状況

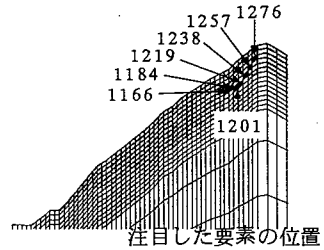
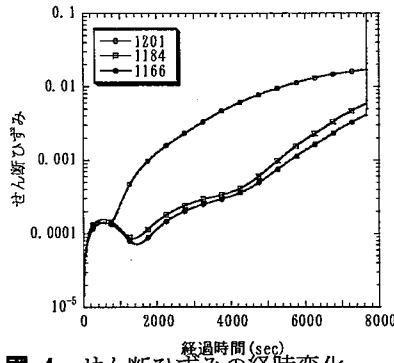
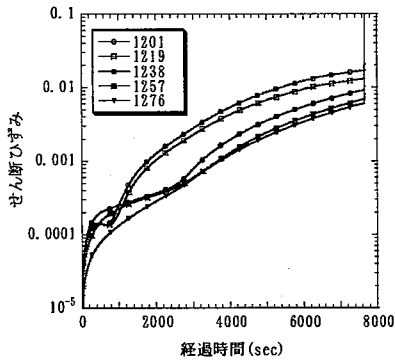


図-4 せん断ひずみの経時変化

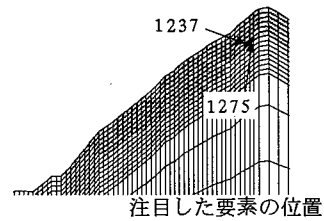
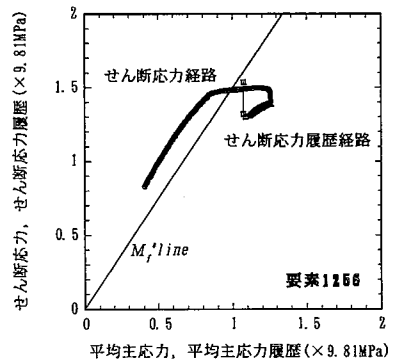
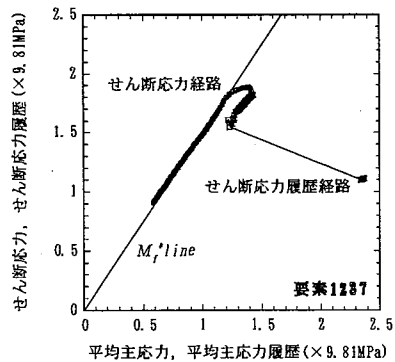


図-5 強風化岩盤要素の応力経路

軟化現象によって形成される。④岩盤斜面内部に形成されたせん断帯が崩壊面となって斜面全体の崩壊に至る。なお、紙面の都合でここには記載できなかったが、地下水条件を変えた解析により、⑤間隙水圧の上昇の程度が進行性破壊の進展状況に大きく影響していることが確認された。

参考文献 1) 足立紀尚・岡二三生：軟岩のひずみ軟化型弾塑性構成式，土木学会論文報告集，No.445，pp.9-16，1992。