

# 地震時大規模崩壊地における排水効果の一考察

## One consideration about the drainage effect in the collapse large slope failure at earthquake

中村 淳(株式会社フォーラムエイト)、蔡飛(群馬大)、鵜飼恵三(群馬大)

Atsushi NAKAMURA (FORUM8 Co.,Ltd), Fei CAI (Gunma Univ), Keizo UGAI (Gunma Univ)

キーワード: 過剰間隙水圧, 新潟中越地震, 極限平衡法

Keywords: Excess pore water pressure, Mid Niigata Prefecture earthquake, Limit equilibrium method

### 1. はじめに

2004年10月23日に発生した中越地震により崩壊した旧山古志村尼谷地地区の大規模地すべりは、当時の地震では、発生事例が少ないとされている泥岩分布域での災害であった。崩壊地周辺の地質は、荒谷層の暗灰色塊状泥岩が広く分布しており、この岩質は風化すると、細かく方形状に割れ、極めて崩れ易くなる特徴を持ち、地すべりの原因になっている。地すべり規模は、斜面の中央部で長さ250m、幅150m、最大深さ25m程度で基盤岩と風化層の境界で発生した大規模なものであった。地すべりの一因として、現地調査、並びに、土質試験結果などから、地震動に起因する過剰間隙水圧の上昇が指摘されている<sup>1)</sup>。

本報告は、本地区の大規模地すべり発生前の地形をモデルケースとして、排水前と排水後について、過剰間隙水圧を考慮した斜面の安定計算を極限平衡法で行い、安全率から排水効果について検討した。地下水面は三次元FEM浸透流解析により設定し、斜面の安定計算は、地すべり面が最も深いと考えられるB断面<sup>2)</sup>を対象にした。地震時については、慣性力は無視し、過剰間隙水圧のみの影響を考慮したU法<sup>3)</sup>を用いた。

### 2. 過剰間隙水圧の影響

#### 2-1. 非排水繰返し振動三軸試験の結果

地すべり地帯は、中越地震時に震度6強に及ぶ大きな振動を受けている。崩壊地下端付近の地山から不攪乱状態で土試料を採取し、非排水繰返し

振動三軸試験を行った結果、急激に過剰間隙水圧が発生し、除荷後も大きな間隙水圧が残留することがわかった。振動三軸試験終了後の試料内の残留水圧は表-1<sup>1)</sup>の通りであった。これより、初期圧密圧、すなわち、有効土被圧に対して、その大きさに関係なく、約60%程度の過剰間隙水圧が発生するものと仮定した。

表-1 振動三軸試験後の残留水圧率

初期圧密圧 200 kN/m <sup>2</sup>		初期圧密圧 375 kN/m <sup>2</sup>	
軸差応力	残留水圧	軸差応力	残留水圧
155	109	299	215
140	155	277	166
127	118	254	241
115	151	231	264
残留水圧 / 初期圧密圧	0.67	残留水圧 / 初期圧密圧	0.59

#### 2-2. 排水効果と過剰間隙水圧の関係

本地区における地すべりの大きな原因として、非排水繰返し振動三軸試験結果からわかる通り、地震動の繰返しにより斜面内に大きな間隙水圧が発生して、土のせん断強さが低下し、到達距離の長い大規模崩壊に至ったのではないかとの見方もある。

そこで、本報告では、この地震時過剰間隙水圧(U)の影響をU法で検討した。U法について簡単なモデルで説明する。

今、図-1(a)を排水前、(b)を排水後の土のスライス片と仮定する。

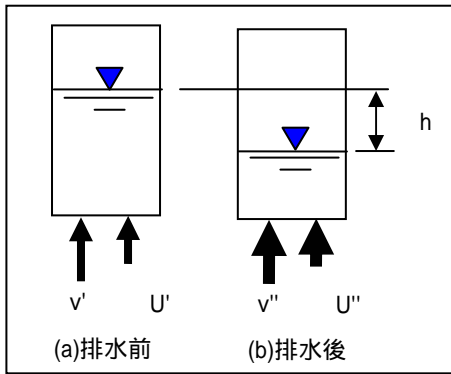


図-1 スライス片における有効圧と過剰間隙水圧

(1)排水前の有効土被圧  $v'$

有効土被圧  $v'$ とし、残留水圧比を  $r$  とすると、排水前の地震時過剰間隙水圧は、 $U' = r \cdot v'$  となる。よって、対策前の有効土被圧  $v'$ は(式1)となる。

$$v' = v' - U' = (1 - r) v' \quad (\text{式 1})$$

(2)排水後の有効土被圧  $v''$

水位低下 ( $h$ )による増加応力を  $v$ は、

$$v = h ( \gamma - \gamma' ) = h \cdot w \quad (\text{式 2})$$

一方、地震時過剰間隙水圧の増加分は、

$$u' = r \cdot v = r \cdot h \cdot w \quad (\text{式 3})$$

よって、有効応力の増分は式(4)となる。

$$v - u' = h \cdot w - r \cdot h \cdot w \\ = (1 - r) h \cdot w = (1 - r) v \quad (\text{式 4})$$

以上から、排水後の有効土被圧  $v''$ は、(式5)となる。

$$v'' = v' + (1 - r) v \\ = (1 - r) ( v' + v ) \quad (\text{式 5})$$

(3)地震時過剰間隙水圧を考慮した実質的な有効土被圧の増分は、残留水圧比を差し引いた  $(1 - r) v$  であることがわかる。よって、排水による効果が、有効土被圧に対して最大で  $(1 - r)$  倍に低減される場合があることが考えられ、本地区においても、この影響により安全率が 1.0 を下回ったのではないかと推察される。なお、排水工がある場合は、水圧が上昇した場合には排水されるので、本来ならば、消散の影響で  $r$  が小さくなると考えられるが、ここでは、排水工の間隔が比較的大きいと判断し消散の影響は無視することにした。

### 3. 解析方法

#### 3-1. 地下水面の推定

本報告では、排水前と排水後の地下水面を三次元 FEM 浸透流解析<sup>4)</sup>から算出することにした。図-2に解析メッシュ図を示す。地すべり面が一番深いと考えられる B 断面の排水前の解析結果を図-3(a)(b)、排水後の解析結果を図-4(a)(b)に示す。これより、排水後では、地下水面が約 3.0m 程度下がったことが判明した。

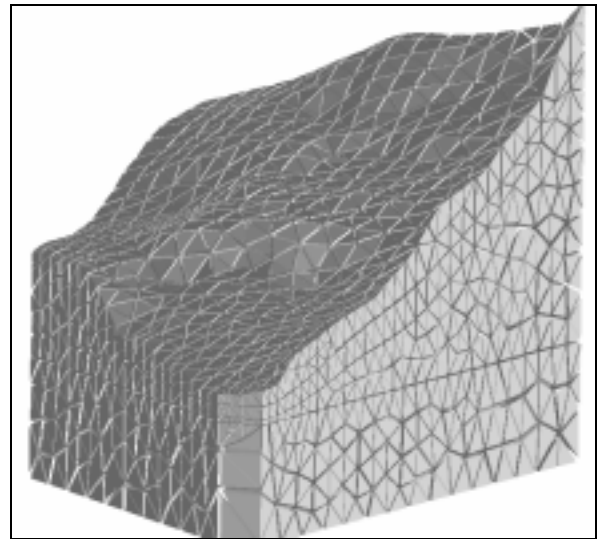


図-2 三次元浸透流解析メッシュ図

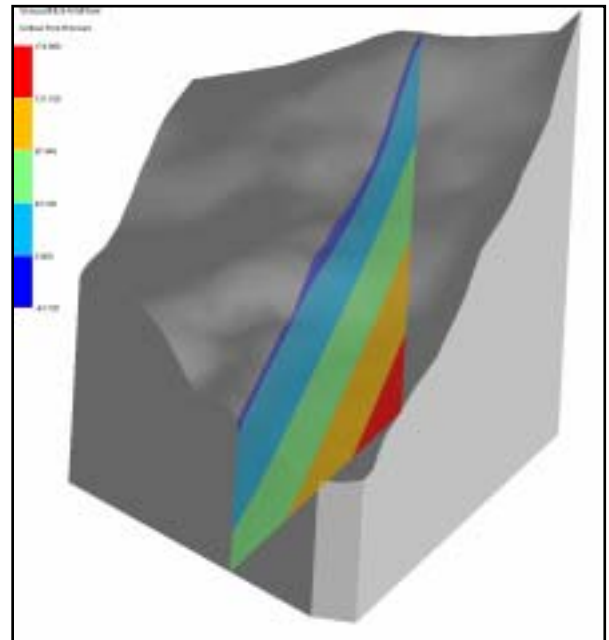


図-3(a) 排水前の浸透流解析結果

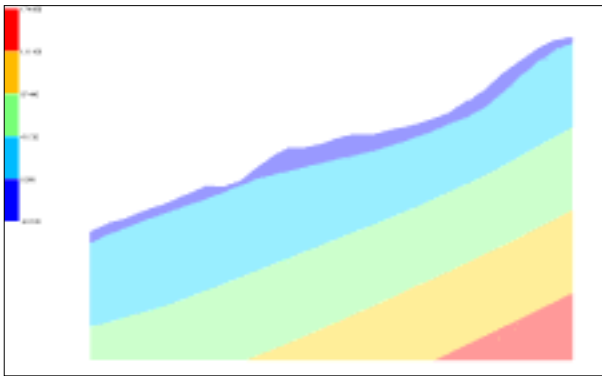


図-3(b) 排水前の浸透流解析結果(B断面)

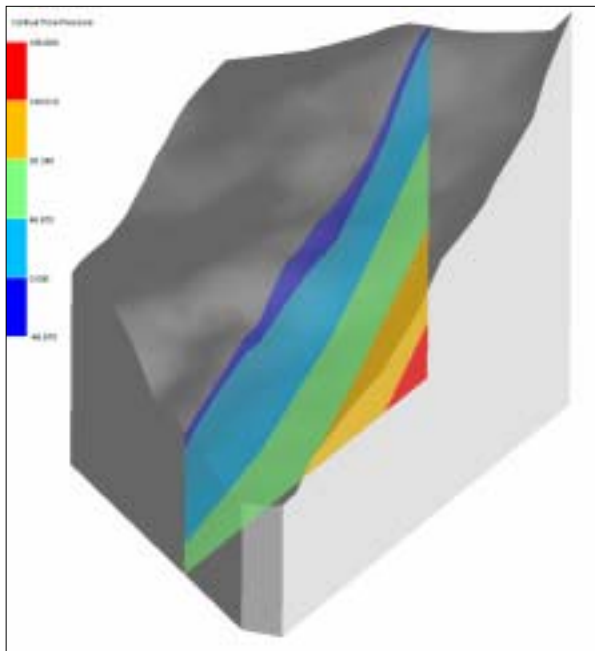


図-4(a) 排水後の浸透流解析結果

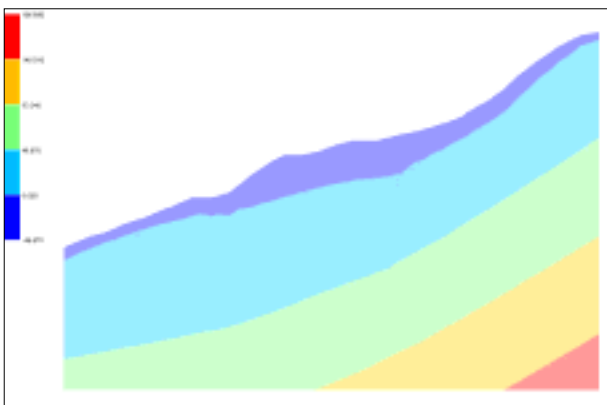


図-4(b) 排水後の浸透流解析結果(B断面)

B断面は、1層目が粘土質シルトの崩積土、2層目が強風化泥岩で、この1,2層が移動層となる。強風化泥岩のせん断抵抗角は39°、地すべり最大深さが約25m、平均的には20m程度と判断し、粘着力 $c=20\text{kN/m}^2$ を考慮することにした。土の湿潤単位体積重量は $18\text{kN/m}^3$ とした。

二次元極限平衡法による解析モデルを図-4に示す。すべり面は2層目下面と仮定した。

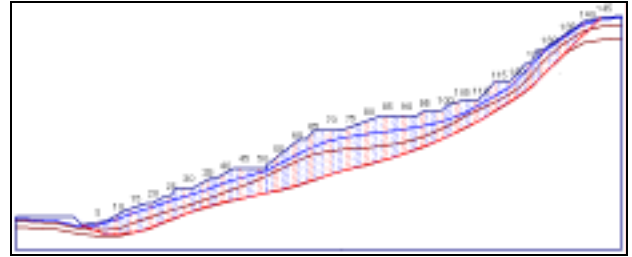


図-4 地すべり斜面安定計算モデル図

#### (2)スライス分割法の計算式

安全率は下式で求めることができる。

$$F_s = \frac{\sum (N - U) \times \tan \phi + c \times \sum L}{\sum S}$$

ここに、

$F_s$  : 安全率

$N$  : 分割片の重量(浮力考慮)による法線力(kN/m)

$U$  : 分割片に働く地震時過剰間隙水圧(kN/m)

$S$  : 分割片の重量(浮力無視)による滑動力(kN/m)

$L$  : 分割片のすべり面の延長(m)

$c$  : すべり面の粘着力(kN/m<sup>2</sup>)

$\phi$  : すべり面の内部摩擦角(°)

### 4. 斜面安定計算結果

#### (1) 排水前

排水前における常時、地震時の抵抗力、並びに安全率を表2(a)(b)に示す。

表-2(a) 排水前の抵抗力

状態	$N'$	$U'$	$c L$	
常時	36103.9	0.0	5966.9	42070.8
地震時	36103.9	21662.3	5966.9	20408.5

### 3-2. 極限平衡法による斜面安定計算<sup>5)</sup>

#### (1) 土質物性値

$$\sum \tau = \sum (N \times \tan \phi - \alpha \times N \times \tan \phi) + c \times \sum L$$

$$\sum \tau = \sum N' - \sum U' + c \times \sum L$$

表-2(b) 排水前の安全率

状態		S	Fs= / S
常時	42070.8	25892.1	1.62
地震時	20408.5	25892.1	0.79

### (2) 排水後

排水後における常時、地震時の抵抗力、安全率を表3(a)(b)に示す。

表-3(a) 排水後の抵抗力

状態	N'	U'	c L	
常時	40693.6	0.0	5966.9	46660.5
地震時	40693.6	24416.2	5966.9	22244.3

表-3(b) 排水後の安全率

状態		S	Fs= / S
常時	46660.5	25355.5	1.84
地震時	22244.3	25355.5	0.88

### (3) 安全率の比較

常時と地震時(過剰間隙水圧考慮)で、安全率が排水前と後でどのように変化(向上)したのかを表4に整理した。

表-4 安全率の改善率

状態	対策前	対策後	Fs
常時	1.62	1.84	1.135( 0.22)
地震時	0.79	0.88	1.114( 0.09)

常時では、排水により1.135倍、約14%の改善が見られるが、地震時には、1.114倍、約11%の改善にとどまっていることがわかる。すなわち、過剰間隙水圧の発生に伴い、排水効果が、小さくなっていることが理解できる。

## 5. まとめ

現行の設計法である極限平衡法で、地震時の過剰間隙水圧を考慮して安全率を計算してみた。その結果、排水後において、安全率が0.88となり、1.0よりかなり小さいことがわかった。このように、地震動の繰返しにより斜面内に大きな間隙水圧が発生したと仮定した場合の斜面の安定性を

安全率として確認することができた。同時に、地震時における排水効果が、過剰間隙水圧により常時よりも3%程度低下していることがわかった。

本計算は、地すべり面が一番深いと考えられる二次元断面(B断面)に対する試算であり、地すべりが三次元現象であることを勘案すると、やや小さめの安全率になっていると考えられる。よって、この安全率から排水工の適正を評価するものではない。

将来的には、三次元モデルで極限平衡法による斜面安定解析を行い、地すべり全体について過剰間隙水圧を考慮した安全率の検討を行いたいと考えられる。その上で、排水効果と過剰間隙水圧の関係について、再検討したいと思われる。

## 謝辞

本報告を作成するにあたり、お世話になった(独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所の黒田清一郎氏、群馬大学工学研究科若井准教授に感謝致します。

## 【参考文献】

- 1) 鶴飼恵三・若井明彦ら：強風化泥岩地すべり斜面の地震時大規模崩壊のメカニズム、日本地すべり学会第47回研究発表会、三重、2007。
- 2) 新潟県長岡地域振興局、災害関連緊急地すべり対策事業尼谷地区第一次地質調査中間報告、2006.12
- 3) SEED, H. B. (1979). Geotechnique. 29, No. 3, 215-263. Consideration the earthquake-resistant design of earth and rockfill dams. H. BOLTON. SEED.
- 4) UC-1 地盤解析シリーズ 三次元浸透流解析(VGFlow)(株)フォーラムエイト
- 5) UC-1 斜面の安定計算(株)フォーラムエイト (<http://www.forum8.co.jp/>)