

## 小千谷市横渡における中越地震時の地すべり安全率について

長岡工業高等専門学校 フェロー 尾上篤生  
群馬大学 正会員 鶴飼恵三、若井明彦  
(株)黒岩測量設計事務所 正会員 樋口邦弘  
(独)農業工学研究所 正会員 黒田清一郎

### 1. 目的

2004年新潟県中越地震によって生じた小千谷市横渡の地すべりは、すべり面上の薄い凝灰質砂のせん断破壊が液状化が原因と考えられた。白岩層に挟まれたこの薄層の不攪乱試料に関する等体積繰返し一面せん断試験結果を、長大斜面の安定計算式に適用して、地震時のすべり安全率の経時変化を推定した。

### 2. 浸透流のある長大斜面の地震時安全率

地震力を受ける浸透流のある長大斜面の模式図を、[図1](#)に示す。深さ $Z$ の仮想滑り面と深さ $z$ の地下水面は傾き $\beta$ の地表面に平行で、仮想滑り面上の幅 $B$ の細片要素の左右鉛直面に作用する不静定力 $E_1, E_2$ は等しいとする。また、地下水面上と水面下の細片の土の重量を夫々 $W_1, W$ とし、水平方向と鉛直方向の震度、 $K_h$ （左向き：正）、と $K_v$ （下向き：正）によって土塊に働く慣性力を、[図](#)のように $H_1, V_1$ および $H, V$ とする。

このとき、 $W_1 = \gamma Bz$ 、 $W = \gamma_{sat} B(Z-z)$ 、 $H_1 = K_h W_1$ 、 $H = K_h W$ 、 $V_1 = K_v W_1$ 、 $V = K_v W$ である。また、浸透流の等ポテンシャル線 $pb$ 方向に作用する合加速度 $\alpha$ は、 $\alpha = \{(1+K_v)\cos\beta - K_h \sin\beta\}g$ であり、線分 $pb$ の長さは $(Z-z)\cos\beta$ であるから、 $b$ 点での水圧 $u$ は、 $u = \gamma_w (Z-z)\cos\beta \{(1+K_v)\cos\beta - K_h \sin\beta\}$ である。但し $\gamma_w$ は、水の単位体積重量である。従って、仮想滑り面上の線分 $bc$ に働く合水圧 $U$ 、有効垂直力 $N'$ 、せん断力 $T$ は、

$$U = \gamma_w (Z-z)B \{(1+K_v)\cos\beta - K_h \sin\beta\} \quad \dots(1),$$

$$N' = \{(1+K_v)\cos\beta - K_h \sin\beta\} \{ \gamma z + \gamma' (Z-z) \} B \quad \dots(2),$$

$$T = \{(1+K_v)\sin\beta + K_h \cos\beta\} (W_1 + W) B \quad \dots(3),$$

また、垂直有効応力、せん断応力、すべり安全率は夫々、

$$\sigma' = \frac{N'}{b} \cos\beta, \quad \tau = \frac{T}{b} \cos\beta \quad \dots(4)_1, (4)_2$$

$$F = \frac{c' + \sigma' \tan\phi'}{\tau} =$$

$$\frac{c' + \{(1+K_v)\cos\beta - K_h \sin\beta\} \{ \gamma z + \gamma' (Z-z) \} \cos\beta \tan\phi'}{\{(1+K_v)\sin\beta + K_h \cos\beta\} \{ \gamma z + \gamma_{sat} (Z-z) \} \cos\beta} \quad \dots(5)$$

### 3. 横渡地すべりの概要

[図2](#)に示す横渡地すべりのすべり面は、西方向に最

キーワード 地すべり、安全率、地震、薄層、層理、砂

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝 888 長岡工業高等専門学校環境都市工学科 尾上篤生 TEL0258-34-9439

大 $22.4^\circ$ 、平均 $22^\circ$ の傾斜をなし、すべった土塊の厚さは白岩層換算で平均 $4\text{m}$ 程度である<sup>1)</sup>。筆者らは、すべり面が白岩層の層理面であると仮定して、その非排水強度を推定したが<sup>1)</sup>、その後の調査で[図3](#)に見るように、すべり面は厚さ $5\text{mm} \sim 10\text{mm}$ の凝灰質砂で覆われており、植物根の存在から水で飽和していたこと、砂層上の白岩層には至る所節理が存在することが分かった。

### 4. 砂層のせん断強度

砂層とその上下の白岩層のブロックサンプルから、砂層がせん断面に一致するように切り出した、[図4](#)に一例を示す供試体について、等体積繰返し一面せん断試験を実施した。繰返し載荷1回目のピーク強度から得られた、[図5](#)に示す強度定数の平均値は、 $c' = 35.2\text{kN/m}^2$ 、 $\phi' = 17.2^\circ$ である。ただし、繰返し回数の増加に伴って、[図6](#)に示すように、強度は著しく低下する。

### 5. すべり安全率の経時変化

[図7](#)に示す、気象庁旧山古志村竹沢で観測されたEW方向とUD方向の加速度波形を震度に換算して式(5)に適用した結果、[図8](#)に示すすべり安全率 $F$ の経時変化が得られた。但し、 $Z=4\text{m}$ 、 $z=1\text{cm}$ 、 $\gamma_{sat} = 18.0\text{kN/m}^3$ である。同図によれば、常時の安全率は $2.16$ であったが、地震波測定開始から $2.28$ 秒後に安全率は初めて $1.0$ を下回り、経過時間 $10$ 秒までに $6 \sim 7$ 回 $1.0$ 以下となったことが分かるので、地すべりが発生したことが首肯できる。しかしこの凝灰質砂は、繰返し載荷によって[図6](#)のように著しくせん断強度を失うから、どの時点で地すべりが発生したかについては、繰返し載荷に伴う塑性ひずみ累積値に応じて、強度と剛性を低減する若井ら<sup>2)</sup>のような弾塑性動的FEM解析、および液状化の観点から検討する必要がある。

**謝辞** 本研究の一部は、科学技術振興調整費「平成16年(2004年)新潟県中越地震に関する緊急研究」の中で実施された。

**参考文献** 1) 尾上篤生、樋口邦弘、若井明彦、鶴飼恵三：新潟県中越地震における斜面崩壊と層理の強度、土と基礎、Vol.53, No.12, pp.95-97, 2005

2) 若井明彦、鶴飼恵三、尾上篤生、樋口邦弘、黒田清一郎：層理面のモデル化に着目した流れ盤斜面の地震崩壊シミュレーション、土木学会第61回年次学術講演会論文集、III、投稿中。

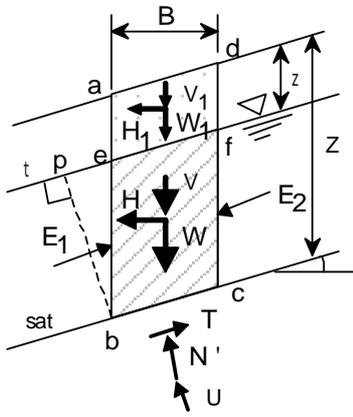


図1 長大斜面の模式図



図2 横渡地すべり

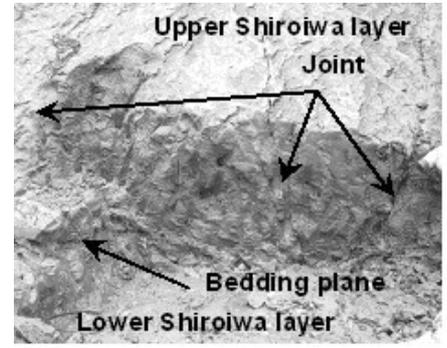


図3 層理面上下の白岩層

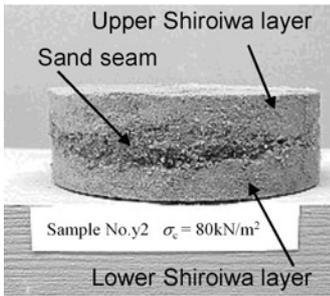


図4 すべり面を含む不攪乱供試体

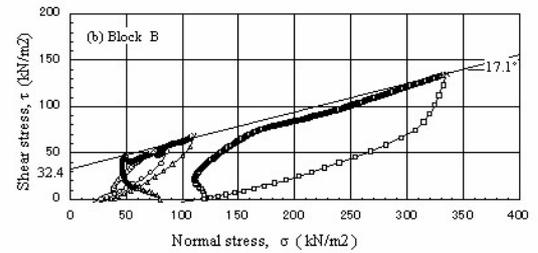
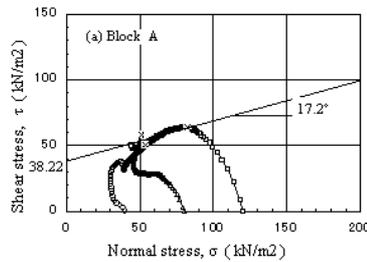


図5 等体積せん断試験における、サンドシームの繰り返し回数1回目の応力履歴と強度パラメータ ( $c'$ ,  $\delta'$ )

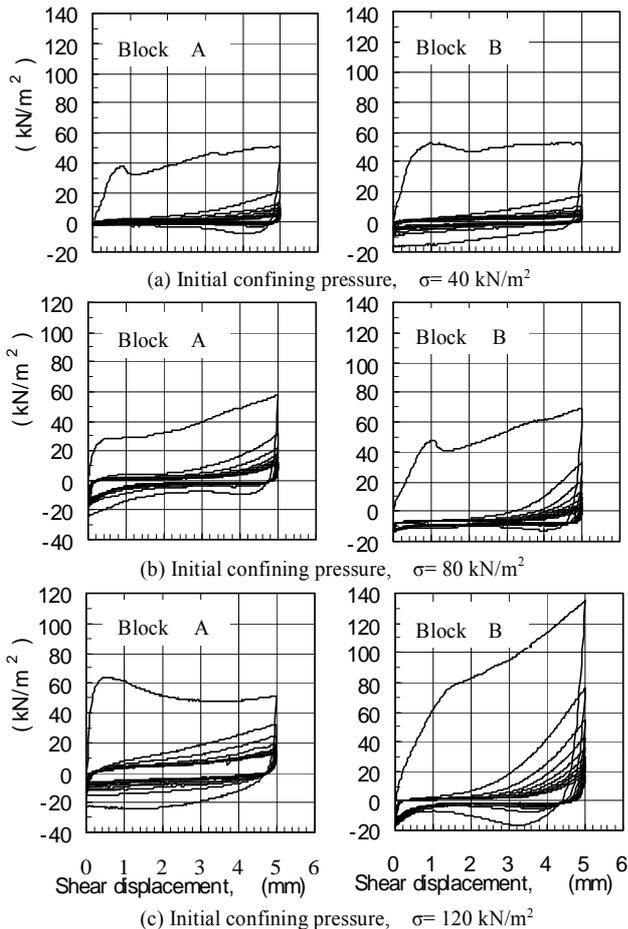


図6 等体積繰り返しせん断試験におけるせん断応力~せん断ひずみ履歴曲線

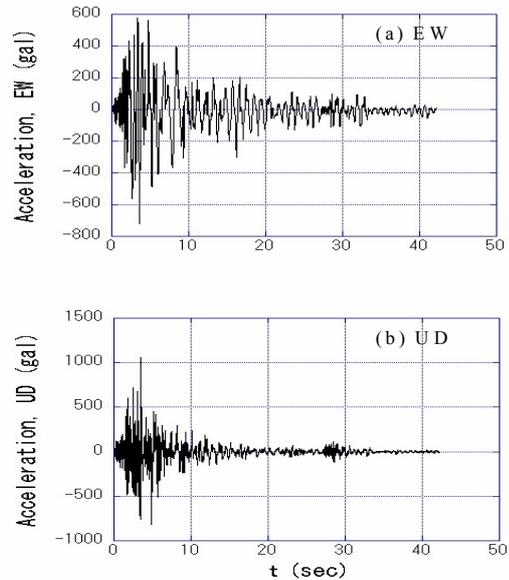


図7 計算に用いた地震波（気象庁：竹沢）

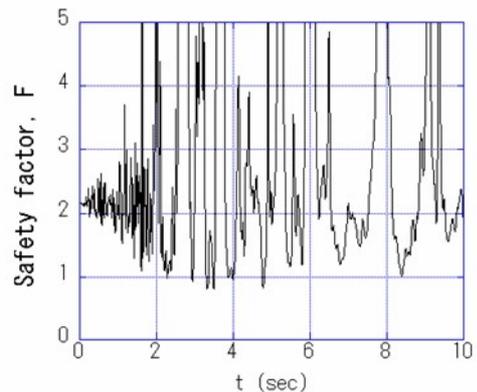


図8 すべり安全率の経時変化