

# 琉球大学学術リポジトリ

## 移動量の大きい地すべりの安定解析

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): 地すべり, 安定解析, 残留強度, 回復強度 キーワード (En): landslide, stability analysis, residual strength, recovered strength 作成者: 宜保, 清一, 井上, 英将, 周, 亜明, 中村, 真也, Gibo, Seiichi, Inoue, Hidemasa, Zhou, Yaming, Nakamura, Shinya メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/3715">http://hdl.handle.net/20.500.12000/3715</a>

## 移動量の大きい地すべりの安定解析

宜保清一\*・井上英将\*\*・周 亜明\*・中村真也\*

Seiichi GIBO, Hidemasa INOUE, Yaming ZHOU, Shinya  
NAKAMURA : Stability analysis in the large moved landslide

キーワード : 地すべり, 安定解析, 残留強度, 回復強度

Key words: landslide, stability analysis, residual strength,  
recovered strength

### Summary

The large moved landslides are usually analysed assuming that the strength along the entire length of a slip surface dropped to the residual value. However, in most cases, the safety factor is underestimated. The test of large displacement shear-re-consolidation-re-shear in the present experiment indicated the recovery from the residual strength after re-consolidation under the low normal stress such as 30kPa~100kPa.

The residual and recovered strength parameters were applied in the stability analysis for the shallow slide and deep slide of the large movement. The tertiary slide of the Xuechengzhen landslide is shallow, about 8m to 10m deep. Application of the residual strength to the stability analysis gave the safety factor of 0.91, which was underestimated. Higher reasonable strength parameters were obtained by using the recovered strength in the shallow slip-surface zone having low overburden pressure, and the residual strength in the deep slip-surface zone having high overburden pressure. The Toge unit in the Kamenose landslide is deep, whilst, the thickness of the slide is 40m to 70m. Most part of the slip-surface zone is subjected to high overburden pressure. Thus, the stability analysis based on only the residual strength led to a result which was quite satisfactory.

### 緒 言

移動量の大きい地すべりは、すべり面が鏡肌を形成する程に発達する<sup>1,2)</sup>。この種の地すべりの安定解析では、すべり面の平均強度として残留強度を適用している<sup>1~3)</sup>。しかし、実際には、残留強度のみで対応すると安全率を過小評価してしまい、地すべりの発生や現状を説明できないことが多い<sup>4~6)</sup>。

\* 琉球大学農学部

\*\* 利根コンサルタント (株)

琉球大学農学部学術報告 44 : 275~280 (1997)

一方、一旦残留強度にまで低下したすべり面は静止状態にあると、ある程度強度を回復することが指摘され<sup>1,7)</sup>、周ら<sup>8)</sup>が行ったリングせん断試験において低い垂直応力レベルの下で再圧密による強度の回復が確認された。これらのことは、地すべりの再発生にすべり面土の強度回復が関与していることを示唆するものである。このような強度特性に注目し、地すべりの安定解析に残留強度と回復強度を適用する試みがなされている<sup>9,10)</sup>。本研究は、移動量の大きい地すべりを対象に、残留強度および回復強度とすべり形態やすべり層厚との関係、および安定解析への適用の合理性を明確にするため、中国の薛城鎮(Xuechengzhen)地すべりおよび大阪の亀の瀬(Kamenose)地すべりを事例として検討を行ったものである。

## 地すべりの概況と土質強度

### 1. 薛城鎮地すべり

薛城鎮地すべりは、幅が約1,000m、長さが約2,500m(一次すべり)の大規模な再活動型地すべりである。1984年に再移動した二次すべりの規模は、幅が末端の国道213号沿いで約150m、山腹で200m~300m、長さが約1,500mと推定される。三次すべりは、幅が約50m、長さが約350m、平均斜面勾配が $26^\circ$ 、層厚が8m~10mの範囲にあり(図1)<sup>11)</sup>、雨期と乾期に滑动・停止を繰り返している。

地すべりの滑动・停止を想定した「大变位せん断→再圧密→再せん断」<sup>9,10)</sup>試験より図2が得られている。完全軟化強度定数は $c_{sf}=8.0\text{kPa}$ 、 $\phi_{sf}=30.0^\circ$ 、残留強度定数は $c_r=0\text{kPa}$ 、 $\phi_r=25.0^\circ$ である。一旦残留強度にまで低下したせん断面における再圧密による強度の回復は、 $\sigma_n' \geq 150\text{kPa}$ の垂直応力レベルにおいてほとんどなかったに対して、 $\sigma_n' \leq 100\text{kPa}$ レベルにおいては、垂直応力が低いほど強度が大きく回復した。回復強度定数として $c_{rc}=3.8\text{kPa}$ 、 $\phi_{rc}=28.0^\circ$ を得ている。

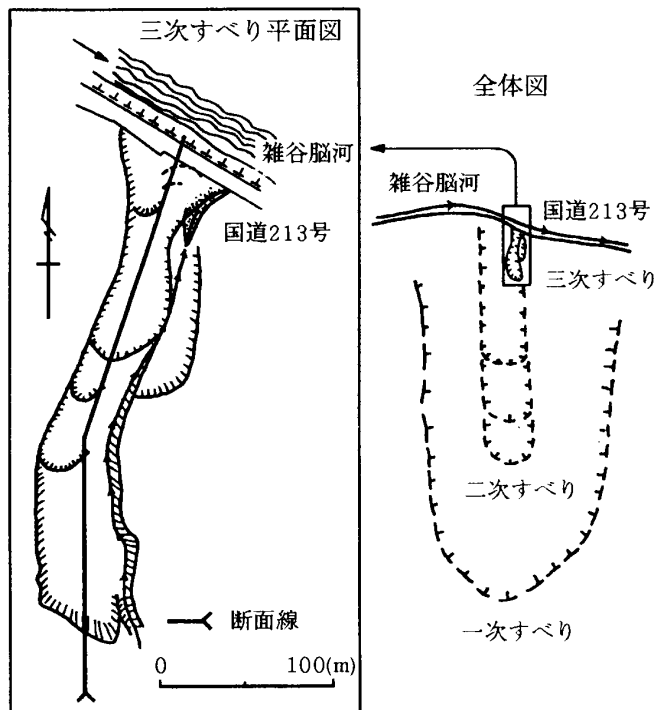


図-1 薛城鎮地すべりの平面図

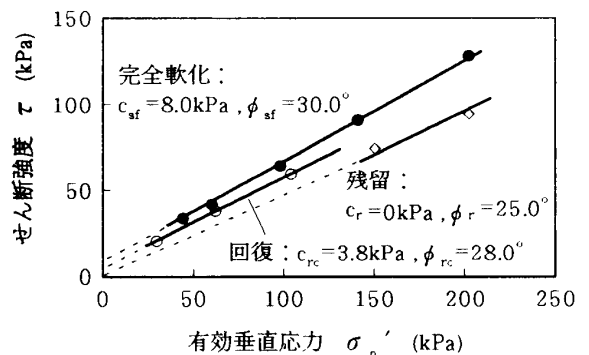


図-2 薛城鎮試料の完全軟化、残留および回復強度

## 2. 亀の瀬地すべり

亀の瀬地すべりは、1931年に大移動を起こしたすべり面の平均深度が約50mの再活動型の深層すべりである。滑動範囲が大規模で約39ha、平均的な水平移動量が53m、沈下量が16m、河床隆起量が36mであった<sup>12)</sup>。地すべりは1967年に滑動を再開した<sup>13)</sup> (図3)。地すべり全体は、峠と清水谷の2地区からなり、峠地区は、幅約800m、最大斜長約650m、すべり面平均勾配約16°で、実測した移動量・方向などの滑動形態より、峠ブロックと稲葉ブロックに分けられる<sup>14)</sup>。峠地区は、数十年来滑動・停止を繰り返しているが、峠と稲葉のブロック間相互の影響・制約および複雑な地質的背景によって、すべり形態や再発機構に未解明な点が多い。

図4に峠ブロックのすべり面土の試験結果を示す。完全軟化強度定数は $c_{sf}=17.0\text{kPa}$ ・ $\phi_{sf}=15.8^\circ$ 、残留強度定数は $c_r=0\text{kPa}$ ・ $\phi_r=7.5^\circ$  ( $\sigma_n' \geq 300\text{kPa}$ )、回復強度定数は $c_{rc}=2.0\text{kPa}$ ・ $\phi_{rc}=10.5^\circ$  ( $\sigma_n' \leq 200\text{kPa}$ )である。

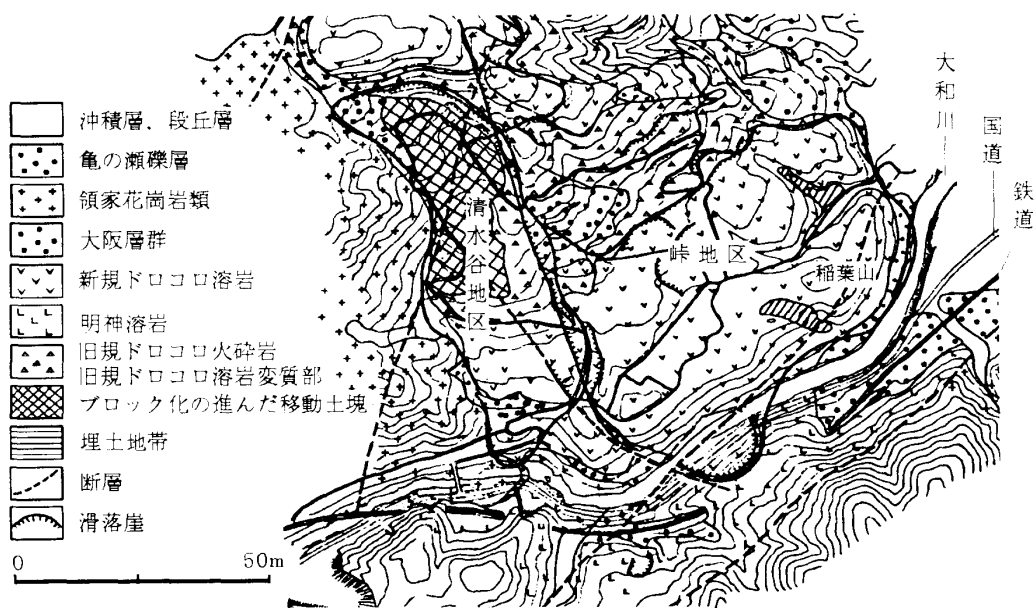


図-3 亀の瀬地すべりの地質平面図

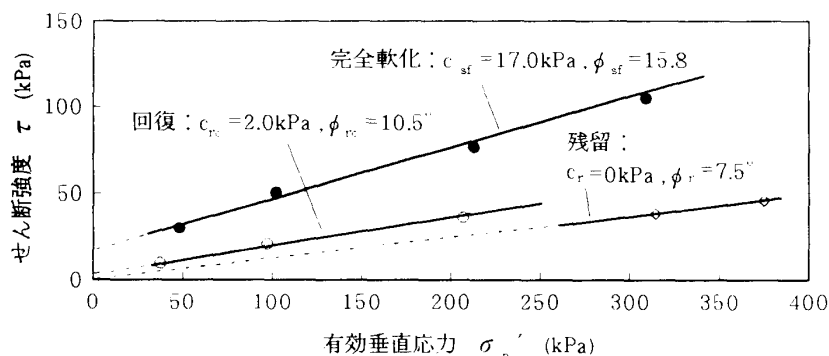


図-4 亀の瀬試料の完全軟化，残留および回復強度

### 安定解析

#### 1. 浅層すべりの再発生時の評価

薛城鎮三次すべりは、すべり面深度の小さい浅層すべりで、累積移動量が大きいため、滑動時に強度が残留強度にまで低下する<sup>8)</sup>。一方、せん断試験で得られた回復強度特性より、地すべりの再発生時には  $\phi_n' \leq 100\text{kPa}$  相当の低い有効土かぶり圧領域のすべり面において回復強度が発揮されることが考えられる。図5は安定解析断面図である。ブロック頭部のスライス①～⑥および脚部のスライス⑬～⑱では、有効土かぶり圧が  $\sigma_n' \leq 100\text{kPa}$  相当であるので、すべり面強度として回復強度 ( $c_{rc}=3.8\text{kPa} \cdot \phi_{rc}=28.0^\circ$ ) の関与を、また、中間のスライス⑦～⑱は  $\sigma_n' = 100 \sim 170\text{kPa}$  相当であるので、残留強度 ( $c_r=0\text{kPa} \cdot \phi_r=25.0^\circ$ ) の関与を想定した。このような移動量の大きい浅層すべりでは、残留強度を発揮するすべり面領域と回復強度を発揮するすべり面領域が共にブロック全体の滑動に抗しているので、再発生時の簡便式は残留強度の項と回復強度の項で示され、次式が成り立つ。

$$F_s = \frac{\sum c' \cdot l + \sum (N - U) \cdot \tan \phi'}{\sum T}$$

$$= \frac{\sum c_r \cdot l_i + \sum (N_i - U_i) \cdot \tan \phi_r}{\sum T_i + \sum T_j} + \frac{\sum c_{rc} \cdot l_j + \sum (N_j - U_j) \cdot \tan \phi_{rc}}{\sum T_i + \sum T_j}$$

ここで、

$F_s$  : 安全率

$l_i, N_i, T_i, U_i$ : スライス⑦～⑱における各スライスのすべり面長 (m), スライス重量の垂直分力 (tf/m<sup>2</sup>) と接線分力 (tf/m<sup>2</sup>), 間隙水圧 (tf/m<sup>2</sup>)

$l_j, N_j, T_j, U_j$ : スライス①～⑥およびスライス⑬～⑱における各スライスのすべり面長 (m), スライス重量の垂直分力 (tf/m<sup>2</sup>) と接線分力 (tf/m<sup>2</sup>), 間隙水圧 (tf/m<sup>2</sup>)

安定解析では、まず上式に残留強度定数および回復強度定数を代入し、繰り返し計算(試算法)によって再発生時 ( $F_s=1.0$ ) の限界地下水位を確定し、 $c' - \tan \phi'$  関係図を得た。対策のための設計強度定数は、「残留係数を導入した安定解析法」<sup>2,6)</sup> に基づく図解法によって、 $c' - \tan \phi'$  関係図と土質強度から求められる。図6は、 $c' - \tan \phi'$  関係図に残留強度定数のA点 ( $c_r, \tan \phi_r$ ) と回復強度定数のB点 ( $c_{rc}, \tan \phi_{rc}$ ) を示したものである。設計強度定数は、AB直線と  $c' = -9.15 \tan \phi' + 4.50$  直線との交点IP ( $c', \tan \phi'$ ) で与えられる。一方、すべり面の平均強度として残留強度だけが関与しているとして解析を行った場合、 $F_s=0.91$  となり、斜面の安定度を過小に評価してしまい、再発生時の地すべり現状を説明できない。このように、回復強度は、低い土かぶり圧のすべり面領域の占める割合が大きい浅層すべりや大規模地すべりの二、三次すべりの再発生時の安定解析を行う上で無視できないものである。

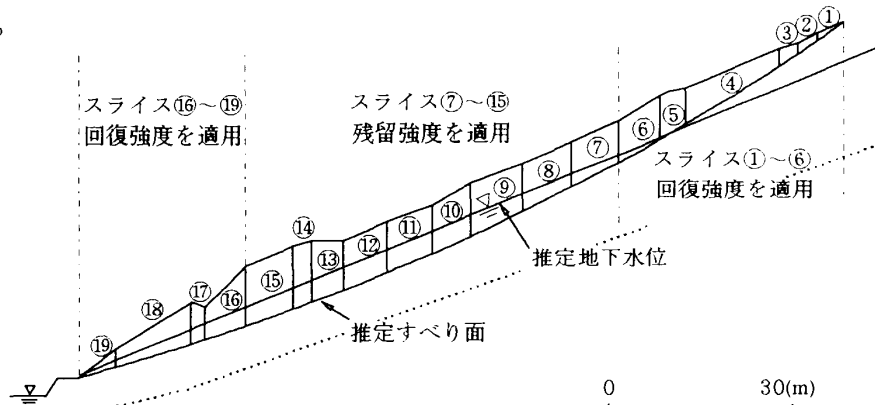


図-5 薛城鎮三次すべりブロック安定解析断面

2. 深層すべりの再発生時の評価

峠ブロックは稲葉ブロックを押し出しているが、稲葉ブロックの抑止効果により現況が維持されている。したがって、峠ブロックの安定度評価は、稲葉ブロックとの関連で検討する必要がある。まず、峠ブロックについて単独の安定解析を行った。峠ブロックは移動塊の層厚が約40m~70mであり、すべり面全域にわたり鏡肌が認められている<sup>14)</sup>。せん断強度特性より、 $\sigma_n' = 50 \sim 200 \text{ kPa}$ の下では回復強度が、 $\sigma_n' \geq 300 \text{ kPa}$ の下では残留強度が発揮されているものと想定される。図7に峠ブロックの安定解析断面図を示す。ブロックの頭部のスライス①~⑦に対しては、有効土かぶり圧が $\sigma_n' < 200 \text{ kPa}$ であるので、すべり面強度として回復強度の関与を、その他のスライスは $\sigma_n' \geq 300 \text{ kPa}$ 相当であるので、残留強度を適用した。その結果は、 $F_{s1} = 0.84$ となり不安定であり、静止状態にある現状と矛盾する。また、 $c' - \tan \phi'$  関係図(図8)から明らかなように、すべり面の平均強度は残留強度にかなり近い。これは、地すべりのすべり面深度が大であり、回復強度が発揮されるすべり面領域のすべり面全体に占める割合が小さいため、斜面安定度への寄与が小さくなることを示唆するものである。峠ブロックの安定解析では、稲葉ブロックの抑止効果を考慮するかどうかは、地すべり対策に大きく影響する。しかし、弾塑性の土体では変位や作用力の分布が複雑で抑止力の算定は困難であるので、ここでは、残留強度および回

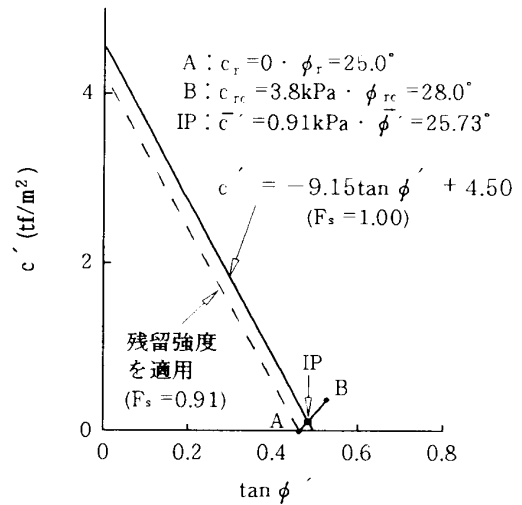


図-6 薛城鎮三次すべりブロックの  $c' - \tan \phi'$  関係図

復強度を適用した。その結果は、 $F_{s1} = 0.84$ となり不安定であり、静止状態にある現状と矛盾する。また、 $c' - \tan \phi'$  関係図(図8)から明らかなように、すべり面の平均強度は残留強度にかなり近い。これは、地すべりのすべり面深度が大であり、回復強度が発揮されるすべり面領域のすべり面全体に占める割合が小さいため、斜面安定度への寄与が小さくなることを示唆するものである。峠ブロックの安定解析では、稲葉ブロックの抑止効果を考慮するかどうかは、地すべり対策に大きく影響する。しかし、弾塑性の土体では変位や作用力の分布が複雑で抑止力の算定は困難であるので、ここでは、残留強度および回

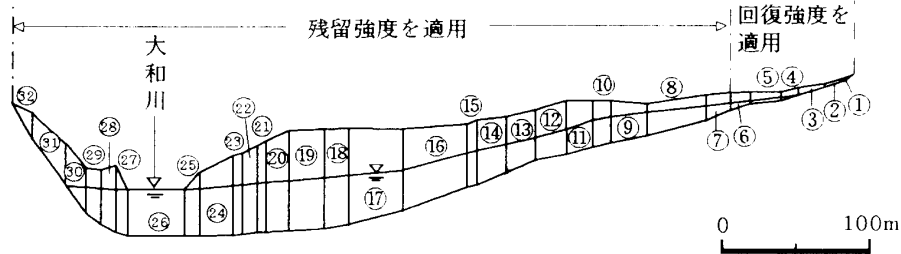


図-7 亀の瀬地すべり峠ブロックの安定解析断面

復強度を適用し得られた峠ブロックの $F_{s1} = 0.84$ と地すべりの現状 $F_s \geq 1.0$ との差を求め、稲葉ブロックの抑止効果分として $F_{s2} \geq 0.16$ を得た。このように、稲葉ブロックによる16%以上の安全率の抑止効果は、地すべり対策および再発生機構の解明において無視できないものである。また、峠ブロックでは、回復強度が発揮される低い有効土かぶり圧領域のすべり面全体に占める比率が小さく、安全率への寄与が極めて小さいことから、安定解析では残留強度のみの適用で問題がないと言える。

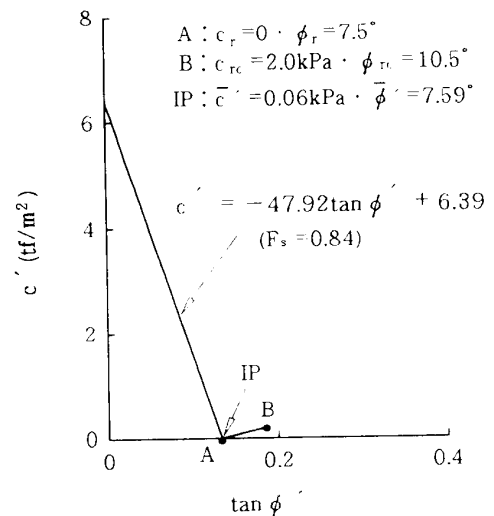


図-8 亀の瀬地すべり峠ブロックの  $c' - \tan \phi'$  関係図

## 結 言

移動量の大きい浅層すべりと深層すべりの再発生時安定解析に残留強度および回復強度を適用し、以下の知見を得た。

- ① 薛城鎮の三次すべりは層厚が8m~10mの浅層すべりである。再発生時の安定解析に残留強度のみを適用した場合、安全率が $F_s=0.91$ となり、斜面の安定度が過小に評価された。残留強度に加え、すべり面の低い土かぶり圧領域に回復強度を適用することによって安定度が合理的に評価できた。
- ② 亀の瀬地すべりの峠地区は峠ブロックと稲葉ブロックからなり、層厚が40m~70mの深層すべりである。安定解析では、高い土かぶり圧領域の全体に占める割合が極端に大きいため、高い土かぶり圧領域の全体に占める割合が極端に大きいため、残留強度のみによる安定解析を行い、合理的な結果を得た。峠ブロックは安全率は $F_s=0.84$ となり、稲葉ブロックによる抑止効果が約16%の安全率に相当していることが明らかになった。

## 引用文献

1. 農林水産省構造改善局 1989 土地改良事業計画設計規準 -農地地すべり防止対策- : p34, 165~166, 176~177
2. 宜保清一 1987 地すべり斜面の安定性評価に用いる強度定数の考え方, 土と基礎, 35 (11) : 27~32
3. Skempton, A. W. 1964 Long-term stability of clay slopes, Geotechnique, 14 (2) : 77~101
4. Skempton, A. W. 1985 Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory, Geotechnique, 35 (1) : 3~18
5. 水野恵司 1990 新潟県寺泊・椎谷層泥岩中に発生する崩壊型地すべり -地すべり土塊のせん断強度の評価に関する一考察-, 地形, 11 (1) : 29~40
6. 宜保清一 1996 残留係数を導入した安定解析法 -沖縄島尻層群泥岩地すべりへの適用-, 地すべり, 33 (2) : 46~50
7. Chandler R. J. 1977 Back analysis techniques for slope stabilization works -A case record-, Geotechnique, 27 (4) : 479~495
8. 周亜明, 宜保清一, 江頭和彦, 藤本昌宣 1997 中国, 岷江および雑谷脳河流域地すべり土の物理的・鉱物学的性質とせん断強度特性, 農業土木学会論文集, 187 : 23~29
9. 周亜明 1997 地すべりの土質工学的特性に関する研究, 博士号学位論文 : 103~106
10. 宜保清一, 陳信雄, 江頭和彦, 林義隆, 周亜明 1997 台湾, 中部横貫公路地すべり土の残留および回復強度特性, 地すべり, 34 (2) : 50~56
11. 宜保清一, 佐々木慶三, 周亜明, 江頭和彦 1996 中国, 岷江および右支雑谷脳河流域の地すべり, 地すべり, 32 (4) : 41~48
12. 高田理夫 1964 亀の瀬地域の地すべりについて, 地すべり, 1(2) : 61~63
13. 村田行雄 1980 亀の瀬地すべり, 地すべり, 16 (4) : 25~39
14. Y. Hayashi, D. Higaki, T. 1992 Ihizuka: Structure of slip surface formed by rock block slide, Landslides Glissements de terrain : 127~132