

2011 年東北太平洋沖地震による崩壊・地すべり（福島，栃木）および地震断層（福島）調査結果

調査日時：2011 年 4 月 17－19 日

調査者：

千木良雅弘（京都大学防災研究所）

中筋章人，藤原伸也，阪上雅之（国際航業株式会社）

調査箇所：

福島県白河市葉ノ木平，白沢，岡ノ内，須賀川市藤沼ダム

栃木県那須烏山市川西，那珂川町押野

調査結果の概要

調査した 5 箇所の斜面移動の内 4 箇所はほぼ同じタイプの崩壊性地すべりで，高い流動性と同様の地質的原因を有していた。これらは，1949 今市地震，1968 年十勝沖地震，また 1978 年伊豆大島近海地震の時に多発した崩壊と極めて良く似ているものである。那須烏山市で発生した斜面移動は地すべりである。調査した崩壊は，斜面に平行な層構造を持つ斜面に発生し，斜面から深さ 3m から 9m にあり斜面に大略平行な古土壌上面にすべり面が形成されたものである。移動土砂は高速で移動し，葉ノ木平と岡ノ内のものは人的災害に至った。他の 2 か所では，幸運にも斜面下方に人家がなく人的被害はなかった。これらの古土壌は，軽石混じりの火山灰が強風化したもの，あるいは弱溶結凝灰岩の崩積土が強風化したもので，非常に高含水・軟弱で，植物の毛根孔を有し，指頭でつぶすと液状になるものであった。移動土砂は，乾燥した状態の風化火山灰，軽石，スコリア，あるいは弱溶結凝灰岩の崩積土であり，その大部分は崩壊源から流下し，下方に流れ広がった。斜面に生えていた樹木の多くは根系平板土壌に支えられて崩積土の上に立った状態を保つことから，土砂の上に立った状態で移動したことがわかる。これらの見かけの摩擦角は， 10° から 16° であった。発生前には，地層が明らかに下部切断されていた（白沢，岡ノ内），あるいはそう推定され（押野，葉ノ木平），この構造が発生の大きな一つの要因であったと推定される。

烏山市の地すべりは，沢状部のすべりであり，すべった物質は主に礫岩起源の物質で，その下位には軽石質凝灰岩が認められた。礫岩の基質は凝灰質で強く風化しているために粘土質になっている。また，礫自体も腐り礫となっているものが多い。地すべりの滑落崖は最高で比高 5m 程度である。地すべり地には湧水があり，移動体は全体に水分に富んでいる。この地すべり地では以前池が埋め立てられた経緯があるようであり，水分に富む埋め立て土の地すべりであると推定される。本震時に末端が高速で下方の家屋に衝突し 2 名の人命が失われた。その後余震時にも移動が生じた。これらの内，那須烏山の地すべりは，今後の余震や豪雨による動きが懸念されるが，そのほかの崩壊については，大規模な拡大と土砂移動の懸念は小さい。

藤沼貯水池のアースダムの決壊は、アースダムの下流側斜面のスランプによる破壊が原因であると推定される。その副ダムでは、貯水池側の堤体斜面がスランプし、底堆積物の上を長距離移動した。その見かけの摩擦角は 7.6° であった。

地震断層は、4月11日に発生し、茨城県いわき市田人町では、震度6弱で、6.5kmにわたる地震断層が出現した。これは、北北西走向の断層で、東側が1mから1.5m上昇し、右横ずれ成分を10–20cm程度有していた。岩盤に認められた断層は高角で、鉛直あるいは西に 74° 傾斜していた。北北西端では地震断層から岩盤内に断層を追跡できるが、それは幅10cm程度でガウジの幅は1cmにも満たないものであった。この断層はそれ沿いに明瞭な直線的な谷として認められるが、この谷は北北西に向かって不鮮明になる。



図-1 調査位置図

| 場所 | 被害 | 見かけの 摩擦角 (°) | 水平長 さ (m) | 高さ (m) | 体積 (m ³) | 地質 | すべり面 | 深さ (m) | 事前の地形 |
|-------------------|---------------|--------------------|-----------------|-----------|-------------------------|--------------------------------------|------|-----------|--------------|
| 白河市葉 の木平 | 死者12名 不明1名 | 10 | 251 | 47 | 170,000 | 古土壤, 軽石, スコ リア, 風化 火山灰 | 古土壤 | 5~9 | 沢頭で下 部切断? |
| 白河市白 沢 | 山林と田 | 15 | 330 | 70 | 9,000 | 古土壤, 軽石, 風 化火山灰 | 古土壤 | 3 | 下部切断 (沢頭) |
| 白河市岡 の内 | 死者1名 | 16 | 143 | 40 | 16,000 | 弱溶結凝 灰岩の崩 積土(岩 片混じり褐 色土) | 古土壤 | 5 | 下部切断 (道路) |
| 栃木県那 珂川町押 野 | 山林と田 | 12.7 | 330 | 75 | 5,500 | 古土壤, 軽石, 風 化火山灰 | 古土壤 | 4 | 下部切断 (沢頭) |
| 那須烏山 市川向 | 死者2名 | 13 | 210 | 40 | 30,000 | 強風化凝 灰質礫岩 (埋め 土?) | 不明 | 5? | 沢を埋め た |

調査結果の詳細

崩壊

葉ノ木平

被害：死者 12 名，不明 1 名，

見かけの摩擦角 10.0°

水平長さ 251m，高さ 47m，崩壊体積 ($50 \times 60 \times 5 + 70 \times 50 \times 90 / 2 = 17$ 万 m^3)

地質：古土壌，軽石，スコリア，風化火山灰

地質構造：概略斜面に平行な層構造。一部風化火山灰が吹きだまり状に厚い。

発生前の地形：空中写真観察によれば，崩壊斜面下部は椀状の沢頭になっており，崩壊斜面は下部切断されていたようである。

崩壊源：

- 崩壊斜面上方は高さ約 5m の鉛直に近い崖で縁取られ，これは内部の土砂がほとんど流出したことを示している。
- 崖には，風化火山灰，軽石，スコリアが露出。
- 上部と下部に二分され，上部は傾斜 22° で東に開いた凹状，下部は傾斜 43° で南東に開いた凹状。
- 薄い崩積土の上に根系の層で支えられた樹木が立っている。

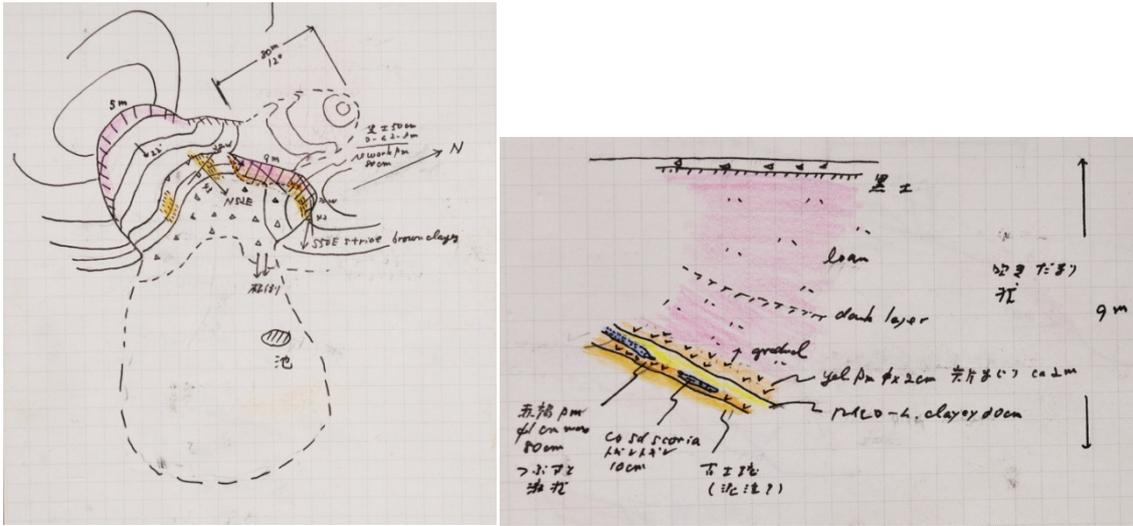
すべり面：

- 崩壊源にすべり面が散点的に露出している。その面にはすべりに伴う条腺が刻まれている。
- 古土壌上面付近，深さ 5m から 9m。
- すべり面から 1-2cm までの古土壌は構造を失い，間隙がつぶれて密になっている。
- 古土壌は極めて高含水で軟弱。風化した軽石粒と斜長石片を含む。

堆積物：

- 大部分は南東に移動したが，一部は北側斜面に移動した。その斜面は平滑，下底は芝生。芝生は全く非変形であり，削られていない。
- 厚さは，最大 3m 程度。乾燥してルーズ。上に根系の層で支えられた樹木が立っている。樹木の多くは立ったまま移動。

今後：不安定土の大部分はすべり落ち，崩壊源はほぼ尾根頂部にまで達しているのて，大きく拡大する恐れはない。



葉ノ木平の崩壊の平面図と断面図。断面図は平面図の中央部の崖を北西向きに見たもの。

| | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| | |
| <p>葉ノ木平の崩壊の空中写真（国土交通省撮影）</p> | <p>すべり面</p> |
| | |
| <p>削剥域に残存する直立樹木</p> | <p>北西のゴルフ場に移動した土砂。芝生面は全く変形していない。</p> |

白沢

被害：山林と田

見かけの摩擦角：測定できず（水平直線距離と高さからの計算では 15° ）

水平長さ 330m, 高さ 70m (2万5千分の1地図から), 崩壊体積 ($30 \times 95 \times 3 = 9000 \text{ m}^3$)

地質：古土壌, 軽石, 風化火山灰

地質構造：概略斜面に平行な層構造。

発生前の地形：南東から南に流下する沢の源頭部が崩壊した。この沢の途中には明瞭な遷急点があり, そこから上方が崩壊した。つまり, 崩壊した地層は下部切断されていた。

崩壊源：

- 崩壊斜面上方と側方は高さ約 3m の鉛直に近い崖で縁取られる。崖には軽石混じり風化火山灰と厚さ 15cm で極粗粒砂サイズの白色軽石が露出。深さ 2m に古土壌との境界がある。
- 南東に伸びる細長い 0 次谷様窪地。傾斜 13° 。下方は傾斜 46° の急斜面によって切断。
- 水平長さ 95m, 高さ 20m, 幅 30m
- 灌木は立って崩積土の上に載る。

すべり面：

- 崩壊源に条線のついたすべり面が断片的に露出。
- すべり面は古土壌中に形成される。古土壌は軽石混じり火山灰起源。
- 古土壌は極めて高含水で軟弱。毛根孔をもつ。その上の風化火山灰は相対的に低含水。
- すべり面から 2cm 下まで構造が破壊し, 間隙もつぶれる。

堆積物：

- 樋状の沢を流下。末端に樹木が集まる。
- 乾燥してルーズ
- 末端で田の上に載るが, 田の表面は全く非変形

今後：不安定土の大部分はすべり落ち, 崩壊源はほぼ尾根頂部にまで達しているため, 大きく拡大する恐れはない。



白沢地区の崩壊全景（国土交通省撮影，3月14日）



最上部の分離崖



すべり面の形成された古土壌（下）と軽石混じり風化火山灰（上）の境界。もっと上に白色軽石層が挟まれる。

岡ノ内

被害：死者1名，全壊家屋1戸

見かけの摩擦角： 16°

水平長さ143m，高さ40m，崩壊体積（ $76 \times 41 \times 5 = 16,000 \text{ m}^3$ ）

地質：弱溶結凝灰岩の崩積土（岩片混じり褐色土）

地質構造：概略斜面に平行な層構造。深部ほど風化の程度が強く，また，含水率も高い。

斜面基部の側方には弱溶結凝灰岩が露出し，その割れ目から湧水。

発生前の地形：尾根末端。斜面下部を道路が横断しており，すべり面は道路面よりも上に抜ける。

崩壊源：

- 水平長さ76m，幅41m，平均深さ5m，傾斜 18°
- 崩壊斜面上方は最大高さ約8mの鉛直に近い崖で縁取られ，これは内部の土砂がほとんど流出したことを示している。
- 崖には弱溶結凝灰岩の崩積土が露出。
- 崩壊源よりも上方の斜面には亀裂はないので，本震と同様の大きな揺れがな

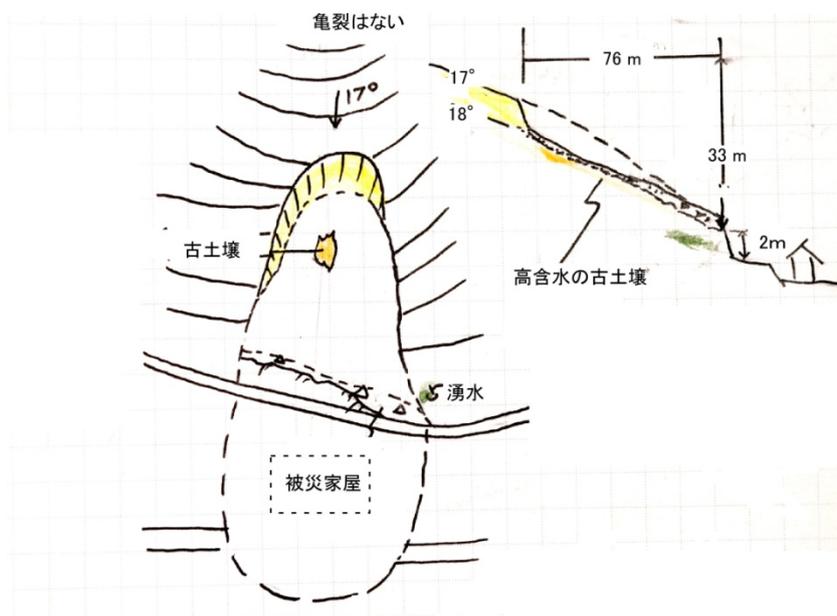
ければ拡大する可能性は低い。

すべり面：

- 崩壊源にすべり面が散点的に露出している。その面にはすべりに伴う条腺が刻まれている。すべり面のできた崩積土には毛根孔が認められ、古土壤であることがわかる。
- すべり面から 3cm 程度まで構造が破壊し、間隙もつぶれている。

堆積物：

- 救出のためにかく乱されていたが、樹木は崩積土の上に立っていたらしい。



岡ノ内の崩壊の平面図と中央断面図。



岡ノ内の崩壊。左：空中写真（国土交通省撮影，3月14日）。右：崩壊下部道路脇の法面の半分程度の高さまでは発生前の地山。



岡ノ内の崩壊のすべり面（左）とすべり面の形成された崩積土（右）。右の写真は全体が弱溶結凝灰岩片を含む崩積土で、下部が暗褐色で、水分が多くまた極めて軟弱になっている。

今後：不安定な土砂の大部分は取り去られていることと、崩壊源上方の斜面には亀裂が全く見当たらないことから、崩壊が拡大する可能性は低い。豪雨があった場合に、崩壊源内にとどまっていた土砂が流出してくる可能性はある。

藤沼ダム

昭和 12 年から 24 年にかけて建設された灌漑用アースダム

高さ 17.5m，堤頂長 133m，堤体積 99,000 m³，総貯水量 1,504,000 m³（日本ダム便覧より）

被害：死者 8 名（滝集落 4 名，長沼高校付近で 4 名）

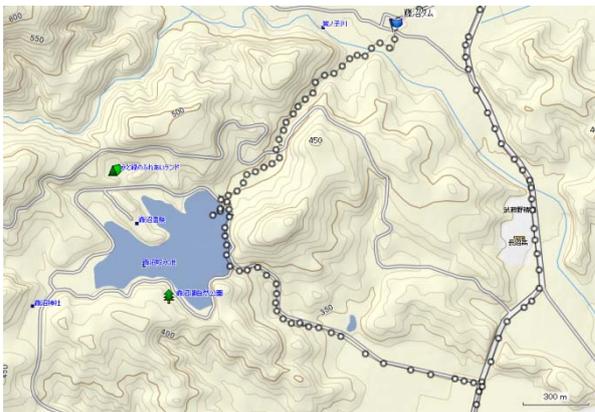
材料：軽石混じり火山灰など。水平層構造を持つ。

崩壊：

- 右岸側の堤体下流側が複数のスランプを起こした。それは、現在も残存している。スランプの移動体の下には水平の層構造を持つ堤体があり、スランプを起こしたのは、堤頂から 12m までであることがわかる。規模からして、このスランプが決壊の原因だったようである。
- 堤体の池側への小規模なスランプも認められた。
- 決壊前に越流があったのかどうかは不明。
- 右岸側のアバットは観察，また，左岸側のアバットは遠望した結果，基礎地盤は破壊されていない。
- 水は，右岸側から左岸下流側に向けて流下した。その後 1km 北東に直進し，滝集落に衝突後，右(南東)に流路を変え，さらに 1km 程度下流の長沼高校付近まで洪水として流下した。

補助ダム：下流側高さ 7m，池側高さ 14m，堤長 60m

- アースダム
- 材料：軽石混じり火山灰など
- 貯水池側の堤体斜面がスランプし、底堆積物の上を長距離移動した。その見かけの摩擦角は 7.6° 。
- 堤体の下流面は無事だったため、決壊せず。



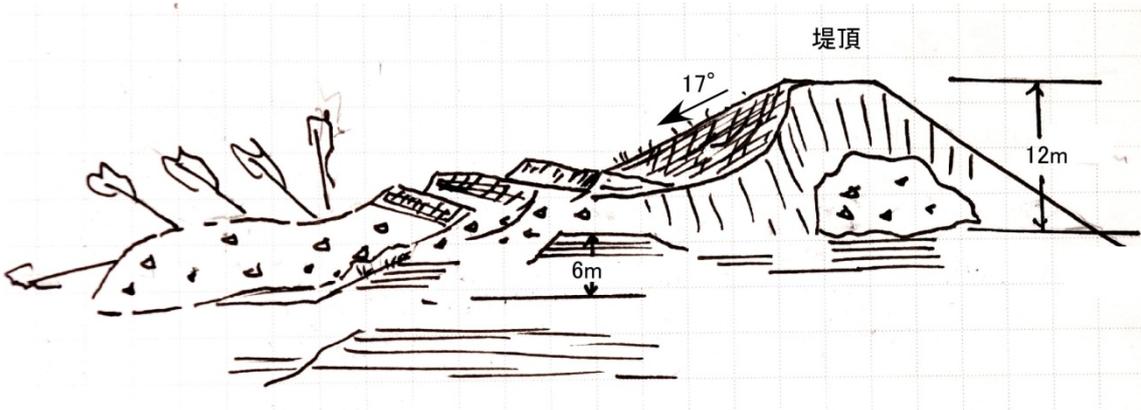
藤沼ダム。北東部に主ダムがあり，そこが決壊して洪水が北東に 1km 流下し，南東に流路を変えてさらに 1km 程度まで達した。



主ダムの破壊状況。右岸から左岸を見る。



藤沼ダム右岸側堤体のスランプ。次のスケッチを参照。



藤沼ダム右岸側堤体のスランプのスケッチ。水平の縞模様は残存する堤体。

栃木県那珂川町押野

被害：田畑，家屋半壊（すぐ脇に集落があったが無事）

見かけの摩擦角 12.7°

水平長さ 330m，高さ 75m，崩壊体積 $(25 \times 55 \times 4 = 5500 \text{ m}^3)$

地質：古土壌，軽石，風化火山灰

地質構造：概略斜面に平行な層構造。

発生前の地形：斜面下部の北半部が急傾斜の沢頭になっており，その上方斜面は下部切断されていた。

崩壊源：

- 幅 55m，水平長さ 25m，高さ 35m，傾斜 23° （すべり面傾斜は 34° ），平均深さ 4m。
- 崩壊斜面上方は高さ約 4m の鉛直に近い崖で縁取られ，これは内部の土砂がほ

とんど流出したことを示している。

- 崖には、古土壌、風化火山灰、軽石が露出。
- 薄い崩積土の上に根系の層で支えられた樹木が立っている。

すべり面：

- 崩壊源にすべり面が散点的に露出している。その面にはすべりに伴う条腺が刻まれている。
- 古土壌上面付近、平均深さ 4m。
- すべり面から 2cm 程度までの古土壌は構造を失い、間隙がつぶれて密になっている。
- 古土壌は極めて高含水で軟弱。毛根孔をもつ。

堆積物：

- 発生前の沢頭より上方からすべり落ちた土砂は、最も遠くまで移動した。
- 末端は、水田の上に堆積。田の表面は、全く非変形。
- 堆積物の厚さは、最大 3m 程度。乾燥してルーズ。上に根系の層で支えられた樹木が立っている。樹木の多くは立ったまま移動。

移動の挙動：

- 目撃者あり。地震の大きな揺れが続いているうちに発生と停止が起こった。木は立ったまま、森が移動したように見えた。ほんの“5秒”程度の出来事だった。

今後：不安定土の大部分はすべり落ち、崩壊源はほぼ尾根頂部にまで達しているのので、大きく拡大する恐れはない。



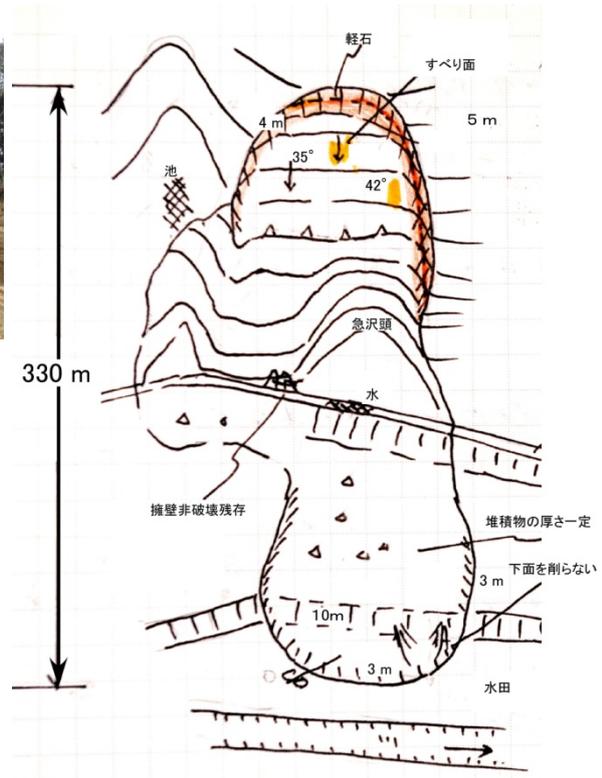
押野の崩壊の全景。末端が水田を全く変形させていないことがわかる。



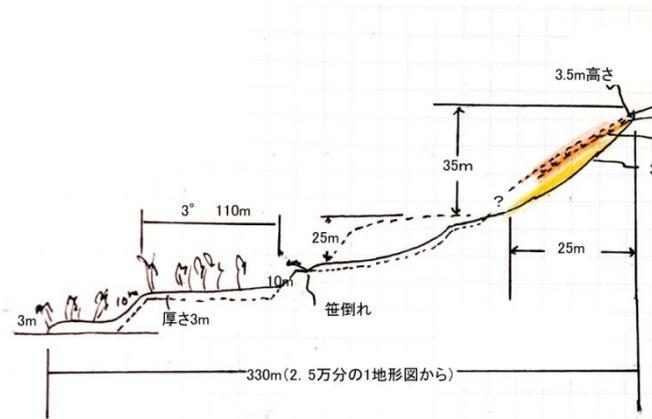
押野の崩壊の崩壊源。軽石層が斜面に平行に分布している。



押野の崩壊源に見られたすべり面



押野の崩壊の平面図。



押野の崩壊の断面図



すべり面下の古土壌。最下部には毛根跡の孔が見られる。

那須烏山市川向

被害：2名死亡

見かけの摩擦角：13°

水平距離 210m，高さ 40m，幅 30m，体積 3 万 m³（深さ 5m として）

発生前の地形：北東から東北東に流下する沢。聞き取り調査と発生前の空中写真によると，以前は沢の下部に池があったようで，それを埋め，埋積土がすべったらしい。

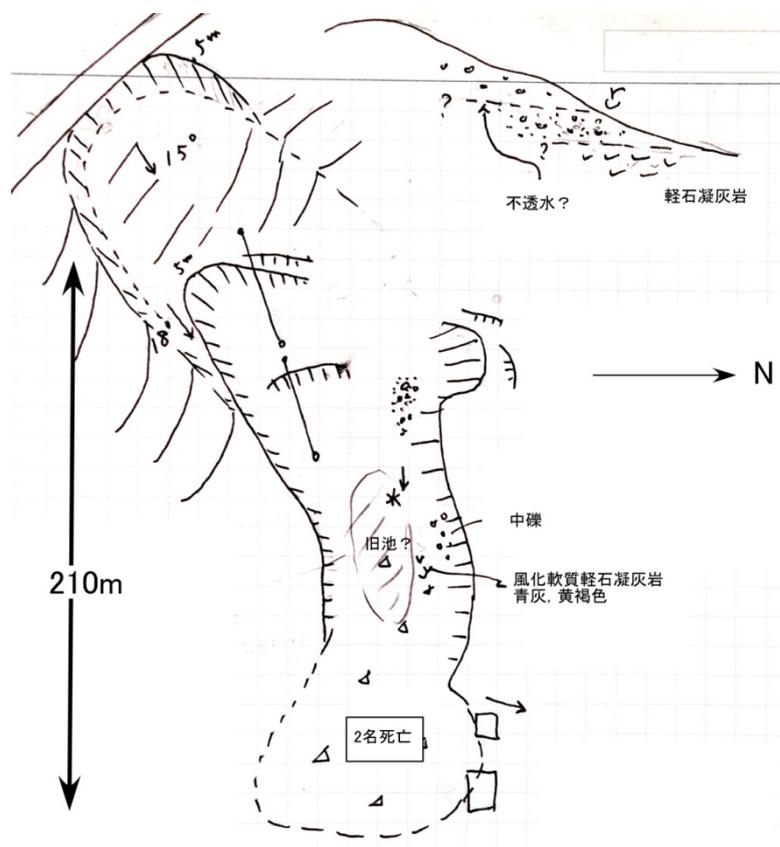
地質：基盤は軽石質凝灰岩と凝灰質礫岩，おそらくそれを覆って新しい礫層が載っている。

軽石質凝灰岩と凝灰質礫岩は著しく風化し軟質になっている。礫岩の礫には，チャート，砂岩，安山岩，流紋岩などがあるが，チャート以外は強く風化している。

基質は指頭で粘土状につぶれる。すべったのは主に凝灰質礫岩らしい。

状況：上部に複数段の滑落崖があり，それらの最大比高は 5m。右側方崖は直線的。中央部から下部は高含水で軟質な礫岩起源の土砂が露出。本震時に末端が高速で移動して下方の家屋を直撃。

今後：地すべり内部を水が流下しており，不安定土砂が大量にあるので，余震のあるなしにかかわらず，今後の地すべりが懸念される。



那須烏山市の地すべりの平面図



井戸沢断層

地震：

4月11日17時16分

震央 北緯 36.9° ， 東経 140.7°

M7.1

深さ約 10km

概要：本地震断層は、山形大学の八木浩司氏他によって発見された。現地での聞き取りによれば、この地震断層は上記の地震時に出現したものである。それは **6.5km** にわたって追跡できる。これは、北北西走向の断層で、東側が **1m** から **1.5m** 上昇し、右横ずれ成分を **10-20cm** 程度有していた。岩盤に認められた断層は高角で、鉛直あるいは西に 74° 傾斜していた。北北西端では地震断層から岩盤内に断層を追跡できるが、それは幅 **10cm** 程度でガウジの幅は **1cm** にも満たないものであった。この断層はそれ沿いに明瞭な直線的な谷として認められるが、この谷は北北西に向かって不鮮明になる。



断層南部。左（東側）が約 1m 上昇



地震断層の下に認められた断層ガウジ

以上