

平成23年7月15日  
地盤から見た“東日本大震災”報告会

報告1 テーマ

## 道路斜面と活断層

独立行政法人土木研究所  
地質・地盤研究グループ地質チーム  
佐々木靖人

(謝辞) 本報告の一部は、東北地方整備局、福島県、および地質・地盤研究グループ(地質チーム、土質・振動チーム、施工技術チーム)等のデータを利用しています。関係者のご協力に感謝申し上げます。

## 本日の内容

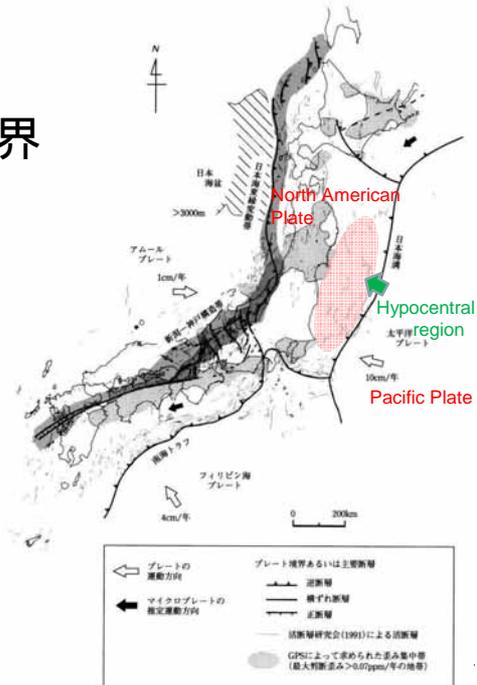
本震による道路地盤災害(主に斜面災害)

余震による活断層(主にいわき)

余震による斜面災害

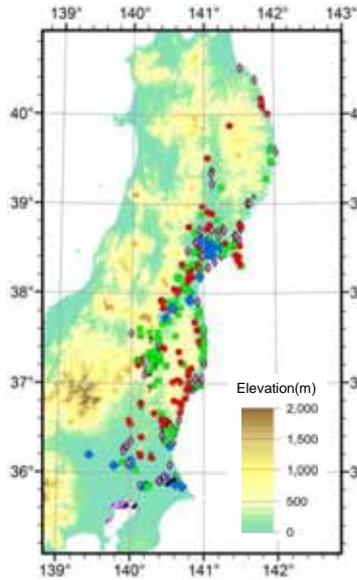
# 広域地形地質と 道路斜面災害の関係

## 本震とプレート境界



After Ohtake, Taira, Ohta (2002)

# 大地形と地盤災害の関係

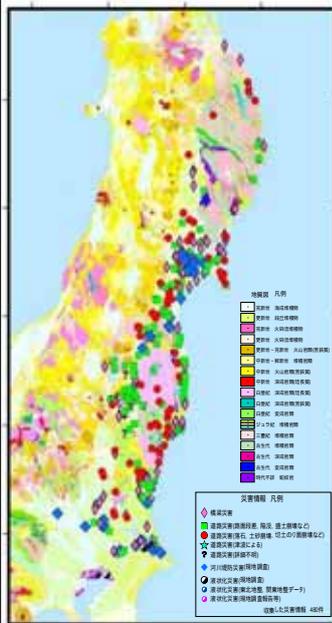


・図は、道路地盤災害(一部液化化被害と河川堤防の災害を含む)を示したものの(4月半ばまでの情報をもとにプロット)。  
 ・本震による地盤災害の範囲は東北から関東の南北800km、東西100kmに及び。  
 ・大地形と災害分布を比較すると、今回の本震では、山地の斜面災害は内陸地震に比べ少ないが、平地～低山地での災害が多い。  
 ・斜面災害は山地の縁(低山地、丘陵部)で多い。

- 災害情報 凡例
- ◇ 橋梁災害
  - 道路災害(路面段差、陥没、盛土崩壊など)
  - 道路災害(落石、土砂崩壊、切土のり面崩壊など)
  - ★ 道路災害(津波による)
  - ？ 道路災害(詳細不明)
  - ◆ 河川堤防災害(現地調査)
  - 液化化災害(現地調査)
  - 液化化災害(東北地盤、関東地盤データ)
  - 液化化災害(現地調査報告等)

- LEGEND
- ◇ Bridge disaster
  - Road disaster (roadbed failure)
  - Road disaster (slope failure)
  - ★ Road disaster (by Tsunami wave)
  - ？ Road disaster (unknown to detail)
  - ◆ River levee disaster (data by PWR)
  - Liquefaction disaster (data by MLIT)
  - Liquefaction disaster (data by MLIT)
  - Liquefaction disaster (investigated data by published report)

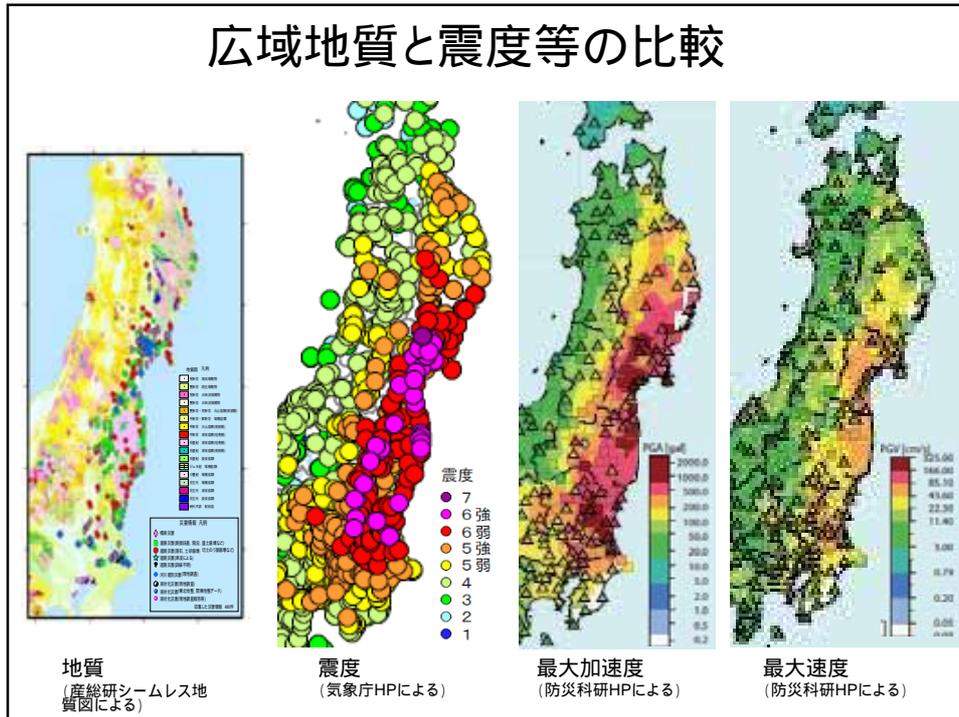
# 被災地の広域地質



- 地質図 凡例
- |                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| 完新世 海成堆積物         | 土砂等の堆積物<br>(主に段丘や平野)             |
| 完新世 火砕流堆積物        |                                  |
| 更新世 段丘堆積物         |                                  |
| 更新世 火砕流堆積物        | 第四紀の火山噴出物<br>(主に丘陵～盆地)           |
| 更新世～完新世 火山岩類(苦鉄類) | グリーンタフ期とそれ以降の堆積性軟岩<br>(主に低山地・丘陵) |
| 中新世～鮮新世 堆積岩類      | グリーンタフ期の火山岩<br>(奥羽山脈などの山地)       |
| 中新世 火山岩類(苦鉄質)     |                                  |
| 中新世 深成岩類(珪長質)     |                                  |
| 白亜紀 深成岩類(珪長質)     |                                  |
| 白亜紀 深成岩類(苦鉄質)     |                                  |
| 白亜紀 変成岩類          |                                  |
| ジュラ紀 堆積岩類         | 古い地質帯<br>(北上山地、阿武隈山地などのからなる山地)   |
| 三疊紀 堆積岩類          |                                  |
| 古生代 堆積岩類          |                                  |
| 古生代 深成岩類          |                                  |
| 古生代 変成岩類          |                                  |
| 時代不詳 蛇紋岩          |                                  |

シームレス地質図 (産総研)

## 広域地質と震度等の比較



## (道路) 斜面災害と広域地形地質の関係

- ・今回の本震による斜面災害は、**山地の縁(低山地・丘陵)**で多いようだ。
- ・この要因の一つとして、高い山地に比べ低山地・丘陵では標高が低いため**強い降雨を被っておらず、常時(および地震時)の安定性が相対的に低かった**可能性がある。(また、低山地・丘陵では後述するように地質も軟質)
- ・本震による斜面災害は、**グリーンタフ期とそれ以降の堆積性軟岩、第四紀の火山噴出物**に多いようだ。
- ・この要因の一つとして、軟質な地質の地域では、**地震動自体が大きい**(気象庁震度階で概ね1ランク程度高い)ことがあげられる。(波形も考慮する必要)
- ・また、堆積性軟岩や第四紀の火山噴出物は、**もともと脆弱かつ地震動によりさらに脆弱化しやすい特定の地層**(軟質な凝灰岩薄層や火山灰層など)を挟在している。
- ・それらは新しい地層なので、(断層等で分断されず)**連続性が高い**、(地殻変動量が少なく)**緩傾斜**である、(地形に沿って堆積するなど)**流れ盤**になりやすい、などがあげられる。
- ・阿武隈山地や北上山地などの古い堆積岩や花崗岩地域では災害は少ないようだ。(ただし県道や市町村道等では、あちこちに災害は見られる)

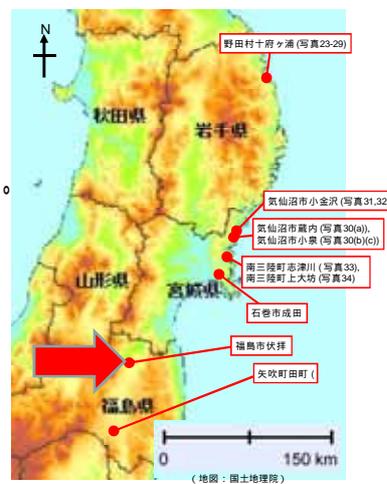
# 詳細地形地質と 道路斜面災害の関係



## 本震による道路斜面災害例

### 国道に近接する谷埋め盛土の崩壊

- ・崩壊土量：約 11,000m<sup>3</sup>
- ・本震により崩壊し国道を閉塞。
- ・約40年前の民間宅造の谷埋め盛土。
- ・主に火山碎屑物を掘削した土からなる。



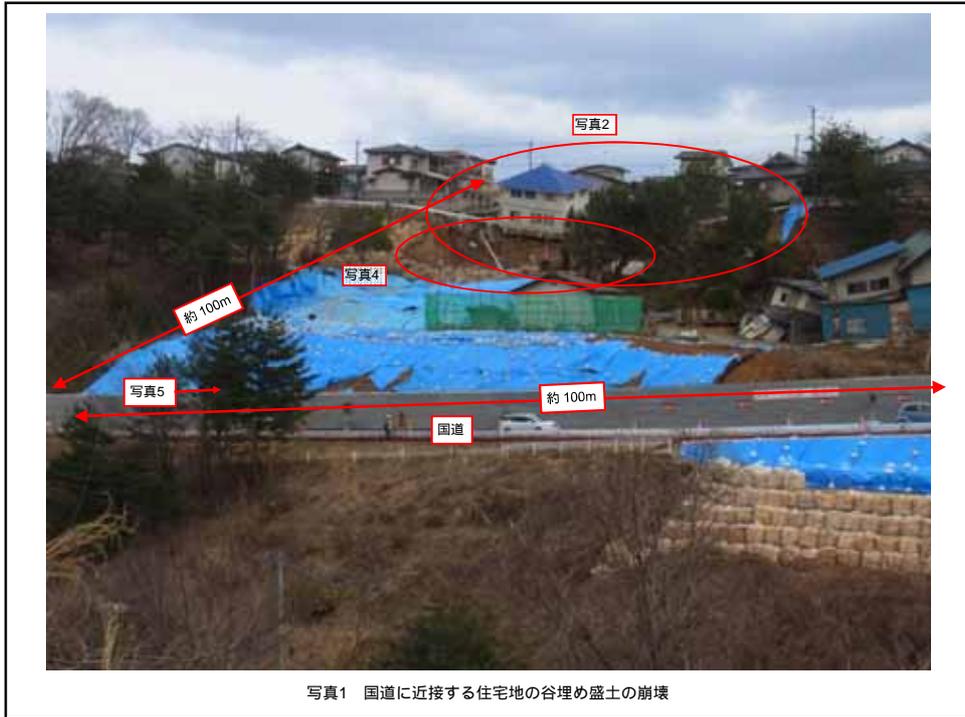


写真1 国道に近接する住宅地の谷埋め盛土の崩壊



写真2 崩壊の上部

写真3 崩壊頭部

写真4 崩壊の中央部と移動した住宅地の道路

写真5 国道を閉塞した崩壊の末端部

(写真提供：福島河川国道事務所)

## 軟弱地盤上の県道盛土の被災

- ・盛土の沈下とともに、盛土上面（路面）に多数の亀裂が生じた。
- ・盛土の基礎地盤はN値3程度、厚さ15mの粘性土からなる。基礎地盤表面にも多数の亀裂が生じた。

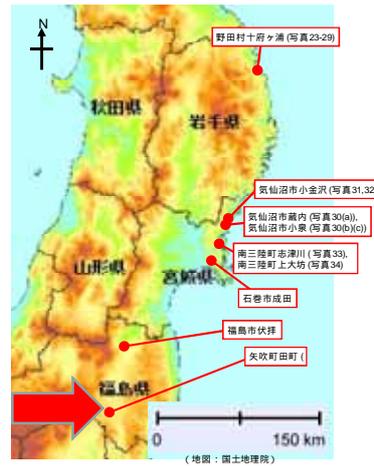


写真6 県道盛土の沈下（赤矢印）



写真7 盛土基礎地盤の地表に現れた亀裂（赤矢印）



写真8 盛土上面（路面）の亀裂

## 国道沿いのゆるみ切土斜面の崩壊

- ・崩壊土量：不明(深さが不明のため)
- ・本震により小崩壊し3日後に再崩壊。
- ・三畳紀の粘板岩。
- ・空中写真判読とボーリング調査結果から斜面の深いゆるみが想定される。
- ・河川の攻撃斜面の切土。



写真9 斜面崩壊による国道の被災  
 (写真提供：仙台河川国道事務所)  
 赤破線：崩壊範囲  
 赤点線：上部斜面に生じた滑落崖



(写真提供：仙台河川国道事務所)  
写真10 本震から約10時間後の被災現場



(写真提供：仙台河川国道事務所)  
写真11 本震から約3日後の被災現場



写真12 上部斜面に生じた滑落崖(赤矢印間)



写真13 変状を生じた斜面  
赤矢印：斜面内に生じた亀裂



写真14 左側部末端

写真15 崩壊斜面上方のボーリングコア

0-12m：強風化し黄色～褐色を呈する。多数の亀裂とそれらを充填する粘土が観察される。  
12m以深：相対的に硬くなり黒～灰色を呈する部分が増える。依然として多数の亀裂およびそれらを充填する粘土が観察される。



(写真提供：仙台河川国道事務所)



図2 周辺斜面の空中写真判読図

## 津波による国道沿いののり面保護工の被災

- ・3月11日の本震後の津波によるのり面保護工の被災あり。
- ・コンクリートのり枠工(プレキャストのり枠工および現場打ちのり枠工)の被災(1箇所)。
- ・プレキャストのり枠工：枠内の栗石および背面の土砂が流失し、さらにのり枠の一部も流失。
- ・現場打ちのり枠工：枠内の吹付モルタルおよび背面の土砂が流失した。また、のり枠の部材の破壊が多く生じた。
- ・他に、切土のり面の吹付モルタルの剥離が数箇所生じた。

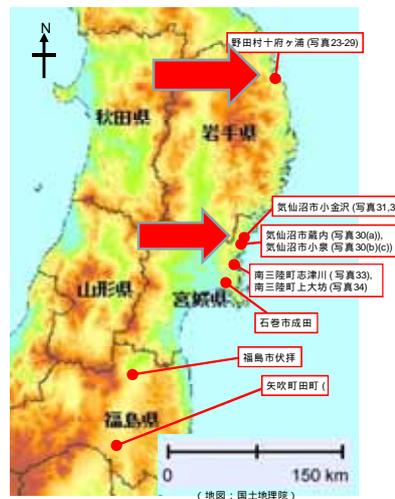




写真23 津波によるプレキャストのり枠工の被災現場



写真24 プレキャストのり枠工の被災状況



写真25 プレキャストのり枠工背後の土砂流出による隙間



写真26 津波による現場打ちコンクリートのり枠工の被災現場



写真27 コンクリートのり枠工の被災状況



写真28 のり枠部材の破壊



写真29 のり枠交点部の破壊



### 津波襲来地域における盛土および擁壁

- ・3月11日の本震後の津波により様々な規模の盛土被害が生じた。
- ・擁壁背後の盛土が被災した箇所では擁壁の流失が生じた箇所があった。
- ・背面土砂の流失が起こっていない箇所では擁壁の被災は全く見られなかった。

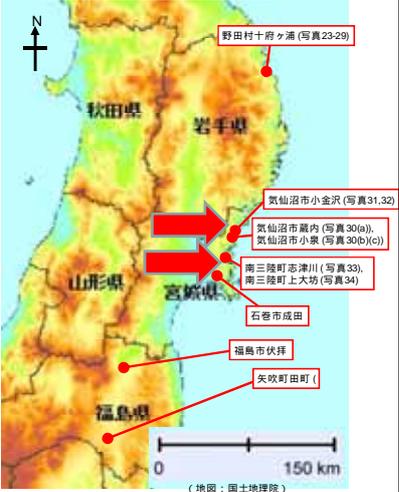




写真31 津波による盛土の被災



写真32 津波による盛土の被災  
盛土が流失した部分では下端の擁壁が失われた。



写真33 津波が襲来した切土のり面のコンクリートブロック積擁壁  
津波が擁壁の上端を越えたが、擁壁には被災がなかった。



写真34 津波が襲来した道路盛土側面のコンクリートブロック積擁壁  
津波が道路面（盛土上面）を越えたが、擁壁には被災がなかった。

## 本震によるその他の崩壊例



岩手県一関市巖美町下真坂(一般国道397号)  
平成20年度災害後1:1.0で切り直した隣接切土のり面が崩壊(落ち残り?)  
(左写真はH21.6月、右写真はH23.4月)



岩手県一関市巖美町下真坂(一般国道397号)のやや一関側  
(平成20年度災害で落ち残った古いモルタル箇所が崩壊。緩み残りありと推定)  
(左写真はH21.6月、右写真はH23.4月)



赤: 今回の崩壊  
青: 今回のクラック

福島県福島市飯坂町(一般国道399号)  
ロックシェッド上に崩壊。被災地は地すべり防止区域の末端部。

## 本震による道路斜面災害の特徴

・道路土構造物および斜面の被災は(岩手・宮城内陸地震等に比べて)比較的少ない。ゆれの特性によるものか。

・地震動による崩壊の特徴は以下の通り。大規模に被災している箇所は、もともと不安定な微地形を呈する箇所が多い。

- 谷埋め盛土の崩壊
- 軟弱地盤上の盛土の沈下
- ゆるみ斜面や地すべり地の末端の崩壊
- 以前の地震で緩んでいたと推定される岩盤斜面の崩壊

・津波による崩壊の特徴は以下の通り。

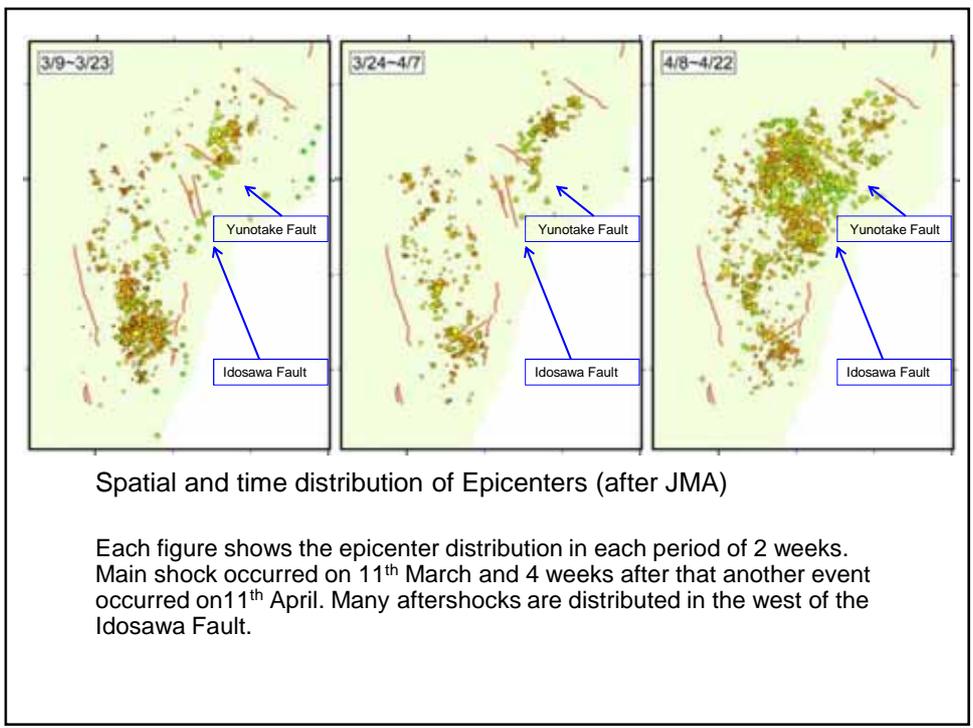
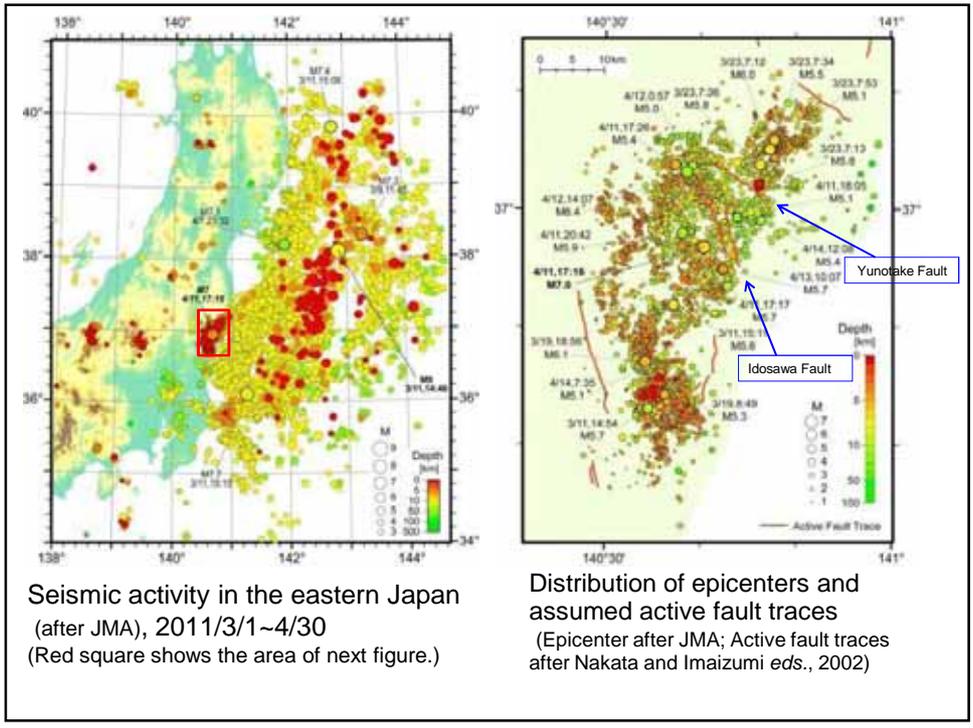
- 盛土流失
- 盛土流出に伴う擁壁の破壊
- のり面保護工の破壊(のり面地山の風化や空洞化が関与か)

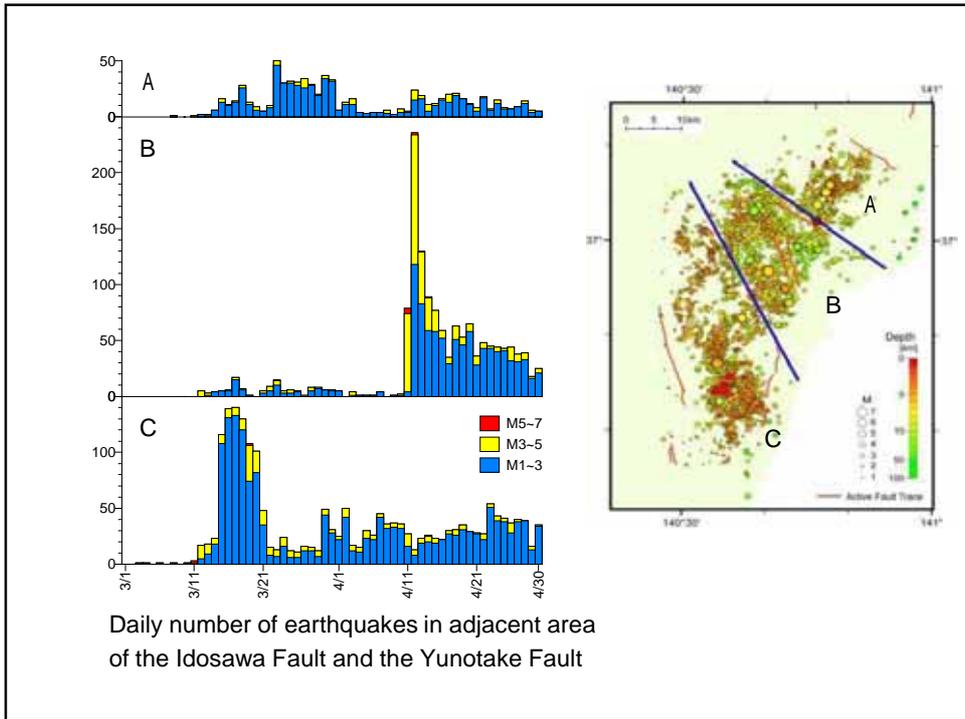
## 余震による活断層の発生と 道路斜面災害例

### 4月11日の余震で現れた地表地震断層

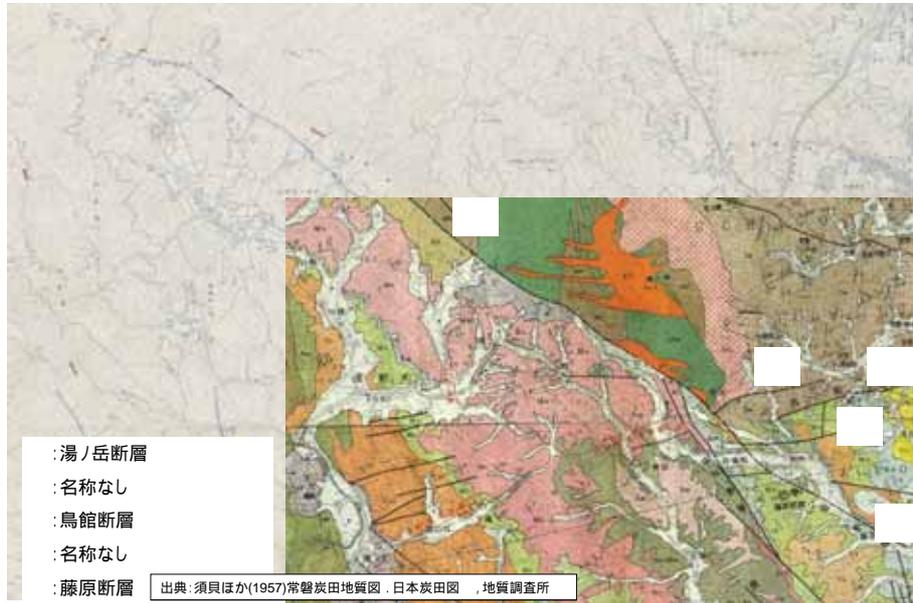
- ・ 湯ノ岳断層と井戸沢断層(西側)で出現
- ・ 湯ノ岳断層と地質断層である藤原断層沿い(端部から端部までで15.6km)には80cm程度の南落ちの変位
- ・ 井戸沢断層(西側)には200cm程度の西落ちの変位

(以下のpptのうち一部は土研英文HPからの引用)

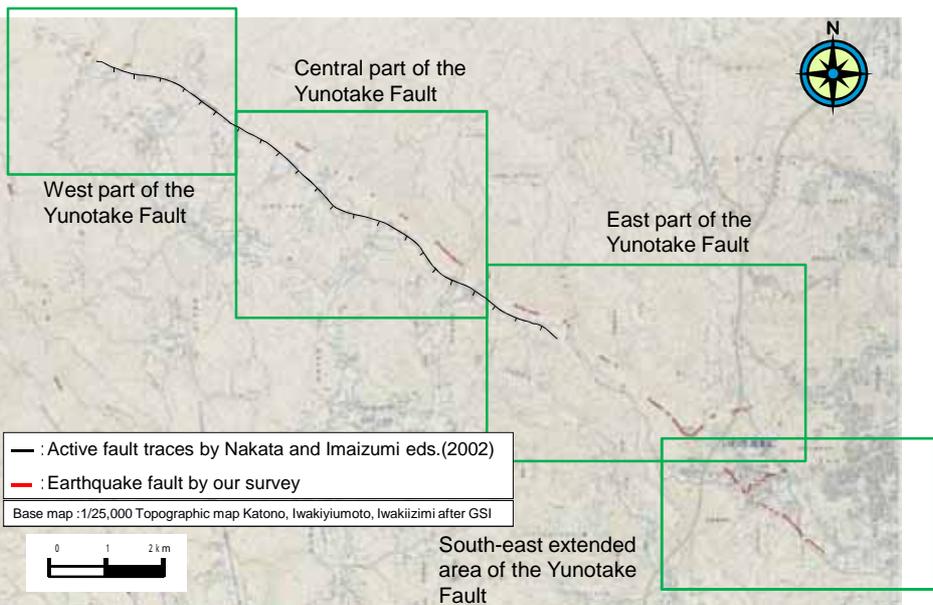




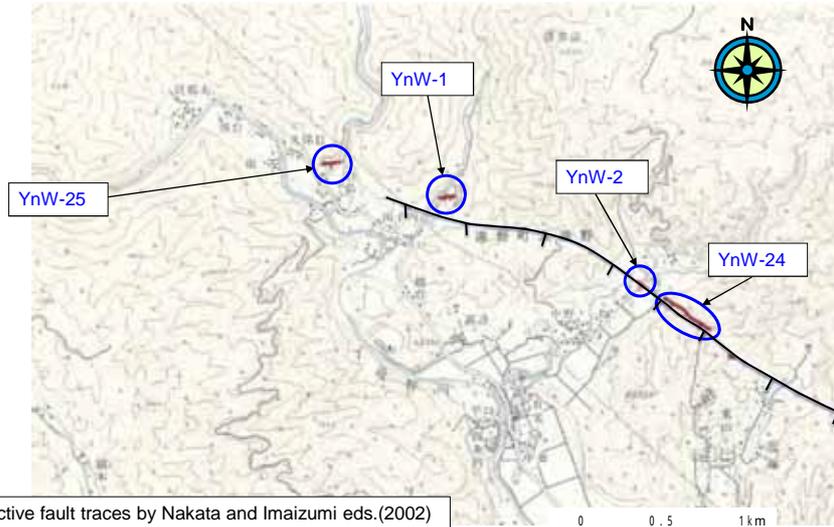
## 湯ノ岳断層周辺の地質図



## Earthquake fault traces of the Yunotake fault



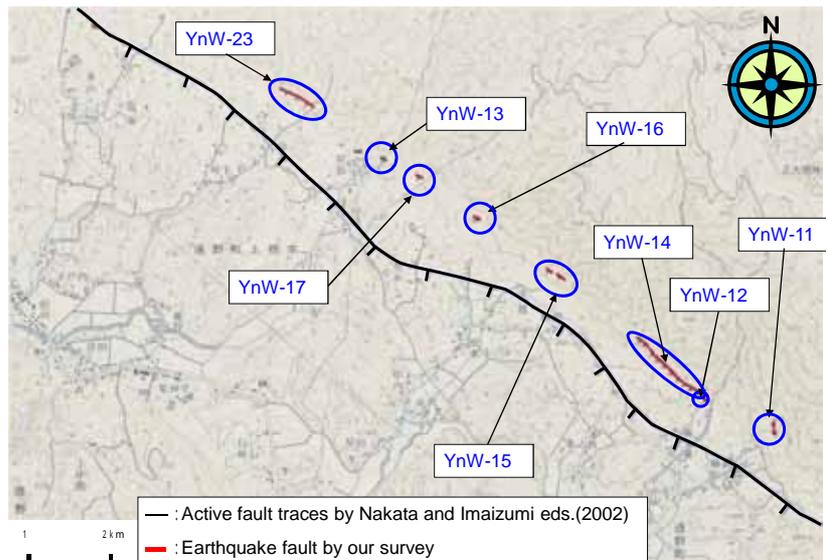
## West part of the Yunotake Fault



— : Active fault traces by Nakata and Imaizumi eds.(2002)  
— : Earthquake fault by our survey

Base map : 1/25,000 Topographic map Katono after GSI

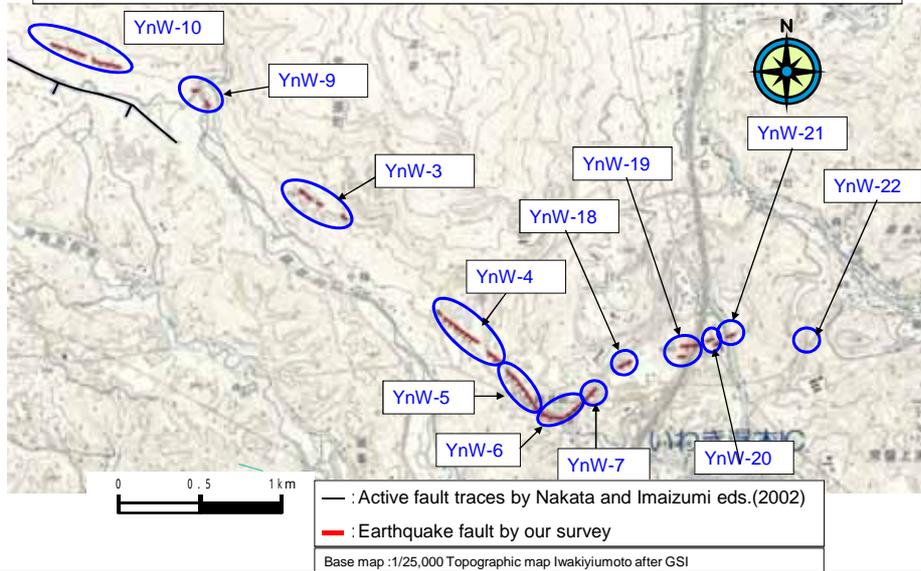
## Central part of the Yunotake Fault



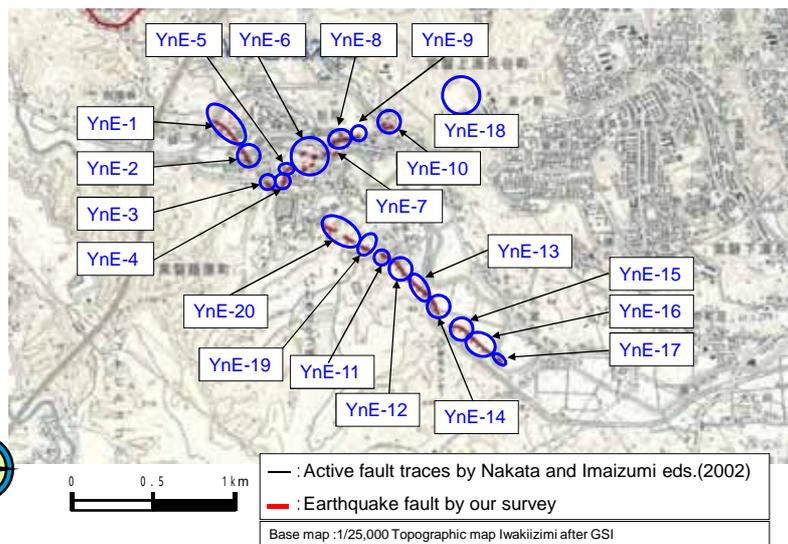
— : Active fault traces by Nakata and Imaizumi eds.(2002)  
— : Earthquake fault by our survey

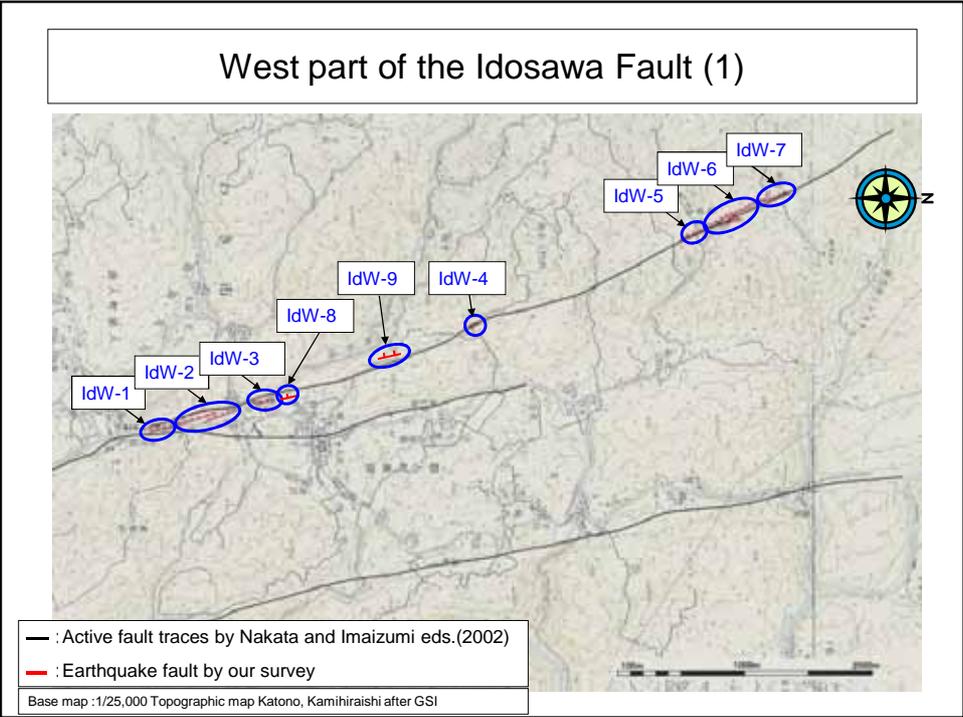
Base map : 1/25,000 Topographic map Katono after GSI

## East part of the Yunotake Fault

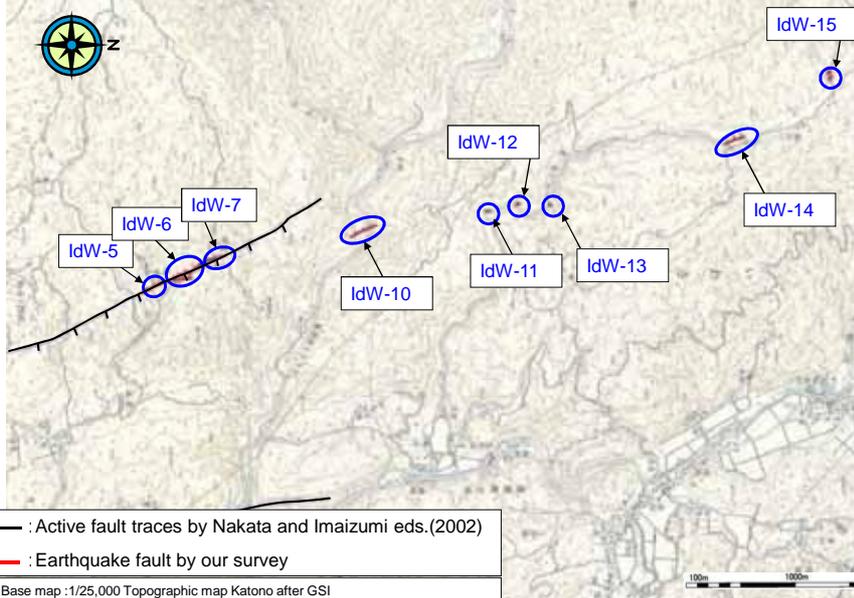


## South-east extended area of the Yunotake Fault





## West part of the Idosawa Fault (2)



Look toward north. West side trace in 2 lines of flexures. Vertical displacement was 60cm.



Look toward north. West side trace in 2 lines of flexures. Strike: N29W, Width of flexure: 2.5m, Vertical displacement: 70cm, Left-lateral displacement: 20cm.



Look toward east. Vertical displacement: 180cm, Strike: N2W, Dip: 81W. It was found fault gouge on the fault surface which thickness was 2cm, also found slickenline (Dip: 80S-75N)



Look toward north. Vertical displacement on road surface was 120cm.



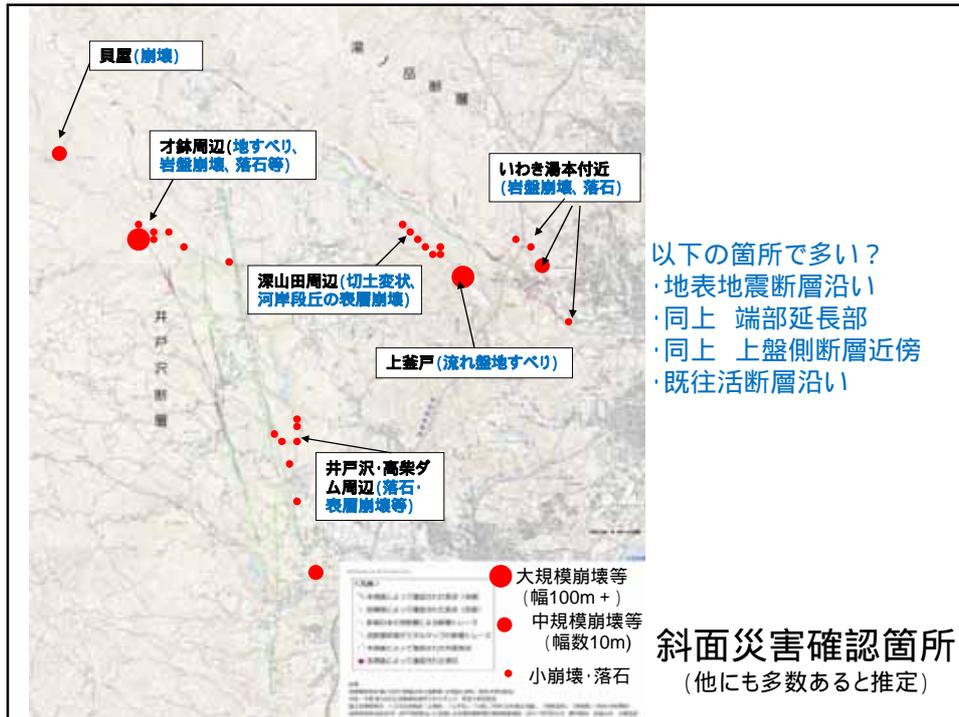
## 活断層のまとめ

- ・活断層端部延長の従来活断層が認定されていない箇所でも変位。
- ・地質断層(藤原断層等)でも変位。

→今後、端部延長問題と地質断層問題をあわせて検討する必要。

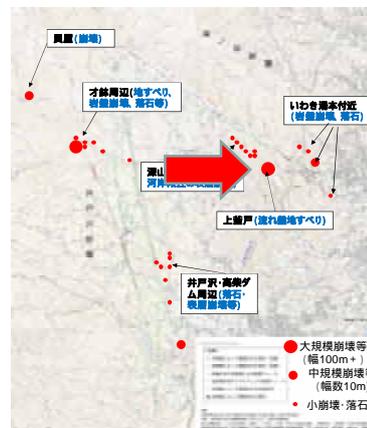
(たとえば、活断層の端部はLP・各種地質調査による詳細検討が必要、など)

## 余震による地すべり、崩壊



## 流れ盤の岩盤地すべりによる県道の被災

- ・幅、長さ
- ・地すべり土量：不明 (深さが不明)
- ・4月11日の余震で発生し県道を閉塞。
- ・新第三紀の凝灰岩質堆積岩。
- ・末端部の切土のり面に施工されていたグラウンドアンカー工が被災。







被災後 (福島県、(株)応用地質原図)



被災前 (googleによる)



写真17 左側部末端



写真18 末端部における路面の隆起



写真19 被災したグラウンドアンカー工



写真20 右側部末端



すべり面



地すべり中央部付近  
のボーリング



頭部付近やや側部(山が切れた)



地すべり頭部の陥没帯



引張領域



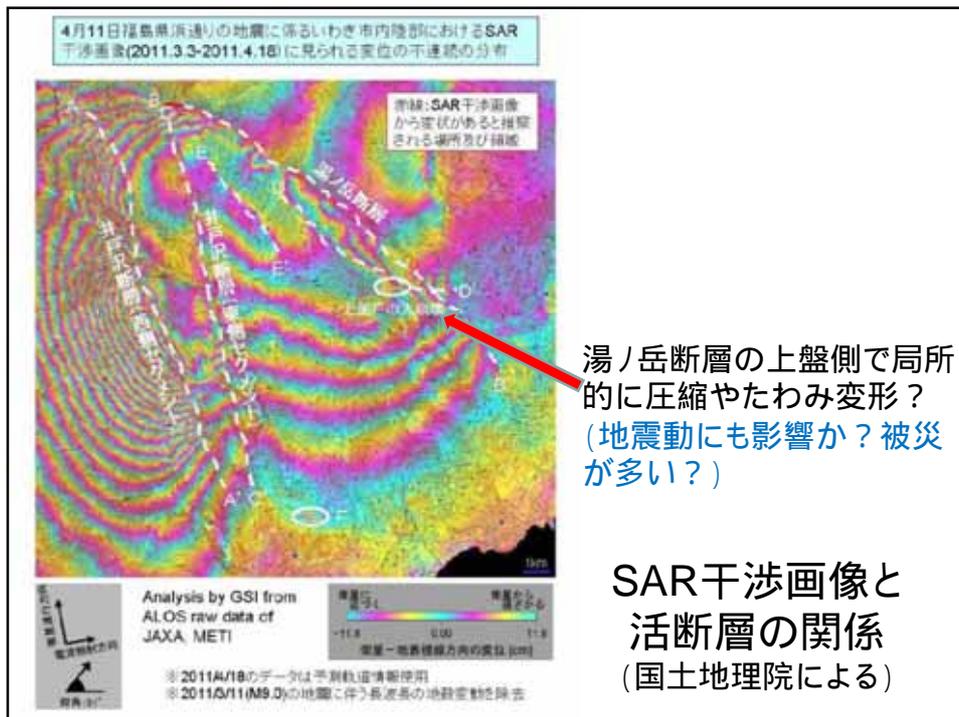
(側溝のふたに亀裂)

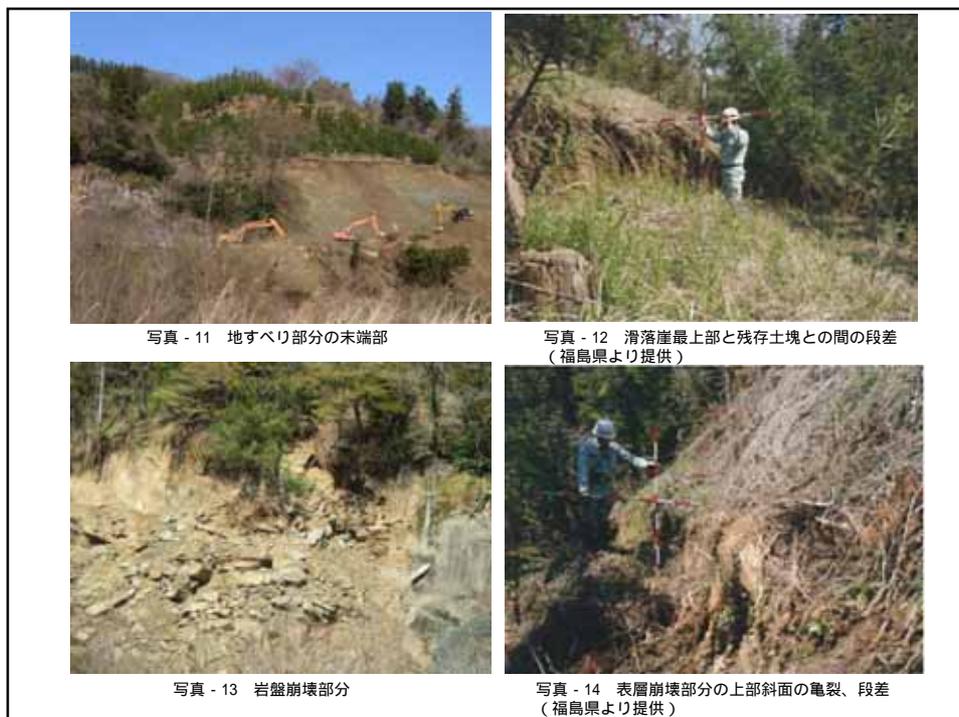


左写真の反対向き: アスファルトが圧縮



地すべり範囲外の路面も圧縮  
→深いすべりによるバックリングないし  
バレーバルジングか？









地すべり西側の隣接斜面の岩盤崩壊(トッピング構造が見える)



才鉢地すべり等と地表地震断層の位置関係



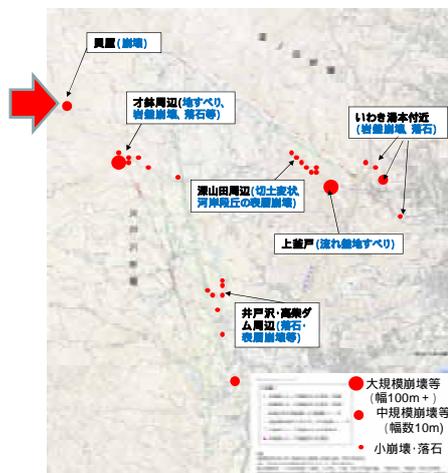
地すべり東側の岩盤崩壊  
(地震断層のすぐ西側。ただし崩壊時期は余震より少し後との情報)

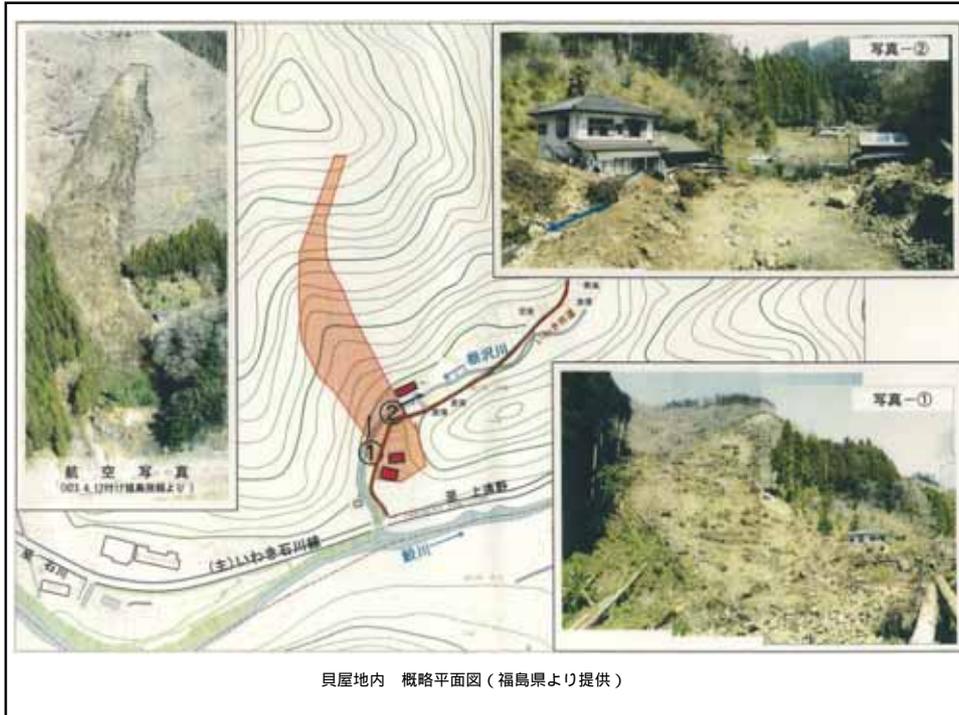




## 貝屋の崩壊

- ・高さ200mから崩壊
- ・道路の手前数10mで停止するも、栃沢川を閉塞して家屋2棟を全壊させ3名死亡。
- ・一時栃沢川を閉塞し湛水。





# いわき余震によるその他の崩壊



切土のり面の変状 (御齋所街道遠野町深山田付近)





段丘崖の表層崩壊 (県道14号 (御齋所街道) 遠野町深山田付近)



段丘崖の表層崩壊 (いわき市沼部町 四時川沿い)

## 余震による道路斜面災害の特徴

- ・地表地震断層周辺に高密度で様々な規模・様式の道路斜面災害が発生
- ・災害の特徴は以下の通り。
  - 流れ盤の(一部初生?)地すべり(やバックリング?)
  - 地すべり末端部の末端地すべり
  - 急斜面上の岩盤崩壊や落石
  - 河岸段丘、河川の攻撃斜面などでの表層崩壊
  - 切土のり面変状(座屈?)
- ・地形的には、大規模な災害は、本震と同様、何らかの不安定要素を持つ微地形上に多い。
- ・地質的には、層理面中の弱層などが関与(上釜戸など)。
- ・大規模な災害箇所や崩壊密集部は、地震断層の上盤側、断層端部周辺、既往活断層周辺などで多く、いずれも干渉SARで変位が認められる付近に相当。地震動が大きかった?

## まとめ

- ・災害の全貌はまだ明らかでない。とくに線・面的な調査が不十分。  
→詳細・系統的に調査し、GIS等で災害をマップ化・アーカイブ化し教訓を抽出すべき。
- ・地盤災害は硬岩より軟岩域で多いなど広域地形地質の影響がある。  
・本震では火山性地質での土砂災害や盛土災害が多い。これは丘陵部～平野部の地震動に鋭敏な特定の地質が大いに関係。  
→被災箇所の鋭敏な地質(+構造)の整理、地質の動的物性の計測・DB化などを通じて今後の防災に活かすべき。
- ・余震では地表地震断層周辺で多様な規模・様式・密度の斜面災害が発生したが、断層と災害の位置関係にやや特徴がある。  
→断層周辺の地震動特性、斜面の震動特性などの検討も必要。
- ・本震・余震とも、大規模な災害は地形地質的に不安定要素が認識できる箇所で発生。  
→大規模に被災しやすい箇所を地形・地質的手法で優先的に抽出・調査・対策必要。
- ・活断層については、地形的に不明瞭な箇所や地質断層の箇所でも出現。  
→LP等を用いた活断層地形・地質調査の精緻化を検討する必要。
- ・これらのためには、応用地質学的アプローチが極めて重要。