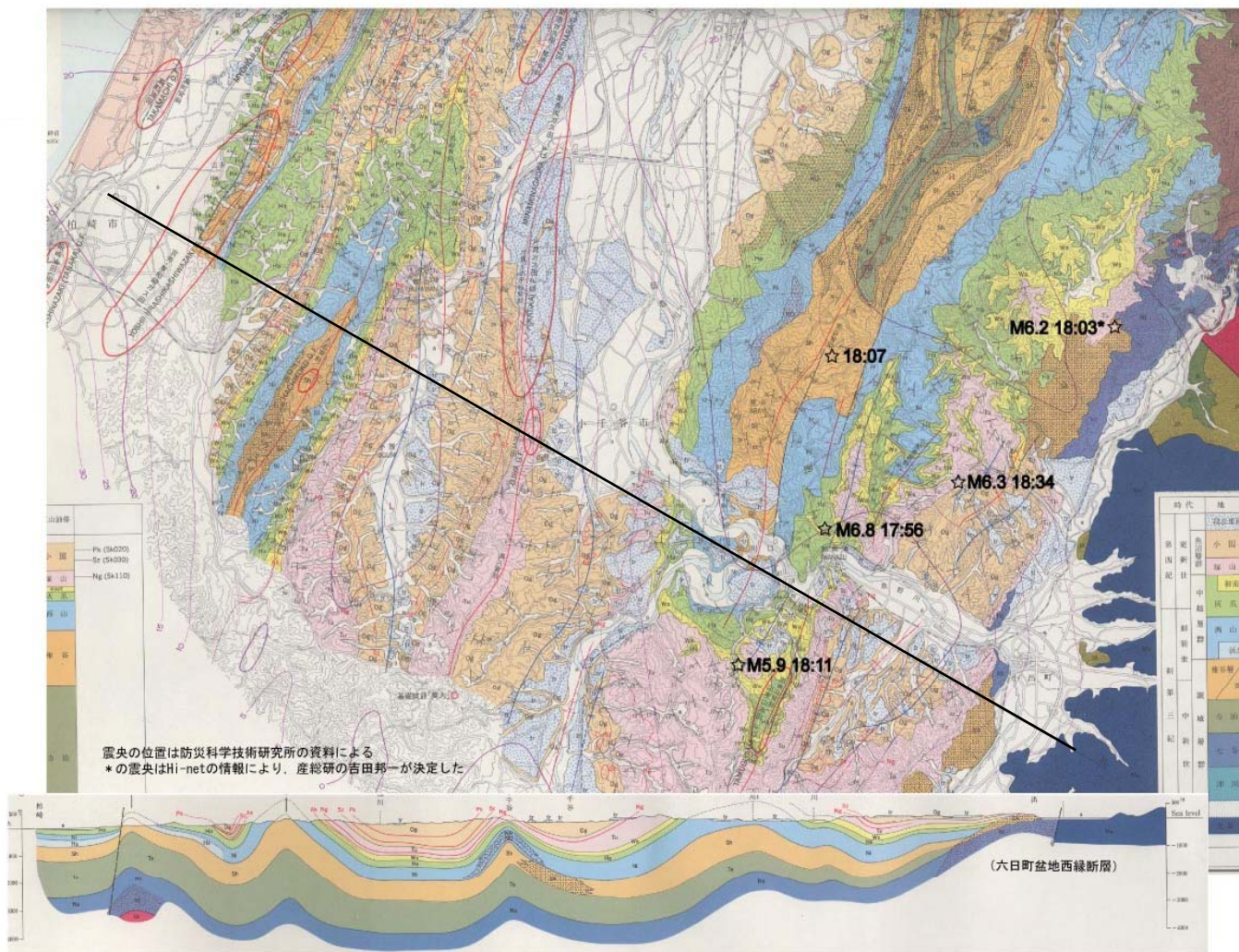


地震被害に見る 地盤災害のメカニズム



長岡技術科学大学
大塚 悟

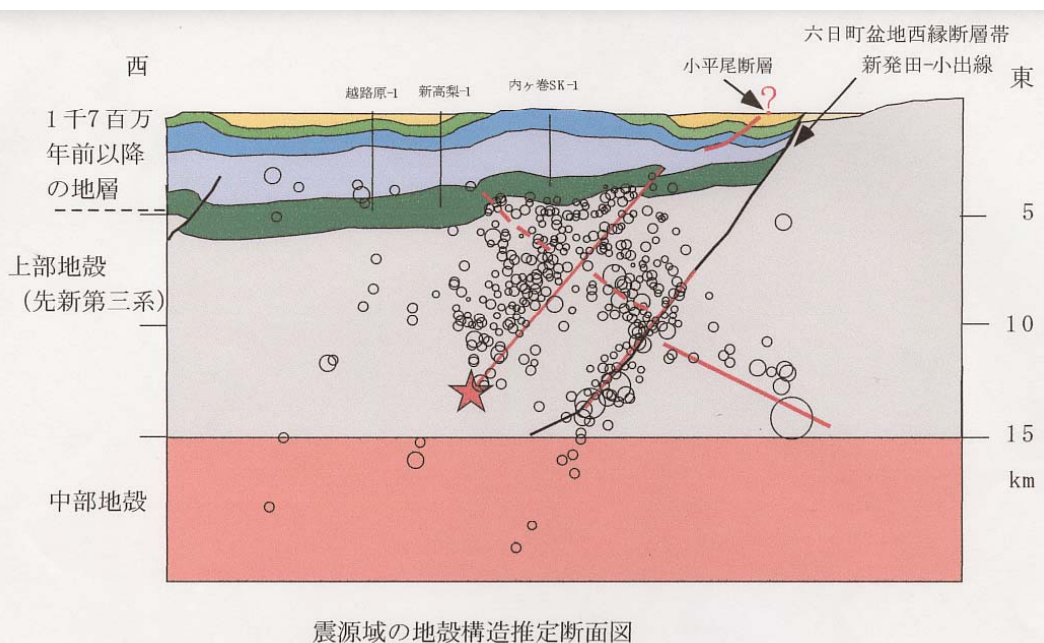
地質構造 —活褶曲—



ベースとなる地質図には、日本油田・ガス田図 No. 13「新潟県中部地域」を使用しています。

（国土地理院資料）

断層とトレンチ調査



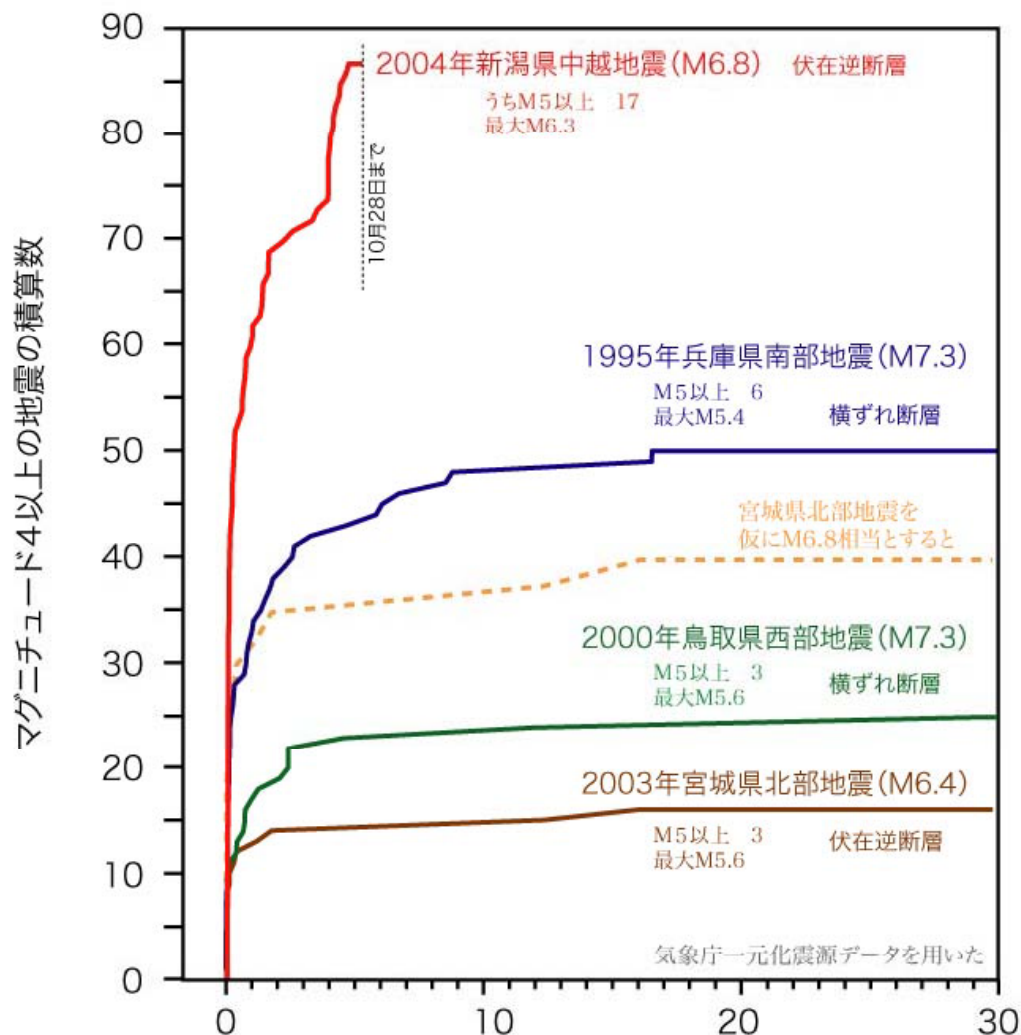
東京大学地震研



地盤工学会・中越地震災害調査委員会報告書

- 断層と地層の切断・被覆関係，地層の変形程度の違いなどから過去約8000年前以降，中越地震に先立ち**2回のイベント**が認定された
- これら2回のイベントに伴う断層沿いの変位量はいずれも1.5m以上である。調査地点の新潟県中越地震に伴う変位量は10cm程度である。

活発な余震



- 本 震 :
M=6.8 (最大震度7)
- 40分以内:
M=6.3 (最大震度5強)
M=6.0 (最大震度6強)
M=6.5 (最大震度6強)
- 4日後 :
M=6.1 (最大震度6弱)
- 15日後 :
M=5.9 (最大震度5強)

余震による被害の拡大

中越地震の教訓①

● 地震動

- ✓ どこでも発生する地震規模(直下型地震)
- ✓ 余震による被害の拡大(地震後の防災)

● 複合災害

- ✓ 地震動と降雨の複合災害
- ✓ 積雪時(北陸地方)の地震
- ✓ 雪氷災害の拡大(2次被害)

人工地盤の被害

- 土構造物(人工地盤)

- 道路盛土
- 宅地地盤（宅地造成盛土）
- 埋戻し土（地中構造物，埋設管など）

道路盛土①



盛土の不等沈下・せん断変形

道路盛土②(揺すり込み沈下)



揺すり込み沈下：多くの構造物基礎周辺にて観察

道路盛土③(はらみ出しによる沈下)



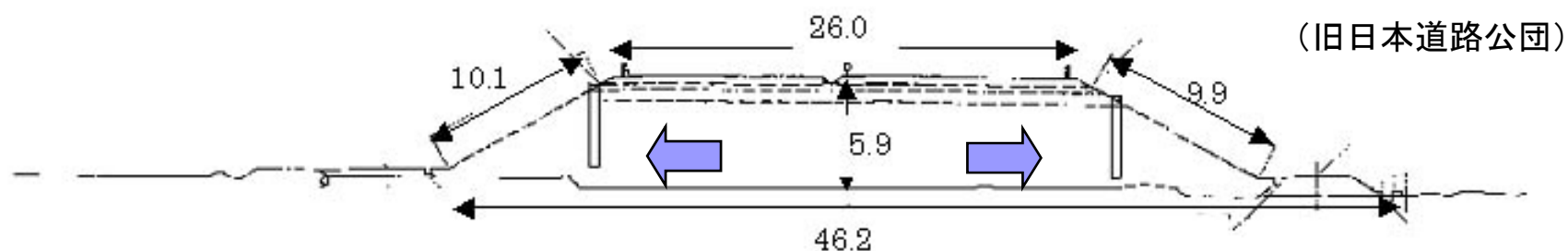
越路町のJR跨線橋盛土



(長岡技大 豊田先生撮影)

小千谷市・国道117号

道路盛土④(ボックスカルバート)



地盤の表層が軟弱で強度が不足

道路盛土⑤(擁壁)



道路盛土の被害①

- 盛土は変形し易い
 - ✓ 多くの盛土に変状（沈下や側方変形）
- 剛性差のある箇所で変状が顕著
 - ✓ 橋脚やボックスカルバートでは盛土と段差
 - ✓ 建物周辺の地盤沈下
- 大崩壊する事例は少ない
 - ✓ 盛土内の地下水位は基本的に上昇しない
 - ✓ 変形によって盛土は安定化
 - ✓ 地盤の強度（表層付近）が低いと変形が増大

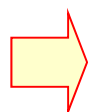
関越自動車道の事例

強震動域を中心に通行障害

- 道路の亀裂・段差
- 盛土の崩壊

被害と復旧

- 交通事故は軽微（事故：2・軽症者：4）
- 早期の緊急車両の通行

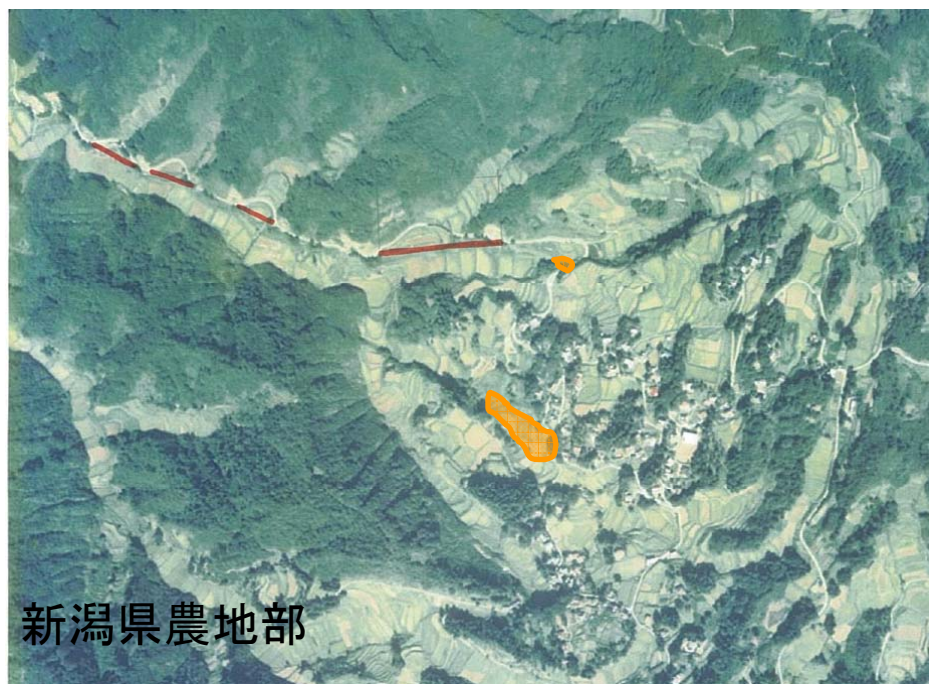


土構造物の設計は悪かったのか？

道路盛土の教訓①

- 盛土の締固め管理 ⇨ 施工法の課題
 - ✓ 締固め管理が変形発生と関連
 - ✓ 構造物の裏込め土
- 表層地盤の強度不足
 - ✓ 盛土損傷の拡大: 補強工法の課題
- 設計レベル
 - ✓ 土構造物の特徴の理解と活用
(変形し易い・低コスト・修復迅速)
 - ✓ 早期の修復が可能なレベル
 - ✓ 災害経験による対応体制の整備

道路盛土⑥(谷埋め盛土)

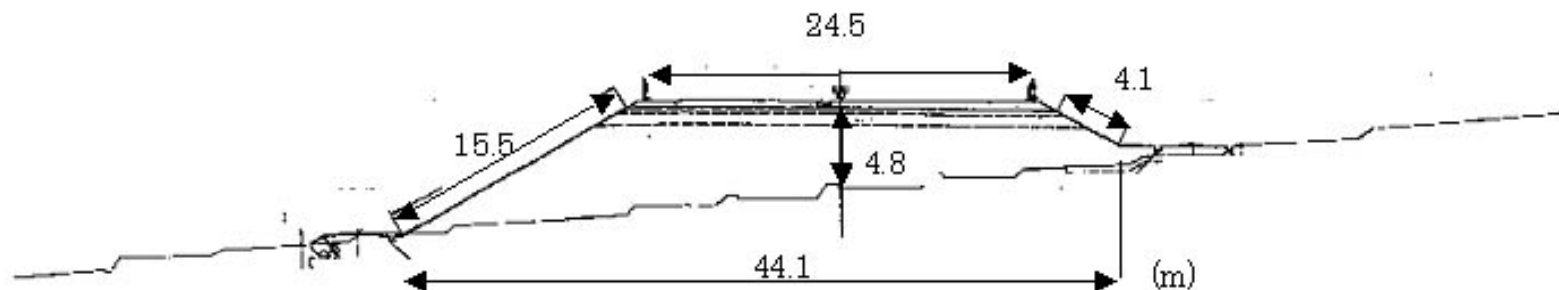


- 傾斜地盤上の盛土：崩壊すると完全崩壊
- 集水地形：地下水による地盤強度の低下

道路盛土⑦(傾斜地盤上の盛土)



- 延長約200mにわたり崩壊
- 固結度の低い魚沼層の上に河岸段丘層
- 盛土：シルト



関越自動車道盛土断面・竜光地区

道路盛土⑧(傾斜地盤上の盛土)



アジア航測

道路盛土の被害②

- 地山の地形・地質

- ✓ 傾斜地盤上の盛土は崩壊規模が大きい
- ✓ 集水地形の被害
- ✓ 盛土と支持地盤間のすべり
- ✓ 支持地盤の強度不足

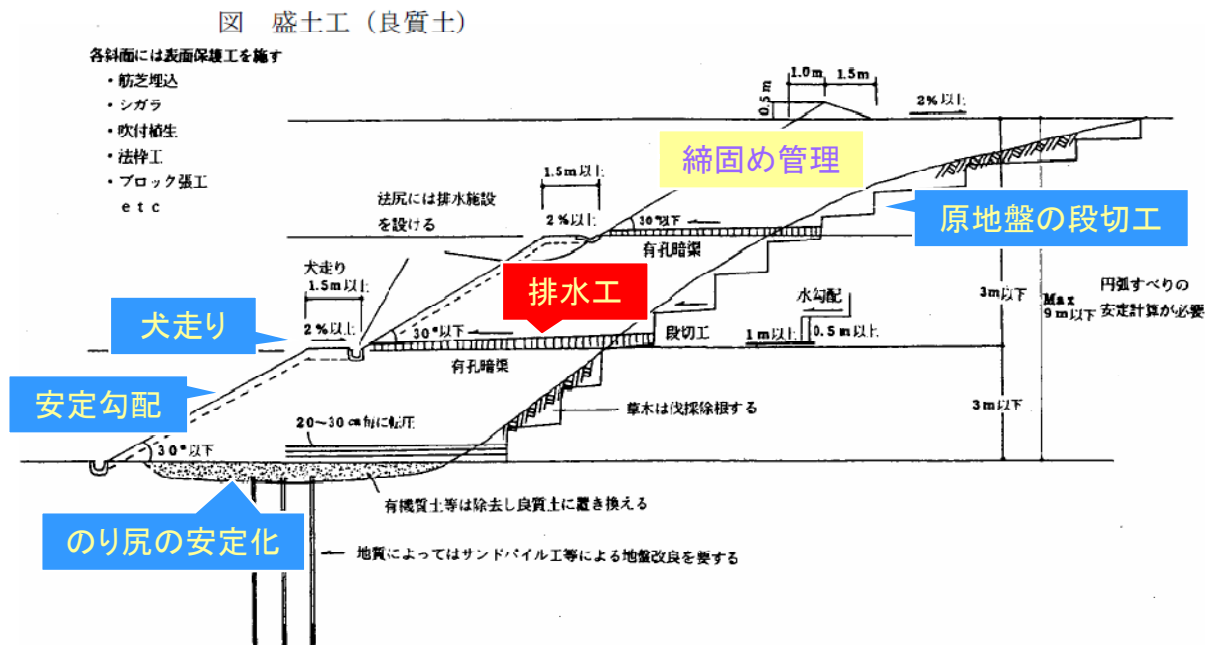
- 盛土の崩壊形態

- ✓ 盛土天端の引張破壊
- ✓ 余震による破壊の進行

道路盛土の教訓②

● 傾斜地盤の耐震対策(通常施工)

- ✓ 盛土の排水工
- ✓ 地山の段切施工
- ✓ 盛土のり先地盤の支持力確保



道路盛土の教訓③

- 危険箇所の抽出

- ✓ 道路ネットワークと選択強化 : GISの活用

- 耐震補強

- ✓ 補強土工法の活用

- ✓ 既存構造物の耐震補強 : 開発課題

- レベルⅡ地震動の設計

- ✓ 設計手法の未整備

- 安定解析(安定・不安定の選択)から変形解析へ
地盤特性の調査と活用 : 地盤強度の精度向上

盛土の耐震対策工



盛土内に**引張力**に
強い材料を敷設

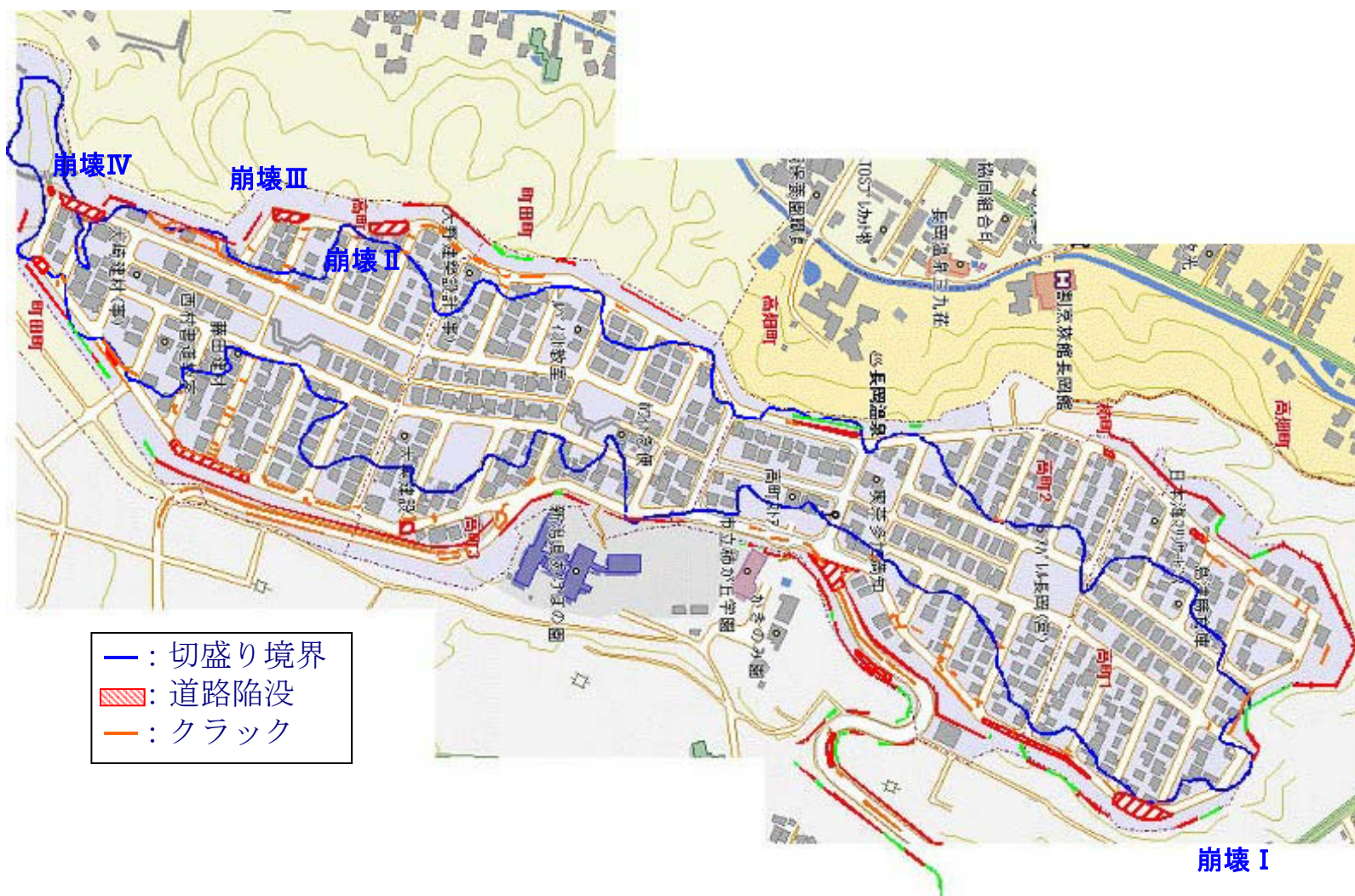
(東京理科大・平川先生)

補強土工法を用いたJR鉄道盛土の**強化復旧**

宅地造成地の被害①(建物被害)



宅地造成地の被害②(地盤変位)



宅地造成地の被害③(盛土の変形)



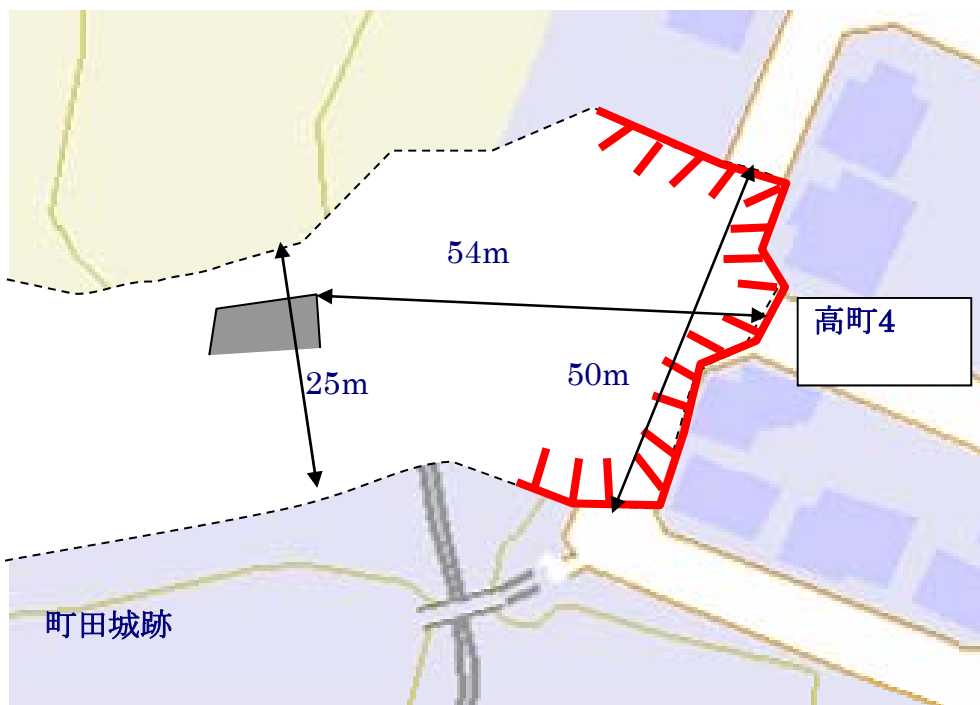
- 盛土の側方変位と沈下
- 外周道路の崩壊
(外周道路より路肩の家屋は例外なく被害)

宅地造成地の被害④(盛土の崩壊状況)

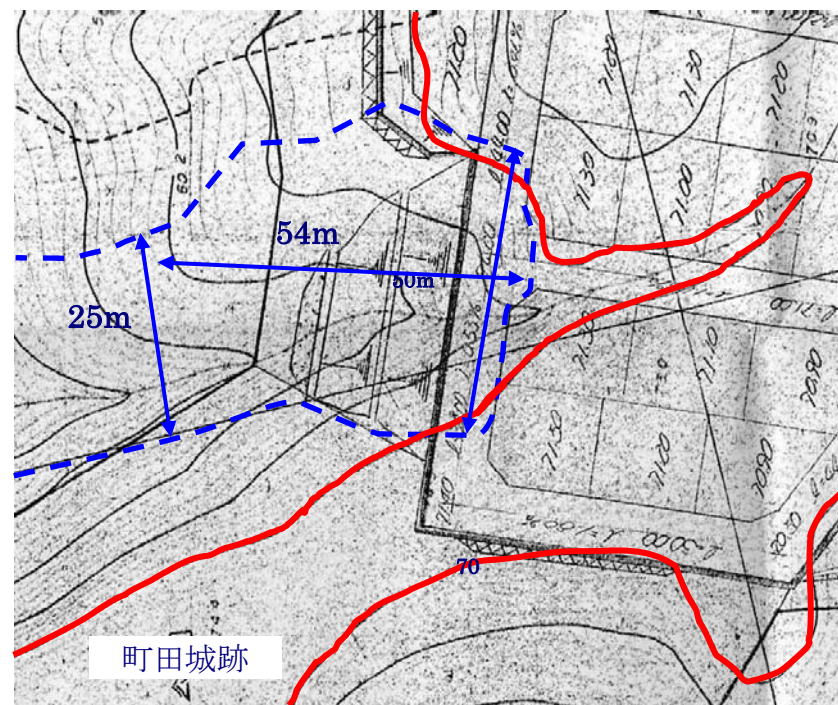


- 重力式擁壁の長距離移動

宅地造成地の被害⑤(谷埋め盛土の崩壊)



(ゼンリン・データコムに加筆)



切盛土の推測境界と崩壊の関係

宅地造成地の被害⑥(建物被害)



- 路肩の家屋被害は大きいですが、切盛り境界での被害も大きい

宅地造成地の被害⑦(建物被害)



宅地造成地被害の教訓

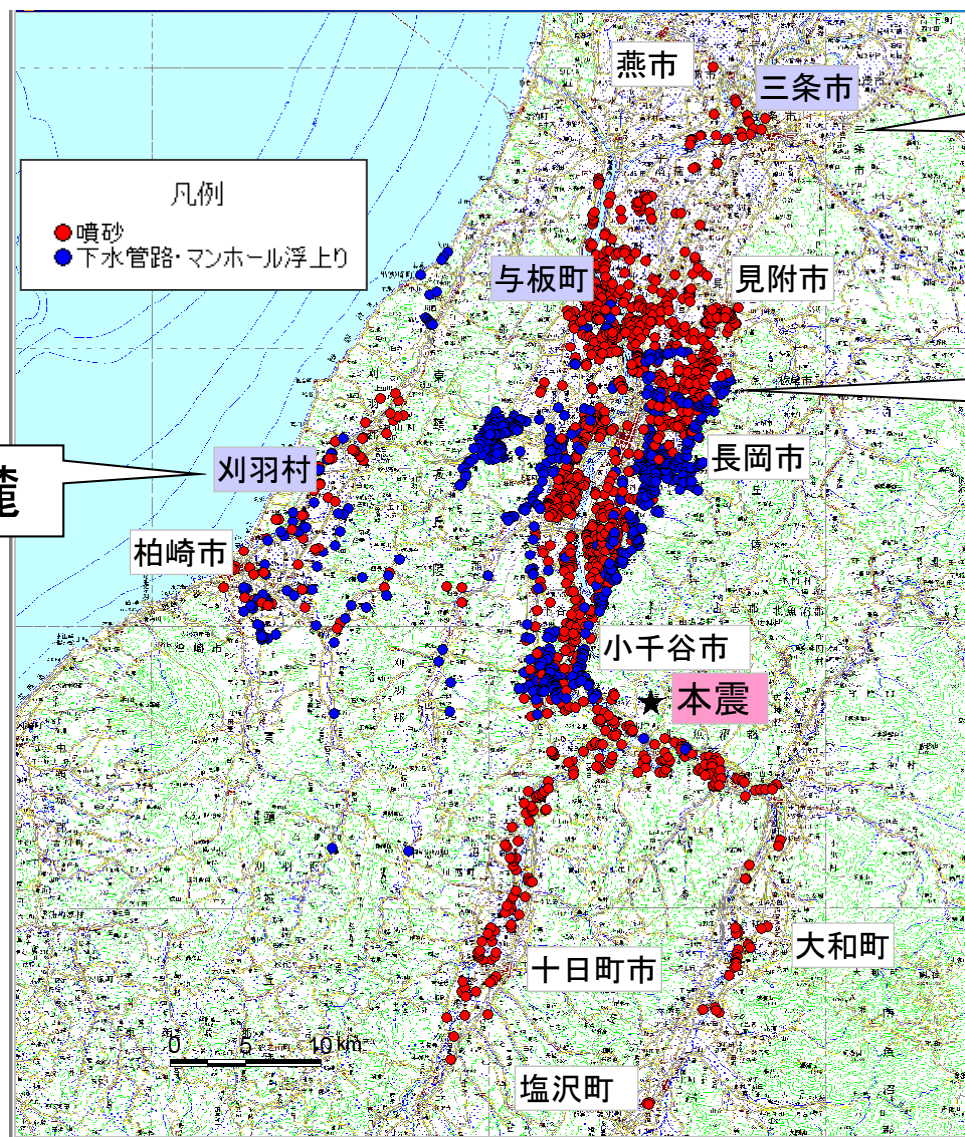
被害

- 盛土の変位・沈下による家屋基礎の損傷
- 谷埋め盛土の崩壊
- 個人家屋の復旧困難

課題

- 危険箇所の絞込み(評価モデルの構築)
- 谷埋め盛土の耐震対策, 法的整備

液状化による被害①



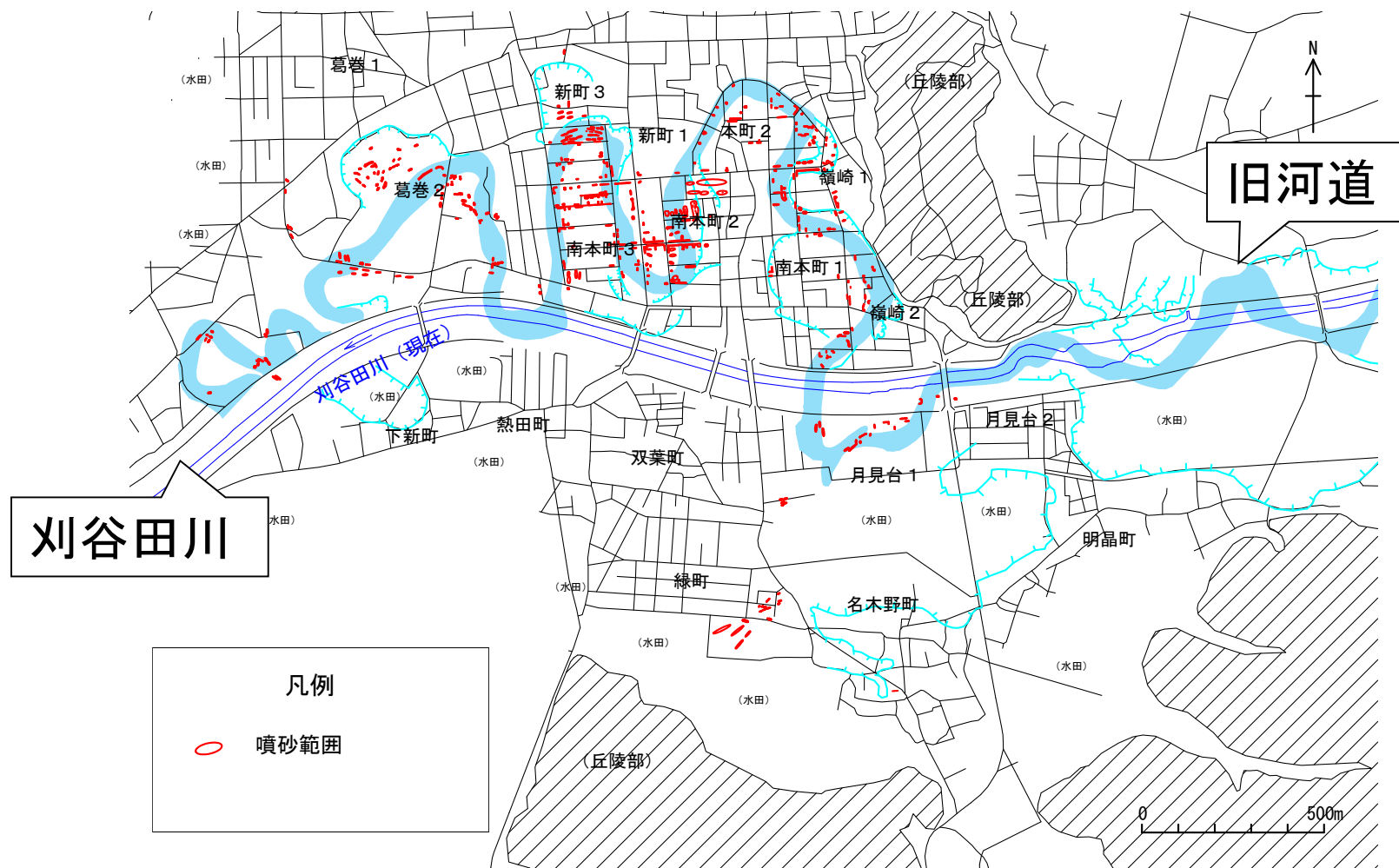
遠隔地でも液状化被害

信濃川沿いの砂質地盤

砂丘の麓

(地盤工学会・中越地震災害調査委員会報告書)

液状化による被害②: 旧河道と液状化



(地盤工学会・中越地震災害調査委員会報告書)

液状化による被害③: 噴砂による被害



(地盤工学会・中越地震災害アーカイブス)

液状化が発生すると噴砂や不同沈下を起こすために、構造物に被害が生じる。

液状化による被害④：堤体の損傷

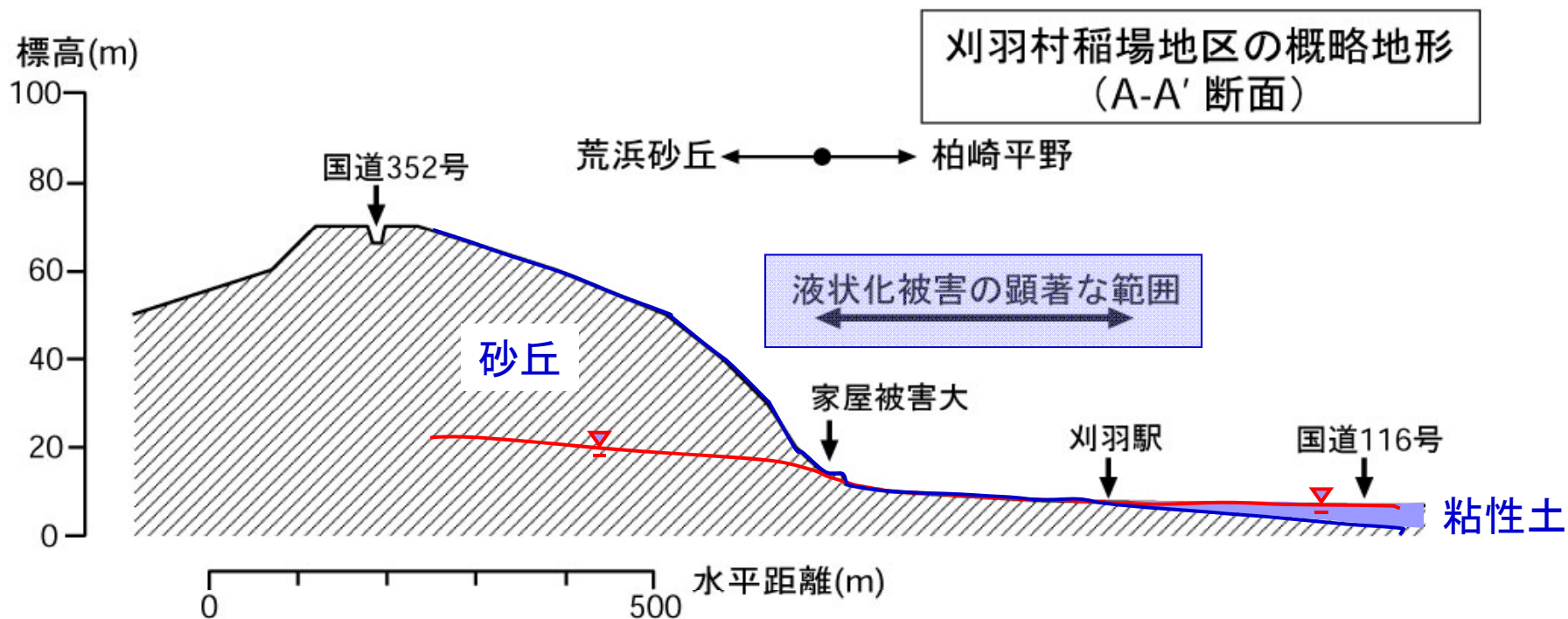


(新潟県)



- 縦断方向に亀裂の発生
- 旧河道との交差点では被害の拡大：液状化

液状化による被害⑤: 砂丘と液状化



(地盤工学会・中越地震災害調査委員会報告書)加筆

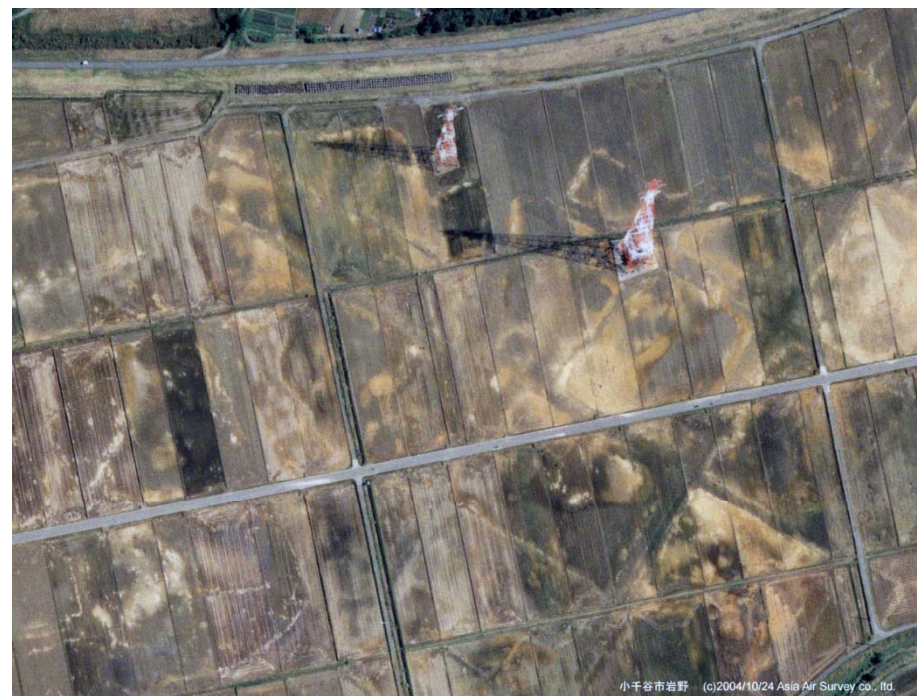
形成年代の新しい砂丘では地下水位の高い箇所で液状化が発生した。

液状化による被害⑥: 埋戻し土と液状化



(地盤工学会・中越地震災害アーカイブス)

マンホール・埋設管の浮き上り



(アジア航測)

砂置換(砂利採取)による液状化

掘削地の埋戻しは砂質土を使用するために、地震時に液状化を起こす。

その他被害：埋戻し土（人工地盤）の沈下



(地盤工学会・中越地震災害アーカイブス)

埋設管の埋戻し土（砂質土）の沈下



(十日町土木部)

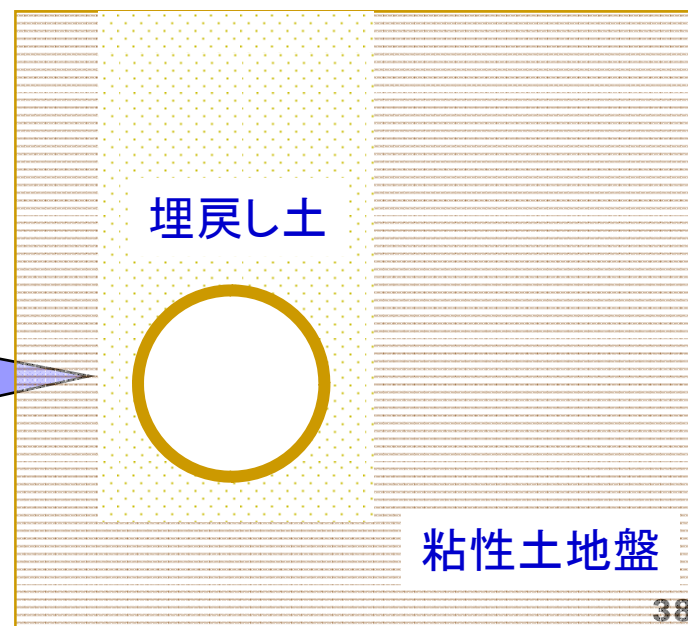
JRほくほく線の開削トンネル工事における
埋戻し土（砂礫土）の沈下

埋戻し土・盛土（人工地盤）は締固めが十分でないために、振動により沈下することが多い。

液状化被害のまとめ

- 発生箇所
 - ✓ 旧河道・砂丘麓との相関
 - ✓ 埋戻し土
 - ✓ 粘性土地盤での敷き砂
- 埋戻し土の液状化機構

液状化の継続時間の長期化，地盤の応答が大きく液状化し易い



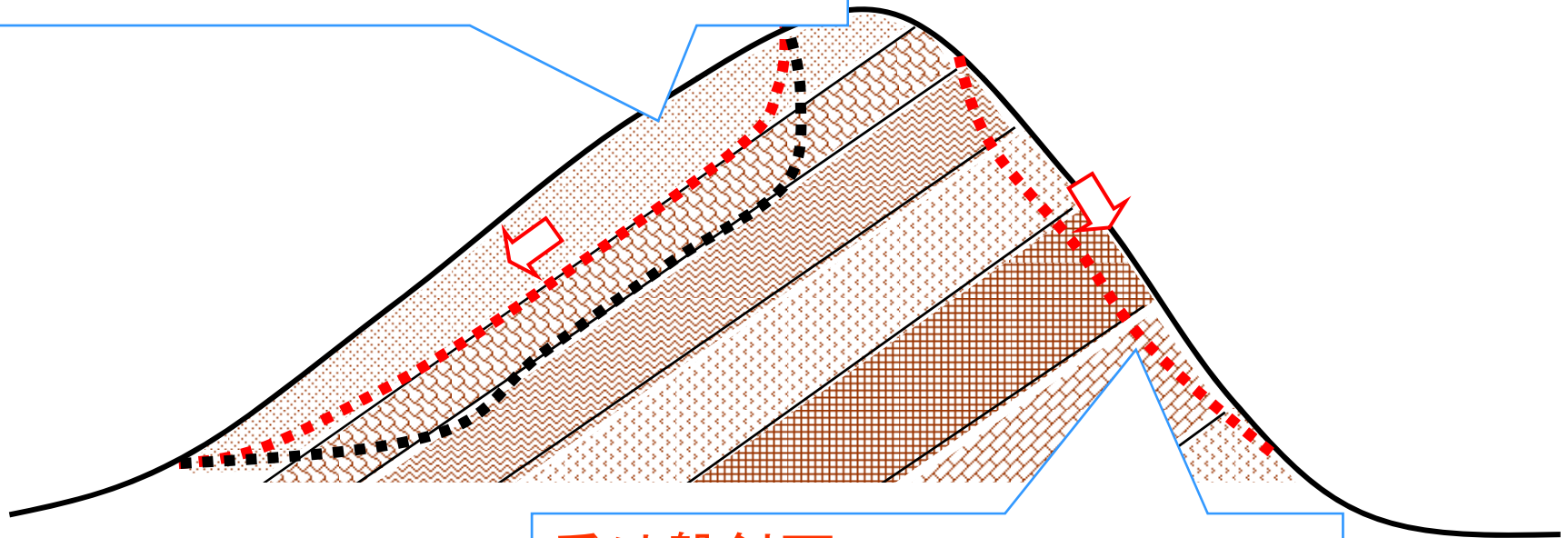
液状化被害の教訓

- 危険箇所の抽出
 - ✓ 旧河道・砂丘麓など地形・地質の活用
 - ✓ GISの活用：**広域調査(地盤DB)と防災活用**
- 危険箇所の液状化対策
 - ✓ 地盤改良工法：**技術開発の課題**
- 埋戻し土の液状化対策
 - ✓ 締固め工法(揺すり込み沈下防止)：**施工法開発**
 - ✓ 地盤改良工法
- 宅地基盤対策
 - ✓ 液状化対策：**簡易な施工法**

自然斜面の被害①: 地層と被害形態

流れ盤斜面

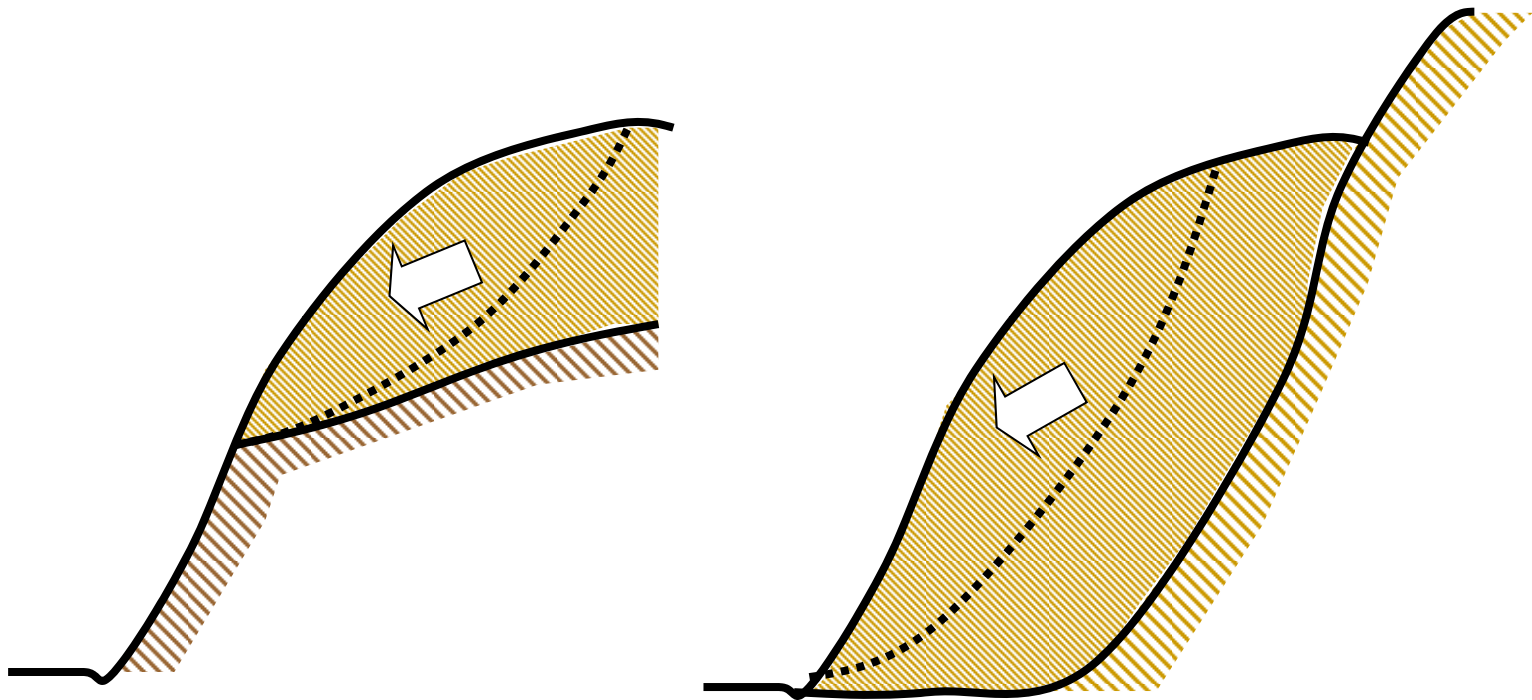
- ①層すべり(地層傾斜と同じすべり)
- ②破壊規模が大きい



受け盤斜面

- ①急傾斜となる
- ②薄層すべり, 規模は小さい

自然斜面の被害②: 崩積土の崩壊



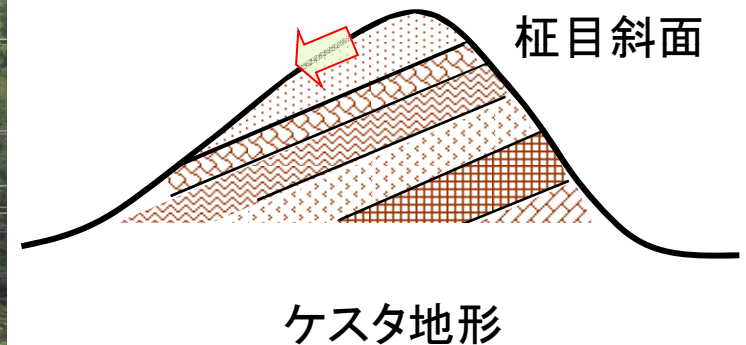
崩積土の斜面崩壊:
水平地震力のために基本的にすべり面は浅いと思われる

自然斜面の被害③：表層崩壊



- 急崖部（尾根および溪岸）
- 受け盤斜面構造，崩壊土砂量は少ない

自然斜面の被害④：流れ盤斜面



- 流れ盤斜面構造，層すべり
- 規模の大きい崩壊の発生事例が多い

自然斜面の被害⑤：桩目斜面とすべり面



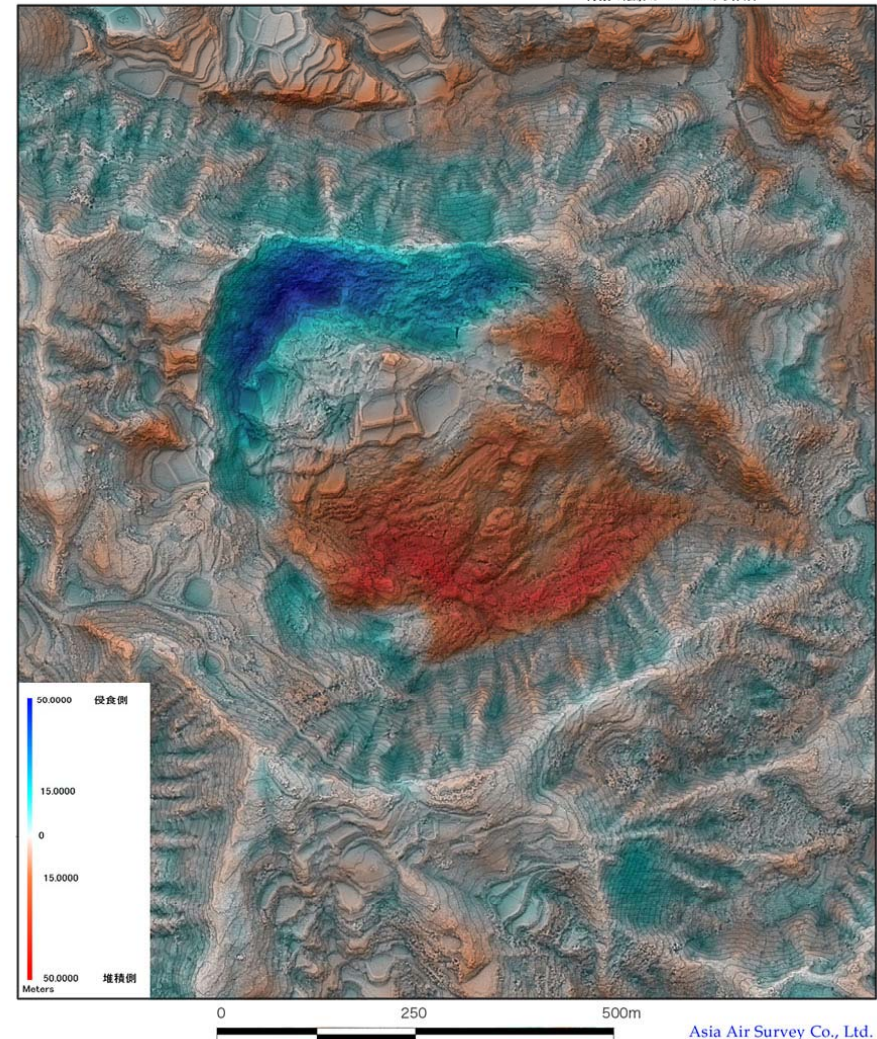
自然斜面の被害⑥: 大規模崩壊



500m四方の再滑動型地すべり。
深さ100mの既存すべり線以深に
新しいすべり面が形成されたと考えられている。

山古志村梶金地すべり地形変化量分布図

10月28日LP計測1m-DEMと地震前10m-DEMの差分
(10m-DEMには北海道地図GISMAP Terrainを使用
背景の地形は1m-DEMから作成)



自然斜面の被害⑦: 河道閉塞



東竹沢地すべりと河道閉塞



国土交通省湯沢砂防事務所

東竹沢地すべりのすべり面
(地層境界に沿う流れ盤すべり)

自然斜面の被害⑧：崩積土の崩壊



中央大学：國生先生撮影



山古志村虫亀地区：アジア航測提供

自然斜面の被害⑨: 切土斜面の崩壊



切土斜面の崩壊による雪崩防止柵の破壊



表層崩壊による吹付けモルタルの剥落（斜面上部の変形に起因）

自然斜面被害

● 発生箇所

- ✓ 尾根および崩積土の崩壊
- ✓ 流れ盤斜面では大規模崩壊
- ✓ 受け盤斜面では表層崩壊
- ✓ 砂岩・泥岩互層地盤では固結度の低い砂岩にて崩壊発生

● 崩壊形態

- ✓ ボーリングコアではすべり面の判定が困難
地すべりで磨かれた技術は地震時のすべり面判定に応用できるか？

自然斜面被害の教訓①

- ハザード・マップの作成
 - ✓ 斜面の危険度評価技術
 - ✓ 崩壊土砂の到達距離予測
 - ✓ 河道閉塞危険斜面の抽出技術
- 災害復旧の手法
 - ✓ 中山間地の復旧・復興手法
- 耐震性評価（現状では考慮しない）
 - ✓ 自然斜面の耐震性評価
 - ✓ 斜面对策工

自然斜面被害の教訓②: 広域地盤災害



- ① 広域地盤災害の復旧方法のあり方と景観
- ② 自然治癒力の活用やグリーンベルトなどの方策

トンネルの被害①: 坑口の地すべり



羽黒トンネルの損傷例

地盤変状に起因して坑口近傍が被害

トンネルの被害②: 圧座被害



木沢トンネルの被害

トンネルの被害③: 地層境界の応答差



- トンネルが軸方向に長くなる(地すべりと関連)
- トンネル被害と相関関係のある地層境界