

# 新潟県中越地震での地盤災害の特徴と今後の課題

中央大学理工学部 國生剛治

今回の地震は自然斜面の崩壊や盛土の崩壊などが無数に起きて、多くの人命が失われ交通の途絶による救援の遅れなど重大な影響を及ぼした。まさに地盤災害の目立つ地震と言えよう。ここでは筆者らが現在までに行った4回の現地調査に基づき、おもに、道路盛土、宅地造成地、自然斜面などに焦点を当てて被害の特徴と今後への教訓について述べる。

## 1. 道路盛土

- ・ 高速道路盛土部では多数の崩壊が起きた。路肩の滑りのみでなく片側2車線以上が陥没した箇所も多い。大きな崩壊はほぼ例外なく旧沢地を埋めた盛土部であり、弱点部については事前にかんがりの予測と対策が可能と思われる(写真-1)。
- ・ 高速道路盛土が地山の勾配に沿って下方に数10cm~1m程度側方移動した箇所が多数見られた(写真-2)。それに伴い盛土に埋設した横断用コンクリートカルバートも側方移動や沈下変形を起こした。中央分離帯直下の継ぎ目に最大20~30cm程度のヒラキができ、土が落下してカルバート内の交通障害を起こした。このタイプの被害は従来あまり見られなかった。周辺地盤の液状化などの影響を受けたことも考えられるが、液状化とは無関係なところもあり、傾斜地盤上の盛土自体が下流側に移動したことも考えられる。
- ・ 一般道路盛土の崩壊はいたるところでおき、規模の大きい場合には全面交通止めを引き起こした(写真-3)。盛土材料は細粒分から砂・礫までを含む低塑性材料が多く、崩落土の先端はある程度流動性を帯びているものもあった。
- ・ 道路の路肩には情報関連などのライフラインが路肩に埋設され、それらが崩壊に巻き込まれたところが多く見られた(写真-4)。盛土本体とライフラインでは応急復旧の所要時間が異なり、緊急度が異なる場合も多く、今後、盛土の路肩崩壊を考慮したライフライン敷設対策が重要と思われる。

## 2. 宅地・造成地

- ・ 高町団地(昭和50年代造成)の高台造成地西側端部が3箇所程度で崩壊し、造成地周縁部の盛土部と思われる上の家屋が傾斜・変形など甚大な被害を蒙った(写真-5)。造成地東側端部も亀裂が多く発生し、擁壁が多少前面にせり出した部分がある。一部で噴砂も見られ、部分的には液状化した可能性がある。
- ・ 高町造成地の周囲は高さ4m程度の重力式擁壁で土留めがされていたが、施工継ぎ目を境に2スパン分が大きく斜面に沿って滑動した(写真-6)。崩壊土は山砂を主体とし、粘性の高い崩した泥岩質土も含まれていた。今後、擁壁を強化するためには、最近技術的発展の著しい補強土工法なども考えられよう。
- ・ 河岸段丘端部にある宅地では、もとの地盤面がまったく水平のまま建物や立ち木を載せて5~10mも沈下する奇妙な破壊モードが見られた(写真-7)。これは滑り面が特定の弱層沿いで

はなく、水平に成層した段丘層を礫層も含めてほぼ斜め直線的に横切ったためである。

- ・今回、崖錘層の崩壊も目だったが、濁沢町湯沢では風化の進んだ崖錘上に立っていた住宅が地盤とともに 10 数メートル崩落し下の家を押つぶした（写真-8）。

### 3 . 液状化被害

- ・今回の大きな地震動にも関わらず 1964 年の新潟地震のような自然地盤の大規模な液状化は起きておらず、埋め立て地盤など弱齢の砂地盤の液状化がほとんどと思われる。
- ・液状化の大規模な被害は目立たないが、住宅基礎の不同沈下などへの影響は大きい。宅地造成に使う盛土材の締め固めの重要性を示唆している。
- ・最近の地震で目立つマンホールの浮き上がりは、やはり各所で見られた（写真-9）。しかし原地盤はほとんど液状化しておらず、下水管の埋め戻しに使われた山砂の締め固め不足による液状化である。
- ・山地でも田圃やため池の周辺などで噴砂が多く見られ、地滑り地帯の崩壊に液状化が関わった可能性がある。

### 4 . 自然斜面

#### (a) 全体的特徴

- ・今回、斜面崩壊が集中した地域の山地は新第 3 紀の弱い堆積岩（泥岩・砂岩）からなり、活褶曲の影響で 200m 内外の比高がある。斜面勾配は 30° 以上~20° 程度であるが差別侵食の影響で稜線の両側で異なるところが多く、流れ盤では緩く受け盤では急勾配をなしている。
- ・新第 3 紀堆積岩のうち、新鮮な泥岩部分は一軸圧縮強度が 10~30kgf/cm<sup>2</sup> 程度ありそうだが、砂岩部分は固結度が低いものが多い。中には東竹沢の滑りのように、更新世の密な砂程度のもも多く見られる。砂は細粒で目のそろったものが多い。まれには礫層も含まれる。
- ・流れ盤では、20 度程度の斜面で上盤の砂岩層が底盤の泥岩との境界で滑動した例が東竹沢の天然ダム以外に、妙見の白岩・浦柄入口 JR 沿いの滑りなどで見られた。ここでは砂岩の固結度は高く剛体盤として移動したもの（浦柄入口 JR 上越線沿い、写真-10）それらが途中で多数の岩塊に割れたもの（妙見の白岩：写真-11）などがある。同じ流れ盤でも、小千谷市小栗山のように棚田などを形成した崖錘層が泥岩滑り面に沿って滑った地点も多い。
- ・また、滑り面の深い大崩壊もいくつか起きたが、風化の進んだ岩盤地山の崩壊（妙見の白岩、信濃川魚沼橋直下流右岸県道 196 号線大崩壊：写真-12、など）で、信濃川が蛇行により右岸を侵食してできた崖地形であった。
- ・受け盤や横盤でも多くのすべりが起きたが、一般に薄い滑りが多い。（JR 北堀之内駅付近、写真-13 など）。
- ・旧地滑り地形で地滑り土塊が地震をきっかけに滑ったものとしては、東竹沢の天然ダム土塊が代表的である。一方、旧地滑り地形前面の土塊が泥化して棚田やため池として土地利用されているところでは、それらが液状化やパイピングにより大崩壊を起こしているところが多く見られた（写真-14）。
- ・震動で揺すられた池の多くで亀裂の発生が見られ、亀裂がパイピングを引き起こし池の堤の崩壊や斜面の大崩壊に繋がったことが推定できる(写真-15、16)。

- ・ 山古志村では無数のため池があり、その一部を巻き込んだ滑りがいくつか見られた。二丁野地区国道 291 号線付近では 50m 程度の段差のある多くの池が巻き込まれた大規模な滑りが国道も巻き込み、修復の容易でない被害を与えていた。
- ・ 多数のため池が斜面の高い位置にあることが地下水の上昇をもたらし、今回の滑りの規模を拡大した可能性がある。わが国の地すべり地に多い棚田地帯の共通的特長とも言えようが、ため池は年間を通して水が涸れないとすれば棚田より影響は大きい。今後の村の防災対策を考える上で留意すべき点の一つと思われる。

#### (b) 小千谷市塩谷の地すべり

これについては、今回の地震での最大級の地滑りであり、特に詳しく述べる。

- ・ 小千谷市塩谷では傾斜角 36 度程度、落差 70m ほどの滑落崖を形成する大きな山体移動がおきた（写真-17、18）。アジア航測（株）の航空レーザー測量結果によれば、ほぼ 550m × 450m で厚さ 50m、体積 1200 万 m<sup>3</sup> ほどの大土塊がほぼ一体となって 100m ほど南南東方向に移動したと推定される（写真-22、図-1）。
- ・ 山体の移動はかなり剛体的であるが、滑落崖に近い上流側 1/3 ほどは北西側にほぼ 25° の傾きを示してことが写真-19 の写真中の池の底面傾斜などから分かる。それより下流側の土塊はほぼ水平性を保っている（境界は図-1 の破線に対応）。また、西側の一部は東向きにお辞儀する形で静止した。
- ・ 上流・下流の二つの土塊の間には、図-20 の写真に示すように幅 10m ・ 深さ数 m 程度の崩壊溝が池や山林を貫いている。この二つの山体が斜面移動時に途中までほぼ一体となって動いたことは、その溝の両側を結ぶ養殖池のゴムホースや鳥避け用のネットが切れずに繋がっていることから見て明らかである。
- ・ アジア航測（株）が北海道地図（株）所有の地震前のデータと地震後のレーザー測量の比較から求めた地形変化量分布図からは、山体の剛体的移動により山体全体の形が大きく変わってしまったことが読み取れる（写真-21、図-1）。
- ・ 図-1 には当方で推定した滑り面を破線により記入しているが、16° 程の流れ盤に対応しており、地質図により当地点が流れ盤であり、その傾斜方向がほぼ南東向きであることと整合している。背後に残された滑落崖にはほぼ水平な層理面が読み取れ（写真-18）、山体全体が移動した流れ盤滑り面とは異なるものと考えられる。
- ・ いずれにしても、この地点については未だ不明な点が多く残されており、今後詳細な調査が必要である。

#### (c) 天然ダム地滑り

今回の地震では自然斜面の崩壊により多数の天然ダムが出現し、地震後の復旧に大きな阻害要因となっている。そのうち特に崩壊土量が大きく洪水による影響の大きなものは東竹沢地区と寺野地区の崩壊である。

##### [東竹沢地区]

- ・ 東竹沢地区の滑りは斜度 20 度程度の西落ちの泥岩（新第 3 紀）上面を滑り面とし、その上の弱固結の砂層が流動したことが確認された。この青灰色の泥岩面（スリッケンサイド）は崩

壊斜面下部に広く露出しており、その表面には明確な引っかき傷が認められ、これが滑り面となったことを示している（写真-22、23、24 参照）。

- ・ 泥岩の滑り面は目視しうる範囲でまったくの平滑斜面である。平滑面の上には水の流れており、上が砂層であったことから元々透水面であったと思われる。
- ・ 天然ダムを形成した主要な移動土塊の平面積は平均辺長 200m×250m、厚さは 15~20m、土量は 75~100 万 m<sup>3</sup> 程度、移動水平距離は約 120m である(写真-25)。さらに斜面上部には倒木を伴った 2 次滑りが一定勾配の平滑な泥岩滑り面の上部を覆っている。移動土塊は主に新第 3 紀の砂岩であるが、実際の固結度は小さく締まった細砂と言った方が良い。
- ・ 今回の新たな滑落崖のさらに上部に古い滑落崖が複数確認され、この斜面が古くからの地滑り斜面であったことが確認された。
- ・ 地滑り土塊の北側と南側は小さな谷で仕切られており、その 3 次元効果によりこの土塊が特に滑り易かったと考えられる。
- ・ 移動土塊上の針葉樹木は移動方向先端部を除いてはまったく直立しており、滑り面がまったく一定勾配の平滑面であることを示唆している（写真-24）。
- ・ 移動土塊が元の渓谷を乗り越えた先端部では樹木は斜面側に大きく傾いており、対岸（右岸）の谷に突き当たってからは土塊が曲線的に変形して対岸に乗り上げたことを示唆している。
- ・ 樹木の生えた移動土塊先端のさらに前面に砂質土・粘性土からなる灰色の土が 3~5m 程度うず高く盛り上がり、国道 291 号線を完全に覆い隠していた。その一部は流動性を帯び、東竹沢小学校の校舎に泥を跳ね上げ泥流化していた。また、その下流側には同じ灰色の土の上に明らかに干上がった池の底が見られた。2 万 5 千分の 1 の地形図によれば、谷の左岸に 2 個の池が書かれており、移動土塊が前面の棚田と池の軟弱土を押し流し、右岸の上に広く盛り上げたものと判断される（図-2）。
- ・ 以上より、東竹沢の大地すべりのメカニズムとしては添付図を参考に以下のようなシナリオが考えられる。

まず、地震によって地滑り土塊前面にある棚田と池などを形成する砂質土が液状化・軟化した。それによる地滑り土塊前面の強度低下や地震動の影響により、従来から多少地滑り変位を生じていた土塊の安定性が崩れ、20°の勾配の平滑な泥岩上を一気に滑り落ち、前面の軟弱土を対岸まで押し流し、自らも前面は対岸の谷の上へのし上がり、天然ダムを形成した。このシナリオは写真-24 のように泥岩滑り面の延長線が谷底にほぼ近い位置に来ることからも現実的である。

- ・ 応急対策として既にパイプ排水による貯水位の上昇防止が図られている。今後の対策工事としては (a) 滑落崖付近に残った残留土塊の除去と (b) 水位低下の後に行う天然ダム土塊の除去がある。このうち (b) については、天然ダム土塊を元の河床レベルまで取り除くと、それ以外の地滑り土塊が再滑動する可能性もあるため、周辺斜面の安定性を確保しながらどこまで除去するかなど詳細な検討が必要となろう。

#### [寺野地区]

- ・ 寺野の天然ダムも破壊形態からメカニズムは東竹沢に近いと判断される。確認されていないが、泥岩の滑り面が存在する可能性がある。
- ・ 東竹沢とは異なり、滑り土塊は砂岩層ではなく崖錘層である可能性が高い。

- ・天然ダムを形成した移動土塊は平均辺長 250m×200m、厚さは 15m 程度、土量は 75 万 m<sup>3</sup> 程度、移動水平距離は 50m 程度である(写真-25、26)。滑り土塊は東竹沢ほどの一体性はなく、部分的に複雑な動きを示しているように見える。
- ・滑り土塊の側面は必ずしも既存の谷ではなく、3 次元的に滑りやすかったわけではない。特に土塊の谷に向かって左側境界は今回大きくスランプして新たな谷が形成されたようである。

## 5. 地盤災害のまとめと今後の課題

- ・山間部の直下型地震では無数の斜面崩壊が起き、それによって情報が長時間途絶することが今回得られた大きな教訓である。緊急救援のため衛星写真などを利用して国土全体をカバーし、夜間でも検知可能な斜面崩壊リアルタイムモニタリングシステムの開発が防災上の大きな技術開発目標として挙げられる。
- ・斜面崩壊や道路盛土の崩壊に車が巻き込まれ幾人かが犠牲となった。大規模な岩盤崩壊などについては、道路計画時点の路線選定の重要性を浮かび上がらせた。盛土崩壊などについては、最低限、人命損失を食い止めるための経済的な対策法を開発していく必要がある。たとえば、耐震レーンとして最低 1 車線は震度 7 クラスに耐える構造とし、交通の途絶を防ぐ対策が考えられる。
- ・道路盛土に平行したライフラインの被害も目立つ。ライフラインの重要度は盛土より高いものも多い。盛土自身の修復に比べて時間のかかるライフラインの敷設法については工夫が必要となろう。また、道路中央部に敷設された下水マンホールの浮き上がりによる交通支障が目立ち、これも今後の課題である。さらに、融雪設備の破損が雪国特有の問題として挙げられる。
- ・液状化によるマンホールの浮き上がりは歩道で起きる限りは交通障害の面からはそれほど問題ではないが、今回、裏道では車道に敷設されたマンホールが多数浮き上がり交通障害となっていた。今後、マンホール埋設の埋め戻し基準についても防災と経済性のバランスの観点から再検討が必要である。
- ・今回の地震により各所で擁壁構造物の倒壊が目立った。地震動の強さ、主な震動方向、裏込め土の土質・含水比・地下水面などの観点から、今後の設計上の教訓を得る必要がある。最近、技術開発の著しい補強土工法による復旧も視野に入れた取り組みが必要である。
- ・今回、東竹沢・寺野以外にも多数の箇所において崩落土による谷川のダムアップが起きた。わが国では近年は今回のような大規模な崩壊土砂量による経験は少なく、山間部の直下型地震では崩壊土による谷川のダムアップとその緊急対応が今後の大きな危機管理項目であり、マニュアル整備などを急ぐ必要がある。ダムアップに対して短期間で安全かつ有効な水位低下技術(サイフォン敷設など)を確立することも重要である。
- ・崩壊土の流動性は今回それほど大きくはなかったが、崩壊土の到達距離の評価は被害想定やハザードマップ作成に重要な影響を及ぼす。今後、地震動、斜面勾配・比高、崩壊土の含水比・粒度・細粒分の性質などを考慮した評価法の開発が急がれる。
- ・直下型地震では、多数の強い余震による斜面崩壊、亀裂の進行が起き易い。住民の方の避難計画などのためにも、地震による崩壊斜面の余震や雨による破壊進行予測と避難対応についての何らかのマニュアルを開発する必要がある。台湾集集地震など世界の先例を十分調査す

ることが必要である。

- ・ 今回、歩いた範囲で見ても、広範なエリアで斜面上部に開口亀裂が無数に入っており、今後の雪と豪雨によって地滑りが誘発される可能性が高い。開口亀裂の全容をつかむことは航空写真判読からも不可能であり、専門学会・専門家グループによる系統的調査を行い今後の対策を立てることが必要である。

以 上



写真-1 高速道路盛土の路肩滑り  
(堀之内町竜光)



写真-2 小千谷インター付近での盛土の変形・移動によるカルバートの沈下と継ぎ目の開口



写真-3 小千谷市塩殿での国道 117 号線盛土崩壊。路肩のライフラインも巻き込んだ交通途絶



写真-4 川口町天納での国道 17 号線と JR 上越線の併設盛土崩壊とライフライン被害



写真-5 長岡市高町での造成地周縁部の崩壊  
亀裂は 20m ほど奥にまで及ぶ



写真-6 造成地周縁部の重力式擁壁  
施工継目 2 スパン間で崩壊し大きく流れている





写真-7 小千谷市塩殿国道 117 号線横の河岸段丘上宅地の崩壊（奥や手前の土地と立ち木や小屋のある土地とは地続きであった）



写真-8 長岡市濁沢町での崖錐上に造成した宅地の崩壊と家の倒壊



写真-9 長岡市渡沢町新幹線高架橋沿いの下水埋設部分の沈下とマンホールの浮き上がり



写真-10 小千谷市浦柄 JR 上越線沿いのケスタ地形流れ盤における泥岩鏡肌の滑り



写真-11 小千谷市妙見町白岩での深い崩壊流れ盤と信濃川の蛇行侵食が影響



写真-12 信濃川魚沼橋下流右岸県道 196 号線での深い崩壊流れ盤と信濃川の蛇行侵食が影響





写真-13 JR 上越線北堀之内駅付近の浅い斜面崩壊がレールを覆い尽くす



写真-14 小千谷市塩谷での大崩壊  
36°の滑り面から滑ったサッカー場ほどの土塊は前面土塊に斜め(25°)に乗り上げている



写真-15 パイピングによる池の破堤



写真-16 パイピングによる池の破堤



写真-17 小千谷市塩谷での大崩壊。滑り面から滑った上流土塊は斜め(25°)に傾斜して静止



写真-18 高さ70m、傾斜36°ほどの滑り面はほぼ水平な層理面が表れ、湧水が見られる



写真-19 池の縁のコケの面の傾斜



写真-20 上流の傾斜土塊（右）と下流の水平土塊（左）を渡るゴムホース  
谷の向う側の土塊は手前（東）側に傾斜していている

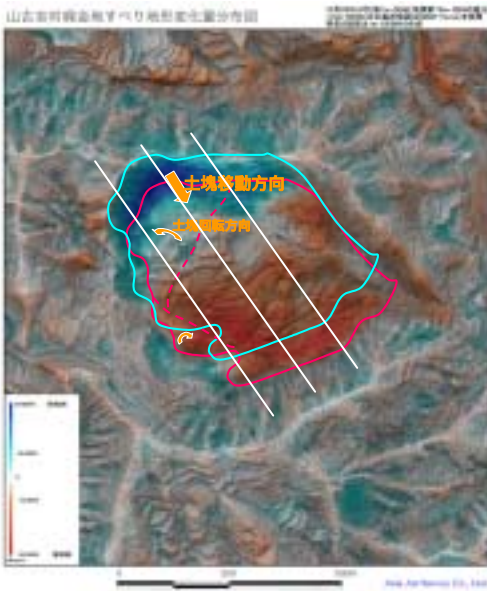


写真-21 レーザー測量による地震前後での標高変化  
(アジア航測(株)HPによる)

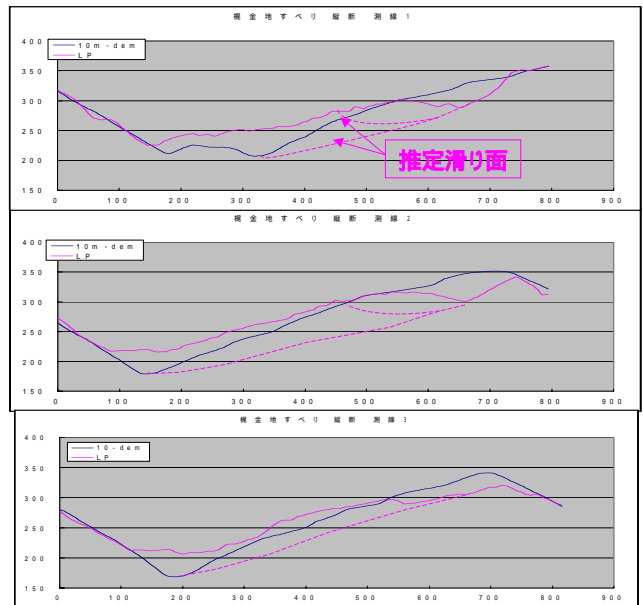


図-1 地震前後での写真-21 に示す 3 側線の断面変化  
(アジア航測(株)提供に推定滑り線追加)





写真-22 東竹沢地滑りダムの全景。手前の滑落崖と滑り面から旧東竹沢小学校方へ滑った



写真-23 滑り面上部を覆う2次滑り土塊



写真-24 地滑り斜面下部に現れた青灰色泥岩のまったく平滑な滑り面

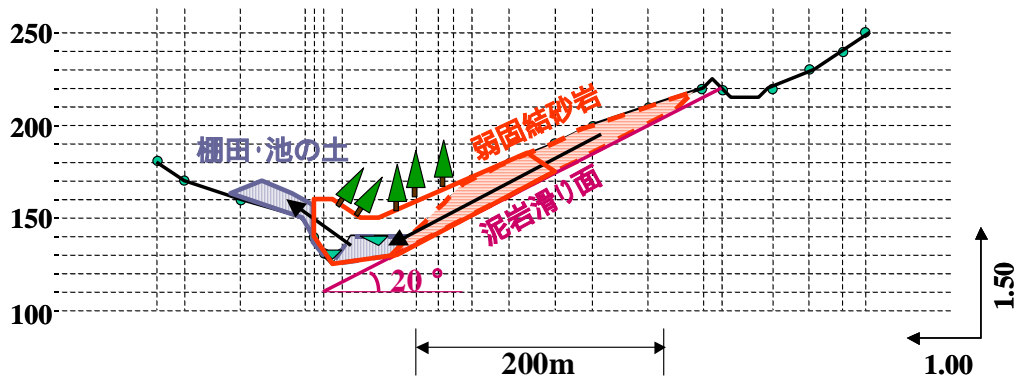


図-2 東竹沢地滑りダムの推定断面



写真-25 手前の沢に向かって滑った寺野天然ダムの全景  
後方のみでなく左右の滑落崖も確認できる



写真-26 寺野での沢を埋めた崩壊土と洗掘防止工の施工