

## 2004年新潟県中越地震の特徴と課題

大塚 悟<sup>1</sup>

Satoru OHTSUKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>長岡技術科学大学工学部環境・建設系

新潟県中越地震では新幹線の脱線事故が発生し、旧山古志村地区では大規模な斜面崩壊が多数発生して芋川の河道閉塞を生じる被害が生じた。また信濃川河畔の妙見では岩盤斜面の大規模崩壊が生じて通行中の車両が崩壊に巻き込まれた。地震の発生地区は活褶曲地帯であり、以前から斜面災害の多い地域である。広域な斜面災害は旧山古志村地区の孤立化を引き起こし、長期間の避難生活と集団移転を強いた。今回の地震は中山間地における直下型地震の様々な地震被害形態を示しており、今後の防災対策に対して貴重な事例となった。本小文は新潟県中越地震の地震被害の特徴を構造物被害の視点から取りまとめ、今後の課題について整理した。

### 1. はじめに

昨年10月23日に発生した新潟県中越地震は、近年まれにみる地盤災害をもたらした。何故これほど甚大な地盤災害が生じたのか、地域特性を概観しながら、地震災害と今後の課題について整理する。

### 2. 活褶曲地帯の地盤特性

地震の発生地域は、約1千万年前から百万年前にかけて海底で数千mの厚さで堆積した地盤が隆起したものである。今回の地震の断層は逆断層と言われており、活発な隆起は現在も継続している。旧山古志村を中心とした山地は固結度の低い弱齢地盤から形成されており、全般的に泥岩とシルト質砂岩の互層地盤から成る。

この地域は全国でも有数の地すべり多発地域であり、斜面には明瞭な地すべり地形が発達している(図1)。馬蹄形の地すべり地形は過去の地すべりによって緩斜面を形成し、地下水が豊富なことから棚田や小規模なため池、養鯉池として活用されてきた。これらは旧山古志村の産業基盤を形成しており、旧山古志村では過去から地すべりなどの自然災害と巧みに共存してきた歴史がある。当該地区は日本有数の豪雪地帯であり、冬季には雪崩などの雪氷災害の危険性も高い。今回の地震は十月後半であったために、地震と雪氷災害との複合災害による被害の増加を免れたが、冬季の地震被害の危険性に対する警鐘となった。

### 3. 台風23号による降水

地震の3日前に台風23号が日本列島を縦断した。中越地域でも長岡市で日降水量100mmが記録した。このために自然斜面をはじめ、盛土や埋め戻し土などの人工地

盤は多量の水分を含むことになり、せん断強度の低下や重量の増加による地震慣性力の増大によって、甚大な地盤災害が発生した。これらの地盤災害は地震単独による被害と言うより、降雨との複合災害の様相を呈した。地震の3日前における降水が地盤に十分に浸透したことが、旧山古志村で数多く発生した自然斜面の大規模崩壊の一因と言える。降水時期により地震の災害形態はずい分と変化する可能性がある。降雨の影響については今後検証される必要がある。

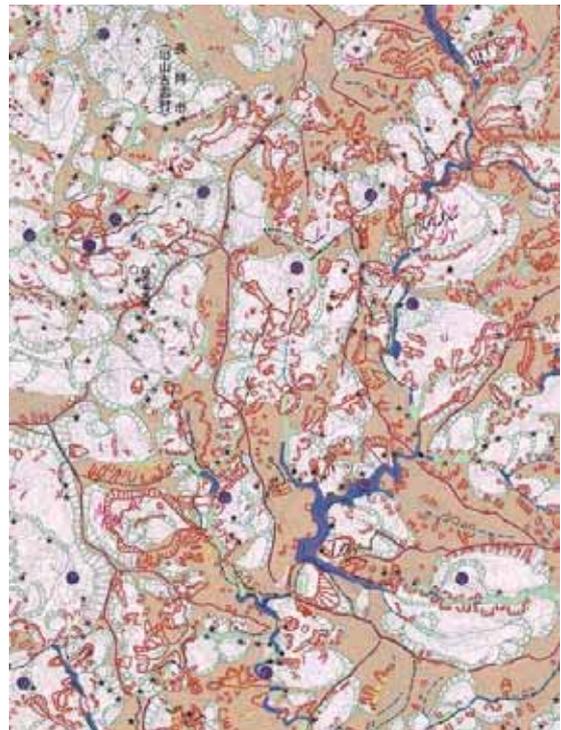


図1 芋川沿いの地すべり地形と中越地震の斜面崩壊<sup>1)</sup>

#### 4. 自然斜面の崩壊

今回の地震では自然斜面が多数崩壊した。震源地の山地が固結度の低い泥岩やシルト質砂岩で構成されることから被害が増大した。特にシルト質砂岩は降水による強度低下を起こしたために、旧山古志村では多くの斜面にて崩壊を生じた。表層の風化土や崩積土の崩壊した事例が多いが、基盤が傾斜した流れ盤斜面では大規模な斜面崩壊が発生した。斜面崩壊の形態と地形や地質との相関関係の調査が今後の課題である。最終的には今回の地震の経験に基づいて斜面の地震危険度に関するハザードマップの作成が期待される。地震被害の特性は基本的に地域の地盤特性に大きく左右されるが、斜面の地震危険度評価の分析から得られる知見は他地域にも応用可能である。

芋川流域では斜面崩壊によって各地で河道閉塞が発生した。寺野や東竹沢（図 2）では大規模な地すべりによる土塊が河道閉塞を起こしたが、池谷（図 3）では表層崩壊による崩積土によって河道閉塞が生じた。河道閉塞は土石流などの 2 次災害の恐れがあることから排水施設や水路工などの対策が迅速に行われた。被害の把握には航空写真などの空からの調査が大いに役立った。しかし、流域の至るところに斜面崩壊による崩積土が堆積しており、その流出が懸念されることから、その管理が今後の大きな課題である。



図 2 東竹沢地すべり地の復旧工事（H18年5月）



図 3 池谷地区の斜面表層崩壊（H18年5月）

図 4 は横渡における岩盤の層すべりである。斜面傾斜とほぼ等しい傾斜角度を有する凝灰岩の薄層に沿って上部の斜面が滑落した。図では岩盤中に存在する亀裂面に沿って斜面岩塊ブロックが下方へ滑動した。斜面の地質は白岩層でありシルト岩である。同様の地質の崩壊に妙見の岩盤崩壊（図 5）がある。しかし、妙見の岩盤崩壊では斜面がブロック状に爆発したかのように崩壊しており、横渡の崩壊形態とはずいぶん異なっている。同種の岩盤における異なる破壊形態については今後詳細な比較検討が必要である。水平地震動以外に鉛直地震動に対する検討の必要性に関する指摘も多い。



図 4 横渡の岩盤層すべり



図 5 妙見の岩盤崩壊

図 6 は今回の地震における最大規模の地すべりである神沢川地すべりである。図は上部土塊が滑落崖に沿って回転している様子を示している。当該地点は地すべり地形を成しており、事後調査では旧地すべりのすべり面よりも深いすべり面にて崩壊したことが分かっている。地層の走行傾斜とも相関は高くないことから、発生原因は現在まで明らかでない。大規模な斜面崩壊の場合には何らかの構造的素因を有していることが考えられるが、今後の調査によって明確にされることを期待したい。

被災地は地すべり多発地帯であることから、斜面崩壊は地すべりの再滑動を伴うような崩壊が数多く見られた。しかし、図 2 の東竹沢の地すべりや図 6 の神沢川地すべりのように旧地すべり地が再すべりを起こす事例は少数



図6 神沢川地すべりの滑落崖（H18年5月）

で、大部分は図1に示すように巨大な地すべり地の一部であることが多く、地すべり地形の中で比較的不安定な部位が崩壊したと考えられる。

事後調査では斜面崩壊地のボーリング調査が行われたが、地震時の崩壊を示す明確なすべり線を確認できないことも多かった。地すべり地であることから、ボーリングコアには滑動の痕跡を示すすべり面が確認されるが、地中の深い位置にあることも多い。斜面が地震の慣性力によって崩壊する場合にすべり線の深さは静的な場合に対して浅くなると考えられることから、この地点を崩壊時のすべり面とするには疑問がある。復旧工事ではこれらのすべり面が降雨などによって今後滑動する可能性のあることから、対策工の設計に用いられた。斜面の地震時崩壊機構を明らかにする上では更なる調査検討が必要である。

阪神大震災では震災後長期間にわたって斜面災害が発生したことから、今回の地震でも長期間にわたる斜面災害の発生が懸念されている。現在のところ、地震後に顕著な斜面災害の増加は見られないが、引き続き警戒が必要である。地震時に危険斜面はすでに大方崩壊しており、現存する斜面の崩壊危険度は低いという評価の一方で、地震直後には斜面に多数の亀裂が確認しており、その斜面安定への影響は大きいという指摘があり、斜面の危険度は高いという評価もある。今後の調査研究の成果が期待される。

今回の地震では旧山古志村を中心に広域の地盤災害が発生した。至るところに斜面崩壊があることから、どこまで復旧を行うべきか、適切な復旧規模について戦略が必要に思われる。冒頭に述べたが、旧山古志村は地すべり地帯であり災害と共存してきた歴史を有している。棚田や養鯉池は地すべり跡地を活用したものであり、自然を巧く活用したことにより美しい景観が構成されたと言える。今回の地震による被害は甚大であるが、長期的に視野に立つと斜面崩壊地には新たな土地利用が推進されるとともに、美しい景観の再生が期待される。災害地では一刻も早い復旧と2次災害の防止事業が喫緊の事柄であることは論を待たないが、両者の融合が難しいが今後の課題に思われる。また、今回の地震では幹線道路の寸断による中山間地の村落の孤立化が発生したことから、災害時に対応する道路ネットワークの整備は今後の課題である。現在は災害復旧が現状復旧を原則とすることから、新しい社会基盤整備を行うことが難しい問題があり、今後の課題である。

## 5. 道路の被害

中越地震では自然斜面のほか、多くの土構造物が被害を受けた。道路では切土斜面も地震による被害を受けたが、盛土の被害に較べると軽微であった。落石や表土の崩落は随所で発生したが、大規模な崩壊は少ないと言える。しかし、地すべりや自然斜面の大規模崩壊に巻き込まれる事例（図7）があり、切土斜面が被災する事例は数多く発生している。特に、地山が基盤の傾斜（流れ盤）に沿って崩壊する場合に、大きな被害が生じた。一方で、切土斜面にのり面対策工が施行されている場合に、被害は限定的であった。モルタルの吹付け工やのり枠工が施工された斜面において一部土砂が崩落する事例が生じたが、崩壊規模の抑制に働いた。アンカーなどの対策工が施行されている場合に斜面の変状はほとんど見られなかった<sup>2)</sup>。



図7 地すべりに伴う切土斜面の崩壊（応用地質㈱）

他方、多数の盛土構造物が被害を受けた。原因に震度7または6を超える地震が繰り返生じたことが挙げられるが、盛土構造物の強度が他の構造物に比べて小さいことも被害を大きくした原因である。中越地域が中山間地のために傾斜地盤上の盛土構造物の多いことや、地震の直前に台風23号による降水のために盛土の強度低下が生じたことも、盛土構造物の被害を大きくしたと考えられる。中越地震における国道および県道の通行止めは241箇所であり、その内道路土工や斜面崩壊に係わる通行止め箇所は209箇所であった<sup>3)</sup>。道路が路面の沈下や変形のために通行が妨げられる事例も数多く発生した。とりわけ、橋脚やボックス・カルバートなどの構造物と道路盛土のつなぎ目では盛土の沈下による段差が広範囲に発生し、地震直後は大きな交通障害を起こした。しかし、これらの段差は簡易盛土により迅速に復旧された。

盛土では水平地盤上の盛土被害が限定的であるのに対して、傾斜地盤上の盛土被害は甚大であった。その理由に原地盤が水平であることから盛土が安定であること、傾斜地に比べて盛土の施行管理が容易であること、基本的に地下水位は高だか地表付近まで降水による盛土部材のせん断強度低下はそれ程大きくないことがある。しかし、地表付近の強度が低い場合に盛土の変形がやや変形が大きくなる事例が生じた。図8は関越自動車道の被害事例であるが、盛土の水平移動に伴ってボックスカルバートが盛土中央付近で開口した。盛土構造物であ

る河川堤防も地震による被害を受けた。被害は全般に軽微であるが、旧河道との交差点では被害の大きい傾向がある。被害の形態は堤防の縦断方向にき裂が発生するものであり、被害の大きい地点では縦断方向に発生した亀裂が発達して堤体が横断方向にすべり破壊を生じる被害が発生した。被害の大きい地点は地盤の液状化の可能性のあることから、地盤改良などの対策工が実施されている。今回は堤体の損傷による 2 次災害は発生しなかったが、損傷する堤体は常時における河川増水時の災害ポテンシャルも高いと考えられることから、堤体の安全点検と危険度評価の実施が必要である。

傾斜地盤上の道路盛土の被害は至るところで発生した。被害は明確に盛土部に集中しており、道路の谷側路肩の沈下や、盛土の側方変位が多数発生した。基盤が傾斜しているために盛土が不安定化すると完全崩壊へ発展する事例が多い。特に集水地形である沢や谷での盛土は被災する事例が多かった。このような箇所では降水による地下水も豊富であり、盛土は多量の水分を含んで強度低下を生じていた。図 9 は一般県道の付け替え道路の崩壊事例である。直線化のために行われた谷埋め盛土部が崩壊し、斜面に沿う旧道が残っている。



図 8 関越自動車道の復旧作業（東日本高速道路株）



図 9 付け替え道路（谷埋盛土）の崩壊（新潟県）

阪神大震災以降、構造物の耐震性の向上は確実に進められているのに対して、土構造物については十分な対策が行われていなかった。今回の地震では既存の盛土構造

物の耐震対策が大きな課題としてクローズアップされた。今後重要な社会基盤施設は適切な耐震対策が行われる必要があると思われる。しかし、新たに建設する構造物以外に耐震安定化の必要な既存土構造物も多数存在することから、既存構造物の安価で効果的な耐震工法の開発が今後の課題と言える。

土構造物は変形しやすい短所を有する一方で、被災時の復旧の速さという長所がある。国道や高速道路にて極めて短時間で緊急時の輸送機能が復旧されたことは特筆すべきである。また、関越自動車道は地震によって大きな被害を受けたが車両の交通事故はほとんど発生していない。高速運転中の車両が高速道路が甚大な被害を受けたにもかかわらず何故交通事故を起こさなかったのか、詳細な検証が必要である。本震時に道路が急激な変形を生じなかったと考えられるが、実際の挙動は良く分からない。舗装が急激な変形を緩和したとも言われているが、今後の課題である。土構造物の耐震設計については多面的な視野からの検討が必要である。

## 6. 宅地造成地盛土の被害

宅地造成地は一般に切土と盛土の区間が混在するが、今回の地震では盛土区間に大きな被害が発生した。長岡市高町団地では図 10 に示すように中央部に切土区間があり、周辺部に盛土が行われていた。図中の実線は標高から推定される切盛り境界線である。被害の特徴として切土区間に地盤の変状はほとんど見られないのに対して、盛土区間では亀裂や法尻方向への水平変位が発生し、変位に伴う不等沈下が生じた。その内 4 地点にて盛土が団地の周回道路を巻き込んで大きく崩壊した。図 11 に盛土崩壊事例の 1 例を示す。幸いに周回道路があったために建物が崩壊に巻き込まれることは避けられた。周回道路は建物への直接被害を緩和して人的被害を軽減する防災上の役割を果たしたと言える。団地には周回道路の法尻側に家屋が建造されている事例が見られるが、崩壊には巻き込まれなかったものの地盤変位が大きいために例外なく危険宅地に指定されていた。団地の総戸数は 522 であり、このうち約 70 戸が宅地診断によって危険家屋と判定された。これらの危険家屋は図 10 に見られるように盛土区間に位置している。建物は地震に対して比較的健全であるにもかかわらず、地盤変位に伴って損傷を



図 11 高町団地の盛土崩壊

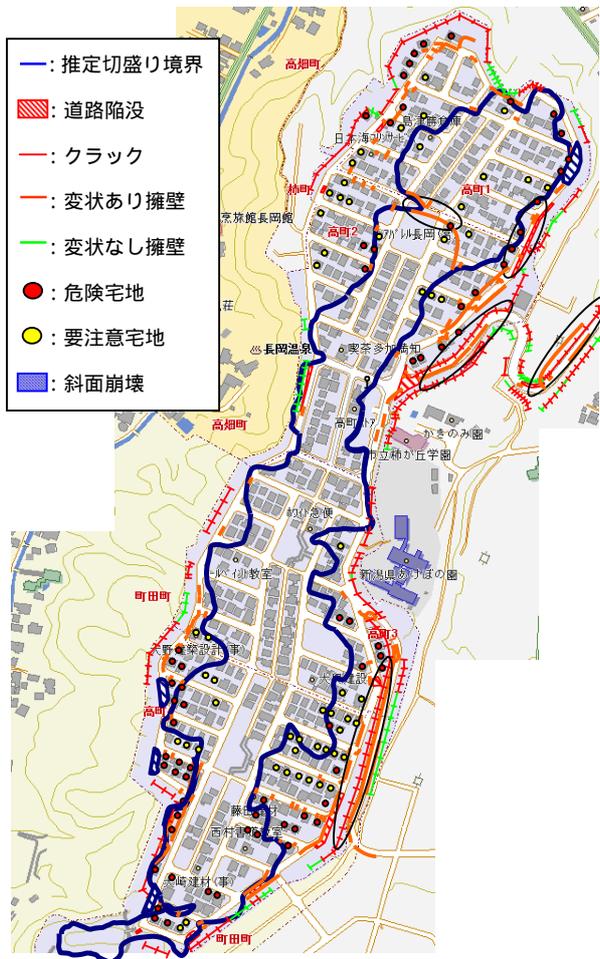


図 10 高町団地の平面図と家屋被害



図 12 宅地地盤の変形に伴う家屋の被害

受ける事例が多かった。図 12 は宅地地盤の変形に伴う家屋被害の事例である。

災害復旧は周回道路を中心に実施され、生活に必要なライフラインも早期に復旧された。しかし、社会基盤施設の復旧に対して家屋の復旧はなかなか進まない。家屋の再建には経済的支援が必要であるが、簡単でない問題がある。宅地造成地盛土の場合にはその被害が人命や財産に直結することから、より高度の品質が求められる。今回被害を受けた宅地造成地と同様の構造物は日本各地

に存在していることから、盛土構造物に対しては耐震安定化対策が必要である。費用負担など課題も多いが、技術的な課題については積極的に取り組む必要がある。

## 7. 埋戻し土の被害

今回の地震では埋戻し土の変形被害が多数発生した。道路では埋設管に沿って埋戻し土の沈下が広範囲に発生し、交通障害となった(図 13)。地震直後は沈下もなく健全であったものが時間の経過とともに徐々に沈下する現象が至るところで発生した。中には地震後半年が経過した頃から埋設管上の道路が沈下する事例もある。道路では舗装があるために地盤に多少の沈下が生じて舗装が即時変形しない場合には時間遅れの発生することもあるかも知れない。道路の沈下は意外に大きく、管の中に土砂が入り込んでいない場合には沈下に相当する土砂はどこに行ったのか不思議に感じられることも多い。

埋戻し土の液状化によってマンホールが浮上る事例も多数発生した。図 14 はマンホールが 1m 程度浮上っているが、車両用道路には変状がなく埋戻し土のみが液状化を生じたことを示している。マンホールが図のように大きく浮上るには埋戻し土が完全に液状化し、液状化継続



図 13 埋戻し土の沈下に伴う道路被害(東京理科大・平川先生撮影)



図 14 埋戻し土の液状化に伴うマンホールの浮上り(長岡技大・豊田先生撮影)

時間も長いことが想像される。安田らは周辺地盤が粘性土であったことが影響したと分析している。災害復旧に当たり、埋戻し土の液状化対策としてセメントを混合する改良土が用いられた。埋設管の液状化防止に関して様々な施工法が提案されていることから、今後より簡易で有効な対策工法の開発が期待される。

北越急行・ほくほく線では十日町市内の鉄道トンネル建設に当たり開削工法を用いた埋戻し土をトンネル上に施工した。この埋戻し土が今回の地震で沈下を起こして、トンネル沿線に地盤沈下を引き起こした。沿線上の建物は地盤の不等沈下のために損傷して、危険宅地に指定されているものもある。埋設管被害が道路に限定されるのに対して、開削工法の場合には影響範囲が広いために地盤沈下の及ぼす社会的影響が拡大することから、今後対策が必要な課題である。

## 8．余震による斜面崩壊の進展

今回の地震では自然斜面の大規模な崩壊が発生したが、幸いに人的被害はそれ程大きくなかった。その理由に地震被災地が過疎地域であることが挙げられるが、その一方で家屋が斜面の崩壊に巻き込まれる事例も散見される。住民に斜面崩壊の発生形態を尋ねると、本震で斜面が一度に崩壊した事例ばかりでないことが分かる。本震では斜面にき裂が生じたり、何らかの変形を生じたものが、引き続き余震で変位を拡大して崩壊に至る事例が多い。関越自動車道でも車両の交通事故が発生しなかったことも同様の現象と言う事ができる。これらは限られた事例の可能性もあるが、人的被害の少ない原因の1つと考えられる。

今回の地震では10月23日17時56分にM=6.8(最大震度7)の本震が発生した。震央位置は川口町北部で震源深さは13kmである。さらに40分以内に、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)と、大きい余震が連続して発生した。4日後にはM=6.1(最大震度6弱)、15日後にM=5.9(最大震度5強)の余震が発生した。比較的規模大きい余震が繰り返し発生したことが地盤災害を拡大したと言える。構造物の安定性や残留変形量は本震を対象に行われることを考えると、構造物によっては余震への対応が必要になる事例もあると思われる。

## 9．地震後の降雪による複合災害

被災地は豪雪地帯であることから、融雪期における大量の融雪水による斜面災害の拡大が懸念された。しかし、斜面崩壊の拡大は見られたものの、規模は心配したほどではなかった。斜面崩壊の規模が大きいために、比較す

ると融雪期の崩壊の進展が過小に思われた可能性も否定できない。不安定な土塊は基本的に本震または余震において既に崩壊して斜面が安定化していると考えられることもできる。いずれにしても、未だ答えを出すには早く、継続的な監視が必要である。

また、斜面災害によって山間地の地形変化が生じたり、流れ防止柵の破損やスノーシェットの損傷のために雪崩災害の増大が想定された。地域の雪崩災害防止を目的に、地震後の積雪期には精力的なモニタリングが各機関で行われた。被災地では住民が生活再建に努力されており、継続的な雪崩災害の防止が重要な課題となっている。モニタリング技術の防災への応用や予測技術の開発が期待される。

## 10．おわりに

2004年新潟県中越地震被害の特徴について自然斜面や盛土の安定、埋戻し土の変形について被害の状況を取りまとめて紹介するとともに、今後の課題について整理した。力不足のためにその他の構造物被害については十分にまとめることができなかったが、多くの精力的な調査結果が研究者や各機関から発表されているので参考にとされたい。

平成17年度より3年間の研究期間で科学技術振興調整費により、「活褶曲地帯における地盤被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案(代表:東京大学・小長井一男教授)」という課題にて新潟県中越地震の調査研究を実施している。個人的意見になるが、この課題では中越地震被害の教訓と課題を如何に深化して後世に語り続けるかが大きな目的であると考えている。中越地震の被害が単に一時期の災害に終わるのではなく、次世代の防災技術に活かしていくことが現在の最大の課題に思われる。

## 参考文献

- 1) 国土地理院：平成16年新潟県中越地震1：25,000災害状況図山古志(地形分類及び災害状況)、[http://www1.gsi.go.jp/geowww/NIIGATAJISIN/yamakoshi\\_A.jpg](http://www1.gsi.go.jp/geowww/NIIGATAJISIN/yamakoshi_A.jpg), 2006.
- 2) 大塚悟：切土斜面の地震被害、基礎工、新潟県中越地震の教訓と対策、Vol.33, No.10, pp.70-73, 2005.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所・独立行政法人建築研究所：平成16年新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要, 2005.
- 4) 大塚悟：盛土構造物の被害、地球号外 No.53, 2004年新潟県中越地震, pp.132-138, 2005.