

# 土構造物の被害

大塚 悟

長岡技術科学大学 環境・建設系

中越地震では盛土などの人工地盤が多なる被害を受けた。地震3日前の台風23号による降水によって地盤は強度低下を起こしており、降水と地震の複合災害の様相を呈している。阪神大震災以降初めてのレベルⅡに相当する直下型地震動といえる今回の地震では、既存の土構造物の耐震性が大きな問題となった。

## 1. はじめに

中越地震では多数の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し発生したことが挙げられる。図1は本震以降の余震数を表すが、近年に発生した他の地震に比べて余震数が非常に多いことが分かる。実際に本震以降に多くの構造物が進行的に破壊したことが目撃されており、今回の地震被害の特徴となっている。

また、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(図2)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。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。その一方で、土構造物の特徴は被災時の復旧の速さにある。国道や高速道路などの社会基盤施設は極めて短時間で機能が復旧されたことは特筆すべきである。土構造物の復旧性能の高さは危機管理に応用できることから、構造物の機能に応じて土構造物を適切に活用すること

が期待される。しかし、土構造物の変形により住民の安全を脅かすこともあり、地震時挙動の詳細な把握が必要である。高速道路では大惨事が起る可能性もあったが、人命が損なわれる被害は発生しなかった。地震後には甚大な変形を起こしてい

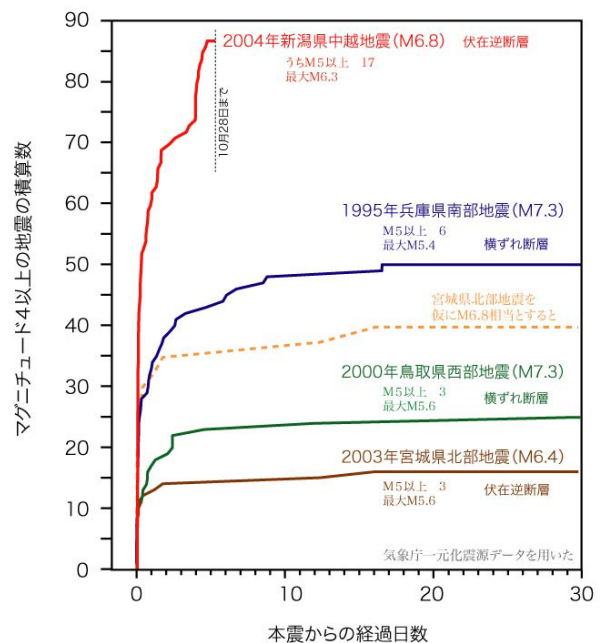


図1 本震以降の経過日数と余震数

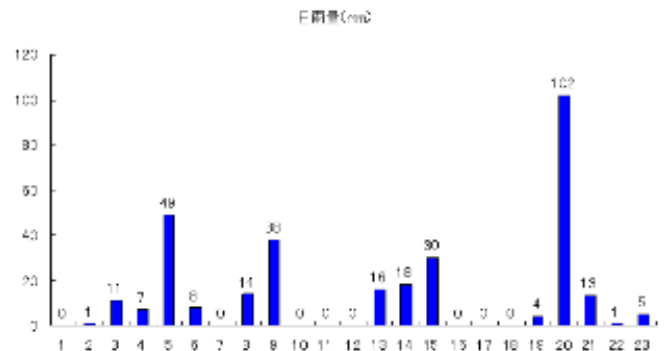


図2 長岡市の日降水量

る高速道路で何故重大な事故が地震時に発生しなかったのか、検討することも重要である。フェール・セーフの技術が活かされる必要がある。

他方、宅地などの私有地における土構造物は復旧に多大の時間を要している。地震後ずい分時間が経過しているが宅地再建の目処が建たない事例も散見される。災害地の復旧は住民の安心・安全な生活環境の確保によりはじめて達成されることを考えると、災害復旧の方法や戦略はより弾力的に運用される必要がある。

## 2. 道路盛土の被害

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



写真1 盛土変形による段差（関越自動車道）<sup>2)</sup>



写真2 関越自動車道の盛土変形<sup>2)</sup>

係わる通行止め箇所は209箇所であった<sup>1)</sup>。道路や斜面の崩壊以外に、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（道路と直交方向の交通を図るためのボックス形状のコンクリート構造物）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た（写真1）。これらは段差をオーバー・レイする簡易舗装により短時間で修復されたが、地震直後は大きな交通障害を起こした。

写真2は関越自動車道の復旧工事の様子である。道路の白線が盛土の不等沈下によって乱れている。中央の車線は緊急車両の通行確保のために、変形した道路の上に簡易舗装によるオーバーレイを施した。オーバーレイした舗装部分と未舗装部分との境界は大きな段差が生じていることが分かる。また、ボックス・カルバートと盛土の境界では各地で段差が発生した。ボックス・カルバートは基礎で支えられているのに対して、盛土は振動による揺すり込み沈下を起こした。同様の段差は橋脚の取り付け道路にも見られ、河川や立体交差道路において交通障害を起こした（写真3）。構造物周辺の盛土や埋め戻し土は一般に締め固め施工が難しいことや、構造物と盛土の剛性の差により盛土や埋め戻し土の圧縮変形が大きくなる傾向があり、盛土や埋め戻し土の沈下が見られた。



写真3 盛土変形による段差（関越自動車道）<sup>2)</sup>

写真4は埋設管に沿う道路の不等沈下である。道路中央には融雪のための散水施設である消雪パイプが敷設されている。道路の沈下は埋設管に沿って発生しており、埋戻し土が圧縮変形を起こしたと考えられる。埋設管の施工では掘削後に埋設管を設置して土で埋戻しを行うが、埋設管のために十分に締固められないことから、地震動によって圧縮変形を起こしやすい。写真5はマンホールが著しく浮き上がった事例である。マンホールの地震時における浮き上がりは液状化の事例として良く知られているが、マンホールが写真のように著しく浮き上がるためには液状化が激しく、また継続時間も長い必要がある。写真ではマンホールが激しく浮き上がったものの、周辺地盤に変



写真4 埋設管埋戻し土の沈下<sup>3)</sup>



写真5 液状化によるマンホールの浮き上がり<sup>3)</sup>

状は見られない。したがって、マンホールの浮き上がりは埋め戻し土の液状化が原因と考えられる。周辺地盤が粘性土地盤で比較的地下水位の高い場合に埋め戻し土は液状化しやすく、また一度液状化すると排水し難いため液状化継続時間が長くなることが指摘されている<sup>4)</sup>。

写真6は道路側面に敷設してあった埋設管が完全に地表面に浮き上がっており、当該地点にて激しい液状化の生じたことを示している。埋設管に沿う道路の不等沈下は広範囲で観察されている。地震直後に生じたものが大部分であるが、中には地震後にそれほど変状を受けていない道路が、その後の交通荷重の影響を受けて不等沈下を大きくする事例が数多く散見された。道路の沈下には埋め戻し土の圧縮以外にも様々な理由が考えられるが、地震経過後半年を過ぎてもなお埋設管の被害が収まらない現象が生じた。

これらは埋め戻し土の液状化に伴う被害であるが、局所的な土構造物であるにもかかわらず大きな被害を及ぼした。特に道路に沿う埋設物は交通を維持した上で復旧する必要があるために、通常の施工の何倍もの時間と経費が必要になる。埋め戻しでは砂質系の土砂の利用に大きな課題を残した。砂質土にセメント材を添加する土質改良が提案されているが、効果と適用性について多面的な検討が必要である。



写真6 埋設管の浮き上がり<sup>6)</sup>

### 3. 水平地盤における道路盛土の被害

水平地盤における道路盛土の被害は地震慣性力が盛土の横断方向に作用する地点にて被害が多く報告されている。盛土部の沈下やのり面の側方変位が生じたが、崩壊に至る事例は比較的少ない。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面付近までであり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、基盤となる地盤が軟弱な場合には比較的大きな変形を生じる事例が見られた。

関越自動車道では小千谷市桜町にて盛土が側方に変形することにより、盛土中央付近にて盛土の沈下・陥没が生じた。被害の生じた盛土の断面を図3に示す。盛土内に交差道路のためにボックス・カルバートが設置されているが、地震による盛土の側方変位に伴ってボックス・カルバートが水平方向へ移動し、盛土中央にて最大70-80cmほどの隙間が生じた。写真7は道路盛土の中央にて盛土材を排除した際の様子である。高速道路施行時の調査によると当該地盤は上部8.5mほどまで概ね粘性土であり、4m付近に一部砂層が介在している。4.5mから6.5m間は腐植土層であり、砂質土と粘土層の互層地盤が堆積している。また、盛土材は小国層の泥質または砂質泥岩が用いられており、施行時に土砂化して取り扱い難いことが報告されている<sup>2)</sup>。写真8はボックス・カルバート内から撮影した開口状況であるが、全体的にやや沈下しているが、上下でほぼ開口幅は等しくほ

ぼ水平に変位したことが分かる。写真9に盛土の変形に伴う周辺道路および側溝の損傷状況を示す。道路の交差部は圧縮のために舗装および埋設管が著しく損傷を受けていた。

盛土部は写真10のように側道の擁壁パネルを



写真7 盛土の側方変形によるボックス・カルバートの開口<sup>2)</sup> (関越自動車道)



写真8 ボックス・カルバートの開口

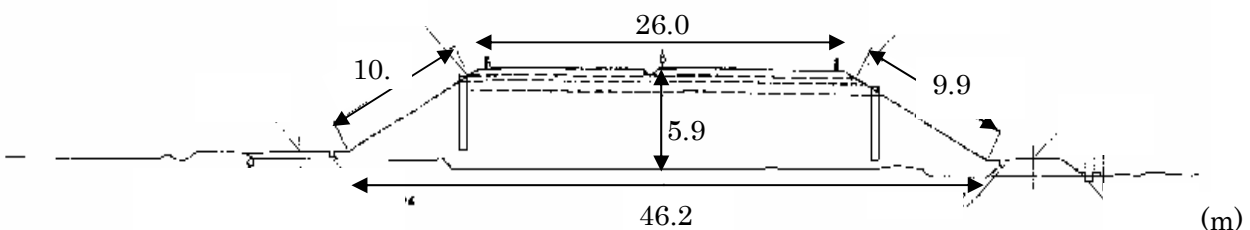


図3 小千谷市桜町における関越自動車道の盛土断面<sup>2)</sup>



写真 9 盛土の変形に伴う周辺地盤の損傷



写真 11 盛土の主働せん断破壊



写真 10 盛土のはらみ出しによるパネル崩壊

押し出すように変形している。写真ではパネル上部が転倒するように変形しており、下部に変位は見られない。応急対応には大型の土嚢が広範囲に使用されていた。盛土の上部がはらみ出す転倒破壊はランキンの主働土圧理論に示される破壊形態であり、写真 11 に示す駐車場の盛土においても明確に観察された。写真では擁壁パネルの上部が転倒するように変位しており、裏込め盛土が壁面背後で沈下している。擁壁パネルから奥へ入った辺りに引っ張りき裂が擁壁に平行に入っているのが観察される。

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顕著である。

旧河道との交差点は砂質系の土砂が堆積していることが多く、液状化が発生することにより堤体の被害が拡大した可能性が高い。写真 12 は信濃川の支川である刈谷田川の堤防被害事例である。堤防の縦断方向に大きなき裂が発生した。堤体のき裂は振動時に作用する引張応力によって生じるが、き裂が発生すると堤体の抵抗力が小さくなるために、地震動の繰り返しによって堤体の破壊は進展する特徴がある。写真 13 は刈谷田川の他地点の崩壊状況であるが、堤体が縦断方向に発生したき裂を基に堤体が左右の横断方向にすべり破壊を生じた。写真では盛土天端形状が失われており、段差が 50-70cm ほどの滑落崖を形成してい



写真 12 堤防の縦断方向に発生したき裂<sup>5)</sup> (刈谷田川)



写真13 堤防の横断方向へのすべり破壊 (刈谷田川)

る。周囲に墳砂などの液状化の痕跡は確認できなかったが、河道部にまで盛土の変形が及ぶすべり破壊を生じていた。

水平地盤上の盛土では概して大きな破壊を起こす事例は少なかった。一部、地盤の強度が低いまたは地盤が液状化した場合に盛土が変形する事例はあるが、それ以外に大きな被害は少ない。その理由として、地盤に作用するせん断力が小さいことは第1として、盛土内の地下水位が通常地盤面であることから盛土の強度も降水の影響を受け難いこと、集水地形などのように水が集まることによる間隙水圧の上昇などが発生しないことが原因に挙げられる。地震後に残留変形が発生するのは止むを得ないが、健全に施工管理された盛土では激震地にあっても軽微な被害にとどまっている土構造物も多い。適切な排水処理と締固め管理が防災上重要である。

#### 4. 傾斜地盤における道路盛土被害

傾斜地盤上の道路盛土被害は至るところで発生した。傾斜地の道路は原地盤の切土と発生土による盛土が混在する。地震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、のり面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。

#### 4.1 斜面の傾斜と崩壊形態

写真14は写真右側が比較的急傾斜の斜面であり、道路盛土は沢筋に当たる部位が大きく崩壊している。写真ではセンターラインを境界に谷側の盛土が崩壊している。道路上には山側からの湧水が流下している様子が写されている。崩壊地点では原地盤をすべり台にして盛土部分が流出するように崩壊する事例が数多く見られた。地震直前



写真14 急傾斜地盤上の盛土崩壊 (旧山古志村)



写真15 緩傾斜地盤上の盛土崩壊 (旧山古志村)

の降水により盛土部分が特に沢などの集水地形において多量の水分を含んでいたことが大きな素因と考えられる。写真 15 は緩斜面における道路盛土の被災事例である。盛土高さは高々1-2mほどであるが、谷側の田圃に向かって変形している。道路に沿って電柱が谷側に傾斜しており、道路盛土が地表面付近の原地盤と一緒に斜面の傾斜に沿って全体的に変形しているように見える。地形的には沢などの集水地形でないことから、原地盤の強度不足によるせん断破壊と考えられる。

#### 4.2 集水地形での崩壊

道路盛土の崩壊は谷筋、沢筋に当たる箇所での崩壊事例が圧倒的に多い。写真 16 は国道 291 号



写真 16 沢筋における道路盛土の崩壊



写真 17 谷埋め道路盛土の崩壊（旧山古志村）

東栄での盛土の崩壊事例である。傾斜地に盛土が構築されていたが、沢筋に当たる地点にて大きく崩壊した。崩壊地では多量の水が湧出しており、集水地形を形成していた。写真 17 は旧山古志村における羽黒トンネル坑口近くの谷筋に構築された道路盛土の崩壊事例である。谷埋め盛土が谷側方向に大規模に崩壊している。傾斜地盤の沢筋や谷筋に当たる道路盛土の崩壊形態と原因についてまとめると以下のようなものである。

- (1) 道路盛土の施工管理の問題から一般に傾斜地では盛土の締め固め施工が難しい。被災事例では原地盤との強度差から原地盤との境界を滑り台のようにして崩壊する事例が大変多かった。盛土の締め固め管理や段切り施工などによる原地盤との接合について更に注意を図る必要がある。
- (2) 沢筋や谷筋は集水地形のために盛土内の水分量が多く、強度低下が生じたと考えられる。原地盤は盛土に対して透水係数が小さいために盛土内に浸入した地下水をダムアップする役割を果たして、盛土内の水分量増加や間隙水圧の発生によって盛土材の強度を低下させたと考えられる。盛土の適切な排水処理は降水対策として不可欠である。また、盛土材の地震時における液化化についてもその可能性が懸念されている。
- (3) 道路盛土の破壊形態に、地震による振動によって盛土に引張亀裂が発生し、進行性破壊を起こして破壊するものがある。地盤材料は引張力に対してせん断強度が著しく小さいことから、引張力に対する耐力の増加が盛土の耐震安定性には有効と思われる。今回の地震ではマグニチュード 4 以上の余震が繰り返し発生したために、引張き裂の発達に伴う盛土の安定性の喪失によって変形が拡大した事例が多かったと考えられる。

写真 18 は国道 117 号線の塩殿における道路盛土の崩壊事例である。傾斜地に道路盛土が構築されているが、特に地形的には沢筋に当たる沢でも

なく、集水地形のようにも見られない。何故盛土部が大規模な崩壊を起こしたのか、その原因は現地に行った限りにおいてよく分からなかった。



写真 18 国道 117 号線塩殿の盛土崩壊

写真 19 は旧小国町大字法松における一般県道の空中写真である。写真の左上部に県道が斜面沿いに設置されている。傾斜地のために道路が曲線を描いて走行性の悪いことから、直線化するために道路の付替え工事が行われていた。写真 20 は地震後の付替え道路の被災状況を示すが、新しく付け替えられた道路盛土は旧地形に沿う形で崩壊している。付替え道路は谷筋に当たり、高盛土であること、および集水地形のために盛土部のせん断強度が低下していたことより、崩壊を起こしたと考えられる。写真では旧道が比較的健全であ



写真 19 県道大沢小国小千谷線旧小国町法末<sup>5)</sup>

ることから、集水地形における盛土構造物の耐震性の低さを際立たせている。



写真 20 付替え道路の崩壊<sup>5)</sup> (旧小国町)

#### 4.3 関越自動車道の被害事例

関越自動車道では地震により盛土が大きな被害を受けた。路面の亀裂やのり肩の沈下は長岡 IC から堀ノ内 IC 付近にかけて広い範囲で散見されるが、激震ゾーンといわれている竜光付近では盛土が大きく崩壊した。この地点は震源地に近いことから震度も大きかったが、関越自動車道の横断面方向に大きな地震力が作用したとも言われている。

堀之内町竜光付近における斜面崩壊事例を写真 21 に示す。写真では延長約 200m にわたって崩壊しており、崩壊上部は上下各 2 車線の山側にま



写真 21 関越自動車道の盛土崩壊<sup>2)</sup> (堀之内町)



で達している。図4は崩壊地点にける盛土断面である。原地盤は緩勾配の傾斜を有している。断面図から判断すると、ほぼ盛土全体が崩壊したと言っても過言ではない。施行時の調査によると地盤は河岸段丘層と下位の固結度の低い魚沼層群からなる。上部7mほどは一部砂質土を混在するがレキが優勢である。7mから19mにかけては粘性土と一部腐植土が介在する砂質土の互層地盤である。19m以深は魚沼層であるが、スレーキングを起こしやすく、水を含むと土砂化してせん断強度が低下する傾向を示す。自然地盤が断面図に示すように緩やかな傾斜を有することを反映して、盛土は谷側に向かって大規模に崩壊した。当該地点はほぼ直線区間のために、この箇所でも崩壊した個別の原因があると思われる。東日本高速道路(株)によると、緩やかな傾斜に伴う斜面の伏流水が高速道路盛土あたりで浸出しており、盛土内の地下水位が高かったことが原因と考えられる。

写真22に写真21から600mほど離れた地点で

の崩壊地点を示す。写真に示すように道路盛土は谷側の片側2車線が延長約100mにわたって崩壊した。図5に盛土の断面図を示すが、図4と異なり盛土直下の原地盤の傾斜は緩くほぼ水平と言える。センターラインより山側は斜面になっており、水平になる辺りに窪地がある。写真の崩壊形態はこの地形を反映していると考えられる。2つ



写真22 関越自動車道の盛土崩壊<sup>2)</sup>(堀之内町)

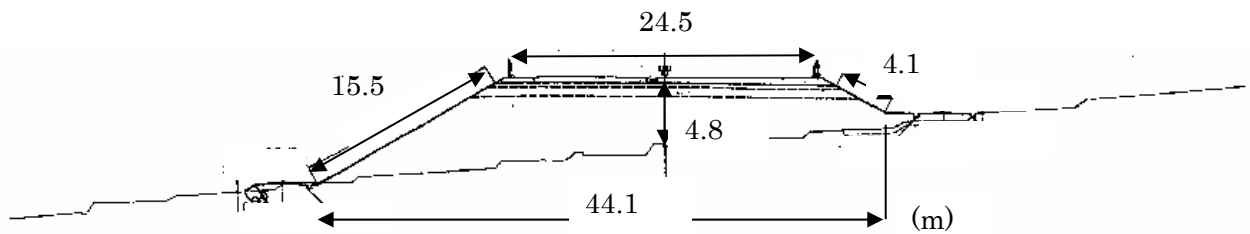


図4 関越自動車道盛土断面・竜光

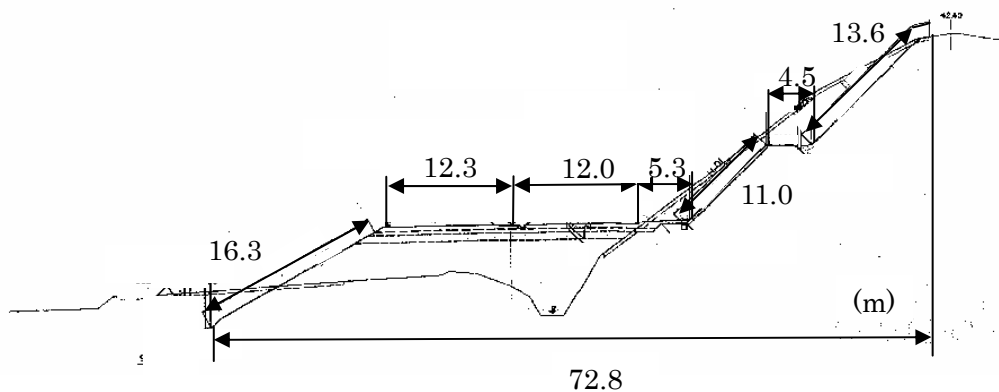


図5 関越自動車道盛土断面・竜光

の崩壊地は比較的距離が近いことから、地質条件および盛土材の地盤特性はほぼ類似と想定される。

## 5. 切土砂面の被害

新潟県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。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があり、切土斜面が大きく被災する事例も発生している。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。低切土斜面がブロック積よう壁などで対策されている場合に、比較的被害を受ける事例が多かった。

### 5.1 切土斜面（無対策）の崩壊形態

**写真 23** は種苧原地区における切土斜面の表層崩壊と、崩壊に伴う落石の散乱状況である。小規模の崩壊は道路の至る箇所で発生していた。写真は崩積土と思われる切土斜面が崩壊して、土砂が道路に押し出している。道路は斜面崩壊による土砂の作用を受けて損傷し、谷側に変位を起こしている。**写真 24** はやや規模の大きい切土斜面の崩壊である。斜面の尾根からのり面中央付近の小段にかけて大きく崩壊した。崩壊土砂は小段下部を巻き込むように崩壊した。斜面にあった雪崩防止柵は斜面の崩壊により、のり尻まで崩落している。雪崩防止柵は雪崩荷重に耐えるように基礎が構築されているが、斜面崩壊に巻き込まれて損傷する事例が多数発生した。**写真 25** は山古志村池谷地区で発生した地すべりによって、切土斜面が大

きく崩壊した事例である。写真の手前側が地すべりを起こして下方に滑動したために、地すべり側面にて道路に大きな段差が生じた。写真奥の切土斜面は健全であることから、切土斜面に本来安定性上の問題はなく、自然斜面全体の地すべりによって道路および切土斜面が被災した。

### 5.2 対策工のある切土斜面の崩壊事例

切土斜面に対策工が施行されている場合に被害が限定的であったが、いくつか被災している事例がある。ここでは典型的な被災事例について報告する。**写真 26** は切土斜面にモルタルの吹付け工が施行された事例である。地震により斜面上部の数箇所にて、土砂がモルタル吹付けとともに崩



**写真 23** 切土斜面における落石・表土の崩壊



**写真 24** 切土斜面の崩壊による雪崩防止柵の破壊



写真 25 地すべりによる切土斜面の被害



写真 27 井桁対策工の損傷事例



写真 26 表層崩壊による吹付けモルタルの剥落

落している。崩落部位は尾根に近いことから、地震時の振動変位が最も大きい箇所に該当する。その他の箇所は比較的健全であり、目立つ被害は観察されない。モルタル吹付け工は斜面と一定化して振動するために、土砂の流出や落石防止に関して有効であった。写真 27 は小千谷市小栗山における切土斜面对策工の損傷事例である。井桁による対策工が行われているが、高さの異なる井桁間の接合部が外れて落下した。軽微であるが、背後の裏込め土が流出している。

写真 28 は小千谷市妙見の大規模岩盤崩壊現場から近い、信濃川沿いの斜面における切土のり砕工の破壊事例である。写真右側ののり砕工は健全



写真 28 岩盤層すべりによる切土斜面の崩壊(横渡)

であるのに対して、左側で岩盤の層すべりが発生して切土斜面が被災した。斜面にはのり砕工が施工されていたが、滑動する斜面の土塊重量を支えられなかった。現地は白岩層から成る岩盤斜面であり、写真手前方向に流れ盤斜面を形成している。写真 29 は岩盤層すべり面の状況である。尾根に至る大きな岩盤ブロックが基盤に沿って滑り落ちた。岩盤ブロックの崩壊により、切土斜面ののり砕は引き千切られるようにせん断されて、土砂が国道 291 号線に大量に押し出した。当該地点には同一の基盤に沿う岩盤層すべりが複数の箇所で発生している。地すべり側面の露頭部から、す

べり面に薄い火山灰層の存在が確認されており、岩盤層すべりの素因と推定されている。写真 29 に示すように、地すべり側面には切り立った岩盤ブロックが残されており、未だに不安定な状況にある。



写真 29 岩盤層すべりのすべり面状況

写真 30 は川口町牛ヶ島における国道 17 号線の切土斜面の変状である。地質は砂岩と泥岩の互層地盤である。変状箇所は集水地形に当たり、斜面上部に滑落崖が観察される。現場は地震前から対策工の施工中であり、のり砕工を完了してアンカー工を施工する段階であった。地震により切土斜面がのり肩より地すべりを起こしており、地すべり端部にてのり砕工が一部損壊した。地すべりの側面にはブロック積よう壁があり、斜面の滑動によってよう壁が崩壊している。道路には地すべりによるき裂が観察されるが、斜面の変位は比較的小さい。

写真 31 は旧山古志村における切土斜面の崩壊事例である。対策工にはブロック積よう壁が施行されている。よう壁は斜面中央やや下にて水平方向にき裂を生じており、中折れするように破壊した。上部のブロック積よう壁は下部が前面に孕み出すように変形している。写真の右側にあるブロック積よう壁は転倒し、土砂が流出している。写真 32 はもたれ式よう壁の変形事例である。よう壁の下部にて土砂が押し出すことにより、転倒するように崩壊した。よう壁下部の水平抵抗力やよ



写真 30 国道 17 号線牛ヶ島の切土崩壊事例



写真 31 ブロック積よう壁の崩壊事例 (旧山古志村)

う壁の剛性によって、写真 31 と 32 ではすべり面の位置が異なるが、両者ともよう壁の下部が押し出して転倒する破壊形態であった。写真 33 は長岡市濁沢におけるブロック積よう壁の損傷事例を示すが、よう壁背面の土砂の孕み出しによって、ブロックが土塊の動きに合わせて開口している。斜面高さの低い場合に、よう壁は剛性の小さい柔構造のために土砂の変位に合わせて変状しており、写真 31、32 の事例とは異なる破壊形態であった。

斜面对策工はのり面の耐震安定性を目的としているものではないが、結果として耐震安定性の向上に寄与することが多かった。写真 34 はモル



写真 32 もたれ式よう壁の崩壊事例



写真 34 モルタル吹付け工の崩落防止効果



写真 33 ブロック積よう壁の孕み出し（長岡市濁沢）



写真 35 アンカー工による斜面对策

タル吹付け工が施行された切土斜面の損傷状況である。モルタル吹付け部は被害が見られないのに対して、隣接する未施行部分にて斜面が表層崩壊を起こした。斜面の崩壊規模に依存するが、モルタルの吹付け工やのり枠工は斜面の崩壊規模の抑制に効果を発揮していた。**写真 35** は旧山古志村の国道 291 号線における切土斜面である。切土斜面はほとんど変位を起こしておらず、アンカー工が耐震安定効果に有効であった。当該地点は道路がやや傾斜していることから、道路の歩道は舗装が下方に滑動するように変形していることが観察できる。

### 5.3 その他の崩壊事例

**写真 36** は川口町大道平における JR 上越線の切土斜面の崩壊事例である。しかし、写真に示すように基盤の傾斜方向は切土側から見て受け盤であり、斜面は地震により流れ盤方向に大きく崩壊した。そのために、切土斜面による実質的な被害は上部のモルタル吹付け工の破損以外にはなかった。地質は砂岩・泥岩の互層地盤であり、上位に河岸段丘層がある。岩盤は楔形の岩盤ブロックを形成し、基盤の走行傾斜に沿って崩壊した。



写真 36 切土と反対方向への岩盤層すべり(川口町大道平)

## 6. 宅地造成地盛土の被害

中越地震では宅地地盤の被害が数多く発生した。被害の特徴として、家屋などの建築物が地震に対して比較的健全であるにもかかわらず、宅地地盤の変状に起因して建築物が損傷する事例が数多く発生した。宅地造成地は中山間地に大規模な切盛りの土工を行うために、傾斜地盤上の盛土や谷埋め盛土が数多く含まれる。傾斜地盤上の盛土に建造されている建築物は地盤の変形に伴って建築物被害が生じた。

被害の大きかったのが長岡市の高町(高町団地)であるが、長岡市の乙吉町(鶴ヶ丘団地)や青葉台(ニュータウン)にも地盤災害が発生した。長岡市高町では地震によって造成地の周縁部が被災した。一部盛土が大規模に崩壊したが、周縁部は道路として利用されていたことから宅地が直接斜面崩壊に巻き込まれる被害はなかった。しかし、広範囲に造成地地盤にき裂が発生したり、沈下・側方変位を起こしたことから宅地が大きな被害を受けた。高町は長岡市の南東方向に位置しており、東山丘陵(魚沼丘陵)の西縁にあたる。1970年代後半に住宅団地建設を目的に魚沼丘陵の縁辺台地の尾根部を削り、切土・盛土によって宅地を造成した。地層は西山層の泥岩を基盤として下位から魚沼層の砂・粘土・砂礫層・安山岩火

砕岩が堆積しており、上位に砂・粘土・砂礫からなる未固結の御山層がある。団地は標高 70m を基準に切土・盛土が施工され、御山層が土工の中心となった。図 6 に高町団地の平面図を示す。団地は瓢箪型の高台を形成している。原地盤も同様の形状を成しており、標高の高い地盤の切土により谷筋および周縁部の盛土を実施した。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。団地はほぼ全周にて地盤のき裂や側方変位に伴う沈下が観察された。盛土のよう壁は地盤の変状に伴って、沈下や側方への押し出しを生じた。

図 6 には計画標高から推定される切盛り境界を示したが、線内にある切土区間は地盤の変状がほ

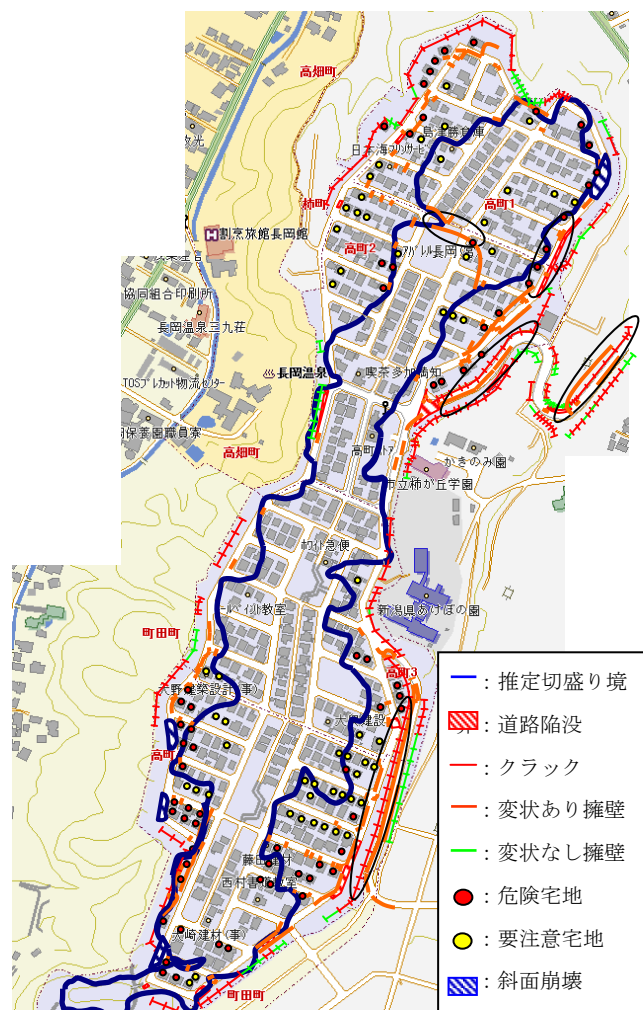


図 6 高町団地の平面図と被害状況

とんど見られず、被害は周辺の盛土区間に集中している。盛土区間には斜面方向への移動のために引張り裂が数多く観察される。**写真 37** は宅地の基礎に沿って地盤の鉛直・水平方向の変位に伴う開口き裂を示している。地盤の水平変位に伴うき裂が一部は宅地の合間を縫うように、一部は宅地を横断するようにいたるところで発生していた。宅地周辺の不等変位は家屋に大きな被害を引き起こしていた。**写真 38** は団地の周回道路の様子である。道路には縦断方向にき裂が走り、谷側への変位が大きいところではき裂が大きく開口している様子が分かる。**写真 39** は盛土が大きく崩壊した地点における滑落崖近傍の宅地の変状である。地盤の水平変位により宅地の敷地囲いが約 1.7m ほど開口した。



**写真 37** 地盤の変位による造成地内のき裂



**写真 38** 周回道路の縦断き裂



**写真 39** 崩壊地の滑落崖上部における水平き裂

造成地の周辺には盛土の重力式よう壁が構築されている。**写真 40** は盛土の変形に伴ってよう壁がはらみ出している様子である。よう壁のはらみ出しは団地のほぼ全周で確認される。高盛土の位置ほどはらみ出し量は大きいように見られた。

盛土の大規模崩壊が高町団地の 4 地点にて発生したが、それらは谷筋や沢地の盛土地点や団地の角部に位置している。**写真 41** は高町団地の南西にて生じた盛土の大規模崩壊の事例である。宅地の基礎地盤まで上部の滑落崖が達している。崩壊地点の地形は図 6 に示すように沢部の盛土に一致している。現場は台地にもかかわらず地下水が高く、被災時には台風による降水の影響もあって盛土は多量の水分を含んでいたと考えられる。**写真 42** に団地南西部中央よりにて発生した盛土の崩



**写真 40** 団地周辺の重力式よう壁の変位



写真 41 高町団地における大規模盛土崩壊



写真 43 盛土崩壊に伴う重力式よう壁の変位<sup>6)</sup>



写真 42 盛土の崩壊による周回道路の消失



写真 44 被災した重力式よう壁の状況

壊事例を示す。緩やかな谷に当たり集水地形を形成している。写真では周回道路が約 50m ほど消失している。写真 43 に崩壊地上部から下部の様子を撮影したものである。盛土は重力式よう壁で支持されていたが、盛土の崩壊に伴ってよう壁は斜面下方まで転倒せずに押し流された。写真 44 は被災よう壁の様子である。多量の水分を含んだ土砂が地震時に崩壊してよう壁と一緒に流化したことが分かる。写真 43 には崩壊地に大きな水溜まりが出来ている。配水管の破壊によって生じた可能性もあるが、地震発生後長期間にわたって水溜りは消失しなかった。写真 45 は南西部における盛土の大規模崩壊地点（写真 41）での仮復旧の状況である。上部滑落崖が進展的に崩壊するこ



写真 45 仮復旧による土嚢の設置





写真 46 本復旧による盛土の施工状況

とを防止する目的で土嚢が積み上げられている。**写真 46** は本格復旧作業中の様子である。盛土下部から整地して盛り建てしている。盛土小段の上にて盛土表面が少し乱れているのは、地下水の流出によって盛土表面が軟弱化したことによる。崩壊現場が集水地形のためにもともと地下水の影響が大きいことが分かる。高町団地の本復旧では団地全周にある重力式よう壁のアンカーによる補強のほか、耐震性の向上のために盛土では一部ジオテキスタイルの敷設などの耐震対策が行われる予定である。

**図 6** に家屋などの建物被害に関する状況を示したが、要注意宅地及び危険宅地は盛土区間に集中していることが分かる。建物被害は地震荷重によって建物が損傷した事例は少なく、多くの被害が宅地を支える地盤の変状によるものである。切土区間においても一部宅地被害が生じているが、元々微地形では谷を形成していて盛土が行われた地点のあることや、盛土との境界近くでは盛土の変状に巻き込まれる形で切土区間に被害が生じたことによる。**図 7** に宅地被害について危険宅地と要注意宅地の戸数を切盛り境界からの距離で整理したものを示す。図中に切土と盛土の関係を示しているが、危険宅地と要注意宅地のともに盛り土部での崩壊が多く、特に切盛り境界あたりに被害の大きいことが分かる。一般に盛土ではの

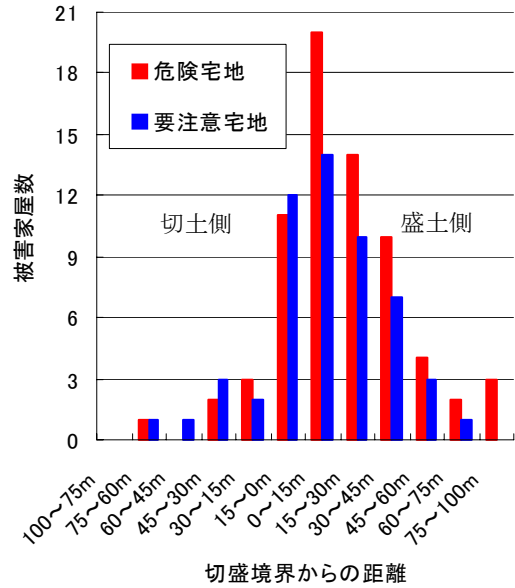


図 7 高町団地の宅地被害と切盛り境界からの距離との関係

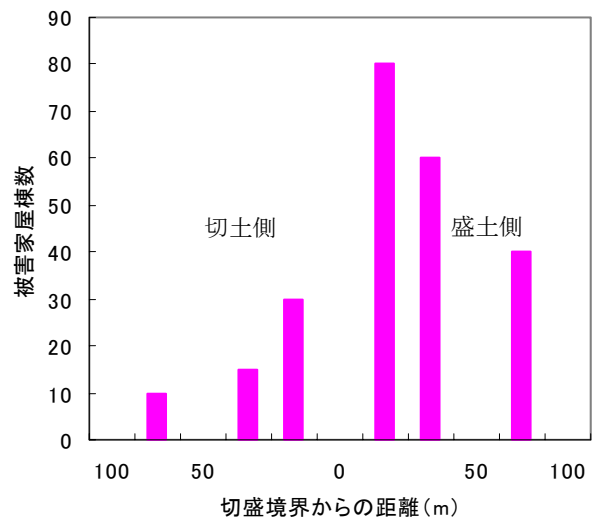


図 8 1878年宮城県沖地震における緑ヶ丘団地の宅地被害と切盛り境界からの距離との関係

り肩の変位が大きくなることから切盛り境界からの距離の大きい箇所でも相当数宅地被害があると思われたが、統計上は境界付近で被害の大きい結果となった。**図 8** に 1878 年の宮城県沖地震における緑ヶ丘団地の宅地被害の事例を示すが同様の結果が得られている。

## 7. おわりに

中越地震の特徴は地盤災害の多さにあると言われる。旧山古志村を中心とした中山間地の大崩壊に目を奪われるが、その一方で道路盛土などの人工斜面の被害も際立っている。内陸直下型地震は福岡県西方沖地震の例を挙げるまでもなく、日本中どこでも起きる可能性があることから、とりわけ人工斜面の耐震安定性は地盤防災の観点から地盤工学における喫緊の課題となっている。

阪神大震災以降、土構造物の耐震安定対策も補強土工法を中心にずい分と発達するとともに、実務にも積極的に活用されている。土構造物の選択強化の視点から地震時にも守る必要のある構造物については積極的に耐震安定化を図っていく必要がある。今回の地震のように常に降水の影響があるとは限らないが、盛土の締固め管理や排水処理など基本事項を抑えて施工することが、盛土の耐震性を高める上で改めて重要であると思われる。

災害復旧事業は3年度内の事業である。地震が発生したのが10月末であり、冬季は雪のために作業できないことを考えると時間は限られている。新潟県中越地震の復旧作業は各種の災害復旧事業の中でも最も困難な日程の基に復旧作業が進められたと言えるのではなかろうか。既に今年度は復旧作業の最終年度に当たる。数多くの復旧作業は終了し、旧山古志村のような広域的災害を受けた場所以外は順調に復興しつつある。未だ本丸とも言うべき旧山古志村の復旧・復興事業が残っているが、これまでの事業の評価を行うと有意義である。数多くの知見が見出されている現在に、将来に活かす知見がまとめられればその防災上の意義は極めて大きい。

新潟県中越地震の復興は道半ばである。被災者の皆様の生活が1日も早く復旧・復興することを末筆ながら心よりお祈り申し上げます。

## 謝 辞

本報告にあたり、国土交通省、新潟県、長岡市および東日本高速道路(株)、応用地質(株)にデータの提供などのご協力を頂いた。また、各機関における精力的な調査とHPを中心とした報告について一部引用した。末筆ながら、謝意を表します。

## 参考・引用文献

- (1)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. 2005. 平成16年新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要.
- (2)日本道路公団. 2004. 平成16年新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況及び復旧概要.
- (3)豊田浩史. 2005. 長岡技術科学大学中越地震調査報告会・地域再生への提言.
- (4)規矩大義. 2005. 液状化. 新潟県中越地震災害調査報告会資料集, pp.36-42.
- (5)新潟県長岡振興局. 2004. 中越地震被害調査.
- (6)國生剛治. 2005. 2004年新潟県中越地震被害調査報告. [http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/doshitu/index\\_ja.html](http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/doshitu/index_ja.html)
- (7)大塚悟. 2005. 地盤災害—盛土崩壊—. 平成16年新潟中越地震被害調査報告会梗概集. 日本地震工学会ほか. pp.47-52.
- (8)大塚悟. 2005. 盛土の被害. 新潟県中越地震災害調査報告会講演資料集. 地盤工学会関東支部. pp.29-35.
- (9)大塚悟. 2005. 地震時道路盛土の被害と課題. 日本地すべり学会関西支部シンポジウム. pp.61-75.
- (10)大塚悟. 2005. 切土斜面の地震被害. 基礎工. Vol.33. No.10. pp.70-73.
- (11)國生剛治・大塚悟. 2005. 「新潟県中越地震の地盤災害に関わる提言」の取りまとめ報告. 土と基礎. Vol.53. No.11. pp.3-11.
- (12)大塚悟. 2005. 盛土構造物の被害. 地球号外 No.53. pp.132-138.