

中越地震による斜面災害と融雪の影響について

丸井英明*・渡部直喜*・川邊 洋**・権田 豊**

*新潟大学積雪地域災害研究センター・**新潟大学農学部

1. はじめに

新潟県中越地震では、中山間地域、特に全国有数の地すべり多発地域の直近で強い地震が発生したことにより、従来型の平地における地盤災害に加えて、中山間地における斜面災害が甚大であったことが特徴的である。とりわけ旧山古志村芋川流域では多数の地すべりダムが形成されたため、二次災害の防止のための緊急対応が急務となった。

2004年10月23日夕刻新潟県中越地方でマグニチュード6.8の内陸直下型地震が発生し、川口町で観測史上最大震度7を記録した。マグニチュード6.0さらに6.5の余震が相次ぎ、観測史上最大加速度2,515ガルを記録した。死者40名、負傷者約4,500名の人的被害、全壊約2,800棟、半壊及び一部損壊約10万棟の住宅被害、さらに鉄道、道路等重要交通施設にも甚大な被害が生じた。ピーク時には約600箇所の施設で約10万人が避難生活を余儀なくされた。山古志村（地震発生当時、現在は長岡市に編入）の住民約2,000人は現時点でも避難中である。地震による物的被害総額は約3兆円と推定されている。

地震による被害多発地域は豪雪地域でもある。今冬は19年振りの豪雪となり、被災地域は2～3mの積雪下に置かれた。そのため、多量の融雪水の供給による、二次的な土砂災害の発生・拡大が危惧された。

地震により、地すべりや等の斜面災害が多発した場合の対策の流れは次のように考えられる。第一段階として、地震発生後直ちに地震情報を収集すると共に緊急調査を行い、特に大規模な斜面移動現象を把握する。直ちに大規模二次災害の危険度を判定し、緊急対策を実施する。第二段階として、応急調査を行い、全般的な斜面移動現象を把握し、二次災害の危険度を判定し、応急対策を実施する。第三段階として、恒久対策の計画のための詳細調査を行い、恒久対策を計画、実施する。

本報告では、まず土砂災害の発生が特に顕著であった山古志村の事例を中心として、新潟県中越地震により発生した地すべり・斜面崩壊の概要に

触れる。次に、芋川流域で形成された地すべりダムに対する緊急対応のプロセスについて説明する。さらに、融雪による影響について実態を報告する。

2. 中越地震の概要

中越地震の強震波形は防災科学研究所のK-NET, KiK-netによって多くの観測点で記録されており、加速度、速度、計測震度ともに大きく、中越地震による揺れが破壊力の大きな地震動であったことが知られている。十日町で最大加速度1750gal, 最大速度65.6cm/s（3成分合成）、小千谷で1500gal, 136cm/s（3成分合成）が記録されている。これらの値は、兵庫県南部地震で記録された最大加速度818gal, 最大速度92cm/sと比較しても極めて大きな値を示している。なお、地震計が設置してある地盤と山地災害の集中している東山丘陵の表層地盤とは地質条件が異なっているため、東山丘陵での表層に伝播した地震動の大きさや周期特性は上記の値とは異なったものとなることに留意する必要がある。

図-1は防災科学技術研究所により設置された強震動観測点の分布と記録された余震分布を示したものである。図中の北北東-南南西方向に延びた長方形は断層モデルの地表投影を表している。また、長方形内の星印は破壊開始点を示しており、多数の赤丸は余震の分布状況を示している。中越地震により地すべり・斜面崩壊が多発した領域は概ね余震の分布域と重なる。

図-2は断層近傍の強震動波形記録を用いて防災科学技術研究所が解析した断層の破壊モデルを示したものである。図中には、(a)破壊開始点付近、(b)破壊開始点東側の浅い部分、(c)破壊開始点南西側の3つのアスペリティが推定されている。また、破壊はアスペリティ(a)から始まり、(c)、(b)の順に進展したと考えられている。

3. 土砂災害発生状況

国土交通省の調査によると中越地震による斜面崩壊等の発生箇所は約3,800箇所、推定崩壊土砂

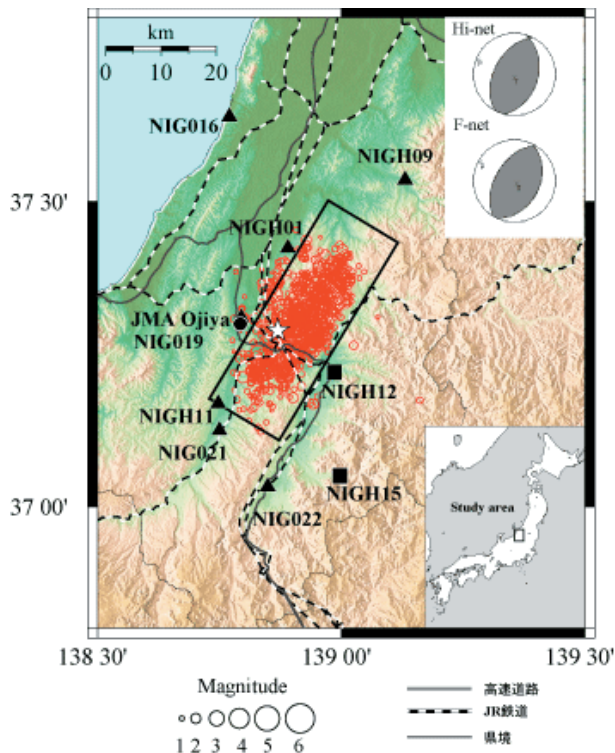


図-1 強震動観測点分布及び余震分布（防災科学技術研究所）

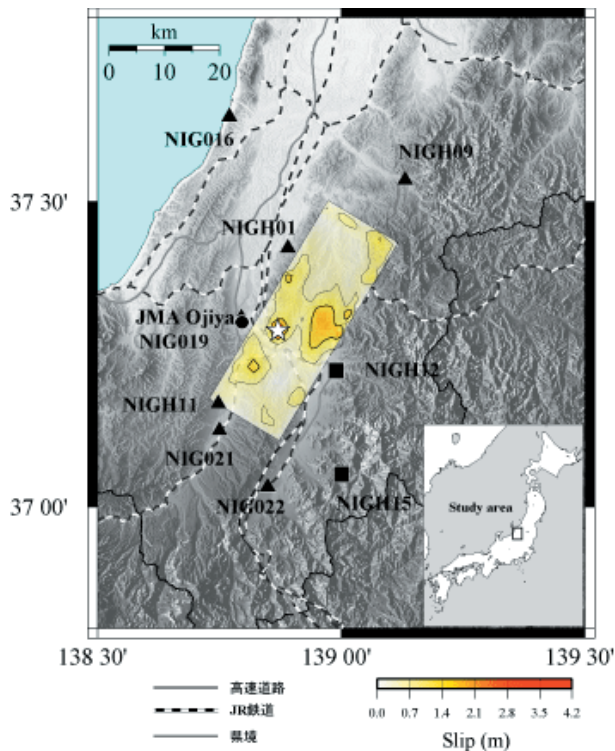


図-2 断層破壊モデル（防災科学技術研究所）

量は総計約1億立方メートルと報告されている。従来、地震時には急傾斜の尾根部や凸型斜面で斜面崩壊が多発し、比較的緩い斜面における再滑動型地すべりはあまり発生しないとされてきた。し

かしながら、今回の地震では山古志村を中心として未曾有の地すべりが発生した。

地すべりや斜面崩壊の規模は大小様々で形態も多様であるが、主要な現象は大別して以下のように要約される。①標高の高い、尾根付近の急斜面における崩壊。②河川沿いの溪岸崩壊。③中間の比較的緩い斜面における地すべり。④地すべりダムによる河道閉塞。地すべり多発地域直近で発生した直下型地震の強い振動のために、極めて多数の地すべりや斜面崩壊が発生したと考えられる。山古志村内の道路は、崩落、陥没、段差、亀裂、水没等により至るところで寸断された。融雪期には地すべりや斜面崩壊の増加が予想され、道路や住宅の復旧は容易ではない。

山古志村をはじめとする斜面崩壊・地すべりの多発地域は、北北東-南南西方向に連なる、標高400～700mの東山丘陵に位置する。同丘陵は主として新第三紀鮮新世～第四紀更新世の地層からなり、岩質は砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層を主体とする。この地域は活褶曲が卓越する地域であり、地質構造は北北東-南南西方向に並行する幾つかの背斜軸と向斜軸に規定され、地層は大局的には同方向の走向を示している。褶曲軸は西から東に向かって約1kmの間隔で、東山背斜、金比羅向斜、峠背斜、梶金向斜、小松倉背斜の順で配列している。図-3は国土地理院の作成した中越地震による斜面崩壊等の分布図を地質調査所による5万分の1地質図に重ね合わせたものである。斜面崩壊・地すべりが芋川流域、特に梶金向斜の両翼で多発している状況が見られる。

斜面崩壊・地すべりが多発しているのは、例えば池谷集落周辺地域等の砂岩あるいは砂質シルト岩地域である。防災科学技術研究所が作成した地すべり地形分布図で同じ池谷集落周辺地域を見ると、ほぼ全域に亘って旧地すべり地形が見られる。一方、虫亀集落周辺地域等の泥岩地域では斜面崩壊・地すべりの発生が明らかに少ない。ところが防災科学技術研究所の地すべり地形分布図を見るとやはりこの地区においてもほぼ全域に亘って旧地すべり地形が見られる。

元々、地すべり指定地の多い泥質岩分布域である虫亀地域等よりも、砂質岩分布域である芋川流域の方が斜面崩壊・地すべりの発生が顕著であった。今回の中越地震によって砂質地盤の領域で斜面崩壊・地すべりが多発したことは地震による斜面崩壊・地すべりの発生機構を考える上で重要な要素であると考えられる。



図-3 褶曲軸と地すべり・斜面崩壊分布状況 資料出典:5万分の1地質図幅「長岡」,地質調査所;5万分の1地質図幅「小千谷」,地質調査所;中越地震災害状況図,国土地理院

4. 河道閉塞の概要

芋川流域は山古志村のかかなりの面積を占めており,流域面積約38km²,最高標高680m,最低標高75mで,魚野川に合流する。流路長は約16km,平均河床勾配は約1/70である。斜面崩壊や地すべりの崩落土砂による河道閉塞は芋川流域全体では本流,支流をあわせて50箇所以上で形成されており,その内本流に関しては主要なものは5箇所である。上流から,寺野,南平,檜木,東竹沢,十二平の各地区に形成されている。その内,規模の点から特に重要なものは,東竹沢地区と寺野地区のものである。図-4に芋川流域における斜面崩壊・地すべり及び主要な河道閉塞箇所を示す。河道閉塞の規模や形態は様々である。全般的には,小規模な崩壊による閉塞箇所では比較的速やかに自然決壊が生じているが,大規模な地すべりによる閉塞箇所は容易には決壊していない。

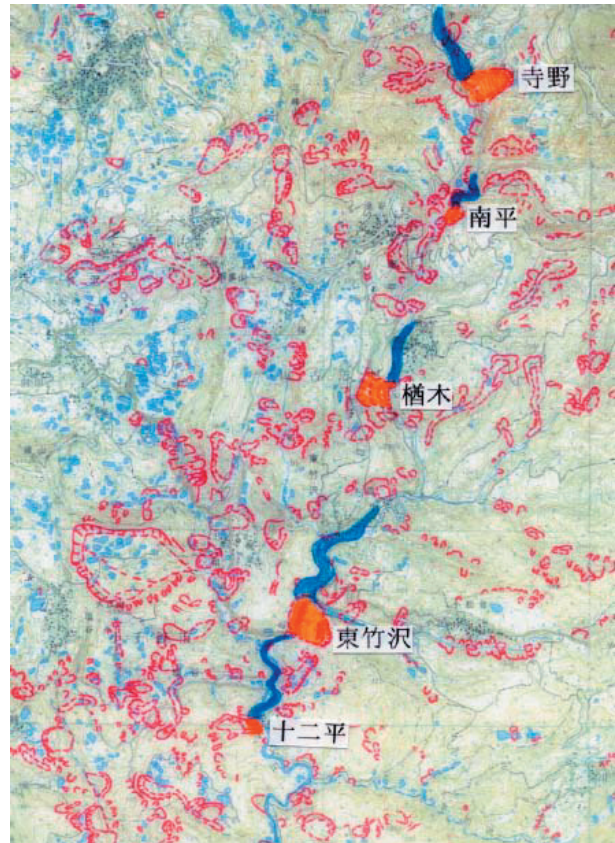


図-4 芋川流域で発生した地すべり・斜面崩壊並びに河道閉塞の分布状況(朝日航洋撮影画像に基づき八木山形大教授が判読)

4.1. 東竹沢地区河道閉塞

東竹沢地区で芋川を閉塞した地すべりの規模は,延長約350m,幅約300mである。移動した土塊の量は約130万m³と推定されている。写真-1に東竹沢地区の河道閉塞状況を示す。地質は砂質泥岩および砂質泥岩と細粒砂岩の互層から構成されている。地層の走向,傾斜はN6°E,17~22°Wである。地すべりは傾斜方向に移動する「流れ盤地すべり」の形態を示しており,頭部で約70mの移動量が見られる(写真-2)。

東竹沢地区で今回滑動した地すべりの背後には明瞭な地すべり地形が認められ,旧い地すべり移動体の一部が今回分離して再滑動したものと考えられる。今回の移動土塊の形状を見ると,頭部では比高25m,傾斜約25°の滑落崖が形成され,その延長は約100mに亘っている。中央部では,地すべり崩土の厚い堆積が見られる。一方,末端部では上流側には地すべり崩土の押し出しによる圧縮亀裂が生じており,下流側は沢に規定されている。芋川の旧河道は国道291号線にほぼ並行して



写真-1 東竹沢地すべりによる河道閉塞



写真-3 東竹沢地すべり平面写真



写真-2 東竹沢地すべり頭部の滑落崖



写真-4 東竹沢地すべり正面写真

いたが、地すべり土塊の末端部は旧河道を閉塞し、国道付近まで土砂が盛り上がり、地塊状に堆積している（写真-3、写真-4）。その背後に比高約12mの凹地が形成されている。地すべりの末端部はこの盛り上がり地塊の山側斜面付近までの範囲であると推定される。この領域では、すべり方向に直角方向の階段状の亀裂が多数発生している。

河道閉塞箇所の背後には大規模な貯水池が形成されたが、水深に対して地すべりダム堤体の規模がかなり大きいため、地すべりダムが水圧により一挙に決壊する危険性は小さいと判断された。また、地すべり移動土塊による閉塞区間の長さは約300mであり、貯水池の水圧の作用する堤体比高28mの10倍近い値を示していることから、パイピングの発生による破壊の可能性も小さいと判断された。

4.2. 東竹沢地区緊急対応

河道閉塞箇所に対しては、終局的には芋川の計画流量を流下させるための対策が必要であるが、地震直後の段階では地すべりダム決壊防止の観点

から、貯水池の水位上昇による越流を防止することが不可欠であった。全体として必要な対策は緊急対策、応急対策、恒久対策の3段階に位置づけられる。まず、緊急対策として、越流防止のために、河道閉塞箇所緊急排水路を開削し、上流側にポンプを設置して排水し、貯水池の水位の低下が諮られた。同時に、地すべり土塊中の標高の低い部分に大型土嚢による土堤が築堤された。

しかしながら、ポンプによる排水のみではポンプ機能の維持管理上の問題が発生した他、緊急排水路末端部で異常侵食が進行する事態が生じた（写真-5）。そこで、緊急排水路末端部が地すべり土塊の範囲外のより侵食されにくい領域に移設された。さらに、予備的措置として、地すべり土塊末端部背後の凹地部に埋設管路による代替水路が施工された（写真-6）。次に、応急対策として春先の融雪による出水にも対応できる十分な通水断面を有する仮排水路開削が実施された（写真-7）。

恒久対策としては芋川の計画流量を長期に亘って安全に流下させるための本格的水路の設置が必要となる。仮排水路の掘削に際しては、地すべり



写真-5 ポンプによる緊急排水中の異常侵食の状況
(写真左手が緊急排水路)



写真-8 東竹沢地すべり頭部排土工（ほぼ施工完了時の状況、正面は主滑落崖。）



写真-6 埋設管路による代替排水路（排水口付近の状況）



写真-9 主滑落崖で観察されたすべり面（約 20° の傾斜を有する平坦な青灰色の砂質シルト岩の上面をすべり面とする典型的な流れ盤の地すべり。）



写真-7 融雪水量を考慮した断面を有する仮排水路



写真-10 寺野地すべり（写真右手前が地すべり、中央部に見られる道路は地すべり移動により切断され約30mのずれが生じた。）

土塊末端部を相当量掘削するため、地すべり土塊の安定性を低下させないために頭部で排土工が施工された（写真-8）。

なお、今後の地すべり土塊の安定性を評価するために種々の土質試験が行われた。写真-9に見られるように主滑落崖で明瞭なすべり面が観察された。青灰色の砂質シルト岩の上面をすべり面として褐色の砂質土塊部分が今回の地震によって大規模に滑落移動したと考えられる。すべり面上下の土試料に関してリング剪断試験を行った。残留

強度は $18 \sim 22^{\circ}$ の範囲の値であった。砂質土である特性を反映してかなり高い残留強度を示している。今回の地震により発生した地すべりの機構については今後さらに詳細な検討が必要と考えられる。



写真-11 寺野地すべり（左岸側が地すべり、右岸側は斜面崩壊）



写真-12 スノ・シェッド沿いの自然排水（貯水池上流側水位がかなり上昇した状況）

4.3 寺野地区河道閉塞

寺野地区の河道閉塞は、左岸側で発生した延長約 360m、幅約 170m の地すべりによって生じている（写真-10、写真-11）。移動した土塊の量は約 100 万 m³ と推定されている。また、右岸側には急傾斜の溪岸崩壊が 3 箇所が発生しており、その最大のものは、長さ約 100m、幅約 110m、比高約 50m の規模である。左岸側の地すべりは旧地すべり地で発生しており、今回の滑動範囲は旧地すべり地形の輪郭とほぼ重なる。地すべりの発生した斜面は向斜軸の軸部付近に位置するため、基岩の走向、傾斜は N70°～80°W、10°～15°S となっている。したがって、地層の傾斜方向は地すべり斜面の傾斜方向と斜行している。地質は砂岩主体の砂岩・シルト岩互層から構成されている。

本地区の河道閉塞箇所に関しても、水深に対し

て地すべりダム堤体の規模がかなり大きいため、地すべりダムが水圧により一挙に決壊する危険性は小さいと判断された。また、この場合も地すべり移動土塊による閉塞区間の長さは、貯水池の水圧の作用する堤体比高の 10 倍近い値を示していることから、パイピングの発生による破壊の可能性も小さいと判断された。しかしながら、埋塞したスノ・シェッドをつたって貯水池から若干の水量が自然流下により排水しており、侵食量の増加による破壊の進行の可能性については監視が必要と考えられた（写真-12）。

4.4 寺野地区緊急対応

寺野地区の河道閉塞に関しても、貯水池の水位が越流寸前の水位まで上昇したため、緊急排水が必要であった。まず、緊急対策としてポンプによる緊急排水が実施された。前述のスノ・シェッドに沿った自然流下による排水量も水位低下に寄与した。つぎに、応急対策として融雪水量を考慮した仮排水路が計画された。本地区においては、地すべり土塊の形状と材料特性から、地すべり土塊の末端部を掘削することは危険と判断されたことから、掘削量を最小限に留めた表面排水路が施工された。

5. 監視・計測体制

緊急対策と並行して、可能性は小さいと判断されたが、地すべりダムが万一決壊した場合に備えて、監視・計測体制が整備された（図-5）。一つは、下流の竜光集落の住民の安全確保のためのものである。そのため、東竹沢地区直下流に土石流検知センサ-並びに監視カメラを設置すると共に、上流側には水位計を設置し、警戒避難体制が整備された。今一つは、工事中の安全確保のためのものである。そのため、寺野地区においても土石流検知センサ-が設置された。また、地すべり土塊の再移動の可能性に対処するために、寺野・東竹沢両地区において、地すべりの監視・計測を目的として伸縮計並びに傾斜計が設置された。

6. 緊急対応における課題

地震直後の段階で緊急対応が必要とされたのは地すべりダムによる河道閉塞対策であった。河道閉塞が生じた場合、上流側においては湛水による水没被害、下流側においては決壊に伴う土石流・

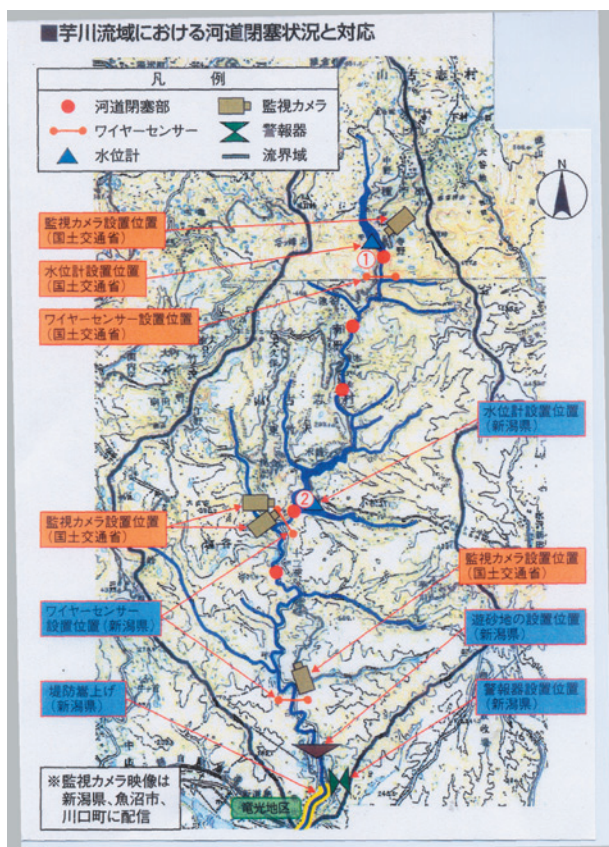


図 - 5 芋川流域における監視・計測体制. 寺野地区並びに東竹沢地区においては、監視カメラ、貯水池水位計、土石流検知センサーが設置された。(北陸地方整備局資料による。)

洪水による氾濫・堆積被害の可能性が生じる。芋川流域では東竹沢地区の河道閉塞により上流の木籠集落で湛水による住居の水没が生じた。一方、河道閉塞箇所の決壊が生じた場合には土石流・洪水の発生・流下により、下流の竜光集落に甚大な被害を及ぼす危険性が想定された。下流側に保全対象が存在しない場合には、河道閉塞を放置し自然流下に伴う決壊を待つという対応も考えられるが、芋川流域の状況下では決壊を防止することが不可欠であった。

地すべりダムは多くの箇所で形成され、その規模・形態は様々であった。緊急対応として直ちに必要なのは、個々の地すべりダムについてその規模と形成過程を把握し、決壊の可能性を判断することである。河道閉塞が攪乱した崩落土塊によるもので速やかな自然流下による解消が予想されるものであるか、非攪乱のすべり土塊によるもので破壊的な決壊の可能性が予想されるかという相違点の判断が重要である。その際、調査データが少ない時点で如何に迅速な技術的判断を行うかが肝要である。現地踏査に基づき、地すべりダム背



写真 -13 東竹沢地すべり全景 (3月24日撮影)



写真 -14 東竹沢地すべり主滑落崖の融雪崩壊 (4月22日崩壊発生 / 5月2日撮影)

後の貯水池水位を極力下げ、越流を阻止するための排水対策が講じられた。

7. 融雪の影響

土砂災害発生状況の項で記したように、中越地震によって、震源地に近い中山間地域では極めて多数の斜面崩壊等が発生している。崩壊土砂は部分的に斜面中途に堆積し、大半は溪床に崩落し、溪流には大量の不安定土砂が流出している状況にある。また、崩壊斜面の上部あるいは背後では、随所で亀裂や段差が生じている。

昨年末から本格的な降雪が始まり、今冬は19年振りの豪雪となった。斜面の被害が甚大であった山古志村は3mの積雪下におかれた。特に、地震動による住宅の被害が大きかった地域では、既に損傷を受けた住宅が積雪荷重のため倒壊するケースが少なからず見られた。

斜面の安定性に関しては、急激な融雪による地すべりや斜面崩壊の拡大あるいは新規の発生が懸念された。東竹沢地区並びに寺野地区においては地すべり土塊の変状の監視・計測が行われた。写真 - 13 は融雪初期における東竹沢地すべりの全景である。地すべり土塊上部では排土工が施工されたが、上端部には背後からの崩落に備えるために約5mの土留工が施工された。この時期におい



写真-15 木竈地区融雪崩壊発生状況(5月12日撮影)

ては全く異常は見られない。その後4月22日に同地すべり地主滑落崖において約3万m³規模の融雪崩壊が発生した(写真-14)。しかしながら、崩落土砂の大半は前述の土留工の範囲内に留まっており、安全率上も地すべり本体の安定性には何ら問題が無い状況であった。

一方、寺野地区においても地すべり土塊本体には全く変状が見られない状況であった。地すべり地背後の上部平坦面等において、融雪を経て新たな亀裂や段差が見られたが、地すべり本体への影響はないものと判断された。

他に、木竈地区(写真-15)、楢木地区、梶金地区等では急斜面上で融雪による崩壊の拡大や侵食等が見られた。しかしながら、芋川流域全体としては保全対象に大きな影響を及ぼすような規模の融雪による斜面崩壊や土砂の流出は見られなかった。

8. おわりに

山古志村の復興に向けては、今後個々の地すべりや斜面崩壊に関する現況把握と危険度評価が必要となる。その上で、優先順位に即応した対策を実施することになる。道路の損壊は小規模な斜面崩壊によるものの他、大規模な地すべりや地すべり性崩壊によるものが多く、復旧に際しては地すべり対策の実施が不可欠である。山古志村を始め、今回の地震により甚大な斜面災害を被った地域は豪雪地域でもあることから、融雪による地すべり・斜面崩壊に対する警戒・監視も行われた。幸いにして、融雪の影響は予想より軽微であった。

通常、降雨等による地すべりの発生は局所的であるが、今回浅い内陸型地震により一時期に広範囲に亘って地すべりが多発したことは極めて特異であり、新たな課題が投げられたと言える。将来

起こりうる地震を見据え、地震による土砂災害に関しても警戒区域並びに特別警戒区域を的確に判定し、平素からハザードマップを準備し、事前対策に資することも必要であると考えられる。

中越地震の発生後、時を置かずして積雪期に入ったため、個々の地すべり地や崩壊斜面等に関する詳細な調査は殆ど行われていない状況にあった。融雪終了後の段階で詳細な現地踏査を実施し、個々の現象についてはさらなる検討に基づく適切な対応が必要と考えられる。

謝辞：本稿を取り纏める上で、防災科学技術研究所の強震動観測に基づく余震分布並びに断層モデルに関するデータ、さらに地すべり地形分布図を使用させていただいた。地すべり等の分布に関しては、国土地理院の災害状況図及び八木氏他による地すべり・崩壊の詳細判読図を使用させていただいた。また、国土交通省北陸地方整備局、同湯沢砂防工事事務所の災害報告資料を参照させていただいた。以上、記して謝意を表する次第である。

参考資料：

- 1) 本田亮・青井真・関口春子・森川信之・功刀卓・藤原広行：近地地震動記録による新潟県中越地震の震源インバージョン，<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net>
- 2) 国土交通省北陸地方整備局・新潟県土木部砂防課：記者発表資料
- 3) 国土交通省北陸地方整備局：「平成16年新潟中越地震」による被害と復旧状況(第2報)
- 4) 国土地理院：新潟県中越地震災害状況図
- 5) 小林巖雄・立石雅昭・吉岡敏和・島津光夫：長岡地域の地質，地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，地質調査所，1991
- 6) 柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤禎一：小千谷地域の地質，地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，地質調査所，1986
- 7) 防災科学技術研究所：山古志村周辺地すべり地形分布図
- 8) 八木浩司，朝日航洋株式会社，国土防災技術株式会社：新潟県中越地震により発生した地すべり・崩壊の詳細判読図