

新潟県中越地震により発生した斜面災害

丸井英明¹・吉松弘行²・渡部直喜¹

Landslide Disasters Induced by the Chuetsu Earthquake

by

Hideaki MARUI¹, Hiroyuki YOSHIMATSU² and Naoki WATANABE¹

Abstract

This article deals with various types of landslide disasters induced by the Chuetsu Earthquake. The 2004 Niigata Chuetsu Earthquake triggered about 3800 landslides in various types and dimensions. It was general understanding until now that because of strong ground shaking during earthquakes, a lot of slope failures occur on the steep slopes with concave shape but only few reactivated landslides occur on relatively gentle slopes. However, also many reactivated landslides occurred in the neighborhood of the epicenters including strong aftershocks especially in the Yamakoshi Village this time. Landslide disasters induced by the earthquake can be classified mainly into the following categories: ①Shallow slope failures on steep slopes near ridges, ②Shallow slope failures on steep slopes along river channels, ③Reactivated landslides on relatively gentle hillslopes, ④Landslide dams were formed by the displaced soils mass by the previous three categories. For the mitigation of subsequent disaster, it was a matter of great urgency to implement emergency countermeasures against overtopping and failure of the landslide dams.

Landslides occurred especially densely in the watershed of the Imo River along the Kajigane Syncline. Many landslides occurred along dip direction of geological formations. Originally, heavily landslide prone areas are widely distributed in the Tertiary mudstone areas in Niigata Prefecture. Reactivated landslides occur frequently in the eastern part of the Yamakoshi Village which consists of mudstone. This time most of landslides occurred in the western part of the Yamakoshi Village which consists of sandstone and sandy siltstone.

More than 50 natural dams were formed along the main channel of the Imo River and its tributaries by the earthquake-induced landslides. There are two critical landslide dams because of their dimensions among them, namely Higashitakezawa landslide dam and Terano landslide dam. Both of them have the length of about 350m and the volume of more than 1 million m³. The length of the buried river channel is about ten times of the maximum water depth of the reservoir in both cases. Therefore, the possibility of the destructive collapse of the dams by water pressure and piping were estimated to be low.

However, there remained apparent danger of overtopping and successive collapse of both dams. Therefore, the inhabitants of the downstream area had to evacuate. It was urgently necessary to lower the water table of the reservoir. The reservoir at Higashitakezawa formed by the largest landslide dam, which is located most downstream among five main dams, has a critical significance. In order to mitigate the danger of overtopping, the following emergency maneuvers were arranged. At first, the water table was tried to lower by pumps and siphons. At the beginning 6 pumps and after then additional 6 pumps were installed. Because of maintenance problems of the pumps, later an alternative diversion pipelines were installed as reserve measure for unexpected alarm cases. Finally, an open channel with a sufficient cross section area also for water discharge including snow melting during early spring was constructed. It was absolutely necessary to keep the stability of the displaced soil mass by the earthquake-induced landslide against the secondary landslide during construction works of the channel. Therefore, cutting operation of the upper part of the displaced soil mass was immediately carried out as an appropriate emergency countermeasure. Monitoring on displacement of soil mass was also arranged for the security during construction works.

Keywords : Chuetsu Earthquake, Landslide disaster, Landslide dam, Emergency response

キーワード : 中越地震, 地すべり災害, 地すべりダム, 緊急対応

はじめに

平成16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。物的被害総額は3兆円と推定されている。地震が中山間地域、特に全国有数の地すべり多発地域の直近で発生したことにより、従来型の平地での地盤災害に加えて、中山間地での斜面災害が甚大であったことが特徴的である。また、豪雪地域に位置することから、融雪期を控え二次的な土砂災害の発生・拡大が危惧される等、中越地域は復興に向けて固有の困難な課題を抱えている。本報告では、斜面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様々な斜面災害の特徴について報告する。



図一 褶曲軸と地すべり・斜面崩壊分布状況

斜面災害発生状況

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。



図二 梶金向斜周辺の砂質岩分布域の地すべり・斜面崩壊発生状況



図三 梶金向斜周辺の砂質岩分布域の旧地すべり地形

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-1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。図-2は同図中の池谷集落周辺地域を拡大したものである。砂岩あるいは砂質シルト岩地域で斜面崩壊・地すべりが多発している。図-3は防災科学技術研究所が作成した地すべり地形分布図から同地区を抽出したものである。ほぼ全域に亘って旧地すべり地形が見られる。図-4は虫亀集落周辺地域の拡大図である。泥岩地域であるこの地区では斜面崩壊・地すべりの発生が明ら

かに少ない。図-5は同地区の地すべり地形の分布状況である。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地すべり等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。

河道閉塞の概要

芋川流域は山古志村のかん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壊土砂による河道閉塞は芋川流域で本流、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、楢木、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-6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 虫亀地区周辺の泥質岩分布域の地すべり・斜面崩壊発生状況



図-5 虫亀地区周辺の泥質岩分布域の旧地すべり・地形

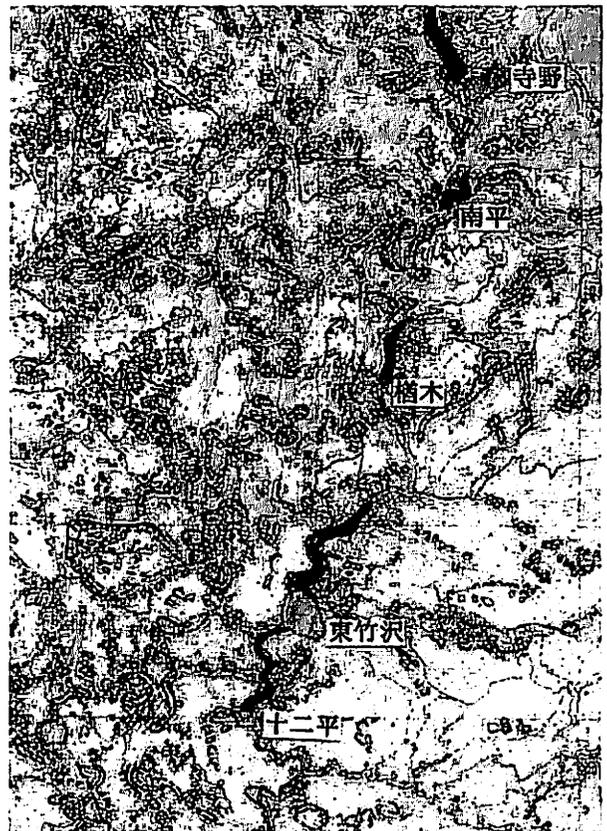


図-6 芋川流域で発生した地すべり・斜面崩壊並びに河道閉塞の分布状況

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 m^3 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)。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、古い地すべり移動体の一部が今回分離して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。中央部には、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号線にはほぼ並行していたが、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

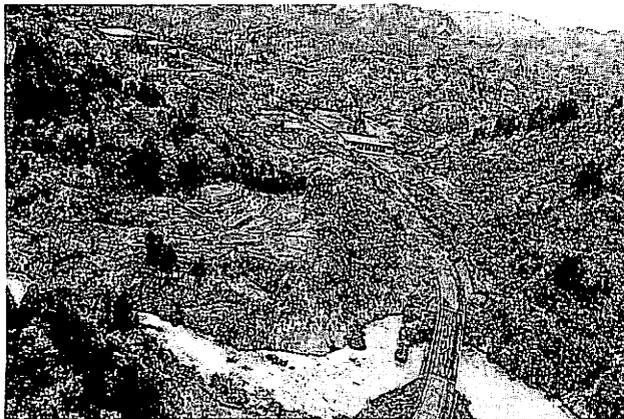


写真-1 東竹沢地すべりによる河道閉塞



写真-2 東竹沢地すべり頭部の滑落崖

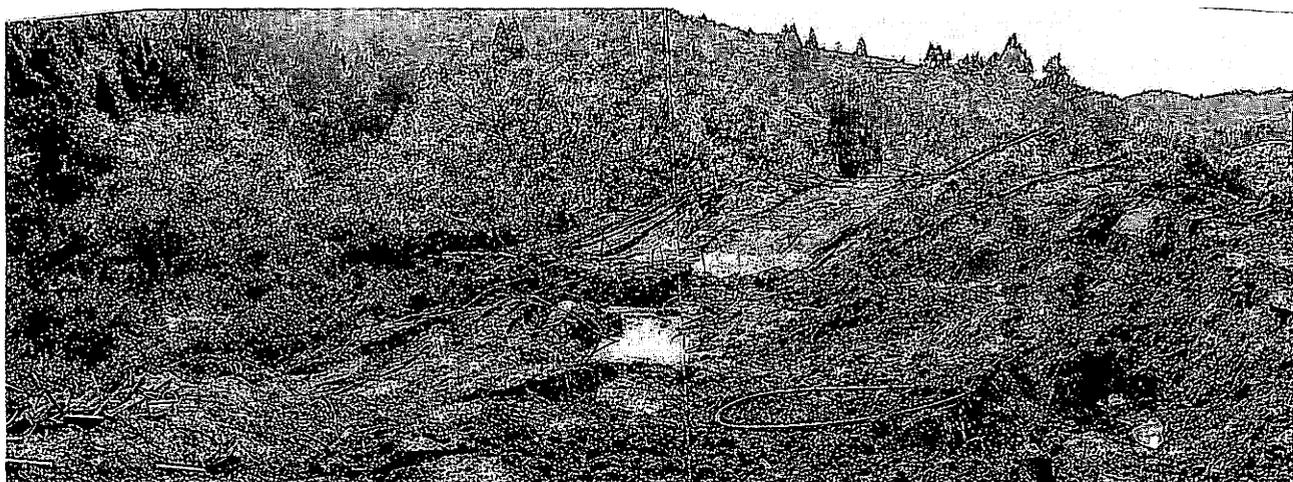


写真-3 東竹沢地すべり末端部の状況
(すべり面の切れ上がりに対応して水田面が急角度で傾斜している)

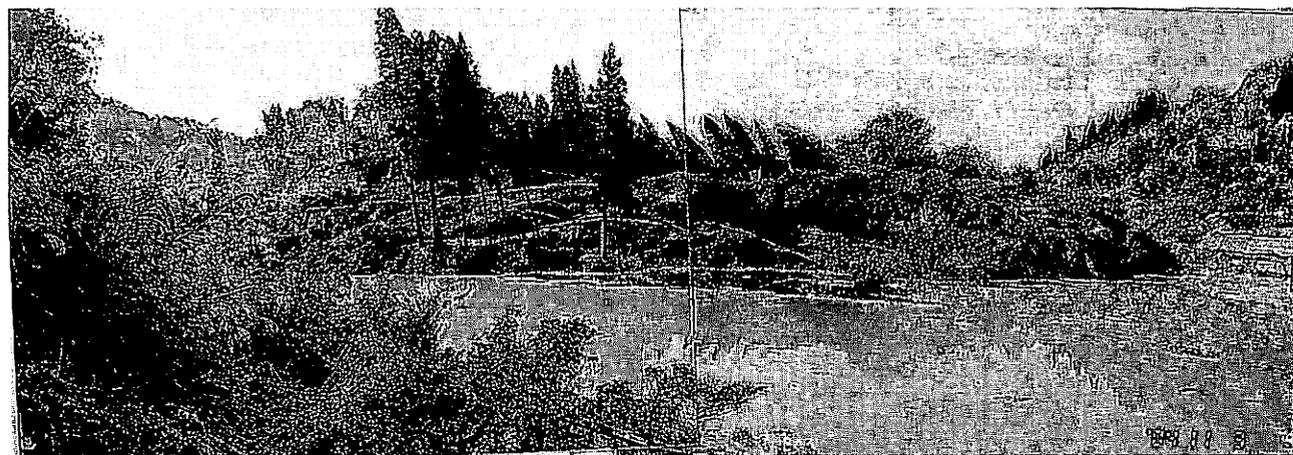


写真-4 前沢川より見た東竹沢地すべり末端部の状況
(地すべり土塊中央部では樹木が直立しているのに対し、末端部ではすべり面の切れ上がりに対応して樹木が連続的に山側に傾斜している)

がり、地塊状に堆積している(写真-3, 写真-4, 写真-5, 写真-6)。その後、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。

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(図-7)。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。そこで、緊急排水路

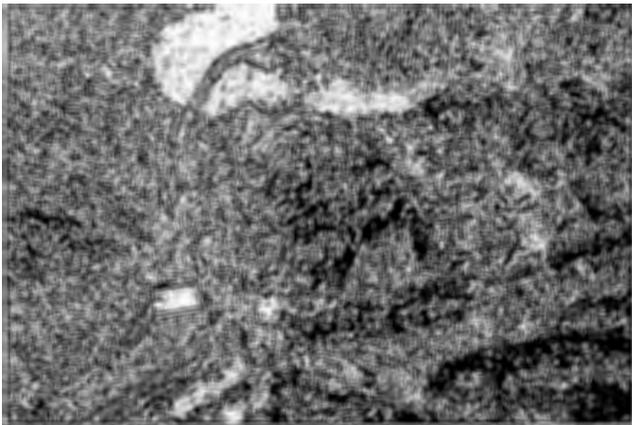


写真-5 東竹沢地すべり平面写真

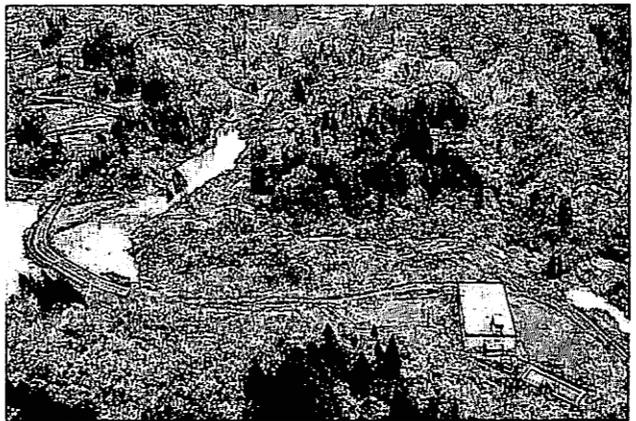


写真-6 東竹沢地すべり正面写真

東竹沢地区緊急排水計画

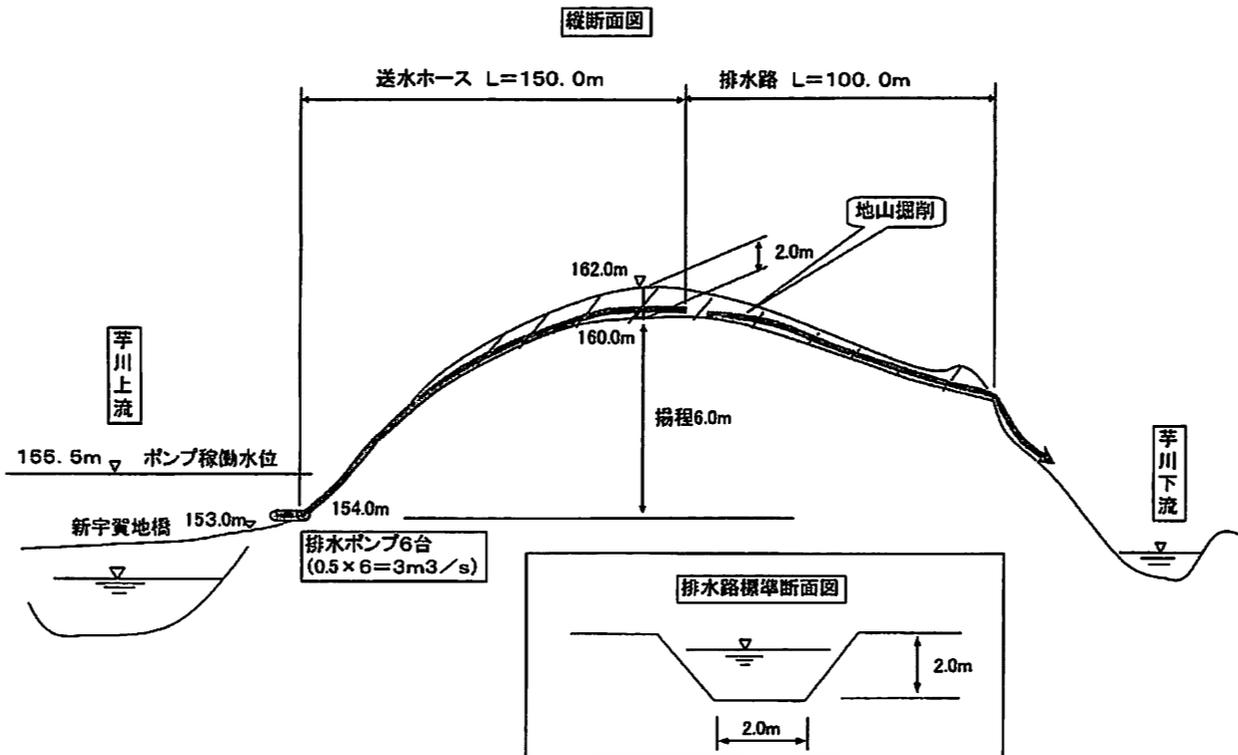
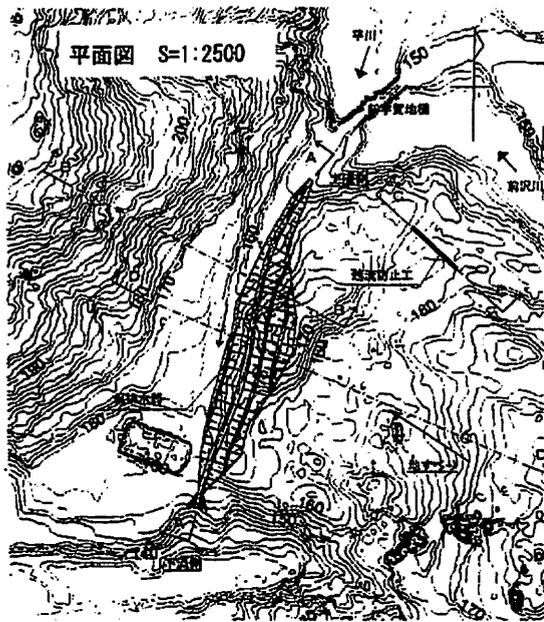


図-7 東竹沢地区緊急排水計画図



D-D断面イメージ図

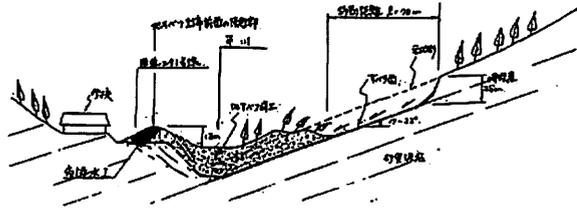


図-8 東竹沢地区仮排水路計画図

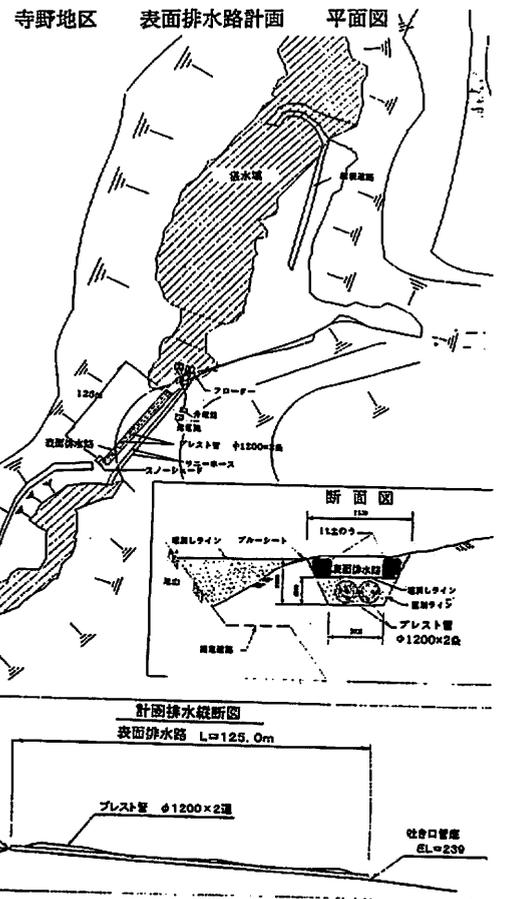


図-9 寺野地区表面排水路計画図



写真-7 東竹沢地すべり頭部排土工

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。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(図-8)。さらに、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な水路の設置が必要となる。仮排水路の開削に際しては、地すべり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-7)。

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-8、写真-9)。移動した土塊の量は約100万 m^3 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古い地すべり地帯で発生しており、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 $\text{N}70^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{W}$ 、



写真-8 寺野地すべり



写真-9 寺野地すべりによる河道閉塞



写真-10 スノーシェッド沿いの自然排水



写真-11 寺野地区における緊急排水

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、埋塞したスノーシェッドをつたい貯水池から若干の水量が自然流下しており、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-10)。

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(写真-11)。前述のスノー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(図-9)。

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、万一地すべりダムが決壊した場合に備えて、監視・計測体制が整備された。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ー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ーが設置された。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。

おわりに

地震直後の段階で緊急対応が必要とされたのは河道閉塞対策であった。地すべりダム背後の貯水池水位を極力下げ、越流を阻止することが不可欠であり、排水対策が講じられた。山古志村では広い範囲で家屋が倒壊し、至る所で道路が寸断されている状況にある。山古志村の復興に向けて、まず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である。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。さらに、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に対する警戒・監視並びに対策も必要である。

通常、降雨等による地すべりの発生は局所的であるが、今回直下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よう。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が必要であると考えられる。

参考資料

- 1) 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
- 2) 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)
- 3) 国土地理院:新潟県中越地震災害状況図
- 4) 地質調査所:5万分の1地質図「長岡」,「小千谷」
- 5) 防災科学技術研究所:山古志村周辺地すべり地形分布図
- 6) 八木浩司他:地震による地すべり・崩壊分布図