

3.3 斜面崩壊による河道閉塞

今回の地震では谷筋での斜面崩壊により無数の川の堰き止めが発生した。特に芋川を中心として起きた河道閉塞は規模が大きく、水位上昇による住宅・道路の冠水などにより、天然ダムとして一般の注目も浴びた。図-3.3 は国土地理院が発表した芋川沿いの河道閉塞と湛水地の位置を示している。堰き止めの原因となった斜面崩壊の規模はさまざまであるが、中でも崩壊土量が大きく水位上昇の影響も大きかったのは流れ盤側の地すべりの斜面崩壊である。

ここではまず、地震後間もなくのヘリコプターからの観察により、河道閉塞の全体像を述べる。次にそれらのうち、特に崩壊土量が大きく水位上昇による影響の大きかった東竹沢地区

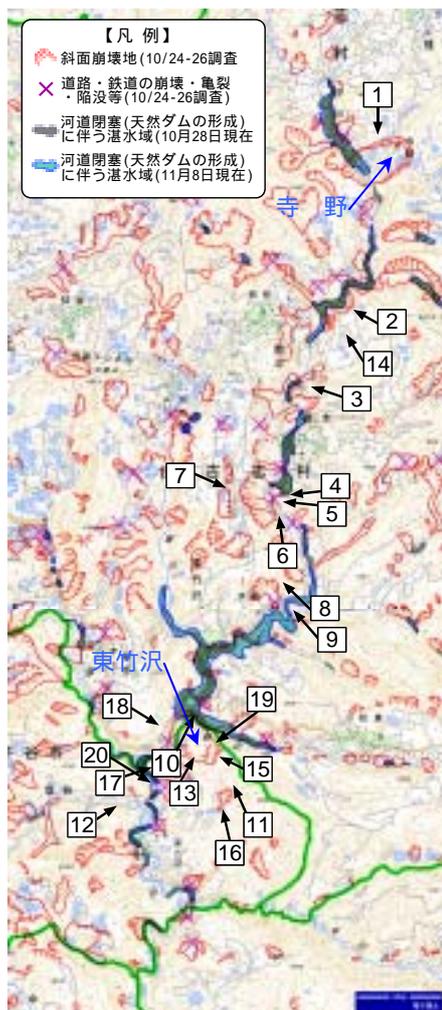


図-3.3 河道閉塞と湛水位置¹⁾、ヘリコプターからの写真撮影位置

と寺野地区の崩壊についてメカニズム推定も含め、詳しく述べる。

3.3.1 ヘリコプターによる初動調査

(1) 芋川沿いの斜面崩壊と河道閉塞

山古志村では斜面崩壊が多数発生し、村へはいる道路も通交できなくなって、住民の方々は村からヘリコプターで避難するに至った。さらに崩壊した土砂で芋川を閉塞し、数日すると天然ダムが形成されるに至った。筆者は地震発生の8日後の10月31日に朝日新聞社のヘリコプターに同乗させていただき、空から斜面の崩壊状況と河道の閉塞状況を見た。

この当時は芋川沿いの5地区(寺野、南平、檜木、東竹沢、十二平)で河道が閉塞して天然ダムが形成されていた。図3.3にこの時に写真を撮った箇所を示す。このうち、代表的な写真として、No.1, 4, 16, 19, Aから撮影した5枚を写真3.3.1~3.3.5に示す。なお、この地図は国土地理院で航空写真を判読して作られたもの¹⁾である。以下、4つの地区で河道を閉塞した斜面崩壊に関して述べる。

1) No.1(寺野地区)

寺野地区では川の東側の比較的ゆるい斜面が大きく崩壊して河道を閉塞していた。また、西側の急斜面も表層が崩壊していた。図3.3.2にこの崩壊箇所を通る東西断面を示す。東側斜面の勾配は約17.5度であり、その斜面をジグザグに登る道路があった。この付近の芋川兩岸の斜面は東側斜面が緩やかで、西側は急な斜面となっている。地すべり地も多く、今回の地震で崩壊した東側の斜面も地すべり地であったのではないと思われる。この崩壊はブロック状に発生しており、崩壊した長さは約520m、幅約280mと大規模なものであった。厚さは上空から判断できないが、おそらく20~30m程度はあったのではないかと推定される。

2) No.4(檜木地区)

檜木地区では芋川の西側の斜面が延長約



写真 3.3.1 寺野地区(No.1)

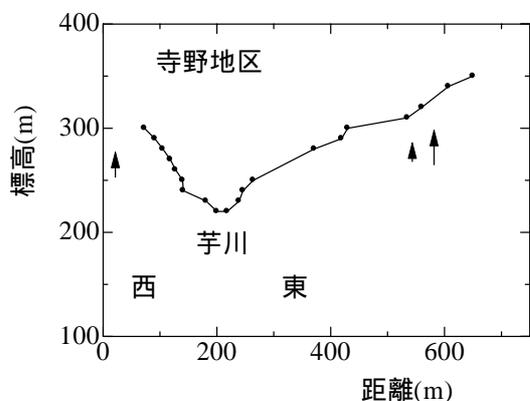


図 3.3.2 寺野地区を東西に通る断面

400m, 長さ約 240m に渡って滑っていた。図 3.3.3 にこの崩壊箇所を通る東西の断面を示す。すべった斜面は急な斜面である。あまり深いすべりではないが,崩壊した斜面の延長が他の地区に比べて長かった。

3) No.16, 19(東竹沢地区)

東竹沢地区の河道閉塞でできたダムは山古志地区の最大のものであり,地震後 8 日目にしてすでに川に沿って約 1km に渡って湛水していた。この河道閉塞は東側の比較的緩やかな斜面が大崩壊したもので,川を埋めさらに西側の道路まで土砂が押し寄せていた。崩壊は幅 370m,長さ 380m 程度のブロック状で発生し,その上部では大きな引張り亀裂が生じていた。ここには川も三方向から流れ込んでおり,湛水量も多くなっていた。この崩壊については現



写真 3.3.2 檜木地区(No.4)

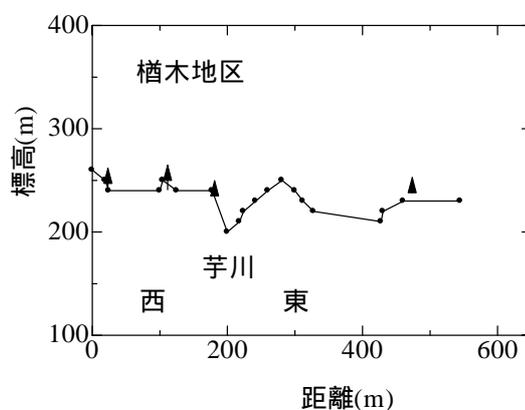


図 3.3.3 檜木地区を東西に通る断面



写真 3.3.3 東竹沢地区(No.16)

地調査結果をもとに(2)で後述する。

4) No.20 (十二平地区)

十二平では西側に比較的幅が広く平らな谷があるが,その奥の急斜面が崩壊し,それが芋川まで流れてきて川を閉塞していた。また,写真 3.3.5 に示すように少し上流側で東側の斜面が崩壊して川を閉塞していた。

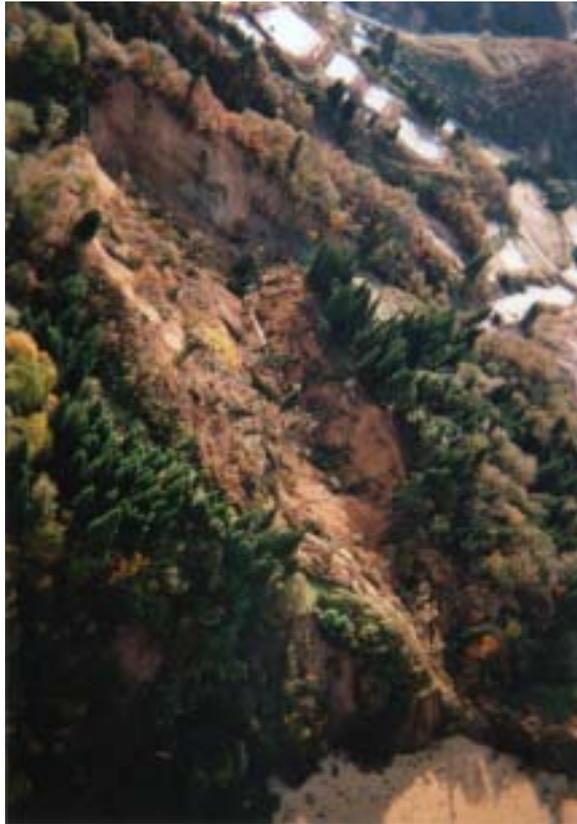


写真 3.3.4 東竹沢地区(No.16)



写真 3.3.5 十二平地区(No.20)

3.3.2 主な河道閉塞の現地調査

(a) 東竹沢地区

図-3.3.1 に国土地理院の地図からとった東竹沢における河道閉塞近辺のクローズアップを示す。地質的には鮮新世の白岩層泥岩・砂岩互層が主体で上流部には和南津層砂岩が現れている。地質図によると、走行は $N20^{\circ}E$ 傾斜は西落ち $17^{\circ} \sim 22^{\circ}$ であり、芋川によって浸

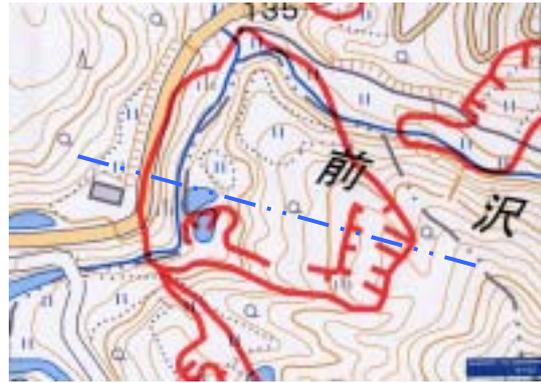


図-3.3.1 東竹沢地区の河道閉塞と近辺の地形



図-3.3.2 東竹沢の河道閉塞と土塊の動き
(国際航業の HP から転載)

食された谷の方向への流れ盤滑りと解釈される。

現地調査は11月2日と11月23日の2回にわたって行った。図-3.3.2 は国際航業(株)のホームページより転載した地震直後の航空写真であり、その上に崩壊土塊の動きのイメージを筆者の方で記入している。図-3.3.3 は朝日航洋(株)のホームページに掲載された地震後のレーザー測量結果と地形図から読み取った地震前後の崩壊土塊中央断面の比較である。図-3.3.4 は2回目の調査時の河道閉塞土塊を滑落崖の上から写した写真である。

これらに基づくと、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 $300m \times 250m$ 、厚さは約 $20m$ 、土量は 150 万 m^3 程度、移動水平距離は約 $120m$ である。今回の新たな滑落崖の

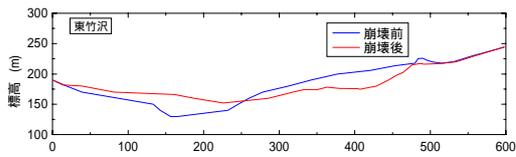


図-3.3.3 地震前後での測線（図-3.3.1の破線）に沿った断面変化



図-3.3.4 東竹沢の滑落崖から見た河道閉塞土塊（上流(右側)から東竹沢小学校を通してポンプ排水がなされた）

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できる。また、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次元効果により滑り易かったと考えられる。この滑りにより芋川の二つの支流の東川と前沢川が堰き止められ、水位上昇により東竹沢地区の集落が広く浸水した。

調査の結果、東竹沢では勾配 20°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（図-3.3.5）、その表面には明確な引っかき傷が認められ（図-3.3.6）、これが滑り面となったことを示している。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った。平滑面の上には水の流れがあり、上が砂層であったことから



図-3.3.5 地滑り斜面下部に現れた青灰色泥岩の平滑な滑り面



図-3.3.6 青灰色泥岩面（スリッケンサイド）表面の明確な引っかき傷

元々透水面であったと思われる。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（図-3.3.7）。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ほうが良い。

1回目の調査時には、現場はほぼ手付かずの状態に崩壊後の原型を残していた。移動土塊上の針葉樹木は先端部を除いてはまったく直立しており、航空写真の情報なしでは崩壊土塊の全体認識は困難な状況であった（図-3.3.8）。山全体が整然としており立ち木が直立していたことは、土塊がほぼ一定勾配の平滑面にそって滑動したことを示唆していた。一方、移動土塊が元の渓谷を乗り越えた先端部では樹木は



図-3.3.7 滑り面上部を覆う2次滑り土塊



図-3.3.8 地滑り土塊上の直立した立ち木と
前面に押し出された池と棚田

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た（図-3.3.9）。

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（図-3.3.10）。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



図-3.3.9 地滑り土塊先端の傾いた立ち木と前面に押し出された池の底面



図-3.3.10 右側から谷を越えて国道291へ押し出された地滑り先端の土（既にポンプ排水用溝の工事が始まっていた）。



図-3.3.11 東竹沢小学校へ押し寄せた地滑り先端の土は流動性を帯びていた

泥流化していた（図-3.3.11）。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



図-3.3.12 崩壊の南にある棚田では噴砂が残されていた。

た池の底が見られた(図-3.3.9参照)。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、右岸の上に広く盛上げたものと判断された。

以上より、東竹沢の大地すべりのメカニズムとしては図-3.3.3を参考に以下のようなシナリオが考えられる。まず、従来から多少変位を生じていた地滑り土塊は泥岩滑り面上に働く水圧の影響で滑り安全率はかなり低い状態にあった。地滑り土塊は良く締まった細砂(地質分類上は新第三紀砂岩)からなり、堆積年代もきわめて古いため地震によっても液状化はしなかったと思われる。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崩壊土が間隙水圧上昇により強度低下した。図-3.3.12の写真は付近の棚田に残っていた噴砂の跡である。前面土塊の強度低下や地震動の影響により、安定性が崩れ、20度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、河道閉塞を起こした。このシナリオは図-3.3.3のように泥岩滑り面の延長上が谷底に近いことから現実的である。

(b)寺野地区

図-3.3.13に国土地理院の地図からとった寺野における河道閉塞近辺のクローズアップ



図-3.3.13 寺野地区の河道閉塞と近辺の地形

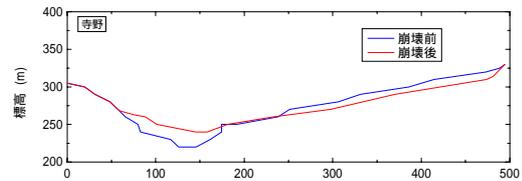


図-3.3.14 地震前後での中心線(図-3.3.1に破線)に沿った断面変化



図-3.3.15 寺野河道閉塞の全景(手前の谷に向かって、多少の地表変形を伴いながら剛体的に移動した)。

を示す。右岸の急勾配斜面も薄い崩壊を起こし谷に流れ込んだが、河道閉塞の主体は砂岩側の緩勾配斜面の移動である。この地点は地質は鮮新世の川口層砂岩・泥岩互層からなる。図-3.3.14は朝日航洋(株)のホームページに掲載された地震後のレーザー測量結果と地形図から読み取った地震前後の崩壊土塊中央断面の比較である。現地調査は12月10日に行った。



図-3.3.16 移動土塊表面には多数の段差が走り多くの滑り面を伴った複雑な動きを示唆していた。



図-3.3.17 川に向かって移動土塊の左側境界は、アバットの岩盤面に沿ってずり落ち、新たな谷を形成していた。

図-3.3.15 は河道閉塞土塊を谷を越えた右岸側の高台から写した写真である。

天然ダムを形成した移動土塊は平均辺長 320m × 250m、厚さは 20m 程度、土量は 160 万 m³ 程度、移動水平距離は 50m 程度である。棚田や道路などに利用されていた滑り土塊上の斜面の変位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(図-3.3.16)。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。特に滑り土塊の谷に向かって左側境界は隣の尾根からの滑り面にそってずり下がり、新たな谷が形成されたようである(図-3.3.17)。

ここでのメカニズムは土塊の移動形態から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。しかし地質図によれば、地層の走行は N80°E とほぼ東西に近く、傾斜はほぼ南に 20° 下がりとなっており、土塊の移動方向とは数 10 度食い違っている。図-3.3.14 の断面図に記入した推定滑り面から算定される滑り面の角度は 13° 程度であり、地質図に表示された南に 20° 下がりとは方向も傾斜も異なる。ひとつの可能性としては、滑り方向左手の安定土塊に拘束されて、最急勾配の方向とはある程度川側に偏った方向に滑ったことが考えられるが、詳細についてはさらに調査分析が必要である。

3.3.3 河道閉塞への応急対策

地震による河道閉塞については 1984 年の長野県西部地震以来であるが、これだけ多数地点で大規模なものはわが国では近年はじめての経験である。地震の直後から応急の水位低下対策が計画され、また閉塞土塊の安定性の検討が開始された。以下は土木学会調査団として立案した東竹沢や寺野の大規模な閉塞土塊の概略の調査計画の一例である。

- a) 貯水上昇速度の測定と予測
- b) 崩壊土の形状測量
 - 付近の立木の伐採
 - 水中を含めた 3 次元形状の測量
 - 下流のり面の浸潤面・湧水調査
 - 総土量の算定
- c) ボーリング調査(ダム軸 3 カ所 + 上下流軸 3 カ所、崩壊土から基盤 10m 程度まで)
 - オールコア採取
 - 標準貫入試験
 - 浸潤面調査
- d) コア試料による室内試験
 - 密度、粒度、含水比、コンシステンシー試験



図-3.3.18 東竹沢河道閉塞土塊の掘削工事
(上流側(遠方)に土嚢による堤体を造り、
溝にはパイプを埋設して、自然流下の水路と
する)



図-3.3.20 寺野での河道閉塞上のライナープレ
ートで保護した水路の建設



図-3.3.19 東竹沢でのホースとポンプ排水に
よる水位低下での放流位置の様子



図-3.3.21 寺野下流放水口部分でのテトラポッ
トなどによる洗掘防止工のヘリコプター施工

- e) 天然ダムの安定性評価
 - 3次元浸透流解析
 - 動水勾配・限界流速による評価
 - 円弧滑り解析(余震・間隙水圧上昇考慮)
- f) 総合評価
 - 現時点での安定性
 - 安定性の時間経過
 - 排水計画の提案
 - 廃土計画の提案

実際の調査・計画・施工は国土交通省の北陸
地方整備局により独自に進められた

以下では、調査団が東竹沢地区(11月23日)
と寺野地区(12月10日)を訪れた時に行われ

ていた応急対策工事の概要について記す。

[東竹沢地区]

図-3.3.18 および図-3.3.4 の写真から分か
るように、既に地滑り土塊上の植生はすべて取
り除かれ、右岸側の国道291号に沿って多数の
ホースとポンプによる強制排水が実施されて
いた。最初の試みでは閉塞土塊下流の放流地点
で洗掘が起き河岸が不安定化したため、放流地
点をずらし河床を保護した上で放流を行った
(図-3.3.19)。さらに、図-3.3.18 から分かる
ように、急河道直上部分の土塊を掘削して溝を
作成し、上流側には土嚢を積み上げて堤体を建

設していた。堤体の下を通して溝に大口径パイプを敷設し、ポンプによらない自然流下の水路を確保し、来春の融雪出水に備える準備を図っていた。

[寺野地区]

ここの対策工事も、基本的には東竹沢と同じであるが、閉塞部分の河道延長が短く流域面積も少ないため、工事は小規模である。訪れたときには閉塞土塊の上に図-3.3.20 の写真に示すように表面をライニングした開水路が完成間近であった。また、下流の放流面ではテトラポットとコンクリートを使って洗掘対策工事が行われていた(図-3.3.21)。

[長期対策]

両地区ともに、今後の長期対策として、閉塞土塊の除去を行うか否か、行うとすればどのように行うかという問題がある。除去する場合、天然ダム土塊を部分的に元の河床レベルまで取り除くと、残された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、旧河道レベルに設置する新しい河道の構造をどのように選ぶかなど詳細な検討が必要となろう。また、除去した土の土捨て場の確保が問題となる。一方、閉塞土塊を除去せず湛水池の恒久化を考える場合は、地元住民はじめ各方面との合意形成が大前提となろう。

参考文献

- 1) 国土地理院：平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震災害状況図，2004.