

6. 天然ダムと河道閉塞

4 学協会報告書¹⁾では、大小合わせて 50 箇所(図 - 6.1 参照、四角囲いの数字は地点番号)の河道閉塞箇所について、位置、崩壊斜面の諸元、斜面崩壊の諸元、天然ダムの諸元、堰止湖の諸元、応急復旧対策、過去の河道閉塞との比較、水文学的特徴などを整理している。本報告書では、その後の調査結果として以下を中心にとりまとめる。

- ・天然ダムの発生要因・規模特性(6.1 節, 6.2 節)
- ・天然ダムの調査および監視(6.3 節)
- ・河道閉塞の復旧計画とその実施状況(6.4 節)
- ・天然ダムの地盤工学的性質(6.5 節)
- ・荒砥沢ダム上流部の地すべり近傍の天然ダム(6.6 節)

6.1 天然ダムの発生と基本特性

6.1.1 天然ダムの発生

天然ダムの規模が明らかな岩手県内の 5 事例および宮城県内の 9 事例の一覧を表 - 6.1.1²⁾・7)~10)に示す。同表の岩手・宮城内陸地震の事例 No.1~No.15 は、国土交通省東北地方整備局により天然ダムの規模(堰止長, 堰止幅および概算崩落土砂量)が公表されている²⁾。ただし, No.13 の荒砥沢は巨大崩壊のために規模等が明示されていない。また, これらの 14 事例の位置図を図 - 6.1.1 に示す。また, 写真 - 6.1.1~写真 - 6.1.14 は, それぞれ岩手県内および宮城県内での公表された河道閉塞の写真をそのまま引用したものである²⁾。地区名は発表時点のものであり, その後, 整理されて名称が変わっている地区もある。最終的な名称は表 - 6.1.1 に示す。



写真 - 6.1.1 岩手 1: 小川原地区
(幅 30m, 長さ 60m, 20 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.2 岩手 2: 市野々原地区

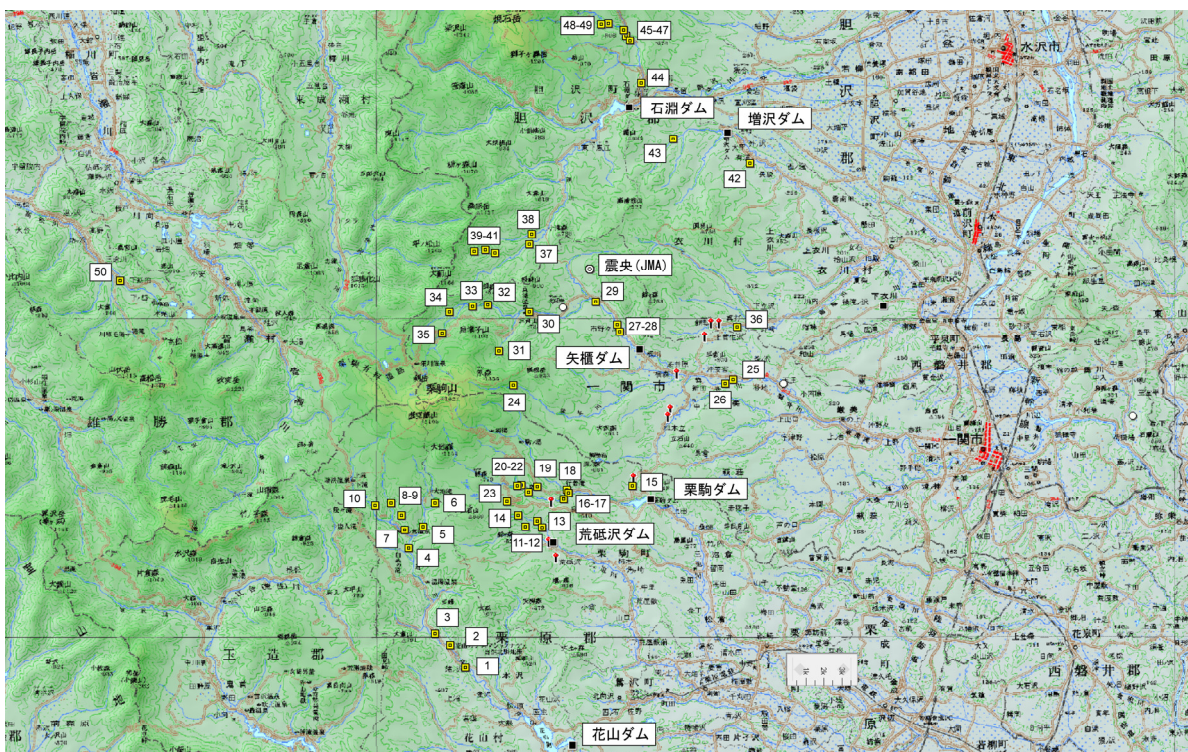


図 - 6.1 主な河道閉塞・流入の位置図¹⁾(黒 : 人工ダム, 黄色 : 天然ダム, ○ : 気象庁による震央, △ : 防災科研による地震計位置, ピンマーク : 産総研による地表地震断層, 地図はカシミール 3D を使用)

(幅 200m, 長さ 700m, 1,730 千 m³)²⁾

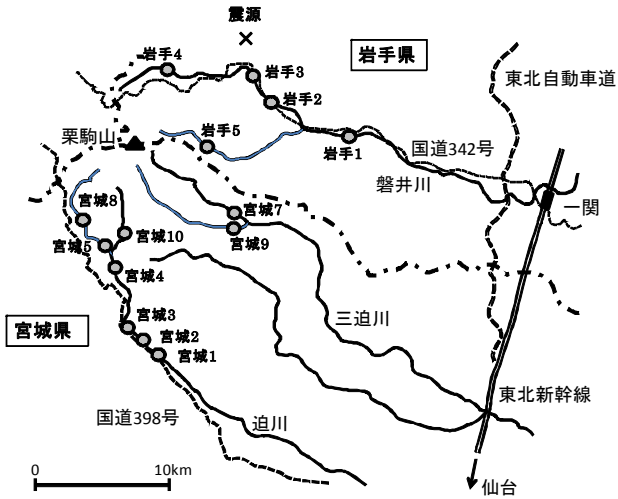


図 - 6.1.1 天然ダムの位置図 (2008年岩手・宮城内陸地震)²⁾



写真 - 6.1.5 岩手 5 : 産女川地区

(幅 200m, 長さ 260m, 12,600 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.3 岩手 3 : 榎木地区

(幅 60m, 長さ 100m, 80 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.6 宮城 1 : 坂下地区

(幅 20m, 長さ 80m, 90 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.4 岩手 4 : 須川地区

(幅 130m, 長さ 280m, 390 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.7 宮城 2 : 浅布地区

(幅 220m, 長さ 220m, 300 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.8 宮城 3 : 小川原地区
(幅 200m, 長さ 520m, 490 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.9 宮城 4 : 温湯地区
(幅 80m, 長さ 580m, 740 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.10 宮城 5 : 湯ノ倉温泉地区
(幅 90m, 長さ 660m, 810 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.11 宮城 6 : 荒砥沢地区²⁾

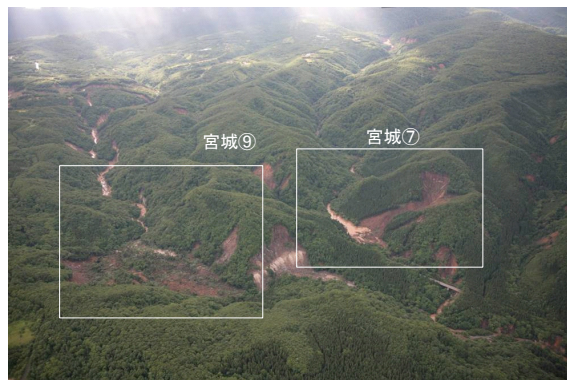


写真 - 6.1.12 宮城 7 : 沼倉地区
(幅 120m, 長さ 130m, 270 千 m³)²⁾
宮城 9 : 沼倉裏沢地区
(幅 160m, 長さ 560m, 1,190 千 m³)²⁾



写真 - 6.1.13 宮城 8 : 湯浜地区
(幅 200m, 長さ 1,000m, 2,160 千 m³)²⁾

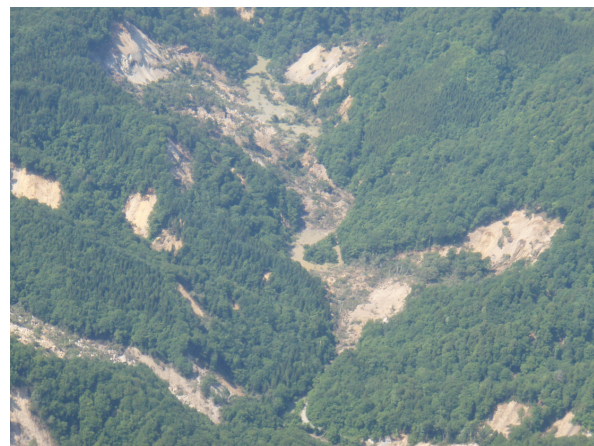


写真 - 6.1.14 宮城 10 : 河原小屋沢地区
(幅 170m, 長さ 400m, 210 千 m³)²⁾

6.1.2 天然ダムの形成要因

本地震の天然ダムの形成特性に関する資料として、国土地理院による正射写真³⁾および地形図³⁾が得られており、それに基づいて天然ダムの形成要因の分析を実施したが⁴⁾、⁵⁾、その結果を再整理すると以下の通りである。

(1) 形成要因と評価方法

地震時の天然ダム形成は沿川斜面の崩壊に係るが、斜面崩壊自身に関しては多数の研究が行われている。内田ら⁶⁾は国内の46の既往研究成果に基づいて、地形素因として、標高、斜面勾配、斜面方位、偏差、ラプリアン、地上開度、地下開度、平均曲率の8項目を抽出するとともに、新たに尾根谷度を加え、兵庫県南部地震による六甲山地における崩壊発生の有無の判別分析を行っている。そして、斜面崩壊危険度の判別の主要因として、勾配と平均曲率を選定し、地震動誘因としての最大加速度を含めた3要因による斜面崩壊危険度の判別式を提案しているが、同式では勾配の寄与度が特に大きく、次いで最大加速度、平均曲率の順となっている。

このように斜面崩壊に係る要因としては、斜面の勾配あ

るいは曲率といった地形要因が一般的であるが、斜面崩壊が天然ダムの形成に至るか否かの判別のためには、単に斜面崩壊の有無だけでは不十分であり、崩壊土量、河道形状などが関係すると思われる。

しかし、表-6.1.1に示すように、地震に起因する天然ダムの形成事例が少ないことから、天然ダムの形成に係る諸要因の吟味は十分とは言えないのが実情である。そのため、本研究において天然ダムの形成地点に関して抽出した要因は、既往の研究事例を参考にして、崩壊斜面の勾配、斜面形状および斜面の方向(=斜面方向)とするとともに、加えて、河道の平面形状、震源からの方向(=震源方向)の5要因とした。なお、内田ら⁶⁾は斜面の平均曲率などをメッシュデータから数値化しているが、本研究では簡易判別を中心とし、斜面勾配だけは目視設定により数値化しているが、その他の要因は写真あるいは地形図からの目視判読としている。

1) 斜面勾配

国土地理院が公表した正射写真³⁾および地形図³⁾を用いて、崩壊斜面の主要な崩壊方向を想定することにより、崩壊前の斜面勾配を算出した。

表 - 6.1.1 我が国における地震に起因する天然ダムの事例^{2), 7)-10)}

| No. | 地震名 | 地区名等 | 堰止タイプ | 土砂移動の形態 | 堰止幅W (m) | 堰止長L (m) | 堰止土量V (千m ³) |
|-----|----------------|----------------|-------|---------|----------|----------|--------------------------|
| 1 | 2008年岩手・宮城内陸地震 | 岩手1:小河原地区 | a | 崩壊 | 30 | 60 | 20 |
| 2 | | 岩手2:市野々原地区 | a | 崩壊 | 200 | 700 | 1,730 |
| 3 | | 岩手3:槻木平地区 | a | 崩壊 | 60 | 100 | 80 |
| 4 | | 岩手4:須川地区 | a | 崩壊 | 130 | 280 | 390 |
| 5 | | 岩手5:産女川地区 | a | 崩壊 | 200 | 260 | 12,600 |
| 6 | | 宮城1:坂下地区 | a | 崩壊 | 20 | 80 | 90 |
| 7 | | 宮城2:浅布地区 | a | 崩壊 | 220 | 220 | 300 |
| 8 | | 宮城3:小川原地区 | a | 崩壊 | 200 | 520 | 490 |
| 9 | | 宮城4:温湯地区 | a | 崩壊 | 80 | 580 | 740 |
| 10 | | 宮城5:湯ノ倉温泉地区 | a | 崩壊 | 90 | 660 | 810 |
| 11 | | 宮城8:湯浜地区 | a | 崩壊 | 200 | 1,000 | 2,160 |
| 12 | | 宮城10:川原小屋沢地区 | a | 崩壊 | 170 | 400 | 210 |
| 13 | | 宮城6:荒砥沢地区 | - | - | - | - | - |
| 14 | | 宮城7:沼倉地区 | a | 崩壊 | 120 | 130 | 270 |
| 15 | | 宮城9:沼倉裏沢地区 | a | 崩壊 | 160 | 560 | 1,190 |
| 16 | 2004年新潟県中越地震 | 寺野地区 | a | 地すべり | 123 | 260 | 303 |
| 17 | | 東竹沢地区 | a | 地すべり | 168 | 320 | 656 |
| 18 | 1586年天正地震 | 天正・(帰雲山) | a | 土石流 | 700 | 600 | 19000 |
| 19 | | 天正・(大白川下流) | c | 土石流 | 250 | 400 | 1000 |
| 20 | | 天正・(大白川上流) | c | 土石流 | 300 | 300 | 1200 |
| 21 | | 天正・(庄川下流) | a | 崩壊・地すべり | 400 | 750 | 30000 |
| 22 | 1662年琵琶湖西岸地震 | 琵琶湖西岸・(町居崩れ) | a | 崩壊・地すべり | 350 | 362 | 24000 |
| 23 | 1683年日光・南会津地震 | 日光・南会津(五十里) | c | 崩壊・地すべり | 700 | 400 | 3800 |
| 24 | 1707年宝永地震 | 宝永・大谷崩れ(大池) | c | 崩壊・地すべり | 500 | 650 | 4000 |
| 25 | 1847年善光寺地震 | 善光寺・犀川(岩倉山) | a | 崩壊・地すべり | 650 | 1000 | 21000 |
| 26 | | 善光寺・柳久保川(柳久保) | a | 崩壊・地すべり | 150 | 250 | 650 |
| 27 | | 善光寺・裾花川(岩下) | a | 崩壊・地すべり | 300 | 250 | 1200 |
| 28 | | 善光寺・当信川 | a | 崩壊・地すべり | 250 | 400 | 4000 |
| 29 | 1858年飛越地震 | 立山・鷲崩れ(湯川・泥鱒池) | c | 土石流 | 620 | 700 | 12000 |
| 30 | | 立山・鷲崩れ(真川) | c | 土石流 | 600 | 200 | 400 |
| 31 | 1891年濃尾地震 | 濃尾地震・根尾西谷川 | a | 崩壊・地すべり | 235 | 250 | 1800 |
| 32 | 1923年関東地震 | 関東地震・震生湖 | a | 崩壊・地すべり | 120 | 200 | 180 |
| 33 | 1949年今市地震 | 今市地震・七里 | a | 崩壊・地すべり | 50 | 100 | 4.5 |
| 34 | 1984年長野県西部地震 | 王滝村・御嶽山 | a | 土石流 | 7 | 30 | 1.2 |

注1) 堰止めタイプ a: 谷壁斜面の崩壊による、b: 本川上流からの土砂流出による、c: 支川上流からの土砂流出による
 注2) 土砂移動の形態 「崩壊or地すべり」: 谷壁斜面で表層崩壊や地すべりが発生し、崩壊地の直下で堰止め。「土石流」: 谷壁斜面上部や支渓流で表層崩壊や地すべりが発生し、崩積土が流下して泥流・土石流化し、河道をせき止め。注3) 網掛けは検討対象外。

2) 河道形状

斜面の崩壊と崩壊前の河道の形状との関係を把握するために、図 - 6.1.2 のように崩壊斜面に対する河道形状を、形状1：凸状、形状2：やや凸状、形状3：直線状、形状4：やや凹状および形状5：凹状の5つに分類した。そして、各天然ダムの崩壊前の河道形状は国土地理院の地形図³⁾から判別した。

3) 地形形状

斜面の崩壊と崩壊前の地形の形状との関係を把握するために、図 - 6.1.3 のように河道の形状を、形状1：尾根、形状2：尾根状、形状3：斜面、形状4：急崖、形状5：沢状、形状6：沢および形状7：すり鉢状の7つに分類した。そして、各天然ダムの崩壊前の斜面の地形形状は国土地理院の地形図³⁾から判別した。

4) 斜面方向と震源方向

天然ダムの崩壊前の斜面方向と震源方向の関係を把握し

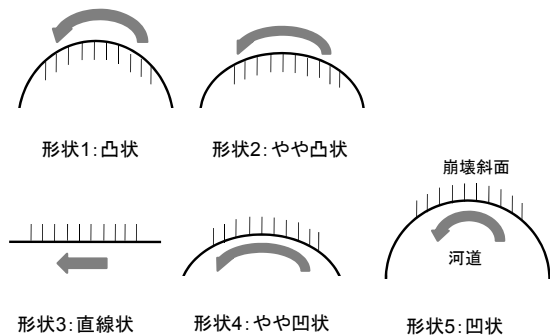


図 - 7.1.2 河道形状の分類方法

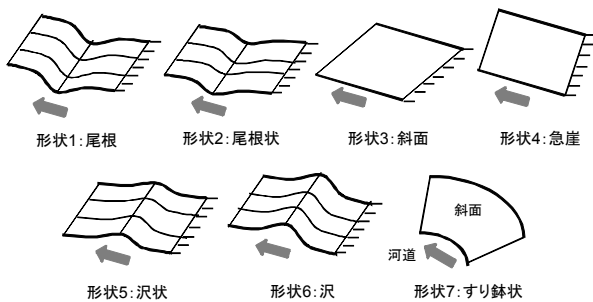


図 - 7.1.3 地形形状の分類方法

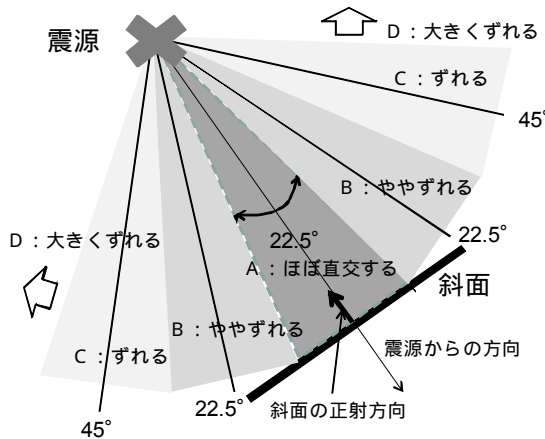


図 - 6.1.4 斜面方向と震源方向の相関の分類方法

たが、震源方向と比較した斜面の方向は、崩壊前の主たる斜面に垂直な方向 (= 正射方向) である。そして、斜面方向と震源方向の比較は、両方向の直交性から、図 - 6.1.4 の A：ほぼ直交、B：ややずれる、C：ずれるおよび D：大きくずれる、の4分類とした。ここで、各方向は天然ダムの位置図および国土地理院の地形図³⁾から、十六方位 ($\pm 11.25^\circ$) の読み取り誤差で判読した。

(2) 諸要因の一次的特性

前項の4つの要因を14の天然ダムについて整理したのが表 - 6.1.2 である。同表に基づいて、天然ダムの形成地点毎の一次的な分布特性を図 - 6.1.5 ~ 図 - 6.1.8 に示す。

図 - 6.1.5 は崩壊前斜面の斜面勾配の分布であるが、 $15^\circ \sim 45^\circ$ にある天然ダムが12個所であり、大部分がこの範囲にある。また、図 - 6.1.6 は天然ダム位置における崩壊前の河道形状の分布であるが、上位から形状5 (凹状) が5箇所、形状2 (やや凸状) が4箇所、形状1 (凸状) が3箇所であり、86%がこれらの3分類に相当する。

さらに、図 - 6.1.7 は天然ダム位置における崩壊前斜面の地形形状の分布であるが、上位から形状6 (沢) が4箇所、形状4 (急崖) が3箇所、形状2 (尾根状地形) が3箇所であり、71%がこれらの3分類に相当している。ここで、前項で5つに分類した崩壊斜面の地形形状は、内田ら⁶⁾のように斜面の曲率を定量的に算定しておらず、目視判別によるが、尾根状地形、つまりマイナスの平均曲率に相当する場合は3箇所であるのに対して、平均曲率がゼロに相当す

表 - 6.1.2 天然ダムの諸要因の分類結果

| 天然ダムの位置 | 斜面勾配 (°) | 河道形状 | 地形形状 | 斜面方向と震源方向 | | |
|---------|----------|-------|------|-----------|---------|----|
| | | | | 斜面の正射方向 | 震源からの方向 | 分類 |
| 小河原地区 | 90 | 凹状 | 急崖 | 南 | 南東 | C |
| 市野々原地区 | 18 | やや凸扇状 | 斜面 | 東 | 南南東 | D |
| 槻木平地区 | 35 | 凹状 | 斜面 | 北北西 | 南 | B |
| 須川地区 | 16 | 凸状 | 沢 | 北東 | 西南西 | B |
| 産女川地区 | 25 | 凹状 | すり鉢状 | 東南東 | 南西 | D |
| 坂下地区 | 52 | 凹状 | 急崖 | 南南西 | 南南西 | A |
| 浅布地区 | 28 | やや凸状 | 尾根状 | 南西 | 南南西 | B |
| 小川原地区 | 24 | 凸状 | 沢 | 南西 | 南南西 | B |
| 温湯地区 | 42 | やや凹状 | 急崖 | 西 | 南南西 | D |
| 湯ノ倉温泉地区 | 27 | やや凸状 | 沢 | 南南西 | 南西 | B |
| 湯浜地区 | 40 | 凹状 | すり鉢状 | 南西 | 南西 | A |
| 川原小屋沢地区 | 31 | 直線状 | 尾根状 | 東 | 南西 | C |
| 沼倉地区 | 16 | 凸状 | 沢 | 南 | 南 | A |
| 沼倉裏沢地区 | 24 | やや凸状 | 尾根状 | 北北西 | 南 | B |

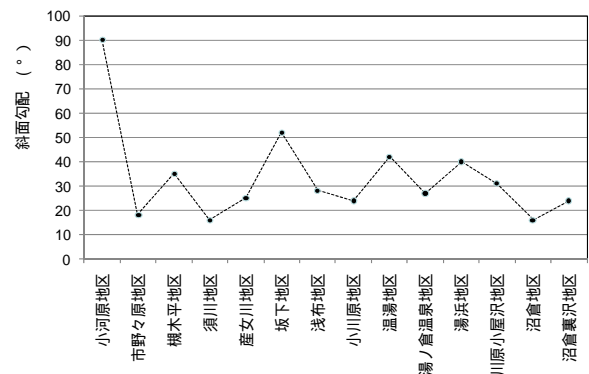


図 - 6.1.5 天然ダム位置の崩壊前斜面の斜面勾配

る急崖地形の場合が3箇所、プラスの平均曲率に相当する沢地形の場合は4箇所となっている。内田ら⁶⁾の判別式によれば、勾配の影響が大きいので、平均曲率の正負の影響は、崩壊危険度の有無の判別に直接的に結びつくわけではないが、図-6.1.7の結果はゼロからプラスの曲率と思われる地形でも天然ダムを形成する斜面崩壊の発生を示唆している。

図-6.1.8は天然ダム位置の崩壊前の斜面の正射方向と震源方向の関係であるが、斜面の正射方向と震源方向のずれが、 $\pm 11.25^\circ$ 以内の分類Aが3箇所、 $\pm 11.25^\circ \sim \pm 33.75^\circ$ の分類Bが6箇所であり、64%が $\pm 33.75^\circ$ 以内にある。マクロな評価であるので断定はできないが、震源方向と斜面方向の相対関係が斜面崩壊に関係があるようである。

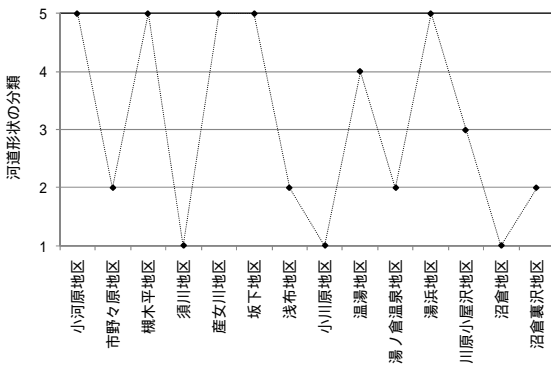


図-6.1.6 天然ダム位置の崩壊前の河道形状

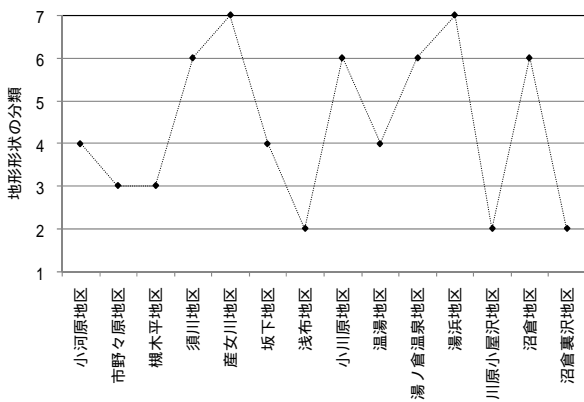


図-6.1.7 天然ダム位置の崩壊前斜面の地形形状

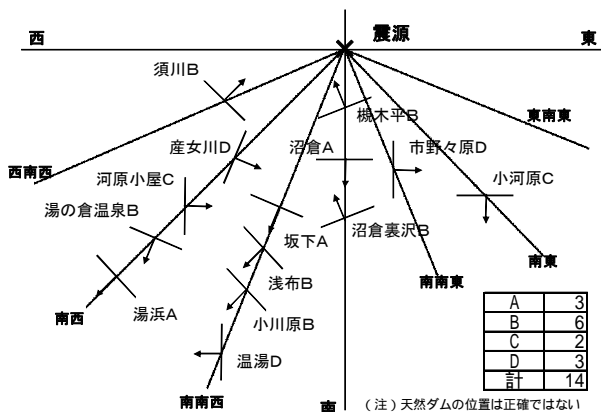


図-6.1.8 天然ダム位置の崩壊前の斜面方向と震源方向

(3) 諸要因の相互関係

本項では、内田ら⁶⁾の判別式で影響度が大きいとしている斜面勾配および本研究で定義した河道形状について、斜面勾配と斜面形状あるいは河道形状の相互関係、河道形状と地形形状の相互関係を概観する。

図-6.1.9は斜面勾配と斜面形状の関係であるが、急崖斜面では斜面勾配が大きいものの、全体的には斜面勾配と斜面形状の相関は低い。これは、内田ら⁶⁾の判別式において、斜面崩壊危険度は斜面勾配の影響が大きく、斜面形状を表す平均曲率の影響が小さいことと符合しているが、換言すれば、当該事例でも斜面形状の影響はそれほど大きくないことになる。

一方、図-6.1.10は斜面勾配と河道形状の関係であるが、凸状地形では斜面勾配が小さく、凹状地形に遷移するに従って斜面勾配が大きくなる傾向が見られる。また、図-6.1.11は河道形状と斜面形状の関係であるが、凸状の場合を除くと、右肩上がりの関係があり、河道形状と斜面形状

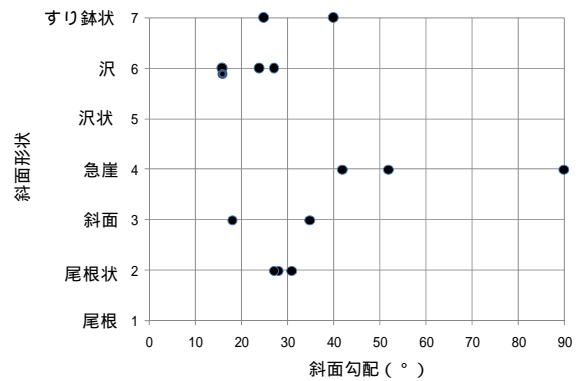


図-6.1.9 斜面勾配と斜面形状

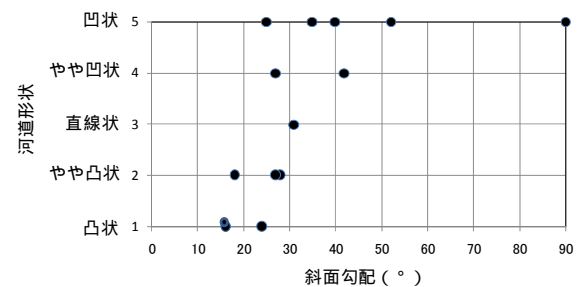


図-6.1.10 斜面勾配と河道形状

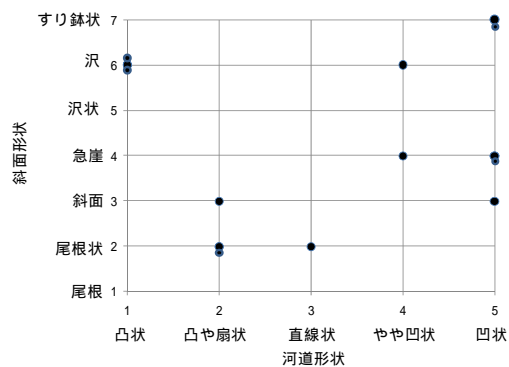


図-6.1.11 河道形状と斜面形状

が対応する傾向がある。一方、凸状の河道形状の場合の斜面形状は全てが沢である。これは、凸状の河道形状の地点は、沢のある後背斜面から流出した土砂により形成された扇状地地形となっているためである。そのため、図 - 6.1.10 においても、凸状地点の斜面勾配は小さく算定されていることに繋がっている。

以上のことから、本文で定義した河道形状は、斜面勾配あるいは斜面形状に置き換えることができると考えられる。

6.1.3 天然ダムの規模特性

(1) 規模の一次的特性

前項の 14 箇所の天然ダムの規模(堰止長、堰止幅および堰止土量)は表 - 6.1.1 の通りであるが、報告された概算崩落土砂量は堰止土量と見なしている。天然ダムの形成地点毎の規模の分布は図 - 6.1.12 ~ 図 - 6.1.14 の通りである。

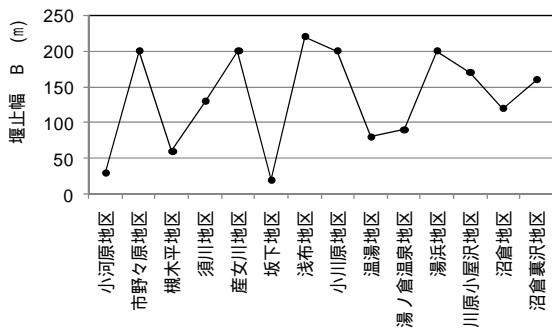


図 - 6.1.12 天然ダムの堰止幅

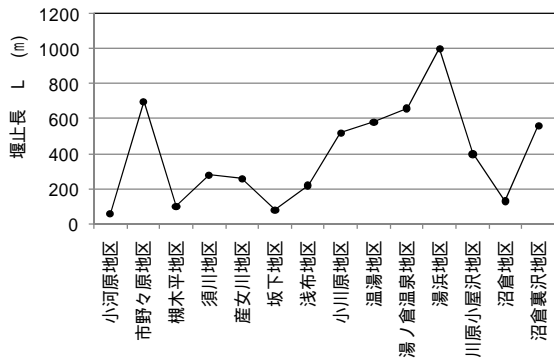


図 - 6.1.13 天然ダムの堰止長

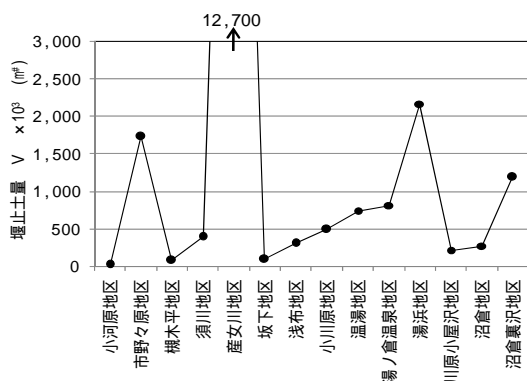


図 - 6.1.14 天然ダムの堰止土量

図 - 6.1.12 は堰止幅の分布であるが、11 箇所 (79 %) が 100 ~ 200 m の範囲にある。堰止幅は河道の幅に左右されるため、変動の幅が小さいと思われる。また、図 - 6.1.13 は堰止長の分布であるが、11 箇所 (79 %) が 100 ~ 600 m の範囲にあるが、1,000 m に及び事例も見られる。さらに、図 - 6.1.14 は堰止土量の分布である。産女川地区だけが格段に規模が大きいものの、9 箇所 (64 %) が $200 \times 10^3 \sim 2,000 \times 10^3 \text{ m}^3$ の範囲にある。

(2) 規模の二次的特性

本項では、堰止土量と勾配、斜面形状、河道形状との相互関係を概観する。図 - 6.1.15 は堰止土量と斜面勾配の関係であり、全体的に明確な関係はないが、緩くもなく、急でもない 20 ~ 40° 程度の斜面勾配での堰止土量が多い。

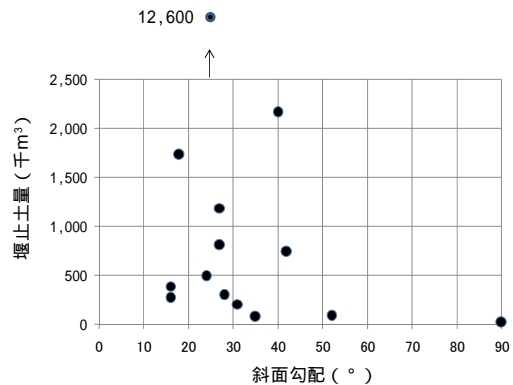


図 - 6.1.15 斜面勾配と堰止土量

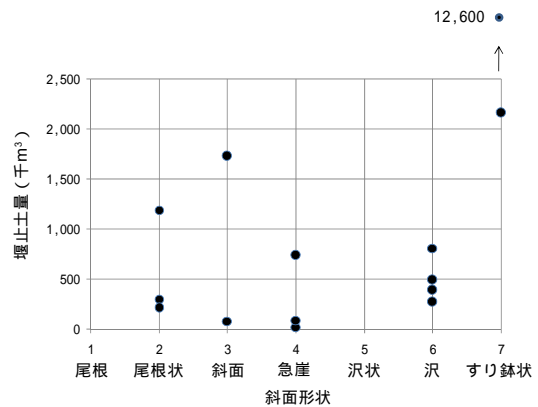


図 - 6.1.16 斜面形状と堰止土量

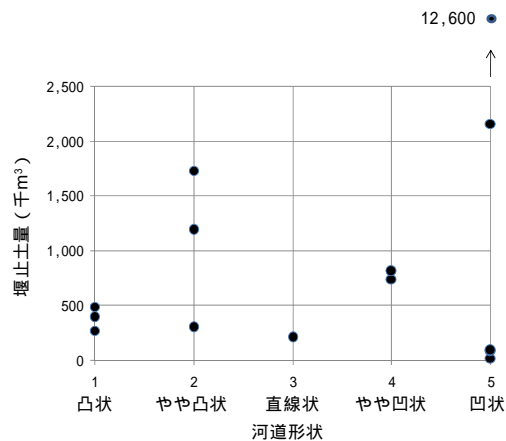


図 - 6.1.17 河道形状と堰止土量

また、図 - 6.1.16 は堰止土量と斜面形状の関係であり、全体的に明確な関係はないが、すり鉢状の斜面形状の場合、堰止土量が比較的大きい。さらに、図 - 6.1.17 は堰止土量と河道形状の関係であり、全体的に明確な関係はないが、やや凸状と凹状の河道形状の場合、堰止土量は比較的大きい。なお、斜面形状が沢である凸状の河道形状の場合は比較的小さい。

(3) 規模の定量評価

前記の分析⁴⁾では、他の地区と比較して堰止土量が極端に多い岩手県5の産女川地区を除いて、斜面崩壊型に分類した13事例の天然ダムに関して形成規模の定量化を試みている。そして、斜面崩壊型の場合、堰止長、堰止幅および堰止土量の関係を線形として、平均値あるいは上限値を式(6.1.1)、式(6.1.2)および式(6.1.3)で定式化している。

VとLの関係

$$\text{平均 } V = 1.76 \times L \quad (R^2: 0.906) \quad (6.1.1a)$$

$$\text{上限 } V = 2.5 \times L \quad (6.1.1b)$$

VとWの関係

$$\text{平均 } V = 5.08 \times W \quad (R^2: 0.535) \quad (6.1.2)$$

LとWの関係

$$\text{平均 } L = 2.99 \times W \quad (R^2: 0.557) \quad (6.1.3)$$

ここに、V：堰止土量(千 m^3)、L：堰止長(m)、W：堰止幅(m)、 R^2 ：相関係数である。上式において、相関が高いのはVとLの関係であり、VとWあるいはLとWの相関は高くない。VとLの関係を平均で評価する場合は式(6.1.1a)が、上限で評価する場合は式(6.1.1b)が適当であるが、両式は図 - 6.1.18のように図示される。

6.2 地震による天然ダムの形成特性

既往の地震における天然ダムの既往事例について、田畑ら⁷⁾は井上ら⁸⁾および旧建設省中部地方建設局⁹⁾が収集した事例に最近の事例を追加することにより、約500年前から西暦2000年までに発生した29災害において形成あるいは決壊した79件の天然ダムの既往事例を整理している。また、これらの事例以外では、2004年新潟県中越地震(以下、中越地震と呼ぶ)での2事例が報告されている^{10), 11)}。

ここでは、岩手・宮城内陸地震の15事例、田畑らの事例から抽出した17事例および中越地震の2事例の合計34事例を基礎資料として、絞り込みを行った25事例を対象とした。これらの25事例の天然ダムの規模に着目して定量化を試みた^{4), 5)}。

6.2.1 対象とする天然ダムの事例

基礎資料として検討の対象とした地震に起因する天然ダムの事例の一覧を表 - 6.1.1^{2), 7)~10)}に示す。また、No.16およびNo.17は中越地震の事例であり、同地震において形成されたとされる5事例のうち、本格的な復旧が実施された代表事例として対象にした。さらに、No.18~No.34は田畑らにより整理された天然ダムのうちの地震に起因する17事例である。

同表における「堰止タイプ」と「土砂移動の形態」の分

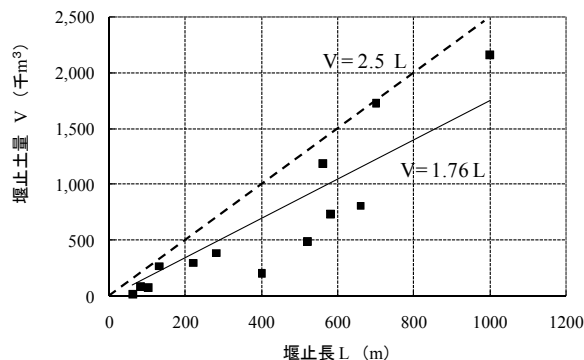


図 - 6.1.18 斜面崩壊型天然ダムの堰止土量と堰止長の関係 (2008年岩手・宮城内陸地震：13事例)

類は、田畑らの整理を岩手・宮城内陸地震および中越地震の事例に準用した。ここで、土砂移動形態は岩手・宮城内陸地震が崩壊、中越地震が地すべりで明確であるが、その他の既往地震は崩壊と地すべりが区分されていない。

ここでは崩壊斜面の直下で形成される天然ダムを対象としたので、34事例のうち堰止タイプa、かつ土砂移動形態が崩壊あるいは崩落・地すべりによる天然ダムとした。従って、検討対象として絞り込んだ天然ダムは、表 - 6.1.1で網掛けをした9事例(No.13, 18, 19, 20, 23, 24, 29, 30, 34)を除いた25事例である。

6.2.2 既往地震における天然ダムの規模特性

表 - 6.1.1に示した中越地震での2事例および田畑らが整理した9事例の天然ダムの特性を検討した。前者の2事例は地すべりによるものであるが、後者の9事例は表 - 6.1.1の土砂移動の形態が崩壊・地すべりとされており、斜面崩壊型とも地すべり型とも判別ができないので、崩壊・地すべり型と呼ぶ。なお、天然ダムの規模の定義について、中越地震の2事例の天然ダムの最大長および最大幅は、それぞれ堰止長および堰止幅に対応させた。また、堰止土量について、中越地震では堰き止め土砂量と地すべり土砂量とが区分されているが、堰き止め土砂量を堰止土量とした。

これらの11事例について、堰止土量と堰止長の関係は図 - 6.2.1で得られる。同図を両対数の表記としたのは、既往の天然ダムにおいて堰止土量に大規模なものが多いこと、田畑らの整理方法に準じていることによる。崩壊・地すべり型天然ダムの平均的な関係は式(6.2.1)で定式化できる。
$$V = 7 \times 10^{-7} \times L^{3.703} \quad (R^2: 0.800) \quad (6.2.1)$$
ここに、V：堰止土量(千 m^3)、L：堰止長(m)である。図 - 6.2.1に示すように、VとLの相関係数は0.800であり、相関は高い。

6.2.3 地震による天然ダムの規模特性

岩手・宮城内陸地震および既往地震の天然ダムの比較、集約化を行う。まず、図 - 6.1.18で定式化した岩手・宮城内陸地震の13事例について、図 - 6.2.1と同様に両対数で表記すると図 - 6.2.2が得られる。同図から、斜面崩壊型天然ダムについて、堰止土量と堰止長の平均的な関係は式

(6.2.2)により定式化できる。

$$V = 0.180 \times L^{1.333} \quad (R^2: 0.862) \quad (6.2.2)$$

ここに、 V ：堰止土量(千 m^3)、 L ：堰止長(m)である。次に、堰止土量の多い岩手県5の産女川地区を加えた岩手・宮城内陸地震の14事例および既往地震の11事例を合わせた25事例について、堰止土量と堰止長の関係は図-6.2.3となる。同図から、堰止土量と堰止長の平均的な関係は式(6.2.3)により定式化される。

$$V = 0.008 \times L^{1.978} \quad (R^2: 0.525) \quad (6.2.3)$$

ここに、 V ：堰止土量(千 m^3)、 L ：堰止長(m)である。式(6.2.3)は図-6.2.3の実線であるが、岩手・宮城内陸地震の13事例の式(6.2.2)の点線と既往地震の11事例の式(6.2.1)式の破線とは分布傾向が異なるので、25事例全体の相関は高くない。そこで、堰止長が小さい領域では岩手・宮城内陸地震のデータが多いことから図-6.2.3の点線により、他方、大きい領域では安全側の破線により代表させることとし、堰止土量の単位を m^3 に変えた式(6.2.4a)と式(6.2.4b)の組み合わせにより定式化する。

$$60 \text{ m} \quad L \quad 192 \text{ m} \\ V = 180 \times L^{1.333} \quad (6.2.4a)$$

$$192 \text{ m} \quad L \quad 1000 \text{ m} \\ V = 7 \times 10^{-4} L^{3.703} \quad (6.2.4b)$$

ここに、 V ：堰止土量(m^3)、 L ：堰止長(m)である。

6.2.4 まとめ

ここでは、地震時の斜面崩壊を共通の誘因とする天然ダムの形成特性について、岩手・宮城内陸地震および既往地震について分析した。その結果、事例数は少ないものの、地震時の斜面崩壊に起因する天然ダムに関して、既往地震においては11事例が該当すると見なせ、岩手・宮城内陸地震の14事例は新たな事例と追加できるが、それらの発生特性に関して以下の知見が得られた。

- 1) 岩手・宮城内陸地震の斜面崩壊型の天然ダムについて、斜面勾配、河道形状、地形形状および斜面方向と震源方向の相関に着目した要因特性および堰止幅、堰止長および堰止土量の規模特性を明らかにした。なお、本文で定義した河道形状は、斜面勾配あるいは斜面形状との相関が見られることから、それぞれに置き換えられる。
- 2) 岩手・宮城内陸地震の斜面崩壊型の天然ダムでは、堰止土量と堰止長の平均的な相関関係は式(6.1.1a)あるいは式(6.2.1)により定式化できる。なお、堰止土量の上限は式(6.1.1b)により定式化される。
- 3) 既往地震の崩壊・地すべり型の天然ダムでは、堰止土量と堰止長の平均的な相関関係は式(6.2.2)により定式化できる。
- 4) 岩手・宮城内陸地震および既往地震を集約した崩壊・地すべり型の天然ダムでは、堰止土量と堰止長の平均的な相関関係は式(6.2.4a)および式(6.2.4b)により定式化できる。

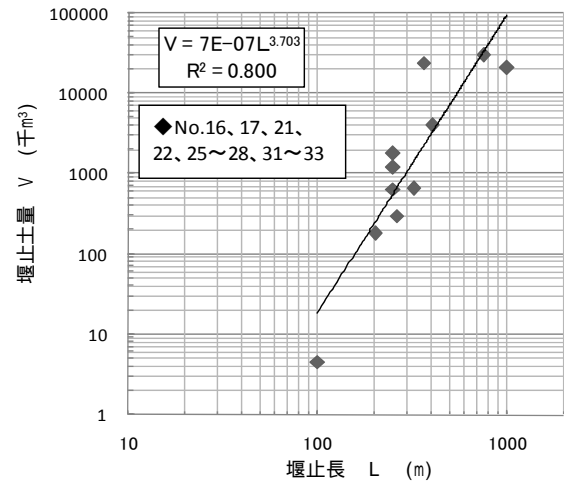


図 - 6.2.1 崩壊・地すべり型天然ダムの堰止土量と堰止長の関係 (既往地震：11事例)

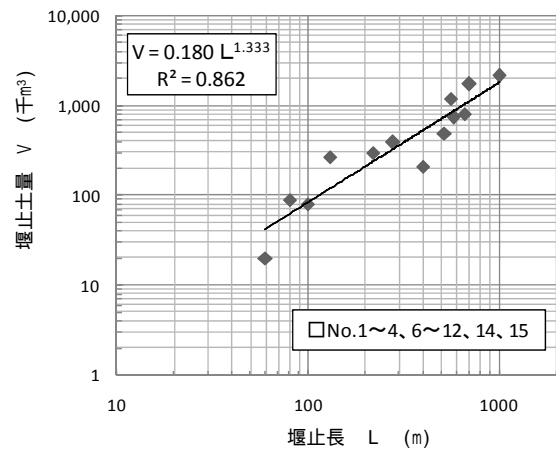


図 - 6.2.2 堰止土量と堰止長の関係 (岩手・宮城内陸地震：13事例)

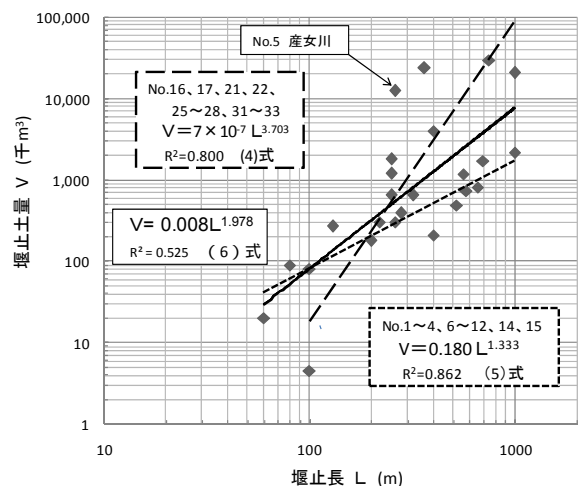


図 - 6.2.3 堰止土量と堰止長の関係 (25事例)

6.3 天然ダムの調査および監視

地震に起因する天然ダムについて、発生（地点、崩壊土量など）を予測し、事前に対策をとることは難しく、発生後の二次災害防止のための緊急対応が主体になると思われるが、以下の課題が考えられる。

- 1) 天然ダムの構造特性（規模、土質など）の把握法（迅速かつ精度など）
- 2) 湛水湖の水深の把握法（簡易、精度、連続性など）
- 3) ダムの安定性（崩壊など）および影響の評価法
- 4) 緊急復旧工法（排水工など）
- 5) 資機材（排水ポンプ、大型ふとんかごなど）備蓄および緊急対応体制

決壊やはん濫のおそれがある天然ダムに対して、図 - 6.3.1 および表 - 6.3.1 に示す8地区において国土交通省による直轄砂防災害関連緊急事業が実施され、ワイヤーセンサー、水位計、監視カメラなどの観測機器が設置されるとともに、排水ポンプの搬入・設置、仮排水路の工事などの対策が順次実施された。その後、大凡1ヶ月後の7月16日の発表では、天然ダム（河道閉塞）の対応方針が出され、天然ダムの状況に応じて次の3区分の対策が取られることとなった^{12) - 14)}。

- a) 河道掘削及び床固工工事により河道閉塞（天然ダム）箇所における決壊・氾濫の可能性を低下させるもの（7箇所）：市野々原、浅布、小川原、湯ノ倉、湯浜、沼倉、沼倉裏沢
- b) 河道閉塞（天然ダム）箇所における決壊の切迫性は小さいものの、今後の降雨に伴う土砂の流出に備え、下流で待ち受け施設を確保するもの（5箇所）：産女川、温湯、槻木平、須川、荒砥沢
- c) 降雨により流路が形成される等、河道閉塞（天然ダム）箇所における決壊の危険性が低いもの（3箇所）：小河原、坂下、河原小屋沢

以上のように、川沿いの斜面の崩落による天然ダム（河道閉塞）について、現時点では事前予測と対策は困難であるので、被災時以降の二次災害防止のための迅速な事後対応が必要である。

国土交通省東北地方整備局では比較的規模の大きい15箇所の天然ダム（表 - 6.3.1 参照）を対象として、地震直後から様々な調査や監視を実施し、復旧に役立てている。以下では主な調査・監視方法について述べる。

(1) 被災規模の把握

航空機搭載型レーザープロファイラ（以下、LP）による調査が実施され、被災後の地形については数m単位での解像度の高い地形データが得られている。一例として、図 - 6.3.2 に湯ノ倉温泉地区の被災後のLPによる地形図を示す。これと旧地形データを比較することにより、表 - 6.3.1 に示している天然ダムの規模を測定することができる。ただし、旧地形に対するLPデータがない場合、2.5万分の1の地形図などを用いることになることから、測定精度は落ちることになる。表 - 6.3.1 に示すデータにおいても、磐井川の下

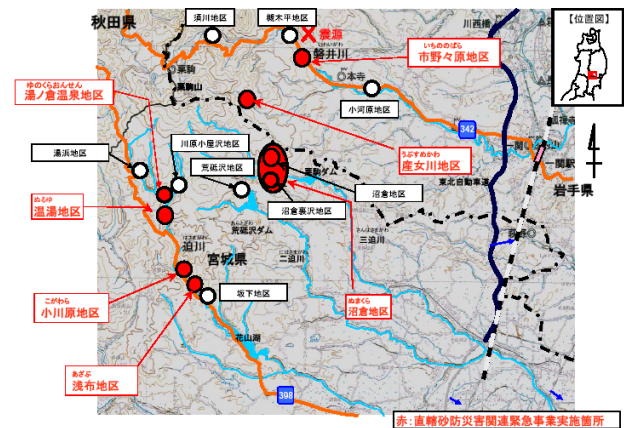


図 - 6.3.1 直轄砂防災害関連緊急事業箇所¹⁵⁾

表 - 6.3.1 国土交通省が対象としている河道閉塞の諸元（国土交通省東北地方整備局¹⁵⁾）

| 地点番号 | 河川名 | 地区名 | 堰止幅 (m) | 堰止長 (m) | 崩落土砂量 (千 m ³) | 監視項目 (直轄のみ) | 直轄砂防災害関連緊急事業 (直轄災関) (応急・本復旧) | 栗駒山系特定緊急砂防事業 (直轄特緊) (砂防施設整備等) |
|------|-----|---------|---------|---------|---------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 岩手1 | 磐井川 | 小河原地区 | 約30 | 約60 | 約20 | | | |
| 岩手2 | 磐井川 | 市野々原地区 | 約200 | 約700 | 約1,730 | 土石流センサー, 水位計, 監視カメラ | 河道掘削, 護岸工 | 砂防えん堤工 |
| 岩手3 | 磐井川 | 槻木平地区 | 約60 | 約160 | 約80 | | | 砂防えん堤工 |
| 岩手4 | 磐井川 | 須川地区 | 約130 | 約280 | 約390 | | | |
| 岩手5 | 産女川 | 産女川地区 | 約200 | 約260 | 約12,600 | 土石流センサー, 監視カメラ, 雨量計 | 河道掘削, 除石工 | 砂防えん堤工 |
| 宮城1 | 迫川 | 坂下地区 | 約20 | 約80 | 約90 | | | |
| 宮城2 | 迫川 | 浅布地区 | 約220 | 約220 | 約300 | 水位計 | 河道掘削, 護岸工 | |
| 宮城3 | 迫川 | 小川原地区 | 約200 | 約520 | 約490 | | 河道掘削, 護岸工 | 斜面対策 |
| 宮城4 | 迫川 | 温湯地区 | 約80 | 約580 | 約740 | 土石流センサー, 水位計, 監視カメラ | 除石 | 砂防えん堤工 |
| 宮城5 | 迫川 | 湯ノ倉温泉地区 | 約90 | 約660 | 約810 | 水位計, 監視カメラ | 河道掘削, 排水ポンプ, 渓流保全工, 床固工 | 砂防えん堤工 |
| 宮城6 | 二迫川 | 荒砥沢地区 | - | - | - | | | |
| 宮城7 | 三迫川 | 沼倉地区 | 約120 | 約300 | 約270 | | 河道掘削, 護岸工 | 砂防えん堤工 |
| 宮城8 | 迫川 | 湯浜地区 | 約200 | 約1,000 | 約2,160 | 水位計, 監視カメラ | 渓流保全工, 床固工 | 砂防えん堤工 |
| 宮城9 | 三迫川 | 沼倉裏沢地区 | 約160 | 約560 | 約1,190 | 土石流センサー | 河道掘削, 護岸工 | 砂防えん堤工 |
| 宮城10 | 迫川 | 川原小屋沢地区 | 約170 | 約400 | 約210 | | | |

流部で発生した小河原地区および市野々原地区の天然ダムについては平成 18 年度に実施した LP データと被災後の LP データを比較することで各諸元を測定している。それ以外の地点については旧地形データとして 2.5 万分の 1 の地形図を用いている。今後、現在の地形に対する LP データの蓄積が進んでいるが有効利用のためにデータベース化が必要である。

(2) 監視体制

表 - 6.3.1 に示すように規模が比較的大きい河道閉塞に対して、土石流センサー、水位計、雨量計、監視カメラによる監視が地震発生直後の 2008 年 6 月末から 7 月末にかけて開始されている。迫川では宮城県の雨量計(湯浜, 温湯, 駒ノ湯, 耕英)や土石流センサー(温湯)と連携して監視を行っている。これら水位計や監視カメラのデータは東北地方整備局のホームページ¹⁶⁾を通じて現在(2009 年 12 月)も公開されている。この監視は栗駒山系特定緊急砂防事業による砂防施設整備が終了するまで継続される予定である。

天然ダムにより堰き止められて、俄かにできた湛水湖では、上流からの流水により水位が上昇し、越流あるいは浸透破壊により天然ダムが崩壊し、下流への二次災害を発生させることが危惧される。そのため、湛水湖の水深変動を簡易かつ迅速に行うことが必要であるが、山間部で発生した天然ダムの水位計測のための水位計設置では、人の立ち入り、資機材の搬送、電源・通信施設の確保などの課題があり、迅速な対応には困難が伴う。迫川上流に位置する湯ノ倉温泉地区および湯浜地区では最寄りの国道 398 号線からのアクセスが悪いことから、監視は 2008 年 7 月に入ってから開始されている。両地区での水位観測は衛星通信を活用した「土研式投下型水位観測ブイ」¹⁷⁾によって行われている。

本地震の天然ダムに対して独立行政法人土木研究所は山間部で発生し、人跡未踏といった天然ダムの水位計測のために、ヘリコプターから投下し、水位観測データの送信が可能な投下型水位観測ブイ(実願 2008-008836)を開発し、本地震において活用している。このブイに必要な機能は、ヘリコプターで空輸し投下設置ができること、人が地上に降り立っての機器調整が不要なこと、水位計の測定範囲が十分あること、ブイに通信装置、電源装置を収容できること、衛星通信を利用してデータ伝送できること、内臓バッテリーで必要期間駆動することなどである。

今回使用された投下型水位観測ブイは、図 - 6.3.3 あるいは写真 - 6.3.1 のように、ブイ、ケージ、ケーブル、水位センサーなどから構成され、運搬時はケージ内にブイが収容され、空輸し易くなっている。水中投下後はケージと水位センサーが河床に沈み、ブイはケージから分離して水面に浮上するとともに、ケージから水深に応じた長さのケーブルが繰り出される。観測された水位データは、ブイに収容された伝送装置から通信衛星を通じて、設定された時間間隔で管理者にメール配信される。今回使用された衛星通信方式は、数十機の低軌道衛星を使用しており、比較的狭隘な山間部でも安定した通信が確保でき、指向性アンテナが不要であったとのことである。今回使用した水位計の測定

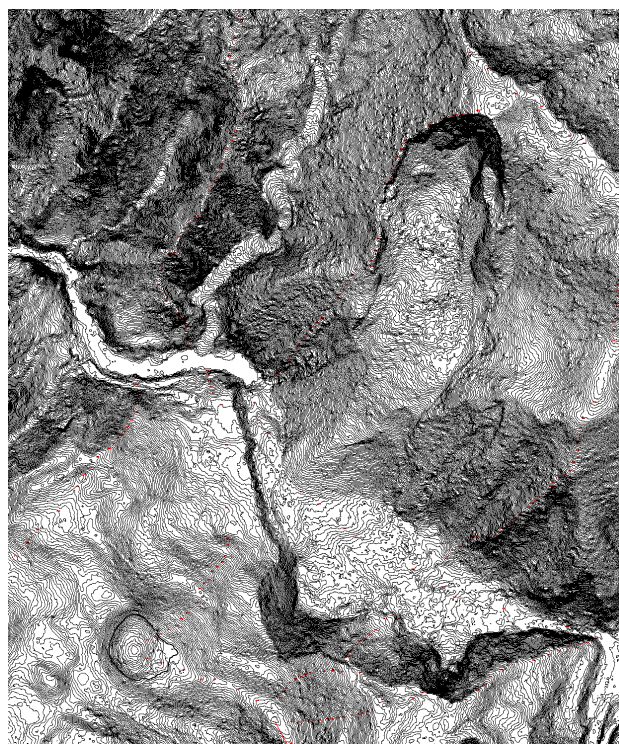


図 - 6.3.2 湯ノ倉温泉地区の LP による地形図
(国土交通省東北地方整備局)

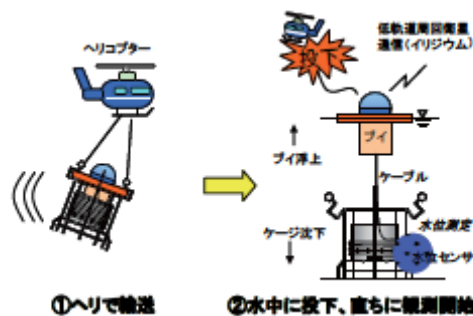


図 - 6.3.3 投下型水位観測ブイの設置方法¹⁷⁾



写真 - 6.3.1 投下型水位観測ブイの外観(左)
および設置後のブイ浮上状況(右)¹⁷⁾

可能範囲は 10m であるので、この範囲で測定可能な水深の地点を探し、水面上 10m に降下したヘリコプターからケージを吊り降ろして着水、沈下させている(写真 - 6.3.1 参照)。

水位計が設置されたのは湯浜地区の天然ダムであるが、天然ダムの水位変動がリアルタイムで遠隔監視でき、最新の技術を駆使して効果的に行われた。湯浜、湯ノ倉の両地点の水位データは東北地方整備局のホームページ¹⁶⁾を通じて現在(2009 年 12 月)も公開されている。陸上でのアクセスが困難な山間部において迅速に監視する手段の一つとして有用と思われる。

陸上でのアクセスが困難な地区があることや河道閉塞箇所が広範囲にわたっていることから、地震直後からヘリコプターによる監視も継続して行われている。地震発生後1年間で計44回実施され、降雨や雪解けによる出水状況にあわせて実施されている。標準的な飛行ルートは、花山ダムから迫川上流、荒砥沢ダム、沼倉地区からドゾウ沢上流、産女川上流から須川地区、磐井川上流から下流に至るものである。各地点における空撮写真は東北地方整備局のホームページ¹⁶⁾を通じて現在(2009年12月)も公開されている。

6.4 河道閉塞の復旧計画とその実施状況

表 - 6.3.1 に示した河道閉塞箇所に対して、国土交通省東北地方整備局は、

- ・直轄砂防災害関連緊急事業(直轄災関): 応急復旧および本復旧が対象で2010年3月まで。
- ・栗駒山系特定緊急砂防事業(直轄特緊): 砂防施設等の整備が対象で2009年から約5年間。

の事業を計画・実施している。ここでは主にこれらの国土交通省東北地方整備局による復旧について述べる。

なお、被災地の多くは国有林であり、河道閉塞を引き起こした斜面崩壊については林野庁東北森林管理局が復旧を行っている。川原小屋沢地区、荒砥沢地区、尿前川など一部の河道閉塞(図 - 6.1 中の地点番号 5-6, 8-9, 11, 44-49 など)については林野庁東北森林管理局が河道掘削や砂防えん堤工などの対策¹⁸⁾を実施している。

6.4.1 応急復旧および本復旧(直轄災関)

地震直後の2008年6月から2010年3月までに実施された国土交通省東北地方整備局による直轄砂防災害関連緊急事業の対象となった地点(表 - 6.3.1 に示す9箇所)について応急復旧と本復旧の概要を述べる。表 - 6.4.1 に各地点における工程の概要を示す。

(1) 市野々原地区(岩手2)

市野々原地区では、磐井川右岸の比較的緩斜面が地すべりに崩壊し、併せて約860mにわたって磐井川が堰き止められた。推定崩壊土量が173万³m³である上流側の市野々原の天然ダムの堤長は約700mであり、磐井川流域では最大長である。地すべり性崩壊のため天然ダム堤体の乱れは比較的少なく、天然ダムの透水性は低いと推定できる。また、天然ダムの堤幅も広く、河床勾配も比較的緩やかであることから、長さ1kmを超える大きな堰止湖が発生しており、堰止湖の規模としては今回の地震で最大規模のものである。

2008年6月17日に応急復旧工事に着手している。同6月19日から20日にかけてポンプ6台を順次敷設および稼働を開始し、さらに並行して仮排水路の掘削を24時間体制で進めている。崩壊土を避ける形で左岸側の地山を掘削して排水路を施工している。同6月21日に仮排水路による通水を開始し、同8月15日に仮排水路が完成している。仮排水路の完成によって越流や堰止湖の大きな水位上昇は発生していない。

表 - 6.4.1 応急復旧の工程(国土交通省東北地方整備局)

| 地点番号 | 地区名 | 2008年 | | | | | | | | | | | | 2009年 | | | | | | | | | | | | 2010年 | | | | | | | | | | |
|-------|---------|-------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 浅布地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 小川原地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 温湯地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 湯ノ倉温泉地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 湯浜地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16,17 | 沼倉裏沢地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 沼倉地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 産女川地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27,28 | 市野々原地区 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

—: 応急復旧 —: 本復旧

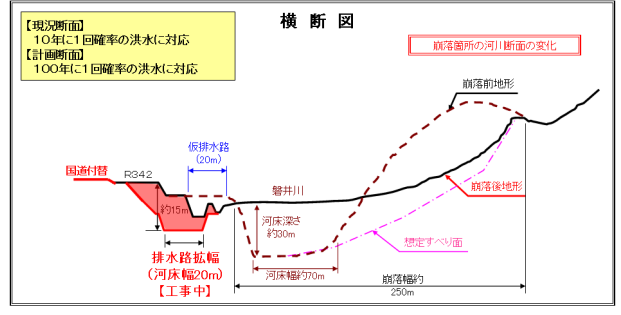
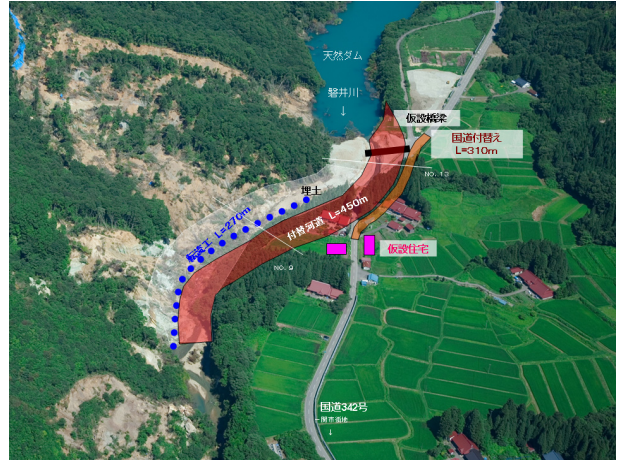


図 - 6.4.1 市野々原地区(岩手2)の本復旧の平面・横断面(国土交通省東北地方整備局)



写真 - 6.4.1 市野々原地区(岩手2)の本復旧後の流路(撮影: 国土交通省東北地方整備局, 2009/11/17)

2009年1月29日に本復旧工事に着手している。図 - 6.4.1 に本復旧工事の平面および横断の模式図を示す。排水路を

拡幅するため平行する国道 342 号線の付替工事 (L=310m) を行い、新たな河道 (河床幅 20m, L=410m) を掘削し、2009 年 12 月 3 日には新河道への転流が行われている (写真 - 6.4.1)。

(2) 産女川地区 (岩手 5)

磐井川の支流である産女川の河道閉塞は崩壊土砂量 (約 1260 万 m^3) としては今回の地震では最大規模のものであり、産女川を約 260m にわたって堰き止めている。なお、左岸側の崩壊部源頭部から流下下端までの距離が約 2km と長くなっているのは、崩壊土の一部が土石流となって流下したためと思われる。

天然ダムへのアクセスは困難なため、2008 年 6 月 25 日より下流域の複数の既設砂防えん堤の除石を実施し、同 11 月 27 日に完了している。

(3) 浅布地区 (宮城 2)

浅布地区では長さ約 220m にわたって一迫川が堰き止められた。堰止湖の長さは約 330m (2008 年 6 月 18 日撮影の航空写真³⁾より測定) であり、上流部側にある水無橋付近の落差はみえなくなっている。崩壊土は土砂が主体であるが、1.0m を越える巨レキも存在している。

2008 年 6 月 17 日に応急復旧工事を開始し、同 6 月 22 日には既設水路が、同 6 月 25 日には延長約 200m の仮排水路が通水している。同 8 月 29 日に仮排水路が完成している。

2009 年 2 月 17 日に本復旧工事に着手し、断面を拡大した本復旧の排水路 (底面幅 30m, 深さ 5.1m) 工事を実施している (写真 - 6.4.2)。本復旧工事の内容は溪流保全工 (L=188m), 床固め工 (1 基), 帯工 (1 基), 根固め工であり、2010 年 2 月 17 日完成予定である。

(4) 小川原地区 (宮城 3)

小川原地区では長さ約 520m にわたって一迫川が堰き止められた。堰止湖の長さは約 600m (2008 年 6 月 18 日撮影の航空写真³⁾より測定) であり、左岸側の水田の一部は冠水している (同 6 月 28 日)。崩壊土は川から約 100m 離れた国道 398 号線を越え、民家のすぐ脇まで堆積しており、崩壊土の流下距離が長い点が特徴である。崩壊土は土砂が主体であるが、1.0m を越える巨レキや倒木も存在している。

2008 年 6 月 17 日に応急復旧工事を開始し、同 6 月 27 日には延長約 475m の仮排水路が通水している。同 8 月 29 日に仮排水路が完成している。

2009 年 2 月 5 日に本復旧工事に着手し、断面を拡大した本復旧の排水路 (底面幅 30m, 深さ 5.0m) 工事を実施している (写真 - 6.4.3)。本復旧工事の内容は溪流保全工 (L=356m), 帯工 (2 基), 根固め工であり、2010 年 2 月 17 日完成予定である。

(5) 温湯地区 (宮城 4)

温湯地区では、一迫川沿いの急傾斜地で比較的小規模な斜面崩壊が多発し、崩壊土が流入しているが、大きな堰止湖は発生していない。

2008 年 6 月 27 日より 2 基の既設えん堤の除石工 (約



写真 - 6.4.2 浅布地区 (宮城 2) の本復旧後の排水路
(撮影: 国土交通省東北地方整備局, 2009/12/11)



写真 - 6.4.3 小川原地区 (宮城 3) の本復旧後の排水路
(撮影: 国土交通省東北地方整備局, 2009/12/11)



写真 - 6.4.4 温湯地区 (宮城 4) の除石工
(撮影: 国土交通省東北地方整備局)

20,000 m^3) を実施し、同 10 月 20 日に完了している (写真 - 6.4.4) 同 10 月 24 日に発生した湯ノ倉温泉の大規模侵食では約 10 万 m^3 の土砂が流出したが、これらの対策によって温湯地区で流出土砂が捕捉され下流域への影響を防ぐこ

とができた。この影響で満砂となったため、その後同 11 月に再度除石を実施している。

(6) 湯ノ倉温泉地区（宮城 5）

湯ノ倉温泉地区では長さ約 660m にわたって一迫川が堰き止められた。堰止湖の長さは約 700m（2008 年 6 月 28 日撮影の写真より測定）であり、湯ノ倉温泉の旅館の建物（2 階建て）は屋根だけが見える状態である。崩壊土砂量は 81 万 m^3 と推定されており、一迫川流域の河道閉塞では二番目の規模である。図 - 6.3.2 の LP による被災後の地形と旧地形（2.5 万分の 1 地形図）の比較によると、天然ダム底部の長さは約 660m、最大高さは約 30m である。崩壊土は山頂付近の溶結凝灰岩とその下の凝灰岩からなり、土砂が主体であるが、1m を越える巨レキや倒木も多くみられる。湯ノ倉温泉では降雨の影響により越流が度々発生しており、天然ダムの天端標高 395.4m に水位が達した回数は 2008 年 11 月までに 5 回ある。同 10 月 24 日の越流時には大規模侵食が発生した。同 24 日 2:00～21:00 間の累加雨量が 106mm に達しており、これは地震以後最大の連続雨量となっている。この越流による天然ダムの侵食により、堰止湖の水位は 10m 程度低下した。

現地へのアクセス道路がなく、工事用道路の造成に時間がかかることから、当初は重機の搬入にヘリコプターを用いている。2008 年 7 月 5 日にポンプ排水を開始し、同 8 月 12 日には右岸側の仮排水路による通水を開始した。その後、2 本目の排水路が計画されていたが、水位が急激に上昇した 10 月 24 日に堤体が侵食された。これにより水位低下により天然ダムの浸透破壊に対する危険性は低くなったが、新たに形成された水路がさらに侵食される可能性があるため、ダム流下端部の耐侵食性を高めるための帯工を同 11 月 20 日に設置した。

本復旧でもさらに帯工を追加し 5 基を設置するとともに、左岸斜面の安定化のための斜面整形を実施し、2009 年 11 月 30 日に本復旧工事を終了している（写真 - 6.4.5）。

(7) 湯浜地区（宮城 8）

湯浜地区では長さ約 1,000m にわたって一迫川が堰き止められた。堰止湖の長さは約 500m（2008 年 6 月 16 日撮影の航空写真³⁾より測定）であるが、湛水量は約 785 万 m^3 であり一迫川流域の河道閉塞では最大規模である。また、崩壊土砂量は 216 万 m^3 と推定されており、これも一迫川流域の河道閉塞では最大規模である。崩壊土は軽石質凝灰岩、溶結凝灰岩を主として、50cm～200cm の岩塊が表面を覆っており、倒木も含まれている。越流した回数は 2008 年 11 月までに 5 回であり、越流回数は湯ノ倉温泉と同様であるが、越流時を除いて水位変化は小さい。湯浜地区では湯ノ倉温泉とは異なり、越流時に堤体が大きく侵食されることはなく、天然ダム表面に自然水路が形成されている。

湯浜は湯ノ倉温泉よりもさらにアクセスが悪く、地形が急峻であることから、2008 年 9 月 29 日に工事用道路の造成に着手し、そのまま冬季間の工事休止となった。2008 年度には水位観測や天然ダムの監視は行われているものの、応急復旧工事はなされていない。

本復旧は 2009 年春より実施し、湯ノ倉温泉同様に堤体下



写真 - 6.4.5 湯ノ倉温泉地区（宮城 5）の本復旧後の排水路
（撮影：国土交通省東北地方整備局，2009/11/28）

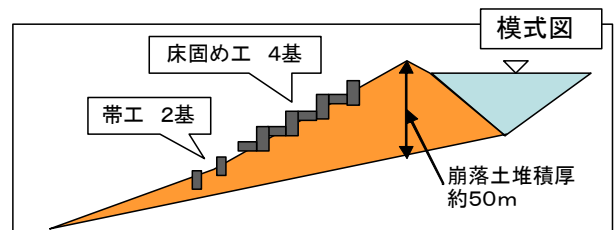


図 - 6.4.2 湯浜地区（宮城 8）の本復旧断面の模式図
（撮影：国土交通省東北地方整備局，2009/10/30）



写真 - 6.4.6 沼倉地区（宮城 7）の本復旧後の流路
（撮影：国土交通省東北地方整備局，2009/11/6）

流部に床固め工（4 基）、帯工（2 基）が設置され、2009 年 12 月 15 日に完成している（図 - 6.4.2）。

(8) 沼倉地区（宮城 7）

沼倉地区は三迫川左岸側の斜面崩壊によって生じた河道閉塞であり、行者の滝のすぐ上流部に位置している。斜面崩壊が発生した斜面の傾斜は約 19 度であり比較的緩い斜面となっているのが特徴である。また、閉塞土には岩塊等はほとんど認められず土砂が主体となっており、大量の流木が混在している。

2008 年 7 月 1 日より倒木処理や仮排水路整備に着手し、同 9 月 30 日に仮排水路が完成している。

2009 年 1 月 28 日に本復旧に着手し、溪流保全工（L=247m）を 2010 年 2 月 17 日に完了する予定である（写真 - 6.4.6）。

(9) 沼倉裏沢地区（宮城 9）

沼倉裏沢地区は御沢沿いの右岸側および少し下流の左岸側の斜面崩壊によって生じた河道閉塞であり、両者の崩壊土はほぼ連続している。上流側の沼倉裏沢の斜面崩壊は規模が比較的大きく、崩壊土量は約 119 万 m³、天然ダムの堤長は約 560m と見積もられている。なお、下流の栗駒ダムでは 2008 年 6 月 21 日午前 0 時 30 分に約 37 万 m³の流入が観測されている¹⁹⁾。このため、ダムの水位は約 90cm 上昇したが、事前に放流をして空容量を確保していたため下流への影響はなかった。ダムが砂防機能を果たした一例である。この流入の原因は沼倉裏沢の天然ダムの越流（写真 - 6.4.7）によると考えられている。実際、同 6 月 28 日時点では天然ダム表面に自然水路が形成されている。

2008 年 7 月 1 日より倒木処理や河道修正を実施しており、同 10 月 24 日に完了している（写真 - 6.4.8）。



写真 - 6.4.7 沼倉裏沢地区（宮城 9）の越流状況
（撮影：国土交通省東北地方整備局，2008/6/20～21）



写真 - 6.4.8 沼倉裏沢地区（宮城 9）の復旧後の流路
（撮影：国土交通省東北地方整備局，2008/10/8）

6.4.2 今後の対策

本復旧に引き続き栗駒山系特定緊急砂防事業（直轄特緊）として、今後 5 年間の計画で砂防施設等の整備が実施される予定である。表 - 6.2.1 に示す 8 箇所（1 箇所は斜面対策）ではその下流部に砂防えん堤の設置が予定されている。これらの砂防えん堤の設置位置を図 - 6.4.3 に示す。なお、図には示していないが、磐井川・産女川（岩手県）、迫川・三迫川（宮城県）では県による災害補助事業として砂防えん堤が計画されている。

6.5 天然ダムの地盤工学的性質

斜面崩壊によって発生する天然ダムの性質は斜面崩壊の形態に影響される。市野々原地区のように地すべりブロックが堤体となる場合や湯浜・湯ノ倉地区などのように岩盤斜面の崩壊土が堤体となる場合もある。また、崩壊土にも巨レキや倒木が含まれている場合もあるなど、天然ダムの構成土は斜面崩壊の流下距離の影響も受けている。ここでは、比較的規模の大きい湯ノ倉温泉地区の天然ダムを一例として、天然ダムの地盤工学的性質について述べる。

湯ノ倉地区の崩壊土は左岸斜面の山頂付近の溶結凝灰岩とその下の凝灰岩からなる。土砂が主体であるが、1m を越える巨レキや倒木も多くみられる（写真 - 6.5.1）。崩壊土より採取した試料より得られた粒径加積曲線を図 - 6.5.1 に示す。図に示すように土砂には細粒分が多く含まれるこ

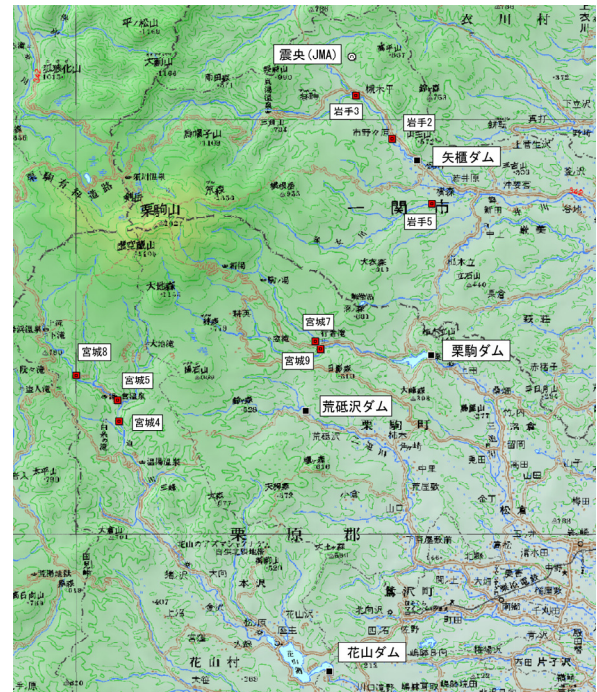


図 - 6.4.3 国土交通省（直轄特緊）による砂防えん堤の計画位置
（国土交通省東北地方整備局，地図はカシ米尔 3D を使用）

とがわかる。このため締固め試料に対する透水係数は 2.3×10^{-6} cm/s と小さい値になっている。

図 - 6.5.2 に示す堤体天端において 2009 年 10 月にボーリ



写真 - 6.5.1 湯ノ倉温泉地区の天然ダム の堤体表面
(撮影：鈴木宏明(東北大学), 2008/7/20)

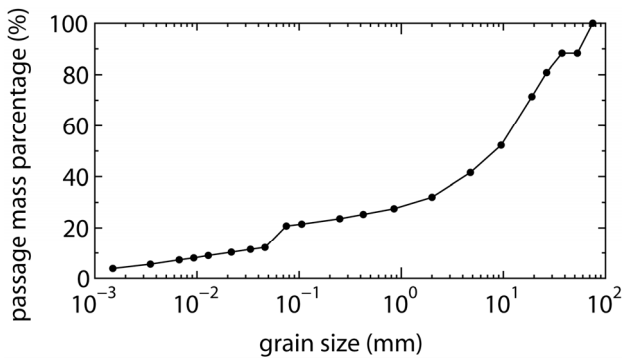


図 - 6.5.1 湯ノ倉温泉地区の崩壊土の粒度分布

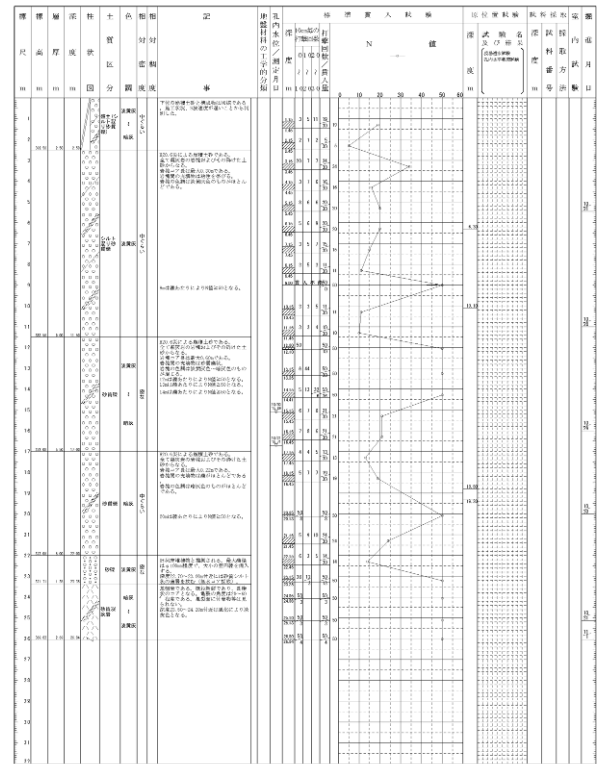


図 - 6.5.3 湯ノ倉温泉地区におけるボーリング柱状図

土で構成されている。N 値の分布に示すように表層 10m 程度はレキ当たりも少なく N 値は 10~20 程度である。なお、表層 2m 程度は復旧工事において堤体を整形した影響があり乱れている可能性がある。深度 10m 以深ではレキ当たりが多くなり、深度 17m あたりで再び N 値が 20 前後となっている。これより表層 10m の範囲では径の大きい岩塊が少ないが、これより深い深度では岩塊の比率が大きくなっていると思われる。図 - 6.5.2 に示すように調査地点は崩壊した斜面の直下に位置していることから、斜面崩壊によって発生した岩塊が先に堆積し、その後、比較的粒径の小さい崩落土が堆積した可能性がある。また、同ボーリング孔を用いて実施したダウンホール法による PS 検層の結果、N 値の深度分布に対応して表層 10m では S 波速度が 340m/s であるが、それ以深では 540m/s と大きくなっている。2008 年 10 月 24 日の大規模侵食では、堤体が 15m 程度低くなっており、表層の土砂分の多い比較的緩い層に加えて岩塊の多い比較的堅い層も侵食されたと考えられる。

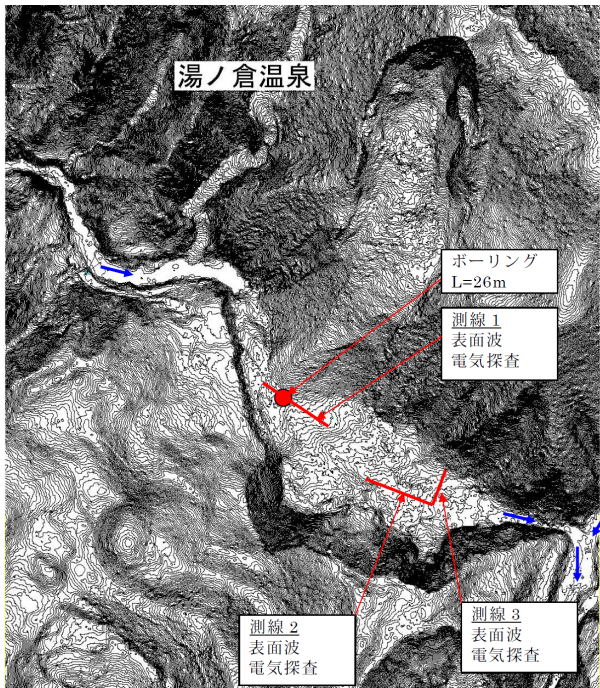


図 - 6.5.2 湯ノ倉温泉地区におけるボーリング位置図

ングおよび原位置試験を実施した。ボーリング柱状図および標準貫入試験による N 値の深度分布を図 - 6.5.3 に示す。深度約 22m で旧河床堆積物が現れており、それ以浅が崩壊

6.6 荒砥沢ダム上流部の地すべり近傍の天然ダム

荒砥沢ダム上流部の大規模地すべり近傍では、地すべり発生直後、複数の天然ダムが形成されたが、その後の降雨などの影響により地すべり土塊を取り囲むように多くの堰止湖が形成されている。しかしながら、地震直後には確認できなかった天然ダム(地すべり土塊の東側)については、4学協会報告書¹⁾では記述されていない。そこで、ここでは地震直後には確認できなかった天然ダムを含めて、大規模地すべり近傍での天然ダムについて整理する。

これら天然ダムの多くは地すべり土塊の末端部に集中して認められた。本地域では、小規模な河川が地すべり土塊によって閉塞された影響で形成された小規模な天然ダムが多く、地すべり土塊を囲む様にU字状に分布する。

荒砥沢地すべり近傍の天然ダムは小規模なこと、周辺には人家はなく、下流側には荒砥沢ダムがあること等から河道閉塞に対する対策は取られていない。

以下に荒砥沢地すべりで発生した8箇所の天然ダムの記録を示すとともに、図-6.6.1にそれらの位置を示す。

(1) 土塊東側天然ダム (写真-6.6.1)

右ヨモギクボ沢が地すべり土塊によって閉塞されたために形成された天然ダム。震災翌日の2008年6月15日の写真では確認できない。

(2) 土塊東側天然ダム (写真-6.6.2)

右ヨモギクボ沢の支流が地すべり土塊によって閉塞されたために形成された天然ダム。震災翌日の2008年6月15日の写真では確認できない。

(3) 土塊東側天然ダム (写真-6.6.3)

右ヨモギクボ沢の支流が地すべり土塊によって閉塞されたために形成された天然ダム。震災翌日の2008年6月15日の写真では確認できない。

(4) 土塊東側天然ダム (写真-6.6.4)

荒砥沢地すべりの東側に位置する天然ダム。大きな沢を閉塞された結果にできた天然ダムではなく、移動土塊が山



写真-6.6.1 天然ダムを下流側(南側)から撮影



写真-6.6.2 天然ダムを西側から撮影

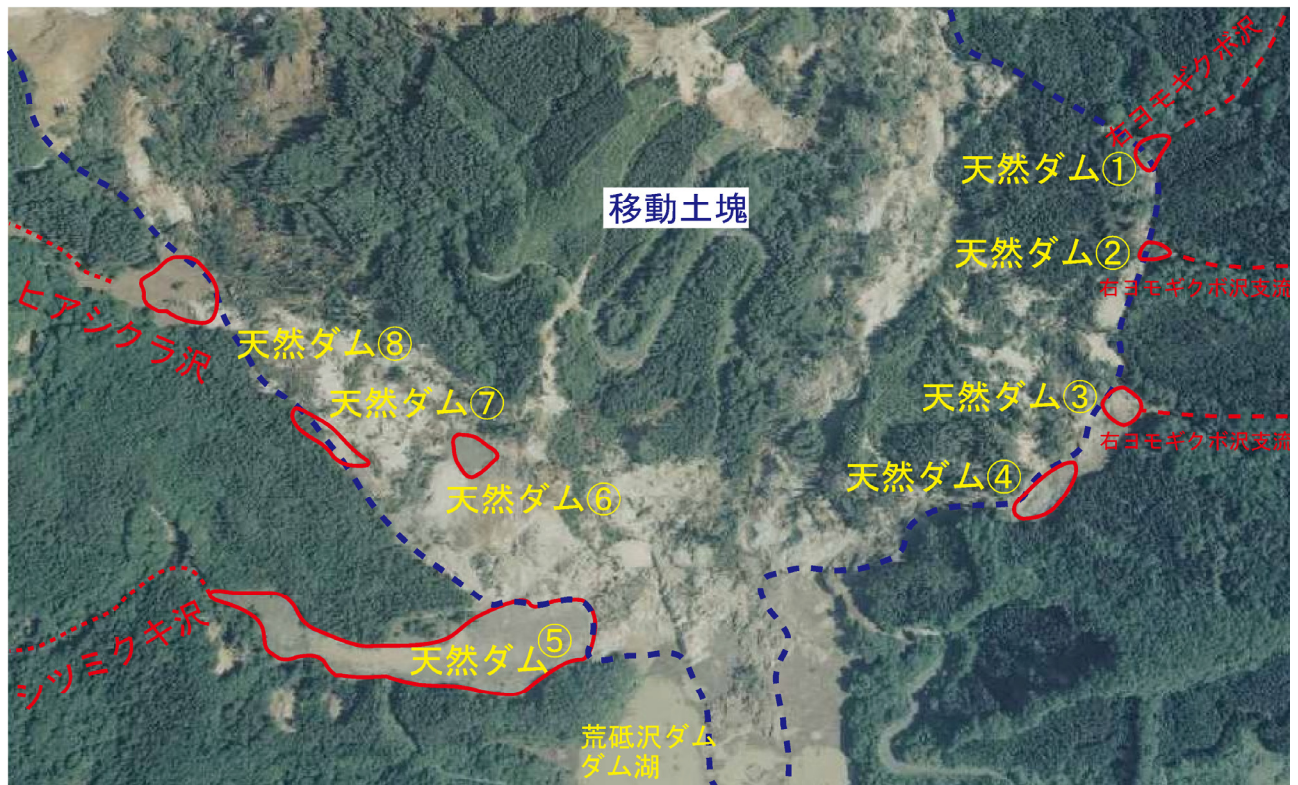


図-6.6.1 荒戸沢天然ダム近傍天然ダム位置図(背景には国土地理院³⁾の空中写真使用)



写真 - 6.6.3 天然ダム を西側から撮影



写真 - 6.6.5 天然ダム を下流側から撮影



写真 - 6.6.4 天然ダム を下流側から撮影

にぶつかった際にできた凹地に水が貯まった天然ダム。震災翌日の2008年6月15日の写真では確認できない。

(5) シツミクキ沢天然ダム (写真 - 6.6.5)

荒砥沢地すべり土塊の西側に位置する天然ダム。地すべり土塊西側から流れるシツミクキ沢が地すべり土塊により閉塞された影響で形成された。今回、荒砥沢地すべりによって形成された天然ダムの中で最も規模が大きい。震災翌日の2008年6月15日の写真には映っているが、2008年6月21日に現地調査に行った際には既に決壊していた(写真 - 6.6.6)。

(6) 土塊西側天然ダム (写真 - 6.6.7)

本天然ダムは、移動土塊内に位置する。元々ヒアシクラ沢が流れていた沢上に位置することから、ヒアシクラ沢閉塞による天然ダムとみることができる。後日決壊し、天然ダム内の水はすべて流出した。

(7) 土塊西側天然ダム (写真 - 6.6.8)

本天然ダムは、移動土塊と山地斜面の境界部に位置する。同様に元々ヒアシクラ沢が流れていた沢上に位置することから、ヒアシクラ沢閉塞による天然ダムとみることができる。震災翌日の2008年6月16日の写真では確認できないことから、斜面からの水の供給もあったと推定される。

(8) 土塊西側天然ダム (写真 - 6.6.9)

ヒアシクラ沢が地すべり土塊によって閉塞された影響で形成された天然ダム。震災翌日の2008年6月15日の写真には映っているがその後の土砂流入により著しく形が変形した。



写真 - 6.6.6 天然ダム 閉塞部(決壊部は大きくえぐれている)



写真 - 6.6.7 天然ダム を上流側から撮影



写真 - 7.6.8 天然ダム を東側から撮影



写真 - 6.6.9 天然ダム を東側から撮影

謝辞

河道閉塞の監視および復旧に関する資料は国土交通省東北地方整備局よりご提供頂いた。斜面崩壊に関する文献に関しては、国土技術政策総合研究所地震防災研究室の片岡正次郎主任研究官にご協力頂いた。湯ノ倉温泉地区での天然ダム堤体の地盤調査は、科学研究費(課題番号 21360220)および(社)東北建設協会による平成 20 年度技術開発支援制度の援助のもと、国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所および応用地質株式会社東北支社にご協力頂いた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 平成 20 年岩手・宮城内陸地震 4 学協会東北合同調査委員会：平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告，2009.6
- 2) 国土交通省東北地方整備局：直轄砂防災害関連緊急事業記者発表，平成 20 年 6 月 19 日
- 3) 国土地理院 HP：
<http://zgate.gsi.go.jp/iwate2008/index.htm>
- 4) Tokida, K.: Natural dams built by sliding failure of slope during the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008, Pro. of International Symposium on Prediction and Simulation Methods for Geohazard Mitigation, No.111, 2009.
- 5) 常田賢一：地震時の天然ダムと土石流の発生特性に関する考察，第 30 回地震工学研究発表会，No.5-0008，2009.
- 6) 内田太郎，片岡正次郎，岩男忠明，松尾修，寺田秀樹，中野泰雄，杉浦信男，小山内信智：地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.204，2004.
- 7) 田畑茂清，水山高久，井上公夫：天然ダムと災害，古今書院，2002.
- 8) 井上公夫，南哲行，安江朝光：天然ダムによる被災事例の収集と統計的分析，昭和 62 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.238-241，1987.
- 9) 建設省中部地方建設局：昭和 61 年度地震後対策調査検討業務報告書(財)砂防・地すべり技術センター，pp.119，1987.
- 10) 国土交通省北陸地方整備局：新潟県中越地震 - 北陸地方整備局のこの一年 - ，第 3 章 第 12 節 芋川河道閉塞対策，2005.
- 11) 国土交通省北陸地方整備局：平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震芋川河道閉塞における対応状況，2004.
- 12) 国土交通省東北地方整備局：災害現地対策本部 活動通信，No.1～No.40，平成 20 年 6 月 23 日
- 13) 国土交通省東北地方整備局：直轄砂防災害関連緊急事業記者発表，平成 20 年 6 月 25 日
- 14) 国土交通省東北地方整備局：直轄砂防災害関連緊急事業記者発表，平成 20 年 7 月 16 日
- 15) 国土交通省東北地方整備局：岩手・宮城内陸地震発生から 1 年～東北地方整備局における災害への対応状況について～，2009.6
- 16) 国土交通省東北地方整備局：岩手・宮城内陸地震関連情報，<http://www.thr.mlit.go.jp/>
- 17) 独立行政法人土木研究所：平成 20 年(2008 年)岩手・

宮城内陸地震被害調査報告，土木研究所資料，第 4120 号，pp.63-64，2008.12

- 18) 林野庁東北森林管理局：平成 20 年岩手・宮城内陸地震災害復旧対策の取組状況(平成 21 年 11 月 27 日)，
<http://www.tohoku.kokuyurin.go.jp/>
- 19) 宮城県：http://www.pref.miyagi.jp/kikitaisaku/saigai_index.htm