

岩手・宮城内陸地震における河道閉塞
(天然ダム) 対応について

危機管理技術研究センター長

西本 晴男

岩手・宮城内陸地震における河道閉塞（天然ダム）対応について

危機管理技術研究センター長
西本晴男

1. はじめに

平成 20 年 6 月 14 日に発生した最大震度 6 強の地震は、岩手・宮城県境付近を中心に大きな被害をもたらした。特に、震源が栗駒火山の火山噴出物が厚く堆積している山体直下であったことから、多くの山腹崩壊等の土砂災害が発生した。このため、国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センターおよび土木研究所土砂管理研究グループが災害直後より現地調査を始め、種々の危機管理的現地対応等を行ったのでその概要を報告する。なお、本稿で用いた数値等は、既往資料や速報値によるものを含むため、今後変更される可能性がある。

2. 地震と土砂災害の概要

2.1 地震の概要

6 月 14 日 8 時 43 分に、北緯 39 度 1.7 分、東経 140 度 52.8 分（岩手県内陸南部）の深さ 8km を震源とする M7.2 の地震が発生した。この地震により、震度 6 強を記録したのが岩手県奥州市と宮城県栗原市、震度 6 弱を記録したのが宮城県大崎市、震度 5 強は岩手県一関市、宮城県仙台市、秋田県湯沢市をはじめ多くの市町村において記録し、北海道から関東まで広い範囲で揺れが観測された。この地震では、多くの余震が観測されたが震度 5 強以上の強い余震は観測されなかった。

2.2 土砂災害の概要

今回の地震で発生した土砂災害のうち、特に緊急の対応を行う必要があった河道閉塞（天然ダム）（以下、「天然ダム」と書く）は岩手県一関市の磐井川流域と、宮城県栗原市の迫川流域に集中して発生した。このほか、三迫川上流域のドゾウ沢の源頭部を発生源とする大規模な土石流が発生した。また、二迫川に建設された荒砥沢ダムの貯水池末端付近で大規模な地すべりが発生した（図-1）。

この地震によって 48 件の土砂災害（土石流 24 件、地すべり 9 件、がけ崩れ 15 件（平成 20 年 7 月 31 日まで本省保全課調べ）を含め、約 3,500 箇所以上の山腹崩壊・地すべりが発生¹⁾している。これらの土砂災害によって、18 名の死者・行方不明者が出た。

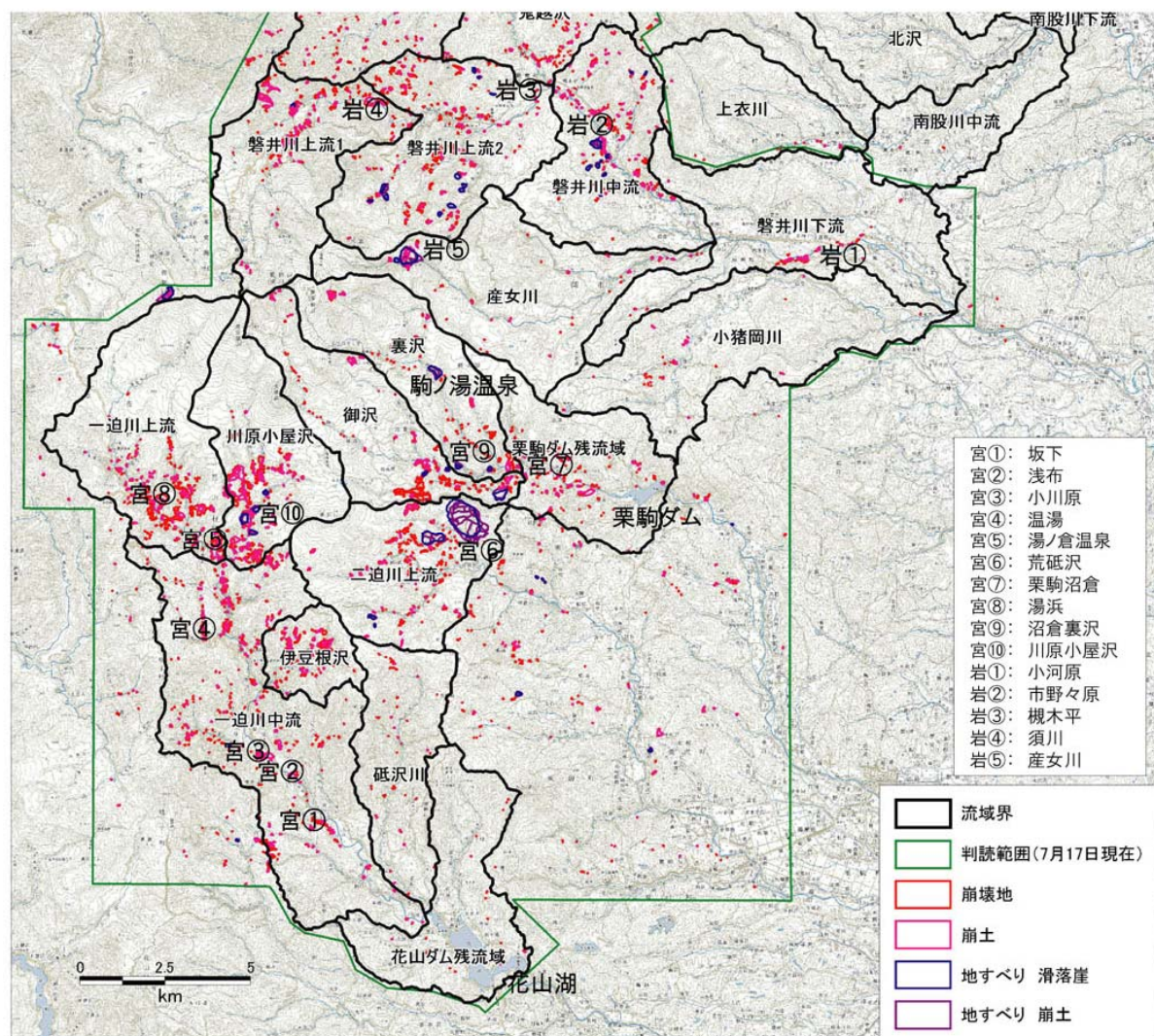


図-1 崩壊地および緊急の対応を検討した天然ダムの位置¹⁾

3. 地震後の土砂災害対応活動

国総研危機管理技術研究センターおよび土木研究所土砂管理研究グループは、発災当日よりTFC-FORCE 隊員等として職員を派遣し、現地での技術支援を行った。7月末までのその総数は延べ80人日となり、その後も状況変化に対応して随時職員の派遣を続けている。

現地で行った支援活動は主に以下の8項目に分類される。

1) 先遣隊としての状況把握

地震発生日に宮城県入りし、東北地方整備局にて打ち合わせを行い、翌日早朝よりヘリコプターにより状況把握を行い、多数の山腹崩壊箇所のうち天然ダムを形成する可能性のあるものを抽出していった。多数の山腹崩壊が発生した場合、初動調査としてはヘリによる調査に頼らざ

るを得ないが、その中から湛水が生じていない段階で河道閉塞箇所を見つけ出すことは意外に困難であり、地整職員と同乗して調査方法等を指導した。

2) 土砂災害対策緊急支援チームの指揮

大規模地震後には、斜面が実際には崩壊していなくても表層土が緩んでいたり、斜面や溪流の途中に不安定土砂が滞留している場合があるため、土砂災害危険箇所に対して安全確認を行う必要がある。特に、震度が5強を超えると崩壊箇所が多数になる可能性があるため、対象エリアが広範になると地元機関だけでは対応が困難になる場合がある。そのため、今回の地震でも第4章に詳述しているように多数の調査支援チームを組織した。その総指揮を国総研危機管理技術研究センター長が執った。

3) 災害状況・諸元の把握、想定現象の提示

大規模な災害現象は経験する機会が多くはないため、状況判断や今後起こりうる現象の想定が難しい。そのため、第5章から第10章までに示すように、主要現象に対して状況把握・分析を行い、今後の展開を予想して、対策を実行する主体である地方整備局や県などに対して、所見・分析結果等を応急対策・恒久対策の方向性決定のための判断材料として提供した。

4) 警戒避難体制構築支援

大規模災害直後には、被害が及ぶ可能性のある地域の住民は、まず避難をしてもらうことになるが、状況が判明するにしたがって避難の範囲を縮小していく必要が生ずる。その場合に、想定される現象に対して、実際に発生する、あるいは発生が予想される段階になってから避難しても間に合う場合にはセンサー類を整備することで対応が可能となる。また、行方不明者の搜索活動や危険な区域内での応急対策を実施する人に対しても、警戒避難体制の整備は安全確保のために重要である。多数の崩壊箇所等が広域に発生した今回のケースでは、TVカメラ、土石流検知ワイヤーセンサ、水位計、雨量計等、多数のセンサを効率的に配置する必要があった。また、目的も、河道内での作業者に対するものと、流域住民に対するものとがあり、情報伝達系統にも配慮が必要であった。

5) 観測困難箇所への新規開発機器の投入

今回形成された天然ダムのうち、一迫川最上流の湯浜地区については侵入路が無く、ヘリによる目視観察以外には状況把握が極めて困難であった。そのため、土研火山・土石流チームでは東北地整からの依頼に対応して、約1週間でヘリによる投入が可能な水位観測ブイを開発・製作し、7月5日に現地に投入して衛星携帯を通じてのデータ取得を可能にした。

6) 関係機関の活動の安全確保指導

今回の災害では、10月末時点でもなお8名の行方不明者がいる。発災直後には、自衛隊、県警、消防、地元市などが毎日数百人規模で被災者の救出・搜索活動を行った。その際に、土砂災害に関しては知識をあまり持っていない人が多数危険地域内で行動することになるため、現地対策本部等において注意点の説明を行い、その後も個別搜索箇所等に関する安全確認の依頼に対応した。

7) 現地状況変化の確認・解説

第10章に紹介する天然ダムからの出水のように、現地では日々状況が変化しており、それが周辺の安全度にどのような変化をもたらしているのかは、地域内の関係者の重大な関心事である。天然ダムでの越流侵食や荒砥沢の大規模地すべり周辺における斜面状況変化、降雨後の天然ダムの状況変化、応急対策による周辺地域の安全度変化等、様々な局面で関係者やマスコミを含む一般の人向けに状況を解説する必要があった。10月末までに、国総研・土研としての調査所見等を記者発表する機会が延べ12回あった。

8) 学会調査への支援

大規模災害時には専門性の高いメンバーで構成された学会調査団が調査に入るケースが多いが、現場担当者が対応しかねる場合に、既取得の情報を提供することで調査の効率化を図ることができる。

4. 土砂災害危険箇所緊急点検

岩手・宮城両県で土砂災害が発生したことをふまえ、土砂災害危険箇所等の緊急点検を6月15日より19日まで5日間にわたり実施した（写真-1）。

点検・調査対象は、震度6強・6弱・5強を観測した岩手県5市町、宮城県6市町における2,770箇所の土砂災害危険箇所とした。

点検体制としては、国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター長を本部長とする支援チームを、下記機関の150班、約670名で編成した。

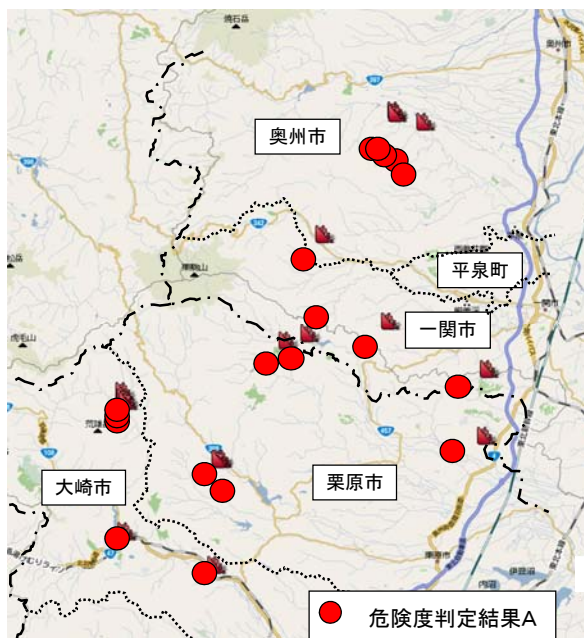
- ・国土交通省－TEC-FORCE で参加（延べ約310名：本省砂防部砂防計画課、北海道開発局、東北地方整備局、関東地方整備局、北陸地方整備局、中部地方整備局、国土技術政策総合研究所）
- ・県（延べ約240名：青森県、秋田県、山形県、福島県、栃木県、群馬県、新潟県）
- ・（財）砂防・地すべり技術センター（延べ約30名）
- ・岩手県（40名）、宮城県（5名）

なお、現地本部は、東北地方整備局岩手河川国道事務所一関出張所に設置された。

点検・調査の結果、Aランク（応急対応が必要）と判断された20箇所（図-2）について、岩手県及び宮城県、関係市に連絡し、県・市は応急対策を実施した。



写真-1 土砂災害危険箇所の緊急点検の様子（左：宮城県旧栗駒町、右：宮城県旧鳴子町）



危険度判定結果A(20箇所)の分布

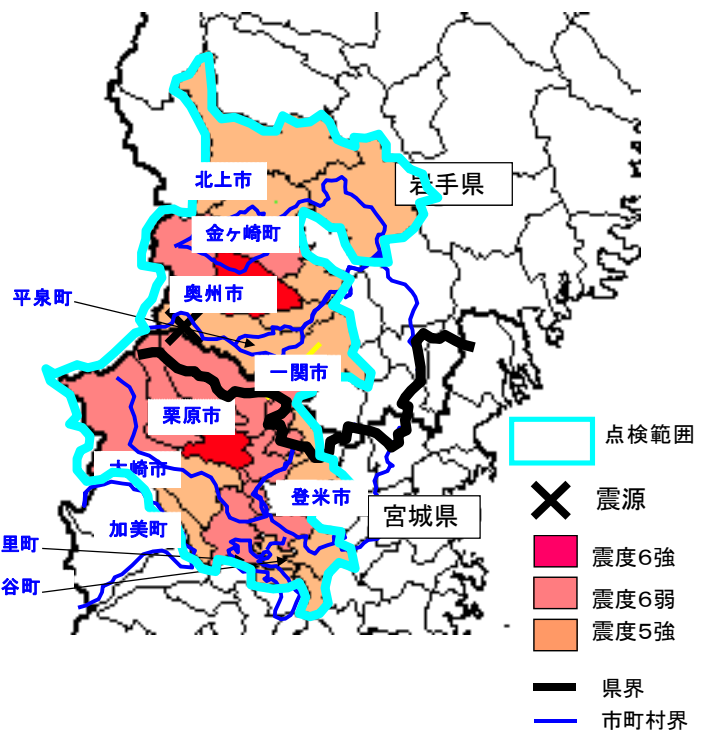


図-2 土砂災害危険箇所等の緊急点検結果（危険度判定結果A）

5. 三迫川で発生した土石流

三迫川上流域のドゾウ沢の源頭部では、地震により大規模な崩壊が発生し、崩壊土砂が土石流化した。崩壊地の幅は約 200m、長さ（水平距離）は約 300m であった。この土石流により崩壊地から下流約 4.8km の右岸に位置する駒ノ湯温泉では、死者 5 名・行方不明 2 名の被害が生じた。また、土石流は、崩壊地から約 10km 下流の行者の滝付近まで流下した痕跡が見られた。崩壊地から駒ノ湯温泉までの区間の平均勾配は約 10 度、土石流が停止したと考えられる行者の滝の上流側の縦断勾配は約 2 度であり、土石流の等価摩擦係数（崩壊土砂の水平移動距離に対する鉛直移動（落下）距離の比）は約 0.1 であった。石川²⁾ は過去の地震によって発生した土石流の等価摩擦係数は 0.08 から 0.25 の範囲であることを示した。すなわち、今回の土石流はこれまでの地震による土石流の中でも、勾配の緩い位置まで到達する等価摩擦係数の小さい土石流であったと言える。

崩壊地から駒ノ湯温泉までの区間の流下幅は、崩壊地直下を除くと約 100m で、現河床から約 50m の高さまで土石流が流下した痕跡が見られた。崩壊地から駒ノ湯温泉までの区間の湾曲部で顕著な偏流が見られ（写真-2）、内湾側と外湾側でその痕跡水位に 23~40m の水位差が生じていた（http://www.gsi.go.jp/BOUDAI/h20-iwatemiyagi/index_komanoyu.html）。この結果を用いて、水山・上原³⁾ の手法に従い流速を算出すると、断面 1~断面 3 の区間を土石流は 20m/s 前後の流速で流下したものと考えられた（表-1）。

地震発生から 2 週間後の 6 月 28 日時点で、駒ノ湯温泉付近の堆積物は表面は乾燥しつつあるものの、内部は高い含水状態で、堆積物上の歩行は困難であった。6 月 28 日に、地表から 10~20cm の深さから採取したサンプルの含水比は 38% であった。地震の発生から同調査時点までにはほとんど降雨がなかったことから、土石流発生当初はさらに高い含水比であったと考えられ、等価摩擦係数が小さかった事実と矛盾しない。また、堆積物には、最大 5 m 程度の巨礫が含まれているものの、大半が細粒の土砂 ($D_{50}=0.168$ mm) であった。駒ノ湯温泉には 7 棟の建物があつたが、土石流による土砂の堆積後には 1 棟のみ確認できる状況であった。確認できた 1 棟は時計周りにほぼ 90° 回転した状態であった。地形図から推定すると、駒ノ湯温泉付近では、10~15m 程度土砂が堆積しているものと考えられた。



写真-2 三迫川上流で発生した土石流の状況（6/15 撮影）

表-1 偏流状況に基づく三迫川上流で発生した土石流の流速推定結果

項目	水位差	流下幅	曲率半径	流速
	m	m	m	m/sec
断面1	23	115	730.4	12.0 ~ 26.8
断面2	36	90	230.2	9.5 ~ 21.3
断面3	40	100	140.7	7.4 ~ 16.6

6. 荒砥沢ダム上流の大規模地すべり

6.1 はじめに

本地すべりは、宮城県栗原市栗駒の荒砥沢ダム上流で発生した長さ 1,400m、幅 810m（宮城県作成 荒砥沢ダム貯水池上流地すべり資料より引用）の大規模なものであり、地震で動いた地すべりとしては国内最大級と言われている（写真-3）。この地すべりにより、ダム貯水池内への大量の土砂の流入による利水容量の減少や、地すべり地周辺道路の寸断などの被害が発生している。



写真-3 大規模地すべり全景(6/15 空撮)

6.2 地形地質

周辺の地形は、平均勾配 10° 程度の緩やかな起伏が見られる南向きの緩斜面であり、既存文献⁴⁾では地すべり地形が抽出されている。地すべり発生地は、地すべり土塊本体は原形をとどめているが、地すべり地の上部には、本体の移動により形成した複数の陥没帯と前後に分離して三角に尖った形の分離小丘(引張り部)が帯状をなして交互に分布することである。また、末端部の一部には、圧縮により土塊が乱された部分と二次すべりを起こした部分が確認される。

地すべり地周辺の地質は、下位が泥岩、上位が軽石凝灰岩を主体とする層から構成され、その構造は約 5° で貯水池側に傾斜している緩い流れ盤構造をなすと考えられ、それらを火山噴出物が覆っている(図-3)。すべり面は、軽石凝灰岩主体層の下面付近であり、地すべり土塊は主に軽石凝灰岩からなると推定される。

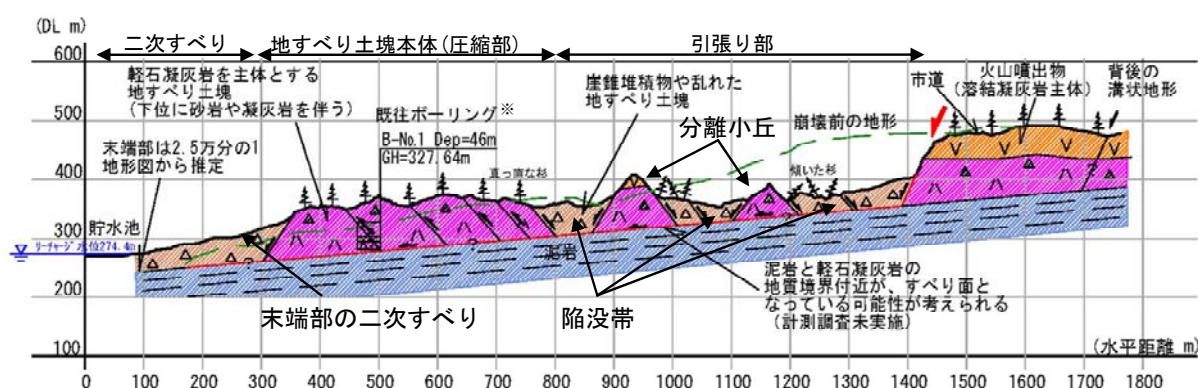


図-3 想定縦断面図

6.3 地すべり発生機構

本地すべりは、過去に発生した地すべり地の一部が、1,000gal を超える強い地震動によって滑動したものである。また、地すべりのタイプは、直線的なすべり面の形状、および引張り部と地すべり本体の圧縮部が明瞭に区分される地形の特徴から、すべり面が直線で末端が開放された流れ盤の地すべり（通称：椅子型地すべり）と考えられる。

地すべり滑動時の状況は、①地すべり本体が広い範囲で斜面下方に動きながら、本体の上部が何個かの分離小丘に分かれて取り残された。②次に地すべり本体が斜面下方の尾根に達し、地すべり末端部は強い圧縮を受けて土塊の一部が乱されるとともに、貯水池付近の開放部分では二次すべりが発生したものと推定される。

6.4 今後について

今回の地震により、多数の箇所では道路が寸断し孤立集落が生じているため（耕英地区）、道路の復旧が急務となっている。写真-3 の市道馬場駒の湯線は、耕英地区の孤立集落解消のために復旧が最優先とされる路線の一部が大規模地すべりにより不安定化していることが判った。そこで、現在地すべりチームでは宮城県からの要請を受けて、地すべりによる不安定化した範囲を避けて安全に通行できるルートを選定し、迂回路をいち早く建設できるように技術支援している。

7. 天然ダムの概況と対応

今回の地震では、平成 16 年 10 月の新潟県中越地震以来となる、多数の天然ダムが形成されたことが特徴である。国土交通省東北地方整備局、岩手県、宮城県の 3 者は、比較的大規模な天然ダムで、決壊等が発生した場合に流域の安全性に重大な影響を及ぼす可能性があると考えられるものとして 15 箇所（岩手県内 5 箇所、宮城県内 10 箇所）を把握した（図-1）。このうち、岩①小河原、岩③槻木平、岩④須川、宮①坂下、宮⑥荒砥沢、宮⑩川原小屋沢については、閉塞箇所付近に砂防えん堤やダム等の施設があり流出土砂の調節が可能、あるいは、行方不明者捜索時やその後の出水により河道が確保されて崩壊的決壊の可能性が低くなったという理由で、緊急対応は行わなかった。それ以外の 9 箇所については、国土交通省が直轄災害関連緊急砂防事業によって対応を行っている。岩②市野々原、宮②浅布、宮③小川原、宮⑦沼倉については河道開削を行い、湛水・崩壊的決壊の危険性を回避した。岩⑤産女川、宮④温湯、宮⑨沼倉裏沢については、現地作業の困難性と安全確保の観点から、下流の既設砂防えん堤の除石等を行っている。宮⑤湯ノ倉温泉（写真-4）、宮⑧湯浜については、湛水のポンプ排水、天然ダム土塊の開削および土塊の安定化等の対策を実施（湯浜は準備中）している。



写真-4 湯ノ倉温泉のポンプ排水（7/8 撮影）

8. 迫川における天然ダムの危険度評価

8.1 危険度評価の概要

迫川で形成した天然ダムが決壊して出水が生じた際の家屋の浸水可能性を検討した。まず、決壊による出水のピーク流量と流下能力を比較評価し、次いで、溪流の湾曲や合流等の地形条件と連続して形成された天然ダムの影響を考慮した2次元シミュレーションによる集落の浸水可能性を詳細に評価した。

8.2 緊急危険度評価

表-2は天然ダムの形状とピーク流量の推定値を示したものである。なお、平成20年6月25日時点ですでに救助活動による開削あるいは自然に水が天然ダムの表面を流れていた箇所（川原小屋沢、温湯、小川原、浅布、坂下）は「越流による決壊」を想定し、表中では「－」と記載した。ここでは、湛水池へ流入する時点の水量を実績値とした場合と近傍の駒ノ湯アメダス観測所における既往最大24時間雨量からの推定値とした場合の2ケースを対象とした。この結果、ピーク流量は最大で900m³/s程度であった。

表-3は迫川に沿って存在する集落内のいくつかの地点で推定した、等流状態の流下能力を示したものである。その結果、流下能力はピーク流量の推定値と比べて温湯温泉、猪ノ沢、大田の集落で下回り、その他の集落で上回った。

表-2 ピーク流量の推定値（緊急危険度評価）

河道閉塞 (天然ダム)の名称	形状			決壊する過程			ピーク流量の推定値 [m ³ /s]	
				決壊まで要する時間[日]				
	高さ [m]	幅 [m]	長さ [m]	越流による決壊	パイピングによる決壊		湛水池に流入する水量を実績値とした場合	既往最大24時間雨量からの推定値とした場合
湯浜	45	50	1200	39.2	1716	越流	15～838	273～838
湯ノ倉	20	53	630	3.4	1081	越流	10～471	187～528
川原小屋沢	30	50	600	－	－	越流	15～572	123～572

表-3 各集落付近での流下能力

地区名	流下能力 [m ³ /s]
温湯温泉	230～1200
小川原・切留	1850～3021
浅布	1194～8201
猪ノ沢・坂下・中村・大向	260～4900
早坂	1110～1150
大田	180～4900

8.3 詳細危険度評価

図-4 は、湛水池に流入する流量を実績値とした場合での、各集落が存在する区間内を三角形に分割した要素における水深と堆積深の和のうち最大値をプロットしたものである。温湯温泉と切留・穴ノ原では、水深と堆積深の和が家屋のある地盤の標高と河床の標高の差を越えたことから、家屋が浸水する可能性が高いことが分かった。猪ノ沢、坂下・中村、越戸、大田では、家屋が浸水する可能性が低いことが分かった。

図-5 は図-4 と同様であるが、湛水池に流入する流量を推定値とした場合のものである。湛水池に流入する流量を実績値とした場合と比べると、湛水池に流入する水量が多いため、水深と堆積深の和はなかなか小さくならなかった。大田を除く集落では、水深と堆積深の和が家屋のある地盤の標高と河床の標高の差を越えたことから、家屋が浸水する可能性が高いことが分かった。大田では、水深と堆積深の和は家屋のある地盤の標高と河床の標高の差よりも小さかった。

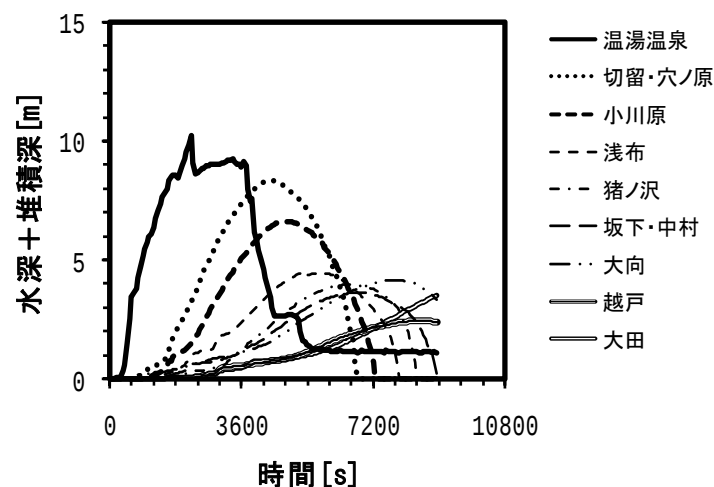


図-4 水深と堆積深の和の時間変化（湛水池に流入する水量を実績値とした場合）

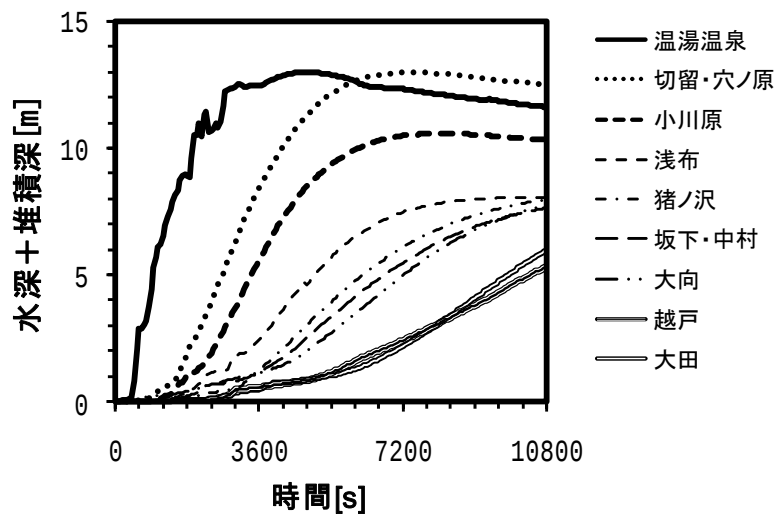


図-5 水深と堆積深の和の時間変化（既往最大 24 時間雨量からの推定値とした場合）

8.4 天然ダム危険度評価のまとめ

第 8 章をまとめると次のようになる。1) 小川原と浅布で形成した天然ダムでは、河道を閉塞している土砂を開削して排水路を設置し、流水が通過できる河道を確保するとともに、家屋の浸水を防ぐ必要がある。2) 湯浜と湯ノ倉で形成した天然ダムでは、ポンプや排水路などによる湛水池の水を排水するといった応急対策により、決壊を防ぐ必要がある。3) 湛水池が満水となっていない湯浜と湯ノ倉では、湛水池の水位を監視する必要がある。

9. 沼倉裏沢の天然ダムおける越流

9.1 栗駒ダムにおける流入量の変化

平成 20 年 6 月 21 日午前 0 時 30 分に、栗駒ダムの流入量が急激に増加しはじめ、同 1 時 20 分最大流量が約 $100\text{m}^3/\text{s}$ に達した。その後、急激に、栗駒ダムの流入量は減少し、増加開始から約 2 時間後には、ほぼ元の値に戻る急激な流入量の増減が観測された（国土交通省砂防部ホームページより）。なお、この栗駒ダムへの流入量の増加が生じた時間帯に、大きな余震や降雨は見られなかった。

9.2 天然ダムの形状の変化

急激な流入量の変動があった直後の 6 月 21 日午前中にヘリコプターにより、上空から、栗駒ダムの上流域の調査を実施した結果、沼倉裏沢地区にできた天然ダムにおいて、越流により侵食が生じた痕跡が見られ、湛水域が縮小されているのが確認でき（写真-5）、同箇所の天然ダム土俵の侵食により栗駒ダムの流入量の急激な増加が生じたものと考えられた。

同地区では、右岸斜面で地震により発生した崩壊性地すべりにより天然ダムができた。当初の堰止め幅は約 150m、堰止め長は約 550m、堰止め高さは約 30m あった。地形図によるとこの地点

付近の元の河床勾配は 1/14 (約 4°) であった。

一方、6 月 21 日の越水により侵食された流路の幅は流路の底で 20m～30m であり、下流に行くほど広がっていた。また、流路の側壁の勾配は急なところで 45 度程度であり、流路の深さは 5～14m 程度であった (写真-6、図-6)。侵食後の流路の縦断勾配は天然ダム箇所の侵食箇所の下流端付近で 1/8 (約 7°)、上流端付近 1/24 (約 2°) であった。

9.3 粒径の変化

天然ダムを形成している土砂は砂などの細粒分と粒径数 cm から数 10cm の礫等に混じって、直径が 1～5m の巨礫も混入していた。左岸側で 21 日の越水による侵食を受けずに残った天然ダムの地表面の粒径を調査した結果、約 40%の地点が 2cm 以下の砂などに、約 10%の地点が 50cm 以上の巨礫に覆われていた (図-7)。

一方、侵食後の河床には、天然ダムを形成した土砂に多く見られた 2cm 以下の細粒分はほとんど見られず、アーモークート化していた (図-8)。



写真-5 越水による侵食前後の沼倉裏沢地区の天然ダムの様子
(左：6/20 撮影、右：6/21 撮影)



写真-6 天然ダム上流端の状況 (7/3 撮影、下流を望む)

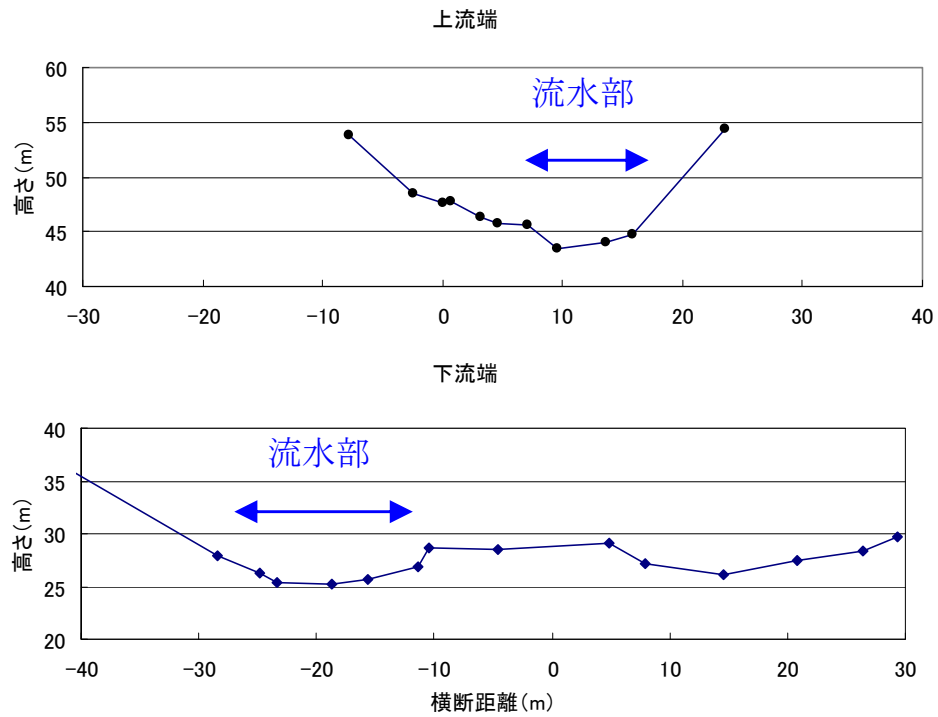


図-6 侵食された流路の横断面図

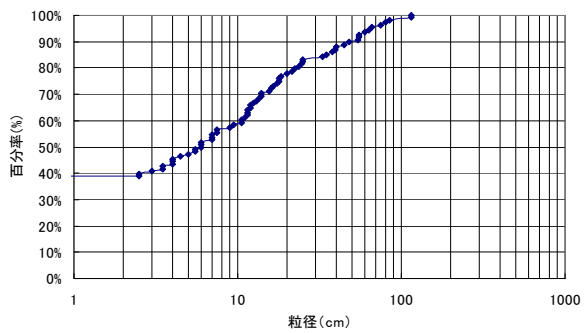


図-7 天然ダムの地表面粒径分布の百分率

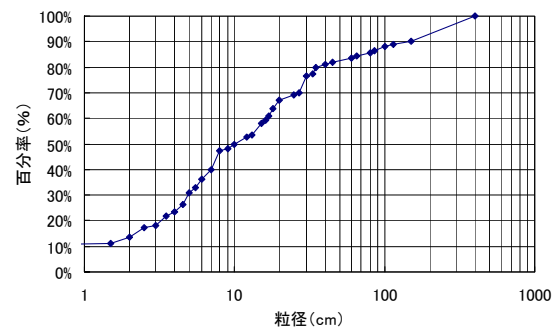


図-8 侵食後の河床粒径分布の百分率

10. 地震時斜面崩壊危険度評価手法の適用

地震時斜面崩壊危険度評価手法⁵⁾を今回の地震に適用した。本手法は、斜面の勾配と平均曲率および地表面最大加速度を用いて判別得点を算出し、斜面の崩壊しやすさを相対的に評価する方法である。判別得点の高い地域は、低い地域と比べて崩壊しやすいと評価できる。

斜面の勾配および平均曲率は、数値地図 50m メッシュ（標高）のデータを、バイキュービック法を用いて 10m メッシュへ変換して算出した。地表面最大加速度については、（独）防災科学技術研究所が提供している K-net (<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>) の最大加速度を用いて、観測点における最大加速度を平滑化した。図-9 により、一迫川、二迫川、三迫川（栗原市）及び磐井川（一関市）流域は他の地域に比べて相対的に高い判別得点であり、斜面の崩壊しやすい条件であったと推定できる。これは、本手法が斜面の震後点検を行う際の優先範囲の選定に有効であることを示唆している。

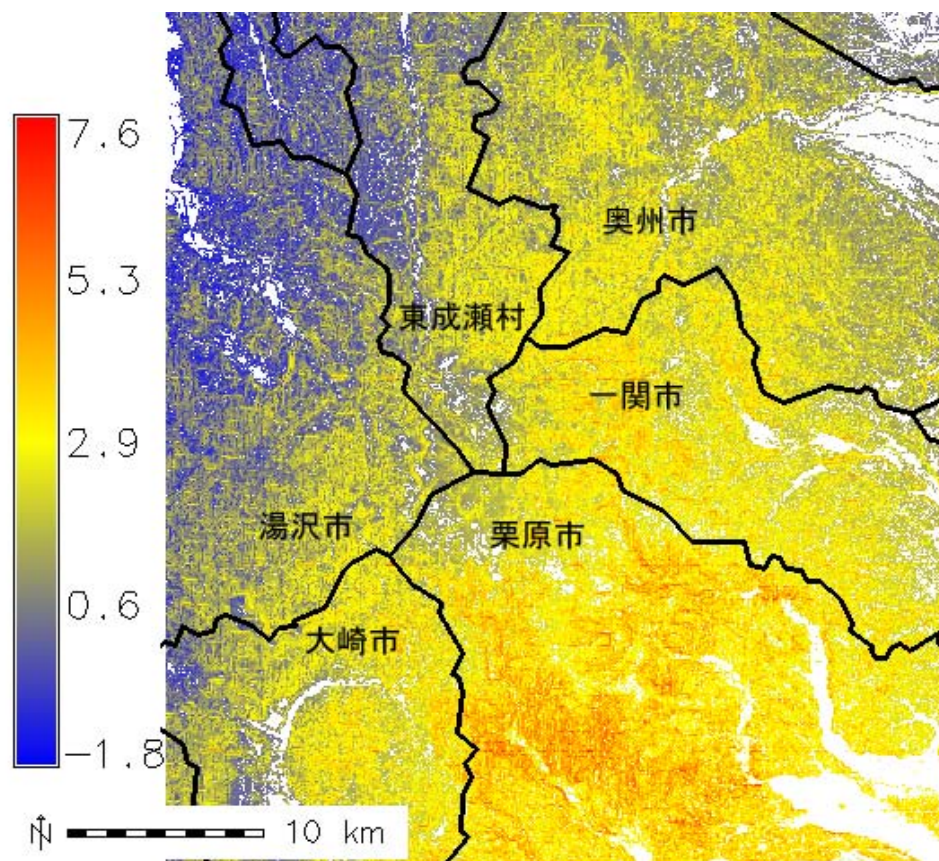


図-9 判別得点分布（実線：市町村界）

11. まとめ

大規模災害時で、特に救助活動が継続している場合には、現場は大混乱をしている。大規模災害は発生頻度が高くはないので、防災業務に携わっている担当者であっても知識・経験が十分であるとは限らない。

第3章で述べたように、国総研・土研からの派遣者は様々な現地対応業務を行った。今回我々が行った危機管理的現地対応は、ひとことで言うと、現地では「何が起こったのかわからない」、「これから何が起こるのかわからない」ことで恐怖と混乱に陥っており、それらの疑問に対して適切な助言を行うことで必要な活動をスムーズに行えるようにするということに尽きると思われる。

国総研・土研の研究者は、日本全国の大規模災害に関する知識・知見の修得と実際の緊急対応の場数を踏む機会を持っており、国内で最も災害時の危機管理に関する経験を有している集団であるといえる。したがって、今後も災害時の危機管理の実態と課題を集積して行って、ノウハウを維持・普及していくことが重要な使命であるといえる。

近年、地震による土砂災害の発生が目立ってきている。今後も、東海地震を始めとして、大規模な海溝型地震の発生が予想されているとともに、内陸直下型地震は予測が困難であるという現状から、地震時の事前および危機管理的対応については十分な検討を行っておく必要がある。

本稿をまとめるに当たり、東北地方整備局、岩手県、宮城県の関係各位に多くのご協力を頂いた。ここに深甚なる感謝を申し上げる。

参考文献

- 1) 岩手県県土整備部砂防災害課・宮城県土木部防災砂防課：平成20年岩手・宮城内陸地震に係る土砂災害対策技術検討会 第3回委員会 参考資料、2008
- 2) 石川芳治：地震による土石流発生に係わる地形、地質条件、砂防学会誌、51-5、p. 35-42、1999
- 3) 水山高久、上原信司：湾曲水路における土石流の挙動、土木技術資料、23-5、p. 15-20、1981
- 4) 防災科学技術研究所、地すべり地形分布図、1982
- 5) 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第204号、2004