

天然ダム形成箇所への河床勾配の分析

鈴木清敬・内田太郎・桜井 亘

1. はじめに

2011年紀伊半島大水害では深層崩壊に伴い多数の天然ダムが形成された。天然ダムは、形成後、越流水等の影響により数時間～数日の短期間に決壊し、大量の水と土砂が急激に流出し、被害を及ぼすことがある¹⁾。一方、国内外を問わず、これまでの天然ダムの対策の多くは、天然ダム形成後、排水路の開削、被害範囲の推定など緊急的な対策である^{2),3)}。一方、形成後数時間で決壊するような短期決壊型の天然ダムに対して、事前に天然ダムの形成箇所を予測し、被害範囲を推定することが重要となるが、これまで事前の対策の例はほとんど見られない。

2. 天然ダムによる被害推定の取組み

国土技術政策総合研究所では、「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」⁴⁾において、天然ダム対策は事前対策と緊急対策、ならびにハード対策とソフト対策を組み合わせるべきと整理し、これをもとに2017年8月に「深層崩壊に起因する大規模土砂災害被害想定手法（以下「被害想定手法」という。）」⁵⁾を整理・公表し、天然ダムへの対策を検討してきている。被害想定手法では、天然ダムに対する事前対策や被害推定を行う際の検討フローとして、①深層崩壊場所の想定、②深層崩壊規模の想定、③天然ダム形成位置の想定、④天然ダム形状の設定、⑤天然ダムの決壊時の被害範囲の推定、という流れを提案している。

このうち、①については研究途上の技術も含め、多くの研究が行われてきている⁶⁾。②については過去の深層崩壊実績から今後の深層崩壊規模を推定できる可能性が示された⁷⁾。また、④、⑤については過去の事例に基づく経験的な手法⁸⁾や数値計算による手法⁹⁾が提案されてきている。

しかし、③天然ダム形成位置の実態はあまりよくわかっておらず、深層崩壊等が発生しても必ずしも天然ダムが形成されるわけではない。そこで

本稿では、深層崩壊に伴う土砂により天然ダムが生じる可能性の高い河道区間を明らかにすることを目的とし、天然ダムが形成する河床勾配の実態を整理した。

3. 検討方法

3.1 作業仮説

深層崩壊に起因する土砂は、河道が急勾配な区間では堆積せずに流下することが考えられる。すなわち、天然ダムが形成する地点の河床勾配には上限値がある可能性が考えられる。そこで、本研究では、まず、勾配の上限値に着目した。

また、崩壊土砂の停止位置は地形条件とともに、崩壊土砂の流動性の影響も受けると考えられる。すなわち、流動性が高いと急勾配区間では土砂が停止せず、下流で天然ダムが形成される。崩壊土砂の流動性は崩壊時の含水状態にも依存していると考えられるため、深層崩壊を引き起こした誘因（降雨や地震）により、天然ダムが形成する地点の河床勾配の上限値は異なる可能性が考えられる。さらに、崩壊土砂の流動性は崩壊規模の影響を受けることも報告されてきた¹⁰⁾。このため、崩壊規模も天然ダム形成箇所の河床勾配の上限値に影響を与える可能性が考えられる。

そこで、本研究では、過去に形成した天然ダムの形成地点の河床勾配に着目し、既往文献からの事例収集および航空レーザプロファイラデータ（以下「LPデータ」という。）による判読により整理した。その上で、①誘因、②流下形態、③崩壊規模により天然ダムの形成と河床勾配の関係を検討した。なお、収集した天然ダムの事例は地すべり等によって形成した天然ダムも含んでいる。

3.2 天然ダム形成地点の河床勾配データの収集

3.2.1 既往文献からの事例収集

既往文献^{8),11),12)}より天然ダムが形成した地点の河床勾配データ111事例を収集した。なお、文献^{8),11)}では、1502年から2008年までに発生した天然ダム形成地点の上流側と下流側のそれぞれ500～1,000m区間の河床勾配が示されている。文献¹²⁾では2011年紀伊半島大水害で生じた天然ダム

について、崩壊箇所の主測線（図-1参照）を中心に上下流それぞれ300～500m区間の河床勾配が示されている。

3.2.2 LPデータを用いた判読

LPデータを用いた判読は、2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年紀伊半島大水害の3災害を対象とした。判読対象箇所は上記の文献^{8),11),12)}に河床勾配の値が記載されていない箇所を判読した。

判読作業は文献¹²⁾と同様に、次の手順で行った。
 ①LPデータから1m×1mメッシュの地形モデル（DEM）を作成、②地理院地図に表示されている河川沿いあるいは河道の中心線に沿った河道縦断線を作成、③作成した縦断線に沿って地形モデルから概ね1m間隔で標高値を読み取り、縦断図を作成、④天然ダム形成の影響のない上下流の河床標高点を結んだ元河床線を直線で補間（図-1中の黒点線）、⑤崩壊範囲の中心を崩壊主測線として作成、⑥崩壊主測線と河道縦断線の交点を天然ダム形成地点とし、天然ダム形成地点を中心に上流側と下流側の200m区間の元河床の平均勾配を算出した（図-1）。判読により25事例を収集した。

3.3 収集データの整理

収集した136事例を誘因別に整理した。整理した結果、41事例が地震を誘因とし、90事例が降雨を誘因としていた。残りの5事例は火山噴火に起因する事例であった。

また、文献^{8),11)}では、崩壊土砂の流下形態として、本川沿いの側岸斜面が崩壊し崩壊土砂がそのまま河道に流入し天然ダムを形成する形態（図-2(a)、以下「側岸崩壊」という。）、支川上流部の崩壊により生じた土砂が流動化・土石流化し本川に達して天然ダムを形成する形態（図-2(b)、以降「支川上流からの土砂流出」と呼ぶ。）に分けて整理されている。そこで、本研究でもこの分類を踏襲し、文献^{8),11)}以外の事例についても空中写真等から同様の分類を行った。分類の結果、136事例のうち側岸崩壊は92事例、支川上流からの土砂流出は44事例であった。

さらに、崩壊規模（移動土塊量）の観点から見ると、移動土塊量100万m³未満（52事例）、移動土塊量100万m³～1000万m³未満（55事例）、移動土塊量1000万m³以上（23事例）であった。

表-1 収集事例整理表

| 収集手段 | 天然ダムの形成場所・時期 | 事例数 | 誘因 | | | 流下形態 | | 規模（移動土塊量） | | |
|------|---------------------------------|-----|----|----|-------|------|-----------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|
| | | | 地震 | 降雨 | その他※1 | 側岸崩壊 | 支川からの土砂流出 | 100万m ³ 未満 | 100万～1000万m ³ 未満 | 1000万m ³ 以上 |
| 文献情報 | 文献6, 10 日本全国 (1502～2008年) | 89 | 22 | 62 | 5 | 51 | 38 | 23 | 42 | 22 |
| | 文献11 紀伊半島大水害 奈良県(2011年) | 22 | - | 22 | - | 16 | 6 | 16 | 5 | 1 |
| LP判読 | 新潟県中越地震 幸川流域(2004年) | 6 | 6 | - | - | 6 | - | - | 2 | - |
| | 岩手・宮城内陸地震 追川流域(2008年) | 13 | 13 | - | - | 13 | - | 9 | 4 | - |
| | 紀伊半島大水害※2 奈良・和歌山県(2011年) | 6 | - | 6 | - | 6 | - | 4 | 2 | - |
| 合計 | | 136 | 41 | 90 | 5 | 92 | 44 | 52 | 55 | 23 |

※1 その他の誘因は火山噴火(水蒸気爆発等)によるものである
 ※2 紀伊半島大水害のLP判読箇所は、文献10に記載のない箇所について行った

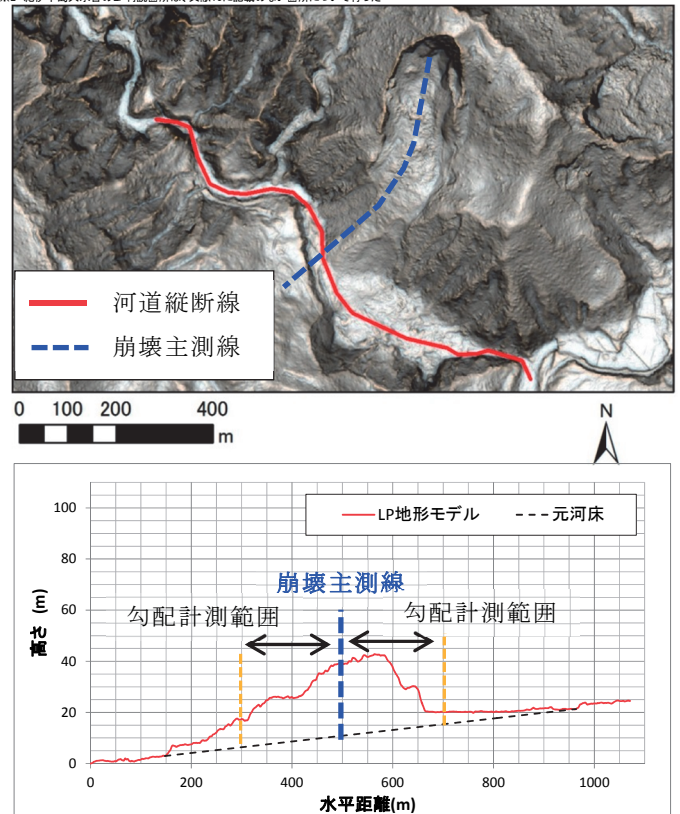


図-1 LP判読事例

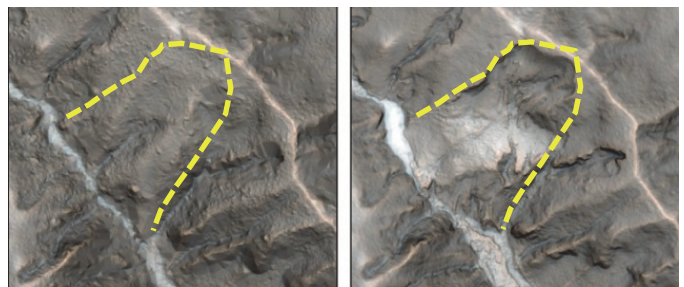


図-2(a) 側岸崩壊に伴う天然ダム形成の事例

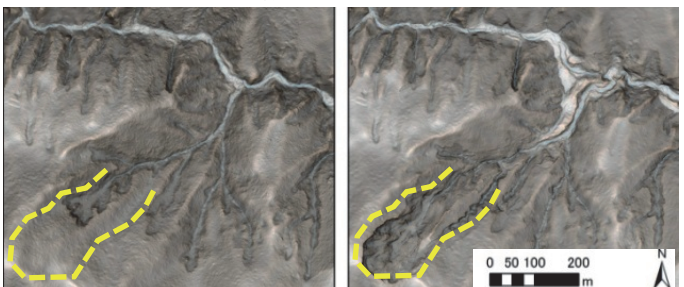


図-2(b) 支川上流からの土砂流出により本川で形成された天然ダムの事例

4. 研究結果

4.1 天然ダム形成地点の河床勾配の実態

図-3に天然ダム形成地点の上下流の河床勾配の関係を示す。天然ダム形成地点の上流側の河床勾配と下流側の河床勾配を比較すると、下流の勾配が緩い事例がやや多く、バラツキが見られるものの、上流側と下流側で極端に勾配が違う地点に形成された天然ダムの事例は少ない。そのため、以降では上流側と下流側を平均した平均河床勾配を用いることとする。

4.2 誘因別の天然ダム形成地点の河床勾配の実態

図-4に誘因別の河床勾配の整理結果を示す。誘因別でみると、降雨の方が地震による天然ダムに比べて、より幅広い河床勾配区間で形成されており、急勾配区間での形成事例も存在している。累積頻度5%~95%の範囲にあたる大部分の天然ダム形成箇所の河床勾配は、降雨では1/7~1/250、地震では1/10~1/150程度の違いがみられた。なお、地震による天然ダムのうち、迫川の事例、芋川の事例及びそれ以外の事例で天然ダム形成箇所の河床勾配の分布範囲に大きな違いはみられなかった。

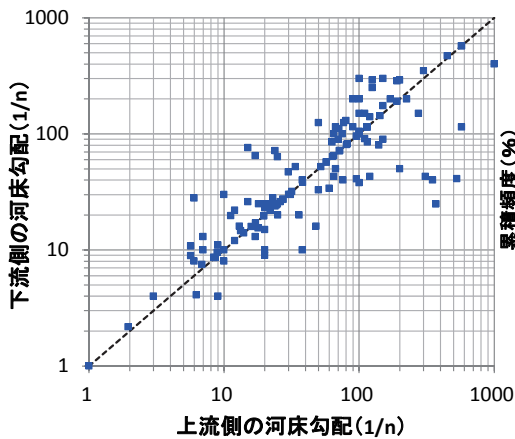


図-3 天然ダム形成地点の上下流の河床勾配の関係

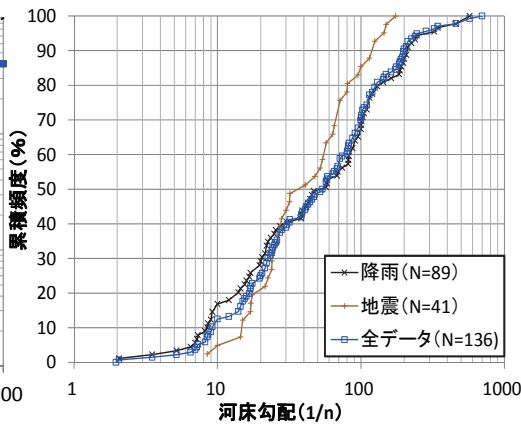


図-4 天然ダム形成地点の河床勾配 (誘因別)

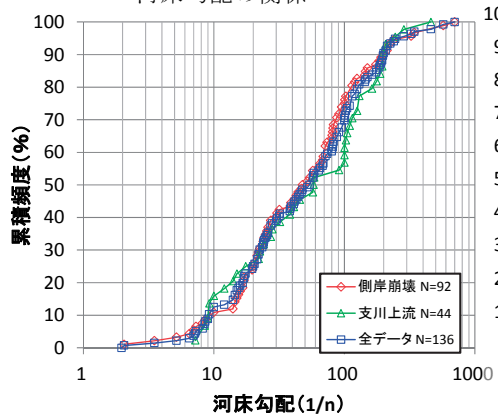


図-5 天然ダム形成地点の河床勾配 (流下形態別)

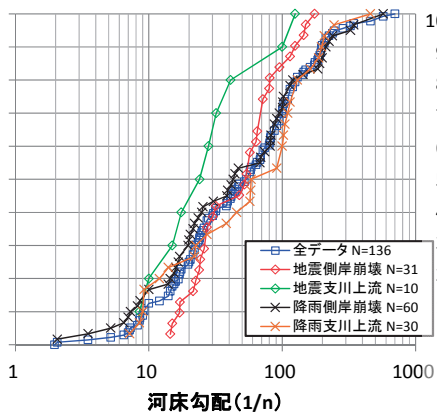


図-6 天然ダム形成地点の河床勾配 (誘因および流下形態別)

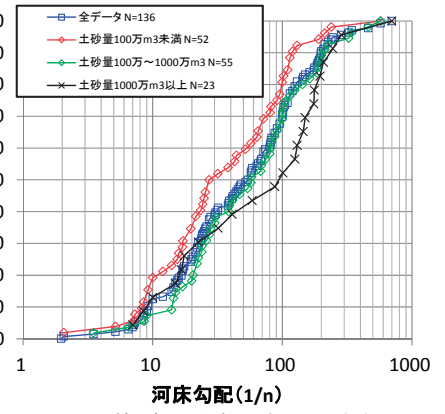


図-7 天然ダム形成地点の河床勾配 (規模別)

4.3 流下形態別の天然ダム形成地点の河床勾配の実態

図-5に流下形態別の河床勾配の整理結果を示す。この図より天然ダムが形成される河床勾配の頻度分布は流下形態によってはほとんど差がないと言える。

4.4 誘因・流下形態別の天然ダム形成地点の河床勾配の実態

図-6に誘因別及び流下形態別の河床勾配の整理結果を示す。この図の支川上流からの土砂流出による天然ダムに着目すると、地震の方が降雨による天然ダムに比べて急勾配区間での形成事例が多い。しかし、累積頻度5%~10%部分に着目すると誘因による差は小さい。これらのことは支川上流で生じた崩壊土砂は、平均的には地震の方がより急勾配な区間で停止していたことを意味しており、地震による崩壊土砂の方が流動性が低いことを考えればこの結果は妥当であろう。ただし、急勾配区間で停止した事例の割合は、降雨と地震による差がなく、この理由については詳細な分析が必要である。

また、側岸崩壊については、平均的には地震と降雨で大きな差は見られなかった。このことは、

誘因によって天然ダムが生じるような崩壊発生斜面直下の河床勾配に系統的な差がないことを意味している。

4.5 規模別の天然ダム形成地点の河床勾配の実態

図-7に規模別の河床勾配の整理結果を示す。この図より全体的には土砂量が小さい方がより急な河床勾配の区間でも天然ダムを形成している傾向が見られた。しかし、規模の違いによって分布のバラツキはみられるものの、天然ダム形成箇所の河床勾配は累積頻度5%値では1/7程度、95%値では1/200~1/250であった。

4.6 天然ダム形成地点の河床勾配の実態

以上のことから、誘因・流下形態・規模等による分布のバラツキはみられるものの、累積頻度5~95%の範囲にあたる90%の天然ダムは誘因等に関わらず、河床勾配1/7から1/250の区間に形成されていることがわかった。

5. まとめ

降雨等の状況（規模や降り方等）や発生箇所の地形状況（斜面勾配や集水面積等）等を考慮した詳細な分析が今後必要ではあるものの、累積頻度5%~95%値にあたる90%の天然ダム形成地点は誘因等に関わらず、河床勾配が1/7から1/250の区間に形成されている。このことから、被害想定手法に基づいて天然ダムに対する事前対策や被害想定を行う場合には、河床勾配が1/7より緩勾配の区間を天然ダムが形成する区間として限定することが考えられる。これにより、天然ダムの形成されにくい急勾配の上流域を検討対象から除外することができる可能性が考えられ、検討に必要となる時間・費用・労力等を低減し、被害推定や対策の検討の効率化を図ることができると考えられる。

謝 辞

本研究にて使用したLPデータは国土交通省東

北地方整備局、北陸地方整備局及び近畿地方整備局が計測したデータを使用した。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 横山修、内田太郎、木下篤彦：決壊までの継続時間からみた天然ダムの分類、砂防学会誌、Vol.68、No.6、pp.14~23、2016
- 2) 例えば、Chen, X., P. Cui, Y. You, Z. Cheng, A. Khan, C. Ye, S. Zhang : Dam-break risk analysis of the Attabad landslide dam in Pakistan and emergency countermeasures、Landslides、Vol.14、pp.675-683、2017
- 3) 例えば、森俊勇：国内外で採用された天然ダム緊急対策工法、砂防学会誌、Vol.68、No.2、pp.56~62、2015
- 4) 国土技術政策総合研究所：深層崩壊対策技術に関する基本的事項、国土技術政策総合研究所資料第807号、2014
- 5) 国土技術政策総合研究所：深層崩壊に起因する大規模土砂災害被害想定手法、国土技術政策総合研究所資料第983号、2017
- 6) 例えば 土木研究所：深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル（案）、土木研究所資料第4115号、2008
- 7) 西口幸希、内田太郎、田中健貴、蒲原潤一、長井義樹、奥山遼佑、中野真帆、松原智生、水野直弥：深層崩壊による被害に関する簡易リスク評価手法の提案、平成27年度砂防学会研究発表会概要集、B、pp.290~291、2015
- 8) 例えば、田畑茂清、水山高久、井上公夫：天然ダムと災害、古今書院、2002
- 9) 例えば 里深好文、吉野弘祐、水山高久、小川紀一朗、内川龍男、森俊勇：天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究、水工学論文集、Vol.51、pp.901~906、2007
- 10) 内田太郎、岡本 敦：崩壊土砂の流動化量に関する一考察、土木技術資料、第55巻、第7号、pp.32~35、2013
- 11) 水山高久、森俊勇、坂口哲夫、井上公夫：日本の天然ダムと対応策、古今書院、2011
- 12) 奈良県 県土マネジメント部：紀伊半島大水害大規模土砂災害アーカイブ、<http://www3.pref.nara.jp/doshasaigai/saboarchive/>、2015

鈴木清敬



国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部砂防研究室 交流研究員
Kiyotaka SUZUKI

内田太郎



国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部砂防研究室長、農博
Dr. Taro UCHIDA

桜井 亘



国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部深層崩壊対策研究官、農博
Dr. Wataru SAKURAI