

大規模土砂災害の早期検知を目指して ～大規模土砂災害監視システムの構築～

澤田 宗也 阿部 真大

天竜川上流河川事務所 砂防調査課 (〒399-4114 駒ヶ根市上穂南7-10)

平成25年度から検討を進めてきた大規模土砂災害監視システムは、長野県諏訪湖に源を発し、本邦中央部を北から南に流れる一級河川天竜川の上流域を範囲とした「土砂流出監視システムの検討」事業として着手し、現在までに検討を進めてきた取り組みについて報告する。

キーワード：天竜川, CCTV画像解析, 流量推定, 大規模土砂災害, 管内事業研究発表会

1. はじめに

天竜川は諏訪湖から伊那谷に入り、西に中央アルプスを、東に南アルプスを控えて南流する。東より中央構造線沿いに流れる三峰川、小渋川、遠山川の三大支川を合わせ、西より中央アルプスの各山稜より一気に流れ落ちる太田切川、中田切川、与田切川、片桐松川等の各支川を合わせて、天竜峡から県境にかける狭窄部（天竜峡）を抜けたのち、遠州灘に注いでいる。天竜川本川の流域面積5,090km²、幹川流路延長213km、であるのに対し、直轄砂防事業区域内の各支川を見る、総流域面積1,332km²、総流路延長202.8kmである。

本研究では、天竜川上流河川事務所で大規模土砂災害監視システムを暫定運用開始したことを踏まえ、従来方法と異なる検知手法についてまとめたものである。（図-1にこれまでの検討を記す）

2. 大規模土砂災害監視システム

大規模土砂災害監視システムは、天竜川上流域における危機管理対応力の向上のため、土砂災害防止法による緊急調査等の迅速な対応に資する流域監視システムを構築し、関係機関に対する的確な情報提供と連携を行い速やかな防災体制の確立を目的としている。

一例として、この監視システムは天竜川上流管内に設置済みの大規模土砂移動検知センサーと連携することで発生検知から溪流単位の絞り込みの後、緊急調査へ速やかに着手でき、防災体制の第一歩目として期待している。

本論文では、監視システムを構築、発展させていく上で必要な3つの検討（水位・流量データを用いた河道閉塞検知・CCTVを活用した水位、流量監視・広域水文指標を用いた土砂災害注意基準）を行ったので各章ごとに説明していく。

区分	検討項目	実施期間	概要(達成状況/今後の課題)
1. 大規模土砂災害監視手法の検討	1) 静止画を用いた解析手法の確立	H25-H27	静止画を用いた解析手法の検討、検証
	2) 広域水文指標による土砂災害注意基準	(H25) H28-H29	ダム流入量や雨量によるアラート指標(H25別途検討し、H28に基準再整理)
	3) 水位の急減による発生検知	(H25) H28	国総研手引きによる水位低下検知(H25別途検討し、H28に基準再整理)
2. 監視地点の拡充	1) CCTV監視地点の拡充	R1~	CCTV監視地点の拡充(まずは既設CCTVの解析対象箇所を増やしていく)
	2) 簡易カメラを用いた監視地点の拡充	H26-H27 R1~	簡易カメラを用いた夜間監視、低コストな監視地点の拡充
	3) 水位・雨量地点の拡充	R1~	協定に基づく電力事業者等の観測データを活用した観測網の充実
	4) 流域監視施設の配置検討(通信確保含む)	H29~	・流域監視設備の優先度設定、設計 ・通信確保(光NW延伸や無線通信検討)
3. システム整備	1) 画像解析プログラム製作	H25-H27	静止画処理プログラムの作成
	2) システム(ソフト)製作	H27-H28 H30	静止画解析、広域水文、水位低下検知による監視システムを構築
	3) ハード整備	H30	(同上)

図-1 平成25年～令和元年までの検討概要

3. 水位・流量データを用いた河道閉塞検知¹⁾

深層崩壊などにより発生する大規模な河道閉塞が生じると溪流の流れが止まり、下流にある水位・流量計の値が減少するなどの物理的な現象が発生する²⁾。(図-2) これまで、河道閉塞の形成確認は、ヘリコプター等による目視で行われることが一般的であった。しかしながら、範囲が広域になると確認に時間を要する場合がある。

この物理的な現象を捉えて、河道閉塞の早期検知を目指す。以下にその方法をまとめる。

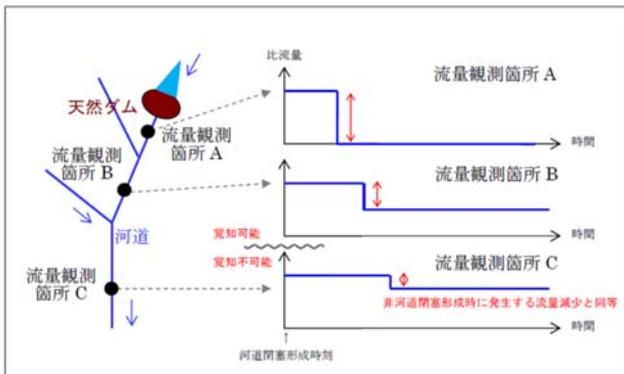


図-2 河道閉塞による水位低下イメージ図

河道閉塞形成を覚知するための監視において重要な要素は、災害につながるような河道閉塞の見逃しを少なくする、空振り(誤検知)を少なくすることの2点である。

1点目の河道閉塞の見逃しについては、対象流量観測箇所の流量変化により河道閉塞の形成が覚知できる①監視可能区間の範囲で評価する。よって、河道閉塞の形成の恐れが高い区間、河道閉塞が形成した場合に土砂の直撃による被害や湛水被害が生じる恐れのある区間ができるだけ含まれるように監視可能区間を設定する。一方で、2点目の空振りについては、河道閉塞が形成していないにも関わらず、河道閉塞形成時に生じると想定される流量変化と同様な変化が生じる年間の流量回数を②空振り頻度として評価する。

これらの要素を用い、河道閉塞形成の恐れが高いと判断する基準として、対象流量観測所における以下の1)～3)を設定する。(表-1)

- 1) 監視基準値：河道閉塞の形成と判断する流量減少率
- 2) 解析時間間隔：流量減少率を算出する際の時間間隔
- 3) 下限流量：監視を実施する流量の下限値

表-1 太田切観測所における基準値の例

項目	監視基準値
1)流量減少率	20%
2)解析時間間隔	60分
3)下限流量	60m ³ /s

※流量が60m³/s以上で、60分間に20%の流量減少があった場合、河道閉塞の恐れがあると判断する。

また、監視可能区間は、限界面積と限界距離で評価し(図-3)、当該地点の集水面積が限界面積より大きく、水位・流量観測箇所からの距離が限界距離以内の区間を監視可能区間として評価する(図-4)。

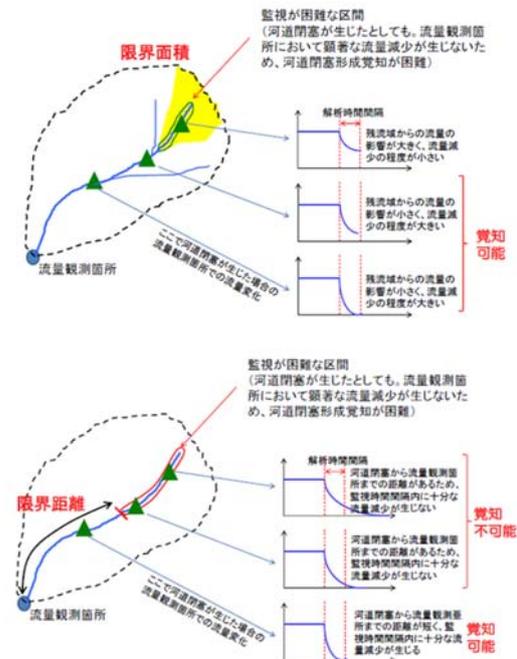


図-3 限界面積と限界距離の概念図

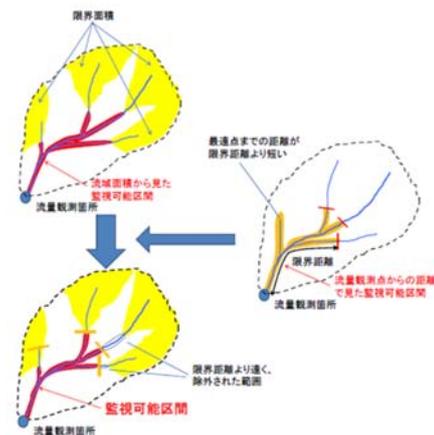


図-4 監視可能区間の設定概念図

4. CCTVを活用した水位・流量監視について

天竜川のように溪流が多数存在する河川では一度に得られる流量情報には限界がある。そのため効率的に多くの流量情報を得るための観測手法の確立が不可欠である。そこで、天竜川上流域管内に配置しているCCTVカメラ画像から流量を推定する解析手法の検討を平成25年度より進めてきた。砂防事業における流量観測の要求事項としては、主に写真-1のように山間部での崩壊や土砂崩壊などの影響を受けるため、①観測員の移動による時間ロスの排除②観測員の現地での安全性の確保、③流出土砂による危機の破損がない、④低コストに配備できることの4点が重要であるといえる。

これらのうち、①～③を満たすには自動観測かつ非接触の「電波流速計」もしくは「画像処理」があり、当事務所の広大な流域に整備済みのCCTV画像を活用できれば④低コストが実現可能なことから画像処理式の解析手法に取り組むこととした。



写真-1 天竜川上流管内での土砂流出

そこで既設CCTV等の画像情報を活用した、非接触による低コストな流量監視網の構築を目的として、水位及び流量に着目した手法をまとめる。

(1) 水位判読

堰堤部水通し袖部やスリットなど水際線が視認できる画像を対象に、水位判読の自動処理について検討を進める。

まずは対象堰堤の注目する領域の設定を行う。その後切り出し、エッジを抽出、直線を抽出するハフ変換と呼ばれるデジタル画像処理を行い、水位線を抽出する。図-5に水位判読処理の手順を示す。



図-5 水位判読処理例

遠山川流域・大渡砂防堰堤を対象に平成25年9月16日の6:00～18:00の10分間隔データの処理を行った結果と目視判読との比較を図-6に示すと概ね同等の結果を得ることができる。

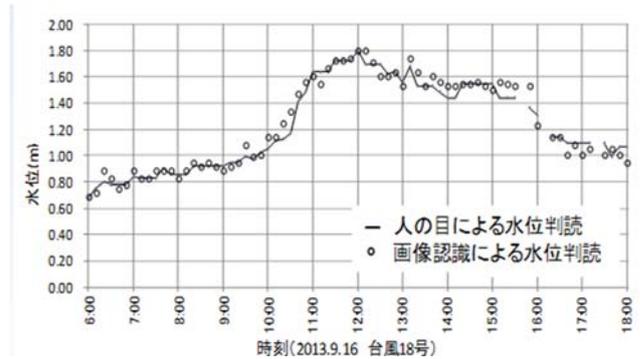


図-6 大渡砂防堰堤における水位判読結果例

(2) 流量推定

施設や溪流を遠景でとらえた画角では、前述の水位判読を行うには解像度が不足するため、近年進歩している画像認識技術を活用し、画像認識処理で利用される局所特徴量(画像中の輝度変化の大きいエッジ等を特徴点として認識し、特徴点周辺の輝度勾配をベクトル形式で記述したもの)を用いた水位・流量の推定方法³⁾について検討を進めている。画角は固定されているため「類似した流況画像の特徴量は画像の概ね同じ位置で抽出されると仮定し、類似する特徴量の出現位置(画像上x,y)を頼りに類似画像検索処理を実施することで、画像間の対応点の検索など、様々な処理が可能となる。

処理手順としては、①過去に蓄積されたCCTV画像及び特徴量と、同時刻の水位・流量観測値の組合せをデータベース化、②CCTV静止画像(現在の画像)の特徴量とデータベースの特徴量を比較(図-7)し、もっとも特徴量の距離に近い画像を検索、③検索された画像の水位・流量を紐付けて流量推定値として出力する。(図-8)



図-7 類似した流況画像の特徴量比較例

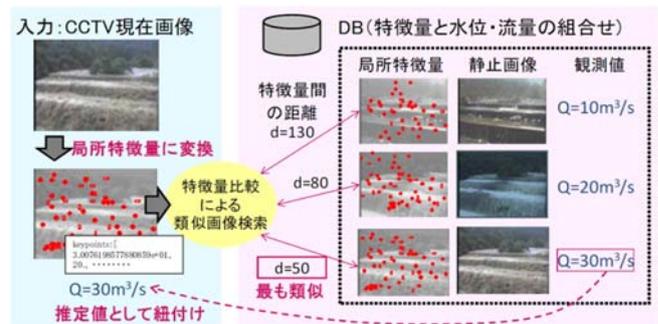


図-8 特徴量比較による流量推定の概要

5. 広域水文指標を用いた土砂災害注意基準

ダム流入量や雨量といった広域水文指標と大規模土砂移動現象発生との関係性を分析、整理を行うことで、水文指標から土砂災害に関する注意基準の設定を行った。

以下に流れをまとめる。

①ダム流入量や雨量、のぼらつき具合を示す標準偏差 σ を算出する。

②ダム流入量、雨量の各水文指標を σ 値で区切り集計する。

閾値を 1σ とした場合、 1σ 以上の災害発生事例と 1σ 未満の災害発生事例で図-9のようなグラフになる。

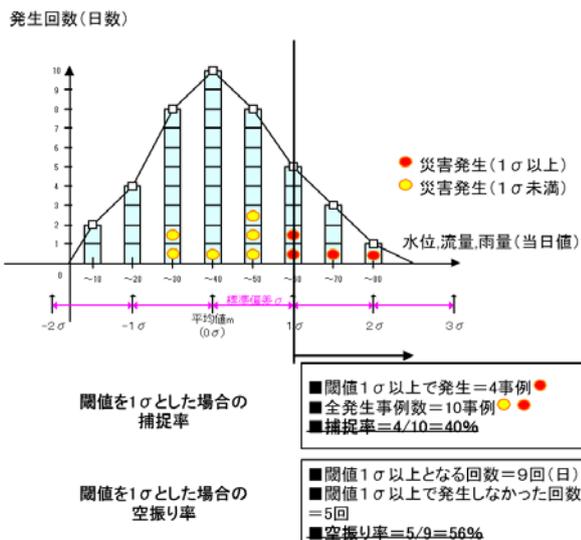


図-9 捕捉率と空振り率の算出例

これらを元に、 σ 値ごとに該当する災害捕捉率と σ 値の階級値で日雨量・7日間雨量・28日間雨量基準値を設定した。

表-2に土石流を対象に設定した基準値を示す。

表-2 土砂災害注意基準の例

土石流											
地域区分	指標	流入量				雨量					
		基準の値	対応させる観測所	流入量絶対値(m ³ /日)	指標	基準の値	対応させる観測所	雨量絶対値(mm)	指標	基準の値	対応させる観測所
天竜川上流域全体	当日	2.5 σ	諏訪湖	5,285,440	8.5 σ	7日間積算	3.0 σ	諏訪	87.7	諏訪	120.8
			横川ダム	633,022				長野	96.9	長野	136.1
			箕輪ダム	303,117				後山	90.8	後山	128.6
			豊良井ダム	710,240				鷺川	107.8	鷺川	153.8
			高遠ダム	4,655,808				高遠	84.2	高遠	115.3
			美和ダム	100,619,073				舟持	83.1	舟持	113.4
			小洗ダム	256,734,720				小洗ダム	96.2	小洗ダム	132.4
			片桐ダム	492,109				新島	130.0	新島	174.1
			松川ダム	1,338,200				鈴ヶ平	127.6	鈴ヶ平	180.1
			豊島ダム	33,420,700							
			平岡ダム	44,548,250				阿南	51.9	阿南	178.9
			岩倉ダム	223,090							

6. 早期検知を目指して

(1) 今後の課題

・画像情報を活用した水位・流量推定に不適なCCTVが多いため必要に応じ安価な簡易カメラ等での設置を検討する。

・直轄流域外での水文データが乏しいため他機関から水文データを入手する必要がある。

・土砂災害注意基準の妥当性を判断するためには実際の事象で検証する必要性があり、長期的な観測が必要となる。

・河道閉塞検知の監視基準値においても同様に長期的な観測が必要となる。

(2) まとめ

砂防に携わる者として広範囲の流域を包括し迅速に情報を得ることは危機管理の早期対応として重要である。また、現場経験の少ない若手職員の立場からみてもどこで何が起きているのか場所と画像で把握しやすいので情報共有の一つのツールとして役立つシステムだと実感する。

今後の業務においてさらなる手法やシステムの検討が進むことになればシステム利用者としての経験を生かし、大規模土砂災害監視システムの発展に貢献していきたい。

謝辞：本論文の作成にあたり、ご協力ならびに各種助言をいただきました関係各位の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 蒲原ら(2013)：流量観測データを用いた河道閉塞(天然ダム形成)覚知に関するデータ整理・分析の手引き(案)
- 2) 杉山 和也(2016)：大規模土砂災害監視システム
- 3) 中谷ら(2014)：CCTV 静止画像を用いた流量推定システムの開発、平成26年度砂防学会研究発表会概要集B, p. 386-387