

大規模土砂災害対応の観測機器類導入について

札幌開発建設部 河川計画課 ○佐々木 努
山田 拓也
釧路開発建設部 釧路河川事務所 山崎 猛

平成23年5月の土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（以下「土砂災害防止法」）の一部改正に伴い今後大規模な土砂災害（河道閉塞）発生時には緊急調査を実施することとなったことを踏まえ、札幌開発建設部では平成24年度に緊急調査を前提とした各種の監視・観測機器類を導入している。ここではこれら機器類の導入に当たっての実運用を想定した機種選定、仕様について、また実機器による操作訓練で得られた今後の課題等について報告するものである。

キーワード：防災、危機管理

1. はじめに

平成23年5月の土砂災害防止法の改正に伴い、今後河道閉塞に伴う土砂ダム（以下天然ダム）、火山噴火に伴う土石流について大規模な土砂災害が発生した場合には事業実施区域に限らず国による緊急調査を実施することが位置付けられたことを踏まえ、札幌開発建設部では平成24年度に緊急調査を想定した各種の監視・観測機器を導入している。

大規模土砂災害の場合、交通網、各種ライフライン（電気、水道、通信網）の寸断や二次災害の恐れもあることから事象発生直後に現場に近づき各種調査を行うことは容易ではないことが多いと考えられる。

しかしその一方で河道閉塞を起こしている天然ダムは決壊時には下流域に対して甚大な被害を及ぼす危険性が

高いことから、現地状況の把握については安全且つ迅速に行う必要がある。

そのような中でここではこれら機器類の導入に当たっての機種選定及び仕様について、また実機器による操作訓練を踏まえた今後の課題等について報告するものである。

2. 監視・観測機器類の導入経緯及び機種選定

天然ダム形成後の二次災害の危険度を事前に予測し、適切に対策を講じるため、天然ダム全体状況、湛水位、湛水部への流入流量、閉塞部の監視等を行う必要がある。「天然ダム監視技術マニュアル（案）（平成20年12月独立行政法人土木研究所）」による監視項目では、平成16年新潟中越地震および平成20年岩手・宮城内陸地震の教訓を踏まえると下記の項目が必要であり、この内①～④が重要な4項目であると示されている。（表-1）

表-1.天然ダム形成後の監視目的と項目（情報）、手法・観測機器（出典：天然ダム監視技術マニュアル） ：重要項目

	監視の目的	監視項目(情報)	手法・観測機器
①	天然ダム全体状況の監視・把握	・閉塞部、湛水部、崩壊部および周辺部	・目視判読、ヘリコプター、監視カメラ
②	湛水位の監視	・湛水位	・ヘリコプター、水位標、地上測量、水圧式水位計、投下型水位観測ブイ
③	湛水部への流入流量の把握	・流量 ・湛水位 ・雨量	・流速計、浮子、監視カメラ ・ヘリコプター、水位標、地上測量、水圧式水位計、投下型水位観測ブイ ・雨量計
④	閉塞部の監視	・侵食速度・量 ・変状	・目視判読、ヘリコプター、監視カメラ ・簡易レーザ、地上レーザスキャナ、トータルステーション ・崩壊検知センサー
⑤	閉塞部からの流出流量の把握	・流量	・流速計、浮子、監視カメラ ・水位標、水位計
⑥	崩壊部および周辺部の状況の監視	・崩壊の予兆現象 ・斜面変位	・目視判読 ・地表伸縮計、崩壊検知センサー、抜き板、移動航、GPS測量、地上測量
⑦	閉塞部決壊による土石流等発生監視	・土石流等の発生	・水位計、振動センサー、目視判読、監視カメラ、ワイヤーセンサー ・雨量計

当部において機器類の導入にあたっては、大規模土砂災害の発生するおそれが高い箇所のうち、河道閉塞の規模が最も大きいと薄別川右岸の地すべり性崩壊を想定し、必要とされる監視・観測機器類の配置を検討した。

(図-1)

崩壊地は山間地域が想定され、監視観測機器類の通信回線は限定される。

このほか、これらの機器類については、制作に1~2ヶ月の期間を要すること、また天然ダム発生時には、これらの監視データが早期に必要なことから、事前に整備しておくことが重要である。

このことから仕様ポイントとして

- a) 天然ダム発生箇所に電気、通信環境等のインフラが整備されているとは限らないこと。
 - b) 山間部などへの定期的な燃料補給にはコストがかかること。
 - c) 山間部などでの作業員の長期滞在は困難なこと。
- これらのことから導入機器は太陽電池仕様・衛星通信仕様としている。

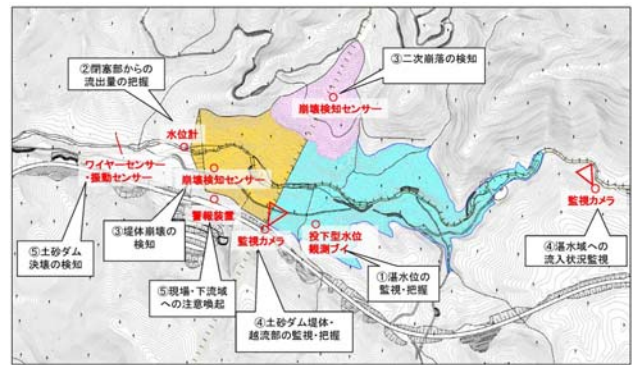





図-1. 監視・観測機器類の設置検討案

3. 大規模土砂災害対応監視・観測機器類一覧

札幌開発建設部が導入した大規模土砂災害対応監視・観測機器類の主な仕様と特徴を以下に示す。

機器名	主な仕様	特徴
投下型水位観測ブイ 	ブイ 寸法: φ500×526mm 質量: 約30kg ケージ 寸法: W880×H880×D1130mm 質量: 30kg 通信端末 イリジウム衛星通信端末 計測部 GPS 受信機: 単独測位 GPS 水位計: 圧力式 40m計 電源 電圧: DC12V バッテリー: 密閉型鉛電池 40Ah	【迅速性】 河道閉塞部への道路が寸断している場合でも、ヘリコプターで運搬し、空中からの投下設置が可能のため、水位観測を迅速に開始できる。 【安全性】 地上での設置工事が不要のため、作業員の二次災害リスクを回避できる。 【安定性】 湛水部中央に設置が可能のため、渓岸からの土砂流入による機器破損・流失の危険が少ない。
WEBカメラ 	プロトコル: IPv6/IPv4 撮像素子: 130 万画素 対応照度: 0.6~100,000 ルクス レンズ焦点: 固定焦点 水平画角: 69° 垂直画角: 51° 画像解像度: 1280×960、640×480、320×240、192×144ドット 動作電源: DC12V	ネットワーク接続で静止画像を撮影・伝送するカメラ装置。 ネットワークを介し遠隔で操作可能。
ワイヤーセンサー制御器 	ワイヤーセンサー 構成: 心線×2c、支持線×1c 外形: 心線 0.9mm 支持線 1.2mm 制御装置 入力: ワイヤーセンサー×5ch 電源: DC12V 質量: 約2.5kg	溪流横断にワイヤーセンサーを張り、土石流が断面を通過する事により切断されて発生検知を行う。 ワイヤーは最大5測線を張る事が可能で、泥流の規模を推定できる。

<p>簡易振動センサー</p> 	<p>簡易振動センサー センサー方式: 静電容量型 測定範囲: 0.05~2m/s 寸法: W149×H85×D106mm 質量: 2.0kg以下 変換器 警報設定: レベルにより5段階 電源: DC12V</p>	<p>土石流の硫化より発生する振動を加速度センサーで検知し、検知した振動が一定値以上かつ一定時間続いた場合に警報を出力する。 土石流の検知基準を振動振幅と継続時間の2重で設定することにより土石流発生を精度良く検知。</p>
<p>斜面崩壊検知センサー</p> 	<p>検知センサー 検知方式: 転倒検知方式 検知角度: 30度以上 寸法: φ83×H240mm 質量: 2kg以下 受信制御装置 受信周波数: 426MHz帯 寸法: W300×H400×D165mm 質量: 5kg以下</p>	<p>斜面にセンサーを設置し、斜面崩壊の発生と共に検知センサーが転倒(30度傾斜)することで崩壊を検知。受信制御装置にサイレンや回転灯を接続することで、現場での斜面崩壊発生の警報が可能。</p>
<p>水晶式水位計</p> 	<p>水晶式水位計 測定範囲: 0~70m 寸法: φ60mm×240mm 質量: 3kg程度 水位計コーダー 水位データ記録: SDカード 記録容量: 1分間記録で1年間以上 寸法: W480×H100×D300mm 質量: 7kg程度</p>	<p>水晶式水位計は、時計や通信機用の周波数の基準となっている水晶振動子を利用した圧力式水位計。 水位に伴って変化する水圧を水晶振動子が圧力変化と受け、発振周波数が変化し、この周波数の変化量を水位として換算する。</p>
<p>雨量計</p> 	<p>誤差: 雨量 40mm まで 1.0mm 以内 雨量 40mm を超える場合 3% 以内 受水口径: 200φ その他: ヒーター付き</p>	<p>地上に設置した、ろうと型の受水器を用いて雨水を捉え、その量を計測する。 受水器内のますに一定量溜まると転倒し、その回数を数えることによって雨量を測る。</p>
<p>衛星携帯電話装置</p> 	<p>形態: N-STAR2 衛星対応衛星携帯電話 外部機器接続インターフェイス: ハンドセット、外部アンテナ、データ通信、電源端子 データ通信速度(パケット通信) 上り最大 14kbps 下り最大 38kbps (計7台)</p>	<p>ワイドスターII 端末(衛星携帯電話)およびLAN ルーターを内蔵し、衛星回線を利用してデータ通信を行う装置。 導入センサー類のデータ通信に使用している衛星携帯電話装置は付属のハンドセットを利用することで単独使用を可能としている。</p>

4. 大規模土砂災害監視システム設置訓練

4-1) 訓練概要

【実施日】平成24年6月28日(木曜日)
 【実施場所】北海道恵庭市漁平 漁川ダム(えにわ湖)
 【実施目的】当部で導入した土砂災害対応監視機器について、これらの設置方法や操作方法の習得を目的として、当部管内の漁川ダムにおいて訓練を実施した。

- 1) 投下型水位観測ブイ投下訓練
- 2) WEBカメラ、ワイヤーセンサー、簡易振動センサー、斜面崩壊検知センサー動作確認訓練

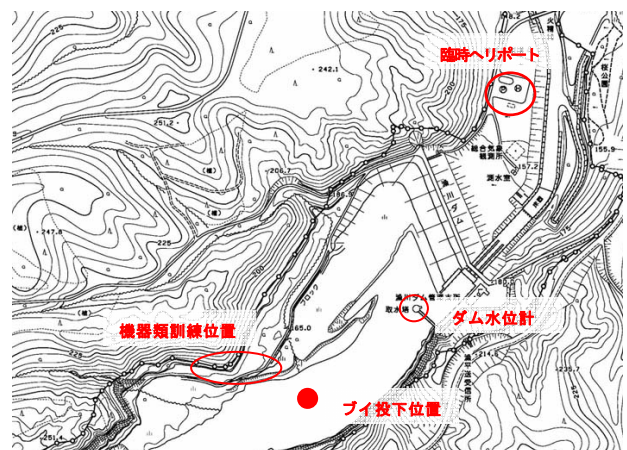


図-2 訓練実施箇所

4-2) 投下型水位観測ブイ概要

当部で導入した投下型水位観測ブイは、現在天然ダム災害発生時の緊急調査用監視機器として各地方整備局で配置が進んでいる。(図-3) 外観は、上部がブイ、下部がケージになっており、ヘリコプターで空輸中は押さえアームでブイが固定され、吊ロープを解除すると押さえアームが開放されてケージ部が河床に沈下する仕組みになっている。(写真-1) 着床後直ぐにケージ内の水圧式水位センサーにより観測が開始される。データ伝送にはイリジウム衛星通信システムを用いており、66機の低軌道周回衛星により地球上の多くの場所での通信を可能としている。ヘリコプターで荷吊りを開始する場所(離発着場所)の設定は、天然ダム発生場所を考慮し、許可申請(航空局)を行う必要がある。

今回の訓練では、漁川ダム直下流のえにわ湖自由広場の駐車場を離発着場とすることとし、臨時ヘリポートの申請を行った。(写真-2)

投下型水位観測ブイの設置場所の条件は次のとおりである。

- ① 河床高から最大水位が40m以内であること。(センサー測定範囲による制限)
- ② 越流部から離れていること。(接近流速によるブイ流下防止)
- ③ 河床勾配が緩やかであること。(ケージ部の転倒・ずれ防止)
- ④ 水没している樹木が少ないこと(ケージ沈降・ケーブル繰り出し時のトラブル防止)
- ⑤ 閉塞部、渓岸などから離れていること。(再崩壊土砂による機器破損防止)
- ⑥ 粘土・シルトが厚く堆積していないことが望ましい。(正確な水圧測定のため)

機器投下前に設置場所がこの条件を満たして(特に①~④について) いるかを確認する必要がある。(図-4)

今回の訓練では①~⑥についてそれぞれ事前調査を行い投下箇所を決定した。

- ① ダム湖水深約5m
- ② ダム堤体より約400m上流
- ③ 河床勾配を測量成果より確認
- ④ 樹木の有無を確認。(ダム管理所より聞き取り)
- ⑤ 渓岸から約30mの位置を選定。
- ⑥ ダム湖床の地質状況は確認できなかった。

投下型水位観測ブイはバッテリーで動作している。これは監視運用が長期化する場合、現地でバッテリーを交換する必要があるため、バッテリー電圧データを随時確認しなければならない。バッテリーの消費容量は観測間隔によって変化する。観測間隔10分間：1ヶ月程度、観測間隔60分間：3ヶ月程度となる。(設置時の初期電圧や、外気温条件によっても連続運用期間は変化する。)



写真-1. ブイ外観

天然ダム災害発生時の緊急調査用監視機器として各地方整備局で配備が進んでいる。

- 北海道開発局・札幌開発建設部: 1台
- 東北地整・北上川下流河川事務所: 2台
- 東北地整・新庄河川事務所: 1台
- 関東地整・利根川水系砂防事務所: 2台
- 関東地整・富士川砂防事務所: 1台
- 中部地整・中部技術事務所: 2台
- 北陸地整・北陸技術事務所: 2台
- 近畿地整(本局): 2台
- 近畿地整・六甲砂防事務所: 1台
- 中国地整・中国技術事務所: 1台
- 中国地整・會吉河川国道事務所: 1台
- 四国地整・四国技術事務所: 1台
- 九州地整・大隅河川国道事務所: 1台

平成24年3月現在

図-3. 配置状況

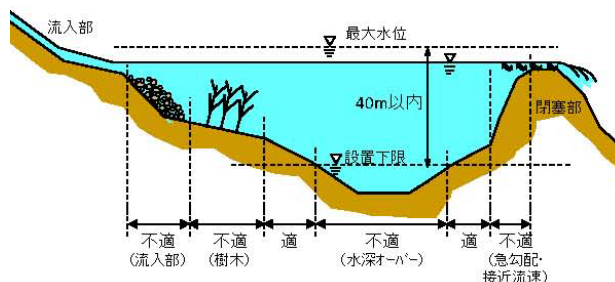


図-4. 設置場所条件



臨時ヘリポート

えにわ湖

写真-2 訓練フィールド

機器名	規格	数量
投下型水位観測ブイ	測定可能範囲 0~40m、イリジウム衛星通信システム、バッテリー仕様(観測間隔 10分間・1ヶ月程度、60分間・3ヶ月程度)	1台
WEBカメラ	屋外用WEBカメラ、130万画素、ズーム6倍、水平画角69°、垂直画角51°、パン・チルト機能有り	2式
ワイヤーセンサー制御器	入力5接点、出力5接点(パリティ付)、支持線入りケーブル300m	1式
簡易振動センサー	静電容量型加速度センサー、ケーブル50m	1式
斜面崩壊検知センサー	転倒検知方式(センサー6台)	1式
水圧式水位計	70m計、大気開放パイプ式、ケーブル100m	1式
雨量計	転倒マス式、1.0mm計測	1式

表-2 訓練使用機器

4-3) 投下型水位観測ブイ投下訓練結果の考察

投下型水位観測ブイによる観測データについて、精度を確認するため漁川ダム貯水位と比較し検証を行った。データの比較結果について以下にまとめる。

計測条件
<ul style="list-style-type: none"> データ計測期間：H24. 6. 28 12：00～H24. 7. 5 9：00 投下型水位観測ブイは漁川ダム主水位計の 300 m程度上流に設置 (写真-3)
比較計測機器仕様
<ul style="list-style-type: none"> 投下型水位観測ブイ 圧力式センサー：40m計、精度±4cm、平滑無 基準水位計（漁川ダム主水位計） 自記水位計：フロート式、20m計、精度±1cm、平滑有

【比較結果】

観測時の衛星通信状況は良好で、データの欠損は無かった。期間内の水位変動は 158.40m～159.15m（ダム水位）で 変位量 0.75mになる。投下型水位計の水深は、4.11m～4.85m、変位量は 0.74mとなり比較で最大±1cmの結果を得た。（図-5）

【良好な結果が得られた要因についての考察】

まず、観測期間が 1 週間程度でありその間のダム貯水位変動が 0.75mしかなかったため、水位観測するうえでは非常に条件が良かった。また観測ブイ設置は漁川ダム主水位計の 300m程度上流であったが、流入量が少ない時期であったため、ほぼ水面勾配の無い状態で観測出来ている。観測は気象条件に影響されるが、今回は観測ブイを設置した際の天候が良好（風が弱く波が無い）であったため、正確に標高補正をすることが出来たことと、水深が浅かったため水温による水の密度変化の影響が小さかった。そのほかの外的要因である急激な流入量の変化が無かったため、河床変動もなく投下型水位計のケージ（センサー部）が動くことなく水位観測ができ、また土砂も堆積することが無かった。

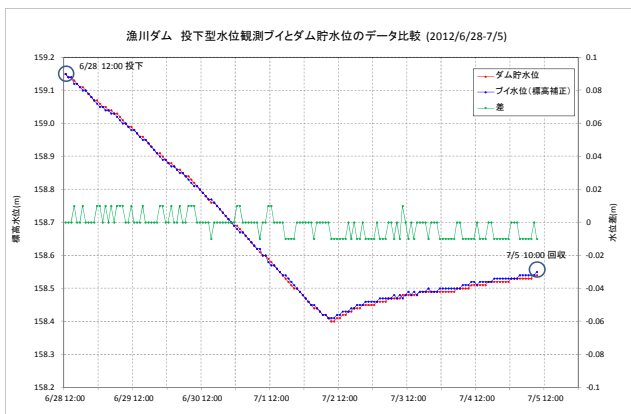


図-5. 水位データ比較



写真-3. 観測ブイ設置状況

4-4) 土砂災害監視システム設置訓練の考察

WEB カメラ、ワイヤーセンサー、簡易振動センサー、斜面崩壊検知センサーについて機器を仮設して動作確認を行った。

まず、ワイヤーセンサーのワイヤーを切断し衛星通信を通じ警報サイレン、回転灯の作動を確認した。（写真-4）

次に斜面崩壊検知センサーを傾け衛星回線を通じ警報サイレン、回転灯の作動を確認した。（写真-5）

振動検知センサーの動作確認は、センサー付近で振動を与え、衛星通信を通じ警報サイレン、回転灯の反応を確認した。（写真-6）

WEBカメラに関しては、仮設した WEB カメラより画像が転送される事を確認している。（写真-7）

特別な技術が無くとも設置、操作でき、衛星通信を利用しての警報システムは作動までの大きなタイムラグは感じられなかった。

今回の訓練では漁川ダム左岸上流の平坦な広場で上空も開けており良い条件の下で実施した。実際の運用に当たっては現場条件、設置箇所の検討、動作確認を行う事が重要だと考えられる。



写真-4. ワイヤーセンサー動作確認状況



写真-5. 斜面崩壊検知センサー動作確認状況



写真-6. 振動検知センサー動作確認状況



写真-7. WEBカメラ動作確認状況

5. 監視・観測機器類の実使用時に向けた課題等

今回の訓練を踏まえ、今後の実使用時において留意すべき点を以下にまとめる。

【投下型水位観測ブイについて】

- 投下型水位観測ブイ設置にはヘリコプターへのブイのセットを行う際のヘリポートが必要となるため、天然ダム近辺での臨時ヘリポート設置を念頭に置き、現地確認をしておく必要がある。
- 臨時ヘリポート設置位置から投下箇所までの飛行ルート下に人家、交通網が極力入らないように考慮する必要がある。（航空法の関係）
- 空港や、自衛隊等の演習地等、飛行制限区域に関する確認も必要となる。
- 今回は設置期間が1週間であったことから影響はなかったがセンサーが泥に埋没すると水圧が伝わりにくくなり誤差要因となる。
- 観測するデータは「水深」データなので、レーザー距離計等で水面と閉塞部天端の比高を測定して、越流までの残りの高さを把握する作業が必要。
- ブイ上に着雪すると通信不可となることから、冬期間の観測に向けた機器の改良が必要。
- ブイによる水位測定だけではなく、流入量についても早急に計測する事が必要と考えられる。

【土砂災害監視システムについて】

- 設置箇所選定について専門家等の意見も参考に効果的な箇所を選定する必要がある。
- 設置に当たっては災害発生直後に有人での設置作業となるため細心の注意が必要となる。
- 衛星通信を利用するため設置箇所の上空が開けている必要がある。そのための伐採等の手続きや作業が必要になる事も考えられる。
- 観測機器類について衛星通信を利用するため専用契約が必要となるが回線開通まで通常3営業日程度かかるため実際の災害時において使用する場合、手続きを迅速に行う必要がある。
- 設置後、機器類の作動テストを行い、警報システムが確実に作動するか定期的に確認を行う事が重要である。

6. おわりに

今回、大規模土砂災害を想定した機器類導入、それらを使用した訓練を行った。

大規模土砂災害発生時における緊急調査、特に初動時には電源、通信環境が確保出来ない中での迅速な調査が必要になると想定されるが、今回札幌開発建設部で導入した各種機器類による操作訓練ではそのような限られた環境下においても一定の成果が得られると考えられる。

訓練を行った中で課題、問題点が抽出されたことを踏まえ、今後さらなる訓練を重ねて得られた課題等をフィードバックし、大規模土砂災害に備えた体制づくりを行っていくことが重要であると考えられる。