

特集：2008年岩手・宮城内陸地震による土砂災害

2008年岩手・宮城内陸地震により生じた
天然ダムの監視を通じて明らかになった技術的課題

山越隆雄* 松岡 暁** 田村圭司*** 伊藤洋輔****

1. はじめに

平成20年6月14日に発生した岩手宮城内陸地震では、天然ダムが多数発生した。特に緊急の対応を行う必要があった天然ダムは、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的に発生した。天然ダムが発生すると、流水が上流に貯留されて湛水部が形成される。その結果、上流部では浸水による被害が、下流部では閉塞部の決壊による土石流、洪水、崩壊部の拡大崩壊など甚大な二次災害が発生する恐れが生じる。このような危険性に対し、天然ダムの監視は極めて重要である。本稿では、岩手・宮城内陸地震への対応を通じて新たに明らかになった天然ダム監視に関する技術的課題と、これらに対する土木研究所の取組みについて紹介する。

2. 岩手・宮城内陸地震で発生した天然ダムの概要

今回の岩手・宮城内陸地震においては、栗駒山の周辺に比較的規模の大きい天然ダムが15箇所で生じた（国土交通省調べ）¹⁾。このうち、宮城県内では、迫川で7箇所、二迫川で1箇所、三迫川で2箇所の計10箇所、岩手県内では、磐井川流域で5箇所生じた。

これらの天然ダムの中には、比較的早期に道路交通が回復し、対策を実施することができたものもあったが、一迫川の上流部に位置する天然ダムについては、ヘリコプターでなければ近づくことのできないものも多かった。

3. 天然ダム監視技術マニュアル

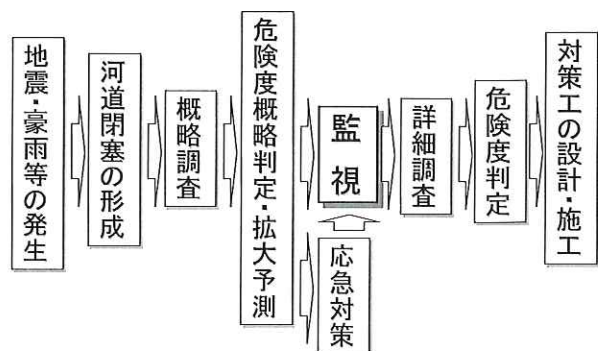
平成16年新潟県中越地震の際にも、数多くの天然ダムが形成され、その緊急対応がなされた。建設省総合技術開発プロジェクト災害情報システムの開発報告書 第三巻 第5編 土砂災害復旧

編(平成4年3月)²⁾（以下、総プロ報告書と呼ぶ）に、天然ダムへの対応方法が予めまとめられており、実務的には、それが参考とされ、対応が実施された。総プロ報告書には、天然ダムの対応フローが示されている（図・1）。土木研究所では、中越地震時に残された天然ダムへの対応の技術的課題を調べた。そして、総プロ報告書に取りまとめられていた内容に加え、中越地震の結果明らかになった課題、そして、レーザー測量技術等の近年の技術的な進歩を踏まえ、天然ダム監視技術に絞って、マニュアルの作成を進めてきた。天然ダムへの対応は時間との闘いであることから、マニュアルは、監視体制整備に許される時間と設置に要する時間を考慮して、計測精度を犠牲にしても、早く監視体制をとることが可能な手法を選ぶような内容として取りまとめた。また、多くの場合、車両によって現場に近づけないことが多いことから、人力でも運搬・設置が可能な手法を中心とした。

天然ダムが発見された場合、緊急的に二次災害防止のため概略調査、危険度概略判定がなされる。同マニュアルでは、これらの調査、判定によって監視すべき天然ダムが選定された以降の応急的な監視方法についてとりまとめている。

従来の取りまとめ結果や、平成16年の中越地震後に現場で対応した国土交通省職員へのヒアリング結果等を参考にすると、河道閉塞が形成された場合に必要とされる監視対象は、

- (1) 湛水位の状況
- (2) 湛水部への流入水量



図・1 天然ダム対応フロー

- (3) 越流による堤体の侵食
- (4) 閉塞部からの流出状況
- (5) 崩壊部の状況
- (6) 土石流が発生した場合の検知

以上の6項目であると考えられる。これら6項目の一つ一つについて、監視手法選定フローを作り、監視技術の概要とそれを用いる場合の留意点を取りまとめた³⁾。

しかし、平成20年6月14日、マニュアルの完成を待たずに、岩手・宮城内陸地震が発生したことから、ほぼ完成していたマニュアルを暫定版として急遽東北地方整備局に送付して、活用していただいた。今回の地震で発生した天然ダムは、天然ダムの規模が同程度である、発生位置が山間地である等、中越地震時の天然ダムとの共通点が多く、中越地震を踏まえて作成していた同マニュアル暫定版は、ほぼ問題なく適用されたとのことである。ただ、いくつかの課題は残ったことから、最終版のマニュアル⁴⁾は、岩手・宮城内陸地震でさらに明らかになった課題を踏まえて加筆・修正され、今年5月に国土交通省砂防部から全国の直轄事務所、都道府県に完成版が配布された。

4. 岩手・宮城内陸地震で実施された天然ダム調査・監視と課題

地震直後の調査は主に、ヘリコプターから行われた。ヘリコプターからの目視調査によって、対策が必要とされる天然ダムの数、おおよその大きさ等が調査された。湛水がまだ始まっていない段階においては、天然ダムであることを確認することは難しく、当初は、流量が多く湛水しやすい下流域の天然ダムは発見されたものの、上流域の天然ダムについては、最終的にその規模が大きいものであっても明瞭には視認できないものもあった。結局、最終的に対応することとなった15の天然ダムが決められたのは、地震発生から5日が経ってからであった。天然ダムの危険度評価に必要な天然ダムの諸元、すなわち、堤体長、高さ等についても、この地震直後の数日間については、現地調査に行けない天然ダムではヘリコプターからの目視で推定するしかなく、十分な精度の定量的なデータについては、地震後に計測された航空レーザー測量のデータを待たなければならなかった。

地上からのアクセスが復旧したエリアにおいて

は、湛水位等の監視体制が組まれた。応急的に水位を監視するために、急きょ監視カメラを設置するとともに、測量用スタッフを立てたり、水圧式の水位計を設置した。これらの画像、データは、Ku-SATによってリアルタイムに情報配信された(図-2)。

これらのような、地上からのアクセスが可能となった天然ダムにおいては、監視体制の整備は基本的に速やかに進み、リアルタイムに天然ダムの監視を行うことができるようになった。

しかし、一迫川の上流部に形成された天然ダムについては、地上からのアクセスが困難であったため、水位計、Ku-SAT等の機材を持ち込むことができず、地震から2週間経過しても、監視体制を整備できないものも残されていた。

水位計やカメラ等は人力運搬が可能で、Ku-SATも分割すれば人力運搬が可能な仕様となっている。しかし、Ku-SATについては、総重量が100kgあるため、いくら分割しても、道の無い山地斜面を長距離人力運搬することは困難であった。また、送信に多く電力を消費し、発動発電機が必要のため、定期的に給油しなければならない等、車両が到達できる状況に無いと、監視体制の維持が現実的には不可能であった。



図-2 岩手・宮城内陸地震で発生した天然ダムにおける監視体制 (上:水位標、下:Ku-SAT)

最後に、今回の地震後には、一つの河川に縦列的に複数の天然ダムが形成されたことから、下流の天然ダムの応急対策工事をする間も、上流の天然ダムの決壊に備える必要があった。そのため、各河川の上流部には、ワイヤーセンサーが設置され、万が一上流の天然ダムが決壊し、土石流等が流下しても工事関係者が避難できるような体制が取られた。

しかし、このような状況では、設置を急ぐため、十分な取り付け工事のできないまま運用されることは避けられず、ワイヤーセンサーの誤作動などが発生し、作業規制（休工）が多く、工事の進捗の妨げとなることが多かった。

5. 緊急的な天然ダムの監視技術について

今回の地震で発生した天然ダムの監視にあたっては、過去の地震災害（平成16年新潟県中越地震等）の教訓が活用され、概ね円滑に実施されたと言える。しかし、前章で述べたとおり、いくつかの課題も見つかった。

- ・天然ダムの発見・規模の推定
- ・アクセスが悪い箇所形成された天然ダムの監視
- ・緊急工事の安全管理のための土石流監視システム

以下では、これらの課題に対応した土木研究所の取り組みについて述べる。

5.1 簡易レーザー測距計の活用

従来、ヘリコプターからの調査は、周囲の地物をスケールとした目視判読に頼っているのが実情である。そこで、簡易レーザー測距計を用いて、



図-3 実験に使用したヘリコプターと簡易レーザー測距計

ヘリコプターの上からの計測が可能かどうか、現地実験を行った。

(1) 実験方法

使用したヘリコプターは北陸地方整備局の「ほくりく」号（図-3）である。簡易レーザー測距計としては、米国レーザテクノロジー社製の「トゥルーパルス360」（図-3）を用いた。また、簡易レーザー測距計の概要を表-1に示す。

箇所としては、新潟県中越地震で形成された実際の天然ダム（東竹沢地区）を対象区域として、天然ダムの堤体をイメージした①東竹沢一号、二

表-1 簡易レーザー測距計の概要

製品名	トゥルーパルス360 (レーザーテクノロジー社:アメリカ)	
サイズ	50×120×90mm	
重量	220g	
測定モード	直線距離、水平距離、垂直距離 傾斜距離、目標物の高さ、方位角	
間隔測定モード	直線間隔距離、水平間隔距離 高低差、高低傾斜角、2点間ラインの方位角	
測定範囲	距離	0.1m～1000m
	傾斜距離	上下±90°
	方位角	0～359.9°
精度	距離	±30cm
	傾斜距離	±0.25°
	方位角	±1°
電源	単三アルカリ電池2本 (電池寿命:約7500回)	

表-2 計測方法

対物距離	遠い(700～800m)	近い(300～400m)
窓の状態	開	閉
測定方法	三脚	フリーハンド

表-3 計測結果

		遠(700～800m)		近(300～400m)		実際の数値
		手持ち	三脚	手持ち	三脚	
(計測箇所① 天然ダム)	高さ(m)	-	-	25	22	19.7
	越流幅(m)	-	-	28	29	23.3
	下流法勾配	-	-	25/91 (16.18°)	22/81 (15.96°)	19.7/85 (13.53°)
(計測箇所② 崩壊)	斜面長(m)	191	186	198	175	169
	幅(m)	163	197	224	144	170
	勾配	81/174 (28.80°)	60/176 (20.34°)	33/196 (9.74°)	50/175 (16.84°)	55/160 (20.52°)

号えん堤、崩壊地をイメージした②東竹沢地区崩壊法面対策工の2箇所とした。各計測箇所について、ヘリをホバリングさせ、表-2に示す6通りの組み合わせで計測シミュレーションを行った。

(2) 実験結果

今回の計測結果を表-3に示す。

今回計測できたデータについて、真値との比をとると、18データの内、13データについて計測誤差は真値の20%以下となった。ただし、大きく真値からかけ離れたデータ（30%以上）も3つ得られており、その理由については今後検討を要する。手ぶれで観測者が狙いをつけた地点と異なる地点を計測してしまった可能性もある。

実際に計測する際には、同じ箇所において、何回か計測を繰り返し、平均をとる必要がある。

その他、今後改良すべき点も多くあり、どの現場においても十分な精度で計測できるとは現時点では言い難い。

現在広く普及している、航空レーザー計測では、広域にわたり、詳細かつ高精度な地形データを得ることが可能である。しかし、計測実施後、地形データとするまで数日程度の時間を要することから、初動時に多数形成された天然ダムの“トリアージュ”を行うための基礎資料とするには間に合わない恐れがある。

近年は、UAV（Unmanned Aerial Vehicle、無人飛行体）技術等の進歩が著しく、そのようなものの中には、地形計測を実施可能なものもある。このような技術も含め、地震後ただちに簡易な地形計測を実施することができる手法を引き続き検討する必要がある。

5.2 投下型水位観測ブイの開発

山間部で発生した天然ダムに水位計を設置する場合の問題点は、周辺の地形が急峻である上に道路が通じていないこと、仮に道路があっても土砂崩壊により寸断されて作業者や資機材の陸送が困難であること、山間部のためにデータ伝送設備がなかったり地震で破損していたりすることである。

このような場所に迅速に投下設置できる水位計として、以下の機能を有する観測機器を開発した。

- ・ヘリコプターで空輸し、投下できること
- ・人が地上に降り立っての機器調整が不要なこと
- ・水位計の水深測定上限が10m以上あること
- ・衛星通信を利用してデータ伝送できること

- ・内蔵バッテリーで必要期間駆動すること

(1) 構造と動作

投下型水位観測ブイは、主にブイ、ウェイト兼用カゴ、ケーブル、水位センサーなどから構成され、総重量は約30kgである（図-4）。

運搬時はカゴにブイが収容されて、ヘリコプターで空輸しやすい形となっている。水中投下後はカゴと水位センサーが河床に沈降・着床するとともに、ブイは水面に浮上し、水深に応じた長さのケーブルが繰り出されて、観測姿勢となる。

水位センサーによって測定された水位データは、ブイに収容された衛星伝送装置によって通信衛星を通じて利用者にメール配信される。なお、今回利用した伝送方式は、数10機の低軌道周回衛星により衛星間伝送するものであり、比較的狭隘な山間部でも安定した通信を確保でき、指向性アンテナが不要であるという特長を有する。

(2) ヘリコプターによる設置作業

今回利用したヘリコプターは、ユーロヘリ社製 AS350B3 Ecureuilというタイプで、小型であること、機外に荷物を吊り下げることが可能であることなどの特徴を有する。このヘリコプターに投下型水位観測ブイを吊り、花山ダム湖畔に臨時設置されたヘリポートから約18km離れた湯浜地区まで空輸した。到着後、まずブイ投下地点を決定するために、ロープの両端に浮きと錘をつないだ簡易な測深器具をヘリコプターから水面に投げ入れて適当な水深の地点を探した。これは、今回用いた水位計の測定可能範囲が10mであるため、水深が大き過ぎる地点にブイを投下してしまうと増

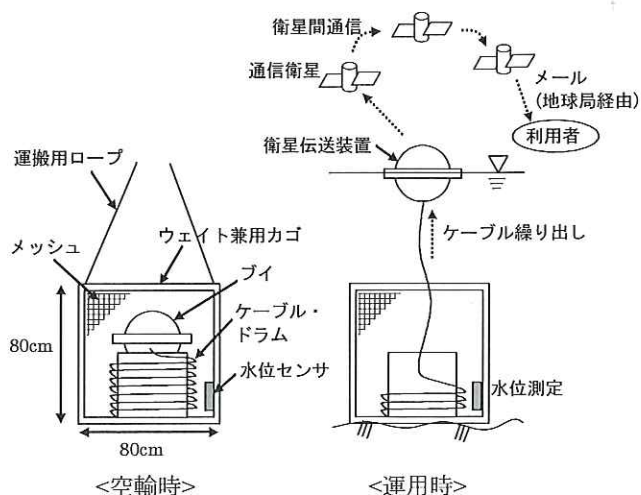


図-4 投下型水位観測ブイの構造等

水時に測定上限を超えてしまうからである。

投下地点を決めた後、ヘリコプターを水面上約10mまで降下させてカゴを着水させた。着水後、カゴは河床に沈下するとともにブイはカゴから離脱し水面に浮上して正常に観測姿勢となり、直ちに水位測定・衛星通信を開始することが可能となった(図-5)。

(3) 水位測定状況

設置後のデータ観測状況を図-6に示す。この図は設置時の水位を0mとした水位変動を示す。設置後約1日で約0.6m上昇して天然ダムの最低天端高に達した。その後、非降雨時には+0.4m前後で推移し、降雨時には+1.1~1.9m程度まで上昇した。最大水位は10月24日の大雨によって発生し、+1.75mを記録した。この時は下流側の別の天然ダム(湯ノ倉温泉地区)で決壊が生じたため、湯浜地区の天然ダムの状況も懸念されたが、本水位計によって大きな問題が生じていないことがリアルタイムで確認できた。

岩手・宮城内陸地震で形成されたある天然ダムでは、地上アクセスが回復し、車両が通行できるようになって、水位計等の機材が揃った時点から、設置が終了してデータを配信するようになるまで、1日以上かかった。しかし、今回開発した投下型水位観測ブイであれば、ヘリコプターによって設置するだけであるので、瞬く間に水位の監視体制を敷くことができる。同年5月に発生した四川地震のように、大規模ですぐに監視しなければならない天然ダムが多数形成されるような場合には、監視体制を取るのに、多大な労力と時間を必要とするところであるが、もし、このようなブイが事前に十分な数量でストックされていれば、ブイを次々に投下することによって、直ちに水位監視体制を取ることが可能である。



図-5 投下型水位観測ブイの外観と設置状況
(左:ブイ外観、中:ヘリコプターで輸送中の様子、右:設置中)

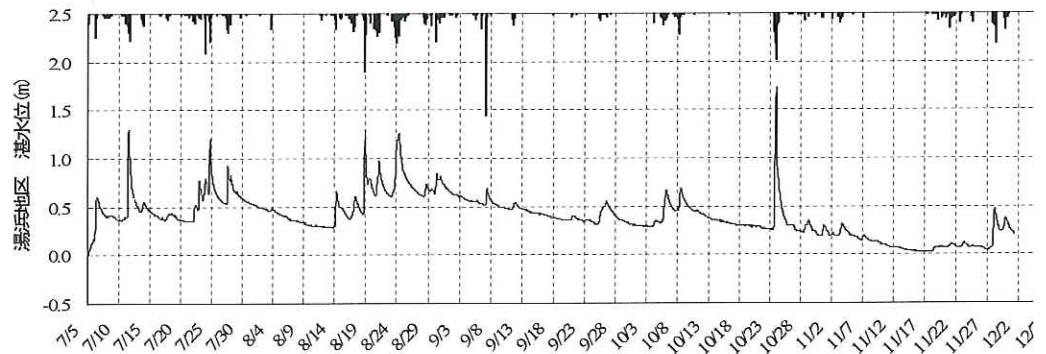


図-6 得られた水位変動データ(設置時を0mとした値)

5.3 緊急対策工事における土石流等検知センサー設置の考え方

ワイヤーセンサーは、溪流を横断するように張ったワイヤー線が土石流等の流下により切断されることによって土石流等の発生を検知するセンサーである。設置簡易で、安価である半面、一度切れると貼り直しに行かなければならない等の問題もある。今回の地震後の緊急対策工事期間中は、誤作動がたびたび発生した。原因は不明であるが、落石や動物によって切断されたものと考えられている。

このように、一度誤作動が起きると、張り直しに行かない限り、監視システムとして機能できない。



図-7 緊急対策工事における土石流等検知センサー配置イメージ

ワイヤーセンサーは、工事再開までのロスタイムが多く、緊急工事の進捗を遅らせる原因となる。そのため、一度作動した後も、監視を継続可能なセンサーの活用が望ましい。

振動検知式土石流センサー（図-7、以下、振動センサーという）は、土石流の流下に伴って生じる地盤振動をとらえて土石流の流下を検知するセンサーであり、ワイヤーセンサーと違って、何度でも連続して検知することが可能である。したがって、振動センサーを活用することで、このような無用な工事中断時間を短縮することができると思われる。ただし、確実な検知を行う必要がある観点から、可能であれば、別途補助的にワイヤーセンサーの設置も考えるべきである。

工事現場と上流の天然ダムとの間の距離が短く、途中で検知しては工事関係者の避難時間を十分に確保できない場合には、天然ダム決壊に伴う土石流の発生をより早く検知するため、堤体の変状を直接監視することが考えられる。天然ダムの決壊は、越流侵食による決壊、すべり崩壊による決壊、そして、進行性破壊による決壊、の3通りが考えられている。そのいずれにおいても、堤体の全部もしくは一部が大きく変形することとなる。そこで、そのような変形を検知することで天然ダムの決壊に伴う土石流を検知することが可能と考えられる。

斜面崩壊検知センサー（図-7）は、センサーを設置した土塊等が崩落したことを検知するセンサーである。親機受信局に対して複数の子機センサーを展開することができて、子機と親機の間は、特定小電力無線で結んでいる。天然ダム堤体の複数の箇所を網羅して、天然ダムの決壊検知を実施することが可能である。

6. おわりに

平成20年岩手・宮城内陸地震においては、過去の地震災害（平成16年新潟県中越地震等）の教訓が活かされ、天然ダムの監視体制は大きく進歩した。ただし、初動時の天然ダムの発見・規模の推定手法、アクセスが悪い箇所に形成された天然ダムの監視、そして、緊急工事の安全管理のための土石流監視システムの在り方について、課題が浮上した。アクセスが悪い箇所に形成された天然ダムの監視の問題は、投下型水位観測ブイの開発により災害対応中に直ちに解決されたが、他の課題は、まだ十分に解決されておらず、今後の検討課題として残されている。

なお、土木研究所では、ここで紹介した研究成果も含め、天然ダムの監視技術を土木研究所資料「天然ダム監視技術マニュアル（案）」として公表した⁴⁾。今後、本マニュアルが現場における天然ダム監視システムの迅速かつ効率的な構築の一助となることを期待する。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部砂防計画課：平成20年岩手・宮城内陸地震により発生した河道閉塞（天然ダム）箇所について、2008.6.19記者発表資料
- 2) 国土交通省：「建設省総合技術開発プロジェクト災害情報システムの開発報告書」第Ⅲ巻 第5編 土砂災害復旧編、1992.3
- 3) 山越ほか：河道閉塞発生直後の応急監視手法、土木技術資料、49-9、p.48-51、2007
- 4) 田村圭司ほか：天然ダム監視技術マニュアル（案）、土木研究所資料、No.4121、2008.12

山越隆雄*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ火山・土石
流チーム 主任研究員、
農博
Dr. Takao YAMAKOSHI

松岡 暁**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ火山・土石
流チーム 交流研究員
Akira MATSUOKA

田村圭司***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ火山・土石
流チーム 上席研究員
Keiji TAMURA

伊藤洋輔****



株式会社拓和（前 独立
行政法人土木研究所つく
ば中央研究所土砂管理研
究グループ火山・土石流
チーム 交流研究員）
Yosuke ITO